

DO NOWEJ PODSTAWY
PROGRAMOWEJ

**MATURA
2015**

ZADANIA ZGODNE
Z INFORMATOREM
CKE

Biologia na czasie 2

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

Zakres rozszerzony

Z DOSTĘPEM DO MATURA-ROM-U

ERA Z MULTIMEDIALNYM
ATLASEM ANATOMICZNYM



**nowa
era**



Matura-ROM *Biologia na czasie 2*

to doskonałe narzędzie, które w interaktywny sposób pomaga samodzielnie przygotować się do matury. Zawiera zadania typu maturalnego dostosowane do treści każdego rozdziału podręcznika.

Pracując z Matura-ROM-em:

- powtórzysz i utrwalisz wiadomości,
- uzyskasz informację zwrotną o prawidłowości rozwiązań zadań,
- zdobędziesz doświadczenie w rozwiązywaniu zadań typu maturalnego.

Franciszek Dubert
Ryszard Kozik
Stanisław Krawczyk
Adam Kula
Maria Marko-Worłowska
Władysław Zamachowski

Biologia na czasie 2

Podręcznik dla liceum ogólnokształcącego i technikum

Zakres rozszerzony



Biologia na czasie 2

Podręcznik dopuszczony do użytku szkolnego przez ministra właściwego do spraw oświaty i wychowania i wpisany do wykazu podręczników przeznaczonych do kształcenia ogólnego do nauczania biologii, na podstawie opinii rzeczoznawców: dr Leny Tkaczyk, dr. hab. Andrzeja Kaźmierczaka oraz dr Danuty Krzyżyk.

Zakres kształcenia: rozszerzony.

Etap edukacyjny: IV.

Typ szkoły: szkoły ponadgimnazjalne.

Rok dopuszczenia: 2013.

Numer ewidencyjny w wykazie MEN: 564/2/2013



Podręcznik został opracowany na podstawie *Programu nauczania biologii w zakresie rozszerzonym – Biologia na czasie* autorstwa Urszuli Poziomek. Program znajduje się na stronie internetowej www.nowaera.pl/programy-PG.

Nabyta przez Ciebie publikacja jest dziełem twórcy i wydawcy. Prosimy o przestrzeganie praw, jakie im przysługują. Zawartość publikacji możesz udostępnić nieodpłatnie osobom bliskim lub osobiście znanym, ale nie umieszczaj jej w internecie. Jeśli cytujesz jej fragmenty, to nie zmieniaj ich treści i koniecznie zaznacz, czyje to dzieło. Możesz skopiować część publikacji jedynie na własny użytek.

Szanujemy cudzą własność i prawo.
Więcej na www.legalnakultura.pl



© Copyright by Nowa Era Spółka z o.o. 2013
Wydanie drugie. Warszawa 2014. ISBN 978-83-267-1773-4
ISBN 978-83-267-1805-2 (zestaw)

Opracowanie redakcyjne i redakcja merytoryczna: Dorota Dąbrowska-Mróż, Katarzyna Górską-Golon.
Współpraca redakcyjna: Magdalena Bujnowska, Marek Czowgan, Agnieszka Krotke,
Ewa Mejlun, Kinga Stachowiak, Katarzyna Zdanowicz.

Redakcja językowa: Aleksandra Kowalczyk-Pryczkowska. Współpraca redakcyjna: Monika Pruska.

Projekt okładki: Wojtek Urbanek, Paulina Tomaszewska, Arek Ignaciuk.

Opracowanie graficzne: Wojtek Urbanek, Paulina Tomaszewska.

Ilustracje: Ewelina Baran, Elżbieta Buczkowska, Rafał Buczkowski, Joanna Dumanowska,
Przemysław Kłosin, Piotr Mróz, Marcin Oleksak, Wioleta Przybylska.

Fotoserwis: Bogdan Wańkowicz. Realizacja projektu graficznego: studio Straszyń.

Nowa Era Sp. z o.o.
Aleje Jerozolimskie 146 D, 02-305 Warszawa,
www.nowaera.pl, e-mail: nowaera@nowaera.pl, tel. 801 88 10 10

Druk i oprawa: TRANS-DRUK Sp. Jawna

Wstęp

Podręcznik *Biologia na czasie 2 – zakres rozszerzony* zawiera treści dotyczące metabolizmu, a także anatomii oraz fizjologii człowieka. Składa się z 13 rozdziałów, z których każdy zakończony jest *Podsumowaniem* w formie tabel i schematów oraz dwoma zestawami zadań. Pierwszy zestaw: *Test maturalny* zawiera zadania sprawdzające wiedzę z każdego rozdziału, drugi zestaw: *To było na maturze!* to przykładowe zadania, które pojawiły się na egzaminie maturalnym w poprzednich latach. Zadania, liczne *Doświadczenia* i *Obserwacje*, a także umieszczona na końcu podręcznika część *Przydatne terminy* umożliwią Ci jak najlepsze przygotowanie się do matury. Z kolei element *Choroby współczesnego świata* pozwoli Ci zgłębić wiedzę o przyczynach, skutkach i profilaktyce najczęstszych chorób dotyczących poszczególnych układów ludzkiego ciała. Naukę urozmaicią ciekawostki oraz odsyłacze do interesujących stron internetowych związanych z tematem. Hasła z *Indeksu* wraz z terminami ze słowniczka i wyróżnionymi w tekście pogrubioną czcionką mogą posłużyć Ci jako słowa kluczowe do wyszukiwania informacji w internecie.

W tabelach zestawiono najważniejsze informacje dotyczące np. budowy i funkcji poszczególnych układów.

Słowniczek zawiera objaśnienia trudnych terminów.

Element *Choroby współczesnego świata* przybliży te choroby, które stają się problemami społecznymi.

Doświadczenia uczą planowania i przeprowadzania badań biologicznych zgodnie z metodą naukową.

Polecenia kontrolne ułatwiają powtórzenie wiadomości.

Spis treści

I. Metabolizm

1. Kierunki przemian metabolicznych	6
2. Enzymy	10
3. Autotroficzne odżywianie się organizmów – fotosynteza	20
4. Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy	30
5. Przebieg chemosyntezy	35
6. Oddychanie tlenowe	37
7. Procesy beztlenowego uzyskiwania energii	44
8. Inne ważne procesy metaboliczne	48
Podsumowanie	52
Test maturalny	56
To było na maturze!	59

II. Organizm człowieka. Skóra – powłoka ciała

1. Organizm człowieka jako funkcjonalna całość	64
2. Budowa i funkcje skóry	69
3. Choroby i higiena skóry	75
Podsumowanie	80
Test maturalny	82
To było na maturze!	85

III. Aparat ruchu

1. Ogólna budowa i funkcje szkieletu	88
2. Rodzaje połączeń kości	91
3. Elementy szkieletu	94
4. Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego	100
5. Choroby i higiena aparatu ruchu	109
Podsumowanie	116
Test maturalny	119
To było na maturze!	123

IV. Układ pokarmowy

1. Budulcowe i energetyczne składniki pokarmowe	126
2. Rola witamin w diecie	129
3. Rola wody i składników mineralnych w organizmie	133
4. Budowa i funkcje układu pokarmowego	136
5. Higiena i choroby układu pokarmowego	144
Podsumowanie	151
Test maturalny	154
To było na maturze	156

V. Układ oddechowy

1. Budowa i funkcjonowanie układu oddechowego	160
2. Wentylacja i wymiana gazowa	163
3. Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego	170
Podsumowanie	176
Test maturalny	178
To było na maturze!	181

VI. Układ krążenia

1. Skład i funkcje krwi	184
2. Budowa i funkcje układu krwionośnego	190
3. Serce	194
4. Układ limfatyczny	198
5. Choroby układu krążenia	201
Podsumowanie	205
Test maturalny	208
To było na maturze!	211

VII. Obrona immunologiczna organizmu

1. Budowa i funkcjonowanie układu odpornościowego	214
2. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego	223
Podsumowanie	228
Test maturalny	230
To było na maturze!	233

VIII. Układ wydalniczy

1. Budowa i funkcjonowanie układu wydalniczego	236
2. Choroby układu wydalniczego	241
Podsumowanie	246
Test maturalny	248
To było na maturze!	251

IX. Układ nerwowy

1. Budowa i funkcje układu nerwowego	254
2. Ośrodkowy układ nerwowy	261
3. Obwodowy układ nerwowy	267
4. Autonomiczny układ nerwowy	273
5. Higiena i choroby układu nerwowego	276
Podsumowanie	285
Test maturalny	288
To było na maturze!	291

X. Narządy zmysłów

1. Budowa i działanie narządu wzroku	294
2. Ucho – narząd słuchu i równowagi	303
3. Narząd smaku oraz węchu	309
Podsumowanie	311
Test maturalny	313
To było na maturze!	317

XI. Układ hormonalny

1. Budowa i funkcje układu hormonalnego	320
2. Regulacja wydzielania hormonów	328
Podsumowanie	332
Test maturalny	334
To było na maturze!	337

XII. Rozmnażanie i rozwój człowieka

1. Budowa i funkcjonowanie męskich narządów rozrodczych	340
2. Budowa i funkcjonowanie żeńskich narządów rozrodczych	345
3. Rozwój człowieka	352
4. Planowanie rodziny. Choroby i higiena układu rozrodczego	362
Podsumowanie	367
Test maturalny	369
To było na maturze!	373

XIII. Choroby a zdrowie człowieka

1. Uwarunkowania zdrowia. Choroby zakaźne i pasożytnicze	376
2. Choroby nowotworowe	383
3. Uzależnienia	389
Podsumowanie	394
Test maturalny	396
To było na maturze!	399
Przydatne terminy	402
Literatura uzupełniająca	407
Indeks	408

1

Metabolizm

1. Kierunki przemian metabolicznych
2. Enzymy
3. Autotroficzne odżywianie się organizmów – fotosynteza
4. Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy
5. Przebieg chemosyntezy
6. Oddychanie tlenowe
7. Procesy beztlenowego uzyskiwania energii
8. Inne ważne procesy metaboliczne

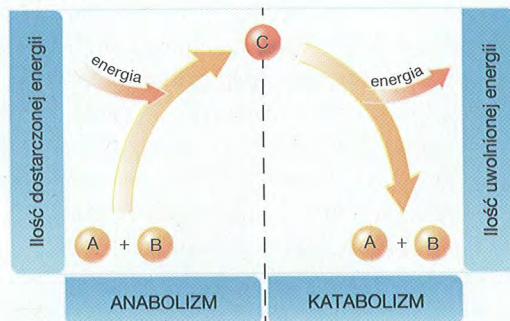
Rys. Fragment błony tylakoidu wraz z kompleksami białkowymi uczestniczącymi w fotosyntezie.

1

Kierunki przemian metabolicznych

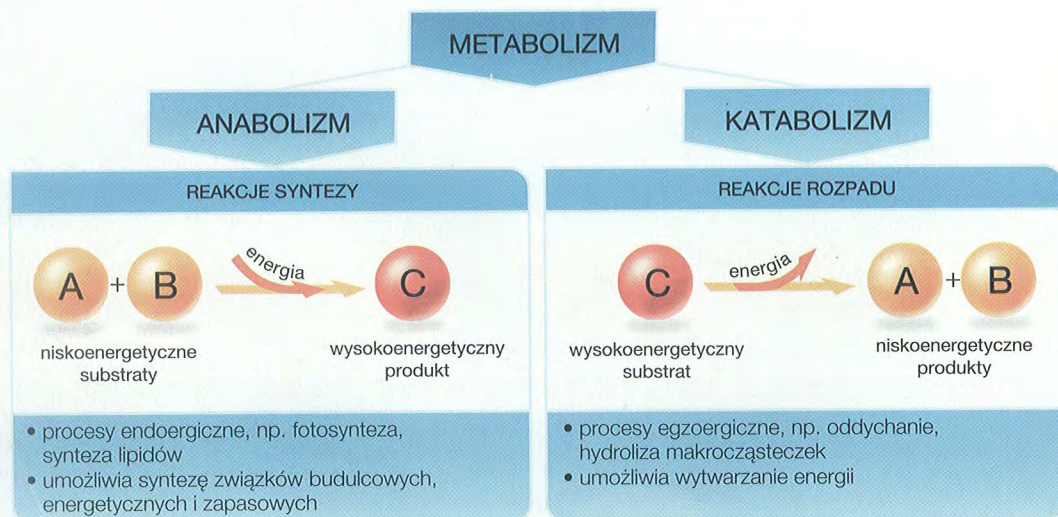
W każdej komórce w ciągu jednej sekundy zachodzą tysiące zależnych od siebie reakcji chemicznych. Towarzyszą im przemiany energii, której głównym przenośnikiem jest ATP (adenozynotrifosforan). Całość przemian chemicznych i energetycznych nazywamy **metabolizmem**, od greckiego słowa *metabole* – przemiana.

Wyróżnia się dwa kierunki przemian metabolicznych: anabolizm i katabolizm. Mianem **anabolizmu** określa się wszystkie reakcje syntezy złożonych związków chemicznych ze związków prostszych. Wymagają one dostarczenia energii, np. w postaci energii świetlnej czy energii chemicznej, są to więc **reakcje endoergiczne**. Produkty reakcji endoergicznych mają większą energię niż substraty. Energia ta jest związana w postaci wiązań chemicznych (głównie w wiązaniach między węglem a wodorem). Do przemian anabolicznych należą: fotosynteza, chemosynteza, synteza białek, lipidów, kwasów tłuszczowych i innych złożonych związków organicznych. **Katabolizm** obejmuje wszystkie reakcje, które polegają na rozkładzie złożonych związków chemicznych, m.in. cukrów, tłuszczów, białek. W ich trakcie następuje uwalnianie



Zmiany energii substratów oraz produktów przemian anabolicznych i katabolicznych. Produkty reakcji anabolicznych mają więcej energii niż substraty, natomiast produkty reakcji katabolicznych mają mniej energii niż substraty.

energii, są to zatem **reakcje egzoergiczne**, a ich produkty zawierają mniej energii niż substraty. Część uwolnionej energii ulega rozproszeniu w postaci energii cieplnej, część zostaje krótkotrwale zmagazynowana w postaci energii chemicznej wysokoenergetycznych związków, głównie ATP. Do przemian katabolicznych zaliczamy np. oddychanie komórkowe oraz rozkład kwasów tłuszczowych, nazywany β -oksydacją [wym. beta-oksydacją].



■ ATP – uniwersalny nośnik energii w komórce

Reakcje uwalniania energii (reakcje kataboliczne) są w komórce sprzężone z reakcjami wymagającymi dostarczenia energii (reakcjami anabolicznymi). Dlatego zachodzą one jednocześnie, choć w innych strukturach komórki. Dzięki temu energia uwalniana w jednym procesie może być wykorzystana w drugim procesie. Jednak, aby mogło to nastąpić, musi być ona przeniesiona. Funkcję uniwersalnego nośnika energii w komórce pełni głównie ATP.

ATP jest nukleotydem zbudowanym z zasady azotowej – adeniny, pięciowęglowego cukru – rybozy i trzech reszt fosforanowych. Między resztami fosforanowymi znajdują się tzw. **wiązania wysokoenergetyczne**. Energia chemiczna zawarta w tych wiązaniach jest uwalniana podczas reakcji rozkładu ATP – hydrolizy ATP. Następuje wówczas rozpad najczęściej jednego z wiązań wysokoenergetycznych, w wyniku czego ATP przekształca się w **ADP (adenozynodifosforan)** lub, jeśli następuje rozpad kolejnego wiązania, w **AMP (adenozynomonofosforan)**. Odtwarzanie ATP to proces, który polega na przyłączaniu brakujących reszt fosforanowych z utworzeniem wiązań wysokoenergetycznych.

Energia uwolniona podczas hydrolizy ATP jest wykorzystywana w większości przemian wymagających dostarczenia energii zachodzących w komórce, takich jak transport aktywny przez błony biologiczne, reakcje syntezy, praca

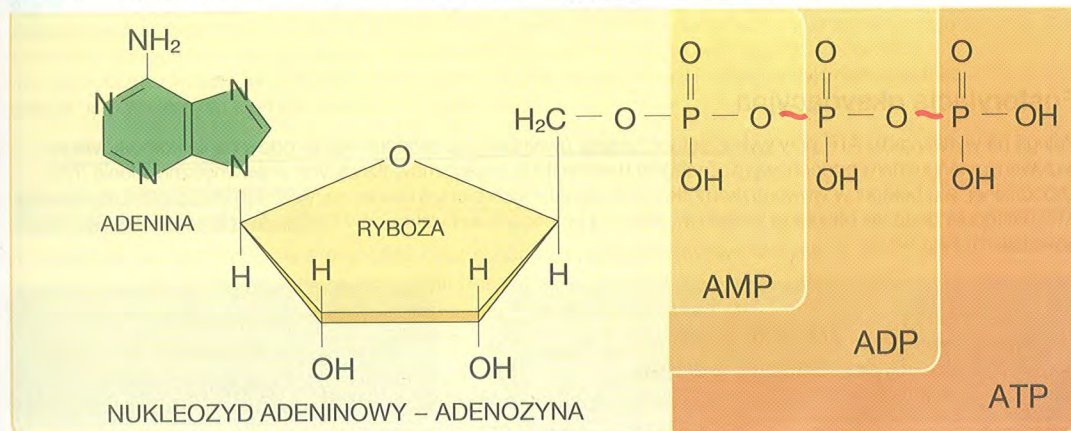
mechaniczna (praca mięśni, ruch rzęsek, ruch organelli, ruch chromosomów podczas podziałów komórkowych, zmiany kształtu komórek), wytwarzanie ciepła (szczególnie ważne dla organizmów stałocieplnych – ptaków i ssaków).

W niektórych reakcjach metabolicznych akumulatorami i nośnikami energii są nukleotydy o budowie podobnej do budowy ATP: **GTP (guanozynotrifosforan)**, **UTP (urydynotrifosforan)**, **CTP (cytydynotrifosforan)**. Uczestniczą one zarówno w reakcjach przebiegających z uwolnieniem energii, jak i w reakcjach, które wymagają jej dostarczenia. Formy difosforanowe tych nukleotydów oznacza się skrótami: GDP, UDP, CDP, a formy monofosforanowe skrótami: GMP, UMP, CMP.

■ Cechy ATP

ATP jest **uniwersalnym nośnikiem energii** w komórce, ponieważ:

- ▶ jest przenoszony z miejsca, gdzie jest produkowany (najwięcej cząsteczek ATP powstaje w mitochondriach), do miejsca, gdzie jest wykorzystywany, dzięki białkom transportującym;
- ▶ wiązania między grupami fosforanowymi zawierają dużą ilość energii chemicznej;
- ▶ grupy fosforanowe łatwo się odłączają, powodując ufosforylowanie różnych związków, co zwiększa ich energię oraz zdolność do wykonania pracy;
- ▶ natychmiast odzyskuje utracone grupy fosforanowe w drodze **fosforylacji**.



Budowa ATP. Wskutek odłączania kolejnych reszt fosforanowych od ATP powstaje ADP i AMP. Po odłączeniu wszystkich trzech reszt fosforanowych powstaje nukleozyd – adenozyina.

Mechanizm syntezy ATP

Synteza ATP może zachodzić w wyniku trzech typów fosforylacji (przyłączania reszt fosforanowych do ADP). Są to fosforylacje: substratowa, fotosyntetyczna oraz oksydacyjna.

Sumaryczny zapis procesu fosforylacji

ADP + P_i (fosforan nieorganiczny)

ATP

Fosforylacja substratowa

Polega na przyłączeniu do ADP reszty fosforanowej przeniesionej z cząsteczki substratu organicznego. W procesie tym jest wykorzystywana energia uwolniona na skutek rozpadu wysokoenergetycznego wiązania łączącego resztę fosforanową z substratem. Produktami fosforylacji substratowej są ATP i cząsteczka związku organicznego o mniejszej energii w porównaniu z energią substratu. Fosforylacja substratowa zachodzi w cytozolu komórki, m.in. w początkowych, niewymagających obecności tlenu, etapach oddychania komórkowego oraz podczas fermentacji.

**substrat
wysokoenergetyczny + ADP**

**produkt
niskoenergetyczny + ATP**

Fosforylacja fotosyntetyczna (fotofosforylacja)

To proces syntezy ATP, w którym jest wykorzystywana energia świetlna. Ten typ fosforylacji jest charakterystyczny wyłącznie dla fotoautotrofów, m.in. roślin oraz bakterii fotosyntetyzujących (sinic, bakterii zielonych i purpurowych). Energia świetlna pochłonięta przez barwniki fotosyntetyczne, np. chlorofil, zostaje zgromadzona w ATP.

**ADP + P_i + (w obecności barwnika
fotosyntetycznego)**

ATP

Fosforylacja oksydacyjna

Polega na wytwarzaniu ATP przy wykorzystaniu energii uwalnianej na ostatnim etapie oddychania komórkowego, nazywanym łańcuchem oddechowym. Zachodzi u wszystkich organizmów tlenowych w wewnętrznej błonie mitochondrialnej, a u bakterii w wewnątrzkomórkowych wpukleniach błony (dawniej nazywanych mezosomami). Synteza ATP następuje podczas utleniania związków, które są przenośnikami elektronów i protonów na tlen, w wyniku czego powstaje również woda.

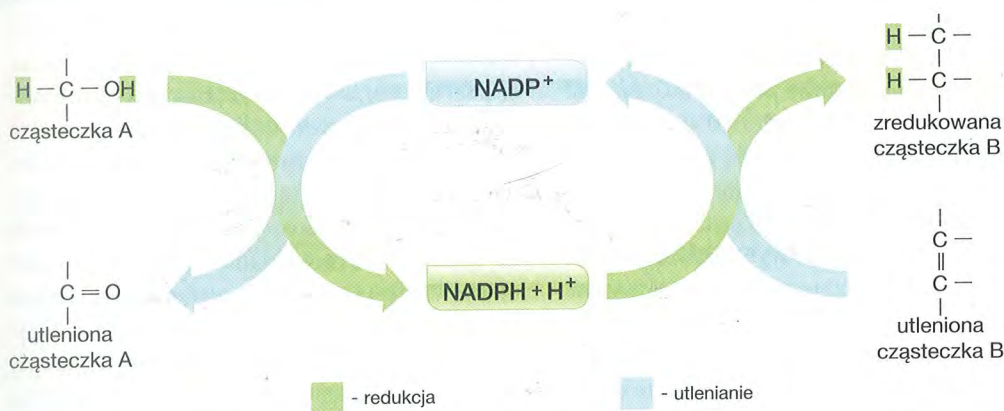
**ADP + P_i + zredukowane
przenośniki wodoru + tlen**

**utlenione
ATP + przenośniki + woda
wodoru**

Uniwersalne nośniki elektronów

Podczas wielu reakcji zachodzących w komórce następuje przenoszenie elektronów z jednej cząsteczki na drugą. Reakcje, w których elektrony są przyjmowane, nazywamy reakcjami **redukcji**, a te, w których elektrony są oddawane – reakcjami **utleniania**. Zawsze utlenianie jednej cząsteczki pociąga za sobą redukcję innej. Reakcje oparte na przepływie elektronów nazywamy **reakcjami oksydoredukcyjnymi** lub **reakcjami redoks**. W reakcjach tego typu cząsteczki występują raz w postaci utlenionej (gdy oddają elektrony), a raz w postaci zredukowanej (gdy przyjmują elektrony). Powstająca podczas transportu elektronów energia jest wykorzystywana przez komórkę do wykonywania pracy, w tym do syntezy chemicznej. W przenoszeniu

elektronów w komórce biorą udział wyspecjalizowane związki. Do najważniejszych z nich należą: **NAD⁺** (dinukleotyd nikotynamidoadeninowy), **FAD** (dinukleotyd flawinoadeninowy) oraz **NADP⁺** (fosforan dinukleotydu nikotynamidoadeninowego). **NAD⁺** i **FAD**, po redukcji odpowiednio do **NADH + H⁺** oraz do **FADH₂**, są przenośnikami elektronów (tym samym stanowią przejściowy magazyn energii) w oddychaniu komórkowym i służą wyłącznie do syntezy ATP. Z kolei **NADP⁺** w postaci zredukowanej, czyli **NADPH + H⁺**, bierze udział prawie wyłącznie w reakcjach anabolicznych (m.in. w fotosyntezie, syntezie kwasów tłuszczowych), dostarczając atomy wodoru i elektrony potrzebne do syntezy nowych związków.



Przebieg reakcji redoks z udziałem NADP⁺. Związek NADP w formie utlenionej jest kationem – NADP⁺. Ma on zdolność przyłączania atomów wodoru pochodzących od substratu. Od zredukowanego związku organicznego (cząsteczka A) zostają oderwane dwa elektrony (2e⁻) i dwa protony (2H⁺), w wyniku czego powstaje utleniona postać tego związku oraz NADPH, a jeden H⁺ zostaje uwolniony do środowiska. Ten specyficzny mechanizm redukcji wyrażany jest przez zapis NADPH + H⁺. Kolejny cykl reakcji redoks polega na przeniesieniu atomów wodoru na cząsteczkę B.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij znaczenie pojęcia *metabolizm* oraz scharakteryzuj podstawowe rodzaje przemian metabolicznych (anabolizm i katabolizm).
2. Porównaj mechanizm syntezy ATP w procesach fosforylacji substratowej, fotosyntetycznej i oksydacyjnej.
3. Podaj przykłady innych niż ATP nośników energii.
4. Wymień sposoby uzyskiwania ATP przez komórki roślinne i zwierzęce.
5. Wyjaśnij, dlaczego ATP jest uniwersalnym przenośnikiem energii w komórce.
6. Określ rolę NADPH + H⁺ oraz NADH + H⁺ w komórce.

2

Enzymy

Zapoczątkowanie i przeprowadzenie reakcji chemicznej wymaga dostarczenia odpowiedniej ilości energii, np. do rozkładu 1 mola nadtlenu wodoru (H_2O_2) potrzeba 75 600 J (dżuli). Nawet w wypadku silnie egzoergicznych reakcji istnieje bariera energetyczna, uniemożliwiająca ich samoistne zainicjowanie.

Ilość energii potrzebnej do zapoczątkowania reakcji chemicznej nazywamy **energiją aktywacji**. Jednym ze sposobów dostarczenia energii aktywacji jest ogrzewanie. Jednak nie dotyczy to komórek, ponieważ funkcjonują one w dość niskich temperaturach – od kilku stopni poniżej 0°C do $40\text{--}45^\circ\text{C}$ (tylko bakterie termofilne mogą żyć w gorących źródłach o temperaturze $80\text{--}90^\circ\text{C}$). Tak wąski zakres tolerancji wynika z faktu, że w temperaturze poniżej 0°C cytozol zaczyna zamarzać, a powyżej 40°C dochodzi zazwyczaj do denaturacji białek, a tym samym do śmierci komórki. Sposobem na zapoczątkowanie reakcji we względnie niskich i stałych temperaturach, jakie panują w komórce, jest zastosowanie **katalizatora**. Jest to substancja przyspieszająca reakcję przez obniżenie jej energii aktywacji. W komórkach funkcję katalizatorów biologicznych pełnią **enzymy**. Częsteczki te nie są substratami reakcji, dlatego nie

zużywają się w przebiegu reakcji i mogą być wykorzystywane wielokrotnie. Przyspieszają (katalizują) one przebieg reakcji w porównaniu z reakcją niekatalizowaną o co najmniej milion razy, pozwalając na zachodzenie reakcji w bezpiecznym dla komórki zakresie temperatur.

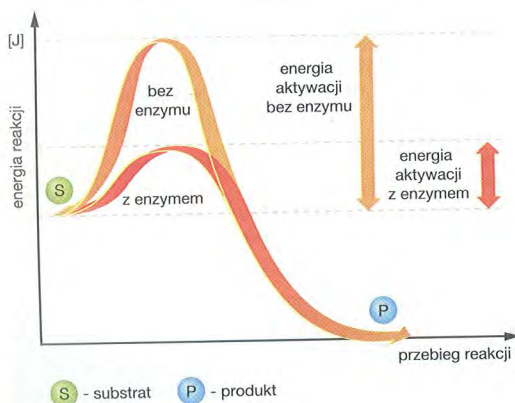
Czy wiesz, że...

Jedna cząsteczka enzymu katalazy rozkłada 5 mln cząsteczek nadtlenu wodoru w temperaturze 0°C w ciągu 1 min. Bez udziału katalazy proces ten trwałby 300 lat.

Budowa enzymów

Prawie wszystkie enzymy są białkami. Wyjątek stanowią cząsteczki RNA – **rybozomy** – oraz cząsteczki DNA – **deoksyrybozomy**, które pełnią funkcje katalityczne. Istnieją enzymy zbudowane tylko z łańcuchów polipeptydowych (np. większość enzymów układu pokarmowego, amylaza ślinowa, pepsyna czy tripsyna). Jednak najczęściej enzymy składają się z dwóch elementów: części białkowej zwanej **apoenzymem** i części niebiałkowej zwanej **kofaktorem**. Częścią niebiałkową mogą być **metale** w postaci jonów (Zn^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , K^+) lub niewielkie cząsteczki organiczne. Jony nieorganiczne zawsze wiążą się z apoenzymem w sposób trwały. Cząsteczki organiczne natomiast są związane z apoenzymem albo luźno (z możliwością przyłączania się i odłączania), albo trwale. Gdy są związane luźno, nazywa się je **koenzymami**, a gdy są związane trwale, noszą nazwę **grup prostetycznych**. Do koenzymów należą: ATP, NAD^+ , FAD, NADP^+ , a także witaminy (zwłaszcza z grupy B) lub ich pochodne. Grupą prostetyczną jest np. pochodna witaminy B_1 w dehydrogenazie pirogronaniowej. Jeśli enzym złożony jest z części białkowej i niebiałkowej, to aby mógł katalizować reakcję, muszą one tworzyć kompleks.

W obrębie enzymu znajduje się **miejsce aktywne** (centrum aktywne). Jest to specyficzny obszar, który wiąże cząsteczki substratu



Przebieg reakcji chemicznej z enzymem oraz bez enzymu. Enzymy przyspieszają przebieg reakcji przez obniżenie energii aktywacji.

Model budowy enzymu

W każdym enzymie, niezależnie od jego budowy, znajduje się centrum aktywne, do którego przyłącza się substrat. Dzięki odpowiednio ułożonym w przestrzeni grupom funkcyjnym aminokwasów w centrum aktywnym enzym łączy się tylko z określonym substratem.



Model enzymu zbudowanego tylko z łańcuchów polipeptydowych. Takim enzymem jest np. pepsyna.

Model enzymu zawierającego część niebiałkową. Takim enzymem jest np. karboksylaza acetylokoenzymu A, której częścią niebiałkową jest koenzym A (CoA).

i ewentualnie część niebiałkową enzymu. Zawiera on odpowiednio ułożone przestrzennie **grupy funkcyjne aminokwasów**. Uczestniczą one bezpośrednio w tworzeniu niekowalencyjnych wiązań i oddziaływań chemicznych (tj. wiązań wodorowych, oddziaływań elektrostatycznych, van der Waalsa i hydrofobowych) między cząsteczką enzymu a cząsteczką substratu. Wiązania te tworzą się tylko na czas reakcji.

Niektóre enzymy, zwane **enzymami allosterycznymi**, składają się zwykle z kilku podjednostek, z których każda ma własne centrum aktywne. Przyłączanie substratu do jednego miejsca może zmienić właściwości innych miejsc aktywnych. Poza miejscami aktywnymi enzymy allosteryczne mają również **miejsca allosteryczne**, do których przyłączają się cząsteczki regulatorowe. Cząsteczki te zmieniają kształt

miejsca aktywnego, wpływając na zdolność wiązania substratu. Kontrolują one najczęściej pierwszą reakcję w całym ciągu powiązanych ze sobą reakcji przebiegających w organizmie i tworzących szlaki metaboliczne.

Właściwości enzymów

Enzymy cechuje:

- ▶ **swoistość substratowa**, która polega na tym, że dany enzym wiąże się wyłącznie z określonym substratem lub substratami, np. maltaza łączy się wyłącznie z cząsteczką maltozy. Tak wybiórczy sposób działania enzymów wynika ze wzajemnego dopasowania centrum aktywnego enzymu i cząsteczek substratu(ów);
- ▶ **swoistość katalizowanej reakcji**, która polega na tym, że pojedynczy enzym katalizuje zestaw reakcji jednego typu, a niekiedy tylko jedną, określoną reakcję chemiczną.

BUDOWA ENZYMU ZAWIERAJĄCEGO CZĘŚĆ NIEBIAŁKOWĄ

Część białkowa
(apoenzym)

jony metali, np. żelaza, miedzi, cynku, magnezu

Część niebiałkowa (kofaktor)

grupa prostetyczna – mała cząsteczka organiczna trwale związana z enzymem, np. pochodna witaminy B₁ w dehydrogenazie pirogronaniowej

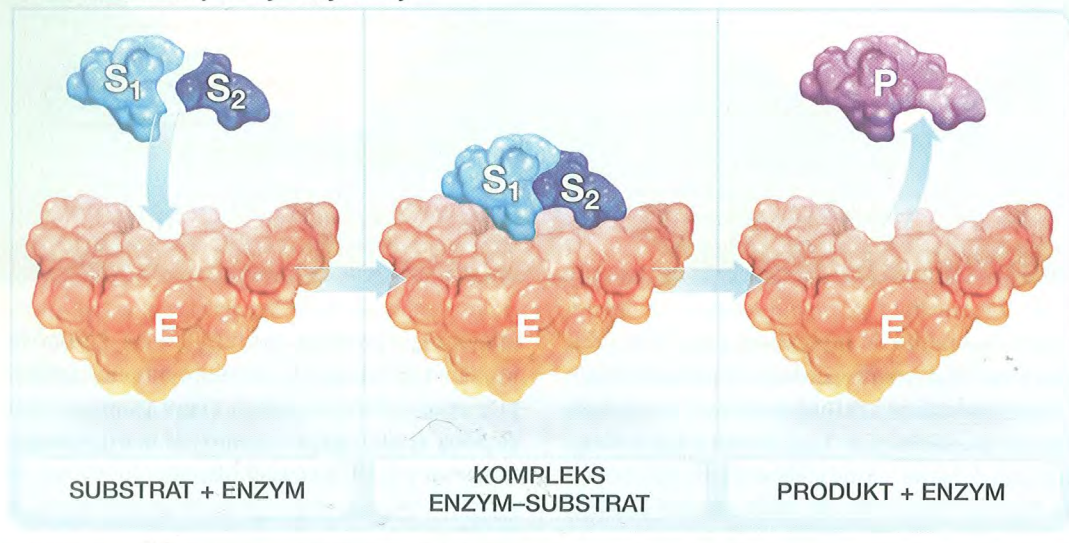
koenzym – mała cząsteczka organiczna nietrwale związana z enzymem, np. koenzym A, witaminy, NAD⁺, FAD

Mechanizm działania enzymów

Enzym wiąże określony substrat lub substraty, tworząc z nimi nietrwały kompleks enzym–substrat (E–S), który następnie ulega rozpadowi na produkt lub produkty i enzym. Uwolniony po rozpadzie enzym może się połączyć z kolejną cząsteczką substratu. Kataliza enzymatyczna, czyli przyspieszenie reakcji chemicznej spowodowane działaniem katalizatora – enzymu, przebiega więc etapami, podczas których następuje:

- przestrzenne dopasowanie centrum aktywnego do substratu lub substratów,
- utworzenie kompleksu E–S, co obniża energię aktywacji i przyspiesza przebieg reakcji,
- oddzielenie produktu lub produktów od enzymu.

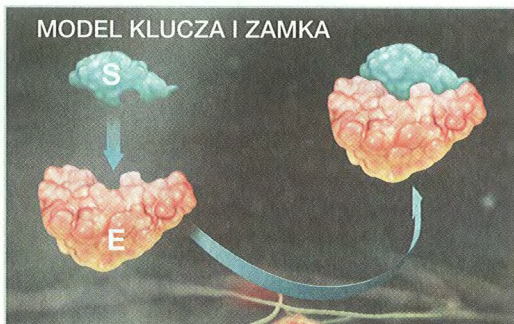
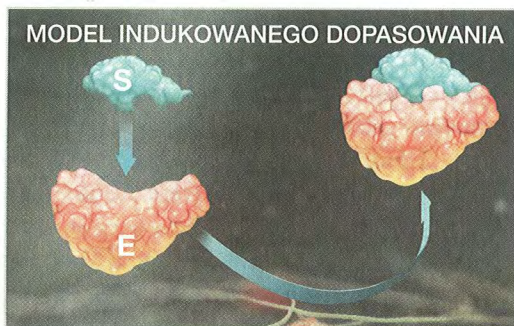
Równanie reakcji enzymatycznej



Model powstawania kompleksu enzym–substrat

Enzymy nie są sztywnymi strukturami, a kształt ich centrum aktywnego zmienia się pod wpływem substratu. Czasami do zmiany wystarczy bliski kontakt centrum aktywnego z substratem, a czasami kształt centrum aktywnego zmienia się dopiero po związaniu z substratem. Taki proces dynamicznego dopasowania się enzymu do substratu jest nazywany **modelem indukowanego dopasowania** (wymuszonego) **dopasowania**. Model ten jest obrazowo porównywany do ręki (substrat) wsuwanej do rękawiczki (enzym).

Jeszcze do niedawna (koniec XIX i pierwsza połowa XX wieku) uważano, że kształty substratu oraz centrum aktywnego enzymu są niezmiennie i pasują do siebie jak klucz do zamka. Dlatego model ten nazywano modelem klucza i zamka.



■ Czynniki wpływające na szybkość reakcji enzymatycznych

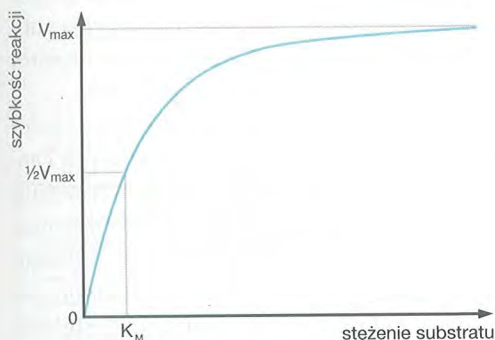
Szybkość reakcji enzymatycznych zależy od: stężenia substratu, temperatury, wartości pH środowiska, stężenia jonów i obecności substancji aktywujących lub hamujących.

Stężenie substratu

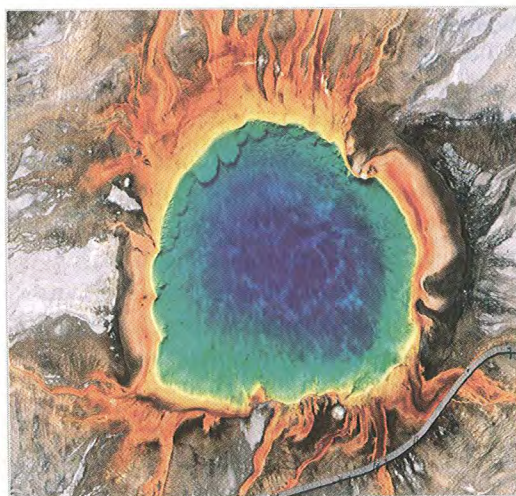
Wzrost stężenia substratu zwiększa szybkość reakcji aż do osiągnięcia maksymalnej wartości ($V_{\max}$). Dalsze zwiększanie stężenia substratu nie zwiększa szybkości reakcji z powodu wypełnienia substratem centrum aktywnego enzymu (wysycenia enzymu substratem). Takie stężenie substratu, przy którym szybkość reakcji enzymatycznej osiąga połowę szybkości maksymalnej, określa się mianem **stałej Michaelisa** [wym. mikaelisa] (K_M). Stała ta opisuje **powinowactwo enzymu do substratu**, czyli **łatwość** powstawania kompleksu E-S. Im większa wartość K_M , tym mniejsze powinowactwo enzymu do substratu, a w konsekwencji mniejsza efektywność działania enzymu.

Temperatura

Wzrost temperatury o każde 10°C średnio dwukrotnie zwiększa szybkość reakcji chemicznej. Reguła ta odnosi się również do reakcji enzymatycznych, ale tylko w określonych granicach, najczęściej $0-45^\circ\text{C}$. Dalszy wzrost temperatury powoduje gwałtowne spowolnienie reakcji.

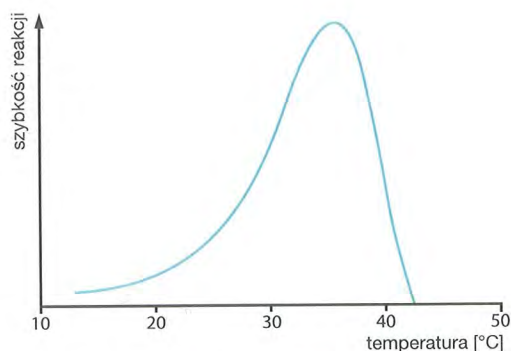


Krzywa Michaelisa-Menten przedstawiająca zależność szybkości reakcji enzymatycznej od stężenia substratu.



Grand Prismatic Spring w Parku Narodowym w Yellowstone. Intensywne kolory na obwodzie źródła pochodzą od bakterii przystosowanych do życia w wysokich temperaturach ($80-90^\circ\text{C}$).

Przyczyną jest denaturacja białek enzymatycznych prowadząca do zniszczenia struktury przestrzennej enzymu, przez co traci on właściwości katalityczne. Zakres temperatury, w jakim enzym może być aktywny, zależy od temperatury komórki, w której występuje. Za optymalną dla działania większości enzymów człowieka uważa się temperaturę ok. 38°C . Znane są też enzymy funkcjonujące w znacząco różnych warunkach termicznych. Należą do nich m.in. enzymy występujące w komórkach bakterii żyjących w gorących źródłach.



Zależność szybkości reakcji enzymatycznej zachodzącej w organizmie człowieka od temperatury.

Wartość pH i stężenie soli

W wypadku pH trudno określić optimum jednolite dla funkcjonowania wszystkich enzymów. Większość enzymów komórkowych jest aktywnych w pH ok. 7, czyli w środowisku zbliżonym do obojętnego. Enzymy lizosomów są aktywne w środowisku lekko kwaśnym (pH ok. 5). Z kolei poszczególne enzymy trawienne działają w typowym dla siebie, zwykle wąskim przedziale pH, poza którym znacznie obniża się ich aktywność. Przykładowo dla pepsyny optymalne jest bardzo kwaśne środowisko (pH = 2), dla amylazy ślinowej środowisko obojętne (pH = 7), a dla trypsyny – środowisko zasadowe (pH = 8,5).

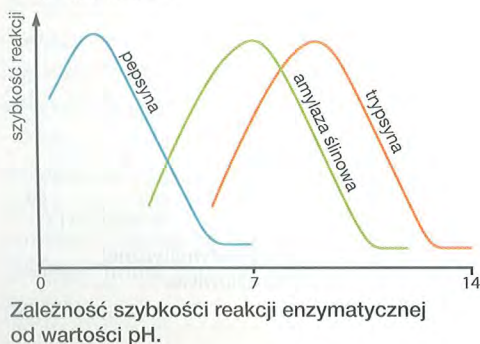
Aby enzymy były aktywne, potrzebne jest zwykle określone stężenie soli – stężenie zbyt wysokie może hamować aktywność enzymów. Ponadto dla niektórych enzymów niezbędne są specyficzne jony (np. Mg^{2+}). Inne jony, takie jak kationy metali ciężkich (np. rtęci, ołowiu, miedzi), powodują denaturację enzymów.

Substancje aktywujące i hamujące

Substancje aktywujące enzymy – aktywatory – to cząsteczki, które zmieniają strukturę przestrzenną centrum aktywnego, ułatwiając wiązanie określonych substratów. Aktywatorami mogą być jony metali, m.in. Mg^{2+} , Zn^{2+} , Ca^{2+} , białka i drobnocząsteczkowe związki organiczne. Przykładowo aktywatorem amylazy ślinowej (enzymu rozkładającego cukry) są jony chlorkowe (Cl^-). Z kolei substancje hamujące – inhibitory – są

? Pomyśl

Jak pasteryzacja lub marynowanie wpływają na enzymy zawarte w komórkach warzyw i owoców poddanych tym procesom?



cząsteczkami, które hamują przebieg reakcji enzymatycznej. Hamowanie (inhibicja) enzymu może być procesem nieodwracalnym lub odwracalnym.

W czasie **hamowania nieodwracalnego** cząsteczki inhibitora przyłączają się do centrum aktywnego enzymu za pomocą wiązań kowalencyjnych. W ten sposób powstaje trwały kompleks enzym–inhibitor, a działanie enzymu zostaje zahamowane. Do inhibitorów działających w opisany sposób należy większość **trucizn**, m.in. cyanek potasu, który hamuje aktywność jednego z enzymów oddychania komórkowego. Niektóre inhibitory są ważnymi lekami. Przykładowo będąca antybiotykiem penicylina hamuje aktywność jednego z enzymów odpowiedzialnych za wytwarzanie u bakterii ściany komórkowej, bez której giną one w organizmie zainfekowanego gospodarza.

Hamowanie odwracalne może być kompetycyjne lub niekompetycyjne. Każdy z tych rodzajów hamowania wiąże się z działaniem określonych inhibitorów. **Inhibitory kompetycyjne** (współzawodniczące) to cząsteczki o strukturze przestrzennej zbliżonej do struktury cząsteczki substratu. Wygrywając konkurencję z substratem, zajmują jego miejsce w centrum aktywnym enzymu (uniemożliwiają więc związanie substratu). Do inhibitorów działających w ten sposób należą m.in. **antywitaminy** – naturalne i syntetyczne związki chemiczne, które blokują enzym, uniemożliwiają wykorzystanie danej witaminy przez organizm. Inhibicja kompetycyjna jest znoszona przez zwiększenie stężenia substratu, dzięki czemu może on wyprzeć inhibitor z centrum aktywnego.

Inhibitory niekompetycyjne (niewspółzawodniczące) nie wiążą się z enzymem w centrum aktywnym, ale w innym miejscu. Powodują one zmianę kształtu miejsca aktywnego cząsteczki enzymu. W konsekwencji uniemożliwiają przyłączenie substratu. Działanie inhibitora nie może być zniesione przez zwiększenie stężenia substratu. Do inhibitorów niekompetycyjnych należą m.in. niektóre metabolity, które w ten sposób regulują aktywność enzymów, oraz jony metali ciężkich.

Rodzaje inhibicji

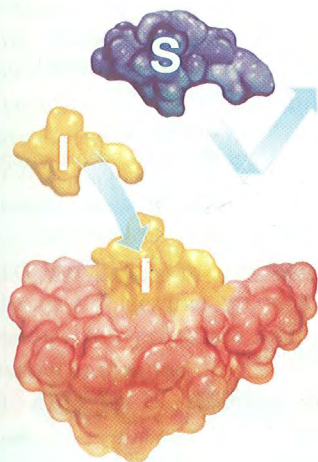
Związki chemiczne hamujące aktywność enzymów – inhibitory – mogą hamować aktywność enzymów w sposób odwracalny lub nieodwracalny. Wśród inhibitorów działających odwracalnie wyróżnia się inhibitory kompetycyjne i niekompetycyjne.

Inhibitory kompetycyjne konkurują z substratem o centrum aktywne enzymu.

Inhibitory niekompetycyjne, łącząc się poza centrum aktywnym, zmieniają jego kształt. Takie zmienione centrum aktywne nie pasuje do substratu.

RODZAJE INHIBICJI

INHIBICJA NIEODWRACALNA

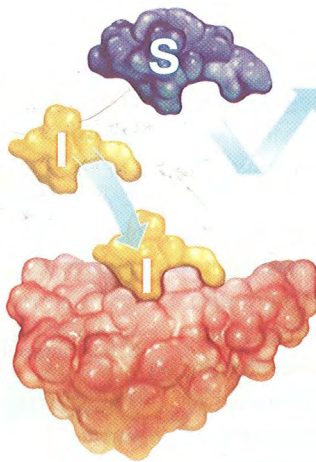


BRAK PRODUKTU

Inhibitor łączy się trwale z enzymem w jego miejscu aktywnym za pomocą wiązań kowalencyjnych. W ten sposób hamuje jego aktywność.

INHIBICJA ODWRACALNA

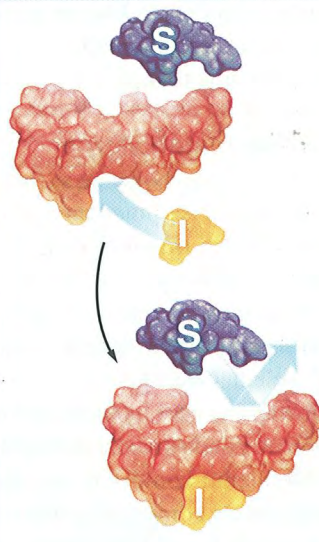
KOMPETYCYJNA



BRAK PRODUKTU

Inhibitor kompetycyjny łączy się odwracalnie z enzymem w miejscu aktywnym, uniemożliwiając enzymowi połączenie z substratem.

NIEKOMPETYCYJNA



BRAK PRODUKTU

Inhibitor niekompetycyjny łączy się odwracalnie z enzymem w innym miejscu niż centrum aktywne. Powoduje to zmianę struktury przestrzennej enzymu i w konsekwencji uniemożliwia przyłączenie substratu.

Nazewnictwo i klasyfikacja enzymów

Nazwy potoczne większości enzymów tworzy się przez dodanie zakończenia „-aza” do nazw ich substratów lub nazw katalizowanych reakcji. Na przykład **sacharaza** jest enzymem katalizującym rozkład sacharozy, a **syntaza ATP** to enzym, który odpowiada za syntezę ATP. Niektóre enzymy noszą nazwy historyczne. Nie dostarczają one jednak informacji na temat specyfiki działania enzymów (np. **trypsyna** – enzym proteolityczny soku trzustkowego czy **pepsyna** – enzym proteolityczny soku żołądkowego). Naukowcy w swojej pracy używają nazw ustalonych przez Komisję Enzymatyczną, powołaną w 1964 r. przez Międzynarodową Unię Biochemiczną. Komisja ta dokonała klasyfikacji enzymów na sześć klas głównych, przyjmując jako kryterium podziału rodzaj katalizowanej przez enzymy reakcji.

Szlaki metaboliczne

Przemiany metaboliczne zachodzące w komórce zwykle nie są pojedynczymi reakcjami, lecz tworzą **szlaki metaboliczne**. Są to ciągi następujących po sobie w określonej kolejności reakcji katalizowanych przez odpowiednie enzymy, w których produkt jednej reakcji jest substratem kolejnej reakcji.

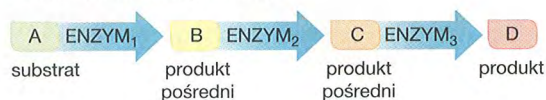
Powiązane ze sobą funkcjonalnie szlaki metaboliczne składają się na skomplikowane procesy metabolizmu komórkowego, m.in. fotosyntezę i oddychanie komórkowe. Wśród szlaków metabolicznych komórki wyróżnia się szlaki liniowe i szlaki cykliczne.

Szlak liniowy obejmuje ciąg reakcji przebiegających tylko w jednym kierunku, tzn. prowadzi on albo do rozkładu, albo do syntezy określonej substancji. Gdy w jednej komórce zachodzą procesy przeciwstawne, jak np. rozkład i synteza glikogenu w komórkach wątroby, przebiegają one dwoma odrębnymi szlakami metabolicznymi. Są one zazwyczaj oddzielone przestrzennie. Istnienie dwóch przeciwstawnych szlaków metabolicznych umożliwia kontrolę nad kierunkiem przemian określonej substancji w zależności od aktualnego zapotrzebowania.

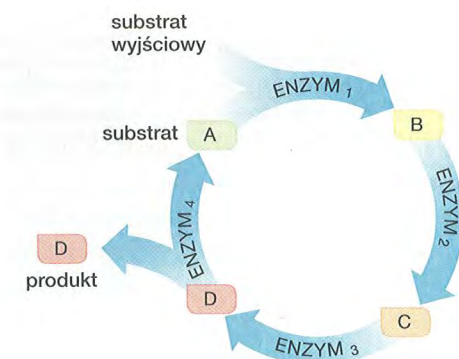
Klasyfikacja enzymów

Klasa	Nazwa	Rodzaj katalizowanej reakcji
1.	oksydoreduktazy	utlenianie i redukcja
2.	transferazy	przenoszenie grup funkcyjnych z jednego związku chemicznego na inny związek
3.	hydrolazy	hydroliza (rozkład związków chemicznych z udziałem cząsteczek wody)
4.	liazy	rozrywanie wiązań C-C, C-O, C-N lub C-S bez udziału wody, tworzenie wiązań podwójnych przez dodanie lub usunięcie grup funkcyjnych
5.	izomerazy	izomeryzacja (przeniesienia grup funkcyjnych w obrębie cząsteczki)
6.	ligazy	synteza nowych związków chemicznych sprzężona z jednoczesnym odłączeniem grupy fosforanowej od ATP

Szlak metaboliczny liniowy



Szlak metaboliczny cykliczny

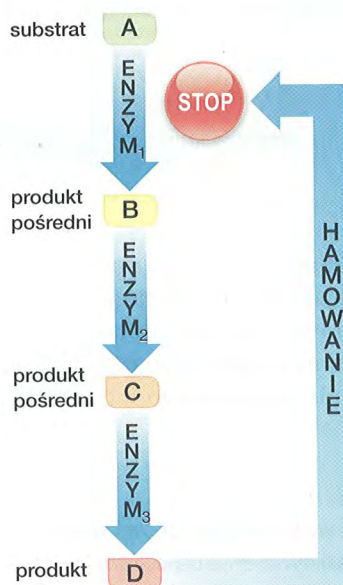


W **szlaku cyklicznym**, zwanym również **cyklem przemian metabolicznych**, następuje odтворzenie jednego ze związków chemicznych. Powstaje on jako jeden z produktów końcowych, po czym staje się substratem dla pierwszej reakcji rozpoczynającej kolejny cykl.

Regulacja przebiegu szlaków metabolicznych

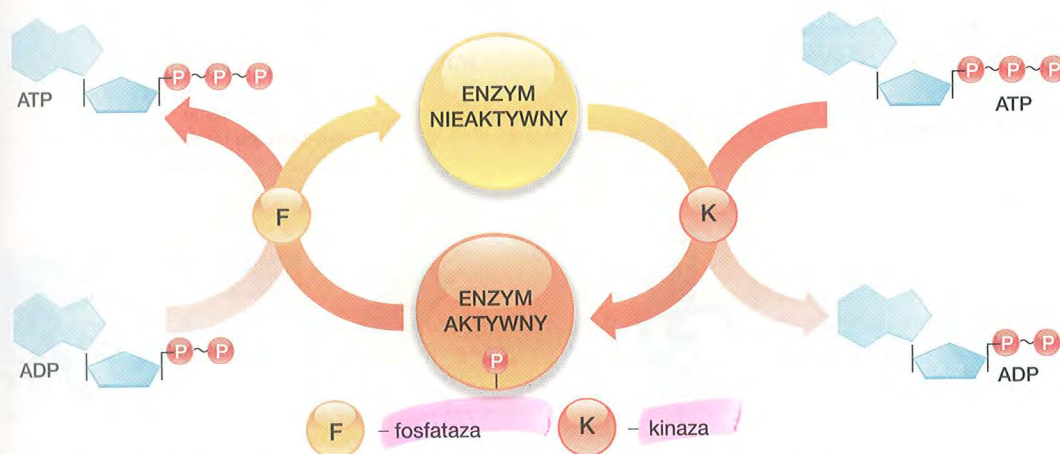
Nawet najprostsza komórka bakteryjna potrafi przeprowadzać ponad 1000 zależnych od siebie reakcji metabolicznych. Dlatego system ten musi podlegać ścisłej kontroli. Obejmuje ona: regulację aktywności enzymów, aktywację proenzymów i regulację liczby enzymów.

Aktywność enzymów jest często hamowana przez powstający produkt reakcji. Taki model regulacji nazywamy **ujemnym sprzężeniem zwrotnym**. Pozwala on komórce nie marnować energii na wytwarzanie niepotrzebnych produktów. Innym sposobem regulacji aktywności enzymów jest omówione wcześniej **przyłączanie aktywatorów lub inhibitorów**. Jednym z najczęściej stosowanych przez komórki mechanizmów regulacji aktywności enzymów będących białkami jest dodawanie do nich dodatkowych grup funkcyjnych. Przykładem jest dołączanie lub odłączanie reszt fosforanowych w procesach **fosforylacji i defosforylacji enzymów**.



Schemat regulacji szlaków metabolicznych przez ujemne sprzężenie zwrotne. Końcowy produkt szlaku metabolicznego staje się inhibitorem pierwszego enzymu szlaku, co prowadzi do zahamowania reakcji przekształcania A w B. W efekcie produkt końcowy szlaku nie jest wytwarzany.

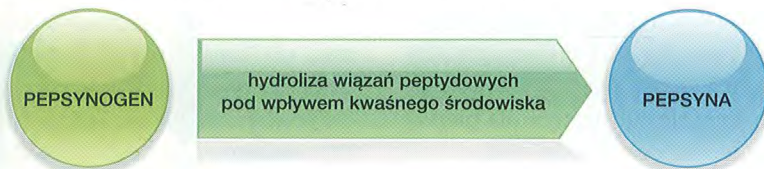
Liczne enzymy, zwłaszcza proteolityczne, są wydzielane w postaci nieaktywnych **proenzymów** nazywanych również **zymogenami** (np. pepsynogen, tripsynogen). Zapobiega to ewentualnym uszkodzeniom narządów, w których komórkach są wytwarzane, np. żołądka.



Fosforylacja i defosforylacja. Procesy te pozwalają na zmianę aktywności enzymu w zależności od stanu fizjologicznego zapotrzebowania. Fosforylację enzymu przeprowadza enzym kinaza, a defosforylację – fosfataza. Źródłem reszt fosforanowych jest ATP, a akceptorem – ADP.

ubikwityna → znaki śmierci
proteasom

Mechanizm aktywacji proenzymu na przykładzie pepsyny



Wydzielanie nieaktywnych proenzymów pozwala na ich aktywację w miejscu, w którym są potrzebne, i w czasie, gdy są potrzebne. Aktywacja polega na nieodwracalnej hydrolizie jednego wiązania peptydowego lub większej ich liczby.

Czy wiesz, że...

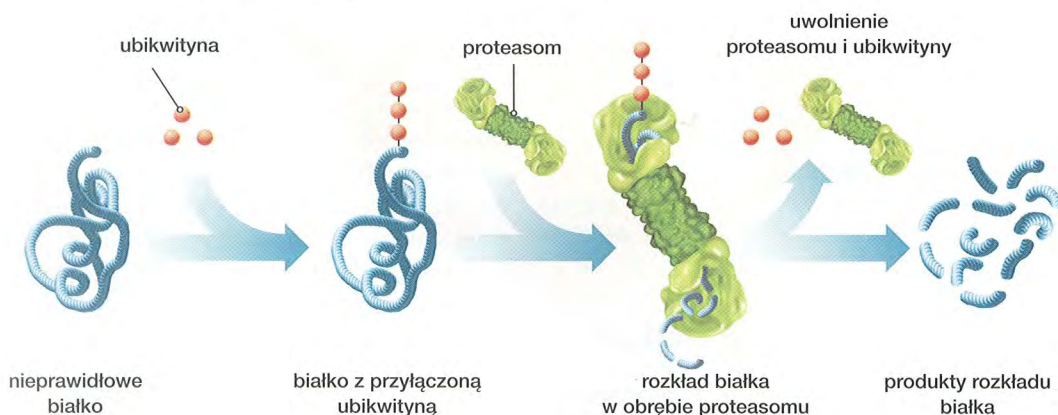
Produkcja i wydzielanie enzymów trawiennych w formie nieaktywnych proenzymów chroni tkanki narządów, w których są one wytwarzane. Przykładowo trzustka jest chroniona przed samostrawieniem chymotrypsyną i trypsyną, do którego dochodzi w sytuacjach patologicznych, m.in. w wypadku zapalenia trzustki.

Regulacja liczby cząsteczek enzymów może następować na etapie ich syntezy, jak również przez **degradację** zbędnych lub uszkodzonych enzymów. Istnieje kilka sposobów

rozpoznawania oraz degradowania takich enzymów w komórce. Przykładem jest mechanizm usuwania enzymów będących białkami, stosowany również do usuwania innych białek. Polega on na rozpoznawaniu białek przez receptory umieszczone w błonach lizosomów oraz ich **rozkładzie za pomocą proteolitycznych enzymów lizosomalnych**. Inny sposób nosi nazwę **ubikwitynozęależnej degradacji białek**. Przeznaczone do zniszczenia białka zostają wówczas **oznakowane** przez cząsteczki **ubikwityny**. Jest ona białkiem o niewielkiej masie cząsteczkowej, przyłączanym kowalencyjnie do uszkodzonych lub niepotrzebnych białek komórki. Ubikwityna wskazuje w ten sposób te białka, które są przeznaczone do degradacji (z powodu tej funkcji ubikwityna bywa nazywana **znakiem śmierci**). Tak wyróżnione białka są następnie rozkładane w obrębie **proteasomu** – ogromnego kompleksu białkowego, który zawiera enzymy proteolityczne.

Ubikwitynozęależna degradacja białek

Dzięki ubikwitynie komórka pozbywa się m.in. enzymów będących białkami zbędnych w danym momencie jej funkcjonowania. To małe białko jest dołączane do enzymu, który następnie jest trawiony w proteasomach, przy czym ubikwityna nie ulega strawieniu i wraca do ponownego obiegu.



Doświadczenie

Badanie wpływu temperatury na aktywność dehydrogenazy w bulwach ziemniaka

Problem badawczy: Wpływ temperatury na aktywność dehydrogenazy w bulwach ziemniaka.

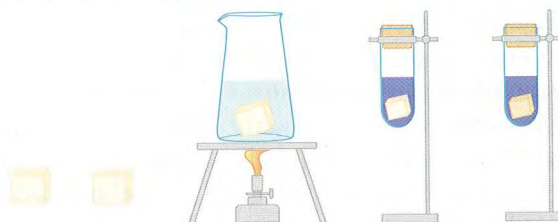
Hipoteza: Temperatura wrzenia powoduje inaktywację dehydrogenazy.

Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Probówka A zawierająca wycinek bulwy ziemniaka i roztworu błękitu metylenowego o stężeniu 0,01%.

Próba kontrolna

Probówka B zawierająca ugotowany wycinek bulwy ziemniaka i 0,01% roztwór błękitu metylenowego.



Wytnij z bulwy ziemniaka dwa jednakowej wielkości sześciany, po czym jeden z nich gotuj w wodzie przez kilka minut. Następnie fragmenty bulwy ziemniaka umieść w dwóch odrębnych probówkach wypełnionych 0,01-procentowym roztworem błękitu metylenowego i szczelnie zamknij je gumowymi korkami.

Wynik doświadczenia: Po 30 min porównaj zabarwienie roztworów w obu probówkach.

Wniosek: Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Dehydrogenazy są enzymami, które przenoszą wodór ze specyficznych substratów na określony związek, tzw. akceptor. W doświadczeniu akceptorem jest ciemnoniebieski barwnik (błękit metylenowy), który pod wpływem enzymu przekształca się w bezbarwną substancję (biel metylenową).

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij mechanizm działania enzymów, uwzględniając ich budowę.
2. Wymień czynniki wpływające na szybkość reakcji enzymatycznych.
3. Scharakteryzuj wpływ czynników fizycznych na działanie enzymów.
4. Porównaj mechanizm działania inhibitorów hamujących nieodwracalnie i inhibitorów hamujących odwracalnie aktywność enzymów.
5. Opisz, na czym polega hamowanie kompetycyjne oraz niekompetycyjne.
6. Wyjaśnij, dlaczego enzymy proteolityczne są zwykle syntetyzowane w postaci nieaktywnych proenzymów.

Warto zajrzeć!

 biofizyka.p.lodz.pl/prezentacje/bioch_enz1.pps

3

Autotroficzne odżywianie się organizmów – fotosynteza

Warunkiem życia wszystkich organizmów jest stały dopływ energii. Organizmy pozyskują ją z różnych źródeł, a następnie wykorzystują do przeprowadzania czynności życiowych. Część energii jest przez nie również przechowywana.

■ Pokarm jako źródło energii

Jednym ze źródeł energii niezbędnej do zachodzenia procesów życiowych, a jednocześnie środkiem wykorzystywanym do budowy ciała, jest dla wszystkich organizmów pokarm. Istnieją dwa główne sposoby jego pozyskiwania. Pierwszy cechuje organizmy samożywne, czyli autotrofy, drugi – organizmy cudzożywne, czyli heterotrofy.

Autotrofy mają zdolność przemiany prostych związków nieorganicznych w złożone związki organiczne. Dokonują tego za pomocą **energii świetlnej** w procesie fotosyntezy lub **energii chemicznej** pochodzącej z utleniania prostych związków mineralnych w procesie chemosyntezy. Fotosyntezę przeprowadzają rośliny, protisty roślinopodobne oraz niektóre bakterie (np. sinice, bakterie zielone i purpurowe), natomiast chemosyntezę – niektóre bakterie, np. żelazowe. **Heterotrofy**, do których należy większość bakterii, protisty zwierzęce i grzybobodobne, grzyby, zwierzęta, a także większość roślin pasożytniczych, korzystają ze związków organicznych wytworzonych przez organizmy samozywne.

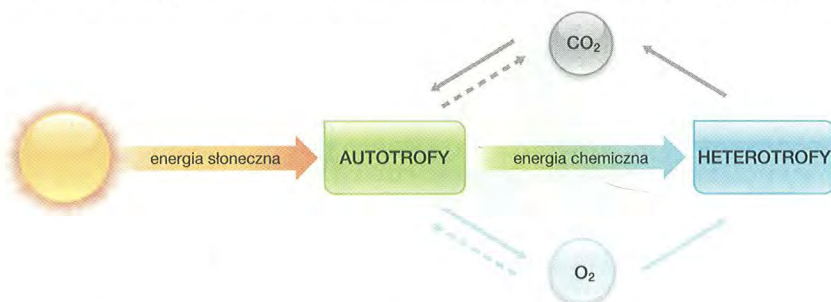
■ Synteza cukrów prostych w przebiegu fotosyntezy

Fotosynteza jest złożonym procesem wytwarzania związków organicznych z prostych związków nieorganicznych przy udziale energii świetlnej. Substratami fotosyntezy są najczęściej dwutlenek węgla i woda. **Dwutlenek węgla** jest pobierany z powietrza atmosferycznego (u roślin lądowych przez aparaty szparkowe oraz przetchlinki) lub z wody w postaci jonów wodorowęglanowych (rośliny wodne). **Woda** wraz z rozpuszczonymi w niej solami mineralnymi dociera do wnętrza roślin lądowych z gleby, zwykle za pośrednictwem systemu korzeniowego. Rośliny żyjące w środowisku wodnym pobierają wodę całą powierzchnią ciała.

W wyniku bardzo złożonego ciągu reakcji w procesie fotosyntezy powstaje aldehyd fosfoglicerynowy, z którego w dalszych przemianach może powstać **glukoza**, inne, **bardziej złożone węglowodany**, **białka** lub **tłuszcze**. Można więc powiedzieć, że w trakcie fotosyntezy energia świetlna jest przekształcana w energię związków chemicznych. Poza związkami organicznymi produktem fotosyntezy u roślin jest tlen.

Znane są dwa rodzaje fotosyntezy:

- ▶ fotosynteza przebiegająca z uwolnieniem tlenu (u roślin, protistów roślinopodobnych i sinic),
- ▶ fotosynteza zachodząca bez uwolnienia tlenu (u bakterii zielonych i purpurowych).



Wykorzystanie energii przez autotrofy i heterotrofy. Światło słoneczne jest źródłem energii świetlnej wykorzystywanej do syntetyzowania związków organicznych przez większość autotrofów. Natomiast heterotrofy korzystają z wyprodukowanych przez autotrofy wysokoenergetycznych związków organicznych.

Przebieg fotosyntezy u roślin (przy założeniu, że głównym produktem jest glukoza)



Przebieg fotosyntezy u bakterii zielonych i purpurowych



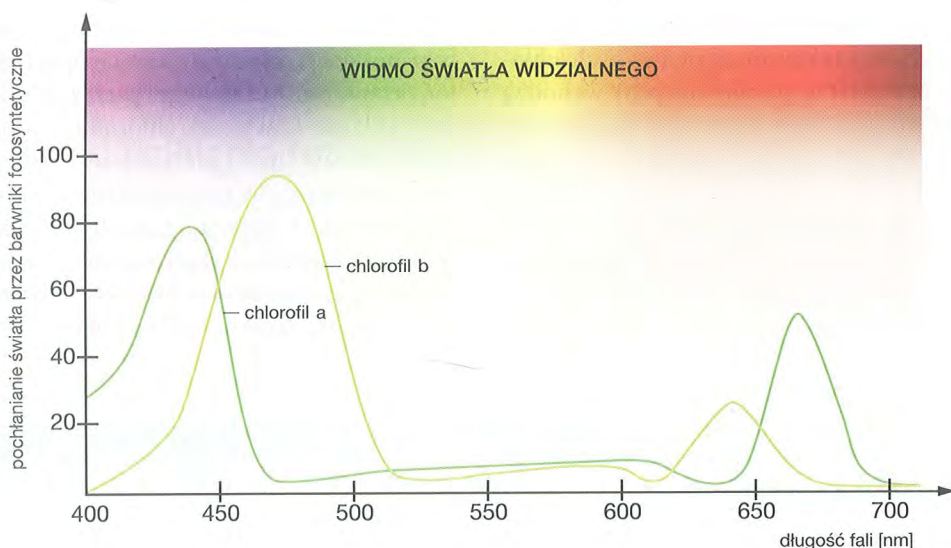
Barwniki aktywne w fotosyntezie

Pochłanianie światła w czasie fotosyntezy następuje dzięki odpowiednim barwnikom. U roślin i protistów roślinopodobnych barwniki te znajdują się w tylakoidach chloroplastów. U bakterii fotosyntetyzujących barwniki rozmieszczone są w tylakoidach, będących wpukleniami błony komórkowej, które są funkcjonalnymi odpowiednikami chloroplastów. Do barwników aktywnych w fotosyntezie należy u bakterii zielony **bakteriochlorofil**, a u roślin i protistów roślinopodobnych **chlorofile** oraz **barwniki pomocnicze**. Barwnikami pomocniczymi są: **karotenoidy** (np. pomarańczowy karoten i żółty ksantofil), a u protistów roślinopodobnych także np. niebieska **fikocyjanina** i czerwona **fikoerytryna**.

U roślin głównymi organami, w których wytwarzane są związki organiczne, są liście, a u roślin zielnych także łodygi. Występujący w ich chloroplastach chlorofil nadaje im zielone zabarwienie. Nawet liście o zabarwieniu brązowym, czerwonym lub szarym zawierają chlorofil. Jego barwa jest jednak maskowana przez inne barwniki, np. pomarańczowy karoten.

Chlorofile pochłaniają światło widzialne przede wszystkim w zakresie fali niebieskich i czerwonych. Pozostałe barwniki fotosyntetyczne, np. karotenoidy, pochłaniają głównie światło niebieskozielone, które jest niedostępne dla chlorofilu. Następnie przekazują zaabsorbowaną energię na chlorofile.

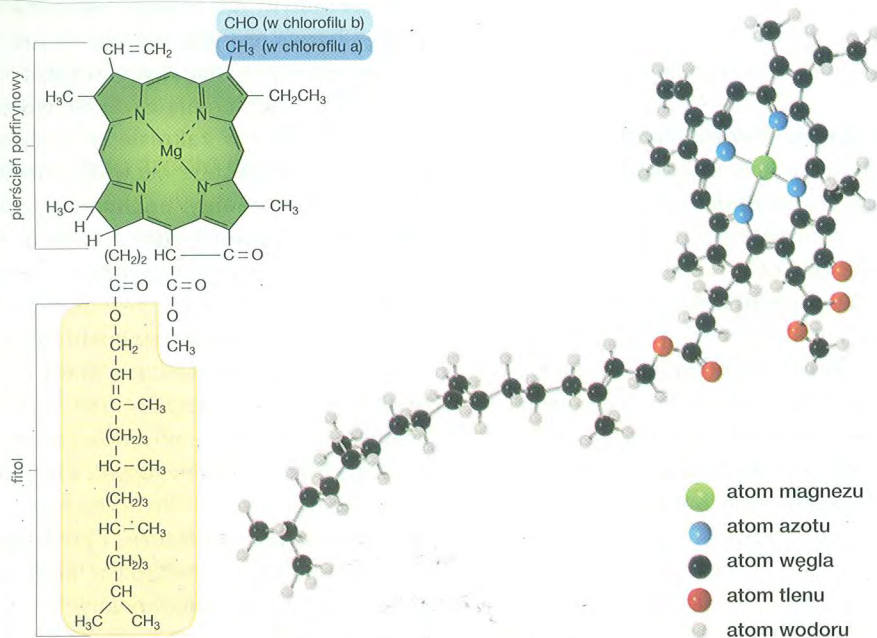
Cząsteczka chlorofilu, która pochłonie kwant energii świetlnej, przechodzi ze stanu podstawowego w stan wzbudzenia, czyli na wyższy poziom energetyczny. W obecności odpowiedniego związku, nazywanego pierwotnym akceptorem elektronów, elektron wybity z chlorofilu opuszcza jego cząsteczkę i przemieszcza się wzdłuż łańcucha nośników elektronów (specjalnych białek) wbudowanych w błony tylakoidów.



Widmo absorpcyjne chlorofilu a i chlorofilu b. Chlorofile słabo absorbują światło zielone, głównie je odbijają, dlatego są postrzegane jako barwniki zielone. Jednak ich barwa nie jest identyczna – chlorofil a jest niebieskozielony, chlorofil b – żółtozielony.

Budowa cząsteczki chlorofilu

Cząsteczka chlorofilu jest zbudowana z pierścienia porfiryнового oraz łańcucha fitolowego. W centralnej części pierścienia znajduje się wzbudzany światłem atom magnezu. Chlorofile różnią się rodzajem grupy dołączonej do pierścienia: chlorofil a ma grupę metylową ($-\text{CH}_3$), a chlorofil b – grupę aldehydową ($-\text{CHO}$).



■ Budowa i funkcje fotosystemów I i II

Cząsteczki barwników fotosyntetycznych (chlorofili i barwników pomocniczych) wchodzi w skład dwóch kompleksów barwnikowo-białkowo-lipidowych nazywanych **fotosystemami**. Fotosystemy warunkują przebieg wszystkich reakcji fotochemicznych tej fazy fotosyntezy, która zależy od światła. Każdy fotosystem zawiera **centrum reakcji** i towarzyszące mu **anteny energetyczne**.

W **centrum reakcji** fotosystemu znajduje się para cząsteczek chlorofilu a oraz pierwotny akceptor elektronów. **Anteny energetyczne** składają się z kilkuset cząsteczek chlorofilu i karotenoidów. Ich zasadniczą funkcją jest **pochłanianie** oraz **przekazywanie energii** do centrum reakcji fotosystemu. Dzięki temu z cząsteczki chlorofilu znajdującego się w centrum reakcji może zostać wybity elektron, wychwytywany następnie przez pierwotny akceptor elektronów.

Wybrane barwniki roślinne i pochłaniane przez nie fale świetlne

Barwniki asymilacyjne	Pochłaniane fale świetlne	Kolor barwnika
Chlorofile	chlorofil a	niebieskie i czerwone
	chlorofil b	niebieskie i pomarańczowe
Karotenoidy	karoten	niebieskie i zielone
	ksantofil	niebieskie

Rośliny mają dwa rodzaje fotosystemów:

- ▶ **fotosystem I (PS I)** – chlorofil znajdujący się w centrum reakcji tego fotosystemu wykazuje maksimum absorpcji przy długości fali 700 nm, dlatego jest nazywany **P-700** (ang. *pigment 700*). Barwnikiem pomocniczym jest najczęściej karoten;
- ▶ **fotosystem II (PS II)** – chlorofil znajdujący się w centrum reakcji tego fotosystemu wykazuje maksimum absorpcji przy długości fali 680 nm, stąd jego nazwa **P-680**. Barwnikiem pomocniczym jest ksantofil.

■ Fotosynteza u roślin

U roślin fotosynteza przebiega w dwóch fazach. Są to:

- ▶ **faza zależna od światła (faza jasna)**, która zachodzi w tylakoidach chloroplastów i wymaga udziału energii świetlnej,
- ▶ **faza niezależna od światła (faza ciemna, cykl Calvina)**, która zachodzi w stromie chloroplastów i wymaga obecności produktów fazy jasnej fotosyntezy.

Faza zależna od światła

Istotą tej fazy jest przekształcenie energii świetlnej w energię chemiczną, magazynowaną w postaci **ATP** i **NADPH + H⁺**. Oba te związki stanowią tzw. **siłę asymilacyjną**. Jest ona

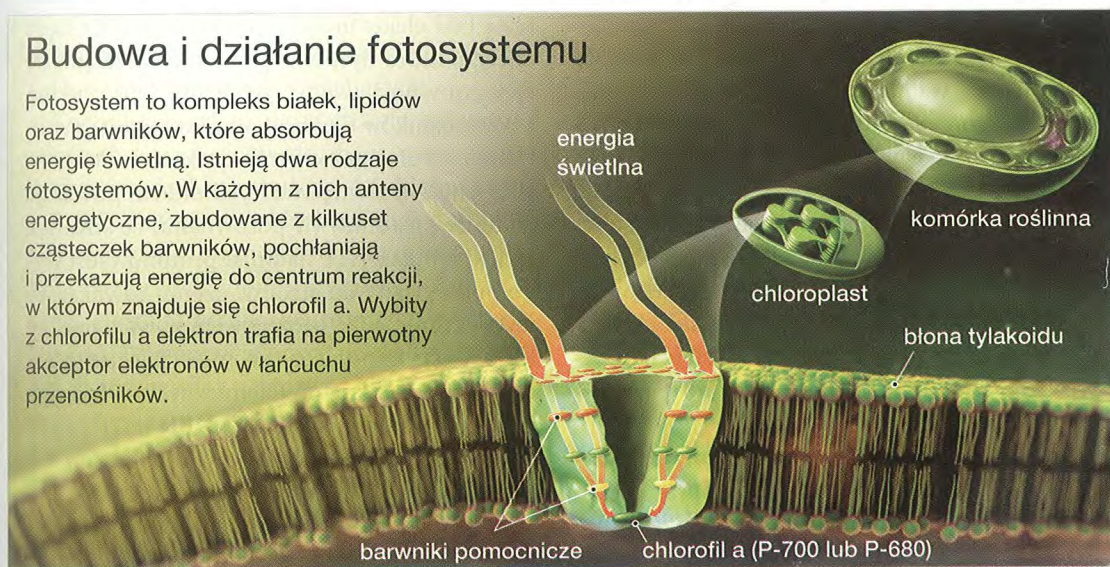
niezbędna do przebiegu drugiej fazy fotosyntezy, niezależnej od światła. Powstawanie siły asymilacyjnej jest związane z właściwościami chlorofilu. Wzbudzone światłem cząsteczki chlorofilu uwalniają elektrony, które następnie są transportowane przez szereg przonośników znajdujących się w błonie tylakoidów. Przemieszczanie się elektronów wzdłuż każdego ze szlaków powoduje różnicę w liczbie protonów po obu stronach błony tylakoidów (we wnętrzu tylakoidów jest więcej protonów niż w stromie). Nadmiar protonów wypływa z tylakoidów do stromy przez enzym – **syntazę ATP**, co napędza syntezę ATP. Energia niezbędna do powstawania ATP pochodzi z fotonów, dlatego proces ten nazwano **fosforylacją fotosyntetyczną**.

Znane są dwa szlaki transportu elektronów:

- ▶ **niecykliczny**, w którym elektrony zapełniające luki w cząsteczkach wzbudzonego światłem chlorofilu w fotosystemie I pochodzą z fotosystemu II,
 - ▶ **cykliczny**, w którym elektrony zapełniające luki elektronowe w fotosystemie I pochodzą z tego samego fotosystemu, tzn. z fotosystemu I.
- Fosforylację, podczas której zachodzi niecykliczny transport elektronów, nazywamy fosforylacją fotosyntetyczną niecykliczną, a tę, podczas której zachodzi cykliczny transport elektronów – fosforylacją fotosyntetyczną cykliczną.

Budowa i działanie fotosystemu

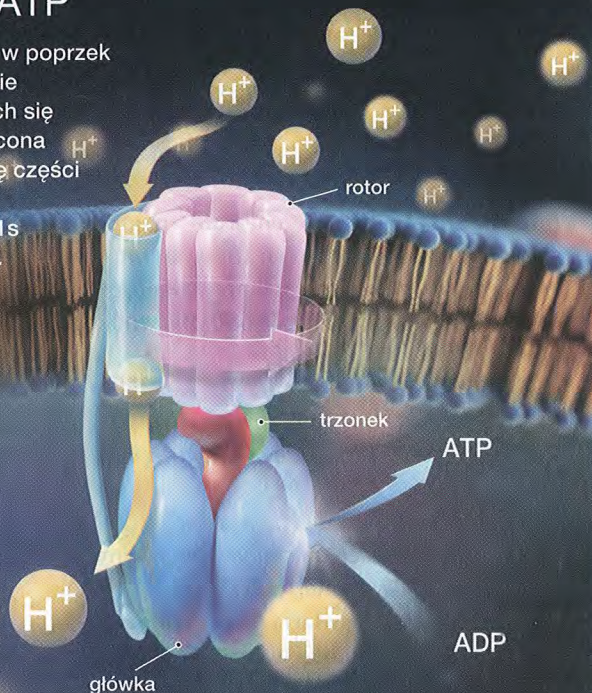
Fotosystem to kompleks białek, lipidów oraz barwników, które absorbują energię świetlną. Istnieją dwa rodzaje fotosystemów. W każdym z nich anteny energetyczne, zbudowane z kilkuset cząsteczek barwników, pochłaniają i przekazują energię do centrum reakcji, w którym znajduje się chlorofil a. Wybity z chlorofilu a elektron trafia na pierwotny akceptor elektronów w łańcuchu przonośników.



Budowa i działanie syntazy ATP

Syntaza ATP to duży enzym, który tworzy kanał w poprzek błony, co pozwala na przepływ protonów zgodnie z różnicą ich stężeń. Energia przemieszczających się przez syntazę ATP protonów zostaje przekształcona najpierw w energię mechaniczną obracającej się części enzymu, a następnie w energię chemiczną wysokoenergetycznego wiązania ATP. W ciągu 1s enzym może wytworzyć do 100 cząsteczek ATP.

Elementy enzymu zanurzone w błonie tworzą kanał, przez który są transportowane protony. Ruch protonów wywołuje szybki obrót rotora oraz przyczepionych do niego trzonka i główki. Podjednostki stanowiące szczytową część główki przekształcają energię mechaniczną w energię chemiczną cząsteczek ATP.



Fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna zachodzi u roślin funkcjonujących w optymalnych warunkach natężenia światła i stężenia dwutlenku węgla. Fosforylacja niecykliczna wymaga udziału obu fotosystemów. Rozpoczyna się w chwili absorpcji przez fotosystem I fotonów o odpowiedniej długości fali, co powoduje wybite dwóch elektronów. W ten sposób w cząsteczce wzbudzonego chlorofilu powstaje luka elektronowa, która podobnie jak pompa ssąca przyciąga elektrony. Uwolnione elektrony nie powracają na swoje dawne miejsce, ponieważ niemal natychmiast zostają wychwycone przez pierwotny akceptor elektronów i skierowane na łańcuch przenośników elektronów (w tym ferredoksynę), a ostatecznie na NADP^+ . Związek ten ulega redukcji, przekształcając się w $\text{NADPH} + \text{H}^+$. Źródłem protonów wykorzystywanych do redukcji NADP^+ jest woda, która w chloroplastach ulega fotolizie (rozkładowi). W reakcji fotolizy wody oprócz protonów powstają tlen cząsteczkowy (uwalniany do atmosfery) i elektrony. Zapełniają one luki

elektronowe cząsteczki chlorofilu w fotosystemie II, natomiast chlorofil w fotosystemie II przekazuje dwa wybite fotonem elektrony kolejnym przenośnikom elektronów (są to plastochinon, kompleks cytochromów i plastocyjanina). Ostatecznie elektrony z fotosystemu II wypełniają luki elektronowe w fotosystemie I. Część energii, którą dysponują przemieszczające się elektrony, jest wykorzystywana przez jeden z przenośników do przepompowywania protonów ze stromy do wnętrza tylakoidów. W konsekwencji we wnętrzu tylakoidów powstaje nadmiar protonów (w porównaniu ze stromą). Dzięki syntazie ATP nadmiar protonów jest wypompowywany do stromy, czemu towarzyszy wytworzenie ATP. Można więc powiedzieć, że fosforylacja fotosyntetyczna niecykliczna to całokształt przemian fotochemicznych, w których wyniku powstają ATP i $\text{NADPH} + \text{H}^+$, czyli tzw. siła asymilacyjna, oraz uwalnia się tlen.

Fosforylacja fotosyntetyczna cykliczna zachodzi u roślin w warunkach silnego oświetlenia i małego stężenia dwutlenku węgla

w komórkach i wynika m.in. z niedoboru NADP^+ . Jest to zespół przemian fotochemicznych, w których wyniku powstaje ATP, czyli tylko część siły asymilacyjnej. **Fosforylacja cykliczna dotyczy jedynie fotosystemu I**, przy czym elektrony uwolnione z cząsteczek wzbudzonego światłem chlorofilu są transportowane wzdłuż łańcucha nośników (ferredoksyny, kompleksu cytochromów, plastocjaniny), a następnie powracają do tego samego fotosystemu, zapelniając jego luki elektronowe. Część energii uwalnianej podczas wędrówki elektronów zostaje zużyta do pompowania protonów ze stromy do wnętrza tylakoidów. Wytworzona różnica w stężeniu protonów między wnętrzem tylakoidu (nadmiar protonów) a stromą (niedobór protonów) jest wykorzystywana do syntezy ATP. W fosforylacji fotosyntetycznej cyklicznej **nie powstaje $\text{NADPH} + \text{H}^+$ ani nie dochodzi do fotolizy wody, więc nie uwalnia się tlenu**. Tym samym nie jest możliwe przeprowadzenie fazy ciemnej procesu fotosyntezy, wymagającej obecności zredukowanego NADP.

Faza niezależna od światła – cykl Calvina

Faza ta polega na asymilacji, czyli wiązaniu dwutlenku węgla w cyklu reakcji biochemicznych, który od nazwiska jego odkrywcy został nazwany **cyklem Calvina**. Przebieg tej fazy wymaga stałego dopływu produktów fazy świetlnej w postaci siły asymilacyjnej (ATP i $\text{NADPH} + \text{H}^+$). Na cykl Calvina składają się trzy etapy: karboksylacja, redukcja i regeneracja.

Karboksylacja to przyłączanie dwutlenku węgla do pięciowęglowego, dwukrotnie ufosforylowanego cukru **rybulozo-1,5-bisfosforanu – RuBP** (ang. *ribulose biphosphate*). Karboksylacja jest katalizowana przez enzym zwany karboksylazą rybulozobifosforanową – **RuBisCO** (ang. *ribulose biphosphate carboxylase-oxygenase*). W rezultacie powstaje nietrwały związek sześciowęglowy, który prawie natychmiast rozpada się na dwie cząsteczki **trójwęglowego kwasu 3-fosfoglicerynowego (PGA)**.

Następnym etapem jest **redukcja**. Obejmuje ona przekształcanie kwasu 3-fosfoglicerynowego w **aldehyd 3-fosfoglicerynowy (PGAL)** przy

udziale siły asymilacyjnej (ATP i $\text{NADPH} + \text{H}^+$). Aldehyd 3-fosfoglicerynowy jest trójwęglowym cukrem prostym, który stanowi **pierwotny produkt fotosyntezy**. Jest on jednym z kluczowych związków metabolicznych – substratem do syntezy innych cukrów (prostych i złożonych), białek, tłuszczów, a także pozostałych związków organicznych. Wszystkie wymienione związki powstające z aldehydu 3-fosfoglicerynowego są **wtórnymi produktami fotosyntezy**.

Podczas **regeneracji** następuje odtwarzanie rybulozo-1,5-bisfosforanu przy wykorzystaniu pięciu cząsteczek aldehydu 3-fosfoglicerynowego. Proces ten wymaga udziału ATP.

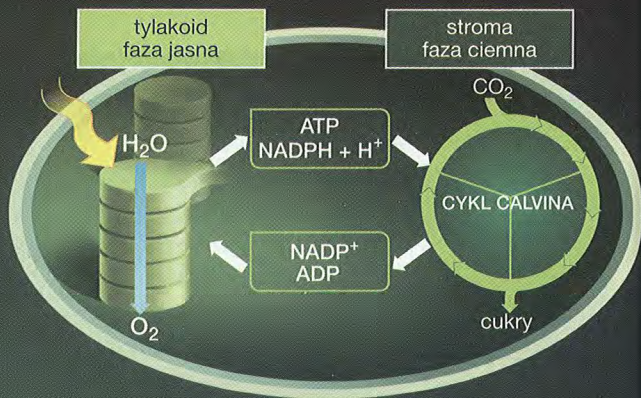
Z sześciu cząsteczek PGAL powstałych w jednym cyklu przemian zaledwie jedna cząsteczka stanowi **zysk fotosyntezy**.

■ Przyczyny i skutki fotooddychania

Fotooddychanie (fotorespiracja) jest procesem, który zachodzi u roślin w warunkach małego stężenia dwutlenku węgla i dużego stężenia tlenu w komórkach. Sytuacja taka ma miejsce w gorące dni, przy silnym nasłonecznieniu i niedoborze wody. Aby zachować wodę, rośliny zamykają aparaty szparkowe, co jest równoznaczne z zaprzestaniem wymiany gazowej. W procesie fotosyntezy rośliny szybko zużywają pozostały w ich tkankach dwutlenek węgla, za to gromadzą uboczny produkt procesu – tlen. W tych warunkach ujawniają się specyficzne właściwości RuBisCO. Enzym ten wykazuje powinowactwo zarówno do dwutlenku węgla, jak i do tlenu. Może zatem przeprowadzać karboksylację i oksygenację RuBP, czyli odpowiednio: przyłączanie dwutlenku węgla i tlenu. Po oksygenacji zamiast dwóch cząsteczek 3-fosfoglicerynianu powstaje tylko jedna. Zmniejszenie liczby cząsteczek 3-fosfoglicerynianu uczestniczących w cyklu Calvina powoduje poważne ograniczenie wydajności fotosyntezy. W konsekwencji następuje zmniejszenie produktywności roślin, co ma istotne znaczenie zwłaszcza w wypadku gatunków uprawnych. W przeciwieństwie do oddychania tlenowego w tym procesie nie powstają związki wysokoenergetyczne, np. ATP.

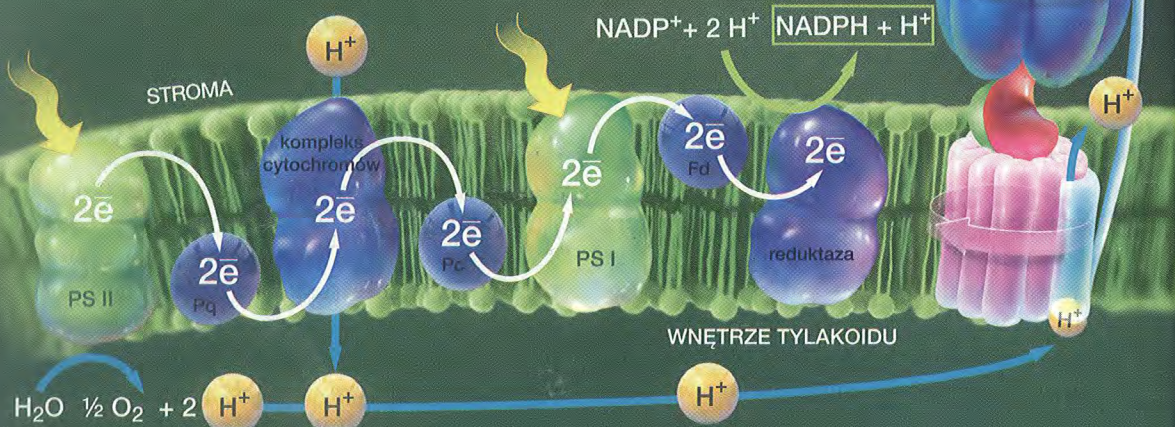
Przebieg fotosyntezy

Fotosynteza u roślin to ciąg reakcji, podczas których ze związków nieorganicznych (CO_2 i H_2O) pod wpływem energii świetlnej powstają związki organiczne. Reakcje te przebiegają w dwóch fazach, przy czym faza jasna zachodzi w tylakoidach chloroplastów, faza ciemna (cykl Calvina) zachodzi w stromie chloroplastów.



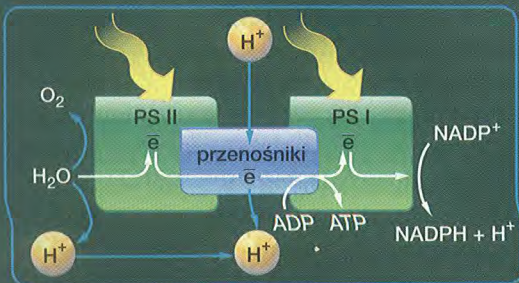
Faza jasna

Polega na przemianie energii świetlnej w energię chemiczną magazynowaną w postaci ATP i $\text{NADPH} + \text{H}^+$. Związki te stanowią siłę asymilacyjną potrzebną do przebiegu drugiej fazy fotosyntezy. Ubocznym produktem tej fazy jest tlen. Błony tylakoidów, w których zachodzi faza świetlna, zawierają dwa fotosystemy (fotosystem PS II i PS I), pomiędzy którymi znajdują się przenośniki elektronów oraz enzym – syntaza ATP.



Fosforylacja niecykliczna

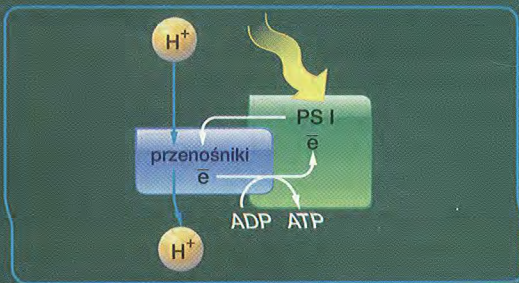
Przebiega z udziałem dwóch fotosystemów i prowadzi do wytworzenia ATP i $\text{NADPH} + \text{H}^+$.



Wybite z PS I elektrony trafiają na łańcuch przenośników, a pozostała po ich wybitciu luka elektronowa zostaje uzupełniona elektronami wybitymi z PS II.

Fosforylacja cykliczna

Przebiega z udziałem fotosystemu PS I i prowadzi do wytworzenia tylko ATP. Zachodzi np. w warunkach niedoboru wody.

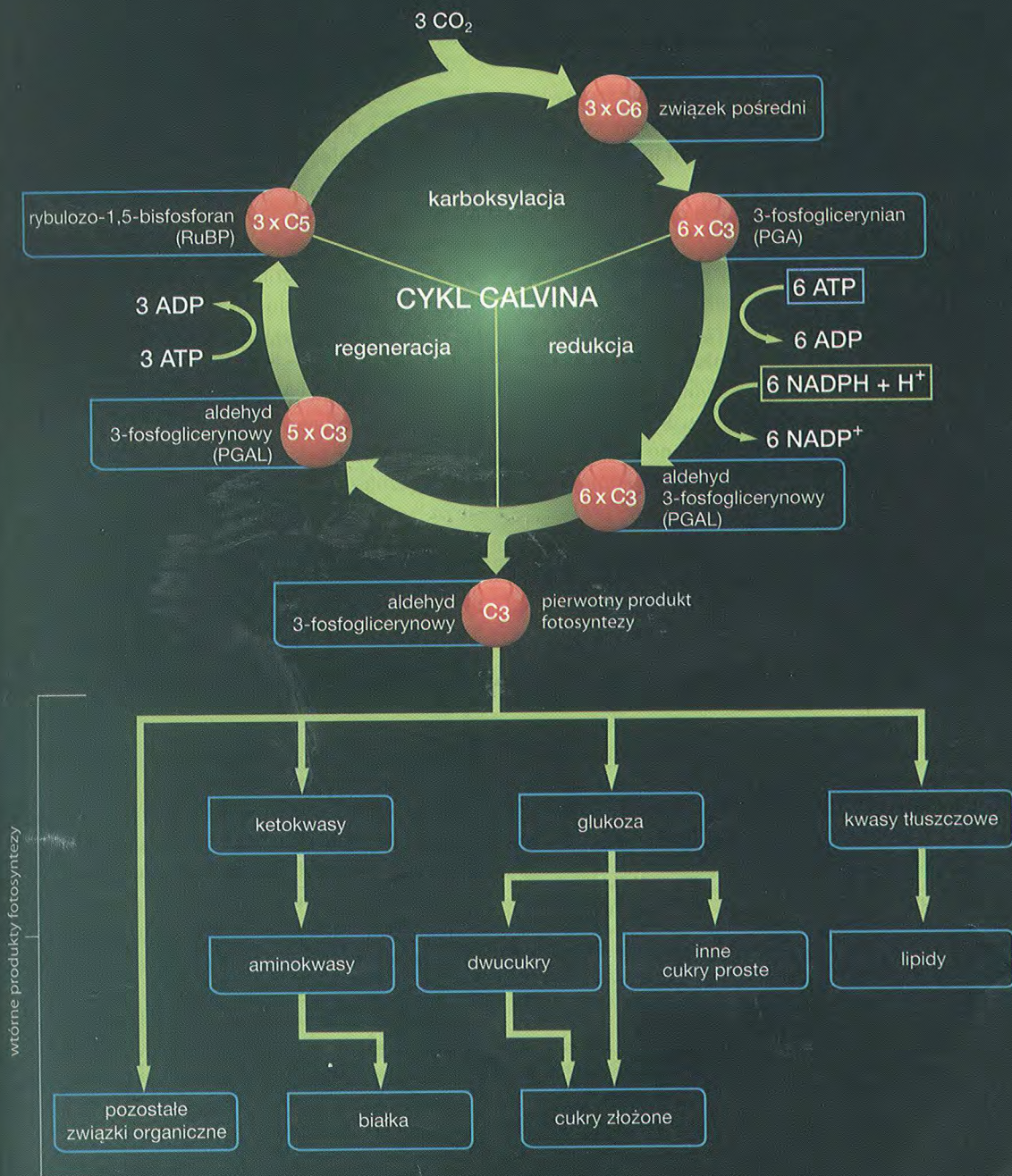


Wybite z PS I elektrony po przejściu przez system przenośników wracają na PS I.

PS II, PS I – fotosystemy Pq – plastochinon Pc – plastocyjanina Fd – ferredoksyna

Faza ciemna (cykl Calvina)

Jest to proces redukcji dwutlenku węgla przy udziale $\text{NADPH} + \text{H}^+$ i ATP (siły asymilacyjnej, powstałej w czasie fazy świetlnej) i wbudowywania go w związki organiczne. Faza ciemna przebiega w trzech etapach. Karboksylacja polega na przyłączeniu dwutlenku węgla do rybulozo-1,5-bisfosforanu (RuBP) i wytworzeniu kwasu 3-fosfoglicerynowego (PGA). Redukcja to przekształcanie kwasu 3-fosfoglicerynowego w aldehyd 3-fosfoglicerynowy (PGAL) przy udziale siły asymilacyjnej (ATP i $\text{NADPH} + \text{H}^+$). Regeneracja umożliwia odtworzenie rybulozo-1,5-bisfosforanu.



■ Rośliny typu C3 i C4

U zdecydowanej większości roślin pierwszym produktem karboksylacji jest trójwęglowa cząsteczka 3-fosfoglicerynianu, stąd ich nazwa: **rośliny typu C3**. U niektórych gatunków roślin występujących w okołorównikowej i zwrotnikowej strefie klimatycznej wykształcił się dwuetapowy mechanizm wiązania dwutlenku węgla. Pierwotnym produktem karboksylacji jest w nim czterowęglowa cząsteczka szczawiooctanu. Z tego powodu nazywa się je **roślinami typu C4**. Należą do nich m.in. kukurydza i trzcina cukrowa.

U roślin typu C4 asymilacja dwutlenku węgla obejmuje dwa etapy:

- ▶ cykl przemian zachodzący w **komórkach miękiszu asymilacyjnego** liścia,
- ▶ cykl Calvina, czyli cykl przemian zachodzący w komórkach **pochwy okołowiązkowej** liścia.

Znaczenie fotosyntezy C4 polega na zwiększaniu stężenia dwutlenku węgla w komórkach pochwy okołowiązkowej – może ono być tam nawet kilkadziesiąt razy większe niż w komórkach miękiszu asymilacyjnego. Gwarantuje to wysoką wydajność asymilacji dwutlenku węgla w cyklu Calvina, co oznacza większą produktywność roślin typu C4 w porównaniu z roślinami typu C3.

■ Fotosynteza u roślin typu CAM

Rośliny stanowisk suchych funkcjonują w nieprzyjaznych warunkach dzięki odpowiednim adaptacjom, m.in. magazynowaniu wody

Porównanie fotosyntezy u roślin typu C3 i C4

Cechy	Typ roślin	Rośliny typu C3	Rośliny typu C4
Pierwszy akceptor CO ₂		RuBP	fosfoenolopirogronian
Pierwszy produkt karboksylacji		PGA	szczawiooctan
Temperatura, przy której fotosynteza osiąga maksymalną wydajność		25°C	40°C
Wiązanie CO ₂		rano i po południu	wieczorem i w nocy
Rola fotooddychania		duża	brak

w komórkach miękiszu liści. Wiele spośród tych roślin, zwłaszcza z rodziny gruboszowatych (*Crassulaceae*), do których należą np. rozchodnik, rojnik czy grubosz jajowaty, wykształciło także pewne przystosowania fizjologiczne. Należy do nich szlak fotosyntetyczny, zwany w skrócie **CAM** – od pierwszych liter angielskiej nazwy tych roślin (ang. *crassulacean acid metabolism*).

W ciągu dnia aparaty szparkowe roślin typu CAM pozostają zamknięte. Z tego powodu pobieranie dwutlenku węgla we wszystkich komórkach miękiszu asymilacyjnego odbywa się w nocy (gdy aparaty szparkowe są otwarte) i przebiega w cyklu reakcji, które prowadzą do powstania jabłczanu (kwasu jabłkowego). Związek ten jest gromadzony w wakuolach komórek miękiszu asymilacyjnego. W ciągu dnia, kiedy w fazie fotosyntezy zależnej od światła powstaje siła asymilacyjna (ATP i NADPH + H⁺), w komórkach miękiszu przebiega cykl Calvina. Źródłem wiązanego w cyklu Calvina dwutlenku węgla są reakcje dekarboksylacji nagromadzonego nocą jabłczanu. Z powodu gromadzenia kwasu jabłkowego rośliny te nazywane są również **roślinami kwasowymi**. Rośliny kwasowe, dzięki zamykaniu aparatów szparkowych w dzień, prowadzą bardzo oszczędną gospodarkę wodną. Konsekwencją tego jest jednak ich bardzo wolny wzrost.

■ Znaczenie fotosyntezy

Rośliny są głównymi **producentami** materii organicznej. Rośliny zielone wytwarzają w procesie fotosyntezy złożone wysokoenergetyczne związki organiczne stanowiące źródło energii i materiałów budulcowych, z którego korzystają zarówno one same, jak i wszystkie organizmy cudzożywne (heterotrofy). Heterotrofy korzystają ze związków wytworzonych w procesie fotosyntezy bezpośrednio (poprzez spożywanie roślin lub ich części) albo pośrednio (jedząc zwierzęta roślinożerne).

Fotosynteza jest także jedynym naturalnym **źródłem tlenu na Ziemi**. Wytwarzany przez rośliny zielone tlen przechodzi do atmosfery, skąd pobierają go wszystkie organizmy oddychające w sposób tlenowy.

Fotosynteza u roślin typu C₃ i C₄

Rośliny typu C₃ występujące w strefie zwrotnikowej są narażone na niedobór H₂O. Aby ograniczyć utratę wody, zamykają aparaty szparkowe, co skutkuje niedoborem CO₂ i spadkiem wydajności fotosyntezy wskutek fotooddychania. Z kolei rośliny typu C₄ dzięki mechanizmom zwiększającym stężenie CO₂ mogą zamykać aparaty szparkowe w dzień i oszczędzać wodę, a jednocześnie nie są narażone na spadek wydajności fotosyntezy na skutek fotooddychania.

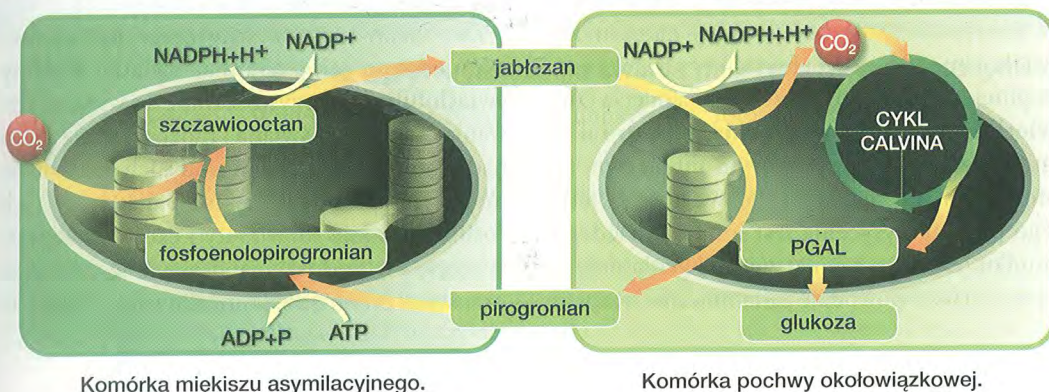


Budowa anatomiczna liścia rośliny typu C₃.

U roślin typu C₃ mięksisz asymilacyjny jest zróżnicowany na mięksisz palisadowy i mięksisz gąbczasty. W komórkach obu typów miększa zachodzi fotosynteza, w której fazą niezależną od światła jest cykl Calvina.

Budowa anatomiczna liścia rośliny typu C₄.

U roślin typu C₄ mięksisz asymilacyjny nie jest zróżnicowany, a w fotosyntezie uczestniczą dwa rodzaje komórek: komórki miększa asymilacyjnego oraz komórki miększowe pochwy okołowiazkowej.



Przebieg fotosyntezy u roślin typu C₄. W komórkach miększa asymilacyjnego zachodzi faza jasna fotosyntezy i asymilacja CO₂, natomiast w komórkach pochwy okołowiazkowej następuje asymilacja CO₂ do cyklu Calvina.

Polecenia kontrolne

1. Porównaj lokalizację oraz przebieg fotosyntezy w komórkach roślin oraz w komórkach bakterii zielonych i purpurowych.
2. Wyjaśnij związek między zależną a niezależną od światła fazą fotosyntezy.
3. Omów warunki, przebieg oraz efekty cyklicznej i niecyklicznej fosforylacji fotosyntetycznej.
4. Wymień etapy cyklu Calvina oraz przedstaw produkty i znaczenie każdego z nich.
5. Wyjaśnij pochodzenie nazewnictwa roślin typu C₃, roślin typu C₄, roślin typu CAM.
6. Podaj nazwę grupy roślin, u których obserwuje się fotooddychanie. Następnie określ przyczyny i skutki tego procesu.

Warto zajrzeć!

 www.pbkom.pl/pbkom/tom34/34pdf03/07445-476.pdf
http://zfr.uni.wroc.pl/sites/default/files/files/4_barwniki%20foto.pdf

4

Czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy

U roślin intensywność fotosyntezy zależy od czynników wewnętrznych oraz czynników zewnętrznych. Do **czynników wewnętrznych** należą m.in.: stosunek powierzchni liścia do jego objętości, liczba i rozmieszczenie aparatów szparkowych, wielkość przestrzeni międzykomórkowych miękiszu asymilacyjnego, grubość kutykuli, rozmieszczenie chloroplastów w komórkach miękiszu asymilacyjnego oraz ilość chlorofilu. Do **czynników zewnętrznych** wpływających na intensywność fotosyntezy zalicza się głównie: światło, dwutlenek węgla, temperaturę, wodę i sole mineralne.

■ Światło

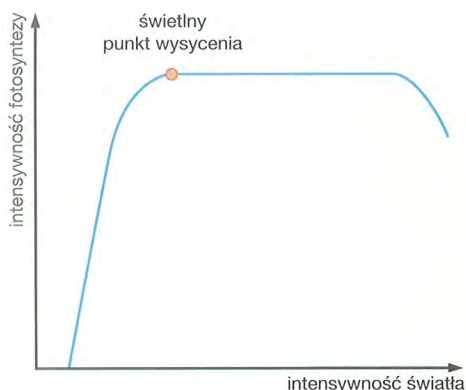
Światło jest podstawowym czynnikiem warunkującym przebieg fazy jasnej fotosyntezy, przy czym istotne znaczenie ma zarówno jego barwa, jak i natężenie. Zależność między natężeniem światła a intensywnością fotosyntezy jest wprost proporcjonalna, aż do momentu osiągnięcia tzw. **światelnego punktu wysycenia**. Jest to takie natężenie światła, przy którym intensywność fotosyntezy jest maksymalna. Wartość światelnego punktu wysycenia jest inna dla każdego gatunku. Zwiększenie natężenia światła powyżej tej wartości powoduje zahamowanie wzrostu

intensywności fotosyntezy. Przyczyniają się do tego dwa zjawiska:

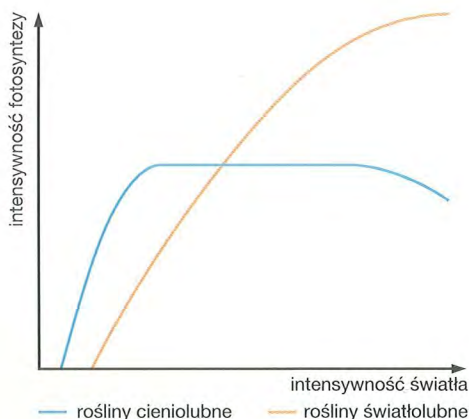
- ▶ **fotooksydacja chlorofilu**, czyli wzbudzenie zbyt wielu cząsteczek chlorofilu, co sprawia, że barwnik ulega inaktywacji i przestaje spełniać swoją funkcję,
- ▶ **intensywna transpiracja**, powodująca spadek turgoru, zamykanie aparatów szparkowych, a w efekcie brak dopływu dwutlenku węgla.

Światło wpływa na przebieg fotosyntezy również w sposób pośredni, ponieważ przyczynia się do rozwoju miękiszu asymilacyjnego liści, powstawania chloroplastów i chlorofilu. Bez dostępu do światła siewki roślin przyjmują barwę bladożółtą. Pochodzi ona od etioplastów, czyli plastydów zawierających żółty barwnik (protochlorofilid). Etioplasty przy dostatecznej ilości światła przekształcają się w chloroplasty.

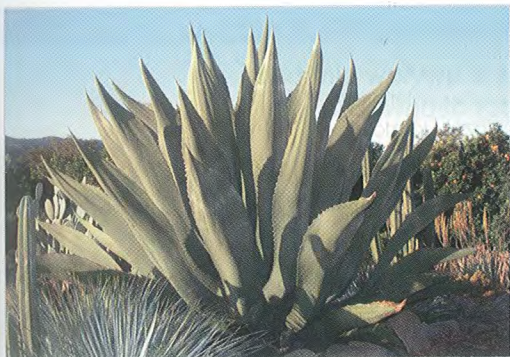
Dla roślin niekorzystny może być zarówno niedobór, jak i nadmiar światła. **Rośliny światłolubne** są przystosowane do wykorzystywania dużej ilości światła i radzenia sobie z jego nadmiarem oraz brakiem wody. Ich grube liście magazynują wodę. Miękisz palisadowy tych roślin jest silnie rozwinięty i często wielowarstwowy, a w miękiszu gąbczastym jest niewiele przestworów międzykomórkowych. Cechy te



Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła.



Zależność intensywności fotosyntezy od natężenia światła u roślin światłolubnych i cieniulubnych.



Agawa (*Agave sp.*) jest rośliną światłolubną. Gromadzi wodę w liściach, które są pokryte grubą warstwą kutykuli. Zabezpiecza to roślinę przed nadmiernym parowaniem wody.

odróżniają je od **roślin cieniolutubnych**, których liście są cieńsze, miękisz palisadowy ma krótsze komórki, a chloroplasty zawierają więcej chlorofilu, dzięki czemu rośliny te przeprowadzają fotosyntezę przy znacznie mniejszym nasłonecznieniu.



Przylaszczka pospolita (*Hepatica nobilis*) jest rośliną cieniolutubną. Jej młode liście z czasem stają się ciemnozielone ze względu na dużą zawartość chlorofilu.

Czy wiesz, że...

Zapotrzebowanie rośliny na światło zmienia się także w zależności od stadium rozwojowego.

Na przykład bluszcz może żyć w cieniu wynoszącym 2% pełnego oświetlenia, natomiast zakwita dopiero przy 25% pełnego oświetlenia.

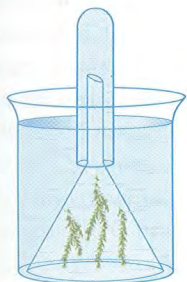
Doświadczenie

Badanie wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy

Problem badawczy: Wpływ natężenia światła na intensywność fotosyntezy moczarki kanadyjskiej.

Hipoteza: Światło powoduje wzrost intensywności fotosyntezy.

Przebieg doświadczenia: Trzy zlewki z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wzbogaconej dwutlenkiem węgla o temperaturze 25°C, umieszczone w różnych odległościach od źródła światła.



Sposób przygotowania prób.

Próba kontrolna

Zlewka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie wzbogaconej dwutlenkiem węgla o temperaturze 25°C, umieszczona w miejscu, gdzie nie ma dostępu do światła.

Przygotuj cztery zlewki z wodą wodociągową i mineralną gazowaną w stosunku 1:1 o temperaturze ok. 25°C, z pędami moczarki jednakowej wielkości. Następnie umieść tak przygotowane zlewki w różnej odległości od źródła światła (lampy z żarówką o mocy 100 W), np. 50 cm, 100 cm, 150 cm.

Wynik doświadczenia: Obserwuj wydzielanie się pęcherzyków gazu z liści moczarki kanadyjskiej umieszczonej w każdym z zestawów.

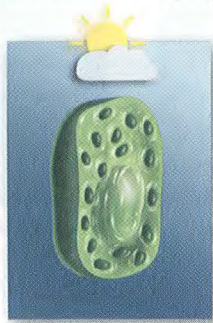
Wniosek: Na podstawie tych obserwacji wyciągnij wnioski dotyczące wpływu natężenia światła na intensywność fotosyntezy u roślin.

Rozmieszczenie chloroplastów

Wiele gatunków roślin dostosowuje się do aktualnych warunków świetlnych przez odpowiednie przemieszczanie się chloroplastów w cytozolu komórek.



W silnym świetle chloroplasty ustawiają się przy ścianach równoległych do kierunku padania promieni świetlnych.



W umiarkowanym świetle chloroplasty rozkładają się równomiernie.



W słabym świetle chloroplasty ustawiają się przy ścianach prostopadłych do kierunku padania promieni świetlnych.

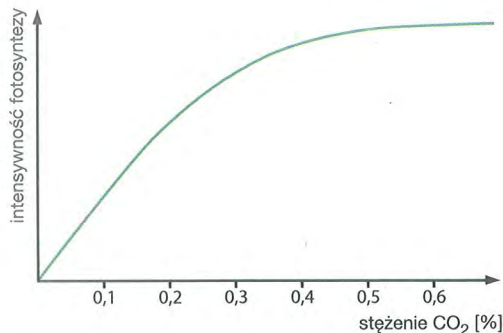
Dwutlenek węgla

Dwutlenek węgla jest jednym z substratów fotosyntezy wykorzystywanych w fazie ciemnej. Rośliny lądowe pobierają go w postaci gazowej, a rośliny wodne – w postaci jonów wodorowęglanowych. Zawartość dwutlenku węgla w środowisku lądowym i wodnym jest znacznie mniejsza niż wartości optymalne, przy których fotosynteza osiąga największą intensywność. Obecnie w atmosferze znajduje się ok. 0,03% dwutlenku węgla. Wraz ze zwiększaniem jego stężenia, ale tylko do określonych wartości (zwykle ok. 1%), zwiększa się intensywność fotosyntezy. Zależność tę wykorzystuje się z powodzeniem w hodowli niektórych

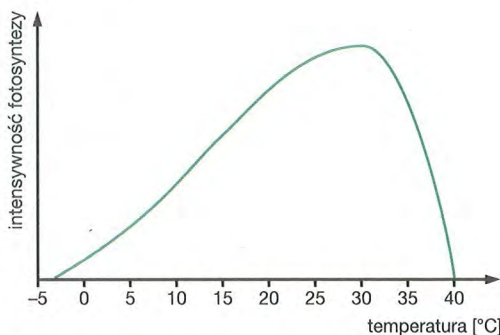
roślin, zwiększając zawartość dwutlenku węgla w powietrzu w zamkniętych pomieszczeniach, w których rosną rośliny. W praktyce polega to na umieszczaniu w nich brył tzw. suchego lodu, czyli zestalonego dwutlenku węgla.

Temperatura

Temperatura wywiera wpływ na wszystkie reakcje biochemiczne ze względu na to, że biorą w nich udział białka enzymatyczne. Wymagania roślin wobec temperatury warunkującej reakcje fotosyntezy są odmienne dla różnych stref klimatycznych (np. u roślin strefy okołobiegunowej fotosynteza może zachodzić w temperaturze poniżej 0°C, a u roślin strefy okołorównikowej



Zależność intensywności fotosyntezy od stężenia dwutlenku węgla.



Zależność intensywności fotosyntezy od temperatury u roślin strefy umiarkowanej.

Doświadczenie

Badanie wpływu stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy

Problem badawczy: Wpływ stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy moczarki kanadyjskiej.

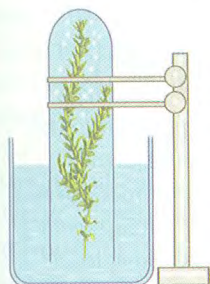
Hipoteza: Dwutlenek węgla powoduje wzrost intensywności fotosyntezy.

Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Probówka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie mineralnej gazowanej.

Próba kontrolna

Probówka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie mineralnej niegazowanej.



Sposób przygotowania obu prób.

Przygotuj dwie zlewki, a następnie napełnij każdą z nich taką samą ilością wody mineralnej gazowanej (zlewka I) oraz niegazowanej (zlewka II) o temperaturze ok. 25°C. Zwróć uwagę, aby w obu zlewkach znajdowała się woda o jednakowej zawartości soli mineralnych. Następnie napełnij wodą o takich samych parametrach jak w zlewkach I i II dwie probówki. Umieść w każdej z nich jednakowej wielkości pędy moczarki kanadyjskiej. Tak przygotowane probówki włóż do odpowiednich zlewek wypełnionych wodą. Następnie ustaw oba zestawy w równej odległości od źródła światła (lampy z żarówką o mocy 100 W).

Wynik doświadczenia: Obserwuj wydzielanie pęcherzyków gazu przez liście moczarki kanadyjskiej umieszczonej w każdym z zestawów.

Wniosek: Na podstawie tych obserwacji wyciągnij wnioski dotyczące wpływu stężenia dwutlenku węgla na intensywność fotosyntezy u roślin.

w temperaturze bliskiej 50°C). Rośliny strefy umiarkowanej wykazują największą intensywność fotosyntezy w przedziale temperatur 20–30°C. Ponieważ są to najczęściej rośliny typu C3, spowolnienie fotosyntezy w temperaturze powyżej 30°C przypisuje się przede wszystkim reakcjom fotooddychania.

■ Woda

Woda jest jednym z substratów fotosyntezy wykorzystywanych w fazie zależnej od światła jako dawca protonów i elektronów. Jest także źródłem tlenu uwalnianego do atmosfery. Woda wpływa na intensywność fotosyntezy również w sposób pośredni, zapewniając odpowiedni

turgor komórkom roślinnym. Tym samym umożliwia otwieranie się aparatów szparkowych, przez które dokonuje się wymiana gazowa (pobieranie dwutlenku węgla i uwalnianie tlenu).

■ Sole mineralne

Sole mineralne stanowią źródło magnezu potrzebnego do syntezy chlorofilu oraz są aktywatorami enzymów fotosyntetycznych (m.in. K^+ , Mn^{2+} , Zn^{2+}). Niedobór chociażby jednego z niezbędnych pierwiastków, mimo optymalnych ilości pozostałych, powoduje zmniejszenie intensywności fotosyntezy, a w skrajnych wypadkach – całkowite jej zahamowanie.

Doświadczenie

Badanie wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy

Problem badawczy: Wpływ temperatury na intensywność fotosyntezy.

Hipoteza: Wraz ze wzrostem temperatury rośnie intensywność fotosyntezy.

Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Trzy probówki z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie mineralnej gazowanej o temperaturze 10°C, 30°C i 50°C.

Próba kontrolna

Probówka z moczarką kanadyjską zanurzoną w wodzie mineralnej gazowanej o temperaturze pokojowej (ok. 20°C).

Przygotuj cztery zestawy służące do badania wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy w sposób podobny do przedstawionego na rysunku w poprzednim doświadczeniu. Pamiętaj, aby pędy moczarki w każdym zestawie miały jednakową wielkość. W każdym zestawie wykorzystaj taką samą ilość wody gazowanej, ale o różnej temperaturze: 10°C (zestaw I), 30°C (zestaw II), 50°C (zestaw III) i ok. 20°C (zestaw IV). Zadbaj o umieszczenie wszystkich zestawów w jednakowej odległości od źródła światła (lampy z żarówką o mocy 100 W).

Wynik doświadczenia: Obserwuj wydzielanie pęcherzyków tlenu przez liście moczarki kanadyjskiej umieszczonej w każdym z zestawów.

Wniosek: Na podstawie tych obserwacji wyciągnij wnioski dotyczące wpływu temperatury na intensywność fotosyntezy u roślin.

Polecenia kontrolne

1. Omów wpływ czynników zewnętrznych na intensywność fotosyntezy.
2. Wyjaśnij, jakie znaczenie dla ogrodnictwa ma znajomość czynników wpływających na intensywność fotosyntezy.
3. Zaproponuj przebieg doświadczenia, w którym zbadasz:
 - a) jaki gaz jest wydzielany podczas fotosyntezy.
 - b) wpływ natężenia światła na intensywność fotosyntezy.
4. Wskaż przyczynę spadku intensywności fotosyntezy u roślin typu C₃ w temperaturze powyżej 30°C.
5. Omów, w jaki sposób zmienia się rozmieszczenie chloroplastów w komórkach niektórych roślin w zależności od warunków świetlnych. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.
6. Wyjaśnij, dlaczego niedobór magnezu prowadzi do zahamowania fotosyntezy.

Warto zajrzeć!



http://zfr.uni.wroc.pl/sites/default/files/files/4_barwniki%20foto.pdf

5

Przebieg chemosyntezy

Innym niż fotosynteza sposobem autotroficznego wytwarzania pokarmu jest chemosynteza. Zachodzi ona u grupy bakterii, które czerpią energię potrzebną do asymilacji dwutlenku węgla nie z energii świetlnej, lecz z **utleniania prostych substancji nieorganicznych lub organicznych**, np. metanu, metanolu i mrówczanu. Nazwy bakterii chemosyntetyzujących związane są najczęściej z rodzajem utlenianego przez nie związku chemicznego, stąd wyróżnia się: bakterie nitryfikacyjne, które utleniają związki azotu, np. amoniak lub azotany(III), bakterie siarkowe utleniające siarkowodor, siarkę i inne związki siarki, bakterie wodorowe utleniające wodor oraz bakterie żelazowe, utleniające związki żelaza.

■ Synteza cukrów prostych podczas chemosyntezy

Chemosynteza przebiega w dwóch etapach:

► **etap 1.** polega na utlenieniu związków chemicznych. Umożliwia on wytwarzanie siły asymilacyjnej (ATP i NADH + H⁺ lub ATP i NADPH⁺ + H⁺) przy wykorzystaniu energii uwalnianej w reakcji utleniania;

► **etap 2.** polega na redukcji dwutlenku węgla do cukrów przy wykorzystaniu siły asymilacyjnej pochodzącej z pierwszego etapu chemosyntezy. Etap ten przebiega w sposób podobny do fazy fotosyntezy niezależnej od światła.

Poniżej przedstawiono przebieg chemosyntezy u bakterii nitryfikacyjnych z rodzaju *Nitrosomonas*. W pierwszym etapie chemosyntezy bakterie te utleniają amoniak do azotanów(III). Jest to reakcja silnie egzoergiczna, a uwolniona w niej energia służy do wytwarzania siły asymilacyjnej, wykorzystywanej następnie w etapie 2. do redukcji dwutlenku węgla.

Etap 1.



Etap 2.



U pozostałych grup bakterii etap 1. chemosyntezy umożliwia pozyskiwanie energii przez utlenianie innych związków, a etap 2. zachodzi zgodnie z równaniem przedstawionym powyżej.

Przykłady reakcji utleniania związków mineralnych w 1. etapie chemosyntezy

Bakterie nitryfikacyjne	
Rodzaj <i>Nitrosomonas</i>	$2 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energia chemiczna}$
Rodzaj <i>Nitrobacter</i>	$2 \text{HNO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{energia chemiczna}$
Bakterie siarkowe	
Rodzaj <i>Beggiatoa</i>	$2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energia chemiczna}$
Rodzaj <i>Thiobacillus</i>	$2 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{energia chemiczna}$
Bakterie wodorowe	
Rodzaj <i>Hydrogenomonas</i>	$2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energia chemiczna}$
Bakterie żelazowe	
Rodzaj <i>Ferrobacillus</i>	$2 \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Fe}(\text{OH})_3 + 4 \text{CO}_2 + \text{energia chemiczna}$

Życie w pobliżu kominów hydrotermalnych

Kominy hydrotermalne to miejsca w dnie oceanicznym, na głębokości 1500–4000 m, z których pod dużym ciśnieniem wydobywa się woda o temperaturze 300–400°C, zawierająca gazy wulkaniczne. W sąsiedztwie kominów hydrotermalnych wartość pH wody wynosi 2,8, a w jej skład wchodzi siarczki i siarczany takich metali, jak: cynk, ołów, miedź, żelazo i wapń, a także siarkowodor. Jednak nawet w tak ekstremalnych warunkach istnieje życie, a jego podstawę stanowią chemosyntetyzujące bakterie siarkowe. Występujące tam organizmy, m.in. małże, ślimaki, krewetki, rurkoczulkowce, ośmiornice i ryby, są powiązane zależnościami pokarmowymi. Niektóre z nich, np. należące do pierścienic rurkoczulkowce, zaadaptowały się do życia w tak skrajnych warunkach przez zależność łączącą je z bakteriami. Bakterie przekazują zwierzętom nadmiar związków produkowanych na drodze chemosyntezy, a w zamian otrzymują wszystkie składniki potrzebne do chemosyntezy.



Warto zajrzeć!

[http://www.ios.edu.pl/
pol/pliki/nr41/nr41_17.pdf](http://www.ios.edu.pl/pol/pliki/nr41/nr41_17.pdf)

Rurkoczulkowiec.

Znaczenie chemosyntezy

W porównaniu z fotosyntezą proces chemosyntezy nie ma dużego znaczenia w produkcji materii organicznej. W jego trakcie jednak związki toksyczne dla organizmów żywych zostają przekształcone w związki nietoksyczne, często

niezbędne dla roślin. Na przykład w wyniku chemosyntezy jednej z grup bakterii nitryfikacyjnych toksyczny amoniak jest utleniany do wykorzystywanych przez rośliny azotanów. Chemosynteza odgrywa więc istotną rolę w procesie **krążenia pierwiastków w przyrodzie**.

Polecenia kontrolne

1. Podaj przykłady organizmów, u których zachodzi chemosynteza.
2. Omów przebieg chemosyntezy.
3. Porównaj fotosyntezę z chemosyntezą. W tym celu uzupełnij tabelę.

Warto zajrzeć!

[http://www.e-biotechnologia.pl/
Artykuly/Chemosynteza/](http://www.e-biotechnologia.pl/Artykuly/Chemosynteza/)

Cecha	Fotosynteza	Chemosynteza
Pierwotne źródło energii do syntezy związków organicznych		
Znaczenie procesu dla przeprowadzającego go organizmu		
Rola procesu w funkcjonowaniu ekosystemu		

6

Oddychanie tlenowe

Podstawowym procesem dostarczającym komórkom energii jest **oddychanie komórkowe**. W jego trakcie związki organiczne są rozkładane na związki proste, czemu towarzyszy uwolnienie energii. Jest to więc **proces kataboliczny**. Część uwolnionej energii rozprasza się w postaci ciepła, a część zostaje krótkotrwale związana w cząsteczkach związków wysokoenergetycznych, głównie ATP. Związek ten musi być stale syntetyzowany, ponieważ jego zapas w komórce wystarcza najwyżej na kilkadziesiąt sekund, a czerpana z niego energia jest nieustannie zużywana na funkcje życiowe. Najczęściej substratem oddychania komórkowego jest **glukoza**. Rzadziej utleniane są inne cukry, następnie tłuszcze, a w szczególnych wypadkach – białka.

Oddychanie komórkowe przebiega najczęściej **z udziałem tlenu**, ponieważ w ten sposób komórki zyskują najwięcej energii chemicznej w postaci ATP. Może ono zachodzić również **bez udziału tlenu**, ale wówczas jest mniej wydajne pod względem produkcji ATP.

■ Przebieg oddychania tlenowego

Oddychanie tlenowe jest właściwością zarówno organizmów eukariotycznych (roślin, zwierząt, grzybów i części protistów), jak i prokariotycznych (niektórych bakterii). Mogą one przeżyć w środowisku zawierającym tlen, dlatego określa się je mianem **tlenowców** (aerobów).

Proces chemicznego pozaustrojowego utleniania glukozy (spalania) przebiega jednoetapowo z uwolnieniem dużej porcji energii:

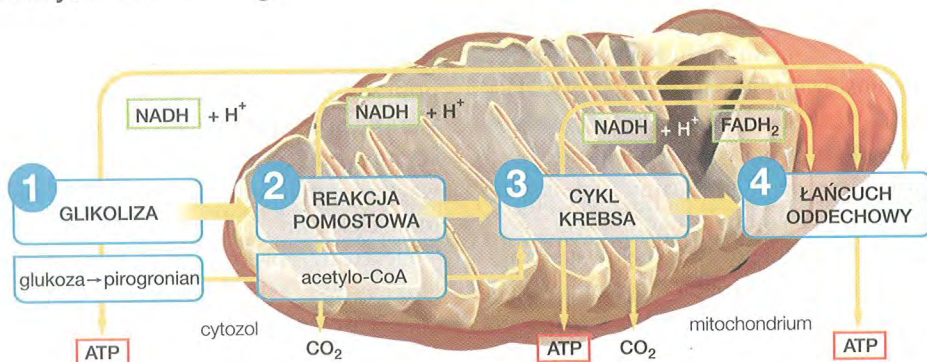


Uwolnienie tak dużej porcji energii w postaci ciepła doprowadziłoby do uszkodzenia komórki spowodowanego denaturacją białek. Z tego powodu proces utleniania glukozy przebiega w niej wieloetapowo, a energia jest uwalniana stopniowo. W komórce eukariotycznej procesy oddychania tlenowego zachodzą w mitochondriach, a w komórce prokariotycznej – w wewnątrzkomórkowych wpukleniach błony, uważanych za funkcjonalne odpowiedniki mitochondriów (dawna nazwa: mezosomy).

Oddychanie tlenowe, w którym substratem organicznym jest glukoza, obejmuje cztery zasadnicze etapy:

- ▶ **glikolizę**, która zachodzi w cytozolu,
- ▶ **reakcję pomostową**, czyli powstawanie acetylokoenzymu A, które zachodzi w matrix mitochondrium,
- ▶ **cykl Krebsa**, nazywany również **cyklem kwasu cytrynowego**, który przebiega w matrix mitochondrium,
- ▶ **łańcuch oddechowy**, czyli ciąg reakcji zachodzących w wewnętrznej błonie mitochondrium.

Etapy oddychania tlenowego



Glikoliza

Glikoliza to złożony ciąg reakcji przekształcających jedną cząsteczkę glukozy w dwie cząsteczki **pirogroonianu** z zyskiem **dwóch cząsteczek ATP**. Zachodzi ona w **cytozolu** komórki i nie wymaga dostępu tlenu. Glikoliza ma następujący przebieg:

- ▶ aktywacja glukozy poprzez fosforylację, czyli przeniesienie na glukozę reszt fosforanowych z dwóch cząsteczek ATP. Powstały w wyniku aktywacji sześciowęglowy cukier zawiera dwie reszty fosforanowe;
- ▶ sześciowęglowy cukier rozpada się do dwóch trójwęglowych ufosforylowanych cukrów. Jeden z nich – aldehyd 3-fosfoglicerynowy – ulega od razu dalszym przemianom, natomiast drugi – fosfodihydroksyaceton – ulega przemianom dopiero po przekształceniu w aldehyd 3-fosfoglicerynowy;
- ▶ utlenianie aldehydu 3-fosfoglicerynowego przez jego odwodorowanie oraz jednoczesne ufosforylowanie. Powstaje $\text{NADH} + \text{H}^+$;
- ▶ wieloetapowa fosforylacja substratowa, w której wyniku powstają dwie cząsteczki 3-fosfoglicerynianu, który ulega przemianom do **pirogroonianu**. Podczas tych przemian powstają cztery cząsteczki ATP. Zysk energetyczny glikolizy wynosi więc dwie cząsteczki ATP.

Reakcja pomostowa

W warunkach tlenowych pirogroatian, który powstał w procesie glikolizy, zostaje przetransportowany do **mitochondrium**. Tam następuje reakcja pomostowa. Obejmuje ona ciąg przemian prowadzących do przekształcenia dwóch cząsteczek pirogroatianu w dwie cząsteczki **acetylokoenzymu A** (acetylo-CoA), włączanego w następnym etapie do cyklu Krebsa. Podczas reakcji pomostowej powstaje również $\text{NADH} + \text{H}^+ + \text{CO}_2$. Reakcja ta jest katalizowana przez duży kompleks enzymatyczny i obejmuje:

- ▶ usuwanie z pirogroatianu grupy karboksylowej. Powstały CO_2 opuszcza komórkę;
- ▶ utlenianie pozostałego dwuwęglowego fragmentu – grupy acetylowej. Odłączony wodór przyłącza się do NAD^+ , który w ten sposób ulega redukcji do $\text{NADH} + \text{H}^+$;

- ▶ przyłączenie grupy acetylowej do koenzymu A, w którego efekcie powstaje **acetylo-CoA**.

Cykl Krebsa

Cykl Krebsa składa się z ośmiu etapów. Na początku dwuwęglowa grupa acetylowa łączy się z czterowęglowym **szcawiooctanem**. Powstaje sześciowęglowy cytrynian, koenzym A (CoA) zostaje uwolniony. Cytrynian podlega następnie licznym przekształceniom, przy czym podczas jednego cyklu tych reakcji następuje **dwukrotna dekarboksylacja**, **dwukrotne uwodnienie** oraz **czterokrotne utlenienie** połączone z uwolnieniem atomów wodoru, przyłączanych następnie do NAD^+ i FAD . W wyniku jednego cyklu powstają więc **dwie cząsteczki CO_2** , **trzy cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$** i **jedna cząsteczka FADH_2** , które są następnie utleniane w łańcuchu oddechowym. Zachodzi również fosforylacja substratowa, podczas której powstaje jedna cząsteczka ATP. Po każdym pełnym cyklu zostaje odtworzony szcawiooctan, mogący łączyć się z acetylo-CoA.

Czy wiesz, że...

Podczas cyklu Krebsa w komórkach roślinnych powstaje ATP, natomiast w komórkach zwierzęcych najpierw powstaje guanozynotriofosforan (GTP), którego energia służy następnie do syntezy ATP.

Łańcuch oddechowy

Łańcuch oddechowy tworzą akceptory oraz przenośniki wodorów (lub samych elektronów) związane z kompleksami białkowymi znajdującymi się w wewnętrznej błonie mitochondrium. Każdy z nich ma zdolność pobierania wodorów lub samych elektronów od swego poprzednika. Są one uszeregowane według wzrastającego **potencjału redoks**, czyli wartości powinowactwa do elektronów. Im wyższa **wartość potencjału**, tym łatwiej związek przyjmuje elektrony.

Elektrony i protony uwolnione z cząsteczki glukozy w czasie poprzednich etapów oddychania tlenowego są przekazywane na NAD^+ i FAD , dzięki czemu powstają odpowiednio

$\text{NADH} + \text{H}^+$ oraz FADH_2 . Łańcuch oddechowy przyjmuje od $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 elektrony. Towarzyszące elektronom protony przenikają do otaczającego środowiska. Elektrony są przenoszone przez kolejne elementy łańcucha oddechowego na tlen, do którego dołączają się protony, w wyniku czego powstaje **cząsteczka wody** – drugi (obok CO_2) końcowy produkt oddychania tlenowego. Przepływ elektronów

wzdłuż łańcucha oddechowego powoduje wypompowanie protonów z matrix do przestrzeni międzybłonowej, przez co w przestrzeni tej jest nadmiar protonów. Ich powrót do matrix odbywa się przy udziale wbudowanej w błonę **syntazy ATP**, czemu towarzyszy wytworzenie ATP. Energii do syntezy ATP dostarczają elektrony redukujące tlen, jest to więc **fosforylacja oksydacyjna**.

Doświadczenie

Wydzielanie dwutlenku węgla przez kiełkujące nasiona

Problem badawczy: Czy w kiełkujących nasionach zachodzi oddychanie tlenowe?

Hipoteza: Podczas kiełkowania nasion zachodzi oddychanie tlenowe.

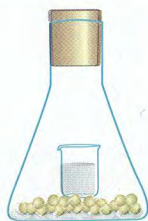
Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Kolba stożkowa z kiełkującymi nasionami zamknięta korkiem; na nasionach umieszczona zlewka z wodą wapienną (roztwór nasycony $\text{Ca}(\text{OH})_2$).

Próba kontrolna

Kolba stożkowa z suchymi nasionami zamknięta korkiem; na nasionach umieszczona zlewka z wodą wapienną.

Przygotuj 60 nasion grochu lub fasoli. Na tydzień przed badaniem wyłóż 30 nasion na wilgotną watę i pozostaw w ciepłym miejscu, aby mógł rozpocząć się proces kiełkowania. Po tygodniu wysyp kiełkujące nasiona do jednej kolby stożkowej, a 30 nasion suchych do drugiej kolby stożkowej. W każdej kolbie na nasionach umieść zlewkę z wodą wapienną. Wyloty kolb zatkaj korkiem.



Sposób przygotowania obu prób.

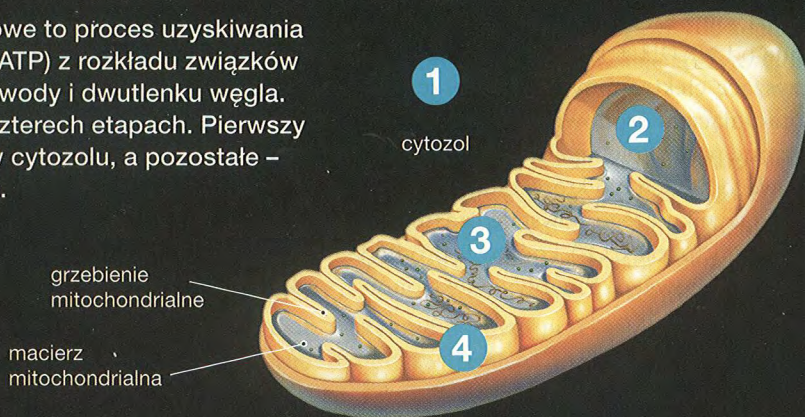
Wynik doświadczenia: Zaobserwuj zmiany zachodzące w zlewce z wodą wapienną.

Wniosek: Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: W reakcji wody wapiennej $\text{Ca}(\text{OH})_2$ z dwutlenkiem węgla powstaje trudno rozpuszczalna sól CaCO_3 , która powoduje mętnienie wody wapiennej.

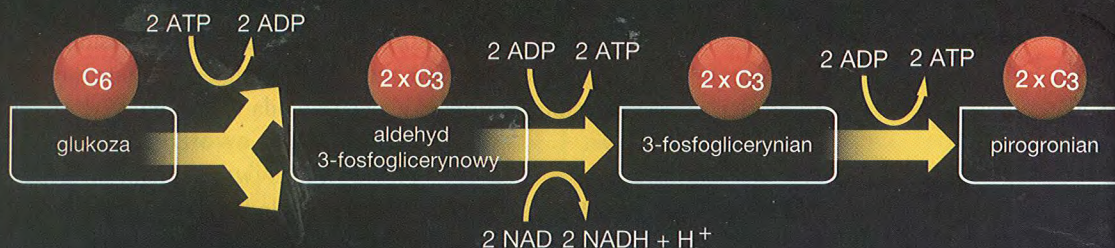
Przebieg oddychania tlenowego

Oddychanie tlenowe to proces uzyskiwania energii (w formie ATP) z rozkładu związków organicznych do wody i dwutlenku węgla. Przebiega on w czterech etapach. Pierwszy z nich zachodzi w cytozolu, a pozostałe – w mitochondrium.



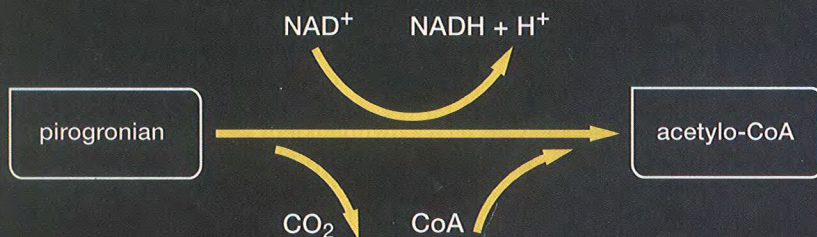
1 GLIKOLIZA

Jest to złożony ciąg reakcji przekształcania jednej cząsteczki glukozy w dwie cząsteczki pirogronianu z jednoczesną syntezą czterech cząsteczek ATP. Dwie cząsteczki ATP są zużywane we wstępnym etapie glikolizy. Glikoliza zachodzi w cytozolu komórki i nie wymaga dostępu tlenu. Powstały w jej wyniku pirogronian jest transportowany do mitochondrium.



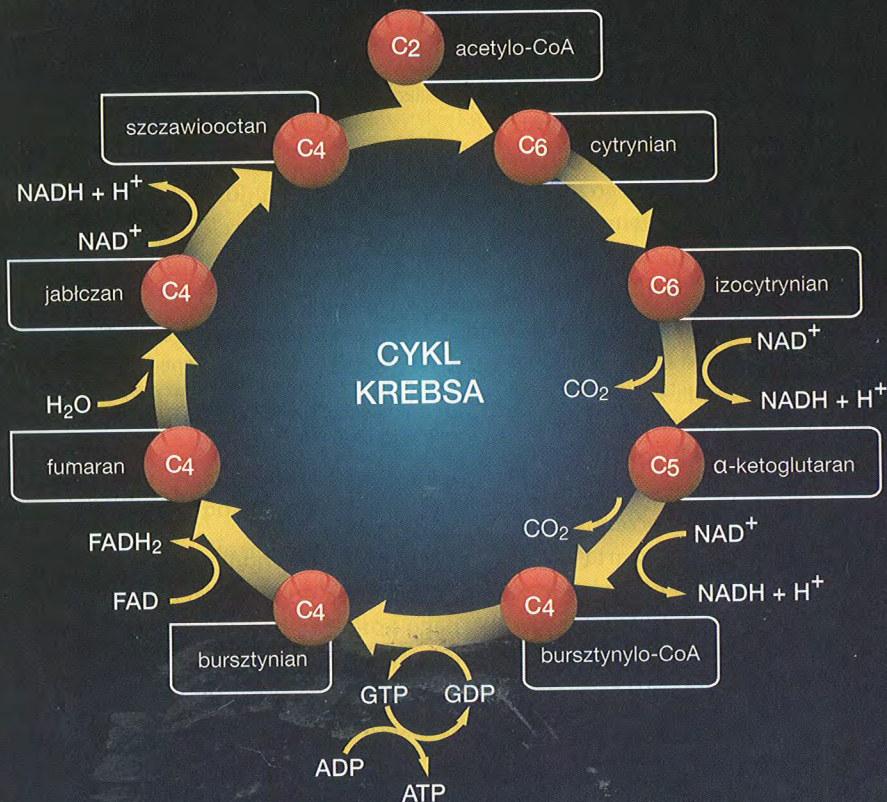
2 REAKCJA POMOSTOWA

Prowadzi do przekształcenia pirogronianu w acetylo-CoA. Zachodzi w matrix mitochondrium.



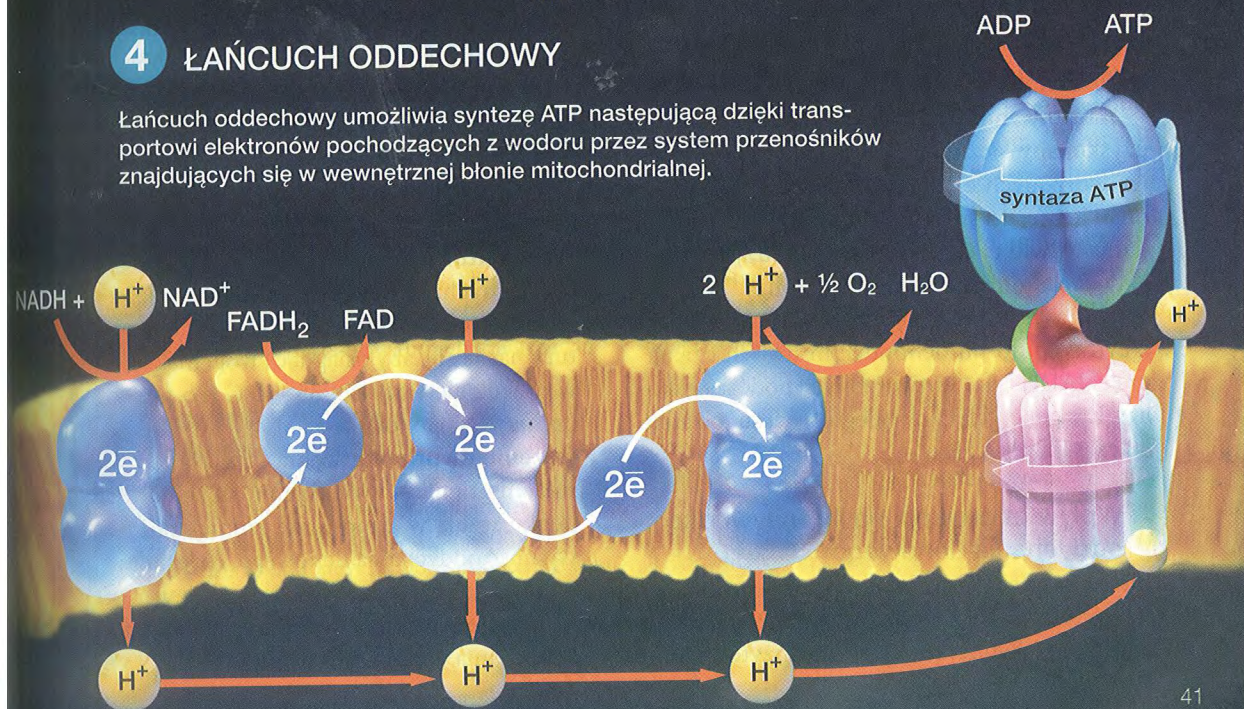
3 CYKL KREBSA

Jest to szereg przemian prowadzących do powstania CO_2 i atomów wodoru, które za pomocą akceptorów wodoru – $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 – trafiają do następnego etapu. Odbywa się w matrix mitochondrium.



4 ŁAŃCUCH ODDECHOWY

Łańcuch oddechowy umożliwia syntezę ATP następującą dzięki transportowi elektronów pochodzących z wodoru przez system przenośników znajdujących się w wewnętrznej błonie mitochondrialnej.



■ Bilans energetyczny oddychania tlenowego

W wyniku przemian zachodzących podczas wszystkich etapów oddychania tlenowego z jednej cząsteczki glukozy uwalnia się 30 cząsteczek ATP, co stanowi około 40% zawartej w niej energii. Pozostała część energii rozprasza się w postaci ciepła. Aby wyliczyć, ile cząsteczek ATP jest syntetyzowanych podczas całkowitego utleniania jednej cząsteczki glukozy, należy uwzględnić wszystkie etapy oddychania tlenowego poprzedzające łańcuch oddechowy. Ponadto należy pamiętać, że reakcja pomostowa oraz cykl Krebsa zachodzą dwukrotnie. Podczas **glikolizy** jednej cząsteczki powstają cztery cząsteczki ATP. Jednak dwie są zużywane na aktywację glukozy.

Kolejne dwie cząsteczki ATP powstają w cyklu Krebsa. Należy jednak przede wszystkim pamiętać o $\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2 – przenośnikach elektronów i protonów na tlen. Zawarta w nich energia zostaje stopniowo uwolniona podczas transportu elektronów w łańcuchu oddechowym. Podczas 3 pierwszych etapów oddychania tlenowego powstaje w sumie 10 cząsteczek $\text{NADH} + \text{H}^+$ (2 w glikolizie, 2 w reakcji pomostowej, 6 w cyklu Krebsa) i 2 cząsteczki FADH_2 . Z najnowszych badań wynika, że:

- ▶ 1 cząsteczka $\text{NADH} + \text{H}^+$ daje 2,5 cząsteczki ATP,
- ▶ 1 cząsteczka FADH_2 daje 1,5 cząsteczki ATP.

Z tego wynika, że w łańcuchu oddechowym uzyskujemy łącznie 28 cząsteczek ATP. Liczba wytworzonych cząsteczek ATP podczas przemian jednej cząsteczki glukozy wynosi więc 34. Jednak dwie cząsteczki ATP są zużywane na aktywację glukozy podczas glikolizy. Ponadto dwie cząsteczki ATP są zużywane na transport z cytozolu do mitochondrium dwóch cząsteczek $\text{NADH} + \text{H}^+$ wytworzonych podczas glikolizy. Zysk energetyczny całego procesu to zatem 30 cząsteczek ATP.

■ Wpływ czynników na intensywność oddychania tlenowego

Intensywność oddychania tlenowego ocenia się zwykle na podstawie pomiarów ilości wydzielonego dwutlenku węgla lub zużytego tlenu

Zysk energetyczny utlenienia jednej cząsteczki glukozy w procesie oddychania tlenowego

Etap	Wytworzone ATP	Zużyte ATP	Zysk energetyczny
Glikoliza	4	2	2
Reakcja pomostowa	0	0	0
Cykl Krebsa	2	0	2
Łańcuch oddechowy	28	0	28
Ogółem	34	2	30*

* Obliczając całkowity zysk energetyczny, należy odjąć dwie cząsteczki ATP zużyte podczas transportu dwóch cząsteczek $\text{NADH} + \text{H}^+$ z cytozolu do mitochondrium.

w przeliczeniu na jednostkę suchej masy oraz na jednostkę czasu.

Intensywność oddychania jest zawsze proporcjonalna do zapotrzebowania energetycznego komórki, a więc jest zależna od rodzaju organizmu oraz typu tkanki. Na przykład oddychanie tlenowe przebiega znacznie intensywniej w komórkach tkanek dzielących się i młodych niż w komórkach tkanek niezdolnych do podziału i starzejących się. Oddychanie tlenowe, podobnie jak wszystkie procesy metaboliczne, wymaga obecności enzymów. Z tego powodu czynniki, które mają wpływ na aktywność enzymów uczestniczących w reakcjach utleniania, pośrednio wpływają też na sam proces.

Do istotnych czynników wpływających na intensywność oddychania tlenowego należą m.in.:

- ▶ **temperatura** – w temperaturze zbliżonej do 0°C oddychanie tlenowe u roślin przebiega bardzo wolno. Wraz ze wzrostem temperatury nasila się, aby osiągnąć swoje maksimum w przedziale wartości $35\text{--}40^\circ\text{C}$. Po przekroczeniu 40°C ponownie słabnie;
- ▶ **stężenie dwutlenku węgla** i związane z nim stężenie tlenu – zwiększenie stężenia dwutlenku węgla w atmosferze zmniejsza intensywność oddychania tlenowego, co jest dodatkowo związane ze zmniejszeniem zawartości tlenu – jednego z zasadniczych substratów oddychania tlenowego;

Doświadczenie

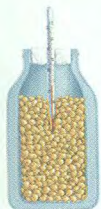
Wydzielanie ciepła przez kiełkujące nasiona

Problem badawczy: Czy kiełkujące nasiona wydzielają ciepło?

Hipoteza: Kiełkujące nasiona wydzielają ciepło.

Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Termos zawierający 0,5 kg kiełkujących nasion grochu, w którym umieszczono termometr.



Sposób przygotowania obu prób.

Próba kontrolna

Termos zawierający 0,5 kg suchych nasion grochu, w którym umieszczono termometr.

Część nasion zalej letnią wodą i odstaw na 8 godz. w ciepłe miejsce. Przygotuj zestaw doświadczalny. Do jednego termosu wsyń kiełkujące (napęczniałe) nasiona, a do drugiego – nasiona suche. W każdym termosie umieść termometr tak, aby jego końcówka znajdowała się wśród nasion.

Wynik doświadczenia: Sprawdź temperaturę po 5, 10, 15, 20, 30 min, a następnie po godzinie.

Wniosek: Sformułuj wniosek.

Wyjaśnienie: Podczas oddychania uzyskiwana jest energia, której część uwalnia się w postaci ciepła. Porównując temperaturę nasion kiełkujących i niekiełkujących, można więc określić, czy podczas kiełkowania zachodzi oddychanie tlenowe.

► **zawartość wody w komórkach** – zwiększenie uwodnienia komórek roślin nasila intensywność oddychania. Dla przykładu zwiększenie zawartości wody w ziarniakach jęczmienia z 10–12% do 33% powoduje wzrost intensywności oddychania 5–7 tys. razy.

Badania nad wpływem warunków zewnętrznych na oddychanie tlenowe znalazły zastosowanie w przemyśle spożywczym. Aby uniknąć strat cennych substancji zawartych w warzywach i owocach, w przechowalniach stwarza się

specyficzne warunki zmniejszające intensywność oddychania komórkowego. Do najczęściej stosowanych metod należą obniżenie temperatury oraz zmniejszenie zawartości tlenu w otoczeniu (wprowadzanie do komór, w których przechowuje się warzywa lub owoce, np. dwutlenku węgla bądź azotu). W wypadku nasion stosuje się odpowiednie wysuszenie. Osiąga się w ten sposób zahamowanie procesów metabolicznych w komórkach nasion, ale nie pozbawia się ich zdolności do kiełkowania.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij pojęcie *oddychanie komórkowe* oraz określ znaczenie tego procesu dla funkcjonowania organizmu.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób podczas transportu elektronów w łańcuchu oddechowym powstaje różnica stężenia protonów po obu stronach wewnętrznej błony mitochondrialnej.
3. Podaj etapy oddychania, podczas których powstaje dwutlenek węgla i woda.
4. Wymień etapy oddychania, podczas których dochodzi do fosforylacji substratowej oraz fosforylacji oksydacyjnej.

Warto zajrzeć!

 <http://www.youtube.com/watch?v=xbJ0nbzt5Kw&feature=relmfu>

7

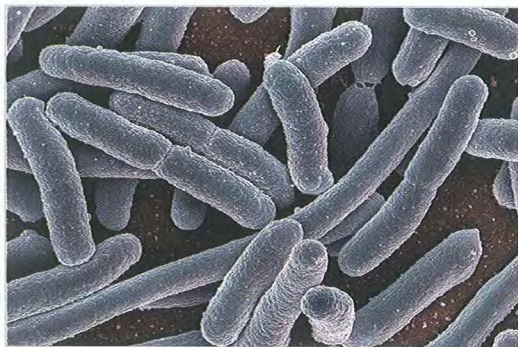
Procesy beztlenowego uzyskiwania energii

Wiele organizmów żyje w środowisku beztlenowym. Dla niektórych z nich, np. dla licznych chorobotwórczych bakterii bytujących w organizmie człowieka, tlen jest toksyczny, dlatego nazywa się je beztlenowcami bezwzględnymi (anaerobami obligatoryjnymi). Inne, jak drożdże, w obecności tlenu oddychają tlenowo, a przy jego braku lub niedoborze uzyskują energię w procesach beztlenowych. Organizmy te określa się mianem beztlenowców względnych (anaerobów fakultatywnych). Beztlenowe procesy uzyskiwania energii zachodzą również u wszystkich organizmów eukariotycznych w sytuacjach braku tlenu lub przy jego niedoborze. Występują np. w tkankach korzeni roślin lądowych porastających obszary bagienne oraz w intensywnie pracujących włóknach mięśni szkieletowych zwierząt. Beztlenowo pozyskują energię również erythrocyty, w których nie występują mitochondria. Dzięki temu erythrocyty nie zużywają transportowanego przez siebie tlenu.

■ Oddychanie beztlenowe i fermentacja

Dawniej wszystkie beztlenowe procesy uzyskiwania energii określano mianem oddychania beztlenowego. Obecnie klasyfikuje się je ze względu na to, jakiego rodzaju związek jest w nich ostatecznym akceptorem elektronów. Na tej podstawie wyróżnia się:

► **oddychanie beztlenowe**, w którym ostatecznym akceptorem elektronów z $\text{NADH} + \text{H}^+$ nie jest tlen, lecz **związek nieorganiczny** w postaci soli mineralnych – azotanów lub siarczanów lub wolnego pierwiastka (np. siarki jak w wypadku bakterii z rodzaju *Desulfomonas*). Proces ten występuje wyłącznie u niektórych bakterii uczestniczących w obiegu azotu (np. bakterii denitryfikacyjnych), bakterii żyjących w dnie zbiorników wodnych albo jelitach zwierząt. Jego produktami są: **dwutlenek węgla, związek nieorganiczny** oraz



Paleczka okrężnicy (*Escherichia coli*); mikrofotografia skaningowa. Bakteria ta jest anaerobem fakultatywnym. Może żyć zarówno w okrężnicy człowieka, jak i w zanieczyszczonej kałem wodzie lub glebie. W wodach powierzchniowych jej obecność jest wskaźnikiem zanieczyszczenia tych wód.

ATP. Podobnie jak w oddychaniu tlenowym elektrony przechodzą od glukozy do NAD^+ , by trafić na łańcuch przenośników elektronów, co umożliwia syntezę dużych ilości ATP;

► **fermentację**, w której ostatecznym akceptorem elektronów z $\text{NADH} + \text{H}^+$ jest **związek organiczny**, np. pirogronian lub aldehyd octowy. Beztlenowy rozkład glukozy na drodze fermentacji przeprowadzają niektóre bakterie (np. mlekowe), grzyby (np. drożdże), protisty zwierzęce, nazywane dawniej pierwotniakami (np. orzęski żyjące w przewodzie pokarmowym zwierząt przeżuwających), a także pasorzyty bytujące w układzie pokarmowym człowieka (np. tasiemiec czy glista ludzka).

■ Uzyskiwanie energii na drodze fermentacji

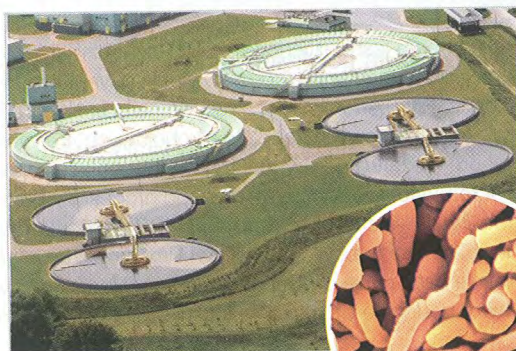
Fermentacja w całości przebiega w cytozolu i obejmuje dwa etapy:

► **glikolizę**, podczas której glukoza zostaje rozłożona do **dwóch cząsteczek pirogronianu**, przy czym powstają **dwie cząsteczki $\text{NADH} + \text{H}^+$** , a zysk netto stanowią **dwie cząsteczki ATP**. W glikolizie nie bierze udziału tlen, dlatego przebiega ona tak samo w warunkach tlenowych i beztlenowych;

► **redukcję**, podczas której pirogronian, przyjmując wodory, ulega przemianie w kwas mlekowy (fermentacja mlekowa) lub po odłączeniu CO_2 przekształca się w aldehyd octowy, na który przenoszone są elektrony z $\text{NADH} + \text{H}^+$ i powstaje etanol (fermentacja alkoholowa).

■ Zysk energetyczny procesów beztlenowych

Wydajność energetyczna procesów beztlenowych jest o wiele mniejsza niż wydajność energetyczna oddychania tlenowego. Podczas pierwszego etapu **fermentacji** z rozkładu jednej cząsteczki glukozy uzyskuje się jedynie **dwie cząsteczki ATP**, co stanowi zaledwie 2% całkowitej energii chemicznej zawartej w cząsteczce glukozy. Jest to całkowity zysk energetyczny fermentacji, ponieważ następny etap, czyli redukcja, nie daje możliwości uwalniania ani kumulowania energii. Produkty organiczne (kwas mlekowy czy alkohol) powstające ostatecznie w wyniku fermentacji nadal zawierają sporą ilość energii. W wypadku **oddychania beztlenowego** zysk energetyczny jest większy niż



Bakterie z rodzaju *Pseudomonas* (mikrofotografia skaningowa), które wykorzystują azotany w procesie oddychania beztlenowego, są używane w oczyszczalniach ścieków. Ich zadaniem jest usuwanie ze ścieków azotu.



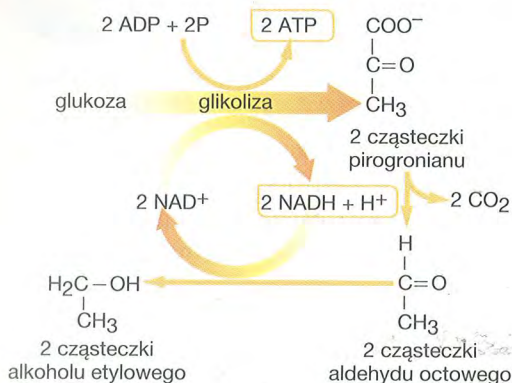
w wypadku fermentacji ze względu na obecność przenośników elektronów. Podczas transportu elektronów przez przenośniki powstają cząsteczki ATP. Ich liczba jest mniejsza niż podczas oddychania tlenowego, lecz większa niż przy fermentacji. Zależy ona od rodzaju, gatunku, a nawet szczepu bakterii przeprowadzającej oddychanie.

Porównanie procesów uzyskiwania energii

Cechy	Oddychanie tlenowe	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja
Przykłady organizmów lub komórek	większość organizmów	bakterie uczestniczące w obiegu azotu (bakterie denitryfikacyjne), bakterie żyjące na dnie zbiorników wód oraz w jelitach zwierząt	niektóre bakterie (np. bakterie mlekowe), grzyby (np. drożdże), protisty zwierzęce (np. orzęski bytujące w żołądkach przeżuwaczy), pasożyty układu pokarmowego człowieka (np. tasiemiec), a także włókna mięśni szkieletowych w warunkach niedoboru tlenu
Ostateczny akceptor elektronów	O_2	związek nieorganiczny w postaci azotanów lub siarczanów	związek organiczny, np. kwas pirogronowy lub aldehyd octowy
Lokalizacja procesu w komórce	cytozol, mitochondria	cytozol	cytozol
Podstawowy substrat organiczny	glukoza	glukoza	glukoza
Ostateczne produkty procesu	CO_2 , H_2O , ATP	CO_2 , związek nieorganiczny, ATP	związek organiczny (kwas mlekowy, alkohol etylowy), ATP, CO_2 (tylko w fermentacji alkoholowej)
Wydajność energetyczna	duża: 30 cząsteczek ATP	średnia: liczba cząsteczek mniejsza niż w oddychaniu tlenowym; zależy od rodzaju, gatunku lub szczepu bakterii	mała: dwie cząsteczki ATP

Fermentacja alkoholowa i fermentacja mlekowa

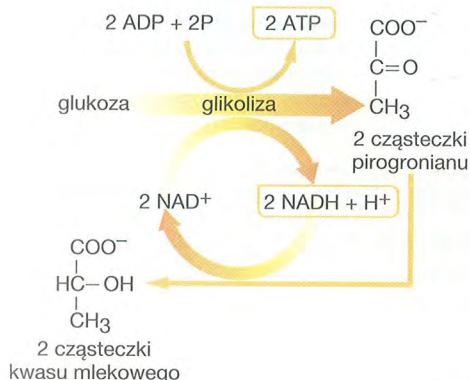
Fermentacja jest beztlenowym procesem uzyskiwania energii. W przyrodzie najczęściej występują fermentacja alkoholowa i mlekowa. **Fermentację alkoholową** przeprowadzają drożdże. Proces ten wykorzystuje się na szeroką skalę do produkcji: piwa, wina czy wysokoprocentowych napojów alkoholowych. **Fermentację mlekową** przeprowadzają niektóre bakterie i grzyby. Bakterie wytwarzające kwas mlekowy są wykorzystywane przez ludzi w **przemśle spożywczym**, m.in. do produkcji jogurtów i kiszenia kapusty. Kwas mlekowy jest również wytwarzany **we włóknach mięśni szkieletowych**, gdy mięśnie intensywnie pracują, a ilość tlenu nie jest wystarczająca. Proces ten trwa jednak tylko kilka minut – po otrzymaniu tlenu mięśnie kontynuują oddychanie tlenowe. Nadmierny wysiłek fizyczny powoduje zmęczenie mięśni, prawdopodobnie wskutek niedotlenienia i nagromadzenia kwasu mlekowego.



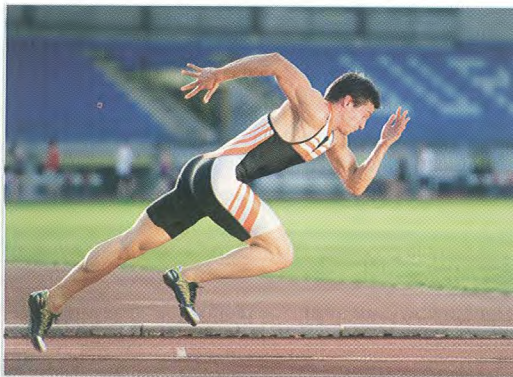
Przebieg fermentacji alkoholowej. Fermentacja alkoholowa zachodzi w komórkach drożdży. Powstały w reakcjach glikolizy pirogronian ulega dekarboksylacji do aldehydu octowego, a ten z kolei jest redukowany do alkoholu etylowego.



Drożdże piekarnicze (*Saccharomyces cerevisiae*); mikrofotografia skaningowa. Drożdże te przeprowadzają fermentację alkoholową w warunkach beztlenowych. Natomiast w obecności tlenu w mitochondriach drożdży zachodzi oddychanie tlenowe.



Przebieg fermentacji mlekowej. Fermentacja mlekowa zachodzi w komórkach niektórych bakterii i we włóknach mięśni szkieletowych w warunkach deficytu tlenu. Powstały w reakcjach glikolizy pirogronian ulega redukcji do kwasu mlekowego.



Bieg sprinterski. Jeśli w jego trakcie zabraknie tlenu niezbędnego w oddychaniu tlenowym, wówczas ATP potrzebny do skurczu mięśni powstaje w wyniku fermentacji.

Doświadczenie

Wydzielanie dwutlenku węgla podczas fermentacji alkoholowej

Problem badawczy: Czy podczas fermentacji alkoholowej drożdże wydzielają dwutlenek węgla?

Hipoteza: Podczas fermentacji alkoholowej powstaje dwutlenek węgla.

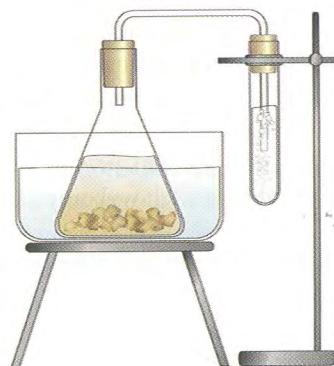
Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Kolba stożkowa zawierająca wodę o temperaturze pokojowej, drożdże (ok. 5 g) i dwie łyżeczki cukru, zatkana korkiem ze szklaną rurką prowadzącą do probówki z wodą wapienną.

Próba kontrolna

Kolba stożkowa zawierająca wrzącą wodę, drożdże (ok. 5 g) i dwie łyżeczki cukru, zatkana korkiem ze szklaną rurką prowadzącą do probówki z wodą wapienną.

Przygotuj zestaw doświadczalny w sposób przedstawiony na rysunku. W pierwszej kolbie stożkowej umieść ok. 5 g drożdży (pół kostki) i dwie łyżeczki cukru, a następnie nalej do niej ciepłej wody. W drugiej kolbie również umieść ok. 5 g drożdży i dwie łyżeczki cukru, ale nalej do niej wrzącej wody. Zatkaj każdą z kolb korkiem ze szklaną rurką prowadzącą do probówki z wodą wapienną.



Sposób przygotowania obu prób.

Wynik doświadczenia: Zaobserwuj zmiany w probówce z wodą wapienną.

Wniosek: Sformułuj wniosek.

Polecenia kontrolne

1. Przedstaw przebieg fermentacji dowolnego typu (alkoholowej lub mlekowej), uwzględniając: warunki, kolejne etapy, lokalizację w komórce, bilans energetyczny i ewentualne wykorzystanie w gospodarce człowieka.
2. Wymień produkty beztlenowego uzyskiwania energii:
 - a) w komórce drożdży.
 - b) w komórce bakterii mlekowej.
 - c) we włóknach mięśnia szkieletowego.
3. Omów procesy, które zachodzą we włóknach mięśnia szkieletowego, kiedy tlen jest dostępny i kiedy jest niedostępny.
4. Wyjaśnij, dlaczego w erytrocytach następuje przemiana glukozy do kwasu mlekowego.
5. Na podstawie dostępnych źródeł informacji określ znaczenie bakterii oddychających beztlenowo w obiegu azotu w przyrodzie.

Warto zajrzeć!
<http://edunauka.pl/biochnuroxy.php>

8

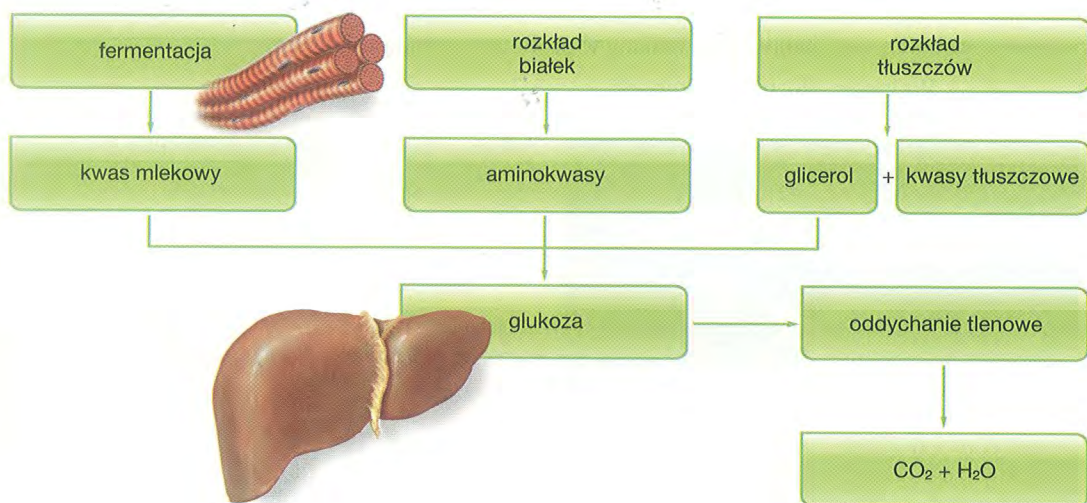
Inne ważne procesy metaboliczne

Podstawowym surowcem energetycznym dla organizmów jest glukoza, która pochodzi głównie z rozkładu materiałów zapasowych, np. u człowieka i innych zwierząt z rozkładu glikogenu. Niektóre komórki naszego organizmu (np. eryocyty i komórki nerwowe) uzyskują energię jedynie z rozkładu glukozy. Inne jako substraty w reakcjach oddychania wykorzystują również pozostałe cukry proste, m.in. galaktozę i fruktozę, ale dopiero po przekształceniu ich w glukozę. Substratem energetycznym mogą być dla nich również tłuszcze i białka. Produkty rozkładu białek i tłuszczów mogą się włączać do oddychania komórkowego na różnych etapach. Wcześniej jednak przechodzą przemiany, które umożliwiają ich wykorzystanie.

■ Glukoneogeneza i glikogenoliza

Glukoza jest podstawowym, a niekiedy jedynym substratem energetycznym dla wielu komórek zwierząt, przede wszystkim dla

erytrocytów i komórek nerwowych. Komórki te wymagają stałych dostaw glukozy (mózg nie ma zapasów energetycznych), dlatego jej stężenie we krwi musi być utrzymywane na wymaganym poziomie. Źródłem glukozy są dla nich głównie procesy trawienia cukrów złożonych zawartych w pobieranym pokarmie, ale również rozkład zmagazynowanego w wątrobie glikogenu – **glikogenoliza**. W miarę wyczerpywania się zapasów glikogenu komórki wątroby, a także, choć w mniejszym stopniu, komórki nerek, syntetyzują glukozę z substancji, które nie są cukrami. Proces ten nosi nazwę **glukoneogenezy**. Niektóre z niecukrowych prekursorów glukozy zostają najpierw przekształcone w kwas pirogronowy, inne są włączane do szlaku metabolicznego glukoneogenezy na późniejszych etapach. U zwierząt głównymi niecukrowymi prekursorami glukozy są **kwas mlekowy, glicerol oraz wolne aminokwasy**.

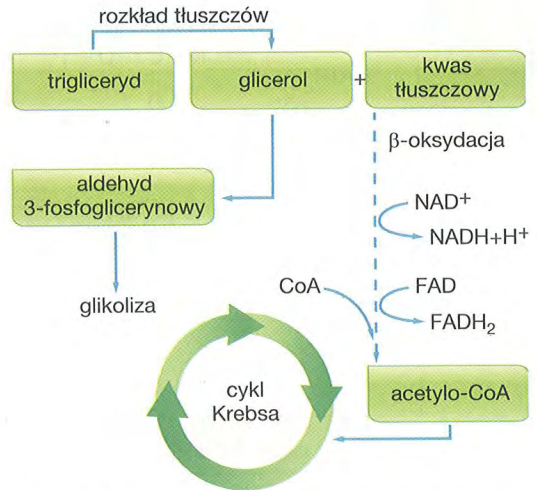


Glukoneogeneza w komórkach zwierząt. Kwas mlekowy powstaje w pracujących mięśniach szkieletowych w warunkach deficytu tlenu. Glicerol jest jednym z produktów (obok wyższych kwasów tłuszczowych) rozkładu tłuszczów. Aminokwasy pochodzą z białek zawartych w pobieranym pokarmie, a w sytuacji głodu – z białek budujących mięśnie szkieletowe.

Rozkład tłuszczów

Utlenianie 1 g tłuszczu dostarcza ponad dwa razy więcej energii (39,4 kJ; 9,4 kcal) niż utlenienie 1 g cukru (ok. 17 kJ; 4,1 kcal). Erytrocyty i komórki nerwowe nie mogą korzystać z tego źródła energii, ale kwasy tłuszczowe są doskonałym źródłem energii dla **mięśnia sercowego** oraz **mięśni szkieletowych w stanie spoczynku** (aktywnie pracujące mięśnie wykorzystują glukozę). Rozkład tłuszczów właściwych prowadzi do powstania kwasów tłuszczowych i glicerolu. Glicerol po przekształceniu do aldehydu 3-fosfoglicerynowego zostaje włączony do szlaku glikolizy. Kwasy tłuszczowe zostają rozłożone w procesie **β -oksydacji** na dwuwęgłowe fragmenty reszt acetylowych. Po połączeniu z koenzymem A tworzą one **acetylo-CoA** i w tej postaci zostają włączone do cyklu Krebsa. W wyniku β -oksydacji oprócz acetylo-CoA powstają duże ilości zredukowanych nukleotydów ($\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2), które następnie zostają utlenione w łańcuchu oddechowym.

W wypadku długotrwałego głodu organizmu lub cukrzycy (gdy glukoza nie może być wykorzystywana przez komórki) organizm uruchamia rezerwy tłuszczowe. W wyniku β -oksydacji powstaje zbyt dużo acetylo-CoA, który nie może być włączony do cyklu Krebsa. Zostaje on

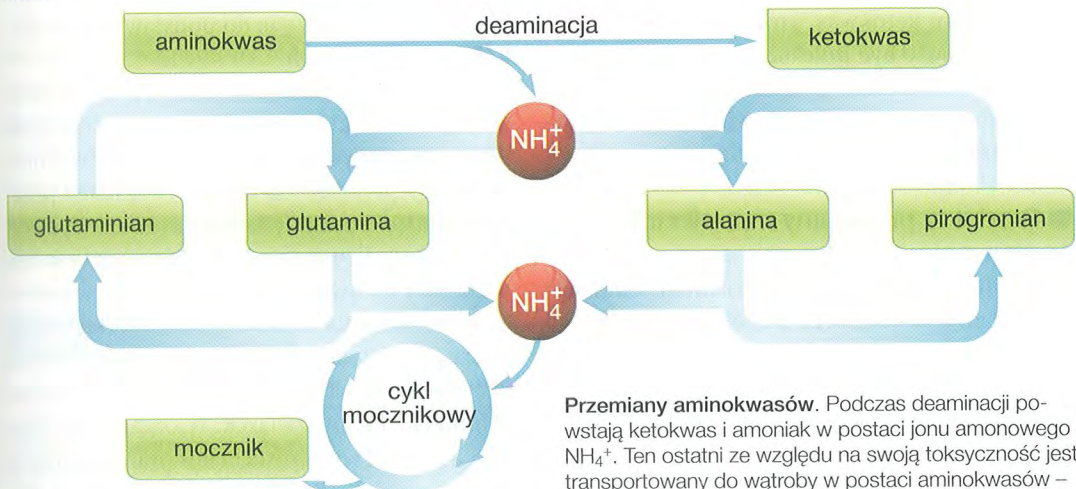


Przebieg β -oksydacji. Rozkład tłuszczów prowadzi do powstania acetylo-CoA, który jest następnie włączany do cyklu Krebsa.

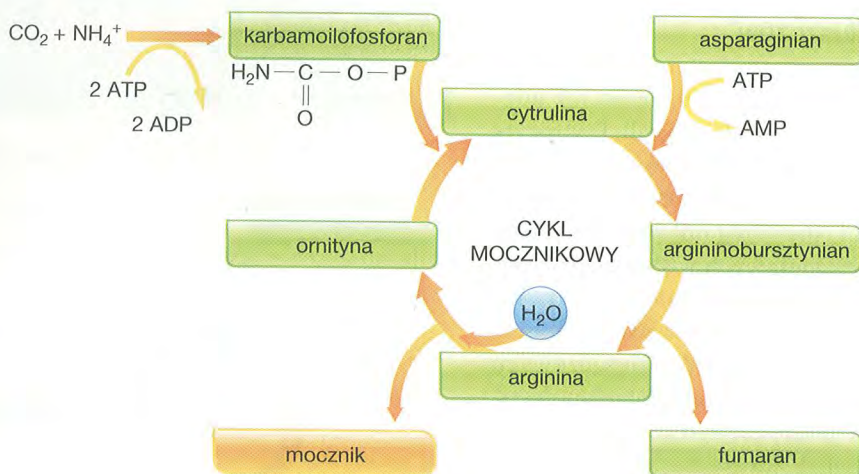
przekształcony w aceton. Charakterystyczny zapach acetonu można wyczuć w oddechu osoby z nieleczoną cukrzycą.

Deaminacja

Utlenianie 1 g białka dostarcza tyle samo energii, co utlenianie 1 g cukru (ok. 17,2 kJ, 4,1 kcal), jednak białka stają się substratem energetycznym w wyjątkowych sytuacjach, np. podczas długotrwałego głodu organizmu lub wtedy, gdy



Przemiany aminokwasów. Podczas deaminacji powstają ketokwas i amoniak w postaci jonu amonowego NH_4^+ . Ten ostatni ze względu na swoją toksyczność jest transportowany do wątroby w postaci aminokwasów – glutaminy i alaniny. Po dotarciu z krwią do wątroby jony amonowe są odłączane i używane do syntezy mocznika.



Przebieg cyklu mocznikowego. Wytwarzanie mocznika należy do przemian anabolicznych. Jest to sekwencja reakcji metabolicznych składających się na cykl mocznikowy, przebiegający w mitochondriach i cytozolu komórek wątroby. Produkcja mocznika wymaga dużych nakładów energii. Dwie cząsteczki ATP są rozkładane do dwóch cząsteczek ADP, a jedna do AMP.

są dostarczane w nadmiarze w stosunku do zapotrzebowania. Najpierw następuje rozkład białka na aminokwasy, a następnie ich **deaminacja**, czyli odłączenie **grupy aminowej** ($-\text{NH}_2$). W efekcie powstają ketokwas oraz cząsteczka amoniaku w postaci jonu amonowego $-\text{NH}_4^+$. Amoniak jest usuwany z organizmu w postaci niezmienionej (np. u ryb kostnoszkieletowych i krokodyli) bądź po przekształceniu w mocznik (np. u ssaków) lub kwas moczowy (np. u większości gadów i ptaków). W zależności od rodzaju aminokwasu ketokwas, który pozostał po deaminacji, może być przekształcony do różnych związków pośrednich oddychania komórkowego, np. pirogronianu, acetylo-CoA bądź związków pośrednich cyklu Krebsa.

■ Produkty przemiany materii i ich usuwanie

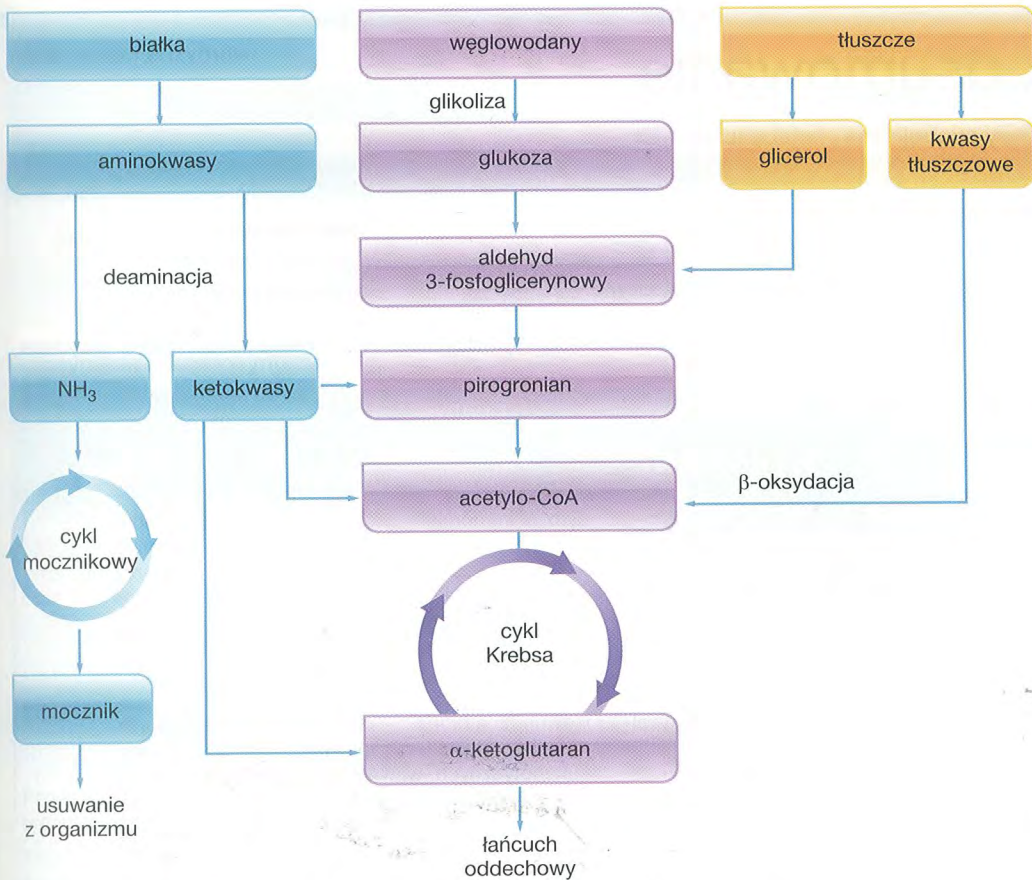
W wyniku katabolicznych przemian cukrów i tłuszczów w komórce powstają dwutlenek węgla i woda. Są one usuwane z organizmu bez przekształcania ich w inne związki. Na przykład dwutlenek węgla jest usuwany z organizmu człowieka i zwierząt dzięki funkcjonowaniu narządów wymiany gazowej. Z kolei nadmiar wody jest usuwany przede wszystkim za pośrednictwem układu wydalniczego oraz,

w mniejszym stopniu, przez skórę i układ oddechowy (w postaci pary wodnej).

Zbędne azotowe produkty przemiany materii są skutkiem **rozkładu kwasów nukleinowych** (a dokładniej wchodzących w ich skład purynowych i pirymidynowych zasad azotowych) oraz **białek**.

Zasady purynowe i pirymidynowe są rozkładane w odmienny sposób. Zasady purynowe są bezpośrednio przekształcane w kwas moczowy, a zasady pirymidynowe, po rozłożeniu na małe cząsteczki, są włączane do podstawowych szlaków metabolicznych.

W wyniku rozkładu białek powstają wolne aminokwasy, które mogą być wykorzystane w procesach syntezy nowych związków (m.in. białek i peptydów) lub ulegają degradacji przez deaminację. Powstały ketokwas może być wykorzystany do syntezy innych związków lub rozłożony do dwutlenku węgla i wody w procesach oddychania tlenowego. Jony NH_4^+ natomiast ze względu na swoją toksyczność muszą być natychmiast usunięte lub przekształcone w mniej toksyczny związek. W organizmie człowieka rozkład większości białek oraz deaminacja aminokwasów przebiegają we wszystkich komórkach ciała, a przekształcanie amoniaku w mocznik odbywa się głównie w komórkach



Rozkład białek, cukrów i tłuszczów. Produkty przekształceń tłuszczów i białek są włączane do szlaku rozkładu glukozy na różnych etapach. Produktami całkowitego utleniania węglowodanów, białek i tłuszczów są: dwutlenek węgla, woda, niewielka ilość bezpośrednio wytworzonego ATP oraz duże ilości zredukowanych nukleotydów ($\text{NADH} + \text{H}^+$ i FADH_2), które po przeniesieniu na łańcuch oddechowy umożliwiają wytwarzanie ATP.

wątroby. Ze względu na toksyczność amoniaku jony NH_4^+ muszą być transportowane w sposób niestwarzający zagrożenia dla organizmu, a więc z pominięciem płynów ustrojowych, np. krwi. Z tego powodu jony NH_4^+ są przechwytywane przez dwa związki organiczne – **glutaminian** albo **pirogronian**. Pierwszy z nich przekształca

się wówczas w glutaminę, a drugi w alaninę. Aminokwasy te są uwalniane do krwi, z którą następnie wędrują do wątroby. W komórkach wątroby reszty aminowe są odłączane od aminokwasów i jako jony amonowe zużywane do syntezy mocznika.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij pojęcie *glukoneogeneza* i podaj nazwę narządu organizmu człowieka, w którego komórkach glukoneogeneza zachodzi szczególnie intensywnie.
2. Określ znaczenie acetylokoenzymu A w przebiegu różnych szlaków metabolicznych.
3. Wymień zbędne produkty katabolicznych przemian węglowodanów, tłuszczów i białek. Podaj sposoby ich usuwania z organizmu człowieka.
4. Wyjaśnij związek między cyklem mocznikowym a cyklem Krebsa. Przedstaw lokalizację oraz przebieg cyklu mocznikowego w komórce.

Podsumowanie

Procesy anaboliczne i kataboliczne

Cecha	Anabolizm	Katabolizm
Rodzaj reakcji ze względu na jej typ	reakcje syntezy	reakcje rozkładu
Rodzaj reakcji ze względu na efekt energetyczny	reakcje endoergiczne	reakcje egzoergiczne
Przykłady	fotosynteza, chemosynteza, synteza białek	oddychanie komórkowe, β -oksydacja

Mechanizmy syntezy ATP

Rodzaj mechanizmu	Charakterystyka	Miejsce występowania	Proces
Fosforylacja substratowa	przeniesienie reszty fosforanowej z cząsteczki związku organicznego na ADP	cytozol komórek	oddychanie komórkowe, fermentacja (np. glikoliza)
Fosforylacja fotosyntetyczna	synteza ATP przy wykorzystaniu energii świetlnej	błony tylakoidów	fotosynteza
Fosforylacja oksydacyjna	wykorzystanie energii uwolnionej w łańcuchu oddechowym do syntezy ATP	wewnętrzna błona mitochondrialna u organizmów eukariotycznych, wewnątrzkomórkowe wpuklenia błony u bakterii	oddychanie komórkowe (łańcuch oddechowy)

Nośniki elektronów

Forma utleniona	Forma zredukowana	Funkcja
NAD^+ , FAD	$\text{NADH} + \text{H}^+$, FADH_2	Stanowią przejściowy magazyn energii (nośniki elektronów w oddychaniu komórkowym), biorą udział w syntezie ATP.
NADP^+	$\text{NADPH} + \text{H}^+$	Jest nośnikiem elektronów w reakcjach anabolicznych (np. fotosynteza, synteza kwasów tłuszczowych).

Budowa enzymów będących białkami

ENZYM			
Część białkowa (apoenzym)	Część niebiałkowa (kofaktor)		
	jony metali (np. Zn^{2+} , Mg^{2+} , K^+)	cząsteczka organiczna (np. FAD, NAD^+ , ATP, witaminy)	
		związana z apoenzymem trwale (grupa prostetyczna)	związana z apoenzymem nietrwale (koenzym)

Czynniki wpływające na szybkość reakcji enzymatycznej

CZYNNIKI					
stężenie substratu	temperatura	wartość pH	stężenie soli	substancje aktywujące (aktywatory)	substancje hamujące (inhibitory)

Właściwości enzymów

ENZYMY CECHUJE

swoistość substratowa

dany enzym wiąże się wyłącznie z określonym rodzajem substratu

swoistość katalizowanej reakcji

pojedynczy enzym katalizuje zestaw reakcji jednego typu, a niekiedy tylko jedną, określoną reakcję chemiczną

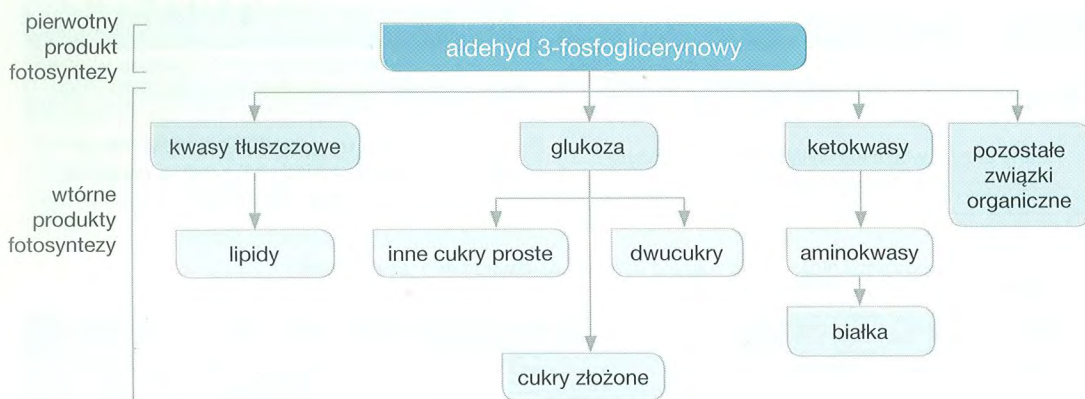
Fotosynteza i chemosynteza

Cecha	Fotosynteza	Chemosynteza
Źródło energii	światło	utlenianie substratów nieorganicznych lub prostych związków organicznych
Ogólny zapis reakcji	$6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$	Etap 1. substrat zredukowany + $\text{O}_2 \rightarrow$ produkt utleniony + energia chemiczna Etap 2. $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$
Etap 1. procesu	faza zależna od światła – przekształcenie energii świetlnej w energię chemiczną magazynowaną w postaci ATP i NADPH + H^+	utlenianie związków mineralnych, wytwarzanie ATP oraz NADH + H^+ lub NADPH + H^+
Etap 2. procesu	faza niezależna od światła (cykl Calvina)	proces redukcji dwutlenku węgla przy udziale siły asymilacyjnej i wbudowywania go w związki organiczne
Przykłady organizmów	rośliny, protisty roślinopodobne, niektóre bakterie (sinice)	niektóre bakterie (żelazowe, siarkowe, nityfikacyjne, wodorowe)
Znaczenie dla organizmu	wytwarzanie związków organicznych budulcowych i energetycznych	wytwarzanie związków organicznych budulcowych i energetycznych
Znaczenie w przyrodzie	- wytwarzanie materii organicznej będącej pożywieniem dla heterotrofów - produkcja tlenu	- niewielki udział w produkcji materii organicznej - usuwanie ze środowiska związków toksycznych - przekształcanie substancji mineralnych do postaci przyswajalnej dla roślin

Fosforylacja cykliczna i niecykliczna

Cecha	Fosforylacja niecykliczna	Fosforylacja cykliczna
Warunki zachodzenia	optimalne stężenie dwutlenku węgla i natężenie światła	silne oświetlenie i niskie stężenie dwutlenku węgla
Udział fotosystemów	wymaga udziału fotosystemów I i II	wymaga udziału jedynie fotosystemu I
Droga elektronów	- elektrony z fotosystemu I trafiają na NADP⁺ - elektrony powstałe w wyniku fotolizy wody trafiają do fotosystemu II - elektrony z fotosystemu II trafiają do fotosystemu I	elektrony są transportowane przez szereg nośników i powracają do fotosystemu I
Fotoliza wody	zachodzi, protony trafiają do NADP ⁺ , elektrony do fotosystemu II	nie zachodzi
Produkt	NADPH + H^+ , tlen, ATP	ATP

Produkty fotosyntezy



Fotosynteza i oddychanie u roślin

Cecha	Fotosynteza	Oddychanie
Miejsce zachodzenia	chloroplasty	cytozol i mitochondria
Substraty	dwutlenek węgla, woda	związki organiczne, głównie węglowodany i tłuszcze
Ostateczne produkty	związki organiczne, tlen	dwutlenek węgla, woda
Energia	zamiana energii świetlnej w energię wiązań chemicznych	zamiana energii wiązań chemicznych na inne rodzaje energii (np. ciepłą, mechaniczną)
Czynniki wpływające na intensywność	• barwa światła • natężenie światła • stężenie dwutlenku węgla • temperatura • ilość wody w otoczeniu • sole mineralne	• typ tkanki • temperatura • stężenie dwutlenku węgla • zawartość wody w komórkach
Okres trwania	zwykle w dzień	w dzień i w nocy

Oddychanie tlenowe

Cecha	Glikoliza	Reakcja pomostowa	Cykl Krebsa	Łańcuch oddechowy
Mechanizm	rozkład glukozy do pirogronianu	przekształcenie pirogronianu w acetylo-CoA	cykl przemian prowadzących do powstania zredukowanych przenośników elektronów	transport elektronów na tlen, sprzężony z syntezą ATP
Substraty	glukoza, NAD ⁺ , ADP	pirogronian, NAD ⁺ , CoA	acetylo-CoA, NAD ⁺ , FAD, H ₂ O, ADP	O ₂ , NADH + H ⁺ , FADH ₂
Produkty	pirogronian, NADH + H ⁺ , ATP	acetylo-CoA, CO ₂ , NADH + H ⁺	CO ₂ , FADH ₂ , NADH + H ⁺ , ATP	NAD ⁺ , FAD, H ₂ O
Miejsce	cytozol	matrix mitochondrialna	matrix mitochondrialna	wewnętrzna błona mitochondrium
Zysk energetyczny	2 ATP	–	2 ATP	28 ATP

Obliczając całkowity zysk energetyczny oddychania tlenowego, należy od 32 cząsteczek ATP uzyskanych w tym procesie odjąć 2 cząsteczki ATP zużyte podczas transportu 2 cząsteczek NADH + H⁺ z cytozolu do mitochondrium. Z tego wynika, że całkowity zysk energetyczny wynosi 30 cząsteczek ATP.

Oddychanie beztlenowe i fermentacja

Cecha	Oddychanie beztlenowe	Fermentacja mlekowa	Fermentacja alkoholowa
Akceptor elektronów	substancja nieorganiczna w postaci soli mineralnych lub wolnego pierwiastka	pirogonian	aldehyd octowy
Produkty	CO ₂ , związek nieorganiczny	kwask mlekowy	etanol, CO ₂
Zysk energetyczny	zależy od rodzaju, gatunku lub szczepu bakterii	2 ATP	2 ATP
Przykłady organizmów	bakterie denitryfikacyjne	niektóre bakterie i grzyby	drożdże

Inne przemiany metaboliczne

Cecha	Glukoneogeneza	β-oksydacja	Deaminacja
Mechanizm	proces wytwarzania glukozy z substancji, które nie są cukrami	rozkład kwasów tłuszczowych pochodzących z trawienia tłuszczów na dwuwęgłowe fragmenty	odłączenie grupy aminowej od aminokwasu
Substraty	- kwask mlekowy powstający w pracujących mięśniach - glicerol (produkt rozkładu tłuszczów) - wolne aminokwasy (z białek zawartych w pokarmie lub w wypadku głodu – z mięśni szkieletowych)	kwasy tłuszczowe	aminokwasy
Produkty	glukoza	acetylo-CoA	ketokwas, jon amonowy
Etap oddychania, w którym następuje wykorzystanie produktu	glikoliza	cykl Krebsa	- reakcja pomostowa (po przekształceniu do pirogonianu) - cykl Krebsa (po przekształceniu do acetylo-CoA lub związków pośrednich cyklu)
Miejsce zachodzenia procesu	komórki wątroby, w mniejszym stopniu komórki nerek	większość komórek organizmu	wszystkie komórki – w wypadku długotrwałego głodu lub dostarczenia nadmiaru białek

Produkty przemiany materii

Cecha	Dwutlenek węgla	Woda	Jony amonowe
Pochodzenie	rozkład białek, węglowodanów, aminokwasów i kwasów nukleinowych	rozkład białek, węglowodanów, aminokwasów i kwasów nukleinowych	deaminacja aminokwasów, rozkład kwasów nukleinowych
Dalsze przemiany	brak	brak	po połączeniu z glutamianem lub pirogonianem w postaci glutaminy lub alaniny są transportowane do wątroby, gdzie zużywane są do syntezy mocznika w cyklu mocznikowym
Droga usuwania z organizmu	przez drogi oddechowe	przez układ wydalniczy, drogi oddechowe i skórę	przez układ wydalniczy

Test maturalny

1 Na metabolizm składają się przemiany anaboliczne i kataboliczne, które niejednokrotnie są przeciwstawne. Mogą one, ale nie muszą, równoważyć się w danej tkance czy na danym etapie rozwoju organizmu.

a) Uzupełnij tabelę, przyporządkowując podane przykłady jednemu z trzech możliwych stanów metabolicznych.

1. Tkanka kostna trzydziestolatka.
2. Bielmo wtórne kielkującego nasienia.
3. Merystem wierzchołkowy korzenia cebuli.
4. Tkanka kostna noworodka.
5. Komórki ogona kijanki będącej w trakcie przeobrażania się w dorosłą żabę.
6. Komórki wczesnego raka płuc.
7. Tkanka nerwowa osiemnastolatki.

Przewaga anabolizmu	Równowaga anabolizmu i katabolizmu	Przewaga katabolizmu

b) Wymień jedną cechę komórki, która umożliwia jednoczesne przeprowadzanie reakcji anabolicznych i katabolicznych.

.....

c) Podaj nazwę ciągu następujących po sobie reakcji enzymatycznych, w których produkt jednej reakcji jest zarazem substratem kolejnej.

.....

2 Jedną z metod przyspieszania reakcji syntezy w laboratorium jest podgrzanie mieszaniny reakcyjnej. Żywe komórki funkcjonują w ściśle określonych zakresach temperatur, a do zwiększenia efektywności przeprowadzanych reakcji wykorzystują odmienny mechanizm – katalizę enzymatyczną.

Oceń prawdziwość zdań dotyczących reakcji syntezy. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

		P/F
1.	Do zajścia reakcji syntezy wystarcza odpowiednio wysoka energia zderzających się cząsteczek.	
2.	W reakcji syntezy, aby reagenty połączyły się ze sobą, niezbędne jest odpowiednie przestrzenne ustawienie się cząsteczek względem siebie.	
3.	W wyniku podgrzania reagentów rośnie procent efektywnych zderzeń ich cząsteczek.	
4.	Enzym wykazuje powinowactwo do obu substratów i ustawia je przestrzennie w sposób ułatwiający zajście reakcji.	

3 Na wykresie przedstawiono wpływ stężenia CO_2 na intensywność fotosyntezy.

a) Podaj, a następnie zaznacz na wykresie średnią wartość stężenia CO_2 w atmosferze ziemskiej.

.....

b) Opisz prostą metodę zwiększania wydajności upraw w hodowlach szklarniowych.

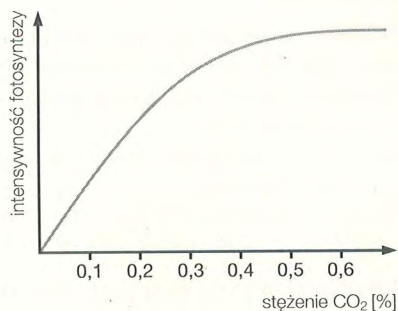
.....

.....

.....

.....

.....



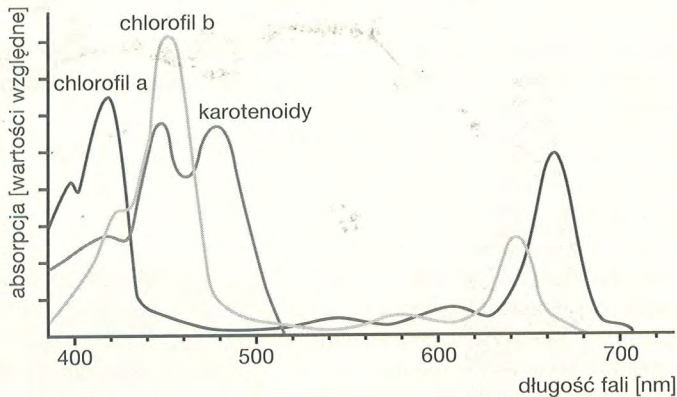
c) Podaj trzy inne niż stężenie CO_2 czynniki wpływające na intensywność fotosyntezy.

1.

2.

3.

4 Jesienią chlorofil w liściach zostaje rozłożony, a jego składniki wycofane do pnia. Na wykresie przedstawiono widmo absorpcyjne podstawowych barwników występujących latem w liściach roślin.



a) Zapisz długość fal pochłanianych w największym stopniu przez chlorofil a, chlorofil b i karotenoidy.

Chlorofil a:

Chlorofil b:

Karotenoidy:

b) Wyjaśnij, dlaczego jesienne liście różnią się barwą od liści wiosennych i letnich.

.....

.....

.....

.....

5 Oddychanie tlenowe to proces uzyskiwania energii z rozkładu związków organicznych. Przebiega on w czterech etapach.

a) Podaj w prawidłowej kolejności etapy oddychania tlenowego.

- Cząsteczka aldehydu glicerolowego ulega dekarboksylacji w procesie tworzenia acetylo-CoA.
- Atomy wodoru, pochodzące z NADH_2 i FADH_2 , łączą się z tlenem, w wyniku czego powstają cząsteczki ATP.
- W trakcie przemian kwasów trój- i dwukarboksylowych dochodzi do ich dekarboksylacji i dehydrogenacji.
- Dwie cząsteczki ATP (na jedną cząsteczkę glukozy) są wprowadzane do procesu, w którym ostatecznie uwalniane są cztery cząsteczki ATP i dwie cząsteczki NADH_2 .

Właściwa kolejność etapów procesu oddychania tlenowego:

b) Podaj nazwy etapów oddychania tlenowego, które zachodzą w matrix mitochondrium.

.....

c) Określ, czy oddychanie tlenowe jest procesem anabolicznym czy katabolicznym. Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

6 Rozkład tłuszczów właściwych prowadzi do powstania kwasów tłuszczowych i glicerolu.

a) Podaj nazwę procesu biochemicznego, w którego wyniku kwasy tłuszczowe zostają rozłożone na dwuwęglowe fragmenty, oraz nazwę końcowego produktu tego procesu.

.....

b) Wyjaśnij, w jaki sposób rozkład tłuszczów właściwych ma wpływ na oddychanie wewnątrzkomórkowe.

.....

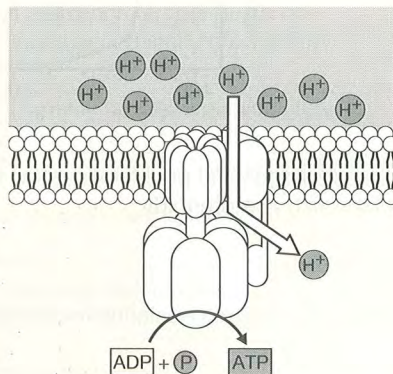
7 Zarówno w fazie jasnej fotosyntezy, jak i w łańcuchu oddechowym podczas oddychania tlenowego dochodzi do tworzenia cząsteczek ATP przez enzym syntazę ATP, który znajduje się w błonie wewnętrznej chloroplastu lub mitochondrium. Na ilustracji przedstawiono budowę i działanie syntazy ATP.

a) Podaj nazwę reakcji przeprowadzanej przez syntazę ATP.

.....

b) Wyjaśnij, jaki proces jest odpowiedzialny za nagromadzenie protonów (H^+) po jednej stronie błony wewnętrznej chloroplastu lub mitochondrium.

.....

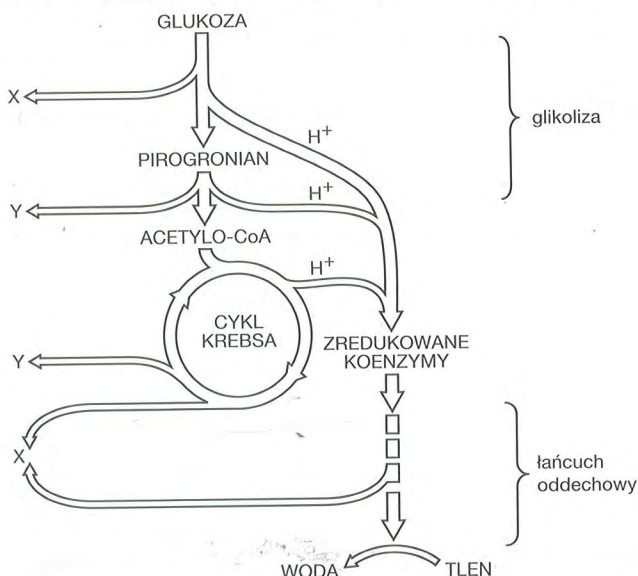


To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 11.2006 (PR), zad. 12.

Na schemacie przedstawiono proces biologicznego utleniania glukozy.



Podaj nazwy związków chemicznych, które należy wpisać w miejsca oznaczone na schemacie X i Y.

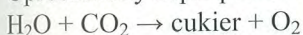
X -

Y -

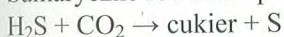
Zadanie 2. (2 pkt)

Źródło: CKE 2005 (PR), zad. 43.

Uproszczony zapis procesu fotosyntezy u roślin zielonych



Sumaryczne równanie procesu fotosyntezy u purpurowych bakterii siarkowych (beztlenowce)



Cechą wspólną tych reakcji jest powstawanie cukrów na drodze redukcji CO_2 .

Wskaż źródła wodoru użytego do redukcji CO_2 w procesach fotosyntezy u roślin zielonych i u purpurowych bakterii siarkowych oraz wyjaśnij, dlaczego organizmy te korzystają z różnych źródeł tego pierwiastka.

.....

.....

.....

.....

Zadanie 3. (1 pkt)

Źródło: CKE 05.2006 (PR), zad. 35.

Poniższe zdania zawierają informacje o fazie fotosyntezy niezależnej od światła.

Zaznacz zdanie zawierające błędną informację i uzasadnij swój wybór.

1. Reakcje niezależne od światła przebiegają w stromie chloroplastów.
2. Faza niezależna od światła, czyli tzw. cykl Calvina, składa się z trzech etapów – karboksylacji, redukcji i regeneracji.
3. W stromie chloroplastów, w wyniku cyklu przemian, CO_2 zostaje przekształcony w produkt fotosyntezy.
4. W procesie redukcji dwutlenku węgla wykorzystywane są produkty fazy świetlnej – ATP i NADP.

Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PR), zad. 14.

Na metabolizm składają się dwa przeciwstawne kierunki przemian biochemicznych: anabolizm i katabolizm.

Poniżej przedstawiono, w uproszczony sposób, przykład jednego z procesów katabolicznych zachodzących w komórce.



a) Podaj nazwę procesu, który zachodzi w komórce w przedstawiony powyżej sposób.

b) Uzasadnij, za pomocą jednego argumentu, kataboliczny charakter tego procesu.

Zadanie 5. (1 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PR), zad. 8.

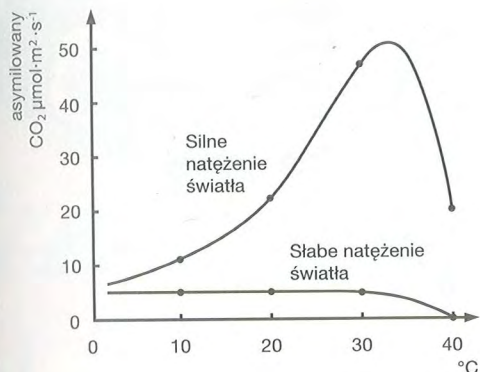
Wśród wymienionych niżej procesów zaznacz dwa, które są procesami anabolicznymi.

- A. Fermentacja alkoholowa.
- B. Chemosynteza.
- C. Hydroliza skrobi.
- D. Oddychanie tlenowe.
- E. Replikacja DNA.

Zadanie 6. (1 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PR), zad. 8.

Na wykresach przedstawiono zależność asymilacji CO_2 od temperatury u tej samej rośliny, przy silnym i słabym natężeniu światła.



Ustal, czy przedstawione na wykresie dane dotyczą rośliny światłolubnej czy cieniolubnej. Swoją opinię uzasadnij jednym argumentem.

.....

.....

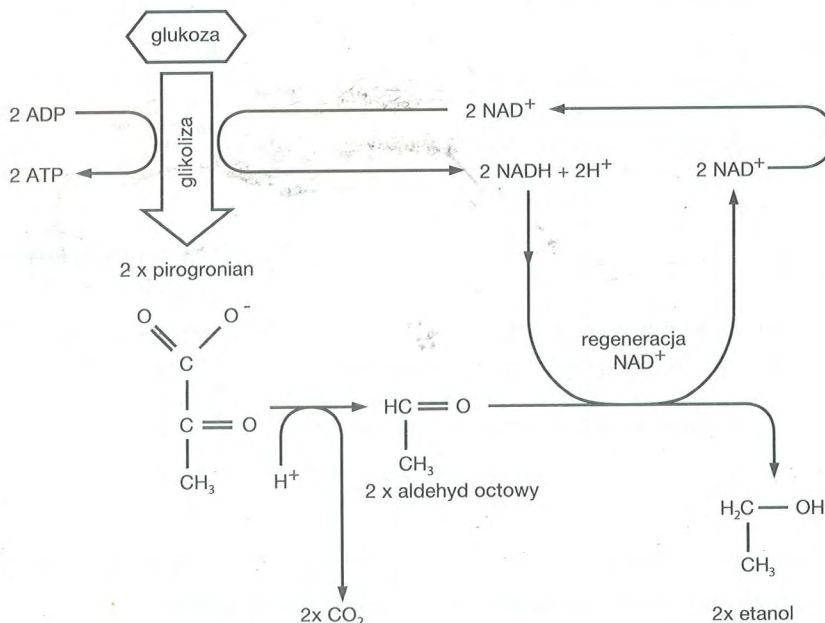
.....

.....

Zadanie 7. (2 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PR), zad. 9.

Na schemacie przedstawiono pewien proces biochemiczny.



a) Podaj pełną nazwę przedstawionego na schemacie procesu i określ jego znaczenie w życiu tych organizmów, które go przeprowadzają.

.....

.....

b) Wyjaśnij znaczenie procesu regeneracji NAD^+ .

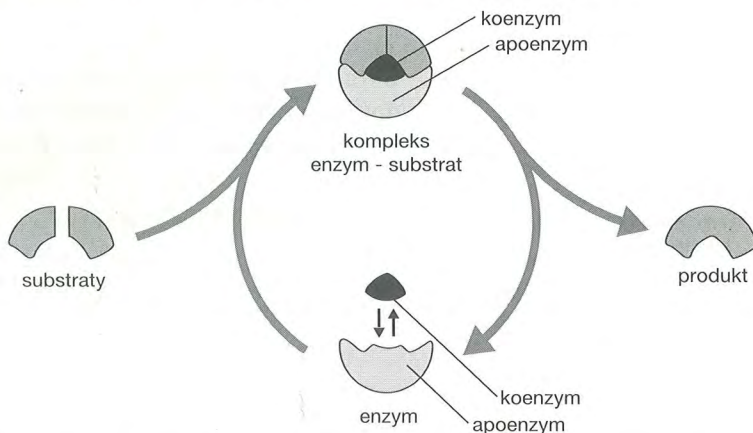
.....

.....

Zadanie 8. (2 pkt)

Źródło: CKE 2012 (PR), zad. 6.

Na schemacie przedstawiono katalityczne działanie pewnego enzymu.



Na podstawie: P. Hoser, *Fizjologia organizmów z elementami anatomii człowieka*, Warszawa 2000.

a) Spośród wymienionych właściwości enzymu zaznacz dwie, które można określić wyłącznie na podstawie schematu.

- ☒ A. Nie zużywa się w trakcie reakcji.
- ☐ B. Nie wpływa na równowagę reakcji.
- ☐ C. Wykazuje dużą aktywność katalityczną.
- ☐ D. Przyspiesza przebieg reakcji chemicznej.
- ☒ E. Jest specyficzny względem substratu dzięki koenzymowi.

b) Zaznacz rodzaj enzymu, który katalizuje przedstawioną na schemacie reakcję enzymatyczną.

- ☐ A. Transferaza – enzym przenoszący grupy chemiczne z jednego związku na drugi.
- ☐ B. Liza – enzym powodujący niehydrolityczny rozpad cząsteczek substratu.
- ☒ C. Ligaza – enzym katalizujący łączenie się dwóch cząsteczek.
- ☐ D. Hydrolaza – enzym biorący udział w reakcjach hydrolizy.

Zadanie 9. (2 pkt)

Źródło: CKE 2012 (PR), zad. 7.

Stwierdzono, że pewna reakcja enzymatyczna zachodzi zawsze w temperaturze ok. 20°C.

Określ i uzasadnij, jaki wpływ na przebieg tej reakcji będzie miało

1. podwyższenie temperatury do 70°C.

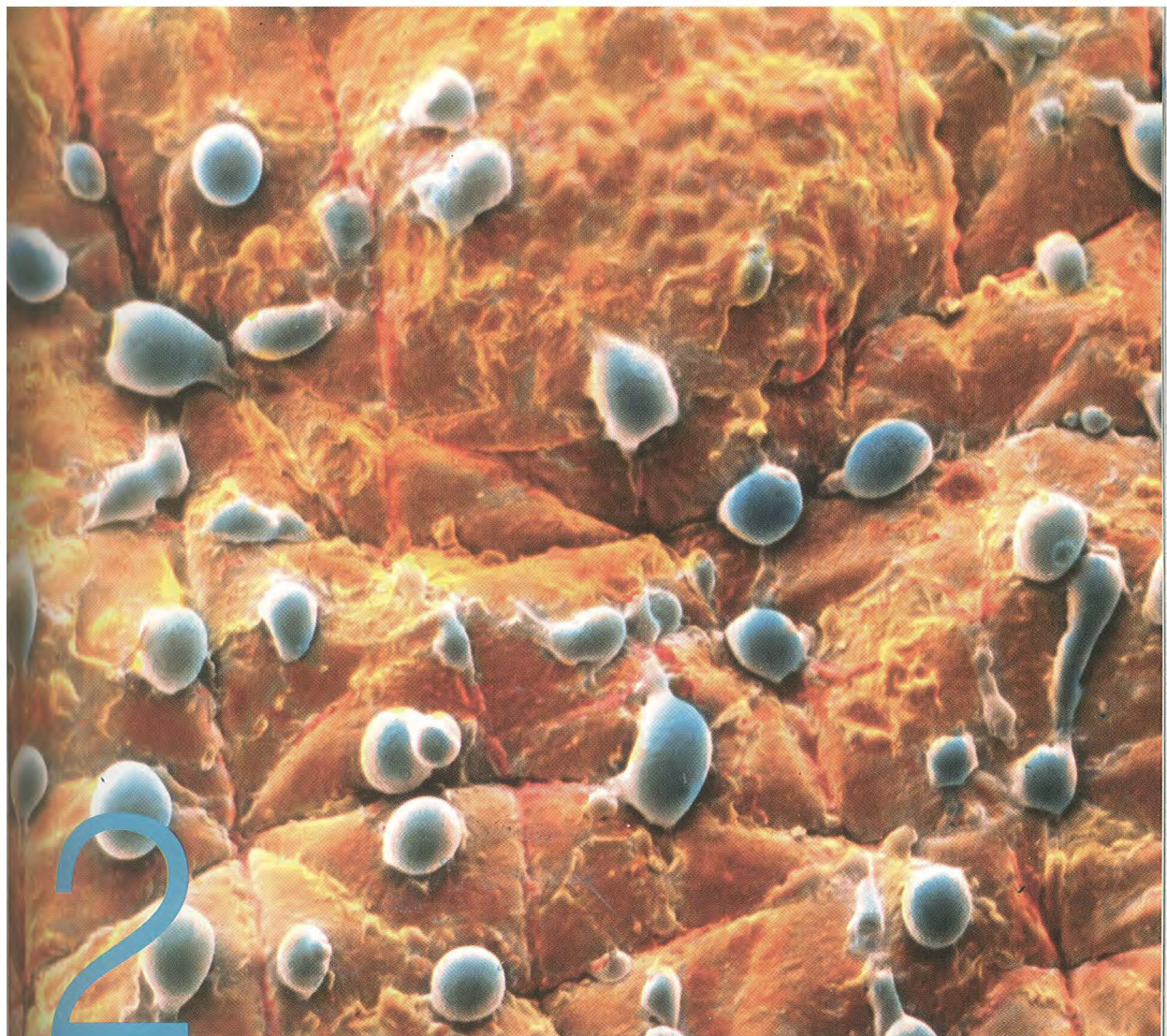
.....

.....

2. obniżenie temperatury do 5°C.

.....

.....



2

Organizm człowieka. Skóra – powłoka ciała

1. Organizm człowieka jako funkcjonalna całość
2. Budowa i funkcje skóry
3. Choroby i higiena skóry

Fot. Krople potu na skórze człowieka (mikrofotografia skaningowa).



1

Organizm człowieka jako funkcjonalna całość

Ciało człowieka stanowi wielopoziomową strukturę złożoną ze współpracujących ze sobą elementów. Podstawową jednostką budulcową i funkcjonalną jest **komórka**. Komórki o wspólnym pochodzeniu i podobnej budowie łączą się w zespoły nazywane **tkankami**. W organizmie człowieka występują cztery główne rodzaje tkanek zwierzęcych: tkanka nabłonkowa, tkanka mięśniowa, tkanka łączna oraz tkanka nerwowa. Tkanki współpracujące w pełnieniu określonych funkcji tworzą **narządy**. Narządy współuczestniczące w spełnianiu określonych

czynności życiowych tworzą układ narządów. Niektóre narządy należą wyłącznie do jednego układu (np. żołądek należy do układu pokarmowego), inne stanowią elementy kilku układów (np. trzustka wydzielająca enzymy trawienne oraz hormony jest jednocześnie narządem układu pokarmowego i układu hormonalnego).

W organizmie człowieka wyróżnia się zwykle 11 układów narządów. Część naukowców wyróżnia jeszcze jeden układ – odpornościowy, w którego skład wchodzi m.in. wszystkie narządy układu limfatycznego i skóra. Ponadto

Hierarchiczna budowa organizmu

Wielopoziomową budowę organizmu można prześledzić, zaczynając od komórki mięśniowej.

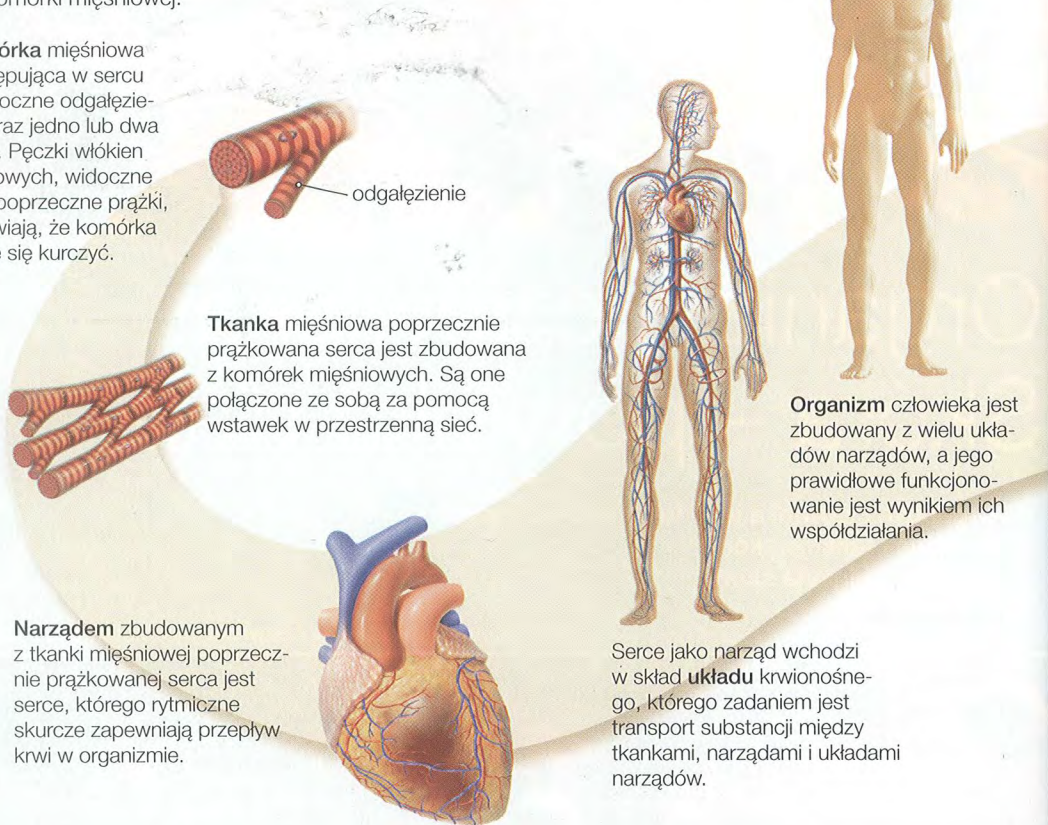
Komórka mięśniowa występująca w sercu ma boczne odgałęzienia oraz jedno lub dwa jądra. Pęczki włókien białkowych, widoczne jako poprzeczne prążki, sprawiają, że komórka może się kurczyć.

Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana serca jest zbudowana z komórek mięśniowych. Są one połączone ze sobą za pomocą wstawek w przestrzenną sieć.

Narządem zbudowanym z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej serca jest serce, którego rytmiczne skurcze zapewniają przepływ krwi w organizmie.

Organizm człowieka jest zbudowany z wielu układów narządów, a jego prawidłowe funkcjonowanie jest wynikiem ich współdziałania.

Serce jako narząd wchodzi w skład **układu** krwionośnego, którego zadaniem jest transport substancji między tkankami, narządami i układami narządów.



niektóre układy czasem traktuje się całościowo, np. układ krwionośny i układ limfatyczny jako układ krążenia, a układy mięśniowy i szkieletowy jako układ (aparatus) ruchu.

W organizmie człowieka poszczególne układy narządów są przystosowane do pełnienia ściśle określonych funkcji. Na przykład układ oddechowy dostarcza do organizmu tlen, a układ pokarmowy – substancje odżywcze. Z kolei układ krwionośny rozprowadza po ciele zarówno tlen, jak i substancje odżywcze, a także hormony wydzielane przez układ hormonalny, który za

ich pośrednictwem reguluje pracę pozostałych układów. Wynika z tego, że funkcjonowanie organizmu jest oparte na **współdziałaniu wszystkich układów narządów**.

■ Homeostaza

Dzięki współpracy wszystkich układów narządów organizm utrzymuje **homeostazę**, czyli w miarę stabilne warunki wewnętrzne. Polega to na zachowaniu na odpowiednim poziomie takich parametrów, jak: temperatura ciała, ciśnienie i skład chemiczny krwi, mimo

Układy narządów i ich funkcje w organizmie

Nazwa układu	Najważniejsze elementy układu	Główne funkcje
Skóra	• naskórek • skóra właściwa • wytwory naskórka (włosy, paznokcie, gruczoły)	• ochrona ciała • odbieranie bodźców ze środowiska • regulowanie temperatury ciała
Układ szkieletowy	• kości • połączenia kości (np. stawy)	• utrzymywanie ciężaru ciała • ochrona narządów wewnętrznych • magazynowanie soli mineralnych
Układ mięśniowy	• mięśnie	• umożliwianie ruchu oraz pracy narządów wewnętrznych
Układ pokarmowy	• przewód pokarmowy • gruczoły trawienne	• pobieranie, trawienie i wchłanianie pokarmu • usuwanie niestrawionych resztek pokarmowych
Układ krwionośny	• serce • naczynia krwionośne wypełnione krwią	• transportowanie substancji (m.in. gazów oddechowych i substancji odżywczych) • udział w reakcjach obronnych organizmu
Układ limfatyczny	• naczynia limfatyczne wypełnione limfą • narządy limfatyczne (np. węzły chłonne)	• transportowanie niektórych substancji odżywczych, głównie tłuszczów • udział w reakcjach obronnych organizmu
Układ oddechowy	• drogi oddechowe • płuca	• dostarczanie tlenu do organizmu • usuwanie dwutlenku węgla z organizmu
Układ wydalniczy	• nerki • drogi wyprowadzające mocz	• usuwanie szkodliwych produktów przemiany materii (m.in. mocznika) • udział w regulacji ilości wody i soli mineralnych w organizmie (osmoregulacja)
Układ nerwowy	• mózgowie • rdzeń kręgowy • nerwy • narządy zmysłów	• odbieranie bodźców i reakcja na nie • regulowanie i koordynowanie pracy pozostałych układów
Układ hormonalny	• gruczoły (np. przysadka, tarczyca)	• udział w regulowaniu procesów życiowych za pomocą hormonów
Układ rozrodczy	• narządy płciowe wewnętrzne (m.in. jądra i jajniki) • narządy płciowe zewnętrzne	• umożliwienie rozmnażania się • wykształcenie zewnętrznych cech płciowych

zmiennych warunków środowiska. Homeostazę utrzymują mechanizmy regulujące, związane przede wszystkim z układem nerwowym i hormonalnym. Działają one na zasadzie **sprzężeń zwrotnych**. Są one podobne do sprzężeń występujących np. w termostacie, gdzie spadek temperatury powietrza poniżej określonej wartości uruchamia urządzenie grzewcze, a osiągnięcie wymaganej temperatury wyłącza to urządzenie. Większość mechanizmów homeostatycznych działa na zasadzie **ujemnego sprzężenia zwrotnego**. Oznacza to, że efekt końcowy hamuje proces, który doprowadził do powstania tego efektu. Dodatkowo sprzężenie zwrotne występuje wówczas, gdy efekt końcowy nasila proces, który do niego doprowadził. Mechanizmy homeostatyczne przeciwdziałają zaburzeniom, do których dochodzi zarówno pod wpływem czynników zewnętrznych (np. temperatury otoczenia), jak i wewnętrznych (np. wysiłku fizycznego). Zakłócenie tych mechanizmów powoduje chorobę, a jeśli powrót do stanu równowagi nie jest możliwy, prowadzi do śmierci.

■ Termoregulacja

Człowiek należy do **zwierząt stałocieplnych**. Posiadają one zdolność utrzymania stałej temperatury ciała, z tolerancją do 2°C, niezależnie od wahań temperatury otoczenia. Źródłem ciepła są dla nich procesy metaboliczne zachodzące wewnątrz organizmów, dlatego noszą miano zwierząt **endotermicznych**. Z kolei temperatura

ciała **zwierząt zmiennocieplnych** (bezkęgowce i strunowce do gadów włącznie) podlega dużym wahaniom i w znacznym stopniu zależy od temperatury otoczenia. Zwierzęta te mogą jednak w pewnym zakresie regulować temperaturę ciała i niwelować termiczne wpływy środowiska, a tym samym utrzymywać ją na odpowiednim dla siebie poziomie. Głównym źródłem ciepła jest dla nich temperatura panująca w otoczeniu, stąd nazywane są zwierzętami **ektotermicznymi**.

Czy wiesz, że...

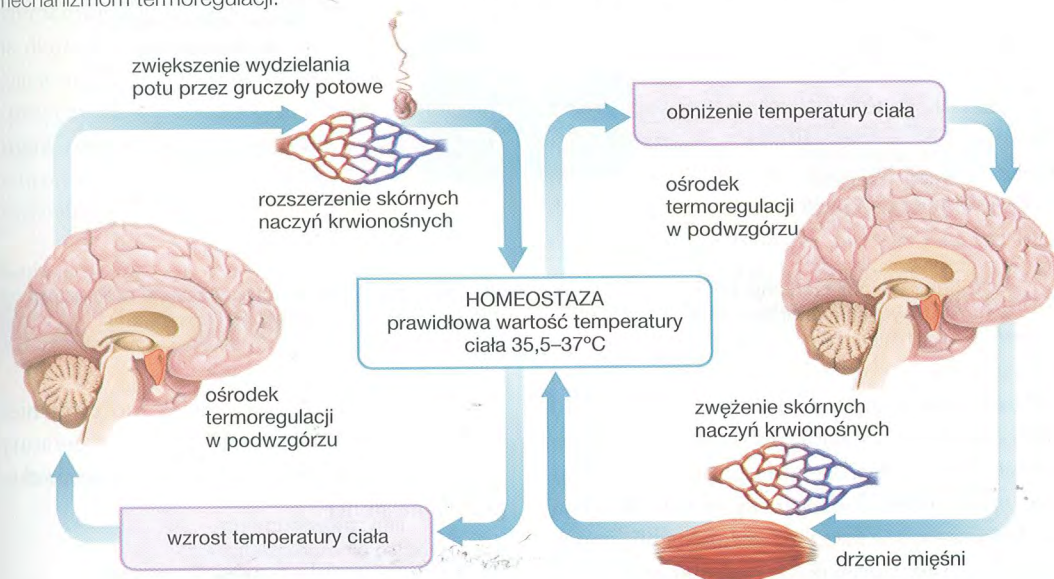
Człowieka zalicza się do ssaków tropikalnych. Jest tak, ponieważ aby móc utrzymać równowagę cieplną, pozostając w bezruchu i bez ubrania, potrzebuje stosunkowo wysokiej temperatury otoczenia (28–30°C).

Utrzymanie **stałej temperatury ciała** jest możliwe dzięki istnieniu skomplikowanych mechanizmów regulacji fizjologicznej, opartych na utrzymaniu równowagi między ciepłem wytwarzanym przez organizm a ciepłem oddawanym do otoczenia. Mechanizm ten jest koordynowany przez **ośrodek termoregulacji** znajdujący się w części mózgowia nazywanej **podwzgórzem**. Precyzyjnej oceny stanu termicznego organizmu dokonują **termoreceptory**, czyli receptory reagujące na zmianę temperatury. Są one rozmieszczone głównie w skórze, a także w naczyniach krwionośnych, mózgu i przewodzie pokarmowym.



Regulacja temperatury ciała człowieka

Temperatura naszego ciała musi być utrzymywana w przedziale 35,5–37°C. Zmiany temperatury otoczenia lub wysiłek fizyczny zaburzają równowagę termiczną organizmu i mogą prowadzić do wychłodzenia lub przegrzania. Zachowanie względnie stałej ciepłoty ciała jest możliwe dzięki mechanizmom termoregulacji.



MECHANIZMY OBRONY ORGANIZMU PRZED

wychłodzeniem

- zwężenie skórnych naczyń krwionośnych – ograniczenie przepływu krwi
- zmniejszenie wydzielania potu
- pojawienie się dreszczy (drżenia mięśni)
- zwiększenie wytwarzania ciepła (szybsze tempo przemian metabolicznych)
- zmniejszenie częstości oddechów

przegrzaniem

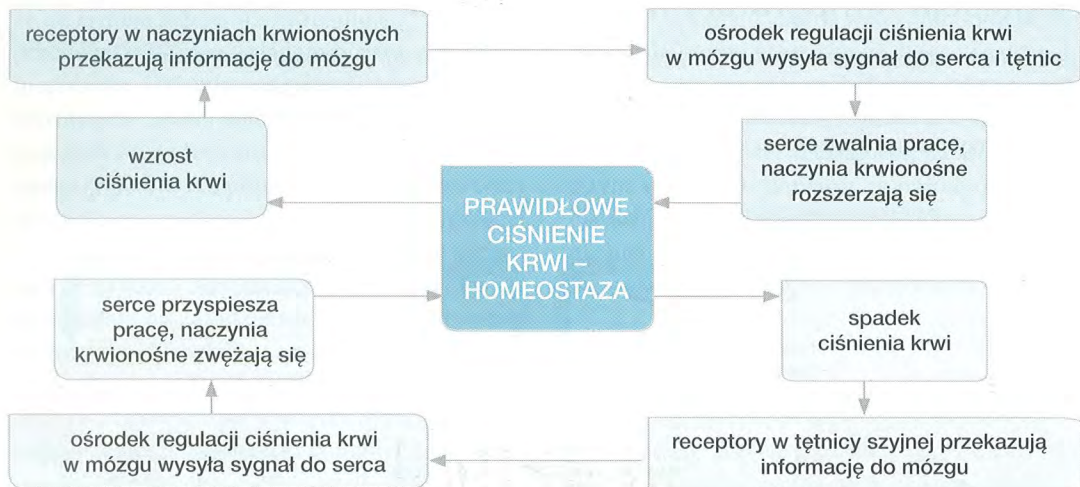
- rozszerzenie skórnych naczyń krwionośnych – zwiększenie przepływu krwi
- zwiększenie wydzielania potu; parowanie potu z powierzchni skóry
- zwiększenie częstości oddechów; parowanie wody przez drogi oddechowe

Obniżenie temperatury otoczenia sprawia, że organizm uruchamia procesy prowadzące do wytworzenia ciepła, nazywane **termogenezą**.

Podwyższenie temperatury ciała następuje przede wszystkim na skutek **zwiększenia intensywności przemian metabolicznych komórek**, przy czym największe znaczenie w wytwarzaniu ciepła mają **mięśnie szkieletowe**, **tkanka tłuszczowa** oraz **wątroba**. Równocześnie ograniczona zostaje utrata ciepła przez skórę (zwężenie włosowatych naczyń krwionośnych skóry, ograniczenie wydzielania potu), pojawiają się

dreszcze – mimowolne skurcze mięśni szkieletowych – dzięki którym także powstają pewne ilości ciepła (**termogeneza drżeniowa**). Zewnętrznym objawem stanu oziębienia organizmu jest tzw. gęsia skórka, powstająca na skutek skurczu mięśni napinających włosy. U zwierząt pokrytych futrem jest to doskonały mechanizm zapewniający zwiększenie zewnętrznej warstwy izolacyjnej, ponieważ **nastroszone włosy utrzymują ciepłe powietrze przy skórze**. U człowieka, ze względu na skąpe owłosienie, mechanizm ten nie pełni już swojej funkcji.

Regulacja ciśnienia krwi



Obniżenie temperatury ciała odbywa się przez: rozszerzenie naczyń krwionośnych skóry, zwiększenie wydzielania potu oraz szybką wentylację płuc. Zwiększony przepływ krwi przez rozszerzone naczynia położone blisko powierzchni ciała sprawia, że nadmiar ciepła jest wypromieniowywany z organizmu. Woda, która stanowi główny składnik potu, charakteryzuje się dużym ciepłem parowania. Dzięki temu, parując z powierzchni skóry, pochłania znaczne ilości ciepła i w efekcie przyczynia się do ochłodzenia organizmu. Parowanie odbywa się nie tylko przez powierzchnię skóry, ale także przez drogi oddechowe. Uważa się, że w ten sposób człowiek traci ok. 1 l wody na dobę. Straty wody i soli powinny być regularnie uzupełniane.

Należy pamiętać, że człowiek może również świadomie wpływać na regulację temperatury swojego ciała, np. przez ubiór czy unikanie ekspozycji na słońce.

■ Utrzymywanie prawidłowego ciśnienia krwi

Prawidłowe ciśnienie krwi umożliwia dostarczanie do komórek wszystkich niezbędnych im do życia składników (tłenu, glukozy i innych), a także ciepła. Zbyt niskie ciśnienie krwi prowadzi do niedotlenienia i niedożywienia komórek, zbyt wysokie może doprowadzić np. do pęknięcia naczyń krwionośnych mózgu (udar). Najprostszy mechanizm regulacji ciśnienia krwi polega na modyfikacji tempa pracy serca.

Polecenia kontrolne

1. Wykaż, opierając się na przykładzie innym niż zamieszczony w podręczniku, hierarchiczną budowę organizmu człowieka.
2. Wyjaśnij pojęcia *tkanka* oraz *narząd*. Podaj przykłady tkanek i narządów.
3. Wymień układy narządów człowieka i główne funkcje każdego z nich.
4. Wyjaśnij, dlaczego układ odpornościowy często nie jest traktowany jako oddzielny układ narządów.
5. Wyjaśnij pojęcie *homeostaza* i określ znaczenie utrzymywania homeostazy dla funkcjonowania organizmu.
6. Wymień układy, które odgrywają szczególną rolę w utrzymaniu homeostazy. Uzasadnij swój wybór.
7. Na podstawie dostępnych źródeł informacji wymień trzy wybrane parametry krwi, które świadczą o stanie równowagi wewnątrzustrojowej. Podaj ich prawidłowe wartości.

2

Budowa i funkcje skóry

Skóra jest zewnętrzną powłoką ciała. Jej powierzchnię u dorosłego człowieka ocenia się na około 1,8 m². Stanowi ona **barierę** oddzielającą organizm od środowiska zewnętrznego i przyczynia się do **utrzymania homeostazy organizmu**. Pełni też wiele innych funkcji, m.in. ochronną, termoregulacyjną, wydalinczą oraz wydzielniczą.

Funkcje skóry

Funkcja	Opis
ochronna	• zabezpieczenie przed czynnikami zewnętrznymi (promieniowaniem UV, urazami mechanicznymi, chemicznymi i termicznymi, drobnoustrojami chorobotwórczymi) • zabezpieczenie przed utratą wody
termoregulacyjna	• regulacja ilości ciepła przez wydzielanie potu, zwężanie i rozszerzanie naczyń krwionośnych skóry
wydalinczą	• udział w wydalaniu zbędnych lub szkodliwych produktów przemiany materii (mocznika, nadmiaru wody i soli mineralnych) za pomocą gruczołów potowych
wydzielniczą	• wydzielanie łju i mleka
syntetyzująca	• synteza witaminy D₃ z pochodnej cholesterolu pod wpływem promieni słonecznych
receptorowa	• odbieranie bodźców z otoczenia dzięki obecności receptorów ciepła, zimna, dotyku i ucisku
udział w wymianie gazowej	• pobieranie tlenu i usuwanie dwutlenku węgla (tylko 1% wymiany gazowej odbywa się przez skórę)

■ Budowa skóry

Skóra w zależności od okolicy ciała ma różną grubość. Najcieńsza jest na powiekach, najgrubsza – na dłoniach i podeszwach stóp. Składa się z **dwóch warstw**: **naskórka** i **skóry właściwej**.

Naskórek jest zbudowany z wielu (6–20) warstw **komórek nabłonkowych**, które tworzą dwie główne warstwy: **zrogowaciałą** i **rozrodczą**. Pierwsza z nich jest warstwą najbardziej zewnętrzną. Budują ją **zrogowaciałe**, martwe i płaskie komórki. Taka jednorodność utrudnia wnikanie w głąb skóry drobnoustrojów chorobotwórczych, toksycznych związków chemicznych i wirusów. W warstwie zrogowaciałej oraz pod nią znajdują się glikolipidy. Sprawiają one, że warstwa ta jest nieprzepuszczalna dla wody, głównie nie pozwala wydostawać się jej z tkanek na zewnątrz. Komórki naskórka zawierają swoiste białka – **keratyny** – które zapewniają skórze znaczną wytrzymałość mechaniczną oraz elastyczność. Komórki warstwy zrogowaciałej systematycznie **złuszczają się**, ale są wciąż zastępowane nowymi, powstającymi w najgłębiej położonej części naskórka, zwanej **warstwą rozrodczą**. Komórki macierzyste tej warstwy dzielą się mitotycznie, a powstałe komórki potomne stopniowo przesuwają się ku powierzchni naskórka i przekształcają się w komórki zrogowaciałe. Taka migracja trwa średnio 20–30 dni.

Warstwa rozrodcza naskórka zawiera **komórki barwnikowe** (melanocyty), które produkują **melaniny**. Są to barwniki powstające z aminokwasu – **tyrozyny** – odpowiadające za zabarwienie skóry. Gęstość rozmieszczenia melanocytów w naskórku zależy od miejsca na ciele, przy czym barwniki **te nie występują** w skórze dłoni i podeszwy stóp. Do melanin występujących w skórze należą: **czerwona feomelanina** i **czarna eumelanina**. Ilość tych barwników wzrasta pod wpływem promieniowania ultrafioletowego. Ich zadaniem jest **ochrona skóry przed szkodliwym wpływem tego promieniowania**. Wytworami

naskórka są włosy, paznokcie oraz gruczoły łojowe, potowe i mlekowe.

Skóra właściwa to warstwa skóry grubsza od naskórka (1–3 mm), zbudowana głównie z tkanki łącznej włóknistej. Zasadniczym elementem jej budowy są **włókna białkowe** (kolagenowe i elastynowe), nadające skórze wytrzymałość oraz sprężystość, a tym samym odporność na ucisk i rozciąganie. Jednak, pomimo elastyczności, w pewnych warunkach (np. gwałtowne tycie lub ciąża) skóra może się rozciągać, tworząc rozstępy. Zwykle wyróżnia się dwie warstwy skóry właściwej:

- ▶ warstwę brodawkową – występują w niej liczne wpuklenia nazywane brodawkami, połączone tkanką łączną z naskórkiem,
- ▶ warstwę siatkowatą – zbudowaną z bardziej zbitej tkanki łącznej.

W skórze właściwej biegną liczne naczynia krwionośne, które oprócz funkcji transportowej pełnią też funkcję termoregulacji. Kiedy organizm jest zagrożony utratą ciepła, **naczynia krwionośne** skóry zwężają się. Z kolei przegrzanie ciała powoduje ich rozszerzenie, co pozwala na oddanie nadmiaru ciepła do otoczenia. Skóra właściwa jest zaopatrzona w liczne zakończenia nerwowe (receptory) odbierające bodźce ze środowiska zewnętrznego. Są to receptory termiczne, receptory bólu, dotyku i ucisku. W skórze właściwej są również zagłębione niektóre wytwory naskórka: gruczoły łojowe, gruczoły potowe oraz włosy.

Czy wiesz, że...

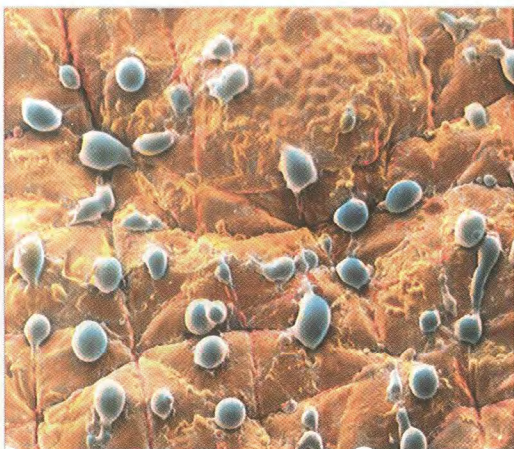
Możliwości termoregulacyjne skóry poprawia jej hartowanie (np. obmywanie ciała chłodną wodą po ciepłej kąpieli, pływanie, uprawianie sportu na świeżym powietrzu). Sprawia ono, że skórne naczynia krwionośne stają się bardziej elastyczne, co umożliwia im szybką i właściwą reakcję na zmiany.

Pod skórą jest położona **tkanka podskórna**, zbudowana głównie z tkanki tłuszczowej. Jest ona mocno związana ze skórą właściwą, jednak może się przesuwać względem leżących pod



Linie papilarne to występujące na skórze dłoni oraz podeszwach stóp listewki skórne. Każdy człowiek ma niepowtarzalny układ tych listewek, co jest wykorzystywane m.in. w kryminalistyce do identyfikacji osób.

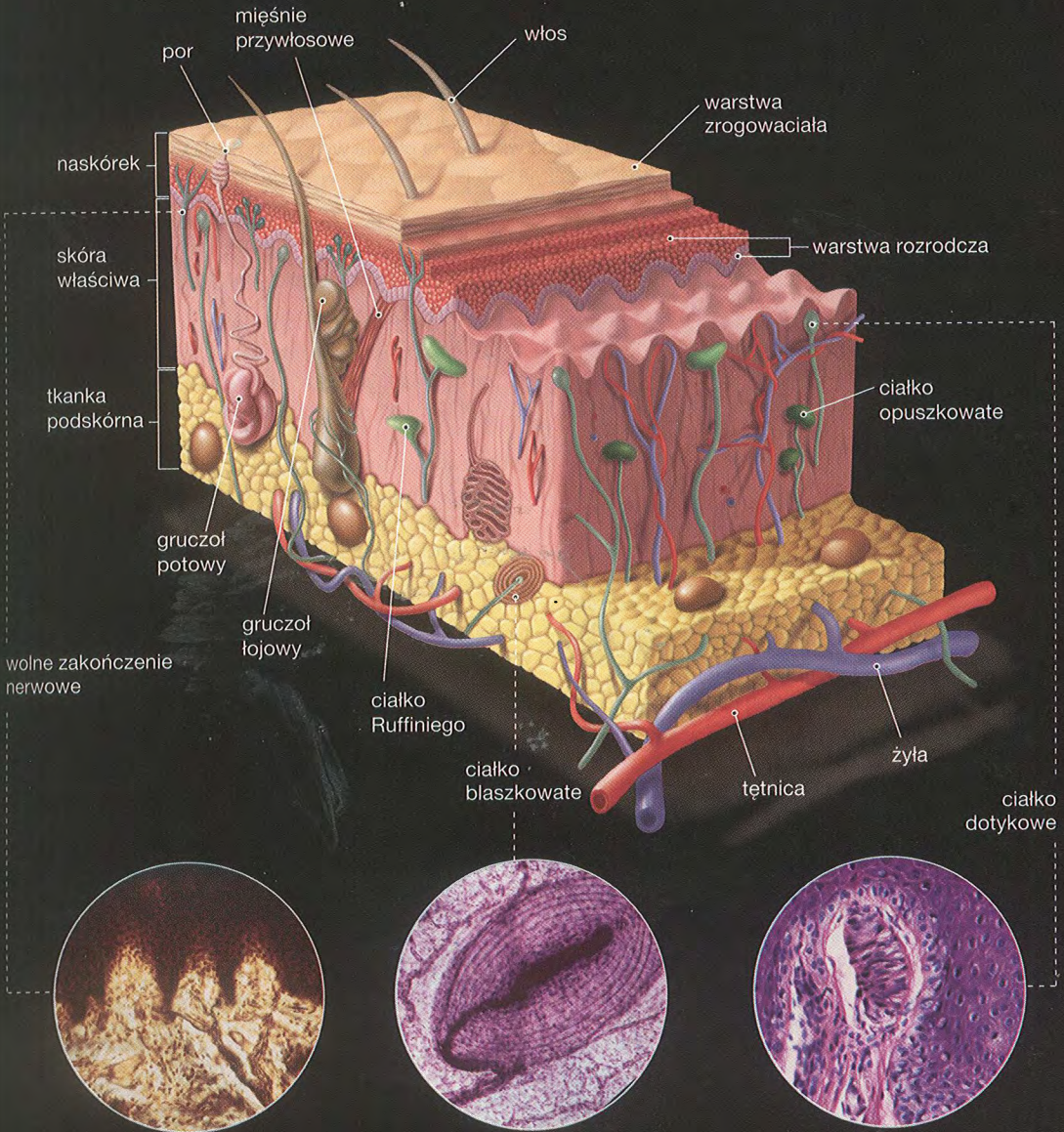
nią struktur. W tkance podskórnej znajdują się dolne odcinki korzeni włosów, części wydzielnicze gruczołów potowych, a także niektóre receptory. Grubość tkanki podskórnej zależy od stanu odżywienia człowieka, a także od wieku, płci i okolicy ciała. Na przykład u niemowląt rozmieszczenie tkanki tłuszczowej jest raczej równomierne, u osób w starszym wieku na ogół znacznie większe na brzuchu niż w innych miejscach. Podściółka tłuszczowa stanowi zapas substancji odżywczych oraz chroni przed szkodliwym wpływem niskich temperatur i urazami mechanicznymi.



Kropki potu na skórze człowieka (mikrofotografia skaningowa). Utrata ciepła przez parowanie potu umożliwia ochłodzenie ciała.

Budowa skóry. Receptory

Skórę tworzą dwie warstwy: naskórek i skóra właściwa. Pod nimi znajduje się tkanka podskórna zbudowana z podściółki tłuszczowej o różnej grubości. Skóra nazywana jest niekiedy narządem czucia powierzchniowego. Występują w niej receptory termiczne, receptory bólu oraz receptory dotyku i ucisku. Wszystkie one odbierają bodźce ze środowiska zewnętrznego i mają postać wolnych zakończeń nerwowych lub struktur o złożonej budowie.



Za receptory bólu uważa się wolne zakończenia nerwowe. Są to nagie, bezosłonkowe zakończenia dendrytów. Znajdują się one w naskórku i skórze właściwej.

Funkcję receptorów ucisku i wibracji pełnią ciała blaszkowate (Vatera-Paciniego). Są one zlokalizowane w głębszych warstwach skóry właściwej oraz w tkance podskórnej.

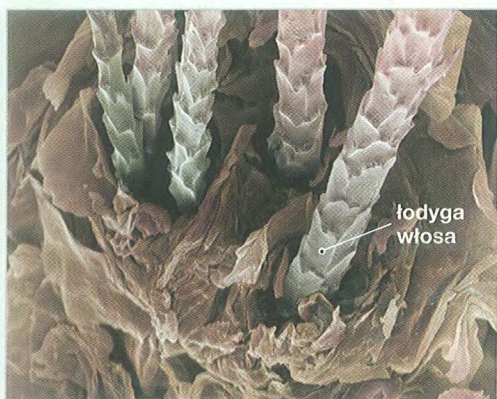
Receptorami czucia dotyku, wrażliwymi na wibracje o małej częstotliwości, są ciała dotykowe (dawniej: ciała Meissnera). Występują licznie m.in. w skórze opuszków palców i warg. Znajdują się one w skórze właściwej.

Wytwory naskórka

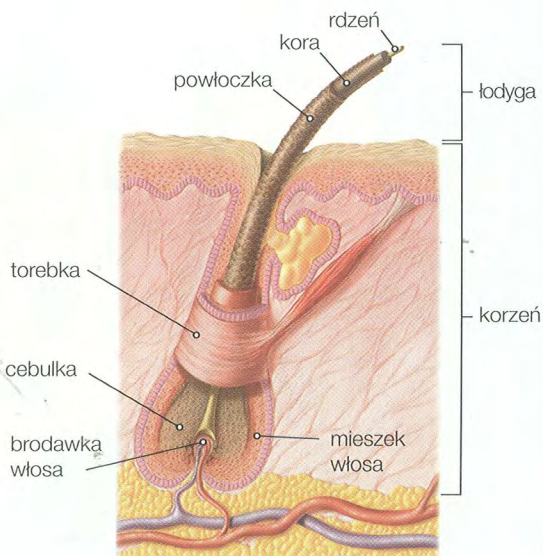
Wytworami naskórka są włosy, paznokcie oraz gruczoły. Wśród tych ostatnich wyróżnia się: gruczoły potowe, łojowe oraz mlekowe (sutkowe). Wszystkie wymienione struktury należą do wytworów naskórka, ponieważ powstały z tych samych co on komórek nabłonkowych.

Włosy

Włosy składają się głównie z martwych komórek wypełnionych keratyną. Są charakterystyczne dla wszystkich ssaków. U człowieka utraciły swą pierwotną funkcję izolacyjną – oprócz włosów porastających powierzchnię głowy, doły pachowe, okolice łonową mają postać szczątkową. Nie występują tylko na wargach, dłoniach i podeszwach stóp. Barwa włosów jest cechą dziedziczną i zależy od zawartości barwników, m.in. melanin. Liczba włosów na głowie wynosi ok. 120 000. W ciągu miesiąca rosną one ok. 12 mm. Każdy włos żyje 3–5 lat, następnie wypada, a na jego miejscu wyrasta nowy.

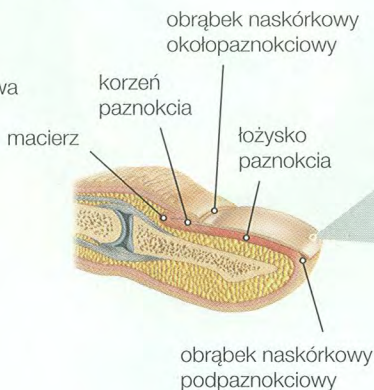


Warstwę zewnętrzną łodygi włosa tworzą zrogowaciałe komórki zachodzące na siebie dachówkowato.



Paznokcie

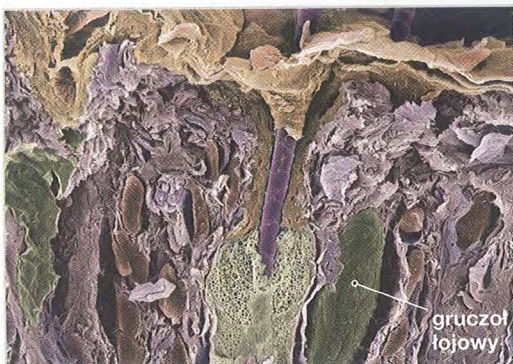
Paznokcie są swoistym elementem skóry wszystkich ssaków naczelnych. Ich występowanie jest ściśle związane z funkcjonowaniem zmysłu dotyku – opuszcza palca pozbawiona paznokcia wykazuje znacznie mniejszą wrażliwość na dotyk. Wygląd i tempo wzrostu paznokci zależą od stanu zdrowia – średnia szybkość wzrostu wynosi ok. 1 mm na tydzień, czyli średnio 4 mm na miesiąc. Wyrastają z macierzy paznokcia, którą stanowią nieustannie dzielące się komórki.



Warstwy komórek z keratyną (mikrofotografia skaningowa) sprawiają, że paznokieć jest wytrzymały mimo swej niewielkiej grubości.

Gruczoły łojowe

Gruczoły łojowe znajdują się w całej skórze, z wyjątkiem skóry na dłoniach i podeszwach stóp. Najwięcej gruczołów łojowych występuje na owłosionej skórze głowy, twarzy, grzbiecie i klatce piersiowej. Wydzielają łój, który jest mieszaniną m.in. kwasów tłuszczowych i triglicerydów. Natłuszcza on włosy i naskórek, co zapewnia im elastyczność. Łój ma również właściwości bakteriobójcze i grzybobójcze.



Gruczoły łojowe (mikrofotografia skaningowa) są najczęściej zlokalizowane przy włosach. Samodzielnie występują m.in. w czerwieni wargowej, otoczce sutka oraz w powiekach.

Gruczoły potowe

Gruczoły potowe wydzielają pot. Jest to płyn składający się głównie z wody (ok. 98%), który powstaje z przesącza krwi i wydzieliny komórek gruczolowych. Zawiera on też chlorek sodu (NaCl), szkodliwe produkty przemian metabolicznych (głównie mocznik i kwas moczowy), a w czasie intensywnego wysiłku fizycznego – kwas mlekowy. Dzięki kwaśnemu odczynowi (pH w granicach 4–6) pot przeciwdziała rozwojowi mikroorganizmów chorobotwórczych na powierzchni skóry. Parowanie potu zapobiega przegrzaniu się ciała. Liczba gruczołów potowych przypadających na 1 cm² skóry zależy od okolicy ciała. Najwięcej znajduje się ich w skórze dłoni, czoła, grzbiecie i podeszwy stopy. Całkowita liczba gruczołów potowych jest szacowana na 2–5 mln.

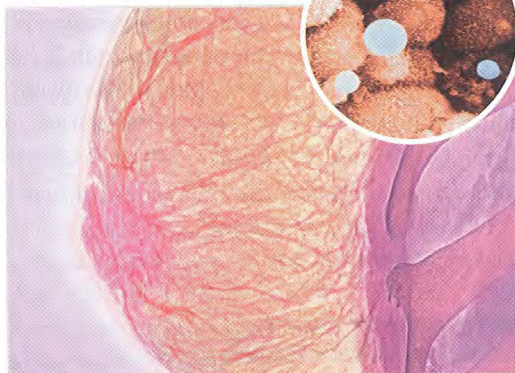


Gruczoły potowe (mikrofotografia skaningowa) znajdują się np. pod pachami i w pachwinach. Ich wydzielina nadaje ciału charakterystyczny zapach.

Gruczoły mlekowe

Gruczoły mlekowe (sutkowe) należą do największych gruczołów skóry. Są to zmodyfikowane gruczoły potowe, które są aktywne u kobiet. U dorosłej kobiety są w pełni rozwinięte, lecz ich większą część zajmuje tkanka tłuszczowa. Rozrost elementów gruczolowych, uwarunkowany wydzielaniem hormonów, następuje w drugiej połowie ciąży. Wydzielina – mleko – pojawia się po porodzie. Zawiera ona wszystkie składniki niezbędne do prawidłowego wzrostu i rozwoju noworodka (m.in. tłuszcze, węglowodany, głównie laktozę, oraz witaminy). Ponadto jest źródłem przeciwciał, które w znacznym stopniu wspomagają naturalną odporność.

Pęcherzyki wydzielnicze wytwarzające mleko (mikrofotografia skaningowa).



Gruczoł sutkowy (mammogram barwiony komputerowo). Podczas ciąży w gruczole sutkowym następuje znaczny rozrost przewodów mlekonośnych oraz powstaje wiele nowych pęcherzyków wydzielniczych.

Doświadczenie 1

Ocena wrażliwości dotykowej różnych okolic ciała

Problem badawczy: Czy zągęszczenie receptorów dotyku jest takie samo w badanych częściach ciała?

Hipoteza: Zągęszczenie receptorów dotyku jest różne w badanych częściach ciała.

Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Trzy wybrane miejsca na ciele: opuszka palca wskazującego, grzbietowa część ręki, przedramię (powierzchnia przednia), dotykane cyrklem kreślarskim o precyzyjnie regulowanej szerokości rozstawu nóżek.

Próba kontrolna

W wypadku tego badania nie można wyznaczyć próby kontrolnej, ponieważ nie ma na ciele takiego miejsca, w którym receptory dotyku nie zostałyby aktywowane.

Sprawdź, przy jakiej odległości nóżek cyrkla dotknięcie jest wyczuwalne jako pochodzące od dwóch przedmiotów. W ćwiczeniu użyj następujących rozstawów nóżek cyrkla: 1,5 mm, 2,0 mm, 3,5 mm, 15 mm, 37 mm.

Wynik doświadczenia: Zapisz wynik doświadczenia.

Wniosek: Sformułuj wniosek.

Doświadczenie 2

Odczuwanie temperatury

Problem badawczy: Czy zawsze odczuwamy tak samo daną temperaturę?

Hipoteza: Tę samą temperaturę możemy odczuwać w różny sposób.

Przebieg Próba badawcza

doświadczenia: Ręce zanurzane w trzech naczyniach z wodą o temperaturze: ok. 10°C, ok. 40°C i ok. 25°C.

Próba kontrolna

Ręce zanurzane w trzech naczyniach z wodą o temperaturze ok. 25°C.

Uwaga! Wykonaj najpierw próbę kontrolną. Wypełnij trzy naczynia wodą o tej samej temperaturze (ok. 25°C). Zanurz prawą rękę w naczyniu 1., a lewą w naczyniu 2. Po upływie 30 s przenieś obie ręce do naczynia 3. Następnie przeprowadź próbę badawczą. Scharakteryzuj wrażenia termiczne powstające podczas kontaktu odpowiednich receptorów skóry dłoni z wodą w trakcie pierwszej i drugiej części doświadczenia.

Wynik doświadczenia: Zanotuj wyniki doświadczenia oraz dokonaj ich interpretacji.

Wniosek: Sformułuj wniosek.

Polecenia kontrolne

1. Wykaż zależność między budową skóry a jej funkcjami.
2. Określ funkcje poznanych gruczołów skóry.
3. Na podstawie dostępnej literatury napisz krótkie uzasadnienie następującego stwierdzenia: *Wygląd skóry jest obrazem ogólnego stanu organizmu.*

3

Choroby i higiena skóry

Dzięki swej budowie zdrowa, nieuszkodzona skóra doskonale spełnia funkcje ochronne. Jednak ze względu na bezpośredni kontakt ze środowiskiem zewnętrznym skóra jest stale narażona na działanie niekorzystnych czynników, takich jak drobnoustroje, promieniowanie ultrafioletowe, zbyt niska lub zbyt wysoka temperatura czy trucizny. Na jej powierzchni gromadzą się zanieczyszczenia, wydzielina gruczołów łojowych i potowych oraz złuszczone naskórek, co sprzyja rozwojowi wielu chorób.

■ Wpływ promieniowania słonecznego na skórę

Pod wpływem promieniowania ultrafioletowego (zakres fal elektromagnetycznych 10–400 nm) komórki naskórka wytwarzają większą ilość melaninu, które chronią głębiej położone tkanki przed uszkodzeniem (stąd ciemniejsza barwa skóry nazywana opalenizną). Promieniowanie ultrafioletowe działa także bakteriobójczo oraz pobudza syntezę witaminy D₃. Mimo że nie



Opalenie może doprowadzić do oparzeń skóry, dlatego należy stosować kosmetyki ochronne z filtrem o dużej zdolności pochłaniania promieniowania ultrafioletowego. Trzeba także pamiętać o ograniczaniu czasu opalania, szczególnie między godziną 11.00 a 14.00.

wnika głęboko (ok. 0,5 mm), duża jego dawka jest szkodliwa.

Część zakresu promieniowania ultrafioletowego (320–400 nm) stanowi promieniowanie UVA. Wnika ono w naskórek, ale działa kilkaset razy słabiej niż promieniowanie UVB (280–320 nm), które znacznie przyspiesza proces starzenia się skóry oraz obniża odporność organizmu. Promieniowanie UVB może być przyczyną oparzeń słonecznych i rozwoju nowotworów skóry, w tym najgroźniejszego z nich – **czerniaka**. Powstaje on zazwyczaj w obrębie znamion z tkanki barwnikotwórczej, często daje przerzuty do węzłów limfatycznych.

■ Alergia skórna

Skóra wielu osób wykazuje nadwrażliwość. Oznacza to, że reaguje zaczerwienieniem, wypryskami, łuszczeniem się i uporczywym swędzeniem na wiele czynników, w tym na preparaty do pielęgnacji czy składniki środków piorących. Jedną z chorób skóry o podłożu alergicznym jest **atopowe zapalenie skóry**. W jego leczeniu niezwykle istotne jest wykreślenie alergenu, czyli czynnika wywołującego objawy choroby, oraz unikanie kontaktu z nim. Pomaga również stosowanie leków łagodzących objawy alergii.

■ Zaburzenia funkcjonowania gruczołów

Nadmierne wydzielanie łoju – **łojotok** – jest związane z nieprawidłową pracą gruczołów łojowych. Wśród przyczyn łojotoku wymienia się: zaburzenia przemiany materii, czynniki psychiczne (przewlekły stres) i hormonalne. Najsilniej łojotok objawia się w okresie dojrzewania, ale może występować także u niemowląt (np. w postaci ciemieniuchy). Łojotok sprzyja rozwojowi niektórych chorób skóry, np. trądziku pospolitego czy łupieżu.

Trądzik pospolity (młodzięńczy) powstaje na skutek zaczerwienienia przewodów wyprowadzających gruczołów łojowych i zalegania łoju.

Czerniak złośliwy

Jedną z najgroźniejszych chorób skóry jest czerniak złośliwy. Choć stanowi on ok. 2% wszystkich zachorowań na nowotwory, to śmiertelność w przypadku zachorowania wynosi aż ok. 50%. Czyni go to jednym z najgroźniejszych nowotworów rozwijających się u ludzi.

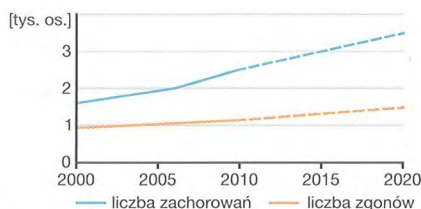
■ PRZYCZYNA

Czerniak złośliwy wywodzi się z melanocytów, które uległy przemianie w komórki nowotworowe i zaczęły dzielić się w niekontrolowany sposób. Dzieje się tak wtedy, gdy pod wpływem różnych czynników nastąpi w tych komórkach mutacja w genach odpowiadających za kontrolę cyklu komórkowego. Do czynników zwiększających ryzyko zachorowania na czerniaka złośliwego należą:

- ▶ częste, intensywne (nawet krótkotrwałe) ekspozycje na promieniowanie UV,
- ▶ oparzenia słoneczne,
- ▶ jasna karnacja skóry i skłonność do oparzeń słonecznych,
- ▶ przebyte zachorowanie na czerniaka.

UWAGA!

Większość Polaków to osoby o jasnej karnacji. Szacuje się, że ok. 65% stanowi grupę o zwiększonym ryzyku zachorowania na czerniaka złośliwego. Jednak aż u 75% nigdy nie przeprowadzono badania pod kątem nowotworów skóry. Do lekarza zgłaszają się najczęściej osoby z zaawansowanymi zmianami. Efektem jest niski odsetek wyleczeń, o ok. 30% niższy niż w Europie Zachodniej.



Liczba zachorowań i zgonów z powodu czerniaka skóry w Polsce w latach 2000–2010 oraz prognoza na lata 2011–2020.

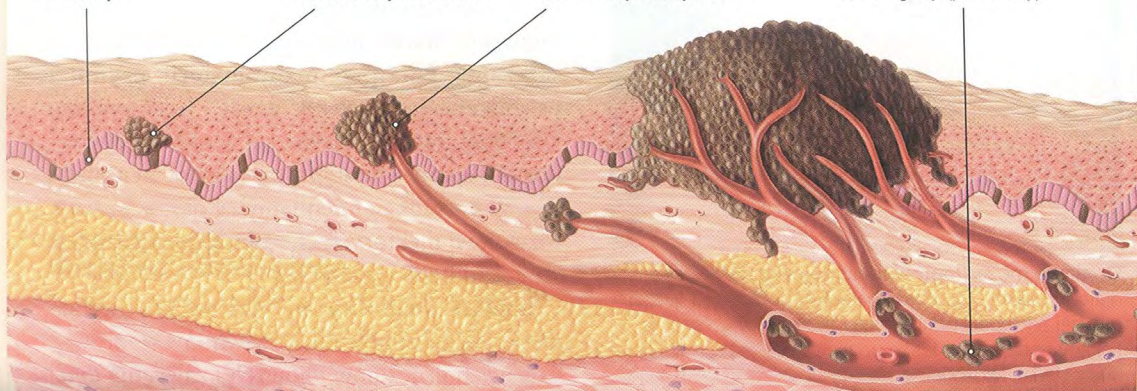
Fazy rozwoju czerniaka złośliwego

Prawidłowe melanocyty znajdujące się w warstwie rozrodczej naskórka ulegają mutacji.

Komórki nowotworowe dzielą się w sposób niekontrolowany, przedostając się do okolicznych tkanek.

Komórki czerniaka produkują substancje, które powodują tworzenie naczyń krwionośnych dostarczających do guza substancje odżywcze.

W ostatniej fazie komórki nowotworowe przedostają się wraz z krwią do innych tkanek i narządów, tworząc nowe guzy (przerzuty).



■ DIAGNOSTYKA

Czerniak zwykle powstaje ze znamienia, dlatego każda zmiana w obrębie znamienia – zarówno wrodzonego, jak i nabytego (np. powiększenie, swędzenie, zmiana koloru) – powinna być oceniona przez lekarza dermatologa lub chirurga onkologa.



Badanie dermatoskopowe pozwala ocenić zmiany skórne bez pobierania wycinków tkanek.

Alfabet czerniaka złośliwego

Zbiór cech, które pomogą ocenić, czy znamię ma charakter nowotworu złośliwego:

- A** – asymetria,
- B** – brzegi zmiany: nieregularne,
- C** – ciemny kolor,
- D** – duża średnica (7 mm i więcej),
- E** – ewolucja zmiany.



Znamię barwnikowe to skupisko melanocytów, które jest nieprawidłowością skóry. Jeżeli nie zmienia wielkości, kształtu czy koloru – jest niegroźne.



Czerniak ma nieregularne granice i niejednolite zabarwienie, a w jego obrębie pojawiają się drobne wypukłości. Często jest też ciemniejszy od znamienia.

■ LECZENIE

Leczenie jest uzależnione od stopnia zaawansowania czerniaka. We wczesnych stadiach rozwoju wystarczy chirurgiczne usunięcie znamienia wraz z marginesem zdrowej skóry. Wyleczalność dotyczy wtedy ponad 90% przypadków. Gdy choroba jest bardziej zaawansowana, oprócz znamienia usuwa się okoliczne węzły chłonne. Przy stwierdzeniu dużego postępu choroby i przerzutów stosuje się znane metody leczenia raka (np. leki przeciwnowotworowe). Pacjenci po leczeniu podlegają dalszej obserwacji przez ok. 10 lat.

■ PROFILAKTYKA

Profilaktyka czerniaka

unikanie oparzeń słonecznych

- unikanie słońca (szczególnie między godziną 11.00 a 14.00)
- stosowanie kremów z filtrami o wysokim stopniu ochrony przed promieniowaniem słonecznym (SPF > 15)
- osłanianie skóry odpowiednim ubraniem
- niekorzystanie z solarium

kontrola znamion barwnikowych

- kontrola w wypadku pojawienia się nowej zmiany skórnej, która szybko się powiększa, lub w wypadku zmiany kształtu czy barwy istniejącego znamienia
- regularna kontrola znamion u lekarza dermatologa lub chirurga onkologa (Polski Komitet Zwalczania Raka zaleca coroczne badanie osób po 14. roku życia)

Towarzyszą temu wtórne zakażenia bakteryjne – pojawiają się liczne grudki, krostki i wągry. Trądzik jest chorobą długotrwałą i trudną do leczenia. Wymaga konsultacji z lekarzem dermatologiem oraz zwrócenia szczególnej uwagi na sposób odżywiania się i higienę skóry. Dieta powinna zawierać niewielką ilość tłuszczów i węglowodanów oraz dużo jarzyn i owoców będących źródłem witamin (zwłaszcza z grupy B). Należy unikać ostrych przypraw oraz używek (mocnej kawy, herbaty). Nie należy lekceważyć nawet łagodnych objawów trądziku, nie powinno się też samodzielnie oczyszczać skóry. Takie zabiegi mogą bowiem stać się przyczyną dodatkowych infekcji skóry, a w konsekwencji – trwałego jej uszkodzenia.

Łupież to choroba owłosionej skóry głowy, która objawia się nadmiernym złuszczeniem się naskórka. Towarzyszy temu świąd i pieczenie skóry. Wśród przyczyn łupieżu wymienia się niewłaściwą pielęgnację skóry, w tym podrażnienie skóry głowy spowodowane stosowaniem zbyt dużej ilości preparatów do pielęgnacji włosów.

Nadmierna potliwość, niezwykle nieprzyjemna i kłopotliwa, jest spowodowana zaburzeniem pracy gruczołów potowych. Do najważniejszych jej przyczyn zalicza się zmiany hormonalne, stres i niewłaściwą dietę (pikantne oraz gorące potrawy wzmagają wydzielanie potu). Dolegliwość tę łagodzi przestrzeganie diety oraz zasad higieny, dzięki czemu uniemożliwia się rozwój bakterii odpowiedzialnych za powstawanie przykrego zapachu potu. Pomaga również stosowanie odpowiednich kosmetyków oraz noszenie przewiewnych ubrań wykonanych z naturalnych tkanin.

■ Choroby wirusowe i bakteryjne

Skóra ma kontakt z wieloma drobnoustrojami, przy czym część z nich może stać się przyczyną chorób. Do często występujących chorób wirusowych skóry należy **opryszczka wargowa**, popularnie nazywana **zimnem**. Szacuje się, że aż 80% populacji ludzkiej jest zarażone wirusem opryszczki, ale tylko u części osób występują objawy w postaci bolesnych pęcherzyków na wargach i w okolicach nosa. Zarówno osoby,



Świerzbowiec ludzki (*Sarcoptes scabiei*), mikro-fotografia skaningowa. Pajęczak ten wywołuje chorobę zwaną świerzbem. Jego samice drążą w naskórku korytarze, powodując w ten sposób swędzenie i stany zapalne.

które przeszły pierwsze zakażenie objawowo, jak i te, u których nie pojawiły się pęcherze, pozostają do końca życia nosicielami wirusa (jest on umiejscowiony w zwojach nerwowych). U niektórych z nich co jakiś czas zakażenie ujawnia się pod wpływem czynników, takich jak przeziębienie, przeżranie czy miesiączka.

Do chorób skóry wywoływanych przez bakterie należy **liszajec**. Jest to choroba bardzo zakaźna, występująca najczęściej u dzieci. Jej przyczyną są paciorkowce i gronkowce, które przyczyniają się do powstawania, zwykle na skórze twarzy lub kończyn, drobnych pęcherzy, które szybko zamieniają się w strupy.

■ Choroby pasożytnicze

Przyczyną chorób skóry są również pasożyty. Wesz głowowa powoduje **wszawicę**, której objawami są świąd i stany zapalne owłosionej skóry. Na włosach widoczne są pasożyty i ich owalne jaja – gnidy. Wszawicę można się zarazić przez pożyżcone grzebienie lub nakrycia głowy.

Jednym z groźnych pasożytów skóry jest też świerzbowiec ludzki wywołujący **świerzb**. Świerzbowiec atakuje te obszary skóry, w których jest ona stosunkowo cienka i delikatna, np. okolice nadgarstka, fałdy międzypalcowe, zgięcia łokciowe, pachowe, a także okolice pępka i pośladków. Głównym objawem jest nasilające się nocą swędzenie. Świerzb jest chorobą bardzo zaraźliwą, do zainfekowania dochodzi przez bezpośredni kontakt ze skórą osoby chorej lub

pośrednio, najczęściej przez używanie wspólnych przedmiotów higieny osobistej, np. ręczników.

Pasożyty nie tylko powodują uszkodzenia skóry, lecz także przenoszą wiele drobnoustrojów chorobotwórczych, np. wszy przenoszą bakterie wywołujące **tyfus plamisty**.

Czy wiesz, że...

Często występującą przewlekłą chorobą skóry jest łuszczyca. Do jej rozwoju przyczyniają się m.in. czynniki genetyczne, immunologiczne, środowiskowe i zakażenia bakteryjne lub wirusowe. Charakterystycznym objawem choroby są suche czerwone grudki, pokryte płatkami naskórka przypominającymi łuski.

■ Grybice

Grybice należą do chorób niebezpiecznych i trudnych w leczeniu. Dotychczas poznano ok. 50 rodzajów różnych grzybów, które mogą je wywoływać. Większość z nich przyczynia się do powstawania grzybicy skóry, chociaż znane są również takie, które atakują narządy wewnętrzne.

Grzyby chorobotwórcze mogą atakować skórę owłosioną (np. głowy), skórę gładką, a także paznokcie. Grybice należą do chorób zaraźliwych i podobnie jak w wypadku innych chorób skóry zakażenie następuje przez kontakt bezpośredni lub pośredni (przez używanie wspólnych przedmiotów, np. ręczników, grzebieni, butów). Czynniki sprzyjające zakażeniom to przede

wszystkim skłonność do pocenia się stóp oraz noszenie obuwia ze sztucznych tworzyw. Leczenie grzybicy jest zwykle długotrwałe, a warunkiem wyleczenia jest systematyczne stosowanie właściwie dobranych środków przeciwgrzybiczych oraz dbanie o higienę skóry. Grzyby przyczyniają się również do powstawania **łupieżu**.

■ Oparzenia

Oparzeniami nazywa się uszkodzenia tkanek wywołane działaniem wysokiej temperatury, substancji chemicznych, promieniowania lub prądu elektrycznego. Objawami oparzenia I stopnia są zaczerwienie i ból, a oparzenia II stopnia – pęcherze wypełnione płynem, obrzęk i ból. Przy oparzeniach III stopnia dochodzi do zniszczenia skóry i uszkodzenia tkanek leżących głębiej.

■ Higiena skóry

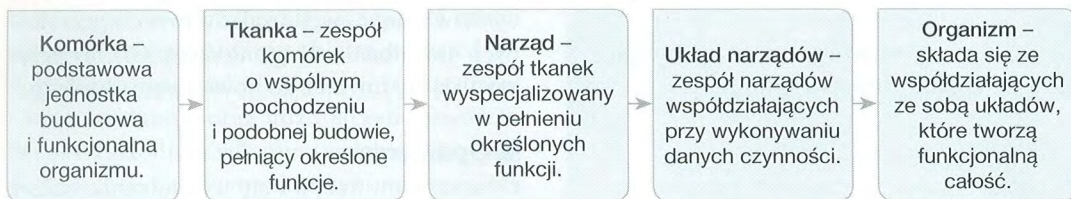
Skóra jest w znacznym stopniu zanieczyszczona drobnoustrojami. Ich rodzaj i liczba zależą przede wszystkim od sposobu pielęgnacji skóry. Stosując wodę z mydłem, można zmniejszyć liczbę drobnoustrojów stukrotnie, a nawet tysiącrotnie. Jednocześnie usuwa się kurz, pot, łój oraz fragmenty złuszczonego naskórka. Istotne znaczenie dla higieny skóry ma także odpowiednia odzież: czysta, przewiewna i dostosowana do temperatury otoczenia. Zachowanie czystości skóry i odzieży zapobiega powstawaniu wielu chorób.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega profilaktyka chorób skóry.
2. Korzystając z dostępnych źródeł, podaj przykład czynników środowiska, które mogą spowodować oparzenia skóry.
3. Omów czynniki chorobotwórcze będące przyczynami chorób skóry.
4. Wymień główne przyczyny zachorowania na czerniaka złośliwego.
5. Wyjaśnij, dlaczego największa zachorowalność na czerniaka występuje u napływowych mieszkańców Australii.
6. Przygotuj prezentację dotyczącą wybranej choroby skóry, obejmującą: przyczyny powstawania danej choroby, diagnostykę, leczenie oraz sposoby jej zapobiegania (profilaktykę).
7. Przeprowadź badanie (np. za pomocą ankiety) wśród kolegów, członków rodziny, sprawdzające świadomość społeczną dotyczącą znaczenia wczesnego wykrywania zmian nowotworowych dla skuteczności leczenia.

Podsumowanie

Hierarchiczna budowa organizmu



Charakterystyka homeostazy

HOMEOSTAZA

Sposób regulowania homeostazy

mechanizmy homeostatyczne działające na zasadzie dodatniego lub ujemnego sprzężenia zwrotnego, związane głównie z układami hormonalnym i nerwowym

Przykładowe parametry

temperatura ciała, ciśnienie, skład chemiczny (m.in. stężenie glukozy i hormonów we krwi, pH krwi oraz uwodnienie organizmu)

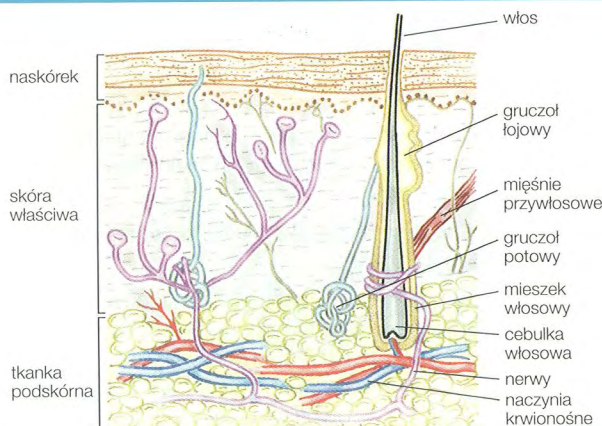
Termoregulacja

Cecha	Reakcja na podwyższenie temperatury otoczenia	Reakcja na obniżenie temperatury otoczenia
Wielkość średnicy skórnych naczyń krwionośnych	rozszerzenie naczyń	zwężenie naczyń
Wydzielanie potu	zwiększenie wydzielania	zmniejszenie wydzielania
Drżenie mięśni (dreszcze)	nie występuje	występuje

Budowa i funkcje skóry oraz tkanki podskórnej

Cechy	Skóra		Tkanka podskórna
	naskórek	skóra właściwa	
Tkanka budująca dany element	tkanka nabłonkowa (nabłonek wielowarstwowy płaski)	tkanka łączna włóknista	głównie tkanka tłuszczowa
Charakterystyka	• jest zbudowany z kilku warstw • warstwa zrogowaciała jest nieprzepuszczalna dla wody, zawiera keratynę • warstwa rozrodcza wytwarza nowe komórki, które zastępują złuszczone komórki naskórka, zawiera melanocyty (komórki barwnikowe) • wytwarza: włosy, paznokcie, gruczoły	• najgrubsza warstwa skóry • zawiera włókna kolagenowe i elastynowe zwiększające wytrzymałość na rozciąganie • zawiera naczynia krwionośne i liczne receptory • są w niej zagłębione gruczoły oraz mieszki włosowe	• jej grubość zależy głównie od stanu odżywienia organizmu, a także od wieku i płci
Podstawowe funkcje	• zabezpiecza organizm przed utratą wody • chroni przed wnikaniem do wnętrza organizmu substancji chemicznych i drobnoustrojów chorobotwórczych • chroni przed promieniowaniem UV	• zapewnia skórze wytrzymałość mechaniczną • dzięki obecności naczyń krwionośnych bierze udział w termoregulacji • odbiera bodźce z otoczenia	• stanowi zapas substancji odżywczych • chroni przed niskimi temperaturami

Budowa skóry



Wytwory naskórka

Wytwory	Występowanie	Funkcje
Włosy	głowa, pachy, okolica łonowa, w postaci szczątkowej na całym ciele z wyjątkiem warg, dłoni i podeszew stóp	• biorą udział w termoregulacji (u człowieka utracili pierwotną funkcję)
Paznokcie	zakończenia palców	• chronią przed działaniem czynników mechanicznych • wzmagają wrażliwość palców na dotyk
Gruczoły łojowe	na całym ciele z wyjątkiem dłoni i podeszew stóp	• wydzielają łój mający właściwości bakterio- i grzybobójcze oraz natłuszczające włosy i naskórek
Gruczoły potowe	prawie na całym ciele	• wydzielają pot zapobiegający rozwojowi drobnoustrojów chorobotwórczych na powierzchni skóry; jego parowanie powoduje oddawanie ciepła (element termoregulacji)
Gruczoły mlekowe (sutkowe)	na piersi; u mężczyzn są nieaktywne	• wydzielają mleko – substancję będącą pierwszym pokarmem noworodka

Choroby skóry

Nazwa	Przyczyny	Profilaktyka
Atopowe zapalenie skóry	kontakt z alergenami	unikanie kontaktu z alergenami
Trądzik pospolity, łupież, nadmierna potliwość	zaburzenia funkcjonowania gruczołów wywoływane zmianami hormonalnymi, niewłaściwą dietą, stosowaniem niewłaściwych kosmetyków do pielęgnacji skóry, stresem	• odpowiednia dieta • przestrzeganie zasad higieny • dostosowanie kosmetyków do rodzaju skóry
Opyszczka wargowa, liszajec, grzybice	zarażenie wirusami, bakteriami lub grzybami	• unikanie używania cudzych artykułów higienicznych • ochrona skóry przed niesprzyjającymi warunkami pogodowymi
Wszawica, świerzb	obecność pasożytów zewnętrznych	• przestrzeganie zasad higieny, nieużywanie cudzych ręczników, grzebieli itp.
Czerniak złośliwy skóry	np. promieniowanie UV	• stosowanie kremów z filtrami przeciw promieniowaniu UV • unikanie ekspozycji na silne promieniowanie słoneczne

Test maturalny

- 1** Organizm człowieka stanowi integralną całość, czego przejawem jest jego zdolność do utrzymywania homeostazy. Homeostaza może być zachowana m.in. dzięki utrzymywaniu stałej temperatury organizmu.

Przyporządkuj do odpowiednich układów narządów (A–D) funkcje związane z utrzymywaniem homeostazy (1–5).

- | | |
|----------------------|---|
| A. Układ krążenia. | 1. Uzupełnianie brakujących witamin. |
| B. Układ oddechowy. | 2. Wyrównywanie temperatury. |
| C. Układ pokarmowy. | 3. Utrzymywanie właściwych stężeń jonów. |
| D. Układ wydalniczy. | 4. Dostarczanie do krwi tlenu i usuwanie dwutlenku węgla. |
| | 5. Odbieranie bodźców z otoczenia. |

A. 2, B. 4, C. 1, D. 3

- 2** Skóra pełni wiele istotnych funkcji, które mają wpływ na utrzymywanie homeostazy organizmu. Jedną z nich jest termoregulacja.

a) Wymień dwa procesy fizjologiczne, dzięki którym skóra zwiększa ilość ciepła oddawanego do otoczenia.

1.
2.

b) U osoby odczuwającej zimno często pojawiają się dreszcze. Wskaż prawidłowy opis tego zjawiska.

- A. Dreszcze to skurcze mięśni przywłosowych, powodujące stroszenie włosów w celu zwiększenia grubości osłony termicznej wychłodzonego ciała.
- B. Dreszcze przynoszą chwilowe odczucie ciepła kosztem dużych strat energii, przez które pogłębia się wychłodzenie organizmu.
- C. Dreszcze to mimowolne skurcze mięśni szkieletowych, dzięki którym powstaje pewna ilość ciepła.
- D. Dreszcze to atawistyczna reakcja fizjologiczna, która współcześnie nie ma żadnego znaczenia dla organizmu.

- 3** Skóra stanowi najbardziej zewnętrzną warstwę organizmu, przez co nieustannie jest narażona na negatywny wpływ czynników zewnętrznych, takich jak: promieniowanie UV, patogeny czy urazy mechaniczne.

a) Podkreśl nazwy organizmów, których przedstawiciele mogą powodować choroby skóry człowieka.

bakterie, protisty, grzyby, rośliny, bezkręgowce, kręgowce

b) Wyjaśnij, dlaczego ważna jest rutynowa kontrola dermatologiczna znamion barwnikowych skóry.

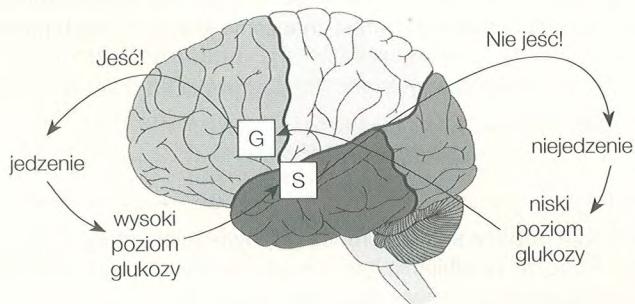
.....

.....

.....

.....

- 4 Wiele mechanizmów uczestniczących w utrzymywaniu homeostazy organizmu działa na zasadzie sprzężeń zwrotnych. Schemat przedstawia uproszczony mechanizm działania ośrodków głodu i sytości.



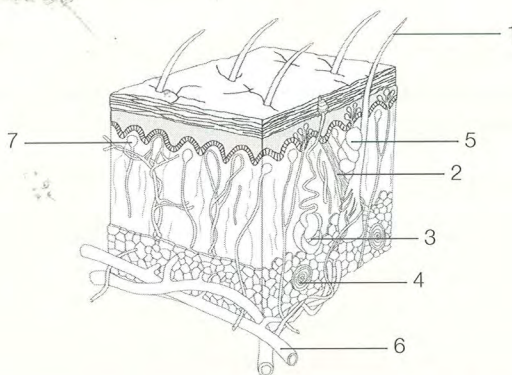
- a) Określ, jaki rodzaj sprzężenia zwrotnego reguluje intensywność procesu przedstawionego na schemacie.

- b) Zaznacz prawdziwe zdania dotyczące sprzężenia zwrotnego.

- A. Działanie ujemnego sprzężenia zwrotnego prowadzi do stabilizacji parametrów układu.
 B. Działanie dodatniego sprzężenia zwrotnego powoduje szybką destabilizację dotychczasowych parametrów układu.
 C. Regulacja temperatury ciała organizmu jest przykładem dodatniego sprzężenia zwrotnego.
 D. W organizmie działanie ujemnego sprzężenia zwrotnego bywa tylko chwilowe, a przeważają dodatnie sprzężenia zwrotne.

- 5 Ilustracja przedstawia przekrój przez skórę właściwą człowieka.

- a) Określ, jakie funkcje pełnią poszczególne elementy zaznaczone na ilustracji, wpisując w odpowiednie miejsca tabeli numery odpowiadające tym elementom.



Element skóry	Funkcja
	termoregulacyjna
	ochronna – bariera mechaniczna
	ochronna – bariera chemiczna
	receptorowa

- b) Podaj funkcję barwników występujących w skórze.

6 Zlecając wykonanie podstawowych badań krwi, lekarz chce ustalić, który z parametrów fizjologicznych organizmu pacjenta ma nieprawidłową wartość.

a) Wymień cztery przykładowe parametry krwi, które powinny zostać zbadane w celu określenia stanu zdrowia pacjenta. Określ znaczenie jednego z tych parametrów.

1.
2.
3.
4.

b) Krew w laboratorium pobiera się za pomocą odpowiednich, sterylnych przyborów laboratoryjnych. Podczas przebijania igłą powłoki skórnej jest odczuwany delikatny ból. Podaj funkcję skóry, która umożliwia tego typu wrażenie.

.....

7 Gruczoły potowe znajdujące się na całym ciele wydzielają pot, który powstaje z przesącza krwi i wydzieliny komórek gruczołowych. U przodków ssaków doszło do przekształcenia części gruczołów potowych, położonych na brzusznej stronie ciała samic, w gruczoły mleczne.

a) Uzupełnij tabelę, wpisując w odpowiednie miejsca nazwy podanych składników chemicznych, występujących w wydzielinach tych gruczołów.

woda, glukoza, amoniak, mocznik, kazeina, Na⁺, Cl⁻, laktoza, witaminy (A, D, E, K)

Składniki potu	Składniki mleka

b) pH potu człowieka wynosi ok. 4–6. Podaj nazwę odczynu pH potu i funkcję, jaką pot pełni dzięki takiemu odczynowi.

.....

8 Przeczytaj instrukcję doświadczenia, a następnie wykonaj polecenia.

Przygotuj trzy naczynia o pojemności 4 l z wodą o temperaturze odpowiednio: naczynie nr 1 – 15°C, naczynie nr 2 – 25°C i naczynie nr 3 – 35°C. Zanurz na 2 min prawą dłoń w naczyniu nr 1, a lewą – w naczyniu nr 3. Następnie obie dłonie przenieś do naczynia nr 2 i oceń, czy odczuwają taką samą temperaturę wody.

a) Podaj funkcję skóry, która będzie badana w powyższym doświadczeniu.

.....

b) Zaproponuj próbę kontrolną do tego doświadczenia.

.....

c) Zapisz dwa czynniki, które mogą zaburzyć prawidłowy przebieg doświadczenia i spowodować, że uzyskany wynik będzie błędny.

1.
2.

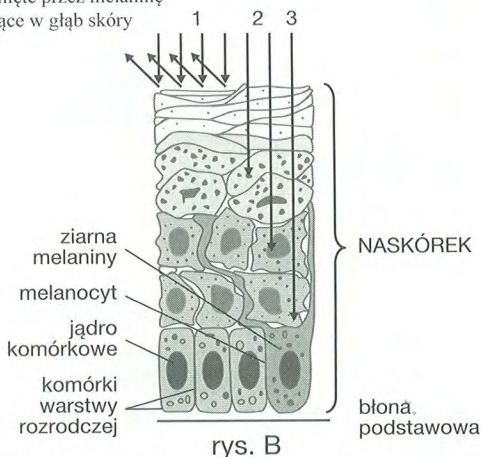
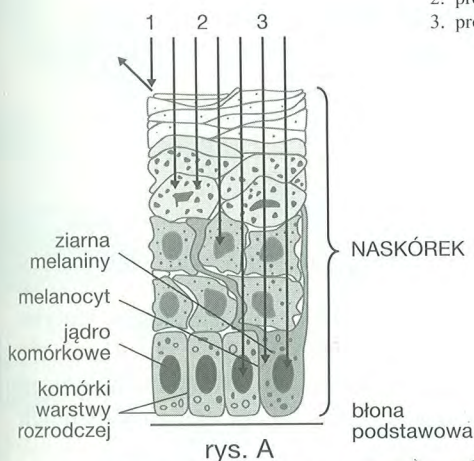
To było na maturze!

Zadanie 1. (1 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PR), zad. 31.

Rysunki przedstawiają drogę promieni UV padających na skórę niechronioną żadnym kremem (rys. A) oraz padających na skórę pokrytą kremem z filtrem UV (rys. B).

1. promienie UV odbite od powierzchni skóry
2. promienie UV pochłonięte przez melaninę
3. promienie UV wnikające w głąb skóry



Na podstawie analizy rysunków wyjaśnij, dlaczego stosowanie kremów z filtrem UV obniża ryzyko wystąpienia choroby nowotworowej skóry.

Stosowanie kremów z filtrem UV pozwala odbić od powierzchni skóry więcej promieni UV, które są powodem mutacji, wywołujących choroby nowotworowe skóry, a także jej uszkodzenia

Zadanie 2. (2 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PP), zad. 2.

Skóra zbudowana jest z naskórka i skóry właściwej. Naskórek utworzony jest przez nabłonek wielowarstwowy płaski. Komórki naskórka nieustannie powstają, rogowacieją, obumierają i ulegają złuszczeniu. W warstwie podstawnej naskórka znajdują się melanocyty, które produkują melaniny – barwniki, od nagromadzenia których zależy barwa skóry. Melaniny pochłaniają również część promieniowania UV, stanowiąc filtr promieniowania w skórze. Pod wpływem promieniowania słonecznego w warstwie podstawnej naskórka jest produkowana witamina D₃. Tak zbudowany naskórek chroni organizm przed działaniem wielu czynników zewnętrznych.

a) Podaj przykłady dwóch różnych czynników zewnętrznych, przed których szkodliwym działaniem chroni nas naskórek.

1. promieniowanie UV, 2. działanie chorobotwórcze...

b) Wyjaśnij, dlaczego ciemne zabarwienie skóry, np. u Afroamerykanów zamieszkających w północnych stanach USA, może mieć negatywny wpływ na syntezę witaminy D₃ w naskórku.

Ciemna skóra afroamerykanów zawiera dużo melaniny, która pochłania promieniowanie słoneczne, kołniesz do produkcji wit. D₃. Na tych obszarach natężenie światła jest mniejsze, zatem syntezę wit. D₃ może być osłabiona

Zadanie 3. (1 pkt)

Źródło: CKE 2009 (PP), zad. 15.

Skóra, poza funkcją ochronną i odbieraniem bodźców, bierze udział w regulacji temperatury ciała oraz gospodarce wodno-mineralnej. Powierzchnia skóry w stosunku do masy ciała człowieka zmienia się w ciągu jego życia i w przeliczeniu na 1 kg masy ciała wynosi średnio: u niemowlęcia 700 cm^2 , a u dorosłego człowieka 220 cm^2 .

Na podstawie powyższych informacji oceń, kto podczas upału jest narażony na szybsze odwodnienie.

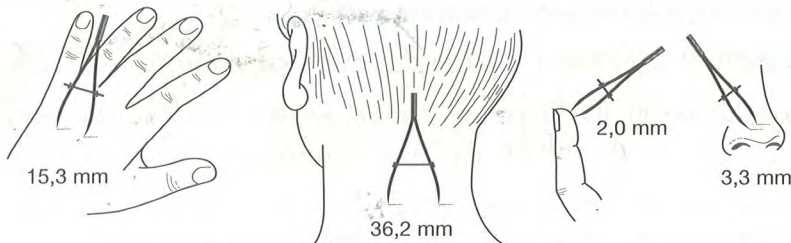
- A. Człowiek dorosły, ponieważ ma większą całkowitą powierzchnię skóry niż niemowlę.
- B. Człowiek dorosły, ponieważ w przeliczeniu na 1 kg wagi ma mniejszą powierzchnię skóry niż niemowlę.
- + C. Niemowlę, ponieważ w przeliczeniu na 1 kg wagi ma większą powierzchnię skóry niż człowiek dorosły.
- D. Niemowlę, ponieważ ma mniejszą powierzchnię skóry niż człowiek dorosły.

Zadanie 4. (1 pkt)

Źródło: CKE 2012 (PR), zad. 14.

Przeprowadzono obserwacje, których celem było ustalenie rozmieszczenia receptorów dotyku w różnych miejscach skóry człowieka. Do pobudzania receptorów dotyku posłużono się cyrklem, którym dotykano skóry równocześnie dwoma jego ramionami. Moment, w którym jednocześnie odczuwano dotyk obu ramion cyrkla oznaczał podrażnienie dwóch sąsiednich receptorów, czyli pokazywał odległość między nimi.

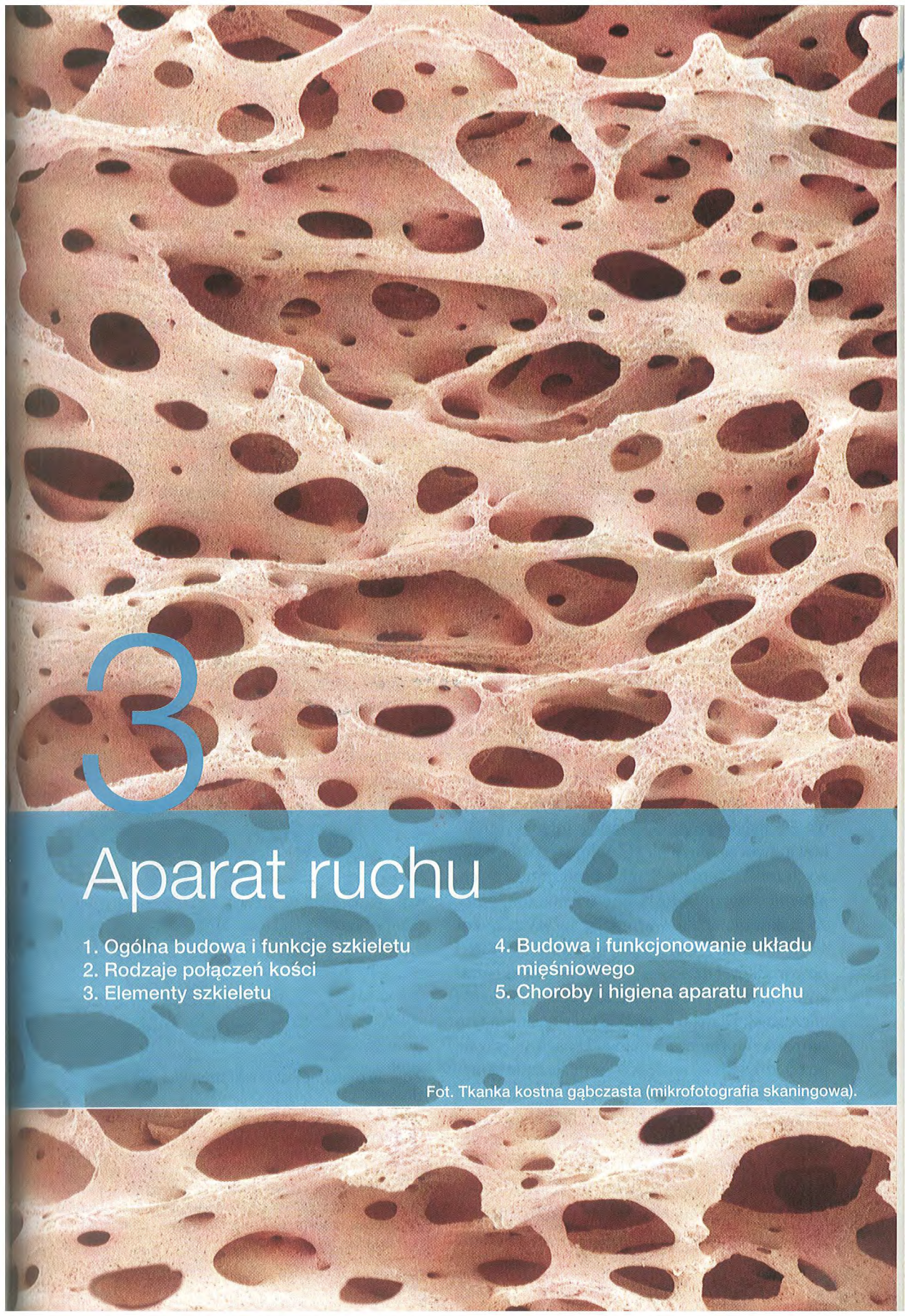
Na poniższych rysunkach przedstawiono uśrednione wyniki obserwacji zebrane z kilku prób.



Na podstawie: J. Chlebińska, *Anatomia i fizjologia człowieka*, WSiP, Warszawa 1981.

Zaznacz poprawny wniosek, który sformułowano na podstawie analizy wyników przeprowadzonych obserwacji.

- A. Zagęszczenie receptorów dotykowych w skórze różnych części ciała człowieka jest wszędzie takie samo.
- B. Receptory dotykowe występują w różnych miejscach ciała człowieka i są równomiernie rozmieszczone na ich powierzchni.
- + C. Receptory dotykowe są nierównomiernie rozmieszczone w skórze człowieka w różnych częściach jego ciała, w jednych miejscach jest ich więcej niż w innych.
- D. Im większa jest odległość między podrażnionymi punktami na skórze, tym więcej receptorów dotykowych znajduje się między nimi.



3

Aparat ruchu

1. Ogólna budowa i funkcje szkieletu
2. Rodzaje połączeń kości
3. Elementy szkieletu
4. Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego
5. Choroby i higiena aparatu ruchu

Fot. Tkanka kostna gąbczasta (mikrofotografia skaningowa).

1

Ogólna budowa i funkcje szkieletu

Najłatwiej dostrzegalnym przejawem życia człowieka jest ruch. Odbywa się on przez **aparat ruchu** (układ ruchu), który składa się z części biernej i czynnej. **Część bierną** stanowi **szkielet**, a **czynną** – **mięśnie**.

Szkielet człowieka tworzą połączone ze sobą kości, które:

- ▶ stanowią miejsce przyczepu mięśni szkieletowych,
- ▶ są rusztowaniem ciała i nadają mu odpowiedni kształt,
- ▶ chronią narządy wewnętrzne organizmu przed uszkodzeniem,
- ▶ są magazynem wapnia i innych pierwiastków,
- ▶ pełnią funkcję krwiotwórczą, ponieważ zawierają szpik kostny czerwony, w którym powstają komórki krwi.

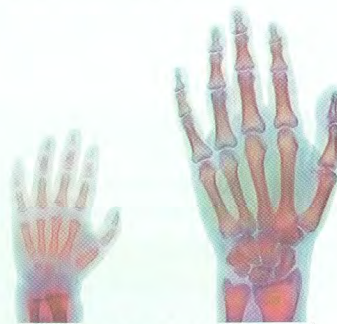
Kości są jednocześnie twarde (do pewnego stopnia odporne na zgniatanie) i sprężyste. Mechaniczne właściwości kości wynikają z budowy tworzącej je tkanki kostnej. W jej skład wchodzi trzy rodzaje komórek oraz substancja międzykomórkowa. Komórki kostne (osteocyty), kościotwórcze (osteoblasty) i kościogubne (osteoklasty) stanowią ok. 5% masy tkanki. Substancję międzykomórkową tworzą duże ilości włókien kolagenowych (ok. 25% masy tkanki) i soli mineralnych, głównie węglanu i fosforanu wapnia (ok. 70%). Związki organiczne warunkują sprężystość kości, a sole mineralne nadają im twardość. Kości noworodków i dzieci zawierają niewiele składników mineralnych i składają się w części z tkanki chrzęstnej. Dlatego są giętkie i elastyczne, a tym samym odporne na złamania. U osób starszych, po 45. roku życia, następuje zmniejszenie syntezy kolagenu, co osłabia odporność fizyczną kości – stają się one kruche i bardziej łamliwe.

■ Budowa i rozwój szkieletu

Noworodek ma ok. 270 kości. W czasie wzrostu i rozwoju część z nich zrasta się ze sobą, dlatego po zakończeniu procesu wzrostu szkielet składa

się już tylko z 206–208 kości. W pierwszym roku życia przyrost kości powoduje wzrost długości ciała o ok. 25 cm. Kolejne niewielkie przyspieszenie tempa wzrostu następuje w 6.–7. roku życia (tzw. skok szkolny), a znaczne w okresie pokwitania (8–12 cm w ciągu roku). Po tym okresie przyrost wysokości ciała jest coraz wolniejszy i kończy się ok. 20. roku życia. Kości ludzi dorosłych ulegają dalszej przebudowie, osiągając ok. 30. roku życia maksymalną masę mineralną i gęstość. Po 30. roku życia przebudowa kości odbywa się nadal, jednak stopniowo zaczyna przeważać proces demineralizacji.

Przebudowę tkanki kostnej rozpoczynają komórki kościogubne odpowiedzialne za procesy rozkładu kości. Jednocześnie aktywują one komórki kościotwórcze odpowiedzialne za procesy odnowy. Do czynników wpływających na przebudowę kości należą m.in. stężenie hormonów licznych gruczołów, stężenie witaminy D, zawartość białka i soli mineralnych (przede wszystkim wapnia i fosforu) w spożywanych pokarmach oraz aktywność fizyczna. W ciągu przeciętnie długiego życia większość kości ulega przebudowie ok. 7–10-krotnie.



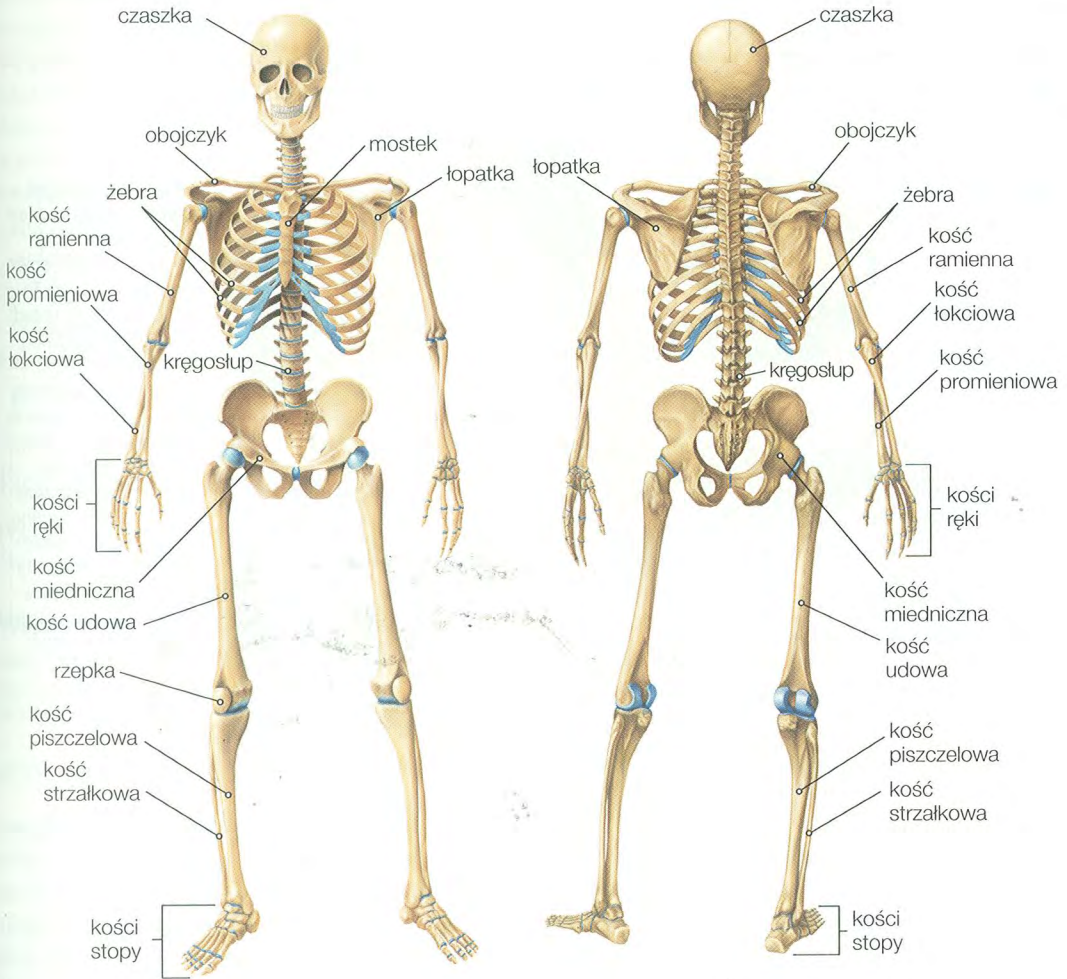
Zdjęcie rentgenowskie ręki dziecka i ręki osoby dorosłej (barwione komputerowo).

? Pomyśl

Tkanka chrzęstna nie zatrzymuje promieni rentgenowskich, dlatego na zdjęciu pomiędzy kośćmi widać wolne przestrzenie. Wyjaśnij, dlaczego w ręce dziecka kości nadgarstka, śródręcza i paliczki są niewidoczne.

Szkielet człowieka

Szkielet człowieka jest to konstrukcja zbudowana z kości, podtrzymująca ciało w pozycji pionowej i ochraniająca narządy wewnętrzne.



Kształty kości

Wśród kości tworzących szkielet wyróżnia się kości: długie, krótkie, różnokształtne i płaskie.

W kościach długich długość jest większa niż szerokość i grubość. Ich przykładem jest kość udowa.



Kości krótkie mają wszystkie wymiary podobne. Należą do nich np. kości nadgarstka.



Kości różnokształtne, przez niektórych zaliczane do kości krótkich, charakteryzują się nieregularnymi kształtami. Do tego typu kości należy np. młoteczek.



W kościach płaskich dwa wymiary: długość i szerokość są znacznie większe niż grubość. Przykładem kości płaskich jest mostek.



Budowa kości długiej

Typowa kość długa składa się z części zasadniczej, zwanej trzonem, oraz położonych na jego końcach zgrubiałych nasad. Nasady kości są zbudowane z tkanki kostnej gąbczastej, a trzon – z tkanki kostnej zbitej.

Tkanka kostna gąbczasta składa się z blaszek kostnych. Tworzą one beleczki kostne, których układ zapewnia odpowiednią lekkość i wytrzymałość kości. W przestrzeniach między beleczkami występuje szpik kostny czerwony, pełniący funkcję krwiotwórczą.

Tkanka chrzęstna pokrywa powierzchnie stawowe kości, zmniejszając występujące między nimi tarcie.

Jamę szpikową wypełnia szpik kostny.

Okostna to błona łącznotkankowa, która okrywa kość, z wyjątkiem powierzchni stawowych. Pełni ona funkcję ochronną i odżywczą w stosunku do kości.

osteon

W tkance kostnej zbitej podstawowym składnikiem budulcowym i czynnościowym jest osteon. To koncentryczny układ blaszek kostnych, między którymi, w jamkach kostnych, tkwią komórki kostne. W centrum przebiega kanał osteonu zawierający włosowate naczynia krwionośne i nerw. Przestrzenie między poszczególnymi systemami wypełniają tzw. blaszki międzysystemowe.

nerw
komórka kostna
blaszka kostna
komórka kostna
naczynia krwionośne
kanał osteonu

Budowa kości

Wszystkie kości są okryte błoną z tkanki łącznej, zwaną **okostną**. Jest ona bogato unaczyniona (pełni więc funkcję odżywczą) i unerwiona. Wewnętrzna warstwa okostnej (przylegająca do kości) zawiera komórki kościotwórcze i kościogubne, które biorą udział w naprawie uszkodzeń i przebudowie kości podczas ich wzrostu. Pod okostną znajduje się warstwa tkanki kostnej zbitej, a wewnątrz kości wypełniają tkanka kostna gąbczasta i szpik kostny. Powierzchnie nasad pokrywa tkanka chrzęstna.

Polecenia kontrolne

1. Wymień funkcje szkieletu.
2. Omów budowę kości na przykładzie kości długiej.
3. Określ, jakie właściwości kości wynikają z jej budowy tkankowej.

2

Rodzaje połączeń kości

Kości tworzące szkielet są ze sobą połączone za pomocą połączeń ścisłych lub ruchomych. W **połączeniach ścisłych** kości mają bardzo ograniczoną ruchomość. W zależności od rodzaju tkanki łączącej kości w tych połączeniach wyróżnia się:

- ▶ **więzozrosty**, w których łącznikiem jest tkanka łączna włóknista. Należą do nich **szwy** łączące kości czaszki u dzieci oraz **więzadła**, czyli pasma tkanki łącznej wzmacniające pozostałe połączenia kości i stabilizujące szkielet;
- ▶ **chrząstkozrosty**, w których kości łączą się za pomocą tkanki chrzęstnej. Występują one np.

w spojeniu łonowym (połączenie kości łonowych) i między pierwszym żebrem a mostkiem;

- ▶ **kościrozrosty**, w których łącznikiem jest tkanka kostna. Powstają one z wiekiem na skutek kostnienia więzozrostów i chrząstkozrostów. Występują m.in. w czaszce dorosłego człowieka (kostnienie szwów) i w miednicy (kostnienie chrząstkozrostów w połączeniu kości biodrowej, kulszowej i łonowej).

Połączenia ruchome, nazywane **stawami**, umożliwiają ruch kości względem siebie. O zakresie ruchu decyduje kształt powierzchni stawowych kości.

Rodzaje połączeń ścisłych

Połączenia ścisłe, dzięki swej stabilności, pełnią np. funkcje ochronne.

Są to więzozrosty, chrząstkozrosty i kościrozrosty.

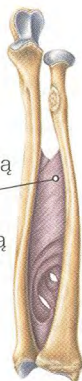
Wiezozrosty

Wiezozrosty to połączenia kości za pomocą pasm tkanki łącznej. Należą do nich m.in. więzadła łączące kości w stawach, więzozrosty włókniste i szwy.

kości czaszki



Szew to połączenie kości za pomocą cienkiej, ale mocnej warstwy tkanki łącznej. Około 30. roku życia następuje zrośnięcie szwów i wytworzenie kościrozrostu.



Wiezozrost włóknisty to połączenie za pomocą tzw. włóknistych pasm łącznotkankowych. Łączy np. kość łokciową z kością promieniową.

Chrzastkozrosty

Chrzastkozrosty łączą m.in. poszczególne kręgi kręgosłupa, tworząc tzw. krążki międzykręgowe.

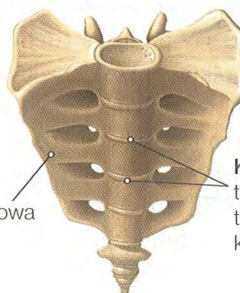
krążek międzykręgowy

kręg lędźwiowy



Kościrozrosty

Kościrozrosty występują m.in. w kości krzyżowej, która powstaje ze zrośnięcia się kręgów krzyżowych kręgosłupa.

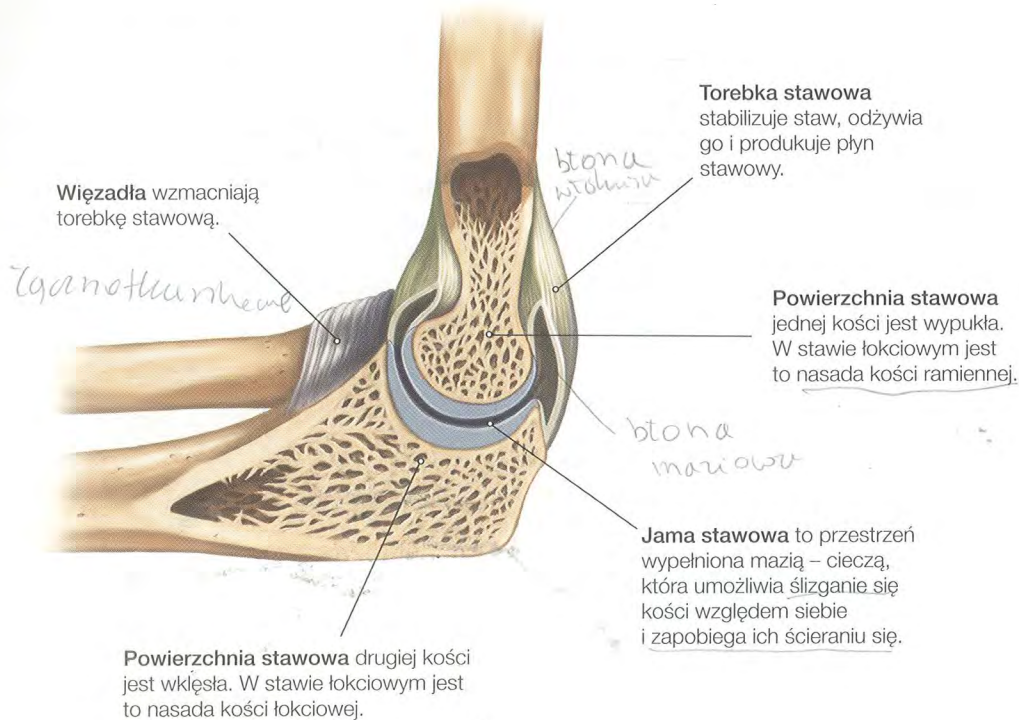


kość krzyżowa

Kresy poprzeczne to miejsca zrostu trzonów kręgów krzyżowych.

Budowa stawu i rodzaje stawów

Stawy dzieli się na podstawie kilku kryteriów. Biorąc pod uwagę liczbę łączonych kości, wyróżnia się stawy proste, które łączą dwie kości, i stawy złożone, które łączą kilka kości. Najczęściej stosowany podział stawów opiera się na dwóch połączonych kryteriach. Są to: liczba płaszczyzn ruchu i kształt powierzchni stawowych. Na tej podstawie wyróżnia się stawy: kuliste, zawiasowe, siodełkowe, elipsoidalne, obrotowe i płaskie.



Budowa stawów

Stawy umożliwiają ruch o różnych zakresach: w jednej lub kilku płaszczyznach. Łączą dwie lub więcej kości. Powierzchnie kości tworzące staw nazywamy **powierzchniami stawowymi**. Są one pokryte chrząstką szklistą, która dzięki swej gładkości i elastyczności zmniejsza tarcie oraz amortyzuje wstrząsy podczas ruchu. **Główka stawowa** jest to fragment kości, na którym znajduje się wypukła powierzchnia stawowa. Odpowiadający jej fragment drugiej kości, z wklęsłą powierzchnią stawową, nazywa się **panewką**.

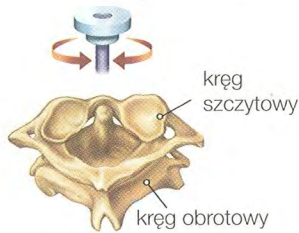
Staw jest otoczony torebką stawową przytrzymującą kości i zamykającą jamę stawową – wąską przestrzeń między powierzchniami

stawowymi. Torebka stawowa składa się z dwóch warstw. Zewnętrzna **błona włóknista** stabilizuje staw. Niekiedy też tworzy silne pasma łącznotkankowe zwane więzadłami. Warstwa wewnętrzna – **błona maziowa** – zawiera dobrze rozwiniętą sieć naczyń krwionośnych i limfatycznych. Wytwarza żółtą, ciągliwą, przezroczystą mazę stawową, która jest przesączem osocza krwi. Jej rola polega na dostarczaniu składników odżywczych tkance chrzęstnej oraz zmniejszaniu tarcia.

W niektórych stawach oprócz wymienionych elementów występują m.in. więzadła wewnątrzstawowe, wzmacniające stawy i regulujące zakres niektórych ich ruchów, oraz **kaletki**



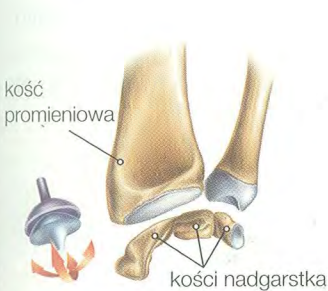
Staw zawiasowy umożliwia ruchy w jednej płaszczyźnie – zginanie i prostowanie. Głowa stawu ma kształt walca, a panewka jest wklęsła. Stawy zawiasowe to np. staw łokciowy, staw kolanowy i stawy międzypaliczkowe.



Staw obrotowy umożliwia ruchy w jednej płaszczyźnie – obrót wokół osi. Głowa stawu jest osadzona w panewce o kształcie pierścienia. Staw obrotowy występuje np. między pierwszym a drugim kręgiem kręgosłupa.



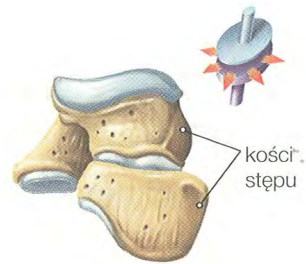
Staw kulisty umożliwia ruchy we wszystkich płaszczyznach – zginanie i prostowanie, przywodzenie i odwodzenie, obrót na zewnątrz i do wewnątrz oraz sumowanie ruchów. Głowa stawu ma kształt kulisty, a panewka – wklęsła. Przykładami są staw barkowy oraz staw biodrowy.



Staw elipsoidalny umożliwia ruchy w dwóch płaszczyznach – zginanie i prostowanie, przywodzenie i odwodzenie. Głowa i panewka stawu mają kształt elipsy. Przykładem jest staw promieniowo-nadgarstkowy.



Staw siodełkowaty umożliwia ruchy w dwóch płaszczyznach – przywodzenie i odwodzenie. Głowa i panewka stawu mają kształt siodeła. Stawem siodełkowym jest np. staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka.



Staw płaski umożliwia niewielkie ruchy w wielu płaszczyznach. Powierzchnie stawowe są w nim prawie płaskie. Przykładem są stawy między kośćmi stępu.

maziowe i krążki stawowe. Kaletki maziowe to uchyłki błony maziowej wystające poza jamę stawową. Są wypełnione mazią i ułatwiają ruch ścięgien i więzadeł znajdujących się w otoczeniu stawu. Krążki stawowe to chrząstki znajdujące się między powierzchniami stawowymi, zwiększające ich dopasowanie. W kolanie noszą nazwę łąkotek.

Polecenia kontrolne

1. Wymień rodzaje połączeń kości i podaj po dwa przykłady każdego z nich.
2. Wymień trzy rodzaje ścisłych połączeń kości i określ kryterium ich wyróżnienia.
3. Omów budowę stawu. Podaj funkcję jego elementów.
4. Wymień rodzaje stawów i podaj ich przykłady.
5. Na podstawie dostępnych źródeł informacji wyjaśnij, dlaczego stawy mogą ulegać usztywnieniu.

Czy wiesz, że...

Na utrzymanie w prawidłowej pozycji kości tworzących staw mają wpływ czynniki zewnętrzne, takie jak ciśnienie atmosferyczne i napięcie mięśni otaczających staw.

W niektórych stawach, np. kończyny dolnej, istotną rolę odgrywa też ich obciążenie.

3

Elementy szkieletu

W skład szkieletu człowieka wchodzi: szkielet osiowy, złożony z czaszki, kręgosłupa i klatki piersiowej, szkielet obręczy oraz szkielet kończyn.

■ **Szkielet osiowy** *czaszka, kręgosłup, klatka piersiowa*
Szkielet osiowy pełni przede wszystkim funkcje ochronne. Część jego kości otacza narządy wewnętrzne, chroniąc je przed urazami.

Czaszka

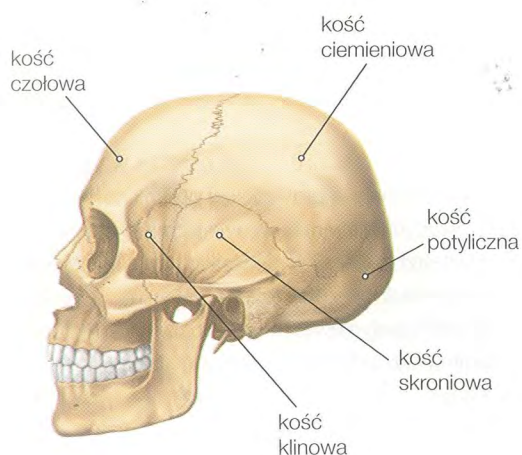
Czaszka stanowi szkielet głowy. Jej część górna i tylna, nazywana **mózgoczaszką**, chroni mózgowie. Część przednia i dolna, nazywana **trzewioczaszką**, ochrania początkowe odcinki

przewodu pokarmowego i dróg oddechowych, a także narządy zmysłów (wzroku, węchu, słuchu i równowagi). Do szkieletu głowy zalicza się też niestykającą się bezpośrednio z czaszką **kość gnykową**, na której są zawieszone chrząstki tworzące krtań oraz kosteczki słuchowe – młoteczek, kowadełko i strzemiączko.

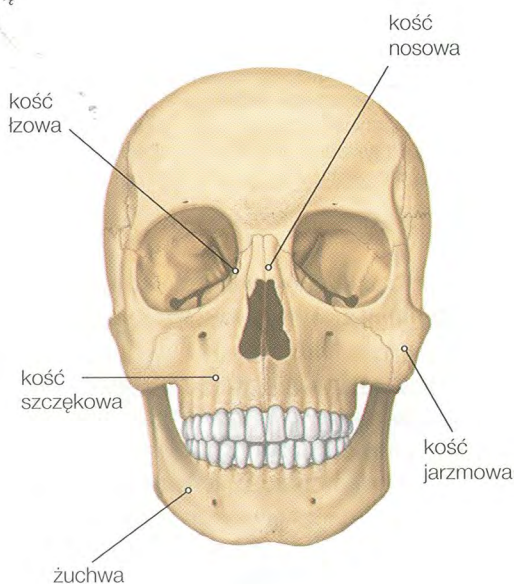
U dorosłych mózgowiczaszkę tworzy siedem kości połączonych ze sobą nieruchomo za pomocą szwów, które z więzozrostów występujących u dzieci przekształcają się stopniowo w kościowzrosty. U noworodków kości mózgowiczaszki są oddzielone pasmami tkanki łącznej. Na styku dwóch lub więcej kości tworzy ona pola

Budowa czaszki

W budowie czaszki wyróżnia się mózgowiczaszkę (czaszkę mózgową) i trzewioczaszkę (czaszkę trzewną).



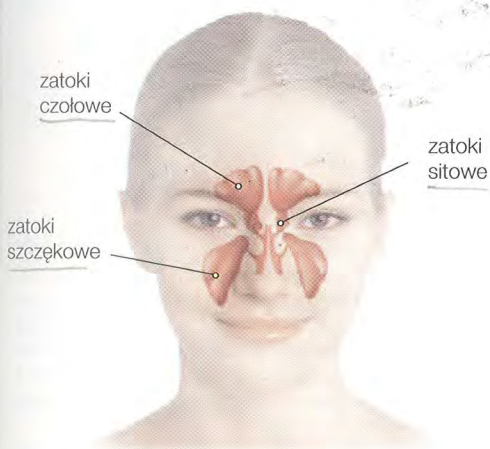
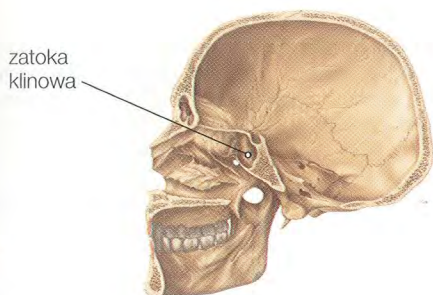
Mózgoczaszka, czyli tylna część czaszki osłaniająca mózgowie, składa się z siedmiu kości o dużej powierzchni. Są to kości: czołowa, dwie ciemieniowe, dwie skroniowe, klinowa i potyliczna.



Trzewioczaszka to przednia, dolna część czaszki złożona z wielu kości różnokształtnych. Ochronia narządy zmysłów znajdujące się w głowie i początkowe odcinki układów oddechowego oraz pokarmowego.

Zatoki przynosowe

W kościach czaszki sąsiadujących z jamą nosową znajdują się zatoki przynosowe. Są to przestrzenie wyścielone błoną śluzową i wypełnione powietrzem. Ich nazwy pochodzą od nazw kości, w których występują. Zatoki przynosowe są połączone z jamą nosową. Biorą one udział w ogrzewaniu i nawilżaniu powietrza wdychanego przez nos, pełnią też funkcję rezonatorów i wpływają na barwę głosu. Ich obecność zmniejsza masę trzewioczaszki.



Zatoki są połączone z jamą nosową cienkimi kanałami, które na skutek infekcji często się zatykają. Powoduje to m.in. uczucie zatkanego nosa i utratę powonienia.

nazywane **ciemniączkami**. Ich obecność umożliwia przejście główki dziecka przez kanał rodny oraz późniejszy wzrost i rozwój mózgowia.

W skład trzewioczaszki wchodzi kilkanaście kości. Mają one liczne, niewielkie otwory, przez które przechodzą naczynia krwionośne i nerwy.

Między kośćmi trzewioczaszki występują różne połączenia. Jedyną ruchomą kość czaszki – żuchwa – jest połączona stawowo z kością skroniową.

Kręgosłup

Kręgosłup biegnie od podstawy czaszki do końca tułowia. Stanowi oś i główną podporę ciała oraz osłonę dla rdzenia kręgowego. Składa się z ułożonych jeden na drugim kręgów. W kręgosłupie wyróżnia się pięć odcinków: szyjny, piersiowy, lędźwiowy, krzyżowy i ogonowy. Kręgi są połączone za pomocą chrzęstnych krążków międzykręgowych nazywanych **dyskami**, które znajdują się między poszczególnymi kręgami. Amortyzują one wstrząsy powstające w czasie chodzenia, umożliwiają też zginanie i prostowanie ciała oraz wykonywanie ruchów bocznych i obrotowych.

Prawidłowo zbudowany kręgosłup, widziany z boku, przypomina kształtem literę S. Wśród naturalnych krzywizn kręgosłupa wyróżnia się **lordozy**, czyli wygięcia w stronę brzuszną, oraz **kifozy**, czyli wygięcia w stronę grzbietową. Lordozy występują w odcinku szyjnym i lędźwiowym, a kifozy – w odcinku piersiowym i krzyżowym. Fizjologiczne wygięcia kręgosłupa amortyzują wstrząsy i umożliwiają prawidłowe przenoszenie obciążenia ciała.

Większość kręgów jest zbudowana z trzonu, łuku i odchodzących od niego wyrostków. Masywny trzon kręgu jest zwrócony w stronę brzuszną. Odchodzący od trzonu ku tyłowi łuk kręgowy ogranicza otwór kręgowy. Łuki kręgów tworzą kanał kręgowy ochraniający rdzeń kręgowy. Od łuku kręgowego odchodzą wyrostki:

- ▶ **kolczysty** – znajdujący się w linii środkowej, skierowany ku tyłowi, pojedynczy; stanowi on mocne oparcie dla mięśni;
- ▶ **poprzeczne** – odchodzące w kierunku bocznym, parzyste; służą jako miejsca przyczepu mięśni i więzadeł;
- ▶ **stawowe** – dwa górne zwrócone ku tyłowi i dwa dolne zwrócone ku przodowi; służą do łączenia sąsiednich kręgów.

Budowa kręgosłupa

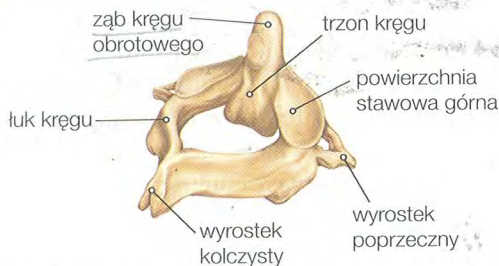
Kręgosłup składa się z 33–34 kręgów połączonych krążkami międzykręgowymi. Kręgi poszczególnych odcinków różnią się od siebie szczegółami budowy, wynikającymi z ich położenia w kręgosłupie i przystosowania do pełnionej funkcji.

1 Atlas (krąg szczytowy)



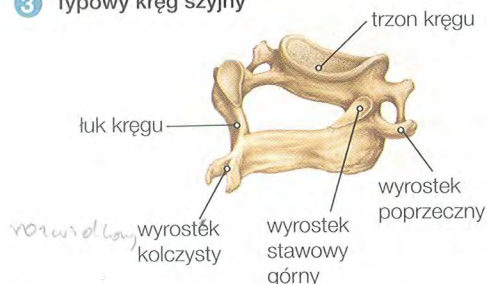
Pierwszy krąg szyjny (krąg szczytowy, atlas) nie ma trzonu, lecz składa się z dwóch łuków. Na tylnej części łuku przedniego leży powierzchnia stawowa służąca do połączenia z zębem kręgu obrotowego. Na częściach bocznych znajdują się powierzchnie stawowe, dostosowane kształtem do kłykcii potylicznych czaszki, i połączenia z następnym kręgiem.

2 Obrotnik (krąg obrotowy)



Drugi krąg szyjny (krąg obrotowy, obrotnik) ma trzon wyposażony w wyrostek zwany zębem. Ruchy przeczące głowy są możliwe dzięki obracaniu się kręgu szczytowego wokół zęba.

3 Typowy krąg szyjny



Kręgi 3–6 mają małe trzony, rozwidlane wyrostki kolczyste i niskie wyrostki stawowe. Wyrostki poprzeczne mają pionowy otwór, przez który przechodzą tętnice i żyły kręgowe. Otwór kręgowy ma trójkątny kształt. **Ostatni krąg szyjny** ma długi wyrostek kolczysty, łatwo wyczuwalny przez skórę.

Odcinek szyjny (7 kręgów)

Odcinek piersiowy (12 kręgów)

Odcinek lędźwiowy (5 kręgów)

Odcinek krzyżowy (5 kręgów)

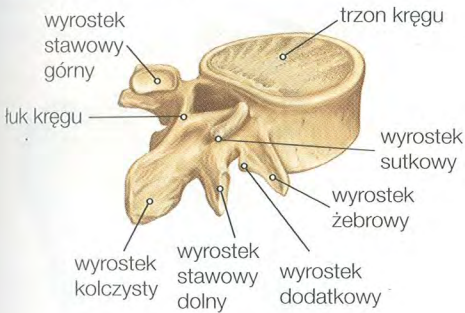
Odcinek guziczny (4–5 kręgów)

4 Krąg piersiowy



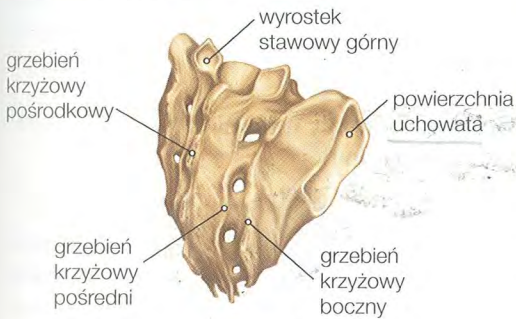
Kręgi piersiowe są większe od kręgów szyjnych. Na bokach ich trzonów znajdują się powierzchnie stawowe (dolki żebrowe), do których przyczepiają się żebra. Długie i pochylone ku dołowi wyrostki kolczyste zachodzą na siebie dachówkowato, uniemożliwiając wyginanie się odcinka piersiowego do tyłu.

5 Kręgi lędźwiowe



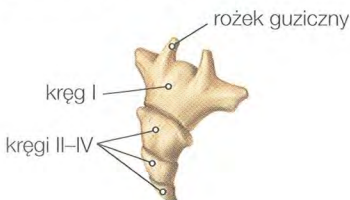
Kręgi lędźwiowe, największe ze wszystkich kręgów, mają trzony o kształcie nerkowatym. Ustawione poziomo wysokie i płaskie wyrostki kolczyste nie ograniczają odginania do tyłu. Wyrostki poprzeczne, nazywane żebrowymi, są cienkie i długie.

6 Kość krzyżowa



Kość krzyżowa ma kształt klina. Powstaje ze zrośnięcia się pięciu kręgów krzyżowych. Zrośnięte wyrostki kolczyste tworzą tzw. grzebień pośrodkowy, a zrośnięte wyrostki stawowe – grzebień pośrodkowy. Kość krzyżowa ma cztery powierzchnie stawowe. Górna łączy się z ostatnim kręgiem lędźwiowym, dwie boczne – uchowanie – z kośćmi miednicy, a dolna z kością guziczną.

7 Kość guziczna (kość ogonowa)



Kość guziczna (ogonowa) składa się z 4–5 zrośniętych kręgów, z których tylko pierwszy, łączący się z kością krzyżową, ma wyrostki stawowe. Pozostałe są zbudowane jedynie z małych, trójkątnych trzonów.

Klatka piersiowa

Klatkę piersiową tworzą: piersiowy odcinek kręgosłupa, 12 par żebier i mostek, powiązane ze sobą stawami i chrząstkami. Dzięki chrzęstno-kostnej budowie klatka piersiowa jest mocna i sprężysta. Zapewnia ochronę znajdującym się w niej narządom, m.in. płucom i sercu. Jej zdolność do zmiany objętości umożliwia wykonywanie wdechów i wydechów.

Żebra to kości długie, spłaszczone w związku z pełnioną funkcją. Ich trzony nie mają jamy szypkowej. Każde żebro ma jeden koniec (tylny) połączony stawowo z kręgosłupem, a drugi (przedni) z mostkiem. W zależności od sposobu połączenia żebier z mostkiem wyróżnia się:

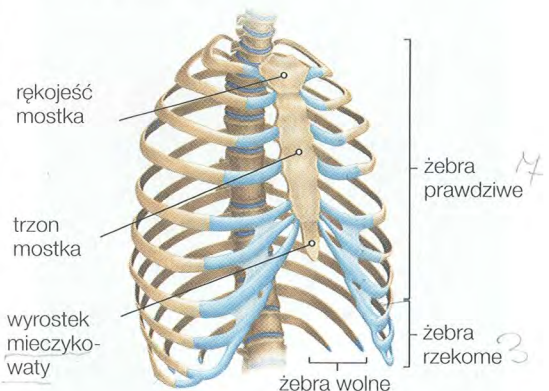
► **żebra prawdziwe** (pary I–VII) – dochodzą bezpośrednio do mostka i łączą się z nim za pomocą chrząstek żebrowych,

► **żebra rzekome** (pary VIII–X) – łączą się z mostkiem przez chrząstkę żebra VII,

► **żebra wolne** (pary XI i XII) – nie mają połączenia z mostkiem, kończą się swobodnie w ścianach jamy brzusznej.

Mostek jest nieparzystą kością płaską, zamykającą klatkę piersiową od przodu. Składa się z trzech części: rozszerzonej górnej – rękojeści mostka, wydłużonej środkowej – trzonu mostka – i małej, wąskiej dolnej – tzw. wyrostka mieczykowatego mostka.

Budowa klatki piersiowej



■ Obręcze i kończyny

Obręcze łączą kończyny ze szkieletem osiowym: obręcz barkowa – kończyny górne, obręcz miedniczna – kończyny dolne. **Obręcz barkową** tworzą dwie łopatki i dwa obojczyki. W skład **obręczy miednicznej** – miednicy – wchodzi kość krzyżowa oraz dwie kości miedniczne powstałe ze zrośnięcia kości biodrowej, kulszowej i łonowej. Kości miedniczne są połączone od przodu spojeniem łonowym. Dodatkową funkcją obręczy miednicznej jest ochrona narządów jamy brzusznej, m.in. pęcherza moczowego.

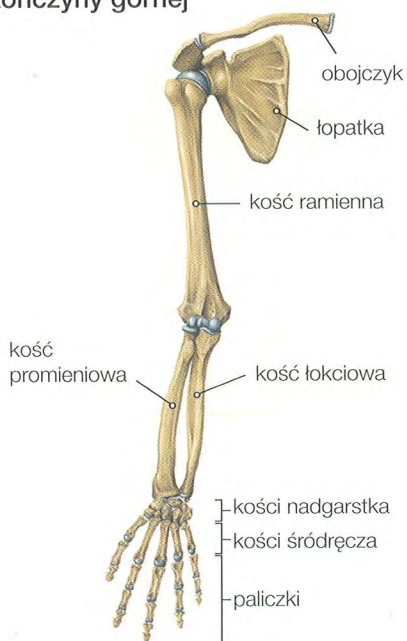
Kończyny mają podobny plan budowy, różnią się jednak funkcją i pewnymi szczegółami z nią związanymi. **Kończyny górne** są krótsze, a ich szkielet jest lżejszy i bardziej delikatny niż szkielet kończyn dolnych. Ich budowa umożliwia wykonywanie nawet bardzo skomplikowanych i precyzyjnych ruchów.

Czy wiesz, że...

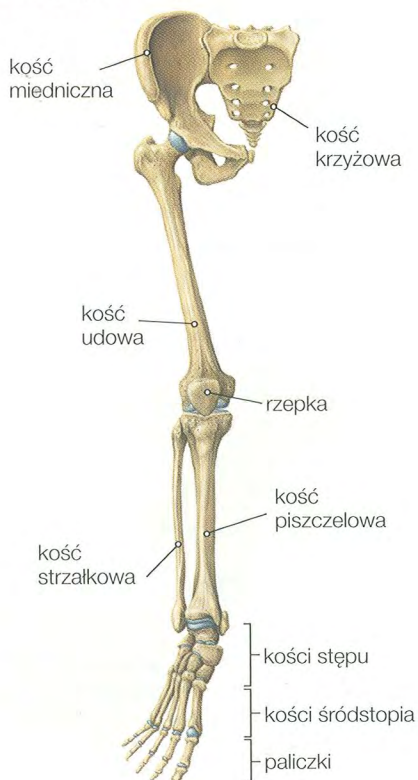
W różnych miejscach ciała mogą występować drobne kostki zwane trzesczkami, włączone w ścięgna lub więzadła. Największą trzesczką człowieka jest znajdująca się w stawie kolanowym rzepka. Trzesczki występujące w ręce znajdują się najczęściej przy pierwszej kości śródreżca.



Budowa obręczy barkowej i kończyny górnej

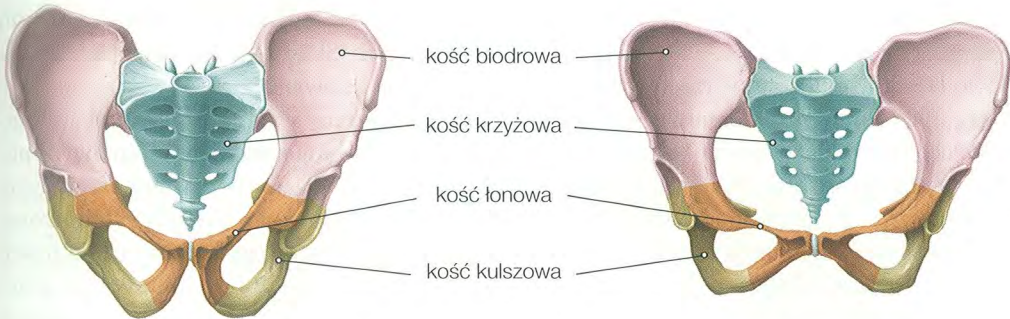


Budowa obręczy miednicznej i kończyny dolnej



Porównanie miednicy kobiety z miednicą mężczyzny

Miednica kobiety, ze względu na jej przystosowanie do porodu, różni się szczegółami budowy od miednicy mężczyzny.



Miednica mężczyzny ma wąski, sercowaty otwór górny, a jej kanał, czyli przestrzeń ograniczona przez kości, ma kształt lejka. Kąt między kośćmi łonowymi jest ostry.

Miednica kobiety jest niższa i szersza niż miednica mężczyzny, a kości biodrowe są bardziej rozchylone na boki. Otwór górny miednicy jest duży i owalny, a jej kanał ma kształt cylindryczny. Kąt między kośćmi łonowymi jest rozwarty.

W skład kończyny górnej wchodzi: kość ramienna, kości przedramienia (łokciowa i promieniowa) oraz kości ręki (nadgarstka, śródręcza i palców). W związku z pionową postawą ciała **kończyny dolne** są zbudowane z długich

i masywnych kości. Każda kończyna dolna składa się z kości udowej, która jest największą kością w całym szkielecie, kości podudzia (piszczelowej i strzałkowej) oraz kości stopy (stępu, śródstopia i palców).

Polecenia kontrolne

1. Podaj funkcje poszczególnych elementów szkieletu osiowego.
2. Określ rolę mózgoczaszki i trzewioczaszki.
3. Wyjaśnij, jaką funkcję pełnią zatoki przynosowe.
4. Omów budowę kręgosłupa.
5. Porównaj budowę kręgu piersiowego z budową kręgu lędźwiowego.
Wymień trzy cechy, którymi różnią się te kręgi.
6. Wyjaśnij związek między budową klatki piersiowej a jej funkcjami.
7. Wymień odcinki kręgosłupa, w których występują naturalne krzywizny.
Określ rolę krzywizn.
8. Porównaj budowę kończyny górnej z budową kości dolnej. Podaj nazwy odpowiadających sobie kości.
9. Wymień trzy cechy, na których podstawie można przypuszczać, że szkielet należy do kobiety, a nie do mężczyzny.
10. Na podstawie różnych źródeł wyjaśnij, dlaczego wzrost człowieka ma inną wartość, kiedy jest mierzony rano, a inną, kiedy jest mierzony wieczorem.

4

Budowa i funkcjonowanie układu mięśniowego

Mięśnie odpowiadają za wszystkie ruchy wykonywane przez ciało. Dzięki nim człowiek może się przemieszczać i wyrażać emocje. To one powodują krążenie krwi, przesuwanie się zjedzonego pokarmu czy przemieszczanie powietrza w drogach oddechowych. Mięśnie mają zdolność kurczenia się oraz wykazują pobudliwość elektryczną. Dzięki pobudliwości mogą odpowiadać skurczem na impulsy elektryczne płynące z układu nerwowego.

Układ mięśniowy człowieka tworzą wszystkie mięśnie ciała. Ze względu na rodzaje budujących je tkanek wyróżnia się mięśnie gładkie, mięsień sercowy i mięśnie szkieletowe.

Mięśnie gładkie występują w ścianach naczyń i narządów wewnętrznych, m.in. jelita, żołądka i macicy, gdzie wywierają nacisk na otaczaną przez siebie przestrzeń. Tym samym powodują np. utrzymanie odpowiedniego ciśnienia krwi czy przesuwanie się pokarmu. Ich wrzecionowate komórki mają jedno centralnie położone jądro komórkowe. Zawierają kilkakrotnie mniej włókienek kurczliwych niż włókna mięśni szkieletowych oraz mięśnia sercowego. Miofibryle są ułożone nieregularnie wzdłuż długiej osi komórki. Taki układ powoduje m.in.

brak prądkowania i sprawia, że skurcze są powolne, ale trwają dłużej niż skurcze mięśni szkieletowych. Skurcze mięśni gładkich nie zależą od woli człowieka.

Mięsień sercowy stanowi główną masę serca. Jest zbudowany z włókien mięśniowych poprzecznie prążkowanych, zawierających jedno lub dwa centralnie położone jądra komórkowe. Włókna, widlasto rozgałęzione na końcach i połączone ze sobą wstawkami, tworzą przestrzenną sieć, której skurcz zmniejsza objętość jam serca. W porównaniu z włóknami mięśni szkieletowych zawierają mniej miofibryli. Z tego względu skurcze mięśnia sercowego są szybsze, ale mają mniejszą siłę niż w wypadku mięśni szkieletowych. Skurcze mięśnia sercowego są niezależne od woli człowieka.

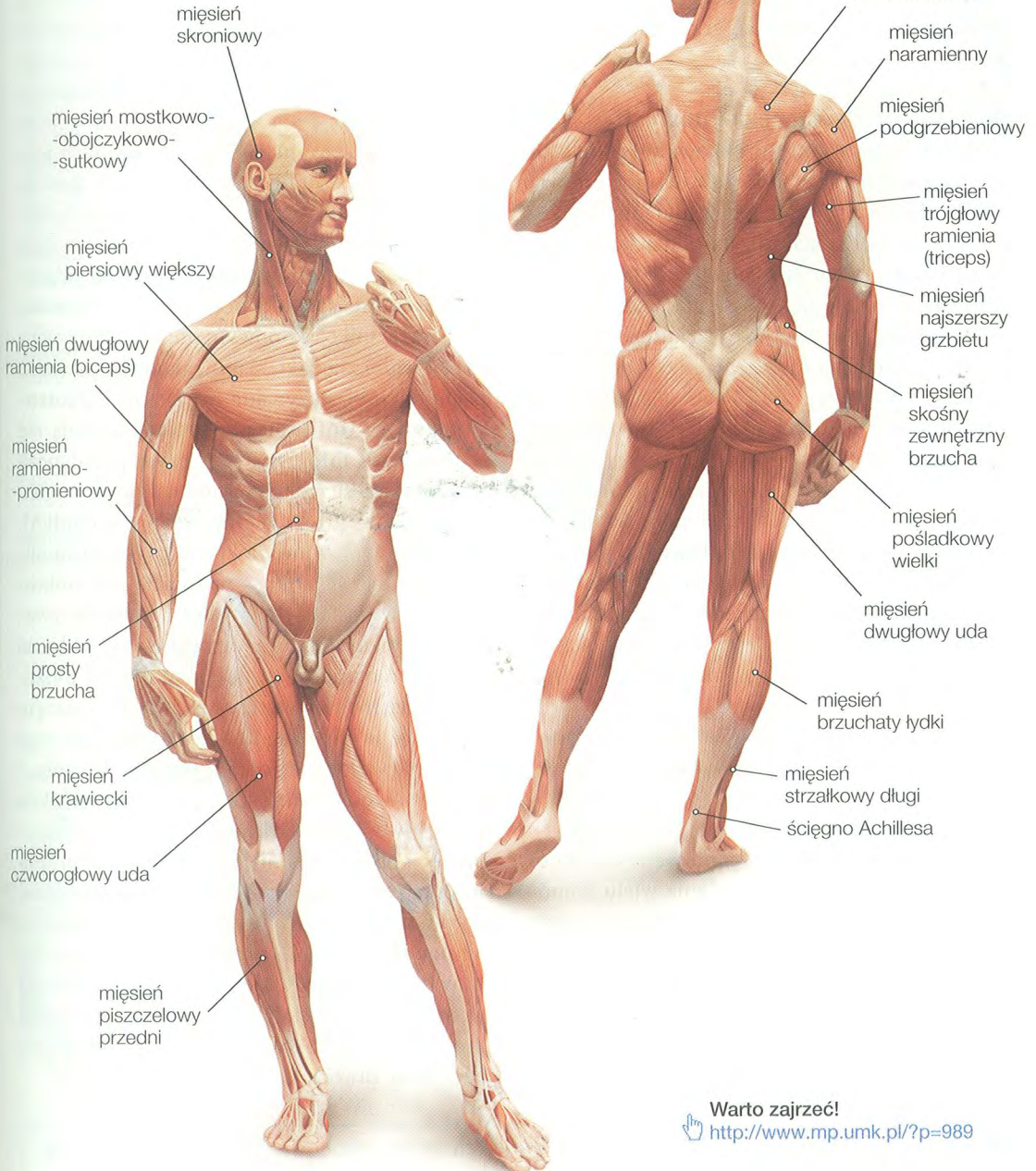
Mięśnie szkieletowe w większości są przymocowane do szkieletu (stąd ich nazwa). Stanowią one czynną część aparatu ruchu. Są zbudowane z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej i mają zdolność wykonywania szybkich oraz silnych skurczów, które są zależne od woli. Praca mięśni szkieletowych powoduje zmianę położenia całego ciała lub jego części. Wpływa także na postawę, czyli pozycję, którą

Funkcje mięśni szkieletowych wynikające z położenia tych mięśni

Mięśnie	Funkcje
głowy	Odpowiadają za mimikę; umożliwiają poruszanie szczękami, żuchwą, językiem i gałką oczną.
szyi	Umożliwiają ruchy głowy, jej obracanie oraz pochylanie i odchyłanie.
klatki piersiowej	Umożliwiają poruszanie kończynami górnymi; unoszą i opuszczają żebra podczas wdechów i wydechów. Do tej grupy zalicza się przeponę – główny mięsień oddechowy.
brzucha	Zginają, prostują i obracają tułów, pomagają zachować pionową postawę ciała; uczestniczą w wykonywaniu wdechów i wydechów; działają jak tłocznia na narządy jamy brzusznej, np. podczas porodu, oddawania moczu i kału.
grzbietu	Umożliwiają ruch ramion, łopatek i żeber, pomagają zachować pionową postawę ciała.
kończyny górnej	Umożliwiają wykonywanie wszelkich ruchów kończyny górnej (zginają, prostują, przywodzą, odwodzą, obracają, wysuwają i cofają).
kończyny dolnej	Umożliwiają wykonywanie wszelkich ruchów kończyny dolnej (zginają, prostują, przywodzą, odwodzą, obracają, wysuwają i cofają).

Mięśnie szkieletowe człowieka

Mięśnie szkieletowe stanowią 40% masy ciała człowieka. Jest ich ok. 400. Każdy z nich ma swoją nazwę, która pochodzi od położenia mięśnia, miejsca jego przyczepu, kształtu, budowy lub czynności.



Warto zajrzeć!

<http://www.mp.umk.pl/?p=989>

przybiera ciało w bezruchu. Do pozostałych funkcji mięśni szkieletowych zalicza się wytwarzanie ciepła i wspomaganie układu krążenia. Pracujące mięśnie uciskają naczynia krwionośne i limfatyczne, ułatwiając w ten sposób krążenie krwi oraz limfy.

Ze względu na położenie (topografię) mięśnie szkieletowe dzieli się na: mięśnie głowy, szyi, klatki piersiowej, brzucha, grzbietu, kończyny górnej i kończyny dolnej.

■ Budowa mięśni szkieletowych

Mięsień poprzecznie prążkowany szkieletowy jako narząd ma budowę wielopoziomową (hierarchiczną). Zwykle jest wydłużony i wrzecionowaty, od innych mięśni oddziela go łącznotkankowa błona, tzw. powięź. Składa się on z **brzuśca** i znajdujących się na jego końcach **ścięgien**. Brzusiec to środkowa kurczliwa część mięśnia, a ścięgna to mocne, niekurczliwe pasma tkanki łącznej, przytwierdzające mięsień do kości. W niektórych mięśniach brzusiec jest podzielony na kilka części nazywanych głowami. Z tego względu wyróżnia się **mięśnie dwugłowe** (np. mięsień ramienia), **trójgłowe** (np. mięsień łydki) i **czworogłowe** (np. mięsień uda). Czasami mięsień jest zbudowany z dwóch brzuśców umieszczonych jeden za drugim i oddzielonych ścięgnem pośrednim. Wtedy określa się go mianem mięśnia dwubrzuścowego (np. mięsień potyliczno-czołowy).

Brzusiec tworzą **pęczki włókien mięśniowych**, biegnących przez całą jego długość. Są one oddzielone od siebie tkanką łączną, w której znajdują się naczynia krwionośne i nerwy.

Pojedyncze **włókno mięśniowe** (miocyt) to syncytium powstałe z zespolenia wielu komórek, dlatego zawiera setki jąder komórkowych rozmieszczonych tuż pod błoną komórkową – sarkolemmą. Ma także dobrze rozbudowaną siećkę śródplazmatyczną (w komórkach mięśni nazywaną siecią sarkoplazmatyczną), która jest magazynem jonów wapnia. Odgrywają one

istotną rolę w procesie skurczu włókna mięśniowego. W cytoplazmie (sarkoplazmie) znajdują się liczne mitochondria (sarkosomy) dostarczające energii koniecznej do skurczu, a także glikogen oraz mioglobina.

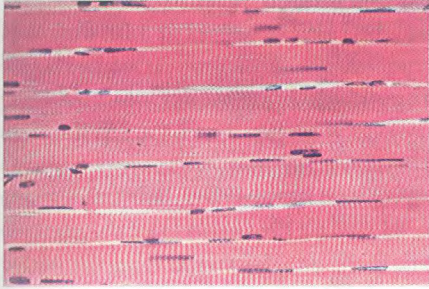
Wnętrze włókna mięśniowego prawie w całości wypełniają **miofibryle**. W jednym włóknie może być ich nawet kilka tysięcy. Składają się one z ułożonych naprzemiennie filamentów aktynowych (miofilamenty cienkie) i miozynowych (miofilamenty grube). **Miofilamenty cienkie** składają się z dwóch skręconych ze sobą łańcuchów **aktyny**, przyczepionych jednym końcem do poprzecznej błony – **linii Z**. Drugi koniec pozostaje wolny. W skład miofilamentów cienkich wchodzi dodatkowo dwa inne białka: **tropomiozyna** i **troponina**, odgrywające istotną rolę w procesie skurczu mięśnia. W obrazie mikroskopowym miofilamenty cienkie są widoczne jako słabo załamujące światło jasne odcinki, nazywane **prążkami I (izotropowymi)**. **Miofilamenty grube** składają się z cząsteczek **miozyny**, przy czym pojedyncza cząsteczka jest zróżnicowana na głowę i ogon. Miofilamenty grube są przyczepione do **linii M**. Równoległe ułożone włókna miozyny, które silnie załamują światło, są widoczne pod mikroskopem w postaci ciemnych fragmentów zwanych **prążkami A (anizotropowymi)**. Odcinki słabiej i mocniej załamujące światło są ułożone regularnie i naprzemiennie, na tym samym poziomie w poszczególnych miofibrylach, stąd wyraźnie widoczne poprzeczne prążkowanie.

Podstawową jednostką kurczliwą włókna mięśniowego jest **sarkomer**, który jest ograniczony z obu stron liniami Z. Obejmuje on połowę prążka I, prążek A oraz połowę następnego prążka I. W obrębie prążka A wyróżnia się **smugę H**, czyli obszar zajmowany przez odcinki włókien miozyny niezachodzące na włókna aktyny. Podczas skurczu i rozkurczu mięśnia zmienia się szerokość prążka I oraz smugi H. Szerokość prążka A pozostaje taka sama.

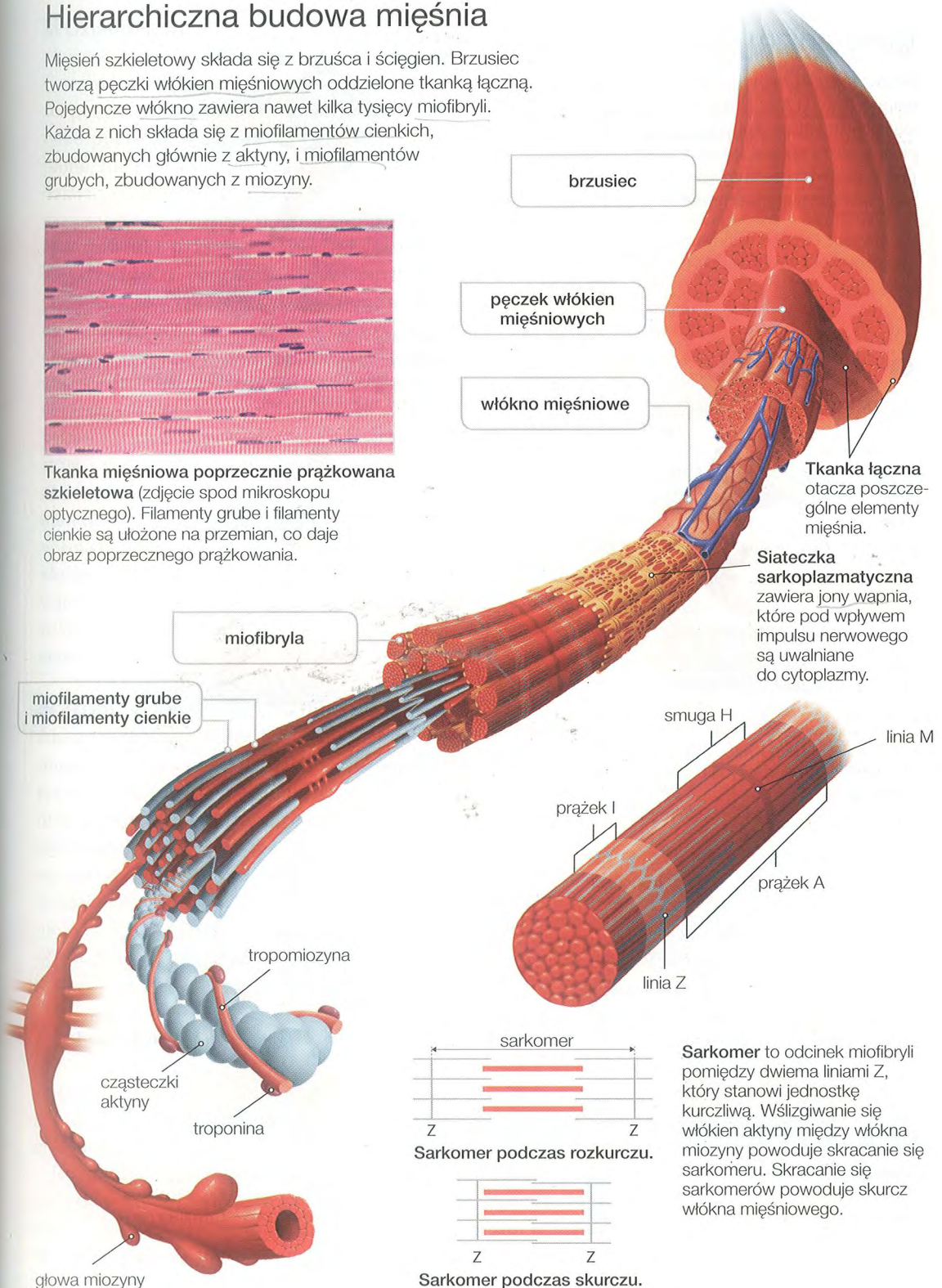
Mioglobina – białko magazynujące tlen w mięśniach. Jej cząsteczki, podobnie jak cząsteczki hemoglobiny, zawierają żelazo na drugim stopniu utlenienia (Fe^{2+}). Mioglobina ma większe powinowactwo do tlenu niż hemoglobina.

Hierarchiczna budowa mięśnia

Mięsień szkieletowy składa się z brzusca i ścięgna. Brzusiec tworzą pęczki włókien mięśniowych oddzielone tkanką łączną. Pojedyncze włókno zawiera nawet kilka tysięcy miofibril. Każda z nich składa się z miofilamentów cienkich, zbudowanych głównie z aktyny, i miofilamentów grubych, zbudowanych z miozyny.



Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana szkieletowa (zdjęcie spod mikroskopu optycznego). Filamenty grube i filamenty cienkie są ułożone na przemian, co daje obraz poprzecznie prążkowania.



brzusiec

pęczek włókien
mięśniowych

włókno mięśniowe

Tkanka łączna
otacza poszczególne
elementy
mięśnia.

**Siateczka
sarkoplazmatyczna**
zawiera jony wapnia,
które pod wpływem
impulsu nerwowego
są uwalniane
do cytoplazmy.

miofibryla

miofilamenty grube
i miofilamenty cienkie

tropomiozyna

cząsteczki
aktyny

troponina

głowa miozyny

smuga H

linia M

prążek I

prążek A

linia Z

sarkomer

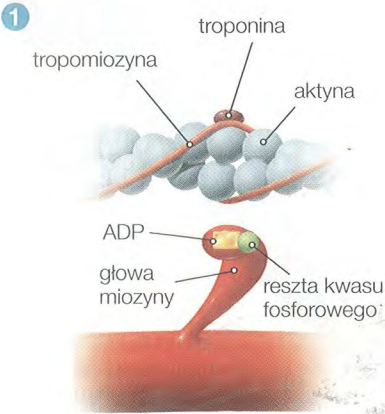
Sarkomer podczas rozkurcu.

Sarkomer podczas skurcu.

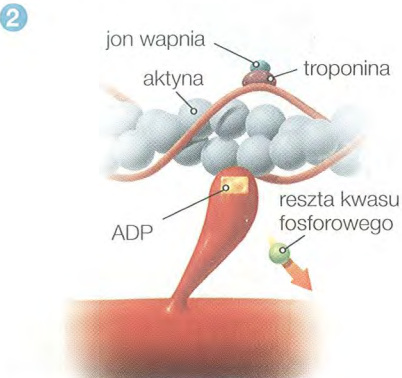
Sarkomer to odcinek miofibryli pomiędzy dwiema liniami Z, który stanowi jednostkę kurczliwą. Wślizgiwanie się włókien aktyny między włókna miozyny powoduje skracanie się sarkomeru. Skracanie się sarkomerów powoduje skurcz włókna mięśniowego.

Mechanizm skurczu mięśnia

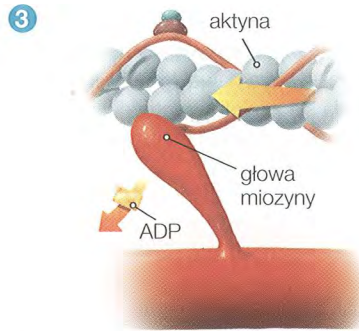
Skurcz mięśnia zachodzi w obecności jonów wapnia (Ca^{2+}) i ATP. Polega on na wsuwaniu się miofilamentów grubych między miofilamenty cienkie, co przejawia się skróceniem długości poszczególnych sarkomerów. W czasie skurczu długość miofilamentów nie zmienia się.



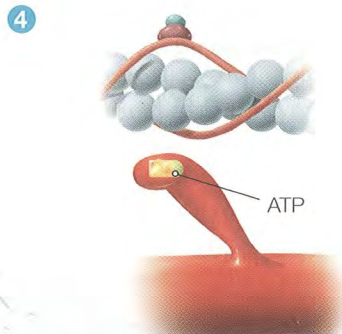
W rozluźnionym mięśniu głowy miozyny (związane z ADP i resztą kwasu fosforowego) są pochylone, a tropomiozyna blokuje ich kontakt z aktyną.



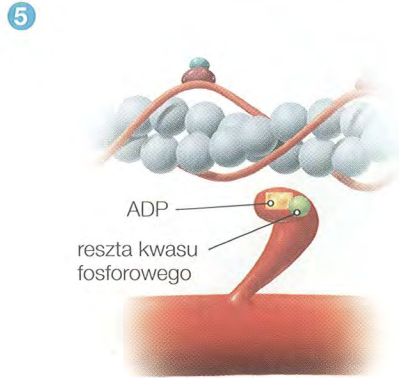
Kiedy jony wapnia zwiążą się z troponiną, odsuwa ona tropomiozynę od aktyny. Dzięki temu głowy miozyny mogą się związać z aktyną.



Odlączenie ADP od głowy miozyny powoduje wiosłowy ruch cząsteczki miozyny, która, zginając się, pociąga za sobą włókno aktyny. Następuje skrócenie sarkomeru o ok. 10 nm.



Po przesunięciu włókna aktyny głowa miozyny przyłącza cząsteczkę ATP i odłącza się od aktyny. Następuje relaksacja.



Rozkład kolejnej cząsteczki ATP do ADP i fosforanu powoduje powtórzenie cyklu, ale głowa miozyny znajduje się już pod innym fragmentem włókna aktyny.

■ Działanie mięśni

Skurcze mięśni szkieletowych powodują poruszanie się dźwigni utworzonych przez kości połączone stawami. Mięśnie mogą jednak tylko pociągać kości, do których są przyczepione, nie mogą ich popychać, dlatego muszą działać parami. Ze względu na wykonywane czynności wyróżnia się np. **mięśnie zginacze** i **prostowniki**, **przywodziciele** i **odwodziciele** oraz **dźwigacze** i **mięśnie obniżające**. Podane przykłady reprezentują grupę **antagonistów**, czyli mięśni uczestniczących w wykonywaniu czynności przeciwstawnych. Podział ten odnosi się jedynie do kierunku działania mięśni, w rzeczywistości bowiem każdy ruch wymaga jednoczesnego działania obu grup antagonistów – jedna z nich (np. zginacze) działa silniej w porównaniu z drugą, która odpowiednio hamuje ruch (np. prostowniki). Współdziałanie wielu grup mięśni sprawia, że wykonywane ruchy są skoordynowane i precyzyjne. Mięśnie współdziałające w wykonaniu jednego ruchu w tym samym kierunku noszą nazwę **synergistycznych**.

■ Źródła energii skurczu mięśnia

Istotą skurczu mięśnia jest zamiana energii chemicznej, zawartej w związkach wysokoenergetycznych, w energię mechaniczną. Bezpośrednim źródłem energii potrzebnej do skurczu jest **ATP**. Jednak jego zapas bardzo szybko się wyczerpuje, dlatego musi być stale uzupełniany. Związkiem umożliwiającym szybkie odtwarzanie ATP jest zgromadzona w mięśniu **fosfokreatyna**. Reakcja odtwarzania przebiega następująco:



Zerwanie wiązania wysokoenergetycznego znajdującego się w fosfokreatynie dostarcza energii potrzebnej do odtwarzania ATP.

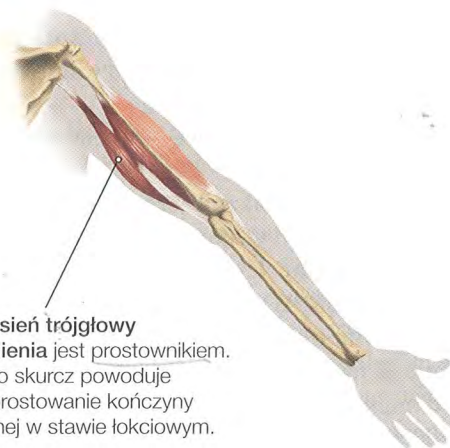
Rozpad ATP i uwolnienie energii odbywa się pod wpływem enzymu zwanego ATP-azą. Enzym ten jest aktywowany przez odpowiednie duże stężenie jonów wapnia (Ca^{2+}) w sarkoplazmie włókna. Jony wapnia pod wpływem

Mięśnie antagonistyczne ramienia

Przykładem pary mięśni działających antagonistycznie są mięśnie uczestniczące w zginaniu i prostowaniu stawu łokciowego.



Mięsień dwugłowy ramienia jest zginaczem. Jego skurcz powoduje zgięcie kończyny górnej w stawie łokciowym.



Mięsień trójąłowy ramienia jest prostownikiem. Jego skurcz powoduje wyprostowanie kończyny górnej w stawie łokciowym.

Warto zajrzeć!

 <http://fizjoterapeuty.pl/wp-content/uploads/2011/12/Fizjologia-wysi%C5%82ku-procesy-beztlenowe-i-tlenowe.pdf>

impulsu nerwowego przepływają do sarkoplazmy z wnętrza siateczki sarkoplazmatycznej.

Stan skurczu trwa tak długo, jak długo utrzymuje się w sarkoplazmie zwiększone stężenie jonów wapnia. Gdy na skutek przemieszczenia jonów wapnia do siateczki śródplazmatycznej zmniejsza się ich stężenie w sarkoplazmie, zmniejsza się także aktywność ATP-azy – miofilamenty powracają do pozycji wyjściowej i następuje rozkurcz mięśnia.

Przemiany biochemiczne zachodzące podczas długotrwałej pracy mięśni

Cecha	Przemiana	Czas pracy mięśnia
Źródła bezpośrednie	1. $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i + \text{energia}$	ułamek sekundy
	2. $\text{fosfokreatyna} + \text{ADP} \rightarrow \text{kreatyna} + \text{ATP}$	2–4 s
	3. $\text{glukoza} + \text{ADP} + \text{P}_i + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{ATP}$	do kilkunastu minut
Rezerwy	4. $\text{glikogen} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{glukoza}$	do 40 min
	5. $\text{tłuszcze} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{glicerol} + \text{kwas\y tłuszczo}$	do kilku godzin
Zaciąganie długu tlenowego	6. $\text{glukoza} + \text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{kwas\y mleko}$	po wyczerpaniu zapasów fosfokreatyny i przy niedoborze tlenu

Energia potrzebna do wykonania skurczu jest uwalniana w procesie oddychania tlenowego, a w długo i intensywnie pracujących mięśniach – także fermentacji. Głównymi substratami energetycznymi oddychania są:

- ▶ **glukoza** – dostarczona z krwią lub pochodząca z rozkładu zmagazynowanego w mięśniach glikogenu,

- ▶ **wolne kwasy tłuszczowe** – wychwytywane z krwi.

Krew przynosi także niezbędny tlen, którego część zostaje wykorzystana w procesach oddychania komórkowego, a część, związana przez mioglobinę, stanowi rezerwę tlenową mięśnia. Mimo tego w czasie intensywnej pracy mięśni może wystąpić niedobór tlenu, określany mianem **długu tlenowego**. Wyczerpują się także zapasy fosfokreatyny. W warunkach deficytu tlenowego ATP powstaje w procesie

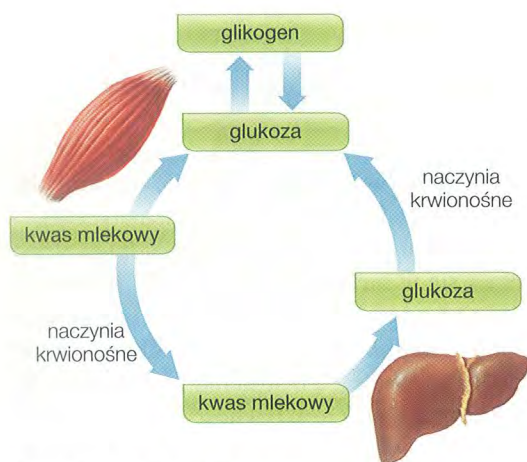
fermentacji mlekowej. Wówczas gromadzący się w mięśniach kwas mlekowy obniża ich pH, co powoduje zmęczenie i ból. Dług tlenowy zostaje spłacony, gdy mięśnie ponownie otrzymają dostateczną ilość tlenu. W jego obecności ok. 1/5 wytworzonego kwasu ulega rozkładowi do dwutlenku węgla i wody. W procesie tym powstaje również energia, która służy do przekształcenia pozostałych 4/5 kwasu mlekowego w glukozę, a ta z kolei stanowi substrat umożliwiający odtworzenie rezerw glikogenu.

■ Mięśnie czerwone i białe

Warunkiem prawidłowego funkcjonowania mięśni są ciągle dostawy cząsteczek ATP. W zależności od sposobu regeneracji tego związku można wyróżnić trzy typy włókien mięśniowych: czerwone, białe i pośrednie.

We włóknach czerwonych cząsteczki ATP powstają w procesie **oddychania tlenowego**. Zawierają one więcej **mioglobiny** niż pozostałe włókna, dlatego są intensywniej czerwone. Charakteryzują się powolnym **narastaniem** siły skurczu i dużą **odpornością** na zmęczenie. **Włókna białe** uzyskują ATP na drodze **beztlenowej**. Zawierają mniej **mioglobiny** i są jaśniejsze (białe), kurczą się szybciej i silniej niż włókna czerwone, ale są od nich mniej **wytrzymałe**. **Włókna pośrednie**, jak wskazuje nazwa, mają niektóre cechy właściwe włóknom czerwonym, a inne właściwe włóknom białym.

Mięśnie człowieka zawierają wszystkie rodzaje włókien, a ich wzajemny stosunek jest różny w każdym z nich. Z reguły w mięśniach utrzymujących postawę ciała przeważają włókna



Przemiany kwasu mlekowego.

Porównanie włókien mięśniowych

Porównywana cecha	Włókna czerwone (typ I)	Włókna pośrednie (typ II A)	Włókna białe (typ II B)
Pobudzanie przez neurony	stałe	częste	przy maksymalnym wysiłku
Sposób uzyskiwania energii	oddychanie tlenowe	oddychanie tlenowe	procesy beztlenowe
Zawartość mioglobiny	duża	pośrednia	mała
Zawartość glikogenu	mała	pośrednia	duża
Tempo skurczu	wolne	szybkie	szybkie
Odporność na zmęczenie	duża	pośrednia	mała

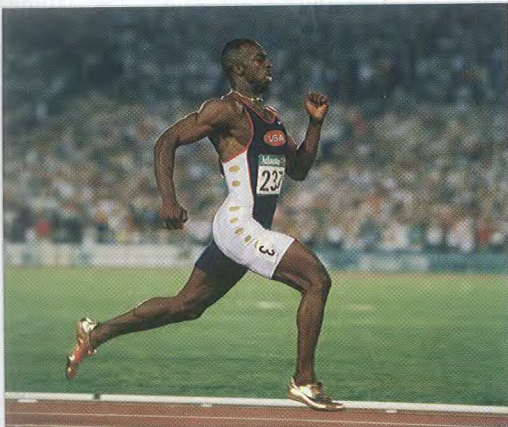
czerwone, natomiast w mięśniach lokomotorycznych udział wszystkich rodzajów włókien jest taki sam. Istnieją jednak różnice indywidualne, np. u sprinterów i sportowców uprawiających dyscypliny siłowe w mięśniach przeważają włókna białe, natomiast u maratończyków i kolarzy – włókna czerwone.

Rodzaje skurczów

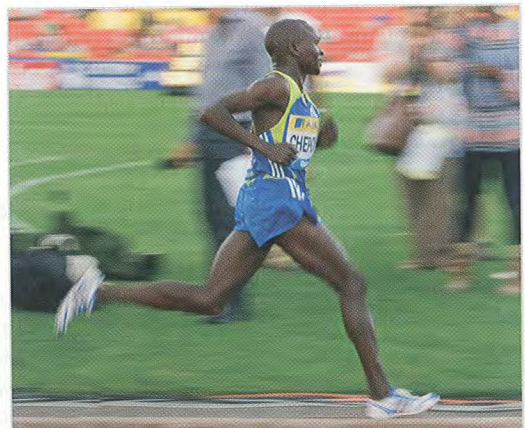
W stanie spoczynku mięśnie szkieletowe wykazują napięcie spoczynkowe (tonus), wynikające z ich obciążenia przez kości i narządy wewnętrzne. Na utrzymanie stanu napięcia wpływają dochodzące do nich nerwy. Mięśnie szkieletowe kurczą się pod wpływem impulsów nerwowych, które docierają przez aksony neuronów. W mięśniu aksony rozgałęziają się, a ich odgałęzienia dochodzą do pojedynczych włókien mięśniowych, tworząc z nimi synapsy

nerwowo-mięśniowe, nazywane **plytkami ruchowymi**. Do każdego włókna mięśniowego dochodzą zakończenia tylko jednego neuronu, natomiast jeden neuron pobudza do skurczu wiele włókien mięśniowych. Zespół włókien mięśniowych unerwionych przez jeden neuron nazywa się **jednostką motoryczną** (ruchową) mięśnia. *motoneuron*

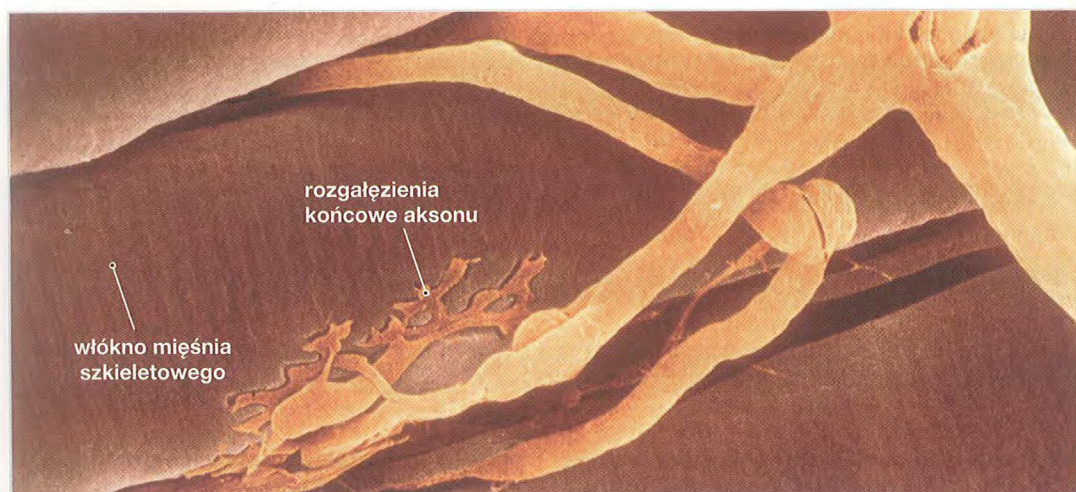
Przekaznikiem impulsu nerwowego w płytkach ruchowych jest **acetylocholina**. Docierający do zakończenia nerwu impuls elektryczny powoduje jej uwolnienie do szczeliny synaptycznej. Następnie zostaje ona związana z receptorami sarkolemy, powodując wzbudzenie impulsu, który szybko się rozprzestrzenia. Ostatecznie dociera on do błony siateczki sarkoplazmatycznej, uwalniając z niej jony wapnia (Ca^{2+}), co zapoczątkowuje sekwencję przemian prowadzących do skurczu.



Podczas krótkotrwałego wysiłku o dużym natężeniu, np. biegu na 100 m, wykorzystywane są mięśnie białe.



Podczas długotrwałego wysiłku o umiarkowanym natężeniu, np. maratonu, wykorzystywane są mięśnie czerwone.



Jednostka motoryczna (mikrofotografia skaningowa). W mięśniach wykonujących precyzyjne ruchy, np. w mięśniach poruszających gałką oczną, jeden neuron unerwia 2–5 włókien, a w mięśniach mało precyzyjnych, np. mięśniu brzuchatym łydki, może unerwiać nawet do 600 komórek mięśniowych.

Włókno mięśnia szkieletowego **pobudzone pojedynczym** impulsem nerwowym odpowiada pojedynczym skurczem. Reaguje zgodnie z zasadą wszystko albo nic, co oznacza, że kurczy się maksymalnie, a dalszy wzrost siły bodźca nie powoduje zwiększenia siły skurczu. Natomiast cały mięsień może kurczyć się z różną siłą, zależną od liczby pobudzonych jednostek ruchowych (np. skurcz maksymalny dotyczy wszystkich jednostek ruchowych mięśnia). W organizmie nie obserwuje się skurczów pojedynczych mięśnia, gdyż docierają do niego serie impulsów nerwowych następujące po sobie w krótkich odcinkach czasu, gdy trwa jeszcze skurcz wywołany poprzednim impulsem. W efekcie następuje sumowanie kolejnych skurczów mięśniowych, czyli ich nakładanie się, aż do uzyskania długotrwałego skurczu zwanego **skurczem tężcowym**.

Większość czynności ruchowych organizmu wymaga ciągłego wysiłku mięśniowego, ma więc charakter skurczów tężcowych.

Efektem skurczu mięśnia może być praca dynamiczna (skrócenie mięśnia) lub praca statyczna (zwiększenie napięcia mięśnia). Skurcz wywołujący skrócenie mięśnia bez zmiany jego napięcia nosi nazwę **skurczu izotonicznego**. Skurcz, w którego przebiegu nie dochodzi do skrócenia mięśnia, a jedynie do zmiany jego napięcia (np. przy zaciskaniu zębów, prężeniu się na baczność), nazywa się **skurczem izometrycznym**. W normalnych warunkach każdy skurcz mięśnia jest skurczem mieszanym, gdyż obejmuje następujące po sobie fazy: izometryczną (wykonanie pracy polegającej na pokonaniu pewnego oporu) oraz izotoniczną (skrócenie mięśnia).

Polecenia kontrolne

1. Porównaj budowę i funkcjonowanie mięśni gładkich, mięśnia sercowego oraz mięśni szkieletowych.
2. Podaj trzy funkcje mięśni.
3. Wymień główne grupy mięśni człowieka. Podaj co najmniej po dwa przykłady ich funkcji.
4. Wyjaśnij, na czym polega antagonizm pracy mięśni. Podaj przykłady mięśni antagonistycznych.
5. Przedstaw mikroskopową budowę mięśni szkieletowych.
6. Określ, jakie cechy budowy mięśni sprawiają, że wykazują one zdolność kurczenia się.
7. Wyjaśnij mechanizm skurczu mięśnia szkieletowego.
8. Wymień źródła energii niezbędnej do pracy mięśni.
9. Określ, w jakich warunkach w mięśniach powstaje deficyt tlenowy.
10. Wyjaśnij, dlaczego sprinter nie jest w stanie wygrać maratonu.

Dolegliwości związane z aparatem ruchu wynikają najczęściej z urazów mechanicznych, nieprawidłowej postawy ciała, wad budowy i chorób. Do powstawania wielu z nich przyczyniają się: brak aktywności ruchowej, nieprawidłowy sposób odżywiania się i złe nawyki.

■ Urazy mechaniczne i ich skutki

Do mechanicznych urazów aparatu ruchu zalicza się m.in. skręcenia i zwichnięcia stawów, złamania kości oraz stłuczenia, naciągnięcia, naderwania i zerwania mięśni. Uszkodzeniu mogą również ulec struktury towarzyszące stawom, takie jak więzadła wewnątrzstawowe, kaletki maziowe czy krążki stawowe.

Skręcenie stawu polega na naciągnięciu lub naderwaniu torebki stawowej i więzadeł. Zwykle jest skutkiem gwałtownego ruchu wykraczającego poza fizjologiczną ruchomość stawu. Skręcony staw unieruchamia się na pewien czas opaską elastyczną lub gipsem. **Zwichnięcie** stawu to zmiana wzajemnego położenia kości tworzących staw. Ich przemieszczeniu może (ale nie musi) towarzyszyć rozerwanie torebki stawowej i uszkodzenie innych struktur stawu. Powrót kości do prawidłowego stanu wymaga interwencji lekarza. Najczęstszym uszkodzeniem kości jest **złamanie**, czyli przerwanie

ciągłości tkanki kostnej, naczyń krwionośnych oraz okostnej. Kości mają zdolność regeneracji, dlatego odpowiednie ich unieruchomienie powoduje zrośnięcie się w miejscu złamania.

Najczęstszym urazem mięśni jest **stłuczenie**. Dochodzi do niego na skutek uderzenia. Uszkodzeniu ulegają wówczas naczynia krwionośne, a pod skórą widoczny jest krwiak (potocznie zwany siniakiem). Do pozostałych urazów mięśni dochodzi najczęściej z powodu niedostatecznej rozgrzewki przed wysiłkiem lub wysiłku przekraczającego możliwości organizmu. **Naciągnięcie, naderwanie i rozerwanie mięśnia** to urazy, w których zostają zerwane włókna mięśniowe. Różni je liczba uszkodzeń.

■ Wady postawy

Prawidłowo uformowany kręgosłup i mięśnie szkieletowe zapewniają odpowiednie ułożenie elementów ciała względem siebie, czyli **prawidłową postawę**. Jej utrzymywanie jest niezwykle ważne, ma bowiem wpływ na funkcjonowanie całego organizmu. Długotrwałe utrzymywanie ciała w nieprawidłowej pozycji powoduje nierównomierne obciążenie układu kostnego i mięśniowego. Jedne grupy mięśni ulegają osłabieniu i rozciągnięciu, inne są zbyt napięte i skrócone. Zachwianie tej równowagi



Zwichnięcie stawu (zdjęcie rentgenowskie barwione komputerowo) polega na nieprawidłowym przesunięciu się główki jednej kości względem panewki drugiej kości.



Złamanie kości (zdjęcie rentgenowskie) może prowadzić do uszkodzenia sąsiadujących tkanek. Nasila to ból przy próbie poruszania się.

jest początkiem szeregu zmian prowadzących do choroby zwyrodnieniowej oraz wad postawy. Naturalne krzywizny kręgosłupa, które umożliwiają przenoszenie ciężaru ciała i amortyzują wstrząsy, mogą się powiększyć lub zmniejszyć. Mogą również wystąpić boczne skrzywienia kręgosłupa określane jako **skoliozy**. Konsekwencją tych zmian są m.in. bóle głowy, kręgosłupa i stawów. Nieprawidłowa postawa pociąga za sobą złe ułożenie narządów wewnętrznych i zaburzenia krążenia. Przykładowo garbienie się ogranicza ruchomość klatki piersiowej, przez co zmniejsza pojemność płuc, a tym samym powoduje niedotlenienie organizmu i narastające zmęczenie.

■ Wady budowy stóp

Jednym z elementów prawidłowej postawy są odpowiednio wysklepione stopy. Cecha ta kształtuje się ok. 6.–7. roku życia na skutek pionizacji ciała i wykształcenia się fizjologicznych krzywizn kręgosłupa. Jest przystosowaniem do przenoszenia dużych i zmiennych obciążeń. Prawidłowo ukształtowana stopa ma dwa sklepienia: poprzeczne i podłużne, dotyka podłoża jedynie dwoma punktami śródstopia oraz piętą. Najczęstszą wadą budowy stopy jest **płaskostopie**. Polega ono na obniżeniu naturalnych sklepień stopy z powodu osłabienia jej mięśni i więzadeł. Powoduje ból i drętwienie stóp zarówno podczas stania, jak i w czasie poruszania się.

Prawidłowa postawa i najczęstsze wady postawy

Cechy prawidłowej postawy to:

- głowa ustawiona wprost nad klatką piersiową, biodrami i stopami,
- barki na jednej wysokości, niewysunięte do przodu,
- łopatki przylegające do klatki piersiowej,
- dobrze wysklepiona klatka piersiowa i płaski brzuch,
- na plecach łagodnie zarysowane naturalne krzywizny kręgosłupa,
- ręce i nogi prawidłowo ukształtowane,
- rzepki zwrócone do przodu,
- stopy wysklepione.



Prawidłowa postawa.



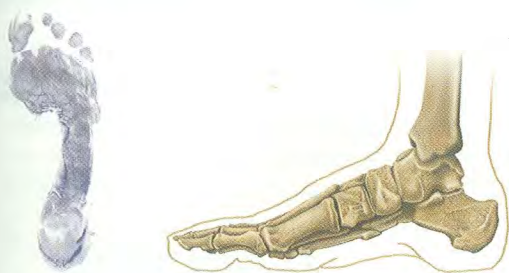
Nadmierna kifoza piersiowa jest skutkiem osłabienia mięśni grzbietu, celowego lub nieświadomego garbienia się, a także wad wzroku.



Nadmierna lordoza lędźwiowa powstaje na skutek zbyt dużej masy ciała, osłabienia mięśni brzucha i pośladków. Kręgosłup z trudem utrzymuje wówczas ciężar górnej części ciała.



Skolioza – boczne skrzywienie kręgosłupa – występuje najczęściej w odcinku piersiowo-lędźwiowym. Zazwyczaj powstaje w wyniku nierównomiernego obciążenia kręgosłupa.



Prawidłowo zbudowana stopa nie dotyka podłoża całą podszwą. Można to zaobserwować, oglądając jej odcisk np. w mokrym piasku.

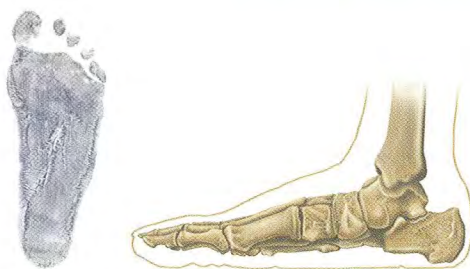
Plaskostopiu sprzyja długotrwałe przebywanie w pozycji stojącej, nadwaga i niewłaściwe obuwie (należy unikać wąskiego obuwia, uciskającego stopę w palcach oraz wysokich obcasów).

W leczeniu plaskostopia stosuje się odpowiednie ćwiczenia i wkładki ortopedyczne. Zaleca się także chodzenie boso po miękkim podłożu, np. łące lub plaży, oraz zmniejszenie masy ciała.

■ Wybrane choroby układu ruchu

Krzywica jest chorobą związaną z zaburzeniami gospodarki wapniowo-fosforanowej. Występuje najczęściej u dzieci. Jej przyczyną jest niedobór witaminy D₃. Pozbawione minerałów kości stają się miękkie i podatne na odkształcenia. Do charakterystycznych objawów krzywicy należą deformacje szkieletu, m.in. znieskształcenie kości kończyn i nadmierne spłaszczenie lub uwypuklenie klatki piersiowej. Pożywienie bogate w witaminę D₃ to m.in. ryby, żółtko i ser żółty. Niemowlętom profilaktycznie podaje się witaminę D₃ w kroplach. Przed krzywicą chroni także przebywanie w miejscach nasłonecznionych, ponieważ witamina D₃ powstaje w organizmie z prowitaminy, pod wpływem światła słonecznego.

Reumatyzm to zwyczajowa nazwa schorzeń układu ruchu, przebiegających z bólami, czasem obrzękiem i znieskształceniem stawów oraz tkanek okołostawowych. Opisano już ponad 200 takich schorzeń. Zmiany chorobowe mogą powstawać z różnych przyczyn, m.in. z powodu nieprawidłowej diety, infekcji bakteryjnej czy zaburzeń pracy układu immunologicznego.



Stopa płaska przylega do podłoża niemal całą podszwą.

Od 40. roku życia w obrębie stawów zachodzą stopniowe, niekorzystne zmiany. Przyczyniają się do nich przebyte choroby (stany zapalne, infekcje bakteryjne), przeciążenia, jednostronne wykonywanie ruchów i niedostatek ruchu.

Choroby mięśni należą do bardzo ciężkich i niebezpiecznych, są nieuleczalne i postępujące. W ich trakcie dochodzi do stopniowego zaniku mięśni. Podawane leki jedynie ograniczają objawy i opóźniają ich postęp. Jedną z chorób mięśni jest uwarunkowana genetycznie **dystrofia Duchenne'a** [wym. duszena]. Podobnie jak daltonizm czy hemofilia jest ona dziedziczona recesywnie i jest sprzężona z płcią. Objawia się u kilkuletnich chłopców początkowo jako zaburzenie poruszania się. Stopniowo następuje zanik mięśni, w tym mięśni oddechowych. Dlatego zagrożenie dla chorych stanowią np. infekcje oskrzeli i płuc.

■ Wpływ aktywności fizycznej na zdrowie

Systematyczne uprawianie ćwiczeń wywołuje korzystne zmiany w organizmie. Zwiększa wydolność mięśni (także mięśnia sercowego), do których dociera więcej tlenu, przez co są one zdolne do wykonywania pracy bez zaburzania homeostazy ustroju. Zwiększa się także liczba miofibrili, dzięki czemu wzrasta masa i objętość mięśni. Ćwiczenia fizyczne nie tylko rozwijają muskulaturę, lecz także działają korzystnie na cały organizm:

- ▶ sprawiają, że stawy, więzadła i ścięgna są bardziej elastyczne i wytrzymałe, co umożliwia większy zakres ruchów oraz zmniejsza niebezpieczeństwo urazów;

Osteoporoza

Osteoporoza to choroba szkieletu, w której dochodzi do zmniejszenia gęstości mineralnej kości i zmiany ich struktury. Na początku rozwija się bezobjawowo, z czasem zaczynają towarzyszyć jej ból oraz problemy z poruszaniem się. Nieleczona prowadzi do osłabienia szkieletu i zwiększenia ryzyka złamań kości.

■ PRZYCZYNA

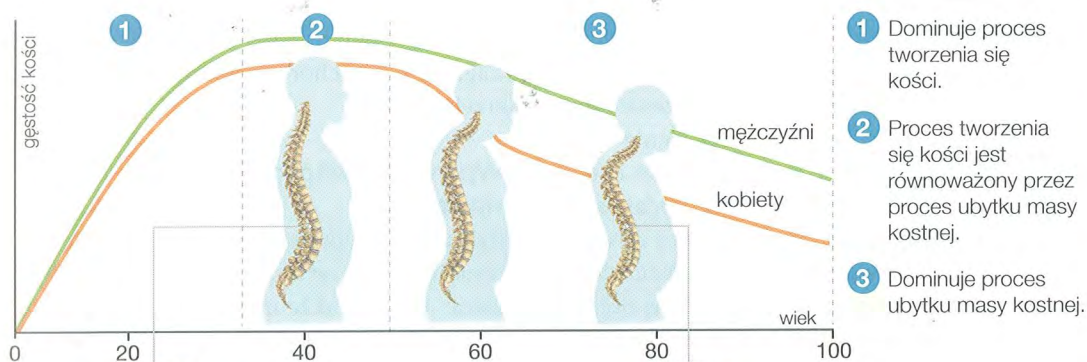
Ryzyko zachorowania na osteoporozę wzrasta z wiekiem. Wiąże się to ze stopniowym zmniejszaniem się masy kostnej po 35. roku życia. U mężczyzn proces ten zachodzi równomiernie, natomiast u kobiet znacznie przyspiesza po menopauzie. Z tego względu osteoporoza występuje u co 3. kobiety i u co 8. mężczyzn po 50. roku życia.



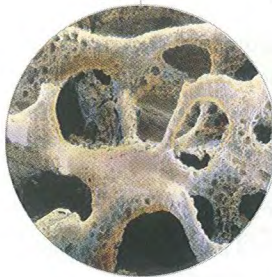
Szczupłe, wysokie kobiety o jasnej karnacji są najbardziej narażone na zachorowanie na osteoporozę.

Czynniki sprzyjające zachorowaniu na osteoporozę:

- długotrwałe unieruchomienie,
- niedobór wapnia i witaminy D₃,
- palenie papierosów i nadużywanie alkoholu,
- zbyt mała aktywność fizyczna,
- niedobór hormonów płciowych (estrogenu u kobiet, testosteronu u mężczyzn),
- stosowanie niektórych leków (np. steroidowych),
- uwarunkowania genetyczne.



Struktura kości osoby zdrowej (mikrofotografia skaningowa). Przestrzenny układ beleczek kostnych sprawia, że kości zdrowego człowieka łamią się dopiero pod wpływem bardzo dużej siły.

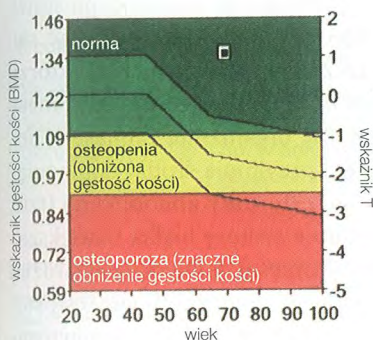


Struktura kości osoby chorej na osteoporozę (mikrofotografia skaningowa). Ubytki w strukturze kości osłabiają ją, dlatego nawet niewielkie urazy powodują złamanie.

Zmiany gęstości kości postępujące wraz z wiekiem.

■ DIAGNOSTYKA

Często pierwszym widocznym objawem osteoporozy jest złamanie kości. Świadczy ono jednak o dużym zaawansowaniu choroby. Wcześniejsze wykrycie choroby umożliwiają badania diagnostyczne, np. densytometria.



Wykres gęstości tkanki kostnej. Wskaźnik T pokazuje, o ile gęstość mineralna kości odbiega od normy ustalonej dla okresu, kiedy kość ma największą masę (30.–35. rok życia).

Badanie gęstości kości – densytometria – polega na badaniu pochłaniania promieni rentgenowskich przez tkankę kostną. Im więcej wapnia zawiera kość, tym pochłanianie jest większe. Wynikiem badania jest wykres zawierający informację o gęstości tkanki kostnej w wybranym miejscu pomiaru.

Kto powinien zgłosić się na badanie diagnostyczne?

Bez względu na wiek

- Osoby, u których wystąpiły złamania po urazie o niewielkiej energii (np. przewrócenie się).
- Osoby będące pod opieką endokrynologa z powodu choroby tarczycy lub chorób przytarczyc.

Po 50. roku życia

- Wszystkie kobiety (zwłaszcza palące papierosy, niepijące mleka, te, których matki chorowały na osteoporozę, i te, które wcześniej przeszły menopauzę).
- Wszystkie osoby, które poddały się diecie odchudzającej w wieku dojrzewania.

■ LECZENIE

W zależności od przyczyny osteoporozy stosuje się różne sposoby jej leczenia. Bardzo ważne są działania profilaktyczne oraz uzupełnianie wapnia i witaminy D₃. Stosuje się również leki zapobiegające utracie masy kostnej lub prowadzące do jej odbudowy.

■ PROFILAKTYKA

Najefektywniejszym sposobem zapobiegania osteoporozie jest dbanie o to, by procesy tworzenia kości zachodziły prawidłowo, i zapobieganie utracie masy kostnej. W tym celu konieczne jest:

- ▶ dostarczanie organizmowi odpowiedniej ilości wapnia. Dobowe zapotrzebowanie na wapń wynosi: u dzieci poniżej 10. roku życia – 800 mg, u młodzieży – 1200 mg, u osób dorosłych – 1000 mg, u kobiet w ciąży i karmiących piersią, a także u osób w podeszłym wieku – 1500 mg;
- ▶ przebywanie na dworze w pogodne dni, co zapewni wytwarzanie odpowiedniej ilości witaminy D₃;
- ▶ unikanie spożycia fosforu (np. napojów typu cola oraz wędlin);
- ▶ wzmacnianie kości przez ruch (wzmocnienie kości następuje w reakcji na obciążenia mechaniczne);
- ▶ niepalenie tytoniu i nienadużywanie alkoholu.

Źródła wapnia

Mleko	140 mg/100 g
Ser żółty	900 mg/100 g
Szpinak mrożony	120 mg/100 g
Natka pietruszki	193 mg/100 g
Soja	227 mg/100 g
Fasola	163 mg/100 g
Orzechy laskowe	126 mg/100 g
Sezam	600 mg/100 g

Warto zajrzeć!

 <http://www.biomedical.pl/choroby/ukladu-kostnego/osteoporoza-183.html>

- ▶ znoszą lub zmniejszają bóle kręgosłupa – zwiększenie siły mięśni kręgosłupa i mięśni brzucha zapobiega nieprawidłowemu ułożeniu kręgow, które może być powodem ucisków na nerwy i w konsekwencji trudności w wykonywaniu ruchów. Mocne mięśnie grzbietu pomagają uniknąć także skoliozy;
- ▶ zapobiegają otyłości – regularne ćwiczenia połączone z prawidłowym odżywianiem się pomagają kontrolować wagę. Jest to ważne, ponieważ otyłość zwiększa ryzyko wystąpienia wielu chorób (cukrzycy, chorób układu krążenia, kamicy pęcherzyka żółciowego);
- ▶ poprawiają spoczynkową i wysiłkową wydolność serca, zmniejszają ryzyko wystąpienia chorób serca – włókna mięśnia sercowego, wykonując silniejsze skurcze, stają się mocniejsze i grubsze. Naczynia krwionośne w mięśniu rozrastają się, dzięki czemu zwiększa się zaopatrzenie włókien mięśniowych w tlen i substancje odżywcze. U osoby 15-letniej tętno w czasie ćwiczeń nie powinno przekraczać 145 uderzeń na minutę, u osoby 30-letniej – 133, u osoby 45-letniej – 120, a u osoby 60-letniej – 110;
- ▶ łagodzą napięcie nerwowe i osłabiają skutki stresu psychicznego. W czasie wysiłku fizycznego mózg uwalnia endorfiny, popularnie nazywane hormonami szczęścia;
- ▶ wzmacniają kości. W kościach zwiększa się zawartość składników mineralnych, co zmniejsza ryzyko wystąpienia w późniejszym wieku osteoporozy.

■ Przetrenowanie

Po intensywnych ćwiczeniach mięśnie mogą być sztywne i bolesne. Te objawy są najczęściej spowodowane deficytem tlenowym i nagromadzeniem kwasu mlekowego, a czasem także niewielkimi uszkodzeniami włókien mięśniowych. Czas odpoczynku służy regeneracji mięśni i **splacie długu tlenowego**. Aby nie doprowadzić do przetrenowania, najlepiej zakończyć ćwiczenia jeszcze przed wystąpieniem sztywności i bolesności mięśni.

Głównymi objawami przetrenowania są: złe samopoczucie, urazy i wyczerpanie. Dlatego

po każdym wysiłku fizycznym należy dać organizmowi czas na regenerację sił. Niezbędny czas odpoczynku po intensywnych ćwiczeniach mięśni wynosi ok. 48 godzin.

■ Doping w sporcie

Słowo *doping* pochodzi od angielskiego słowa *dope*, oznaczającego m.in. 'narkotyzować się, sfalszować', a także 'głupek, naiwniak'. Niektórzy ludzie, chcąc w krótkim czasie zwiększyć masę mięśni i wydolność organizmu, zamiast wieloletniego treningu przyjmują środki dopingujące. Należą do nich **steroidy anaboliczne** (tzw. anaboliki) nasilające syntezę białka i zwiększające masę oraz siłę mięśni. Jednym z najbardziej znanych steroidów anabolicznych jest testosteron (męski hormon płciowy). Hormon ten u nastoletnich chłopców powoduje zahamowanie wzrostu i nadmierne umięśnienie ciała, a także wstrzymanie rozwoju jąder. U dojrzałych mężczyzn nadmiar testosteronu często jest przyczyną niepłodności. Inne efekty uboczne przyjmowania steroidów anabolicznych to:

- ▶ rozwój i pobudzenie czynności gruczołów łojowych, czego efektem jest łojotok i łysienie,
- ▶ bóle i zawroty głowy oraz zaburzenia snu, agresywne zachowanie, drażliwość, a po długotrwałym stosowaniu dużych dawek – depresja,
- ▶ mdłości, wymioty, biegunki, uszkodzenie wątroby (żółtaczka), nowotwory wątroby,



Mięśnie można rozwijać dzięki długotrwałym ćwiczeniom. Jednak niektórzy mężczyźni, chcąc przyspieszyć ten proces, przyjmują testosteron. Ma to negatywne skutki dla ich zdrowia.

Działanie wybranych grup środków dopingujących

Grupa	Działanie
Środki pobudzające (stymulanty)	Wywołują pobudzenie psychoruchowe, poprawiają samopoczucie, usuwają uczucie zmęczenia, maskują występowanie reakcji organizmu świadczących o stanie jego wyczerpania.
Narkotyczne środki przeciwbólowe	Znoszą uczucie bólu, co stanowi pożądany efekt np. w boksie i sportach walki, wywołują uzależnienie fizyczne i psychiczne.
Środki anaboliczne	Pobudzają syntezę białek oraz hamują ich rozkład; są wykorzystywane w dopingu długotrwałym.
Leki moczopędne (diuretyki)	Nie działają dopingująco, ale często są stosowane w celu szybkiego obniżenia masy ciała (istotne w dyscyplinach sportowych, w których obowiązują kategorie wagowe, np. w boksie), umożliwiają uzyskanie odpowiedniego kształtu mięśni (kulturystyka); są stosowane także w celu szybkiego wydalenia z moczem innych środków dopingujących.

- ▶ przerost mięśnia sercowego bez odpowiedniego rozwoju naczyń wieńcowych, zakrzepy, wzrost ciśnienia krwi, przyspieszenie rytmu pracy serca, zawał serca,
- ▶ zahamowanie wydłużania kości długich przez zwapnienie ich części nasadowych (niski wzrost),
- ▶ u chłopców wcześniejsze dojrzewanie płciowe, u mężczyzn hamowanie wydzielania hormonów płciowych, a w konsekwencji zaburzenia wzrodu, przerost i rak prostaty, bezpłodność; u dziewcząt i kobiet męska budowa ciała, niski głos, owłosienie typu męskiego, zaburzenia cyklu miesięczkowego, bezpłodność.

Oprócz dopingu chemicznego znane są także techniki i substancje przyspieszające naturalne procesy fizjologiczne. Na przykład **transfuzja krwi** (cudzej lub własnej, pobranej wcześniej) zrobiona przed zawodami zwiększa liczbę erytrocytów, co poprawia transport tlenu, a tym samym umożliwia podjęcie wysiłku przekraczającego normę fizjologiczną. Podobny efekt

uzyskuje się przez stosowanie **erytropoetyny** (EPO) – hormonu naturalnie wytwarzanego w nerkach, który pobudza szpik do wytwarzania erytrocytów.

Listę środków dopingujących, których stosowanie jest zabronione w sporcie zawodowym, opracowała Komisja do Zwalczania Dopingu w Sporcie na podstawie Reguły 48. *Karty Olimpijskiej*.

Trzeba pamiętać, że jedynym właściwym sposobem zwiększenia sprawności fizycznej, zdolności koncentracji oraz umiejętności opóźniania objawów zmęczenia jest dobrze zaplanowany trening. Ważne jest też odpowiednie odżywianie oraz stosowanie technik psychologicznych wspomagających koordynację ruchowo-wzrokową i poprawiających refleksy.

Warto zajrzeć!

 <http://www.antydoping.pl/>
<http://www.antydoping.pl/pl/aktualnosci,7542>

Polecenia kontrolne

1. Podaj przyczyny i konsekwencje wad postawy.
2. Wyjaśnij, na czym polega osteoporoza. Podaj najczęstsze przyczyny i objawy tej choroby.
3. Wymień zmiany adaptacyjne, które zachodzą w organizmie człowieka pod wpływem regularnego wysiłku fizycznego.
4. Wykonaj tabelę, w której umieścisz argumenty za i przeciw stosowaniu dopingu. Napisz, czy Twoim zdaniem korzyści są warte ryzyka utraty zdrowia.
5. Zaproponuj trzy działania, które pomogą zachować aparat ruchu w dobrej kondycji.

Podsumowanie

Podział kości ze względu na kształt

Rodzaj kości	Kształt	Przykłady
Kości długie	długość większa od szerokości i grubości, dwa ostatnie wymiary zbliżone	kość udowa, ramienna, kości przedramienia i podudzia
Kości krótkie	wszystkie wymiary podobne	kości nadgarstka
Kości różnokształtne	kształt nieregularny	kręgi
Kości płaskie	długość i szerokość większe od grubości	łopatka, kości mózgoczaszki

Elementy szkieletu człowieka

Szkielet osiowy			Szkielet kończyn	
czaszka	kręgosłup	klatka piersiowa	kości kończyny górnej	kości kończyny dolnej
- mózgoczaszka - trzewiczaszka	- odcinek szyjny - odcinek piersiowy - odcinek lędźwiowy - odcinek krzyżowy - odcinek guziczny	- żebra: prawdziwe, rzekome, wolne - mostek	- obrzęcz barkowa - kość ramienna - kości przedramienia - kości nadgarstka - kości śródręcza - kości palców	- obrzęcz miedniczna - kość udowa - kości podudzia - kości stępu - kości śródstopia - kości palców

Połączenia ściśle kości

Rodzaj połączenia	Budowa	Występowanie
Węzozrost	kości połączone za pomocą tkanki łącznej włóknistej	więzadła wzmacniające połączenia kości w stawach i poza nimi, szwy łączące kości czaszki do ok. 30. roku życia
Chrząstkozrost	kości połączone za pomocą tkanki chrzęstnej	spojenie łonowe, krążki międzykręgowe
Kościorost	kości połączone tkanką kostną	czaszka dorosłego człowieka, połączenia kości miednicy oraz kręgów krzyżowych

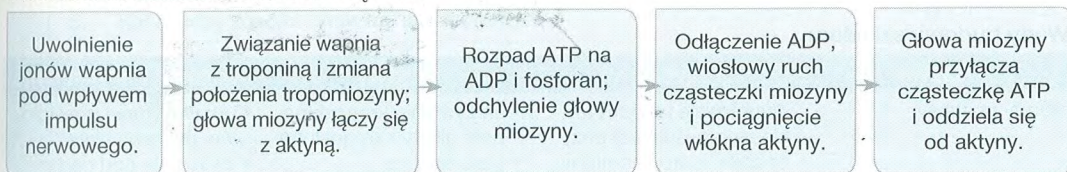
Połączenia ruchome kości

Rodzaj stawu	Budowa	Zakres ruchów	Przykłady
Staw zawiasowy	głowa stawu w kształcie walca, panewka wklęsła	w jednej płaszczyźnie zginanie i prostowanie	staw kolanowy, łokciowy, stawy międzypaliczkowe
Staw siodełkowaty	obie powierzchnie stawowe w kształcie siodeł	przywodzenie, odwodzenie, zginanie, prostowanie	staw nadgarstkowo-śródręczny kciuka
Staw elipsoidalny	głowa i panewka w kształcie elipsy, jedna powierzchnia nieco wypukła, druga wklęsła	zginanie, prostowanie, przywodzenie, odwodzenie	staw promieniowo-nadgarstkowy
Staw obrotowy	głowa stawu osadzona w panewce w kształcie pierścienia	w jednej płaszczyźnie – obrót wokół osi	staw między pierwszym a drugim kręgiem kręgosłupa
Staw płaski	powierzchnie stawowe niemal płaskie	niewielki zakres ruchów w wielu płaszczyznach; przywodzenie, odwodzenie, obrót oraz sumowanie ruchów	stawy między kośćmi stępu lub nadgarstka
Staw kulisty	głowa w kształcie kulistym, panewka wklęsła	ruch możliwy we wszystkich płaszczyznach	staw barkowy i staw biodrowy

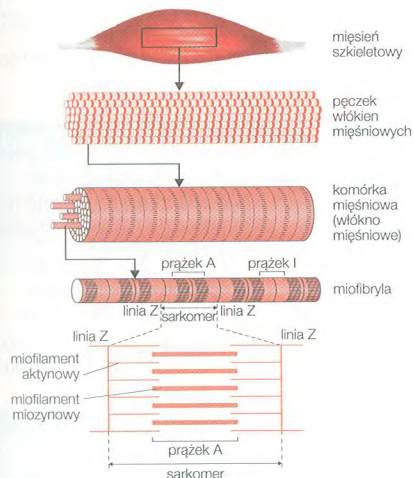
Rodzaje mięśni

Rodzaj mięśni	Budowa	Skurcze	Charakterystyka miofibryli	Funkcje	Występowanie
Mięśnie gładkie	komórki wrzecionowate z pojedynczym, centralnie położonym jądrem komórkowym	powolne, długotrwałe	kilkakrotnie mniej niż w mięśniach szkieletowych, ułożone nieregularnie	pozwalają m.in. na przesuwanie się pokarmu oraz utrzymanie właściwego ciśnienia krwi	ściany narządów wewnętrznych
Mięsień sercowy	komórki z jednym lub dwoma centralnie położonymi jądrami komórkowymi, widlasto rozgałęzione i połączone ze sobą wstawkami	szybkie, o niewielkiej sile	więcej niż w mięśniach gładkich, ale mniej niż w mięśniach szkieletowych, ułożone regularnie	pozwalają na skurcze serca i przepływ krwi	serce
Mięśnie szkieletowe	włókna mięśniowe z licznymi peryferyjnie położonymi jądrami	niecو wolniejsze niż mięsień sercowy, o dużej sile	więcej niż w mięśniu sercowym, ułożone regularnie	umożliwiają ruch ciała lub jego części, wytwarzają ciepło, wspomagają ruch limfy oraz krwi w żyłach	głównie jako mięśnie szkieletowe, mięsień języka oraz mięśnie gardła i krtani

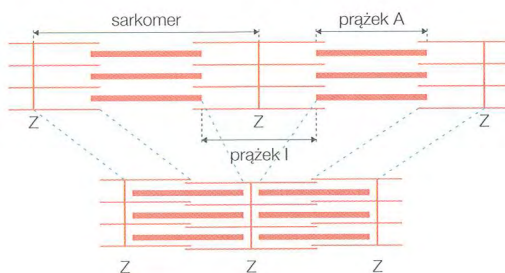
Mechanizm działania skurczu mięśnia



Budowa mięśnia poprzecznie prążkowanego



Mechanizm skurczu mięśnia



Urazy mechaniczne kości

Nazwa	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
Zwichnięcie	zmiana położenia kości tworzących staw niezgodna z normalnym kierunkiem ich przemieszczania się	• możliwe rozerwanie torebki stawowej • uszkodzenie stawu	• usztywnienie stawu gipsem
Skręcenie	gwałtowny ruch wykraczający poza możliwości stawu	• naderwanie torebki stawowej i więzadeł	• unieruchomienie stawu opaską elastyczną lub gipsem
Złamanie	nadmierne obciążenie kości	• przerwanie ciągłości kości	• unieruchomienie kości do czasu zrośnięcia się w miejscu złamania

Urazy mechaniczne mięśni

Nazwa	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
Stłuczenie	uderzenie	• powstawanie krwiaka (siniaka)	• odpoczynek • ochłodzenie bolącego miejsca
Naderwanie i naciągnięcie	niedostateczna rozgrzewka, wysiłek przekraczający możliwości mięśnia	• ból w miejscu urazu	• odpoczynek • ochłodzenie bolącego miejsca

Wady budowy szkieletu

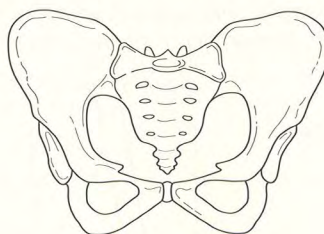
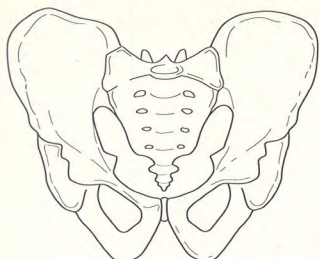
Nazwa	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
Wady postawy	długotrwałe utrzymywanie nieprawidłowej pozycji ciała, nierównomierne obciążenie szkieletu	• skrzywienia kręgosłupa • bóle głowy i kręgosłupa • garbienie się	• utrzymywanie prawidłowej postawy ciała • ćwiczenia pod nadzorem specjalisty
Wady budowy stóp	długotrwałe przebywanie w pozycji stojącej, złe dobrane obuwie	• ból • drętwienie stopy	• wkładki ortopedyczne do butów, ćwiczenia

Choroby układu ruchu

Nazwa	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
Krzywica	niedobór witaminy D ₃	• deformacje szkieletu	• przebywanie w miejscach nasłonecznionych • spożywanie ryb, żółtek jaj, sera
Choroby reumatyczne	nieprawidłowy sposób odżywiania się, przebyte choroby, zaburzenia odporności, niedostatek ruchu	• ból • obrzęk i zniekształcenia stawów	• odpowiednia aktywność fizyczna i dieta • unikanie nadmiernego obciążenia organizmu
Osteoporoza	niedobór wapnia, siedzący tryb życia	• ubytki tkanki kostnej • kruchość • podatność na złamania	• spożywanie odpowiednich ilości wapnia • aktywność fizyczna

Test maturalny

1 Ilustracje przedstawiają budowę anatomiczną miednicy mężczyzny i kobiety.



a) Oceń, która z wymienionych cech budowy miednicy jest charakterystyczna dla mężczyzny, a która dla kobiety. Wpisz w odpowiednich miejscach tabeli literę K, jeśli zdanie dotyczy budowy miednicy kobiety, lub literę M, jeśli dotyczy budowy miednicy mężczyzny.

		K/M
1.	Otwór górny miednicy jest wąski i sercowaty.	M
2.	Otwór górny miednicy jest duży i owalny.	K
3.	Kości biodrowe są bardziej rozchylone na boki.	K
4.	Kąt między kośćmi łonowymi jest ostry.	M
5.	Kąt między kośćmi łonowymi jest rozwarty.	K

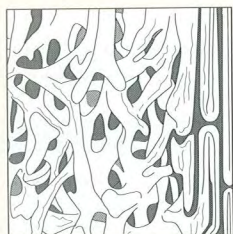
b) Wyjaśnij, jakie znaczenie mają różnice w budowie miednicy kobiety i mężczyzny.

.....

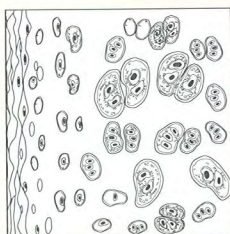
.....

2 Kości tworzące szkielet są zbudowane z dwóch typów tkanki kostnej, a ich powierzchnie stawowe są pokryte tkanką chrzęstną. Ilustracje przedstawiają strukturę tkanki kostnej zbitą, tkanki kostnej gąbczastej oraz tkanki chrzęstnej.

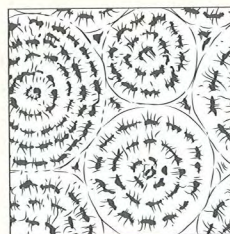
a) Wpisz pod każdą ilustracją nazwę odpowiadającej jej tkanki.



1.



2.



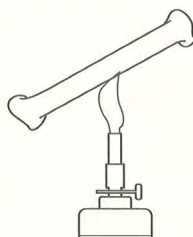
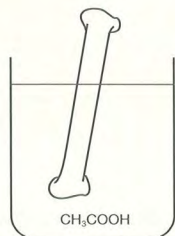
3.

b) Napisz, jaką funkcję w strukturze kości długich pełni tkanka nr 2.

.....

.....

- 3** Tkanka kostna jest rodzajem tkanki łącznej, który charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną. Zbudowana jest z komórek kostnych (osteocytów) oraz substancji międzykomórkowej, w której skład wchodzi białka (głównie kolagenowe) oraz związki mineralne (m.in. węglan wapnia i fosforan wapnia). Uczniowie mieli przeprowadzić doświadczenia, mające na celu zbadanie wpływu włókien kolagenowych i związków mineralnych występujących w kościach na właściwości fizyczne tej tkanki. Poniżej zamieszczono schematy planowanych doświadczeń.



- a) Wpisz numer schematu odpowiadający badanemu składnikowi tkanki kostnej.

Włókna kolagenowe:

Sole mineralne:

- b) Zaplanuj próby kontrolne do doświadczeń pokazanych na schematach.

Próba kontrolna do doświadczenia 1:

Próba kontrolna do doświadczenia 2:

- c) Sformułuj hipotezę do każdego doświadczenia.

Hipoteza do doświadczenia 1:

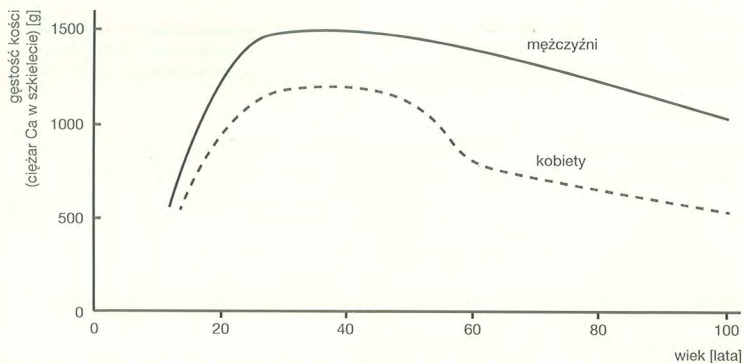
Hipoteza do doświadczenia 2:

- 4** W szkielecie kości są ze sobą połączone przez szwy, chrząstkozrosty i stawy. Każdy z nich charakteryzuje odmienne właściwości i funkcje.

Oceń, którego typu połączenia dotyczy każde z poniższych zdań. Wpisz znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

Stwierdzenie	Szwy	Chrząstko- zrosty	Stawy
W tych połączeniach kości łączą się za pomocą tkanki chrzęstnej.			
Występują powszechnie w szkielecie dziecka, w szkielecie człowieka dorosłego ulegają kostnieniu.			
Łączą kości ściśle, cienką warstwą tkanki włóknistej.			
Te połączenia są najbardziej narażone na uszkodzenia mechaniczne.			
Występują np. w spojeniu łonowym (połączenie kości łonowych) i między pierwszym żebrem a mostkiem.			
Nazywane są inaczej połączeniem maziowym lub wolnym.			
Połączenia te są rodzajem więzozrostu, występują m.in. w czaszce dorosłego człowieka.			

- 5 Wykres przedstawia zależność gęstości kości (całkowitego ciężaru wapnia) od wieku oraz płci badanych.



a) Korzystając z wykresu, podaj dwa czynniki ryzyka wystąpienia osteoporozy.

1.
2.

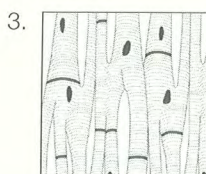
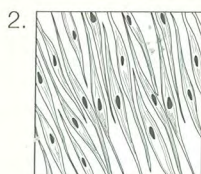
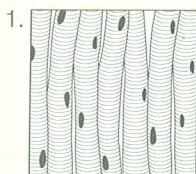
b) Podaj dwie zasady stosowane w profilaktyce osteoporozy.

1.
2.

c) Wyjaśnij, jaki proces fizjologiczny ma związek z nagłym spadkiem gęstości kości u kobiet w wieku ok. 50–55 lat i jak wpływa on na prawdopodobieństwo wystąpienia osteoporozy.

-
-

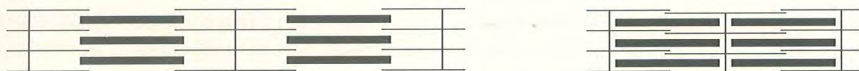
- 6 Na ilustracjach przedstawiono trzy rodzaje tkanki mięśniowej.



Oceń, które cechy tkanki mięśniowej dotyczą poszczególnych typów tkanek (1–3). Wpisz znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

Cechy tkanki mięśniowej	Tkanka 1.	Tkanka 2.	Tkanka 3.
Szybka reakcja na pobudzenie nerwowe			
Występowanie w ścianach przewodu pokarmowego			
Wiele jąder komórkowych w pojedynczym włóknie			
Rozgałęzienie włókien			
Rozciągnięcie włókna wywołuje skurcz			
Duża odporność na zmęczenie			

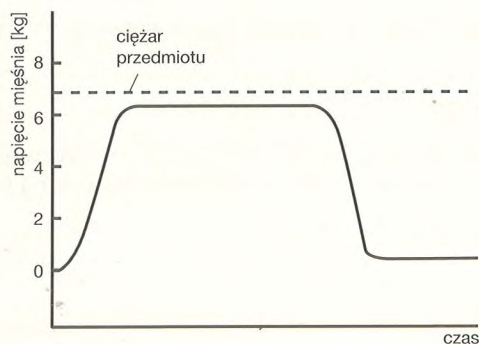
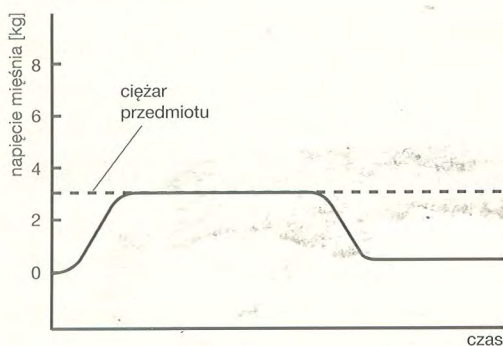
7 Na schemacie przedstawiono mechanizm skurczu sarkomeru.



Oceń prawdziwość zdań dotyczących mechanizmu skurczu mięśnia. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

	P/F
1. Podczas skurczu filamenty aktynowe skracają się.	
2. Podczas skurczu filamenty aktynowe i miozynowe przesuwiają się względem siebie.	
3. Podczas skurczu prążki zamieniają się miejscami.	

8 Wykresy przedstawiają zmiany własności fizycznych mięśnia (napięcia, długości) przy dwóch rodzajach skurczu.



a) Wpisz przy podanych niżej rodzajach skurczów numery odpowiadających im wykresów.

Skurcz izometryczny:

Skurcz izotoniczny:

b) Podaj jeden przykład sytuacji, w której występuje skurcz izometryczny i jeden przykład sytuacji, w której występuje skurcz izotoniczny.

Skurcz izometryczny:

Skurcz izotoniczny:

c) Określ, czy przedstawione wykresy mogą dotyczyć skurczów mięśni szkieletowych. Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

.....

.....

.....

.....

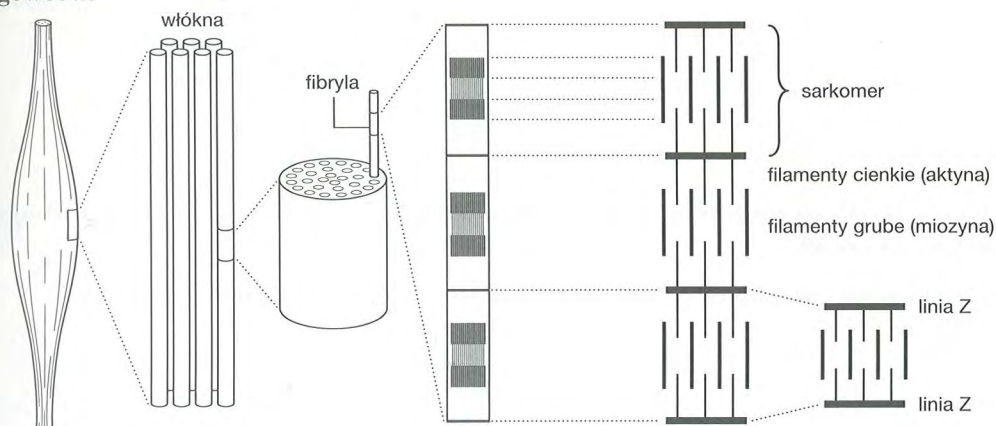
.....

To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 11.2006 (PR), zad. 2.

Na schemacie przedstawiono budowę tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej kręgowców.



- Podaj jedną, widoczną na schemacie, cechę budowy tej tkanki związaną z wykonywaniem skurczów.
- Wykaż związek podanej cechy budowy tej tkanki ze zdolnością do wykonywania skurczów.

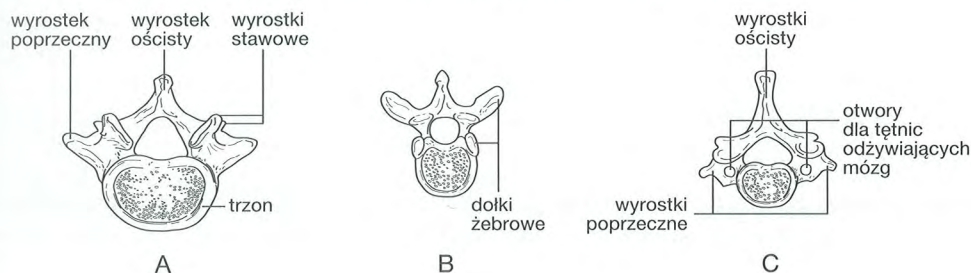
a)

b)

Zadanie 2. (3 pkt)

Źródło: CKE 05.2006 (PP), zad. 1.

Rysunki A, B i C przedstawiają trzy różne rodzaje kręgów kręgosłupa człowieka.



Podaj nazwy odcinków kręgosłupa, do których należy każdy z kręgów, oraz uzasadnij, która cecha budowy umożliwiła Ci jego identyfikację.

A –

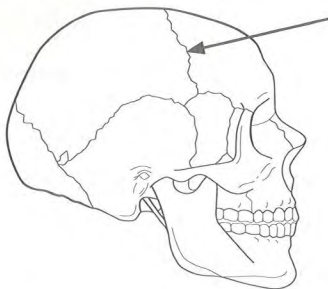
B –

C –

Zadanie 3. (2 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PP), zad. 2.

Czaszka człowieka jest częścią szkieletu, w której można wyróżnić dwa różne rodzaje połączeń kości (ruchome i nieruchome).



a) Wpisz w wyznaczone miejsce na rysunku nazwę wskazanego strzałką nieruchomego połączenia kości.

b) Podaj nazwę i przykład ruchomego połączenia kości w organizmie człowieka.

Zadanie 4. (1 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PP), zad. 3.

Osteoporoza to choroba objawiająca się demineralizacją kości powodującą ich łamliwość. W procesach przebudowy kości uczestniczą dwa rodzaje komórek: osteoblasty (komórki kościotwórcze) i osteoklasty (komórki kościogubne). Do osteoporozy dochodzi wtedy, gdy jedne z tych komórek są bardziej aktywne niż drugie.

Na podstawie tekstu, podaj nazwę rodzaju komórek, których zwiększona aktywność w organizmie może doprowadzić do osteoporozy.

Zadanie 5. (2 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PP), zad. 4.

Około 40. roku życia człowieka rozpoczyna się wyraźny spadek masy kości, ponieważ procesy usuwania obumierającej, starszej tkanki kostnej (resorpcja) przeważają nad procesami tworzenia nowej tkanki. Prowadzi to do zmniejszenia gęstości i wytrzymałości kości (tracimy w ten sposób około 0,5%–1,0% minerałów rocznie). Dodatkowym czynnikiem zmniejszającym wytrzymałość kości jest osteoporoza. W przebiegu osteoporozy ubytek minerałów może wynosić 2,0%–5,0% rocznie i więcej. Zmniejszenie masy kostnej przejawia się większą łamliwością kości.

Podaj przykłady dwóch działań, które powinien podjąć człowiek, aby zabezpieczyć się przed niekorzystnymi zmianami w tkance kostnej, oraz uzasadnij znaczenie każdego z nich.

1.

.....

2.

.....

4

Układ pokarmowy

1. Budulcowe i energetyczne składniki pokarmowe
2. Rola witamin w diecie
3. Rola wody i składników mineralnych w organizmie
4. Budowa i funkcje układu pokarmowego
5. Higiena i choroby układu pokarmowego

Fot. Błona śluzowa żołądka (mikrofotografia skaningowa).

1

Budulcowe i energetyczne składniki pokarmowe

Pobieranie pokarmu to jeden z warunków przetrwania organizmu. Pokarm jest niezbędnym źródłem:

- ▶ energii potrzebnej do podtrzymania wszystkich procesów życiowych,
- ▶ substancji budulcowych koniecznych do regeneracji tkanek oraz wzrostu i rozwoju organizmu,
- ▶ substancji regulujących funkcjonowanie organizmu.

Składnikami pokarmu są związki organiczne i nieorganiczne (woda i sole mineralne). Do najważniejszych składników organicznych należą: **białka** (proteiny), **lipidy** (tłuszczowce) i **węglowodany** (cukry, sacharydy).

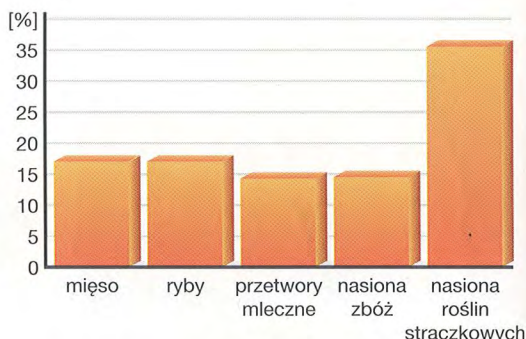
■ Białka

Białka stanowią przede wszystkim budulec komórek i tkanek. Uczestniczą również w regulacji procesów życiowych, m.in.:

- ▶ odpowiadają za przyspieszanie przebiegu reakcji biochemicznych (enzymy),
- ▶ przekazują informacje w obrębie komórki i między komórkami,
- ▶ transportują substancje do wnętrza komórek i na zewnątrz oraz w obrębie całego organizmu.

Białka znajdują się w większości pokarmów, jednak ich zawartość w poszczególnych produktach jest różna. Szczególnie dużo białka zawierają: mięso, ryby, przetwory mleczne oraz nasiona zbóż i roślin strączkowych. Białka dostarczone w pokarmie w przewodzie pokarmowym zostają rozłożone do aminokwasów, z których następnie są syntezowane białka własne organizmu. W niektórych sytuacjach, np. podczas długotrwałego głodu, białka mogą zostać użyte jako materiał energetyczny (ilość energii uzyskiwanej z 1 g białka wynosi 17,2 kJ, co odpowiada 4,1 kcal).

O wartości odżywczej białek zawartych w pokarmie decyduje m.in. ich skład aminokwasowy. Szczególnie istotna jest zawartość **aminokwasów egzogennych**, tzn. takich, które nie są



Średnia zawartość białka w poszczególnych produktach.

wytwarzane w organizmie, muszą zatem być przyjmowane z pokarmem. Pokarmy **pełnowartościowe** to takie, które zawierają wszystkie aminokwasy egzogenne we właściwych proporcjach. Należą do nich pokarmy pochodzenia zwierzęcego: jaja, mięso i produkty mleczne.

Pokarmy **niepełnowartościowe** wykazują ilościowe lub jakościowe braki aminokwasów egzogennych. Są to najczęściej pokarmy pochodzenia roślinnego. Dlatego osoby, które stosują **dietę wegańską** – rodzaj diety wegetariańskiej, nakazującej spożywanie wyłącznie pokarmów roślinnych – są narażone na niedobory aminokwasów egzogennych i witaminy B₁₂. Dieta ta jest uważana za szkodliwą dla kobiet w ciąży oraz dzieci i młodzieży.

AMINOKWASY

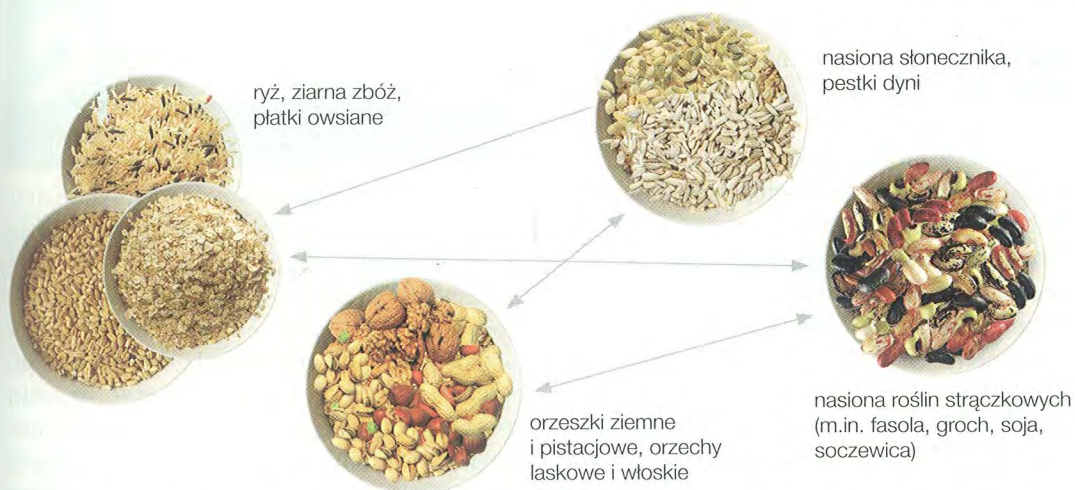
Endogenne

- alanina
- asparagina
- asparaginin
- glutamina
- glutaminian
- glicyna
- prolina
- seryna
- tyrozyna
- cysteina

Egzogenne

- arginina*
- fenyloalanina
- histydyna
- izoleucyna
- leucyna
- lizyna
- metionina
- treonina
- tryptofan
- walina

* Organizm człowieka może syntetyzować argininę, ale w niedostatecznej ilości.



Możliwość łączenia pokarmów niepełnowartościowych. Spożywając wyłącznie pokarmy niepełnowartościowe, należy zwrócić szczególną uwagę na łączenie ich w posiłku w taki sposób, aby uzupełniały się pod względem zawartości aminokwasów.

■ Lipidy

Lipidy występują zarówno w pokarmach pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego. O ich wartości odżywczej decyduje zawartość **niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych** – NNKT, które są związkami egzogennymi. W organizmie człowieka nie powstają bowiem kwasy tłuszczowe o dwóch i więcej wiązaniach podwójnych. Do NNKT należą kwasy: linolowy, linolenowy i arachidonowy, zwyczajowo nazywane witaminą F (choć ze względu na duże zapotrzebowanie organizmu na te kwasy, nie są one witaminą). Ich głównym źródłem są ryby morskie. Dużą ich zawartością charakteryzują się też oleje roślinne: słonecznikowy, lniany i z pestek winogron. Wszystkie zawierają nieco powyżej 70% NNKT.

Lipidy są przede wszystkim najbardziej skoncentrowanym źródłem energii w pokarmie (ilość energii uzyskiwanej z 1 g tłuszczu wynosi 39,4 kJ, co odpowiada 9,4 kcal). Ich rozkład dostarcza dwukrotnie więcej energii niż rozkład białka lub cukru. Oprócz funkcji energetycznej:

- ▶ pełnią funkcje strukturalne, wchodząc w skład wszystkich błon biologicznych (np. fosfolipidy, cholesterol),

- ▶ są źródłem lub nośnikiem wielu substancji biologicznie czynnych, w tym witamin: A, D, E, K,
- ▶ biorą udział w syntezie niektórych hormonów, np. prostaglandyn, które regulują procesy

fizjologiczne, takie jak pobudzanie i hamowanie skurczów mięśni gładkich przewodu pokarmowego, oddechowego i naczyń krwionośnych, wchodzą w skład podskórnej i wokółnazarzadowej tkanki tłuszczowej, która pełni funkcję zapasową, a także ochronną, podporową oraz termoizolacyjną, zabezpieczając organizm przed nadmierną utratą ciepła.

W przewodzie pokarmowym tłuszcze są rozkładane w procesie trawienia do kwasów tłuszczowych i glicerolu.

■ Węglowodany

Węglowodany (cukry, sacharydy) są głównym źródłem energii – pokrywają do 60% dziennego zapotrzebowania energetycznego człowieka. Stanowią również materiał zapasowy gromadzony w wątrobie i mięśniach w postaci glikogenu. W postaci skrobi występują przede wszystkim w pokarmach pochodzenia roślinnego, takich jak kasze, makarony, pieczywo i ziemniaki. Większość cukrów zawartych w pożywieniu określa się jako **węglowodany dostępne**, ponieważ są one trawione, a następnie wchłaniane i wykorzystywane przez organizm. Do węglowodanów dostępnych należą cukry proste (np. glukoza), dwucukry (np. sacharoza) i wielocukry (np. skrobia, glikogen). **Węglowodany niedostępne**, czyli takie, które nie ulegają trawieniu w przewodzie pokarmowym, to m.in. celuloza

i inne składniki ścian komórkowych komórek roślinnych. Mimo iż nie dostarczają substancji odżywczych, są ważnym składnikiem pokarmu. Tworzą tzw. **błonnik pokarmowy**. Spełnia on wiele istotnych funkcji fizjologicznych, m.in.:

- ▶ przyspiesza przesuwanie się treści przez przewód pokarmowy, zapobiegając zaparciom,
- ▶ dostarcza energii bakteriom jelitowym,
- ▶ wiąże metale ciężkie, np. rtęć, ołów, kadm oraz niektóre toksyny wytwarzane przez bakterie i grzyby,
- ▶ jest źródłem kwasu masłowego, który zapobiega transformacji nowotworowej komórek błony śluzowej jelita,
- ▶ tworzy związki kompleksowe z kwasami żółciowymi i sterolami, które nie ulegają wchłanianiu, dzięki czemu przyczynia się do zmniejszenia stężenia cholesterolu we krwi oraz zwiększa wydalanie kwasów żółciowych z kałem.

Do produktów bogatych w błonnik należą: warzywa, owoce i produkty pełnoziarniste.

■ Zapotrzebowanie organizmu na składniki odżywcze

Zarówno niedobór, jak i nadmiar składników odżywczych ma konsekwencje zdrowotne. Długotrwałe niedobory białka powodują zahamowanie wzrostu i rozwoju, a w skrajnych przypadkach mogą prowadzić do śmierci z wycieńczenia. Nadmiar białka może z kolei powodować upośledzenie czynności nerek.

Nadmierne spożycie tłuszczów, zwłaszcza nasyconych, sprzyja chorobom układu krążenia oraz otyłości. Dlatego zaleca się dietę zapewniającą właściwą ilość NNKT, gdyż zaspokaja ona zapotrzebowanie organizmu również na inne rodzaje tłuszczów.

Polecenia kontrolne

1. Podaj, jakie funkcje pełnią białka w organizmie człowieka.
2. Wyjaśnij różnice między pokarmami pełnowartościowymi a niepełnowartościowymi.
3. Na podstawie dostępnej literatury zdefiniuj termin *białko wzorcowe*.
Które ze spożywanych powszechnie białek jest białkiem wzorcowym?
4. Udowodnij, że obecność tłuszczów w pożywieniu człowieka jest niezbędna.
5. Wyjaśnij, dlaczego celuloza jest sacharydem nieprzyswajalnym przez układ pokarmowy człowieka.
6. Uzasadnij twierdzenie, że spożywanie węglowodanów niedostępnych jest wskazane i korzystne.

Dobowe zapotrzebowanie osoby dorosłej na składniki odżywcze

Składniki pokarmowe	Zapotrzebowanie (g/kg masy ciała)
białka	1
tłuszcze	1
cukry	5–6

Węglowodany umożliwiają szybkie wytworzenie energii. Niezależnie od tego, w jakiej postaci zostaną wprowadzone do organizmu, są wykorzystane dopiero wtedy, gdy ulegną przemianie w glukozę. Ten związek chemiczny stanowi źródło energii dla większości komórek organizmu, przede wszystkim dla tkanki nerwowej, erytrocytów i mięśni. W sytuacji niedoboru węglowodanów w pokarmie źródłem glukozy są aminokwasy pochodzące z rozkładu białek i glicerol pochodzący z rozkładu tłuszczów. Natomiast nadmiar cukrów jest łatwo przekształcany w tłuszcze, które są magazynowane w tkance tłuszczowej.



Dzieci chore na kwashiorkor. Choroba ta jest spowodowana niedoborem białka w diecie. Jej objawami są m.in. opóźniony wzrost i rozwój, znaczny ubytek masy ciała oraz obrzęki (szczególnie brzucha).

2

Rola witamin w diecie

Witaminy to związki organiczne niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu, których człowiek ani inne heterotrofy nie potrafią wytworzyć. Należą one zatem do związków egzogennych. Mają one zróżnicowaną, ale prostą budowę chemiczną. Dlatego w przewodzie pokarmowym są wchłaniane w takiej postaci, w jakiej występują w pokarmie. Jako składniki enzymów warunkują prawidłowy przebieg przemian biochemicznych. Autotrofy potrafią syntetyzować wszystkie potrzebne im witaminy. Z kolei heterotrofy wytwarzają tylko niektóre z nich. Dlatego głównym źródłem witamin są dla nich rośliny.

Klasyfikacja witamin

Witaminy oznacza się wielkimi literami alfabety. Stosuje się też nazewnictwo chemiczne (np. witamina B₁ to inaczej tiamina). Podstawą klasyfikacji witamin jest ich rozpuszczalność w wodzie albo w tłuszczach. To istotne rozróżnienie z żywieniowego punktu widzenia, gdyż wskazuje na nośnik witamin w pożywieniu i umożliwia właściwy dobór składników spożywanego posiłku. Do witamin rozpuszczalnych w tłuszczach należą: A, D₃, E i K. Są one magazynowane w organizmie człowieka (głównie w wątrobie i mięśniach). Do witamin rozpuszczalnych w wodzie należą: **witaminy grupy B** (B₁, B₂, B₆, B₁₂, PP, kwas foliowy, czyli witamina B₁₁, kwas pantotenowy, czyli witamina B₅ i biotyna, czyli witamina H) oraz **witamina C**. Witaminy te muszą być regularnie dostarczane z pokarmem, ponieważ nie są magazynowane w organizmie, a dodatkowo wykazują znaczną wrażliwość na działanie temperatury, światła czy procesów związanych z obróbką żywności.

Czy wiesz, że...

Witamina B₂ jest odporna na działanie wysokiej temperatury, ale jest rozpuszczalna w wodzie. Dlatego gotowanie potraw bez przykrycia jest przyczyną jej poważnych strat.

Źródła witamin

Dla człowieka źródłem witamin jest głównie **spożywany pokarm**. Niektóre witaminy mogą być wytwarzane przez **bakterie zasiedlające jelito**. Syntetyzują one witaminę K oraz część witamin grupy B. Istnieją również witaminy, które powstają w komórkach organizmu z substancji wyjściowych nazywanych **prowitaminami**. Należą do nich witamina A, powstająca w nabłonku jelita lub wątrobie z β-karotenu występującego w niektórych warzywach i owocach, oraz witamina D₃, powstająca w skórze z 7-dehydrocholesterolu pod wpływem promieniowania ultrafioletowego (UV).

Zapotrzebowanie na witaminy

W odróżnieniu od innych związków egzogennych ilościowe zapotrzebowanie organizmu na witaminy jest minimalne, waha się w granicach od kilku mikrogramów do kilkudziesięciu miligramów na dobę. Przyjmowanie z pokarmem nieodpowiedniej ilości witamin objawia się poważnymi zaburzeniami w funkcjonowaniu organizmu. Brak witamin prowadzi do **awitaminozy**, niedobór – do **hipowitaminozy**, a nadmiar – do **hiperwitaminozy**.

Przyczyną awitaminozy lub hipowitaminozy może być:

- ▶ niedobór witamin w pokarmie,
- ▶ zwiększone zapotrzebowanie na witaminy, np. w okresie rekonwalescencji, u kobiet podczas ciąży i karmienia piersią,
- ▶ upośledzone wchłanianie witamin,
- ▶ działanie substancji chemicznych niekorzystnie wpływających na wchłanianie lub metabolizm witamin zawartych w pożywieniu, np. antywitamin i substancji antyodżywczych.

Warto zajrzeć!



<http://www.resmedica.pl/metabolizm-i-odzywianie/awitaminozy>

http://www.endokrynologia.polska.viamedica.pl/darmowy_pdf.phtml?indeks=15&indeks_art=277

Charakterystyka witamin

	Symbol i nazwa	Występowanie	Funkcja	Skutki awitaminozy	Skutki hiperwitaminozy
Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach	A retinol	- mleko i jego przetwory, jaja, tran - żółte i czerwone warzywa oraz owoce zawierające jej prowitaminę – β-karoten	- niezbędna do prawidłowego funkcjonowania nabłonków i gruczołów - wpływa na prawidłowe widzenie, - warunkuje wzrost kości, rozwój szklwiwa zębów	- tzw. kurza ślepotą (ślepotą zmierzchową) - łuszczenie się nabłonków - nadmierna suchość spojówki i rogówki oka - zaburzenie wzrostu	- demineralizacja kości, wapnienie innych tkanek - owrzodzenia skóry, łysienie - zaburzenia pracy serca i nerek
	D ₃ kalcyferol	- mleko i jego przetwory, jaja, wątroba i tran - tworzona z prowitaminy pod wpływem promieni UV	- nasila wchłanianie wapnia i fosforu z przewodu pokarmowego i utrudnia ich wydalanie z moczem oraz kałem - powoduje odkładanie wapnia i fosforu w kościach oraz zębach	- u dzieci krzywica (rozmiękanie oraz deformacja kości) - u dorosłych osteoporoza (demineralizacja kości)	- nudności - bóle głowy - odkładanie się wapnia w ścianach naczyń, nerek i serca
	E tokoferol	oleje roślinne, orzechy i kielki zbóż, jaja, wątroba i ryby	- antyutleniacz zapewnia prawidłową pracę mięśni - wzmacnia ściany naczyń - chroni krwinki czerwone przed przedwczesnym rozpadem	- zwiększona podatność komórek na działanie czynników rakotwórczych - osłabienie i zanik mięśni - niedokrwiłość	- zmęczenie - bóle głowy - osłabienie mięśni
	K filochinon	- zielone warzywa liściaste - wątroba - wytwarzana także przez florę jelitową	warunkuje prawidłowy przebieg procesów krzepnięcia krwi, uczestnicząc w powstawaniu protrombiny w wątrobie	- skłonność do krwawienia z nosa, dziąseł, jelit - wydłużenie czasu powstawania skrzepu po skaleczeniu	- rozpad krwinek czerwonych - niedokrwiłość - nadmierne wydzielanie potu
Witaminy rozpuszczalne w wodzie	B ₁ tiamina	- otręby, pieczywo pełnoziarniste, rośliny strączkowe - mleko, żółtka jaj, drożdże, mięso wieprzowe, podroby np. wątroba, serce	- bierze udział w oddychaniu tlenowym jako koenzym - wpływa na metabolizm węglowodanów i tłuszczów - warunkuje właściwe funkcjonowanie tkanki nerwowej	choroba beri-beri, m.in. degeneracja nerwów oraz uszkodzenie mięśni, a w konsekwencji utrata pamięci, porażenia ruchowe, zaburzenia pracy serca	tylko w przypadku podawania w zastrzykach: - zawroty głowy - duszność - nudności - drżenie mięśni - zaburzenia rytmu serca
	B ₂ ryboflawina	wątroba, mięso, jaja, mleko i jego przetwory, drożdże	- składnik FAD uczestniczącego w oddychaniu komórkowym - bierze udział w syntezie hemoglobiny	- stany zapalne skóry i błon śluzowych jamy ustnej i języka - silny łojotok - pęknięcie kącików ust (tzw. zajady)	trudna do przedawkowania, nadmiar usuwany z moczem
	PP (B ₃) niacyna	- mleko i jego przetwory, jaja, mięso, drożdże - ziarna i kielki zbóż	- składnik koenzymów NAD⁺ i NADP⁺ przenoszących wodór i elektrony w procesie oddychania komórkowego - zapewnia właściwe funkcjonowanie przewodu pokarmowego i układu nerwowego	pelagra – zaczerwienienie, pęknięcie i łuszczenie się skóry, biegunka, osłabienie mięśni	- zaczerwienienie, swędzenie i suchość skóry - wysypka

Symbol i nazwa	Występowanie	Funkcja	Skutki awitaminozy	Skutki hiperwitaminozy
B ₅ kwas panto- tenowy	- wątroba, otręby pszenne, ryby, sery, orzechy, jaja - jest wytwarzana przez bakterie jelitowe	- składnik koenzymu A, biorącego udział w cyklu Krebsa - utrzymuje w prawidłowym stanie skórę i tkankę nerwową - udział w syntezie hormonów kory nadnerczy	- uczucie zmęczenia - zaburzenia snu - uszkodzenie nadnerczy	brak doniesień
B ₆ pirydok- syna	drożdże, wątroba, fasola, orzechy	- niezbędna do syntezy hemu – składnika hemoglobiny i cytochromów - stymuluje zaopatrywanie komórek nerwowych w glukozę	- zaburzenia czynności układu nerwowego, konwulsje (u dzieci objawy padaczkowe) - depresja i stany lękowe - u dorosłych objawy anemii	w bardzo dużych dawkach zaburzenia funkcjonowania układu nerwowego
H biotyna	- żółtko jaj, wątroba, drożdże, otręby, soja, groch - wytwarzana także przez florę jelitową	- składnik enzymów uczestniczących w biosyntezie kwasów tłuszczowych i glukoneogenezie - wpływa na właściwy stan skóry, chroni przed łojotokiem	- zmiany skórne (rumień, łuszczenie się skóry, wypadanie włosów) - bóle mięśni	brak doniesień
B ₁₁ kwas foliowy	- drożdże, zielone warzywa - wytwarzana także przez florę jelitową	- uczestniczy w biosyntezie m.in. zasad azotowych i niektórych aminokwasów - bierze udział w procesie krwiotwórczym - odpowiada za prawidłowy rozwój układu nerwowego u płodu - warunkuje efektywną pracę układu odpornościowego	- niedokrwistość - biegunka i upośledzenie wchłaniania pokarmu - u kobiet w wieku rozrodczym zwiększa prawdopodobieństwo urodzenia dziecka z wadą układu nerwowego	- bezsensowność - rozdrażnienie - zaburzenia żołądkowo-jelitowe - reakcje skórne – wysypka, swędzenie
B ₁₂ kobalamina	- wątroba, jaja, mięso, ryby - wytwarzana także przez florę jelitową	- reguluje procesy krwiotwórcze - uczestniczy w biosyntezie kwasów nukleinowych i węglowodanów	- anemia złośliwa - uszkodzenia układu nerwowego, którym towarzyszą osłabienie pamięci oraz zaburzenia psychiczne	nie jest toksyczna, przy stosowaniu bardzo dużych dawek reakcje uczuleniowe
C kwas askorbi- nowy	świeże warzywa (zwłaszcza kapustne), owoce czarnej porzeczki i dzikiej róży, owoce cytrusowe oraz kiszonki	- jest antyutleniaczem - ułatwia wchłanianie żelaza - wpływa na syntezę hormonów kory nadnerczy - niezbędna do syntezy kolagenu - zwiększa odporność	- szkorbut (gnilec) – owrzodzenie i krwawienie dziąseł, wypadanie zębów - kruchosć naczyń krwionośnych i krwawienia z nosa - niska odporność - obrzęk i bolesność stawów	nie jest toksyczna, przy stosowaniu bardzo dużych dawek nudności, biegunka, wymioty

Antywitaminy

Antywitaminy to związki chemiczne o strukturze podobnej do witamin. Dlatego często są błędnie rozpoznawane przez komórki organizmu jako witaminy i zamiast nich wbudowywane w cząsteczki enzymów. Nie spełniają one jednak biologicznej funkcji witamin, tylko blokują miejsca dla nich przeznaczone. W ten sposób doprowadzają do niedoboru witamin. Swoje odpowiedniki wśród antywitamin mają wszystkie witaminy syntetyzowane przez bakterie przewodu pokarmowego (witaminy grupy B i witamina K). Antyvitaminami są często preparaty farmakologiczne stosowane w leczeniu różnych chorób. Należy o tym bezwzględnie pamiętać i skrupulatnie przestrzegać wszystkich zaleceń lekarza.

Substancje antyodżywcze

Substancje antyodżywcze to substancje, które uniemożliwiają lub ograniczają wykorzystanie składników odżywczych. Należą do nich:

- ▶ związki naturalnie występujące w żywności, np. znajdująca się w surowym białku jaja kurzego **awidyna**, uniemożliwiająca wchłanianie witaminy H, czy **amigdalina** – glikozyd znajdujący się m.in. w pestkach wiśni i śliwek,
- ▶ związki, które dostają się do żywności przypadkowo, np. na skutek zanieczyszczenia środowiska, zabiegów rolniczych (środki ochrony roślin),

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego witaminy zaliczamy do związków egzogennych.
2. Wyjaśnij, na czym polega działanie antywitamin i składników nieodżywczych.
3. Uzasadnij twierdzenie: Znajomość podziału witamin na rozpuszczalne w wodzie i rozpuszczalne w tłuszczach ma znaczenie praktyczne.
4. Podaj najważniejsze źródła witamin dla człowieka.
5. Czym są prowitaminy i w jaki sposób są one wykorzystywane przez organizm człowieka?
6. Podaj, która z witamin zasługuje na miano:
 - a) witaminy przeciwkrwawiczej.
 - b) witaminy przeciwkrwotocznej.
 - c) witaminy długowieczności.
7. Uzupełnij tabelę.

Witamina	Objawy niedoboru
D ₃	
A	
C	
B ₆	
B ₁₁	

- ▶ związki dodawane do żywności celowo jako konserwanty lub przeciwutleniacze.

Czy wiesz, że...

Pierwsze metody leczenia anemii złośliwej polegały na podawaniu chorym w posiłkach wątroby w ilości 0,25 kg dziennie. Po pewnym czasie opracowano metodę otrzymywania ekstraktu wątrobowego, który wstrzykiwano do krwi chorych. Metoda ta była stosowana aż do 1948 roku, kiedy niemal jednocześnie w laboratoriach Stanów Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii wyizolowano substancję nazywaną obecnie witaminą B₁₂ lub kobalamina, gdyż w centrum jej cząsteczki występuje atom kobaltu.

Hiperwitaminoza

Hiperwitaminoza dotyczy zwykle witamin rozpuszczalnych w tłuszczach. Najczęściej pojawia się podczas stosowania złożonych preparatów witaminowych. Zawarte w nich witaminy nie występują w postaci prowitamin, lecz są aktywnymi związkami chemicznymi. Jednocześnie w organizmie odbywa się ich synteza z prowitamin, co łatwo może doprowadzić do ich nadmiernego nagromadzenia, szczególnie podczas stosowania preparatu przez kilka tygodni.

3

Rola wody i składników mineralnych w organizmie

Woda i sole mineralne stanowią nieorganiczne składniki pokarmu. Podobnie jak białka, lipidy, węglowodany i witaminy są one niezbędne do życia i prawidłowego funkcjonowania organizmu.

Woda

Woda, ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne, jest jednym z najważniejszych związków występujących w organizmie. Jej obecność warunkuje aktywność życiową komórek. Dzięki dipolowej budowie cząsteczki jest uniwersalnym **rozpuszczalnikiem** – tworzy środowisko wewnętrzne organizmu, w którym zachodzą wszystkie niezbędne do życia reakcje chemiczne oraz są transportowane cząsteczki biorące w nich udział. Umożliwia także usuwanie wielu szkodliwych związków powstających w procesach przemiany materii. Woda bierze bezpośredni udział tylko w nielicznych reakcjach biochemicznych, np. jest substratem w reakcji hydrolizy lub produktem utleniania biologicznego.

Wysoka **pojemność cieplna** i **dobrze przewodnictwo cieplne** sprawiają, że woda zapobiega akumulacji ciepła powstającego w trakcie procesów metabolicznych. Z kolei jej **wysokie ciepło parowania** chroni ustrój przed przegrzaniem (podczas zamiany 1 g wody w parę wodną zużywane jest 2257 J, czyli 540 cal). **Duże napięcie powierzchniowe** wody ułatwia krążenie krwi i limfy w naczyniach włosowatych.

Średnia zawartość wody w ciele dorosłego człowieka wynosi ok. 60%. Znaczna jej część wypełnia przestrzenie niezajęte przez struktury komórki, stanowiąc fazę rozpraszającą cytozolu. Reszta występuje poza obrębem komórek – jest głównym składnikiem płynów ustrojowych, m.in. krwi, limfy i płynu tkankowego wypełniającego przestrzenie międzykomórkowe. Stanowi ok. 90% ich składu. Zawartość wody w poszczególnych tkankach i narządach jest różna. Najmniej wody zawierają tkanka tłuszczowa (ok. 10%) i kości (ok. 22%). Źródłem wody dla

Zawartość wody w wybranych produktach

Produkt	Zawartość wody (%)
mięso wieprzowe	42
ryby słodkowodne	80
kurczak surowy	74
jaja	74
chleb	40
mleko 1,5%	89
kefir	91
ser żółty	38
masło	16
sok pomarańczowy	89
melon	92
jabłka	84
truskawki	90
sałata	95
pomidory	94

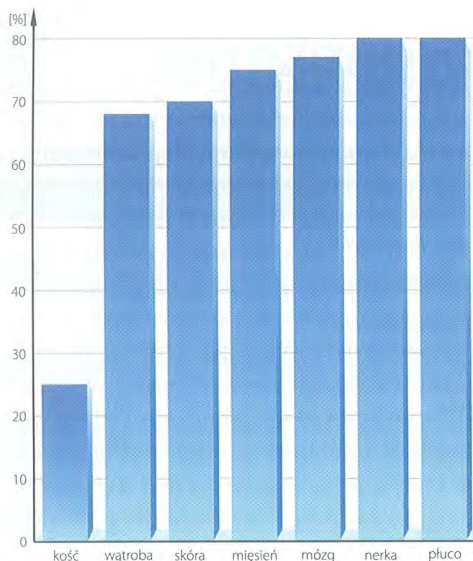
organizmu są napoje oraz pokarm. Choć niemal we wszystkich produktach spożywczych występuje woda, największą jej zawartością charakteryzują się owoce i warzywa.

Bilans wodny

Bilans wodny to różnica między ilością wody pobranej przez organizm a ilością wody oddanej do otoczenia w ciągu doby. Prawidłowy bilans wodny człowieka wynosi zero. Oznacza to, że każdy ubytek wody musi być uzupełniony. Dlatego też osobom dorosłym zaleca się spożywanie ok. 1,5 litra wody dziennie, co łącznie z wodą zawartą w pokarmie daje ok. 2,5 litra.

Dobowy bilans wodny człowieka

Pobieranie wody (ml)	Wydalanie wody (ml)
• z napojami 1500 • z pokarmem 800 • woda metaboliczna 250	• przez skórę 400 • przez płuca 500 • z moczem 1500 • z kałem 150
Razem 2550	Razem 2550



Zawartość wody w narządach.

Czy wiesz, że...

Przemiany metaboliczne zachodzą w organizmie tak intensywnie, że w ciągu 20 dni następuje wymiana prawie całej zawartej w nim wody.

Woda jest pobierana z pokarmem i napojami, natomiast wydalana z moczem, kałem, wydychanym powietrzem oraz przez skórę. Ilość traconej przez organizm wody wzrasta w trakcie upałów, intensywnego wysiłku fizycznego, a także podczas choroby, szczególnie takiej, której towarzyszą gorączka, wymioty i biegunka.

Zapotrzebowanie na wodę reguluje **ośrodek pragnienia** znajdujący się w podwzgórzcu. Jest on ściśle związany z ośrodkiem termoregulacji. Wzrost temperatury lub ciśnienia krwi powoduje wzmożone pragnienie. Niektórzy naukowcy uważają, że w chwili gdy pojawia się uczucie pragnienia, organizm jest już lekko odwodniony. Jeśli woda nie zostanie uzupełniona, to w nerkach zwiększy się wchłanianie zwrotne wody i zostanie zredukowana ilość powstającego moczu. Wydalanie wody odbywa się bez względu na jej zawartość w organizmie, dlatego niedostateczna ilość prowadzi do szybkiego odwodnienia. Utrata powyżej 15% ogólnej

zawartości wody w organizmie wywołuje postępujące zaburzenia czynności mózgu, płuc, serca, wątroby i nerek.

Składniki mineralne

Składnikami mineralnymi nazywa się pierwiastki niezbędne do funkcjonowania organizmu, które po spaleniu pozostają w postaci popiołu (mieszanki tlenków i soli mineralnych). Stanowią one 4–5% masy ciała człowieka, z czego ponad połowa jest wbudowana w elementy strukturalne komórek, tkanek i narządów (związki fosforu, wapnia i siarki). Pozostała część występuje w postaci jonowej, zarówno w cytozolu komórek, jak i w płynach ustrojowych. Składniki mineralne odpowiadają głównie za regulację czynności fizjologicznych, m.in. wpływają na ciśnienie osmotyczne i pH środowiska wewnętrznego organizmu, polaryzację oraz przepuszczalność błon komórkowych, przewodzenie impulsów nerwowych i krzepliwość krwi.

W zależności od ilości, w jakiej występują w organizmie, składniki mineralne dzieli się na:

► **makroelementy:** węgiel (C), wodór (H), tlen (O), azot (N), siarka (S), fosfor (P), wapń (Ca), magnez (Mg), potas (K), sód (Na), chlor (Cl) – każdy z nich stanowi minimum 0,01% suchej masy ciała. Sześć spośród makroelementów: węgiel, wodór, tlen, azot, siarkę i fosfor, określa się mianem pierwiastków biogennych, ponieważ wchodziły one w skład związków organicznych budujących wszystkie organizmy;

► **mikroelementy:** m.in. żelazo (Fe), miedź (Cu), cynk (Zn), mangan (Mn), molibden (Mo), selen (Se), chrom (Cr), jod (I), fluor (F) – każdy z nich stanowi 0,00001–0,01% suchej masy ciała.

Składniki mineralne nie są wytwarzane w organizmie, dlatego wraz z pokarmem powinno dostarczać się ich co najmniej tyle, ile jest wydalane. Dzielne zapotrzebowanie na makroelementy wynosi powyżej 100 mg, a na mikroelementy poniżej tej granicy. Tempo ich przyswajania z przewodu pokarmowego zależy od aktualnego zapotrzebowania na te składniki, pH środowiska przewodu pokarmowego, a także od innych składników pożywienia.

Rola wybranych makro- i mikroelementów w organizmie człowieka

	Pierwiastki	Główne źródła	Znaczenie	Podstawowe objawy niedoboru
Makroelementy	wapń	mleko i przetwory mleczne, jaja	• stanowi materiał budulcowy kości i zębów • uczestniczy w procesach krzepnięcia krwi • zapewnia prawidłowe funkcjonowanie mięśni oraz układu nerwowego	• próchnica zębów • krzywica (u dzieci) • osteoporoza (u dorosłych) • zaburzenia krzepnięcia krwi • zaburzenia pracy serca i mięśni szkieletowych
	magnez	rośliny strączkowe, orzechy, mięso	• jest składnikiem kości i zębów • zapewnia prawidłowe funkcjonowanie mięśni i układu nerwowego	• zaburzenia pracy serca • zwiększona pobudliwość nerwowo-mięśniowa
	sód i chlor	ser żółty, drób, ryby, sól kuchenna	• regulują utrzymanie odpowiedniego ciśnienia osmotycznego i równowagi kwasowo-zasadowej • odgrywają ważną rolę w zachowaniu prawidłowej pobudliwości mięśni i przepuszczalności błon komórkowych	• ze względu na spożywanie soli praktycznie nie występują
	potas	rośliny strączkowe, orzechy, owoce cytrusowe, banany, zielone warzywa, pomidory, ziemniaki	• reguluje utrzymanie odpowiedniego ciśnienia osmotycznego • uczestniczy w przewodzeniu impulsów nerwowych • utrzymuje prawidłowy rytm serca	• zaparcia • utrata apetytu • uczucie zmęczenia • skurcze jelit i mięśni • nieregularne bicie serca
Mikroelementy	żelazo	mięso, wątroba, jaja, ryby, orzechy, szpinak, figi	• jest składnikiem hemoglobiny oraz licznych enzymów uczestniczących w oddychaniu tlenowym	• anemia (osłabienie, zawroty głowy, bledność skóry i spojówek, uczucie kołatania serca) • zaburzenia procesu oddychania tlenowego
	jod	ryby morskie, glony morskie, jodowana sól kuchenna	• jest składnikiem hormonów tarczycy regulujących tempo przemiany materii	• u dorosłych przerost tarczycy • u dzieci niedorozwój umysłowy i zahamowanie wzrostu
	fluor	woda pitna, ryby morskie, soja	• buduje kości • wchodzi w skład szkliwa zębów	• zwiększona podatność zębów na próchnicę

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij znaczenie wody i składników mineralnych dla prawidłowego funkcjonowania organizmu.
2. Podaj powody, dla których zachowanie właściwych proporcji pomiędzy takimi pierwiastkami, jak sód, chlor i potas w płynach ustrojowych oraz tkankach organizmu jest szczególnie istotne.
3. Omów rolę wapnia i magnezu w organizmie.
4. Korzystając z dostępnych źródeł informacji, uzasadnij konieczność ograniczenia spożycia soli kuchennej.
5. Wymień grupy osób realnie zagrożonych niedoborem żelaza, a w konsekwencji – niedokrwistością.
6. Określ skutki nieprawidłowej ilości fluoru w pokarmie.

4

Budowa i funkcje układu pokarmowego

Ze względu na wielkość cząsteczek i ich skomplikowaną budowę, większość składników pokarmowych zawartych w pożywieniu nie może być wykorzystana przez organizm w formie, w której została pobrana. Składniki te muszą zostać przekształcone w substancje drobnocząsteczkowe, które łatwo przenikają przez błony komórkowe. Procesy fizycznej i chemicznej obróbki pokarmu są nazywane **trawieniem** i zachodzą w świetle przewodu pokarmowego. Obróbka fizyczna to żucie, mieszanie, połykanie i przesuwanie treści pokarmowej. Trawienie chemiczne polega na enzymatycznym rozkładzie wewnątrzcząsteczkowych wiązań chemicznych i uzyskaniu związków przyswajalnych przez organizm. W wyniku tych przemian węglowodany zostają rozłożone na cukry proste (głównie glukozę i fruktozę), białka na aminokwasy, a tłuszcze na glicerol i kwasy tłuszczowe. Produkty trawienia są wchłaniane do krwi oraz limfy, a następnie transportowane do wszystkich komórek organizmu. Niestrawione resztki zostają usunięte z organizmu w postaci kału (defekacja).

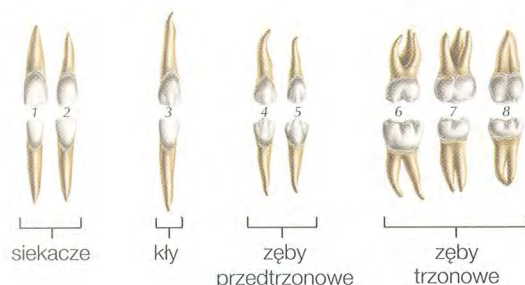
■ Jama ustna

Pierwszym odcinkiem przewodu pokarmowego jest jama ustna. W jej obrębie, na łukach zębowych szczęk i żuchwy, znajdują się zęby. Ich zadaniem jest chwytanie oraz rozdrabnianie pokarmu. Podzielony na drobne części pokarm ma większą powierzchnię kontaktu z enzymami, co ułatwia jego trawienie.

Każdy ząb składa się z korony, szyjki i korzenia. Wystająca ponad dziąsło korona jest połączona szyjką z korzeniem, który tkwi w zębodole. Koronę pokrywa szkliwo, pod którym znajduje się zębina. Wnętrze zęba wypełnia miazga utworzona przez naczynia krwionośne i nerwy. U człowieka występują dwie generacje zębów: zęby mleczne i zęby stałe. W skład uzębienia mlecznego wchodzi 20 zębów, które mają kształt zbliżony do zębów stałych. W uzębieniu mlecznym nie ma zębów przedtrzonowych i jednego rodzaju zębów trzonowych. Wymiana zębów zachodzi stopniowo między 6. a 12. rokiem życia. Ostatnie zęby wyrastają po 17. roku życia i są nazywane zębami mądrości.

Uzębienie stałe

Kompletne uzębienie dorosłego człowieka stanowią 32 zęby. W każdej szczękę i połowie żuchwy znajdują się 2 siekacze, 1 kiel, 2 zęby przedtrzonowe i 3 zęby trzonowe.



Siekacze służą do odgryzania kawałków jedzenia.

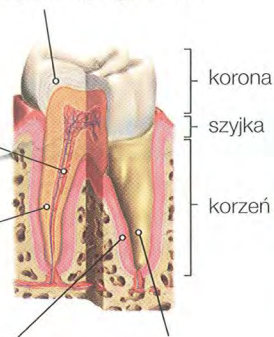
Kły pomagają w rozgryzaniu pokarmu.

Zęby przedtrzonowe i trzonowe miażdżą i rozcierają pokarm.

Szkliwo pokrywające zębinę w części korowej jest najtwardszą tkanką organizmu.

Miazga jest silnie unaczyniona i unerwiona. Bierze udział w odżywianiu zęba.

Zębina tworzy oparcie dla pozostałych tkanek zęba.



Błona ozębna otacza korzeń i łączy ząb z kością zębodolu oraz dziąsłem. Wytwarza też cement korzeniowy.

Cement pokrywający zębinę części korzeniowej przypomina budową tkankę kostną.

Budowa układu pokarmowego

Układ pokarmowy człowieka tworzą przewód pokarmowy oraz gruczoły trawienne – ślinianki, wątroba i trzustka. W przewodzie pokarmowym wyróżnia się kilka odcinków. Są to: jama ustna, gardło, przełyk, żołądek, jelito cienkie i jelito grube.

Mimo różnic w budowie poszczególnych odcinków, ściana przewodu pokarmowego składa się z czterech warstw. **Błona śluzowa** tworzą komórki nabłonkowe, wydzielające ochronny śluz. **Błona podśluzowa** to warstwa tkanki łącznej, zawierająca naczynia krwionośne, naczynia limfatyczne oraz włókna nerwowe. **Błona mięśniowa** składa się z dwóch warstw mięśni gładkich, których skurcze powodują przesuwanie się treści pokarmowej i jej mieszanie z enzymami trawiennymi. Leżąca najbardziej na zewnątrz łącznotkankowa **błona surowicza** (otrzewna) chroni przewód pokarmowy i oddziela go od innych narządów.

Ślinianki wydzielają ślinę, która nawilża pokarm, działa bakterioobójczo i zawiera enzymy rozkładające cukry.

ślinianka przyuszną

ślinianka podżuchwowa

ślinianka podjęzykowa

Kęsy pokarmu są przesuwane z jamy ustnej przez **gardło** do przełyku.

Pokarm z gardła jest przesuwany do żołądka przez **przełyk**.

Wątroba wytwarza żółć niezbędną do trawienia tłuszczów.
emulsja (emulguje)

Pęcherzyk żółciowy gromadzi żółć powstającą w wątrobie.

Trzustka wytwarza enzymy trawienne spływające do jelita cienkiego.

W **żołądku** zachodzi częściowe trawienie białek.

W jamie ustnej pokarm jest rozdrabniany i nawilżany. Tu rozpoczyna się także trawienie cukrów.

Przekroje ścian odcinków przewodu pokarmowego człowieka

błona mięśniowa:
mięśnie podłużne
mięśnie okrężne

błona podśluzowa

błona surowicza

błona śluzowa

przełyk

mięśnie skośne

żołądek

jelito cienkie

jelito grube

W **jelicie cienkim** zachodzi trawienie oraz wchłanianie składników pokarmowych.

W **jelicie grubym** odbywa się wchłanianie wody, soli mineralnych, niektórych witamin oraz formowanie kału.

Na dnie jamy ustnej leży **język**. Umożliwia on formowanie kęsów pokarmu, a także ich połknięcie. Na grzbietowej części języka znajdują się liczne brodawki odbierające wrażenia dotykowe i smakowe.

Do jamy ustnej uchodzą przewody trzech par dużych gruczołów ślinowych – ślinianek przyusznych, podjęzykowych i podżuchwowych oraz licznych małych gruczołów ślinowych – wargowych, policzkowych, podniebiennych oraz językowych. Wydzielana przez nie ślina jest bezbarwną cieczą o prawie obojętnym pH (6,4–7,0). Składa się ona głównie z wody oraz niewielkiej ilości białek i soli mineralnych. Dzięki zawartemu w ślinie enzymowi – **amylazie ślinowej** – w jamie ustnej zostaje zapoczątkowany proces rozkładu polisacharydów, głównie skrobi i glikogenu. Pokarm z jamy ustnej dostaje się do gardła, a następnie do przełyku.

■ Gardło i przełyk

Gardło jest wspólnym odcinkiem przewodu pokarmowego i oddechowego. Podczas przełykania pokarmu jedna z chrząstek krtani – **nagłośnia** – zamyka wejście do dróg oddechowych, uniemożliwiając przedostanie się jedzenia do tchawicy.

Przełyk stanowi najwęższy odcinek przewodu pokarmowego (światło pustego przełyku ma ok. 1,5 cm średnicy). Skurcze jego mięśni powodują przesuwanie się pokarmu do żołądka.

■ Żołądek

Żołądek jest workiem mięśniowym o pojemności ok. 1,5 l, w którym pokarm zostaje zatrzymany na 2–8 godz. i poddany dalszemu trawieniu. W błonie śluzowej żołądka znajdują się gruczoły, których wydzieliny tworzą **sok żołądkowy**. Ma on odczyn kwaśny (pH 1–2) i zawiera: wodę, kwas solny (HCl), chlorek sodu (NaCl), chlorek potasu (KCl), enzymy trawienne (pepsynę i lipazę żołądkową) oraz śluz zabezpieczający ściany żołądka przed drażniącym działaniem kwasu solnego i enzymów. Kwas solny pełni różne funkcje:

- ▶ odpowiada za denaturację białek, przygotowując je do strawienia,

- ▶ niszczy drobnoustroje dostające się do żołądka z pokarmem,

- ▶ aktywuje enzymy i zapewnia właściwy odczyn środowiska, w którym działają (pH 1–2).

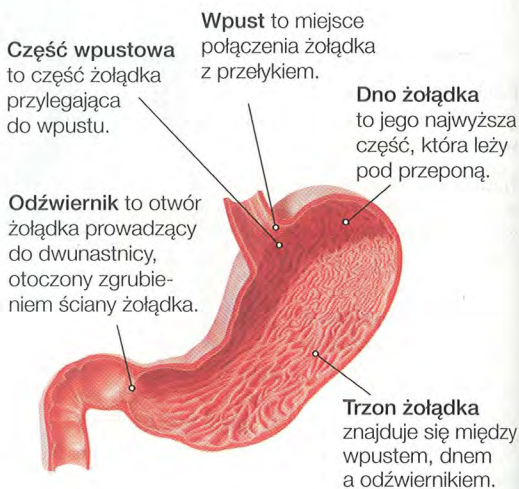
W żołądku są trawione przede wszystkim białka. Proces ten odbywa się przy udziale **pepsyny**. Jest ona wydzielana w formie nieaktywnej, jako **pepsynogen**, co zapobiega uszkodzeniom ścian żołądka. Czynnikiem aktywującym może być kwas solny lub pepsyna, która rozkłada wiązania peptydowe, co prowadzi do powstania oligopeptydów. W żołądku noworodków i małych dzieci wydzielana jest również **rennina** (podpuszczka), która rozkłada białko mleka – kazeinę. W żołądku działa także **lipaza żołądkowa**, która trawi tłuszcze występujące w postaci naturalnej emulsji (np. w mleku, śmietanie).

Dzięki perystaltycznym skurczom żołądka pokarm przekształca się w płynną papkę.

■ Jelito cienkie

Jelito cienkie ma ok. 6 m długości. W nim kontynuowane jest trawienie pokarmu oraz odbywa się wchłanianie produktów trawienia. Jego błona śluzowa jest pokryta **kosmkami jelitowymi** – palczastymi wypustkami zwiększającymi powierzchnię chłonną. W jelicie cienkim wyróżnia się trzy części: dwunastnicę, jelito czcze i jelito kręte.

Budowa żołądka



Dwunastnica to początkowy odcinek jelita cienkiego, łączący się z żołądkiem. W niej trawienie odbywa się bardzo intensywnie dzięki enzymom zawartym w soku dwunastniczym. Powstaje on z wydzielin wątroby (żółć) i trzustki (sok trzustkowy) oraz gruczołów umieszczonych w ścianie dwunastnicy (sok jelitowy).

Żółć ma odczyn zasadowy, a jej najważniejszymi składnikami są sole kwasów żółciowych. Przekształcają one tłuszcze w emulsję o bardzo drobnych kroplach, co zwiększa powierzchnię ich kontaktu z enzymami i umożliwia trawienie.

Sok trzustkowy zawiera enzymy rozkładające wszystkie związki organiczne zawarte w pokarmie oraz **wodorowęglan sodu** (NaHCO_3), który zmienia odczyn pokarmu z kwaśnego na zasadowy (pH 7,1–8,4). W ten sposób stwarza środowisko odpowiednie dla enzymów działających w dwunastnicy.

Enzymy proteolityczne – **trypsyna i chymotrypsyna** – są wydzielane w postaci nieaktywnych

proenzymów. Trypsynogen jest przekształcany w aktywną trypsynę pod wpływem enterokinazy – enzymu wytwarzanego przez gruczoły ściany jelita. Powstała w ten sposób niewielka ilość trypsyny aktywuje dalsze cząsteczki trypsynogenu, a także inne proenzymy, m.in. chymotrypsynogen.

trypsynogen $\xrightarrow{\text{enterokineza}}$ trypsyna

trypsynogen $\xrightarrow{\text{trypsyna}}$ trypsyna

chymotrypsynogen $\xrightarrow{\text{trypsyna}}$ chymotrypsyna

Z dwunastnicy pokarm trafia do **jelita czczego** i dalej do **jelita krętego**. W nich ulega przemianom pod wpływem soku jelitowego. Strawiony pokarm ma postać białego płynu, z którego substancje odżywcze są **wchłaniane do krwi i limfy**. Wchłanianie odbywa się na drodze dyfuzji prostej (woda) lub ułatwionej (fruktoza), jednak większość substancji jest wchłaniana **aktywnie** (glukoza, aminokwasy).

Enzymy trawienne

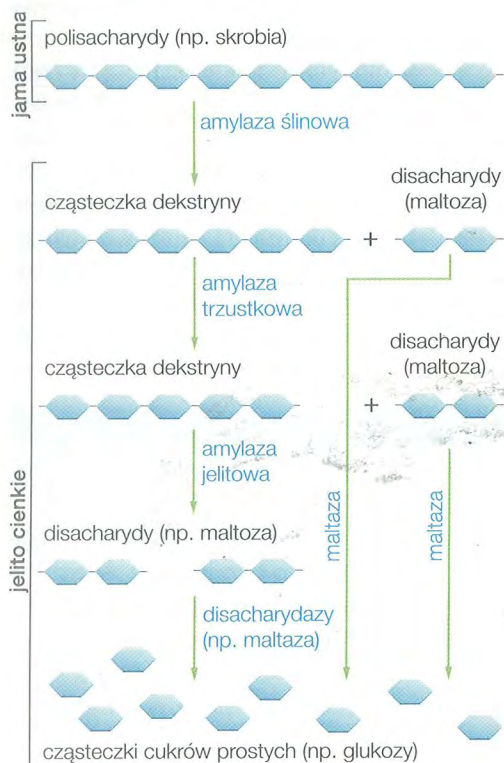
Enzymy	Substraty	Produkty
Ślina		
amylaza ślinowa	polisacharydy	cząsteczka dekstryny, disacharydy
Sok żołądkowy		
pepsyna	białka	polipeptydy i oligopeptydy
lipaza żołądkowa	tłuszcze w postaci naturalnej emulsji, np. w mleku, śmietanie, jajach	digliceridy, monogliceridy, glicerol i kwasy tłuszczowe
Sok trzustkowy		
amylaza trzustkowa	polisacharydy	cząsteczka dekstryny, disacharydy
lipaza trzustkowa	zemulgowane tłuszcze	glicerol i wyższe kwasy tłuszczowe
trypsyna	białka, polipeptydy	polipeptydy, oligopeptydy
chymotrypsyna	białka, polipeptydy	polipeptydy, oligopeptydy
karboksypeptydazy	polipeptydy oraz oligopeptydy zawierające więcej niż trzy aminokwasy	dipeptydy, tripeptydy, aminokwasy
nukleazy	kwasy nukleinowe	nukleotydy
Sok jelitowy		
amylaza jelitowa	polisacharydy	disacharydy
lipaza jelitowa	zemulgowane tłuszcze	glicerol i wyższe kwasy tłuszczowe
aminopeptydazy	polipeptydy oraz oligopeptydy zawierające więcej niż trzy aminokwasy	dipeptydy, tripeptydy, aminokwasy
dipeptydazy	dipeptydy	aminokwasy
disacharydazy (maltaza, laktaza, sacharaza)	disacharydy	monosacharydy
nukleazy	kwasy nukleinowe	nukleotydy

Trawienie cukrów, białek i tłuszczów

Procesy trawienia cukrów, białek i tłuszczów odbywające się w poszczególnych odcinkach przewodu pokarmowego prowadzą do uzyskania związków przyswajalnych przez organizm. W wyniku tych przemian węglowodany zostają rozłożone do cukrów prostych, białka do aminokwasów, a tłuszcze do glicerolu i wyższych kwasów tłuszczowych.

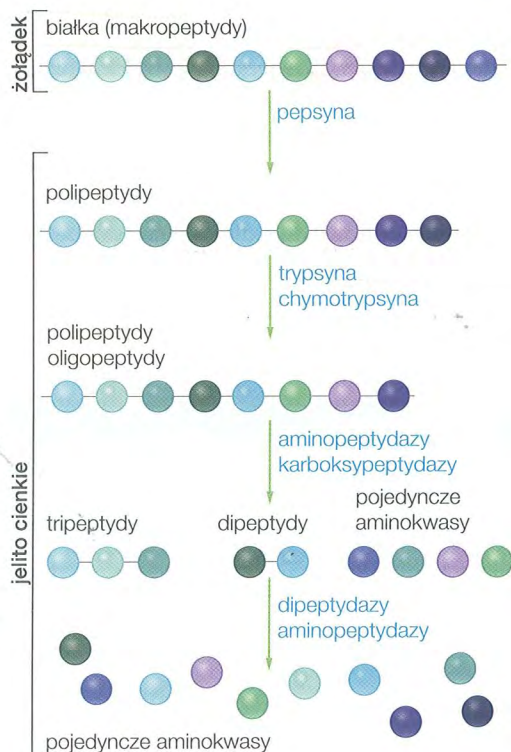
Proces trawienia cukrów

Trawienie cukrów odbywa się w jamie ustnej i jelicie cienkim. Cukry są rozkładane do cukrów prostych.



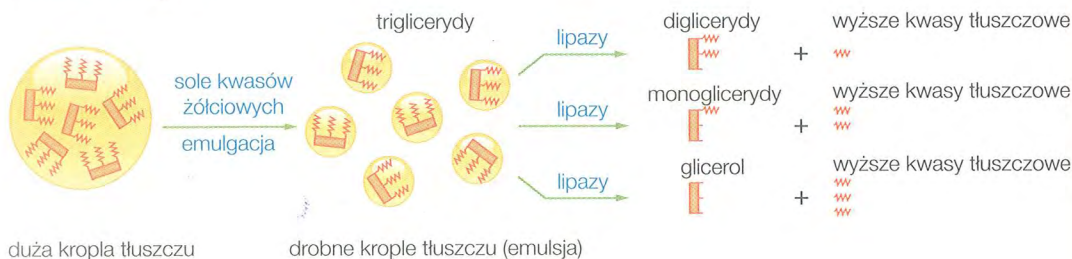
Proces trawienia białek

Trawienie białek odbywa się w żołądku i jelicie cienkim. Białka są rozkładane do aminokwasów.



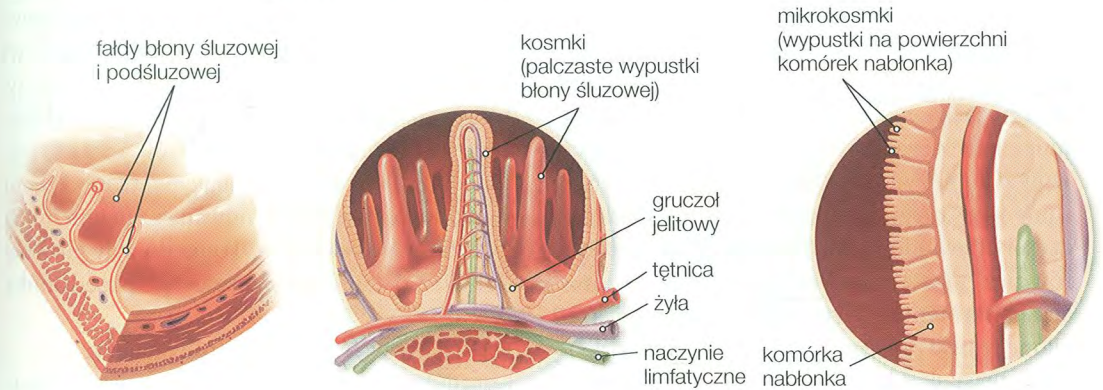
Proces trawienia tłuszczów

Trawienie tłuszczów odbywa się w jelicie cienkim. Tłuszcze są rozkładane do gliceroli i wyższych kwasów tłuszczowych.



Wchłanianie składników pokarmowych

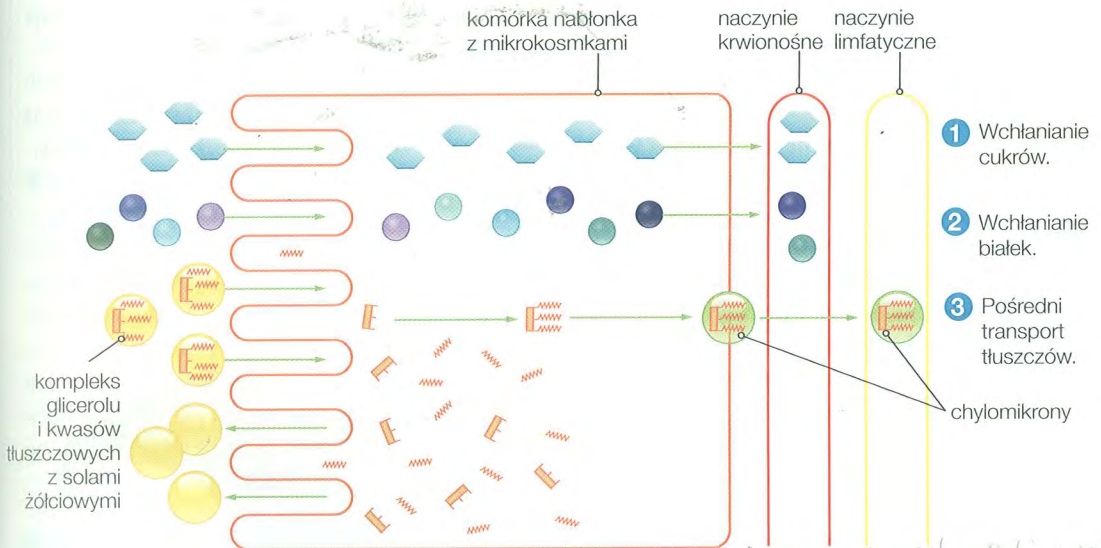
Wchłanianie polega na przechodzeniu powstałych w wyniku trawienia enzymatycznego prostych związków organicznych ze światła jelita cienkiego do krwi i limfy. Powierzchnia jelita jest silnie pofałdowana – można w niej wyróżnić faldy ściany jelita, kosmki i mikrokosmki. Taka budowa usprawnia wchłanianie substancji pokarmowych.



Błona śluzowa jelita ma liczne faldy pokryte kosmkami jelitowymi. Zwiększają one trzykrotnie powierzchnię chłonną jelita.

Wewnątrz kosmka znajdują się: centralnie położone naczynie limfatyczne oraz oplatająca go sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Kosmki zwiększają powierzchnię wchłaniania trzydziestokrotnie.

Kosmki jelitowe pokrywa warstwa komórek, których błony zostały przekształcone w tzw. **mikrokosmki**, dodatkowo zwiększające powierzchnię chłonną. Mikrokosmki zwiększają powierzchnię wchłaniania sześćsetkrotnie.



- 1 Końcowe produkty trawienia węglowodanów – cukry proste: glukoza, galaktoza i fruktoza – są wchłaniane z jelita do krwi.
- 2 Końcowe produkty trawienia białek – aminokwasy – są wchłaniane z jelita do krwi.

- 3 W świetle jelita **glicerol**, wyższe **kwasy tłuszczowe** oraz **mono-glicerydy** tworzą z solami żółciowymi kompleksy, które są transportowane do enterocytów. W nich zachodzi proces ponownej syntezy tłuszczów właściwych, których cząsteczki wraz z wchłoniętym cholesterolem i fosfolipidami tworzą kuliste agregaty w białkowej otoczce, tzw. **chylomikrony**. Na skutek egzocytozy **chylomikrony** trafiają do przestrzeni międzykomórkowych, następnie do naczynia limfatycznego, a z limfy do krwi.

■ Jelito grube

Jelito grube stanowi końcową część przewodu pokarmowego (ma ok. 1,5 m długości). Można w nim wyróżnić trzy odcinki: **jelito ślepe**, **określnicę** oraz **odbytnicę**. Błona śluzowa jelita grubego jest pozbawiona kosmków. Jej gruczoły wydzielają duże ilości śluzu, który ułatwia przesuwanie zawartości jelita i formowanie kału. W początkowych odcinkach jelita grubego mogą jeszcze zachodzić procesy trawienia pod wpływem enzymów, które zostały tu przeniesione wraz z treścią pokarmową z poprzednich części przewodu pokarmowego. Rozwija się tu również bogata flora bakteryjna, która w procesach fermentacyjnych wykorzystuje niestrawione resztki pokarmu, w tym celulozę (rozkładowi ulega ok. 15% spożytej celulozy). **Bakterie jelitowe** syntetyzują część witamin z grupy B i K, wchłanianych później i wykorzystywanych przez organizm. Główną funkcją jelita grubego jest **wchłanianie wody i soli mineralnych** z przesuwanej się treści pokarmowej. Oprócz ciągłej pracy mięśniówki jelita, związanej z mieszaniem miazgi pokarmowej, 3–4 razy na dobę następują szybkie skurcze przesuujące niestrawione resztki pokarmu w stronę odbytnicy. Oddawanie kału – **defekacja** – podlega regulacji ośrodków nerwowych umiejscowionych w odcinku krzyżowym rdzenia kręgowego.

■ Wątroba – centrum metaboliczne organizmu

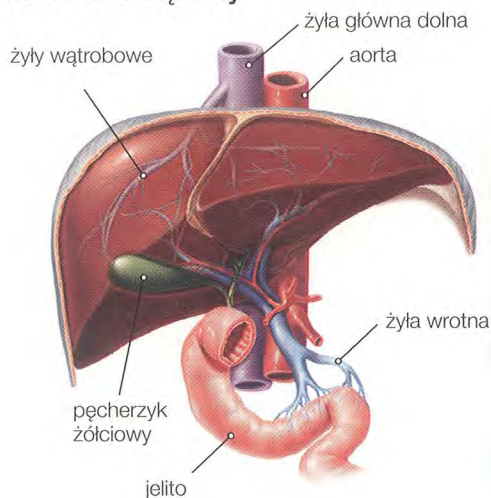
Wątroba jest największym, ważącym ok. 1,5 kg, gruczołem ludzkiego organizmu. Jej komórki (hepatocyty) stale wytwarzają żółć, która zbiera się w **pęcherzyku żółciowym**. Wątroba odgrywa bardzo ważną rolę w przemianie materii odbywającej się w organizmie. Szacuje się, że spełnia ona ok. 500 funkcji. To do niej przez **żyłę wrotną** trafiają wchłonięte ze światła jelita cukry proste, aminokwasy i kwasy tłuszczowe o krótkich łańcuchach. Do niej trafiają też triglicerydy, cholesterol i fosfolipidy, a także witaminy i sole mineralne. Wszystkie te substancje mogą tu zostać zmagazynowane lub ulegać dalszym przekształceniom.

Krew wpływa do wątroby dwoma naczyniami: **tętnicą wątrobową**, która jest odgałęzieniem aorty i niesie krew utlenowaną, oraz odchodzącą od jelita **żyłą wrotną** niosącą substancje odżywcze z przewodu pokarmowego. Taka budowa krwioobiegu zapobiega gwałtownemu wzrostowi stężenia substancji we krwi po posiłku. Szczególnie dotyczy to glukozy, której względnie stałe (poza żyłą wrotną) stężenie stanowi jeden z parametrów kontroli homeostazy. Krew opuszczająca wątrobę żyłami wątrobowymi jest odtlenowana i zawiera mniej związków odżywczych. Trafia do żyły głównej dolnej, a ostatecznie do prawego przedsionka serca.

Do głównych funkcji wątroby należy:

- ▶ produkowanie żółci niezbędnej w procesie trawienia tłuszczów,
- ▶ magazynowanie cukru zapasowego – glikogenu – lub jego rozkład, udział w metabolizmie tłuszczów,
- ▶ rozkład zbędnych hormonów,
- ▶ pochłanianie i unieszkodliwianie substancji toksycznych pojawiających się we krwi (np. niektórych leków, alkoholu),
- ▶ magazynowanie witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E, K), witaminy B₁₂ oraz żelaza niezbędnego do syntezy hemoglobiny,

Ukrwienie wątroby



Przemiany składników odżywczych

Składnik odżywczy	Postać wchłonięta	Przemiany substancji odżywczych
Węglowodany	cukry proste	- cukry proste inne niż glukoza są przekształcane w glukozę lub tłuszcze - część glukozy z wątroby trafia do komórek jako źródło energii - nadmiar glukozy jest przekształcany w glikogen i magazynowany w wątrobie lub mięśniach - znaczne nadwyżki glukozy są zamieniane w tłuszcze i gromadzone w tkance tłuszczowej
Białka	aminokwasy	- większość aminokwasów z wątroby trafia do komórek, gdzie są wykorzystywane do biosyntezy białek organizmu - nadmiar aminokwasów ulega przemianom biochemicznym; w wątrobie odbywa się deaminacja aminokwasów, czyli odszczepienie grupy aminowej, która umożliwia: przekształcanie aminokwasów w cukier lub tłuszcz, przekształcanie jednych aminokwasów w inne, wytwarzanie mocznika w celu usunięcia amoniaku z organizmu
Tłuszcze	glicerol i kwasy tłuszczowe	- część z limfą dostaje się do krwiobiegu, a stamtąd do tkanek, gdzie służy do budowy błon komórkowych - część kwasów tłuszczowych zostaje przekształcona w acetylo-CoA, który w cyklu Krebsa jest utleniany do CO_2 i H_2O, dostarczając dużej ilości energii - nadmiar jest gromadzony w tkance tłuszczowej

- ▶ wytwarzanie ok. 95% białek osocza, w tym protrombiny i enzymów niezbędnych w krzepnięciu krwi, a także heparyny – związku hamującego krzepnięcie krwi,
- ▶ udział w rozkładzie hemoglobiny, pochodzącej ze zużytych erytrocytów, do barwników żółciowych,
- ▶ wytwarzanie mocznika z amoniaku.

■ Regulacja czynności układu pokarmowego

Czynności układu pokarmowego podlegają regulacji układu nerwowego i hormonalnego. Wpływ obu układów można zrozumieć, analizując wydzielanie soku żołądkowego. Ośrodek nerwowy regulujący ten proces jest umiejscowiony w rdzeniu przedłużonym, a jego czynność podlega kontroli kory mózgu.

Wydzielanie soku żołądkowego następuje wówczas, gdy pokarm przebywający w jamie ustnej podrażnia znajdujące się tu zakończenia nerwowe, a także na skutek bodźców powstających w korze mózgu na widok pokarmu, pod wpływem jego zapachu lub na myśl o nim. Rozciąganie ścian żołądka oraz obecność w pokarmie niektórych substancji odżywczych (np. produktów przemian białkowych) również stymuluje wydzielanie soku żołądkowego. Jednak głównym czynnikiem pobudzającym wydzielanie soku żołądkowego jest powstający w części odzwrotnikowej żołądka hormon – **gastryna**. Po przejściu pokarmu do jelita w błonie śluzowej początkowego jego odcinka jest wytwarzany **enterogastron** – hormon hamujący wydzielanie soku żołądkowego oraz ruchy żołądka.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega proces trawienia pokarmów.
2. Omów rolę jamy ustnej w procesie trawienia.
3. Podaj funkcje poszczególnych składników soku żołądkowego.
4. Wymień cechy jelita cienkiego będące adaptacją do pełnionych funkcji.
5. Wyjaśnij, jak są wchłaniane produkty trawienia w układzie pokarmowym.
6. Omów rolę ślinianek, wątroby i trzustki w procesie trawienia pokarmów.

5

Higiena i choroby układu pokarmowego

Do prawidłowego wzrostu, rozwoju i funkcjonowania organizmu konieczne jest pobieranie odpowiednich substancji odżywczych i regulujących. W spożywanych pokarmach powinny znajdować się białka, węglowodany, tłuszcze, witaminy oraz woda i składniki mineralne. Dietę, która zawiera wymienione składniki we właściwych ilościach i proporcjach, nazywa się dietą pełnowartościową (zrównoważoną). Dostarcza ona odpowiedniej ilości energii koniecznej do prawidłowej pracy wszystkich układów wewnętrznych, utrzymania stałej temperatury ciała oraz ruchu. Zapotrzebowanie energetyczne organizmu nie jest wartością stałą, zależy ono m.in. od:

- ▶ wieku – dzieci i młodzież potrzebują więcej energii wykorzystywanej do budowy i wzrostu organizmu,
- ▶ płci – mężczyźni zużywają więcej energii niż kobiety,
- ▶ aktywności fizycznej – osoby pracujące fizycznie lub uprawiające intensywnie sport potrzebują więcej energii niż pozostałe osoby.

Prawidłowe żywienie polega m.in. na zbilansowaniu energii, tzn. utrzymaniu równowagi między ilością energii dostarczonej z pokarmem a jej zużyciem. Jednostką energii w układzie SI jest dżul (J) (1 cal = 4,19 J), ale wartość energetyczną produktów spożywczych oraz ilość energii wydatkowanej przez organizm wyraża się zwyczajowo w kilokaloriach (1 kcal = 1000 cal). Jeśli dostarczane z pożywieniem składniki nie zostaną wykorzystane w całości, ich nadmiar jest magazynowany w postaci związków zapasowych (glikogenu i tłuszczów), które w miarę potrzeby mogą być zużywane. Spożywanie zbyt obfitych posiłków przez dłuższy czas prowadzi do **nadwagi i otyłości**, co ma negatywne konsekwencje zdrowotne. Gdy organizm potrzebuje więcej energii niż dostarczają jej posiłki, wówczas pobiera zgromadzone zapasy. Po ich wyczerpaniu wykorzystuje własne związki budulcowe, co prowadzi do jego wyniszczenia.

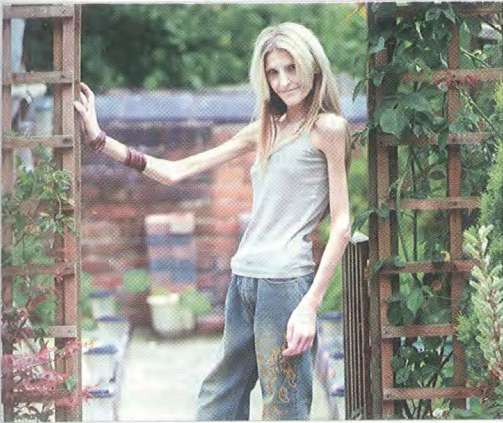
Zapotrzebowanie energetyczne organizmu

Grupy ludności	kcal/osobę/dobę
Dzieci	
1–9 lat	1300–2100
chłopcy 10–12 lat	2600
dziewczeta 10–12 lat	2300
Młodzież	
płci męskiej	3000–3700
płci żeńskiej	2600–2800
Mężczyźni	
praca lekka	2400–2600
praca ciężka	3500–4000
Kobiety	
praca lekka	2100–2300
praca ciężka	2900–3200

W diecie dorosłego człowieka węglowodany powinny pokrywać 57–61% zapotrzebowania energetycznego, tłuszcze 29–33%, a białka 9–13%.

■ Zaburzenia odżywiania

Anoreksja – jadłowstręt psychiczny – polega na braku łaknienia połączonym z obsesyjnym strachem przed otyłością. Dotyczy niemal wyłącznie ludzi młodych między 11. a 30. rokiem życia, najczęściej dziewcząt. Przyczyny są często o wiele bardziej złożone niż zwykle pragnienie pozbycia się nadwagi. Bywa, że choroby stosują dodatkowo środki przeczyszczające i prowokują wymioty. W początkowej fazie choroby jest trudna do rozpoznania, później spadek masy ciała jest tak znaczny, że nie może pozostać niezauważony. Niezwykle istotne jest szybkie rozpoznanie anoreksji oraz podjęcie leczenia, w przeciwnym przypadku choroba może doprowadzić do śmierci. Poza widoczną utratą masy ciała występuje wiele objawów świadczących o zaburzeniu stanu równowagi organizmu (zahamowanie miesiączkowania, pojawiające się naprzemiennie biegunki i zaparcia, zaburzenia krążenia krwi, zmniejszenie odporności).



Osoba chora na anoreksję. Zewnętrzными objawami tej choroby są: zapadnięte policzki, sine usta i szorstka skóra. Z powodu obrzęku gruczołów ślinowych chorzy mają też zniekształcone rysy twarzy (tzw. twarz wiewiórcza).

Bulimia – żarłoczność, wilczy głód – jest chorobą polegającą na napadowo występujących okresach wzmożonego apetytu i spożywaniu dużych ilości pokarmu w krótkim czasie. Choroba ta dotyka głównie kobiet, często pojawia się po okresie stosowania ścisłej diety. Ilość zjadanego podczas jednego posiłku pokarmu może 3–30 razy przekraczać porcję spożywaną przy normalnym odżywianiu się. Chorzy mają zwykle prawidłową masę ciała, ewentualnie lekką nadwagę, gdyż starają się przeciwdziałać skutkom obżarstwa, wywołując wymioty lub zązywając środki przeczyszczające. Nie można jednoznacznie określić przyczyn powstawania choroby, upatruje się ich w sytuacjach powodujących wzrost napięcia emocjonalnego. W trakcie posiłku stany te ustępują, lecz po krótkim czasie pojawiają się ponownie.

Zarówno anoreksja, jak i bulimia wymagają pomocy lekarza oraz psychoterapeuty.

■ Choroby układu pokarmowego

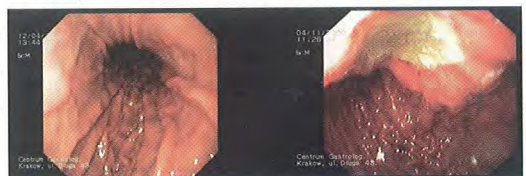
Zaburzenia czynności układu pokarmowego dotyczą często jego motoryki lub procesów wydzielania i wchłaniania. Wynikają również z działania wirusów, bakterii, protistów pasożytniczych i zwierząt pasożytniczych.

Kamica żółciowa polega na występowaniu zaburzeń w składzie żółci, prowadzących do powstawania złoów zwanych kamieniami

żółciowymi. Najczęstszym miejscem ich tworzenia się jest pęcherzyk żółciowy. Obecność kamieni może powodować ostry ból, zwany kolką wątrobową, oraz prowadzić do niedrożności przewodów wyprowadzających żółć. Zależnie od stanu zaawansowania choroby stosuje się leczenie farmakologiczne lub operacyjne.

Choroba wrzodowa to jedno z najczęściej występujących schorzeń układu pokarmowego. Dotyczy przede wszystkim żołądka i dwunastnicy. Polega na uszkodzeniu ściany przewodu pokarmowego, początkowo dotyczącym tylko błony śluzowej (nadżerka), a następnie sięgającym aż do błony mięśniowej (wrząd). W skrajnym przypadku uszkodzenie może doprowadzić do pęknięcia ściany przewodu pokarmowego i zagrażającego życiu krwotoku. Przyczyną choroby jest stres i związane z nim nadmierne wydzielanie kwasu solnego oraz pepsyny lub działanie bakterii *Helicobacter pylori*. Bakteria ta ma szczególne właściwości pozwalające jej przetrwać w kwaśnym środowisku. Obecność bakterii można wykryć, pobierając próbkę tkanki podczas badania endoskopowego (wziernikowania). Jeśli bakteria jest obecna, stosuje się leczenie antybiotykiem, jeśli nie, podaje się preparaty zmniejszające wydzielanie kwasu solnego i osłaniające błonę śluzową żołądka oraz dwunastnicy.

Badanie endoskopowe, czyli wziernikowanie, polega na oglądaniu wnętrza narządu, dzięki wprowadzeniu do niego specjalnego przewodu zaopatrzonego w kamerę i źródło światła. Badanie endoskopowe górnego odcinka przewodu pokarmowego, tj. żołądka i dwunastnicy, nosi nazwę **gastroskopii**. Podobnie jak inne badania tego typu umożliwia ono nie tylko wzrokową ocenę stanu błony śluzowej, ale również pobranie fragmentów tkanek do analizy.



Błona śluzowa żołądka oglądana za pomocą endoskopu. Po lewej u człowieka zdrowego, po prawej u człowieka ze stwierdzoną chorobą wrzodową.

Otyłość

Otyłość jest jednym z najbardziej powszechnych problemów cywilizacyjnych. Osoby otyłe charakteryzują się nadmierną akumulacją tłuszczu w tkance tłuszczowej. Prowadzi to do zaburzeń ich stanu zdrowia.

■ PRZYCZYNA

Podstawową przyczyną nadwagi i otyłości jest **dodatni bilans energetyczny**, czyli sytuacja, kiedy ilość dostarczanej w pożywieniu energii przewyższa ilość energii zużywanej przez organizm. Na występowanie otyłości wpływają także uwarunkowania genetyczne, starzenie się, ciężce czy nadmierny stres.

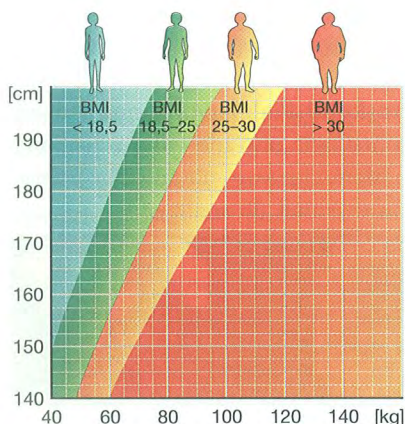


Możliwe następstwa otyłości:

- cukrzyca typu II,
- miażdżyca,
- nadciśnienie tętnicze,
- choroby układu oddechowego (zespół bezdechu nocnego),
- niektóre nowotwory złośliwe,
- choroby zwyrodnieniowe kości,
- problemy o podłożu psychicznym.

■ DIAGNOSTYKA

Do rozpoznania, czy waga ciała jest prawidłowa, stosuje się wskaźnik masy ciała (ang. **Body Mass Index** – BMI). Zakres jego wartości został opracowany wyłącznie dla dorosłych i nie może być stosowany w wypadku dzieci i młodzieży. Oprócz wskaźnika BMI bada się też obwód w talii. Jeżeli przekracza on 102 cm u mężczyzn i 88 cm u kobiet, oznacza to nadmiar tłuszczu w jamie brzusznej, co zwiększa ryzyko problemów zdrowotnych, nawet jeśli BMI jest prawidłowe.



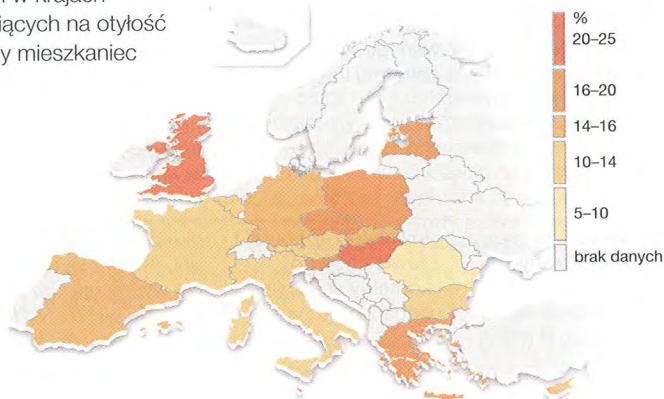
$$\text{BMI} = \frac{\text{masa ciała [kg]}}{(\text{wzrost [m]})^2}$$

- niedowaga – zwiększone ryzyko rozwoju chorób
- prawidłowa waga – normalne ryzyko rozwoju chorób
- nadwaga – zwiększone ryzyko rozwoju chorób
- otyłość – wysokie ryzyko rozwoju wielu chorób

Warto zajrzeć!
 <http://www.bmi-kalkulator.pl/>

PROBLEM OTYŁOŚCI W KRAJACH EUROPY

Problem otyłości występuje przede wszystkim w krajach rozwiniętych. W Europie najwięcej osób cierpiących na otyłość mieszka w Wielkiej Brytanii – otyły jest co piąty mieszkaniec tego kraju.



Odsetek osób z różną wagą w Polsce w 2009 r. Odsetek osób otyłych w Europie w 2009 r.

LECZENIE

Leczenie otyłości zwykle koncentruje się na obniżeniu bilansu energetycznego organizmu. Polecana jest zatem **zmiana stylu życia** – stosowanie diety o obniżonej kaloryczności połączone ze zwiększoną aktywnością fizyczną. Inne metody leczenia otyłości to:

- ▶ leczenie farmakologiczne (leki zmniejszające apetyt, redukujące przyswajanie tłuszczu z żywności),
- ▶ wsparcie psychologiczne (kontrola rozładowywania napięć, wsparcie w zmianie stylu życia),
- ▶ w ciężkich przypadkach – leczenie chirurgiczne (np. zmniejszenie żołądka).



PROFILAKTYKA

W profilaktyce otyłości zwraca się uwagę na utrzymywanie w równowadze bilansu energetycznego organizmu. Ułatwiają to codzienna aktywność fizyczna i odpowiedni sposób odżywiania się, m.in.:

- ▶ ograniczanie spożycia tłuszczów zwierzęcych (unikanie żywności typu fast food oraz chipsów),
- ▶ spożywanie głównie produktów pełnoziarnistych i tłuszczów roślinnych,
- ▶ ograniczanie spożycia cukru, słodczy, słodkich napojów i produktów słonych,
- ▶ włączanie do każdego posiłku warzyw lub owoców,
- ▶ picie odpowiedniej ilości wody (co najmniej sześć szklanek dziennie).

Tabela spalania kalorii

Rodzaj aktywności fizycznej	kcal/godz.
Aerobik	550
Bieg (1 km przez 5 min)	1000
Ćwiczenia na siłowni	400
Gra w kręgle	300
Gra w piłkę nożną	650
Jazda na rowerze (20 km/godz.)	600
Gra w koszykówkę	550
Sprzątanie	250
Pływanie	400
Siatkówka plażowa	588
Spacer w szybkim tempie	300
Taniec w dyskotecce	500
Wchodzenie po schodach	1100

Choroby układu pokarmowego

Nazwa choroby / czynnik	Sposób zarażenia	Charakterystyczne objawy	Profilaktyka
Choroby spowodowane przez wirusy			
Wirusowe zapalenie wątroby typu A / wirus zapalenia wątroby typu A (HAV)	spożycie zainfekowanego wirusem pokarmu lub wody	okres wylegania choroby: 10–50 dni, pierwsze objawy to: gorączka, nudności, wymioty, następne objawy są konsekwencją zapalenia wątroby, należą do nich m.in. żółtaczka i towarzyszące jej uporczywe swędzenie skóry.	• przestrzeganie podstawowych zasad higieny, np. mycie rąk przed posiłkiem • szczepienie ochronne
Wirusowe zapalenie wątroby typu B / wirus zapalenia wątroby typu B (HBV)	głównie przez kontakt z krwią chorego i kontakty seksualne z osobą zakażoną	okres wylegania choroby: 30–180 dni, objawy są niespecyficzne i nigdy nie występują wszystkie jednocześnie, do pierwszych należą: osłabienie, senność, bóle głowy, brak apetytu, w dalszej kolejności u 20% chorych pojawia się żółtaczka, która może trwać 1–7 tygodni, u większości chorych przewlekłe zapalenie wątroby, które może trwać nawet do 20 lat i jest prawie całkowicie bezobjawowe, ostatecznym skutkiem choroby może być marskość wątroby	• bezpieczne zachowania seksualne • szczepienia ochronne
Wirusowe zapalenie wątroby typu C / wirus zapalenia wątroby typu C (HCV)	głównie przez kontakt z krwią chorego	okres wylegania choroby: 15–360 dni, ponad 70% zakażeń przebiega bezobjawowo, przewlekły stan zapalny może doprowadzić do marskości lub raka wątroby	• bezpieczne zachowania seksualne • unikanie kontaktu z krwią osób zarażonych, np. podczas zabiegów medycznych
Choroby spowodowane przez bakterie			
Salmonelozą / <i>Salmonella</i> (różne odmiany)	spożycie produktów zawierających bakterie lub ich toksyny, np. surowego mięsa, mleka, jajek, ryb, soków owocowych, lodów	objawy występują najczęściej w ciągu 6–72 godz. po spożyciu skażonego pokarmu, początek choroby jest nagły i objawia się biegunką, bólami brzucha, mdłościami i wymiotami, objawom ze strony przewodu pokarmowego towarzyszy gorączka (nawet do 40°C), ból głowy i dreszcze; gwałtowne objawy ustępują po 2–3 dniach, ale wyzdrowienie w cięższych przypadkach następuje po tygodniu	• przestrzeganie podstawowych zasad higieny: mycie rąk, utrzymywanie w czystości narzędzi i powierzchni do przygotowywania posiłków • odpowiednie przechowywanie produktów spożywczych • dokładna obróbka cieplna przygotowywanych dań
Zatrucie pokarmowe / gronkowiec żłocisty (<i>Staphylococcus aureus</i>)	spożycie produktów zawierających bakterie lub ich toksyny, np. mięsa, kremów, ciast, sałatek, jajek, nabiału	objawy zatrucia występują wkrótce (1–6 godz.) po spożyciu skażonego pokarmu, pojawiają się gwałtowne wymioty, bóle brzucha i biegunka, temperatura ciała nie zmienia się lub jest tylko nieznacznie podwyższona, obniża się natomiast ciśnienie krwi, konieczne jest leczenie antybiotykami	

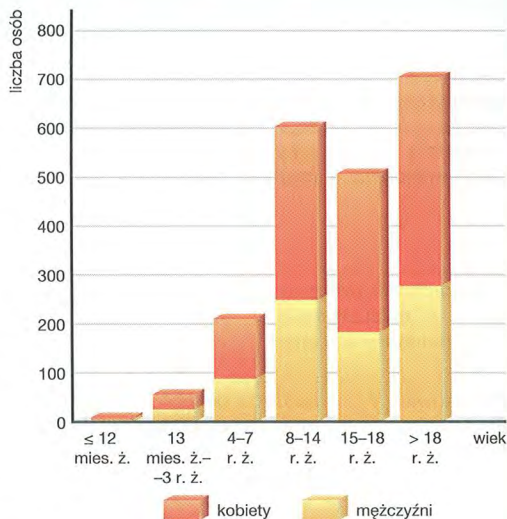
Nazwa choroby / czynnik	Sposób zarażenia	Charakterystyczne objawy	Profilaktyka
Choroby spowodowane przez protisty zwierzęce			
Lamblioza (giardioza) / <i>Giardia intestinalis</i> (<i>Giardia lamblia</i>)	spożycie pokarmów i wody pitnej skażonych formami przetrwalnikowymi (cystami) pasożyta	zakażenie najczęściej przebiega bezobjawowo, jeśli objawy występują, to pojawiają się po ok. 1–3 tygodni od zakażenia, są to: nudności, ostra biegunka, bóle brzucha, stan zapalny jelita cienkiego i dróg żółciowych; diagnoza stawiana jest na podstawie obecności cyst w kale; leczenie powinno objąć osoby chore i nosicieli, którzy nie mają objawów; nie leczy się kobiet w ciąży i karmiących ze względu na uboczne działanie leków	• przestrzeganie podstawowych zasad higieny: mycie rąk • dokładne mycie jarzyn i owoców, zwłaszcza przeznaczonych do spożycia na surowo • ochrona żywności wody przed zanieczyszczeniem wydaliniami
Pełzakowica / <i>Entamoeba histolytica</i>	spożycie pokarmów i wody pitnej skażonych cystami pasożyta	objawy pojawiają się 2–4 tygodni po infekcji, należą do nich bóle brzucha, biegunka, krwotoki z przewodu pokarmowego, postępujące osłabienie i odwodnienie	
Choroby spowodowane przez płazińce			
Tasiemczyca / różne rodzaje tasiemca (informacje w tabeli dotyczą tasiemca uzbrojonego i nieuzbrojonego)	spożycie mięsa wieprzowego (w przypadku tasiemca uzbrojonego) lub wołowego (w przypadku tasiemca nieuzbrojonego) zawierającego larwy pasożyta	zakażenie może przebiegać bezobjawowo, najczęściej jednak pojawiają się nudności, biegunki, napady głodu lub apetyt na pikantne potrawy; przy dłuższej trwającym nosicielstwie dochodzi do wychudzenia i znacznego osłabienia organizmu	• spożywanie mięsa przebadanego weterynaryjnie • spożywanie mięsa po obróbce cieplnej • przestrzeganie podstawowych zasad higieny
Choroby spowodowane przez nicienie			
Owsica / owsik ludzki (<i>Enterobius vermicularis</i>)	połknięcie jaj znajdujących się w wodzie, pokarmie lub na przedmiotach codziennego użytku	utrata apetytu, nerwowość, ogólne wyczerpanie, niedokrwiłość oraz świąd w okolicy odbytu, spowodowany przemieszczaniem się w tym kierunku pasożyta z jelita w okolice odbytu w celu złożenia jaj	• przestrzeganie zasad higieny osobistej, regularna zmiana odzieży i pościeli
Glistnica / glista ludzka (<i>Ascaris lumbricoides</i>)	spożycie pokarmu lub wody zawierających jaja pasożyta (zwykle są to zanieczyszczone jarzyny hodowane na podłożach nawożonych ludzkimi odchodami)	ze względu na skomplikowany cykl rozwojowy bardzo różne, dotyczące układu oddechowego i pokarmowego, możliwe wystąpienie silnych reakcji uczuleniowych spowodowanych wchłanianiem produktów przemiany materii pasożyta	• przestrzeganie zasad higieny osobistej • picie przegotowanej wody • mycie jarzyn i owoców przed spożyciem • niestosowanie jako nawozu kału ludzkiego
Włośnica / włosień kręty (<i>Trichinella spiralis</i>)	spożycie mięsa (świni lub dzika) zawierającego larwy włośnia	pierwsze stadium przebiega bezobjawowo lub występują nudności, wymioty, biegunki; po tygodniu pojawiają się: wysoka gorączka oraz obrzęki twarzy, następnie bóle mięśni; w ciężkich przypadkach dochodzi do zaburzeń funkcjonowania układów oddechowego, krążenia i nerwowego, które mogą doprowadzić do śmierci	• spożywanie wyłącznie mięsa przebadanego weterynaryjnie

Celiakia

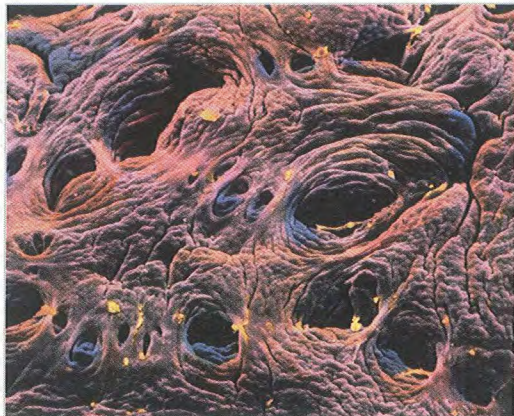
Celiakia jest to choroba przewodu pokarmowego o podłożu genetycznym. Jej cechą charakterystyczną jest nietolerancja glutenu, czyli kompleksu białkowego, występującego w nasionach niektórych zbóż (pszenicy, owsa, żyta i jęczmienia). Celiakia jest wywołana brakiem enzymu odpowiedzialnego za trawienie gliadyny, jednego ze składników glutenu. Nierozłożona do aminokwasów gliadyna pobudza układ odpornościowy, w efekcie czego zanikają kosmki jelitowe i dochodzi do złego wchłaniania składników pokarmowych. Celiakia występuje przede wszystkim u dzieci. Jej pierwsze objawy (biegunka, wymioty, bóle brzucha) pojawiają się już w wieku niemowlęcym, kiedy do diety dziecka zaczyna się wprowadzać produkty mączne. Jak dowodzą najnowsze badania, w późniejszym wieku choroba ta może się ujawniać pod wpływem różnych czynników, np. stresu, silnej infekcji. Z nieznanych powodów celiakia występuje częściej u kobiet niż u mężczyzn. Jej leczenie polega na wyeliminowaniu z diety pokarmów zawierających gluten.



Kosmki (mikrofotografia skaningowa) są niezbędne do prawidłowego przebiegu procesów trawienia i wchłaniania w jelicie cienkim.



Liczba osób z rozpoznaną celiakią w Polsce w latach 1999–2008.



Jelito cienkie chorego na celiakię (mikrofotografia skaningowa) jest niemal zupełnie pozbawione kosmków jelitowych.

Polecenia kontrolne

1. Omów zaburzenia procesów łaknienia.
2. Określ przyczyny i konsekwencje otyłości.
3. Wymień metody walki z nadwagą.
4. Podaj przykłady chorób pasożytniczych układu pokarmowego człowieka. Scharakteryzuj jedną z nich.
5. Scharakteryzuj okoliczności i objawy zatrucia salmonellą.
6. Podaj cztery przykłady działań, dzięki którym można uniknąć zakaźnych i pasożytniczych chorób układu pokarmowego.

Warto zajrzeć!
 <http://www.celiakia.pl/celiakia/>

Podsumowanie

Główne składniki pokarmowe

Składniki pokarmowe		Funkcja	Występowanie
Nieorganiczne	składniki mineralne	• stanowią elementy strukturalne komórek i tkanek • wpływają na ciśnienie osmotyczne, przepuszczalność błon i przewodzenie impulsów nerwowych	• głównie mleko i jego przetwory • owoce • zielone warzywa • drób • ryby morskie
	woda	• tworzy środowisko umożliwiające zachodzenie większości reakcji biochemicznych • umożliwia usuwanie szkodliwych produktów przemiany materii • chroni organizm przed przegrzaniem	• w napojach • w pokarmach, m.in. w warzywach i owocach
Organiczne	białka	• stanowią główny budulec komórek i tkanek • transportują substancje przez błonę komórkową • uczestniczą w obronie organizmu przed patogenami • enzymy umożliwiają przebieg wielu reakcji biochemicznych	• mięso • przetwory mleczne • nasiona zbóż i roślin strączkowych
	lipidy	• stanowią najbardziej skoncentrowane źródło energii • wchodzi w skład błon biologicznych • są źródłem i nośnikiem wielu substancji biologicznych, np. niektórych witamin • biorą udział w wytwarzaniu niektórych hormonów • wchodzi w skład tkanki tłuszczowej, pełniąc m.in. funkcje: zapasową, ochronną i termoz izolacyjną	• oleje roślinne • olej rybny • masło, śmietana, ser żółty • smalec, słonina
	węglowodany	• stanowią główne źródło energii dla organizmu • stanowią materiał zapasowy gromadzony w wątrobie i mięśniach (glikogen) • błonnik pokarmowy pełni ważne funkcje fizjologiczne, m.in. przyspiesza przesuwanie się treści pokarmowej	• kasze • makarony • pieczywo • ziemniaki
	witaminy	• regulują wiele procesów zachodzących w organizmie (wchodzą w skład enzymów)	• rozpuszczalne w tłuszczach: mleko i przetwory mleczne, wątroba, tran • rozpuszczalne w wodzie: owoce, zielone warzywa liściaste, wątroba, orzechy, jaja

Podział witamin

Witaminy	
rozpuszczalne w tłuszczach	rozpuszczalne w wodzie
• witamina A • witamina D • witamina E • witamina K	• witaminy z grupy B (B₁, B₂, B₆, B₁₁, B₁₂, PP, H, kwas pantotenowy) • witamina C

Budowa i funkcje kolejnych odcinków przewodu pokarmowego

Odcinek	Cechy budowy	Funkcja
Jama ustna	• jest pierwszym odcinkiem przewodu pokarmowego • na łukach zębowych szczęk i żuchwy znajdują się zęby • na jej dnie znajduje się język	• obróbka mechaniczna pokarmu (rozdzielanie na kęsy, rozdrabnianie i nawilżanie) • wstępne trawienie węglowodanów
Gardło	• jest wspólnym odcinkiem układów pokarmowego i oddechowego • ma ściany zbudowane z mięśni poprzecznie prążkowanych	• polykanie pokarmu
Przełyk	• jest najwęższym odcinkiem przewodu pokarmowego • jest zakończony zwieraczem, który zapobiega cofaniu się pokarmu	• przesuwanie pokarmu do żołądka
Żołądek	• jest to worek mięśniowy o pojemności ok. 1,5 l • wyróżnia się w nim wpust, dno, trzon i odźwiernik • dodatkowa warstwa mięśni w ścianie zwiększa siłę skurczów • w błonie śluzowej znajdują się gruczoły wydzielające śluz, enzymy trawienne i kwas solny	• gromadzenie, mieszanie i rozdrabnianie pokarmu • mieszanie pokarmu z sokiem żołądkowym • wstępne trawienie białek • niszczenie drobnoustrojów chorobotwórczych
Jelito cienkie	• jest najdłuższym odcinkiem przewodu pokarmowego • pierwszym odcinkiem jelita cienkiego jest dwunastnica, dalsze odcinki to: jelito czyste i jelito kręte • błona śluzowa jelita jest pokryta kosmkami jelitowymi	• ostateczne chemiczne trawienie pokarmu • wchłanianie produktów trawienia
Jelito grube	• jest to końcowa część przewodu pokarmowego • można w nim wyróżnić trzy odcinki: jelito ślepe, okrężnicę i odbytnicę • błona śluzowa pofałdowana, ale pozbawiona kosmków	• synteza witamin z grupy B i witaminy K dzięki florze bakteryjnej • wchłanianie wody i soli mineralnych • formowanie kału

Gruczoły przewodu pokarmowego

Gruczoły	Cechy budowy	Funkcja
Ślinianki	• trzy pary dużych ślinianek (przyuszne, podjęzykowe i podżuchwowe) oraz wiele małych ślinianek, rozmieszczonych na wargach, podniebieniu, policzkach i języku	• wydzielają ślinę nawilżającą pokarm i oczyszczającą jamę ustną z jego resztek • amylaza ślinowa rozpoczyna trawienie niektórych węglowodanów
Wątrobą	• jest największym gruczołem organizmu • do żyły wrotnej docierającej do wątroby trafiają substancje odżywcze z jelit	• wytwarza żółć, która wywołuje emulgację tłuszczów • jest filtrem dla związków wchłoniętych w przewodzie pokarmowym • magazynuje witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, witaminę B₁₂ oraz żelazo • wytwarza białka osocza, w tym heparynę i protrombinę
Trzustka	• jest to podłużny narząd ułożony poprzecznie za żołądkiem	• wydziela sok trzustkowy zawierający enzymy rozkładające wszystkie związki organiczne zawarte w pokarmie • wytwarza wodorowęglan sodu (NaHCO₃) • wydziela insulinę i glukagon

Przebieg trawienia substancji odżywczych

Składnik	Jama ustna	Żołądek	Jelito cienkie	
			dwunastnica	jelito czcze i kręte
Białka	nie zachodzi proces trawienia X	pepsyna rozkłada białka na krótsze polipeptydy i oligopeptydy	• trypsyna, chymotrypsyna rozkładają białka na oligopeptydy • karboksypeptydazy rozkładają polipeptydy i oligopeptydy na tripeptydy i dipeptydy	• aminopeptydazy rozkładają polipeptydy i oligopeptydy na dipeptydy i tripeptydy • dipeptydazy rozkładają dipeptydy na aminokwasy
Tłuszcze	nie zachodzi proces trawienia X	lipaza żołądkowa rozkłada tłuszcze występujące w formie naturalnej emulsji	• lipaza trzustkowa rozkłada zemulgowane tłuszcze do glicerolu i kwasów tłuszczowych	• lipaza jelitowa rozkłada zemulgowane tłuszcze na glicerol i kwasy tłuszczowe
Węglowodany	amylaza ślinowa wstępnie trawi skrobię i glikogen	nie zachodzi proces trawienia X	• amylaza trzustkowa rozkłada węglowodany na disacharydy	• amylaza jelitowa rozkłada polisacharydy na disacharydy • disacharydazy rozkładają disacharydy na monosacharydy
Kwasy nukleinowe	nie zachodzi proces trawienia X	nie zachodzi proces trawienia X	• nukleazy rozkładają kwasy nukleinowe na nukleotydy	• nukleazy rozkładają kwasy nukleinowe na nukleotydy

Choroby układu pokarmowego

Nazwa	Przyczyny	Objawy	Leczenie, profilaktyka
Anoreksja	złożone; prawdopodobnie stres, napięcie emocjonalne	brak łaknienia, spadek masy ciała	wymaga pomocy lekarza i psychoterapeuty
Bulimia	złożone; prawdopodobnie stres, sytuacje powodujące wzrost napięcia emocjonalnego	napady wzmożonego apetytu, wywoływanie wymiotów	leczenie wymaga pomocy lekarza i psychoterapeuty
Choroba wrzodowa	najczęściej działanie bakterii <i>Helicobacter pylori</i>	bóle w okolicach żołądka, uszkodzenie ściany przewodu pokarmowego	antybiotyki, środki zmniejszające wydzielanie kwasu solnego
Celiakia	uwarunkowane genetycznie schorzenie immunologiczne, objawiające się głównie brakiem tolerancji na gluten	biegunka, wymioty, bóle	stosowanie diety bezglutenowej
Kamica żółciowa	zaburzenia w składzie żółci powstawanie złożeń (kamieni żółciowych)	ostre bóle w okolicach wątroby	leczenie farmakologiczne lub operacyjne
Choroby bakteryjne, wirusowe i wywoływane przez protisty zwierzęce	kontakt z osobą chorą, spożycie wody lub pokarmów zawierających patogeny	stany zapalne narządów układu pokarmowego, bóle brzucha, dreszcze, wymioty, biegunka	przestrzeganie zasad higieny, obróbka ciepła pokarmu i wody, dokładne mycie surowych pokarmów
Choroby wywoływane przez płazińce i nicienie	spożycie jaj/larw znajdujących się w pokarmie lub wodzie	stany zapalne układu pokarmowego, nudności, biegunka, osłabienie organizmu, poczucie wyczerpania, utrata apetytu lub napady głodu	przestrzeganie zasad higieny, spożywanie mięsa przebadanego weterynaryjnie, mycie warzyw i owoców

Test maturalny

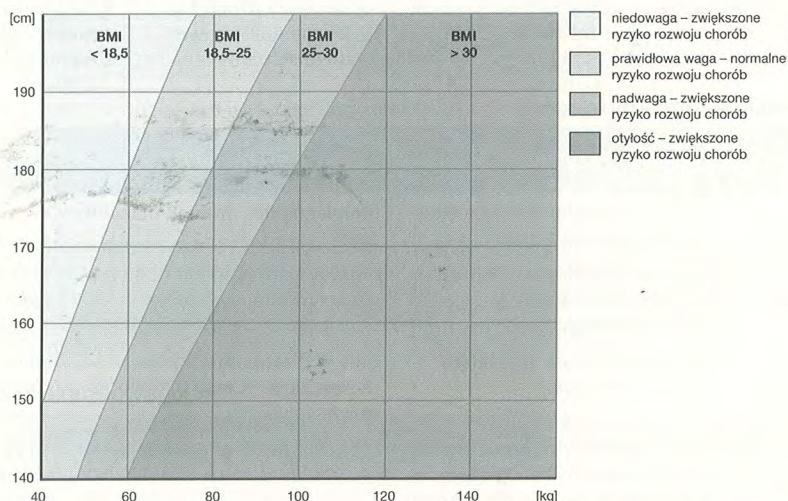
1 Dla organizmów heterotroficznych pobieranie pokarmu jest warunkiem koniecznym do przetrwania. Składniki pokarmu stanowią źródło energii, substancji budulcowych i regulatorowych.

a) Przyporządkuj składniki pokarmowe (1–6) do odpowiednich opisów (A–E). Do jednego opisu może być przyporządkowanych kilka składników.

- | | |
|--|--------------------|
| A. Niestrawione tworzą błonnik pokarmowy. | 1. Woda. |
| B. Stanowią składnik osocza. | 2. Białka. |
| C. Stanowią materiał energetyczny organizmu. | 3. Węglowodany. |
| D. Są aktywatorami enzymów w reakcjach metabolicznych. | 4. Lipidy. |
| E. Stanowią budulec błon komórkowych. | 5. Witaminy. |
| | 6. Sole mineralne. |

A., B., C., D., E.

2 Przestrzeganie zasad prawidłowego żywienia jest najważniejszą czynnością w profilaktyce otyłości i niedowagi. Tabela przedstawia wskaźnik masy ciała (BMI) z zaznaczonymi zakresami normy i odchyleń dla osoby dorosłej.



a) Podaj przybliżony, prawidłowy zakres wagi dla osoby mającej 180 cm wzrostu.

.....

b) Ustal, czy osoba ważąca 50 kg i mierząca 170 cm znajduje się w grupie podwyższonego ryzyka rozwoju wielu chorób. Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

.....

c) Podaj trzy zdrowotne następstwa otyłości.

1.

2.

3.

3 Trzustka jest gruczołem trawiennym, produkującym sok trzustkowy i hormony regulujące gospodarkę węglowodanową. Sok trzustkowy jest wodnistą wydzieliną o odczynie zasadowym, zawierającą m.in. nieaktywne formy enzymów proteolitycznych – proenzymy. Jednym z nich jest tripsyna, która w soku trzustkowym ma postać nieaktywnego trypsynogenu. Trypsynogen ulega początkowej aktywacji pod wpływem enterokinazy, natomiast w dalszym etapie nowo wytworzona cząsteczka tripsyny sama aktywuje kolejne cząsteczki trypsynogenu.

a) Zaznacz nazwę związków trawionych przez tripsynę.

A. Kwasy nukleinowe.

D. Monosacharydy.

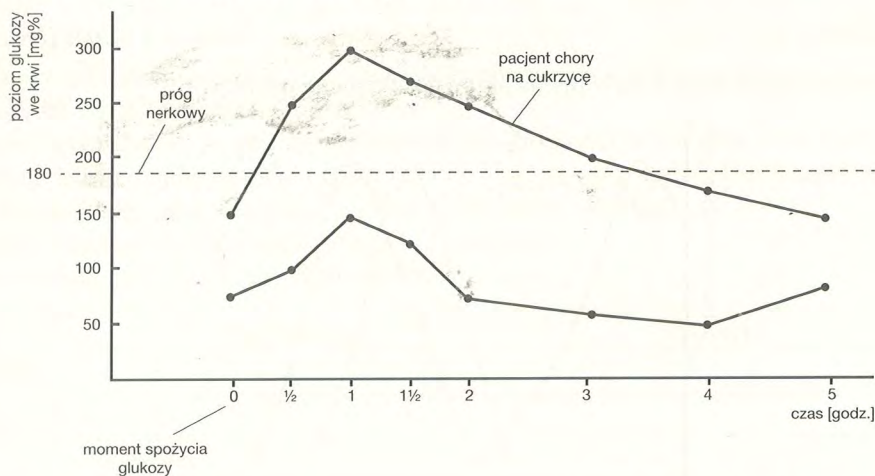
B. Białka.

E. Polisacharydy.

C. Tłuszcze.

b) Wyjaśnij, dlaczego wtórna cukrzyca może być konsekwencją przewlekłego zapalenia trzustki.

4 Cukrzyca jest chorobą metaboliczną, powodowaną upośledzeniem produkcji lub działania insuliny w organizmie. Insulina jest hormonem produkowanym przez komórki beta trzustki, a efektem jej działania jest wzmożony transport glukozy z krwi do wnętrza komórek. Wykres przedstawia porównanie zmian poziomu glukozy we krwi od momentu spożycia dawki tego cukru przez osobę chorą na cukrzycę i osobę zdrową.



a) Podaj dwie cechy różniące wykresy zmian poziomu glukozy osoby zdrowej oraz osoby chorej.

1.
2.

b) Próg nerkowy określa poziom substancji rozpuszczonej we krwi, którego przekroczenie wzyż skutkuje niedostateczną resorpcją tego związku w nerkach i pojawieniem się jego śladów w moczu. Wyjaśnij, dlaczego w diagnostyce cukrzycy wykonuje się analizę moczu pacjenta.

To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 05.2006 (PR), zad. 43.

Poniższa tabela zawiera porównanie zawartości niektórych aminokwasów egzogennych w białku zwierzęcym i roślinnym (w gramach aminokwasów na 100 gramów białka).

Aminokwas	Białko zwierzęce (wołowina)	Białko roślinne (kukurydza)	Białko roślinne (fasola)
leucyna	7,7	24,0	10,5
fenyloalanina	5,0	6,5	8,0
tryptofan	1,4	0	0
lizyna	8,2	0	7,2

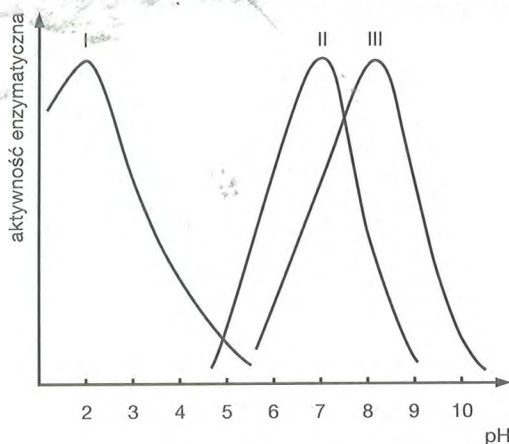
Wypisz z tabeli nazwę aminokwasu, którego niedobór w organizmie może być skutkiem diety wegetariańskiej, oraz takiego, którego najlepszym źródłem jest białko roślinne.

.....
.....

Zadanie 2. (3 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PR), zad. 7.

Na wykresach przedstawiono wpływ pH na aktywność trzech enzymów.



Uzupełnij poniższą tabelę, podając optymalne pH działania każdego z enzymów (I, II i III), oraz nazwy makrocząsteczek, które są trawione przez te enzymy w żołądku lub dwunastnicy człowieka.

Enzym	Optymalne pH	Nazwy makrocząsteczek
I		
II		
III		

Zadanie 3. (1 pkt)

Źródło: CKE 2009 (PR), zad. 13.

W soku trzustkowym występują różne enzymy trawienne rozkładające związki organiczne. Przeprowadzono doświadczenie, którego wyniki zostały zapisane w poniższej tabeli.

Nr zestawu	Zawartość probówek*	pH	Zaobserwowane zmiany po 30 minutach doświadczenia
I	2 ml wody + ścięte białko jaja kurzego + sok trzustkowy	7,0	Brak zmian w ilości białka
II	2 ml wody + ścięte białko jaja kurzego + sok trzustkowy + kilka kropli stężonego kwasu	4,0	Brak zmian w ilości białka
III	2 ml wody + ścięte białko jaja kurzego + sok trzustkowy + kilka kropli stężonej zasady	8,0	Zmniejszenie ilości białka (znaczna jego część uległa strawieniu)

* wszystkie probówki umieszczono w łaźni wodnej o temperaturze 38°C

Sformułuj problem badawczy, do którego rozwiązania posłużyło uczniom powyższe doświadczenie.

Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 2009 (PR), zad. 14.

W przewodzie pokarmowym człowieka występują różne substancje biorące pośredni lub bezpośredni udział w trawieniu pokarmu.

Spośród wymienionych poniżej substancji działających w żołądku i dwunastnicy wpisz do odpowiednich rubryk tabeli tylko te, które nie są enzymami. Dla każdej z nich podaj po jednej funkcji, jaką ona pełni w przewodzie pokarmowym.

- żołądek: kwas solny, pepsyna, podpuszczka (rennina)

- dwunastnica: amylaza, lipaza, trypsyna, żółć

	Substancja	Funkcja
Żołądek		
Dwunastnica		

Zadanie 5. (2 pkt)

Źródło: CKE 2012 (PR) zad. 12.

Przełyk jest umięśnioną rurą, której ściana zbudowana jest z dwóch warstw mięśni, dzięki którym możliwe jest przesuwanie pokarmu w kierunku żołądka.

Uwzględniając rolę mięśni przełyku, wyjaśnij, jak to jest możliwe, że człowiek stojący na głowie może jeść.

Zadanie 6. (2 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PR), zad. 19.

Gruczoły ślinowe wydzielają do jamy ustnej człowieka około 1,5 l śliny w ciągu doby. Ślina zawiera:

- α -amylazę ślinową trawiącą polisacharydy,
- lipazę ślinową zapoczątkowującą trawienie tłuszczów w żołądku (wraz z lipazą żołądkową),
- mucyny – glikoproteiny, których rolą jest zwilżenie pokarmu, sklejanie bakterii i ochrona błony śluzowej jamy ustnej,
- lizozym, który niszczy ścianę komórkową bakterii,
- laktoferynę, której rolą jest wiązanie żelaza i działanie bakteriostatyczne,
- białka bogate w prolinę, które ochraniają szkliwo zębów i wiążą toksyczne taniny.

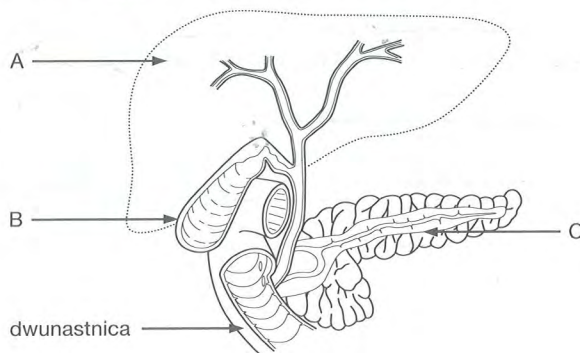
a) Wyjaśnij, dlaczego w żołądku, mimo obecności lipazy ślinowej i lipazy żołądkowej, trawienie tłuszczów odbywa się w znacznie mniejszym stopniu niż w dwunastnicy.

b) Na podstawie informacji zawartych w tekście wyjaśnij, dlaczego u chorych z niedoborem wydzielania śliny (ksero stomia) próchnica zębów występuje częściej niż u ludzi z prawidłowym wydzielaniem śliny.

Zadanie 7. (2 pkt)

Źródło: CKE 2012 (PR) zad. 11.

Na rysunku przedstawiono fragment układu pokarmowego człowieka.



Na podstawie: J. Chlebińska, *Anatomia i fizjologia człowieka*, WSiP, Warszawa 1981.

a) Podaj nazwę struktury oznaczonej na rysunku literą B i określ jej funkcję w układzie pokarmowym człowieka.

b) Zapisz literę, którą na rysunku oznaczono strukturę produkującą wydzielane do dwunastnicy enzymy trawienne. Podaj jej nazwę.



5

Układ oddechowy

1. Budowa i funkcjonowanie układu oddechowego
2. Wentylacja i wymiana gazowa
3. Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego

Fot. Nabłonek migawkowy w drogach oddechowych człowieka (mikrofotografia skaningowa).

1

Budowa i funkcjonowanie układu oddechowego

Człowiek uzyskuje energię niezbędną do życia w procesie oddychania tlenowego. Wiąże się to z koniecznością dostarczania tlenu do organizmu i usuwania z niego dwutlenku węgla. Nieustanną wymianę gazową zapewnia układ oddechowy składający się z dróg oddechowych i płuc.

■ Drogi oddechowe

Drogi oddechowe to system kanałów, którymi przemieszcza się powietrze. Górne drogi oddechowe składają się z jamy nosowej i gardła, natomiast dolne drogi oddechowe – z krtani, tchawicy i oskrzeli głównych.

Jama nosowa jest podzielona na dwie części pionową przegrodą nosa. Jamę wyścieła błona śluzowa obficie unaczyniona i zaopatrzona w liczne gruczoły śluzowe, dzięki czemu

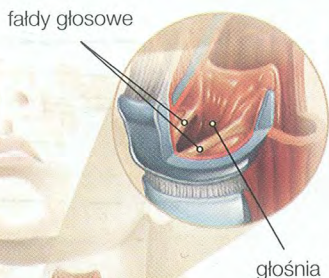
wdychane powietrze zostaje ogrzane i nawilżone. Błonę tę pokrywa nabłonek zaopatrzony w rzęski, odpowiedzialny za oczyszczanie powietrza. W szczytowej części jamy nosowej znajdują się liczne receptory węchu. Jama nosowa jest połączona z **zatokami przynosowymi**, które służą m.in. jako rezonatory głosu. Kształt i wielkość zatok wpływają na barwę głosu. Powietrze z jamy nosowej kieruje się do **gardła**, które jest równocześnie odcinkiem przewodu pokarmowego, a następnie do krtani.

Krtań ma długość 4–6 cm i jest nie tylko częścią dróg oddechowych, ale również narządem głosu. Szkielet krtani jest utworzony z **dziewięciu chrząstek** połączonych za pomocą więzadeł i mięśni. Jedną z większych chrząstek krtani jest **łatwo wyczuwalna** w przedniej części szyi **chrząstka tarczowata** zbudowana z **dwóch**

Powstawanie głosu

Głos powstaje w części krtani nazywanej **głośnią**. Tworzą ją rozpięte pomiędzy chrząstkami krtani **fałdy głosowe** (potoczna nazwa: **struny głosowe**) oraz znajdująca się między nimi **szpara głośni**. Fałdy głosowe zbudowane są z **więzadeł i mięśni**, natomiast szparę głośni tworzy szczelina znajdująca się między fałdami głosowymi. Przechodzące przez nią powietrze powoduje drgania fałdów głosowych i powstawanie dźwięków. Rodzaj dźwięków oraz ich wysokość zależą od długości i stanu napięcia **strun głosowych**. Mężczyźni mają dłuższe fałdy głosowe, dlatego ich głos jest **niższy** od głosu kobiet i dzieci.

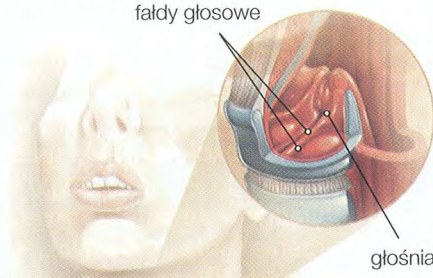
fałdy głosowe



głośnia

Głośnia jest **najwęższą częścią krtani**. Kiedy szpara głośni jest szeroka, powietrze przechodzi przez nią swobodnie, nie powodując powstawania dźwięków.

fałdy głosowe



głośnia

Kiedy szpara głośni jest **wąska**, przechodzące powietrze powoduje drganie fałdów głosowych, które stają się **źródłem dźwięków**.

szczelina szczelna => braku
głosu => nie powstają

Układ oddechowy człowieka

W układzie oddechowym wyróżniamy drogi oddechowe, które doprowadzają powietrze do płuc, oraz właściwy narząd wymiany gazowej – płuca.

Jama nosowa jest pierwszym odcinkiem dróg oddechowych. Tu powietrze zostaje oczyszczone, ogrzane i nawilżone.

Gardło to wspólny odcinek układu pokarmowego i układu oddechowego. Na jego końcu znajduje się wejście do przełyku i krtani.

Krtień, zbudowana z połączonych ze sobą chrząstek, jest narządem głosu. Jedną z chrząstek – **nagłośnia** – umożliwia przedostawanie się pokarmu do dróg oddechowych.

Tchawica to elastyczny przewód zbudowany z chrząstek o kształcie podkowy.

Oskrzelki główne wnikają do płuc, gdzie każde z nich tworzy liczne rozgałęzienia.

Płuca są parzystym narządem wymiany gazowej, zbudowanym z milionów pęcherzyków płucnych.

Pory międzypęcherzykowe zapewniają dostęp powietrza do wszystkich pęcherzyków, gdy niedrożne są pojedyncze oskrzeliki. Umożliwiają także przemieszczanie się komórek układu odpornościowego.

Pęcherzyki płucne oplata gęsta sieć włosowatych naczyń krwionośnych. Ściany pęcherzyków, podobnie jak ściany otaczających je naczyń włosowatych, są zbudowane z pojedynczej warstwy komórek nabłonka. Powietrze w pęcherzykach jest więc oddzielone od krwi tylko dwiema cienkimi błonami. W naczyniach włosowatych krwinki płyną powoli, jedna za drugą, co dodatkowo usprawnia wymianę gazową.



Nabłonek dróg oddechowych (mikro-fotografia skaningowa) jest zaopatrzony w rzęski, które przesuwają zanieczyszczenia do gardła, gdzie są one polykane lub odkrztuszane.

plytek połączonych ze sobą pod określonym kątem. Kąt ten zależy od płci i wieku. Jest większy u dzieci i kobiet (ok. 120°) niż u mężczyzn (ok. 90°). To dlatego chrząstka tarczowata u mężczyzn jest czasem dobrze widoczna na zewnątrz jako wyniosłość krtaniowa zwana jabłkiem Adama.

Kolejnym odcinkiem dróg oddechowych jest **tchawica** – przewód o długości ok. 10–15 cm. Jej rusztowanie tworzą chrząstki o kształcie zbliżonym do podkowy. Utrzymują one drożność tchawicy i zapobiegają zapadaniu się jej ścian. Ruch rzęsek nabłonka migawkowego wyściełającego wnętrze tchawicy jest skierowany w stronę krtani, co ułatwia usuwanie zanieczyszczeń i zapobiega dostawianiu się ich do płuc.

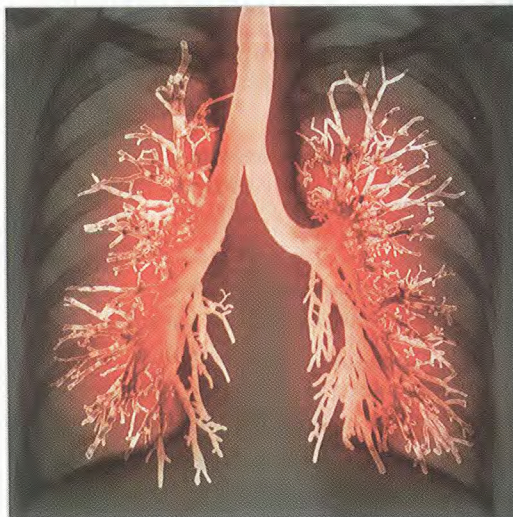
Tchawica rozgałęzia się na dwa **oskrzela główne**. Wnikają one do płuc, gdzie tworzą system odgałęzień o coraz mniejszej średnicy, tzw. **drzewo oskrzelowe**. Oskrzele prawe jest wyraźnie krótsze i grubsze od oskrzela lewego.

■ Płuca

Płuca są parzystym narządem, w którym dochodzi do wymiany gazów między wdychanym powietrzem a krwią. Ze względu na to, że serce leży w większej części po lewej stronie ciała, płuco lewe jest mniejsze od płuca prawego. Każde płuco jest podzielone na płaty zaopatrywane w powietrze przez odgałęzienia oskrzeli głównych, zwane **oskrzelami płatowymi**. Płuco prawe składa się z trzech płatów, płuco lewe z dwóch płatów. Pomiędzy płatami znajdują się szczeliny. Zdaniem wielu naukowców poprawiają one warunki dynamiki płuc, ponieważ przebiegają w płaszczyznach największych napięć, które mogą się zmniejszać na skutek przesuwania się płatów względem siebie.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij rolę układu oddechowego w funkcjonowaniu organizmu.
2. Wymień nazwy kolejnych odcinków dróg oddechowych i określ funkcje tych odcinków.
3. Opisz rolę zatok przynosowych. Określ ich położenie.
4. Wyjaśnij, czym jest występujące u mężczyzn tzw. jabłko Adama.
5. Opisz, w jaki sposób powstaje ludzki głos oraz od czego zależy jego wysokość i natężenie.
6. Wskaż cechy budowy płuc, które są wyrazem ich przystosowania do wymiany gazowej.



Drzewo oskrzelowe (zdjęcie rentgenowskie barwione komputerowo) to system odgałęzień rozprowadzających powietrze w płatach płuc.

Każdy z płatów stanowi odrębną jednostkę czynnościową, zwaną **segmentem oskrzelowo-płucnym**. Tutaj docierają odgałęzienia oskrzeli płatowych – **oskrzela segmentowe**. One także dzielą się na mniejsze struktury. Ich najdrobniejsze odgałęzienia, niezawierające już chrząstek, mają średnicę ok. 0,5–1,0 mm i noszą nazwę **oskrzelików końcowych**. Oskrzeliki końcowe dzielą się na oskrzeliki oddechowe, w których ścianach występują **pęcherzyki płucne**. **Pęcherzyki płucne** tworzą grona, które są anatomicznymi i czynnościowymi jednostkami płuca. Ściany pęcherzyków płucnych są zbudowane z pojedynczej warstwy komórek nabłonkowych i są oplecione gęstą siecią włosowatych naczyń krwionośnych. Oba płuca zawierają 300–450 mln pęcherzyków, co daje w efekcie ok. 100 m^2 powierzchni oddechowej.

oskrzela:
główne,
płatowe,
segmentowe,
końcowe
pęcherzyki
płucne

2

Wentylacja i wymiana gazowa

Wszystkie organizmy potrzebują energii do wykonywania czynności życiowych. Powstaje ona w procesie **oddychania komórkowego**, podczas którego składniki pokarmowe (głównie glukoza) są utleniane do dwutlenku węgla i wody. Oddychanie komórkowe przebiega najczęściej z udziałem tlenu, ponieważ w ten sposób komórki zyskują najwięcej energii. Wiąże się to jednak z koniecznością dostarczenia tlenu do komórek oraz przetransportowania dwutlenku węgla z komórek na zewnątrz organizmu. Proces pobierania tlenu i usuwania dwutlenku węgla nosi nazwę **wymiany gazowej**. Następuje on dzięki wentylacji płuc, czyli wymianie powietrza w płucach. Wentylację płuc z kolei umożliwiają naprzemiennie wykonywane wdechy i wydechy. Wentylacja jest czynnością odruchową, odbywającą się bez udziału świadomości, wykonywaną rytmicznie, kilkanaście razy w ciągu minuty (w spoczynku ok. 12–15 razy na minutę).

■ Wentylacja płuc

Wentylacja płuc jest możliwa dzięki odpowiednim mięśniom oddechowym. Są to:

- ▶ **mięśnie międzyżebrowe**, które znajdują się między poszczególnymi żebrami,
- ▶ **przepona**, płaski mięsień położony między jamą klatki piersiowej a jamą brzuszną.

Wdech jest **aktem czynnym**, ponieważ odbywa się dzięki pracy mięśni oddechowych. Podczas wdechu:

- ▶ skurcz mięśni międzyżebrowych powoduje przesunięcie żeber ku przodowi, górze i równocześnie na boki,
- ▶ skurcz przepony powoduje jej obniżenie się.

Działanie mięśni oddechowych prowadzi do zwiększenia objętości klatki piersiowej. W rozciąganych pęcherzykach płucnych ciśnienie powietrza spada o 2–3 mm Hg poniżej ciśnienia atmosferycznego. Na skutek powstającej różnicy ciśnień powietrze atmosferyczne wypełnia płuca.

Wydech jest **aktem biernym**, co oznacza, że zmniejszenie objętości klatki piersiowej i usunięcie zużytego powietrza z pęcherzyków odbywa się bez udziału pracy mięśni. W jego trakcie następuje rozkurcz mięśni oddechowych, który powoduje zmniejszenie objętości klatki piersiowej. To z kolei sprawia, że ciśnienie powietrza w pęcherzykach płucnych wzrasta powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego i powietrze zostaje usunięte z płuc. W pewnych sytuacjach, np. podczas śmiania się, wydawania głosu lub przy niektórych odruchach układu oddechowego (kichanie, kaszel, ziewanie), obserwuje się jednak wydechy aktywne, wymagające pracy przepony i mięśni międzyżebrowych, a nawet mięśni brzucha i grzbietu.

Podczas wentylacji płuc mogą przeważać ruchy żeber (oddychanie piersiowe) lub przepony (oddychanie brzuszne). Oddychanie piersiowe jest charakterystyczne dla kobiet (nasila się w okresie ciąży), natomiast oddychanie brzuszne jest typowe dla mężczyzn i osób cierpiących z powodu chorób płuc.

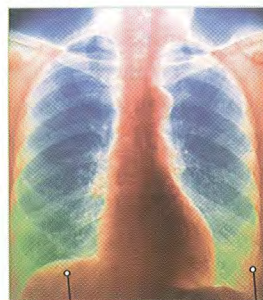
Warto zajrzeć!



<http://www.youtube.com/watch?v=yWnlhcqJIRk>

<http://www.youtube.com/watch?v=NSEzg6TBheY>

Wdech



przepona

Wydech



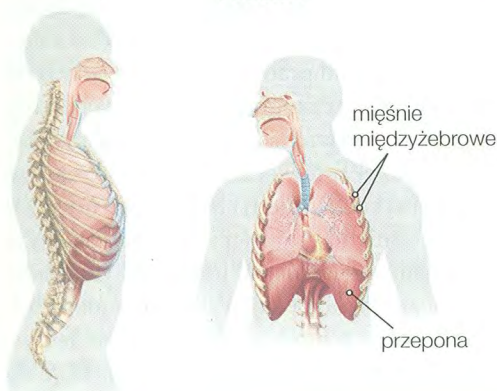
mięśnie międzyżebrowe

Płuca podczas wdechu i wydechu (zdjęcia rentgenowskie barwione komputerowo). W wentylacji płuc uczestniczą przepona i mięśnie oddechowe.

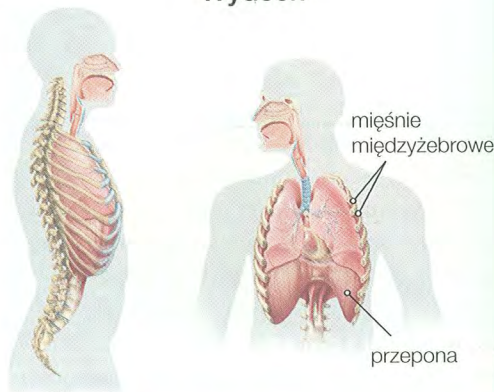
Mechanizm wentylacji płuc

Wymiana powietrza w płucach, czyli wentylacja płuc, zachodzi dzięki zmianom objętości klatki piersiowej. Umożliwiają to skurcze i rozkurcze mięśni oddechowych.

Wdech



Wydech



Wdech

- skurcz przepony i mięśni międzyżebrowych
- zwiększenie objętości klatki piersiowej
- spadek ciśnienia w pęcherzykach płucnych (poniżej ciśnienia atmosferycznego (wytworzenie podciśnienia) *(zasysanie powietrza)*)
- napływ powietrza do płuc

Wydech

- rozluźnienie przepony i mięśni międzyżebrowych
- zmniejszenie objętości klatki piersiowej
- wzrost ciśnienia w pęcherzykach płucnych powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego (wytworzenie nadciśnienia) *(wypychanie powietrza)*
- usunięcie powietrza z płuc

■ Rola opłucnej

Każde płuco jest otoczone podwójną błoną, zwaną **opłucną**. Błazka wewnętrzna opłucnej (opłucna płucna) bezpośrednio pokrywa płuco, wnikając w jego szczeliny. Błazka zewnętrzna opłucnej (opłucna ścienna) wyścieła klatkę piersiową. Niewielka przestrzeń między obiema blaszkami nosi nazwę jamy opłucnej i jest wypełniona płynem surowiczym. Obecność płynu zmniejsza tarcie między powierzchnią płuc a ścianami klatki piersiowej w czasie ruchów oddechowych. W jamie opłucnej panuje ciśnienie niższe od ciśnienia powietrza atmosferycznego. Jest to jeden z mechanizmów utrzymujących pęcherzyki płucne w stanie napięcia – dzięki niemu ściany pęcherzyków płucnych nie zapadają się. Dodatkowo pęcherzyki płucne są pokryte **surfaktantem** – białkowo-lipidowym czynnikiem powierzchniowym, zapobiegającym ich sklejanemu się.

■ Pojemność płuc

Całkowita pojemność płuc, czyli maksymalna objętość gazów, która może się zmieścić w płucach, zależy od płci, wieku, rozmiarów ciała (masy i wzrostu), trybu życia i stanu zdrowia. U dorosłego człowieka wynosi ok. 5 l powietrza. **Pojemność życiowa płuc** to ilość powietrza wprowadzonego do płuc przy maksymalnym wdechu, poprzedzonym maksymalnym wydechem. Wynosi ona ok. 4 l. Pozostałą część (ok. 1 l) stanowi powietrze zalegające w pęcherzykach płucnych. Objętość powietrza, które dostaje się do płuc przy spokojnym wdechu lub zostaje usunięte podczas spokojnego wydechu, to ok. 0,5 l. Jest ona określana jako **objętość oddechowa**. Pogłębiając wdech, można zmieścić w płucach dodatkowe 2,5 l powietrza (objętość zapasowa wdechowa), natomiast pogłębiając wydech można usunąć dodatkowo ok. 1 l powietrza (objętość zapasowa wydechowa).

Pojemność płuc		
Całkowita pojemność płuc (5 dm ³)	pojemność życiowa płuc (4 dm ³)	objętość zapasowa wdechowa (2,5 dm ³)
		objętość oddechowa (0,5 dm ³)
		objętość zapasowa wydechowa (1 dm ³)
	powietrze zalegające (1 dm ³)	

■ Regulacja częstości oddechów

O częstości wykonywanych oddechów decyduje **ośrodek oddechowy**, który jest umiejscowiony w części mózgowia nazywanej **rdzeniem przedłużonym**. W skład ośrodka oddechowego wchodzi:

- ▶ **ośrodek wdechu**, którego neurony rozpoczynają czynność oddechową, wysyłając impulsy pobudzające mięśnie wdechowe,
- ▶ **ośrodek wydechu**, pobudzający mięśnie wydechowe podczas wydechów aktywnych.

O naprzemiennym występowaniu wdechu i wydechu decyduje **ośrodek pneumatyczny**.

Liczba oddechów zmienia się w zależności od zawartości gazów oddechowych w powietrzu atmosferycznym lub zapotrzebowania organizmu, np. wzrasta podczas wysiłku fizycznego, a maleje podczas snu.

Ośrodek oddechowy reaguje przede wszystkim na wzrost stężenia CO₂. Dwutlenek węgla reaguje z wodą zawartą w osoczu krwi, tworząc kwas węglowy (H₂CO₃), który dysocjuje na jony H⁺ i HCO₃⁻. Zwiększenie stężenia jonów H⁺ obniża pH krwi poniżej tolerowanej wartości (pH = 7,35). Rejestrują to wyspecjalizowane komórki receptorowe rdzenia przedłużonego oraz

chemoreceptory ścian aorty i tętnicy szyjnej. Pobudzony przez nie ośrodek oddechowy wysyła za pomocą neuronów dyspozycje do mięśni oddechowych, które zwiększają tempo i głębokość oddechów. Sytuacja taka utrzymuje się do czasu, aż pH krwi osiągnie prawidłową wartość. Znaczący spadek stężenia O₂ we krwi tętniczej (np. podczas przebywania na dużych wysokościach) również wpływa na ośrodek oddechowy, w konsekwencji zwiększając wentylację.

■ Czy wiesz, że...

Płuca płodu nie są wypełnione powietrzem, a jego krew zawiera niewielką ilość dwutlenku węgla wskutek ciągłej wymiany gazowej między krwią matki a jego krwią za pośrednictwem łożyska. Pierwszy wdech wykonuje dziecko w czasie porodu, kiedy następuje przerwanie krążenia łożyskowego, nagromadzenie dwutlenku węgla we krwi i pobudzenie ośrodka oddechowego.

■ Wymiana gazowa w płucach i tkankach

Wdychane powietrze zawiera głównie azot, tlen i dwutlenek węgla. Składniki powietrza wydychanego są takie same, inna jest jednak ich ilość. Skład powietrza wdychanego i skład powietrza wydychanego świadczą o tym, że następuje wymiana gazowa. Odbyna się ona na zasadzie dyfuzji, a jej kierunek i tempo są uwarunkowane różnicą ciśnień cząstkowych (parcjalnych) gazów. Każdy gaz przenika ze środowiska o wyższym ciśnieniu cząstkowym do środowiska, w którym to ciśnienie jest niższe. Wyróżniamy wymianę gazową zewnętrzną oraz wymianę gazową wewnętrzną. **Wymiana gazowa zewnętrzna**

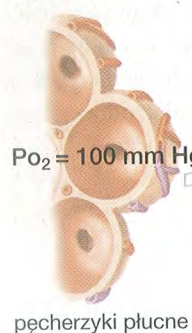
Porównanie procentowego składu powietrza atmosferycznego, pęcherzykowego i wydychanego

Gaz	Powietrze atmosferyczne (wdychane)	Powietrze w pęcherzykach płucnych	Powietrze wydychane
Tlen	20,9%	13,6%	15,7%
Dwutlenek węgla	0,03%	5,3%	3,6%
Azot oraz gazy szlachetne	79,1%	74,9%	74,5%
Para wodna	1%	6,2%	6,2%

Wymiana gazowa zewnętrzna i wewnętrzna

Transport i ciśnienie parcjalne tlenu

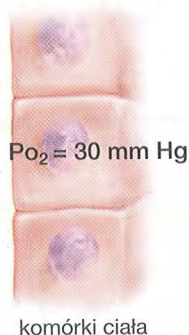
Wymiana gazowa zewnętrzna


 $P_{O_2} = 100$
 $P_{O_2} = 40$

krew
natlenowana

krew
odtlenowana

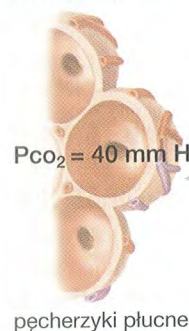
Wymiana gazowa wewnętrzna


 $P_{O_2} = 96$
 $P_{O_2} = 40$

komórki ciała

Transport i ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla

Wymiana gazowa zewnętrzna


 $P_{CO_2} = 40$
 $P_{CO_2} = 46$

krew
natlenowana

krew
odtlenowana

Wymiana gazowa wewnętrzna


 $P_{CO_2} = 40$
 $P_{CO_2} = 46$

komórki ciała

odbywa się między pęcherzykami płucnymi a krwią. Z powietrza znajdującego się w pęcherzykach płucnych do krwi przepływającej przez naczynia włosowate przedostaje się tlen, a w kierunku odwrotnym przenika dwutlenek węgla.

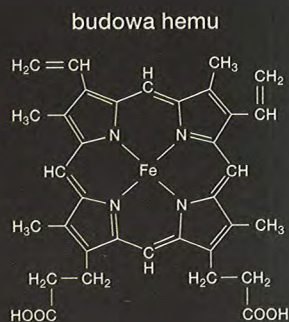
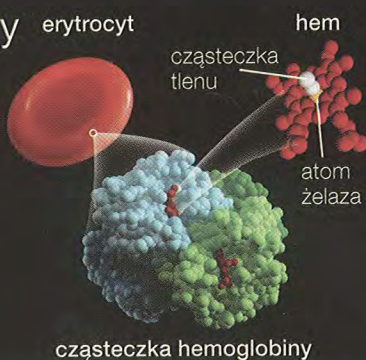
Wymiana gazowa wewnętrzna zachodzi między komórkami a krwią. Krew opuszczająca płuca zawiera znaczną ilość tlenu. Dociera do wszystkich komórek ciała, gdzie tlen jest stale zużywany podczas oddychania komórkowego, a ubocznym produktem tego procesu jest dwutlenek węgla. W efekcie zawartość tlenu w komórkach jest zawsze mniejsza, a dwutlenku węgla większa niż we krwi. Gazy dyfundują więc ponownie zgodnie z różnicą ciśnień cząstkowych: tlen z krwi do komórek, a dwutlenek węgla z komórek do krwi.

■ Udział krwi w transporcie tlenu i dwutlenku węgla

Transport gazów oddechowych odbywa się przy udziale krwinek czerwonych i osocza. Cząsteczki tlenu po przejściu przez ściany pęcherzyka płucnego i naczynia włosowatego rozpuszczają się w osoczu, po czym natychmiast dyfundują do erytrocytów. Tam wiążą się odwracalnie z hemoglobiną (białko transportujące tlen), a dokładnie z Fe^{2+} hemu. Jedna cząsteczka hemoglobiny wiąże cztery cząsteczki tlenu, tworząc **oksyhemoglobinę** – $Hb(O_2)_4$. Wiązanie tlenu z hemoglobiną nosi nazwę **utlenowania** (nie należy mylić z utlenianiem), ponieważ cząsteczka tlenu łączy się w ten sposób, że nie zmienia wartościowości żelaza. Krew utlenowana (tętnicza) ma jasnoczerwoną barwę.

Budowa hemoglobiny erycyty

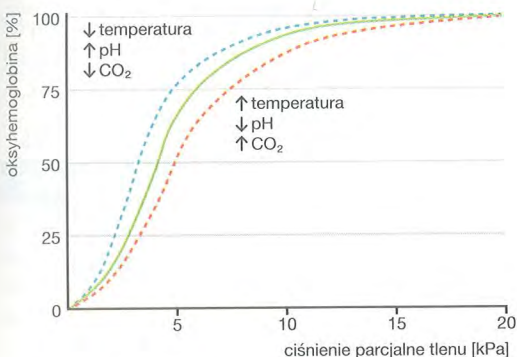
Cząsteczka hemoglobiny jest zbudowana z czterech łańcuchów białkowych, z których każdy zawiera jedną cząsteczkę hemu. W centrum cząsteczki hemu znajduje się dwuwartościowy jon żelaza (Fe^{2+}), który umożliwia wiązanie cząsteczek tlenu.



Reakcja łączenia hemoglobiny z tlenem jest odwracalna i może przebiegać w obu kierunkach, w zależności od warunków, m.in. temperatury i pH. Jednak o kierunku jej przebiegu decyduje przede wszystkim wartość ciśnienia cząstkowego tlenu. W tkankach ciśnienie parcjalne tlenu jest niskie, dlatego następuje rozpad oksyhemoglobiny i uwolnienie tlenu, który dyfunduje do tkanek, gdzie jest zużywany w procesie oddychania komórkowego. Odtlenowana hemoglobina ma zabarwienie purpurowe, dlatego krew odtlenowana (żylna) jest ciemnoczerwona.

Stopień wysycenia hemoglobiny tlenem, czyli równowaga pomiędzy wiązaniem hemoglobiny z tlenem a uwalnianiem tlenu z oksyhemoglobiny, zależy od:

▶ ciśnienia parcjalnego tlenu (Po_2),



Krzywa ciągła przedstawia ilość oksyhemoglobiny w zależności od ciśnienia cząstkowego tlenu. Informacje umieszczone po jej lewej stronie dotyczą czynników sprzyjających wiązaniu tlenu przez hemoglobinę, natomiast po prawej – czynników sprzyjających jego oddawaniu.

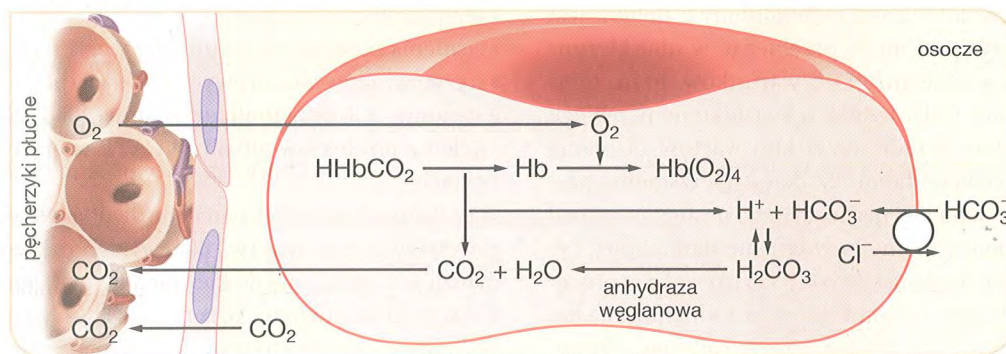
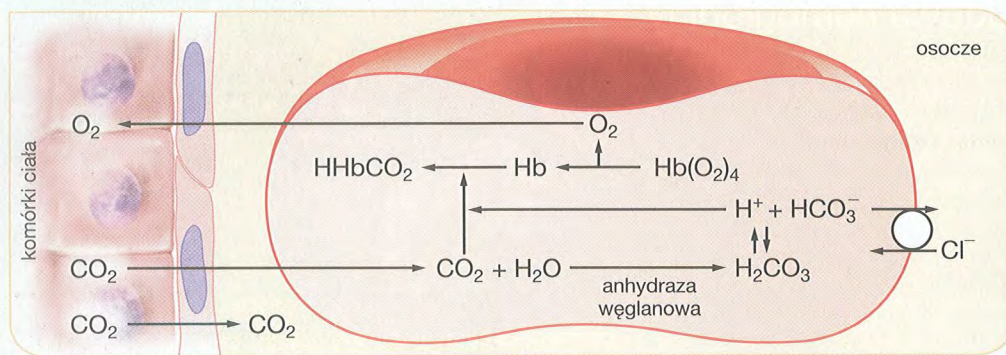
- ▶ temperatury,
- ▶ ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla (Pco_2),
- ▶ stężenia jonów wodorowych we krwi (pH),
- ▶ stężenia 2,3-difosfoglicerynianu (2,3-DPG, jeden z produktów glikolizy) i ATP w erytrocytach.

W tkankach ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla jest wyższe niż we krwi, dlatego kierunek jego dyfuzji jest przeciwny do kierunku dyfuzji tlenu. Cząsteczki dwutlenku węgla przenikają z tkanek do krwi i są transportowane w różnej postaci:

- ▶ ok. 10%, jako **rozpuszczony fizycznie dwutlenek węgla** w płynie osocza;
- ▶ ok. 20% przenika do erytrocytów, gdzie wiąże się z białkową częścią hemoglobiny, tworząc **karbaminohemoglobinę** (HbCO_2);
- ▶ ok. 70% w postaci **jonów wodorowęglanowych**. Dwutlenek węgla (CO_2), który wnikał do erytrocytów, reaguje (pod wpływem enzymu – anhidrazy węglanowej) z wodą (H_2O), dając kwas węglowy (H_2CO_3). Jest to związek nietrwały, który natychmiast dysocjuje na kationy wodoru (H^+) i aniony wodorowęglanowe (HCO_3^-). Te ostatnie przenikają do osocza, stanowiąc podstawową formę transportową dwutlenku węgla i zapewniając utrzymanie równowagi kwasowo-zasadowej w organizmie. Dla zachowania równowagi jonowej do erytrocytów wnikają jony chlorkowe.

W płucach zachodzą reakcje odwrotne. Karbaminohemoglobina uwalnia tlen, z jonów wodoru i wodorowęglanowych powstaje kwas węglowy, który rozpada się na dwutlenek węgla i wodę, usuwane z wydychanym powietrzem.

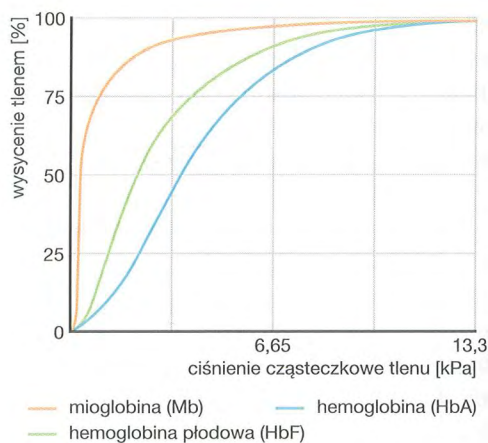
Mechanizm transportu gazów oddechowych



■ Mięśnie – organy o szczególnym zapotrzebowaniu na tlen

Pracujące mięśnie szkieletowe nieustannie potrzebują tlenu do uzyskiwania energii. Białkiem magazynującym tlen w mięśniach jest **mioglobina**, której cząsteczki, podobnie jak cząsteczki hemoglobiny, zawierają żelazo na drugim stopniu utlenienia (Fe^{2+}). Powinowactwo mioglobiny do tlenu jest większe niż hemoglobiny, dlatego kiedy utlenowana krew przepływa przez mięśnie, tlen odłącza się od hemoglobiny i wiąże się odwracalnie z mioglobiną. Uwalnianie tlenu przez mioglobinę jest jednak trudniejsze niż jego wiązanie – następuje dopiero wówczas, gdy ciśnienie cząstkowe tlenu w mięśniach jest bardzo niskie.

Na podobnej zasadzie odbywa się dostarczanie tlenu do organizmu płodu w czasie ciąży. Hemoglobina występująca u płodu (HbF) łatwiej łączy się z tlenem niż hemoglobina występująca u osób dorosłych (HbA). Dzięki temu w łożysku następuje przekazywanie tlenu z krwi matki do krwi dziecka.



Porównanie wiązania tlenu przez hemoglobinę i mioglobinę.

■ Wpływ ciśnienia zewnętrznego na wymianę gazową

Zmiany ciśnienia atmosferycznego pociągają za sobą zmiany ciśnienia cząstkowego poszczególnych gazów. Przyjmuje się, że ciśnienie atmosferyczne na poziomie morza wynosi

1 atmosferę (skrót: atm), czyli 1013,25 hPa (760 mm Hg), a ciśnienie parcjale tlenu w tych warunkach – 212,8 hPa (159 mm Hg). Wraz ze wzrostem wysokości powyżej poziomu morza obserwuje się spadek ciśnienia, co z kolei powoduje zmniejszenie ciśnienia cząstkowego gazów w powietrzu. Na wysokości 5500 m n.p.m. ciśnienie atmosferyczne jest równe połowie wartości ciśnienia na poziomie morza (ok. 507 hPa). Ciśnienie parcjale tlenu wynosi także połowę swej wartości, czyli ok. 106 hPa (ok. 80 mm Hg). W takich warunkach osoby niezaaklimatyzowane tracą przytomność z powodu braku tlenu. W trakcie dłuższego przebywania na dużych wysokościach organizm adaptuje się do nowych warunków. Jedną z pierwszych reakcji jest zwiększenie głębokości oraz częstości oddechów w celu poprawienia wentylacji płuc. Następnie zwiększa się także tempo skurczów serca, wpływając na wzrost wydajności transportowej krwi. Przy dłuższej trwającym niedotlenieniu obserwuje się również zmiany we krwi, polegające na zwiększeniu liczby erytrocytów (nawet do 8 mln/ml) oraz ilości hemoglobiny.

Podobnie jak spadek ciśnienia, tak i jego wzrost powoduje zmianę warunków wymiany gazowej. Podczas nurkowania wzrost ciśnienia zewnętrznego zwiększa rozpuszczanie się w tkankach gazów zawartych w powietrzu oddechowym. Szczególne znaczenie mają zmiany zawartości azotu. Przy ciśnieniu panującym na poziomie morza w tkankach człowieka znajduje się ok. 1 l azotu. Wzrost ciśnienia zewnętrznego



W wysokich górach zbyt niskie ciśnienie parcjale tlenu może powodować utratę przytomności, dlatego himalaiści podczas wypraw korzystają z aparatów tlenowych.

o 1 atm (1 atm przypada na każde 10 m zanurzenia) powoduje rozpuszczenie dodatkowego 1 l gazu. Po przekroczeniu 30 m gromadzący się w organizmie azot ma działanie podobne do alkoholu.

Z kolei podczas wynurzania ciśnienie maleje i następuje wydzielanie się gazów do przestrzeni międzykomórkowych i krwi. Jeśli wynurzanie przebiega zbyt szybko, gromadzące się pęcherzyki tworzą zatory gazowe, które blokują przepływ krwi w naczyniach krwionośnych i są przyczyną uszkodzenia tych naczyń. Skutki zbyt szybkiego wynurzania się noszą nazwę choroby dekompresyjnej (kesonowej). W jej profilaktyce stosuje się powolne, wieloetapowe wynurzanie, które pozwala na stopniowe usuwanie uwolnionego azotu przez układ oddechowy.

Polecenia kontrolne

1. Określ zależność między oddychaniem, wentylacją a wymianą gazową.
2. Podaj różnice między mechanizmem wdechu a mechanizmem wydechu.
3. Wymień czynniki, które wpływają na częstość oddechów.
4. Określ warunki, w jakich dochodzi do dyfuzji gazów w pęcherzykach płucnych i tkankach.
5. Wykaż związek między budową hemoglobiny a jej rolą w transporcie tlenu.
6. Określ, jak temperatura, pH i ciśnienie cząstkowe CO_2 wpływają na uwalnianie tlenu z oksyhemoglobiny.
7. Wymień formy, w jakich dwutlenek węgla jest transportowany we krwi.
8. Powiedz, jakie problemy oddechowe mogą wystąpić u ludzi przebywających na dużych wysokościach lub głębokościach.

3

Zaburzenia funkcjonowania układu oddechowego

Człowiek w ciągu doby zużywa 8–14 tys. l powietrza. Ze względu na tak dużą objętość bardzo ważna jest jego jakość. Decydują o niej:

- ▶ stężenie szkodliwych substancji utrzymujących się w powietrzu przez dłuższy czas,
- ▶ temperatura (optymalny zakres to 18–20°C),
- ▶ wilgotność (optymalny zakres to 40–60%).

Czynniki te wpływają na ciśnienie cząstkowe gazów oddechowych, a tym samym na wymianę gazową zewnętrzną.

■ Zanieczyszczenia powietrza

Zanieczyszczeniami powietrza nazywa się wszelkie substancje pochodzenia naturalnego oraz powstające w wyniku działalności człowieka, które znajdują się w powietrzu atmosferycznym, a nie są jego naturalnymi składnikami.

Zanieczyszczenia pyłowe powstają podczas spalania, kruszenia lub ścierania substancji stałych. Ich emisja towarzyszy niemal wszystkim procesom produkcyjnym. Znaczna część tych zanieczyszczeń, np. pyły miedzi, glinu, żelaza, ołowiu, piaskowe, węglowe, ma pochodzenie nieorganiczne. Pochodzenie organiczne mają pyły roślinne (np. pyłki drzew) lub zwierzęce (np. pył wełniany). Wielkość cząsteczek pyłu waha się w granicach od 0,001 do kilkuset

mikrometrów. Dla zdrowia człowieka najbardziej niebezpieczne są najmniejsze cząstki pyłu, które nie są zatrzymywane w początkowych odcinkach dróg oddechowych.

Zanieczyszczenia gazowe powstają głównie podczas spalania paliw kopalnych – węgla kamiennego i brunatnego, ropy naftowej oraz gazu ziemnego. Należą do nich m.in. **tlenki węgla, siarki i azotu**. Powodują one podrażnienie oczu, skóry, dróg oddechowych, uporczywy kaszel, bóle głowy. Zaburzają też pracę układu krążenia, np. tlenek węgla – CO (czad) – łatwiej łączy się z hemoglobiną niż tlen, powodując niedotlenienie organizmu, a w skrajnych wypadkach – śmierć. Zanieczyszczenia gazowe sprzyjają infekcjom. Przykładowo tlenek siarki(IV) reaguje z wodą obecną w drogach oddechowych, tworząc kwas siarkowy(VI). Uszkadza on ochronną warstwę śluzu i w ten sposób ułatwia wnikanie drobnoustrojów chorobotwórczych do organizmu.

Wśród zanieczyszczeń gazowych szczególnie niebezpieczną grupę stanowią wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne. Jednym z nich jest **benzopiren** – związek o silnych właściwościach **rakotwórczych**. Jest on ubocznym produktem przeróbki węgla i jednym ze składników spalin samochodowych oraz dymu tytoniowego.

Zanieczyszczenia mikrobiologiczne stanowią głównie **wirusy, bakterie i grzyby**. Powietrze jest środowiskiem, w którym nie mogą one rosnąć i dzielić się, dlatego przebywają w nim tylko okresowo. Bakterie występują w formie **wegetatywnej** i w postaci **endospor**, grzyby najczęściej w formie **zarodników** lub **fragmentów grzybni**, a pasożytnicze płazińce i nicienie w postaci **jaj** lub **cyst**. Unoszą się one na cząstkach pyłów lub pary wodnej, a ich liczba w litrze powietrza może wynosić od kilku do tysiąca. Zanieczyszczenia mikrobiologiczne przedostają się do dróg oddechowych z wdychanym powietrzem, stając się przyczyną wielu chorób. Taki sposób wnikania czynników chorobotwórczych do organizmu nazywa się **zakażeniem drogą kropelkową**.



Zapylenie powietrza w miastach może być szczególnie niebezpieczne dla osób z chorobami układu krążenia, kobiet w ciąży i małych dzieci.

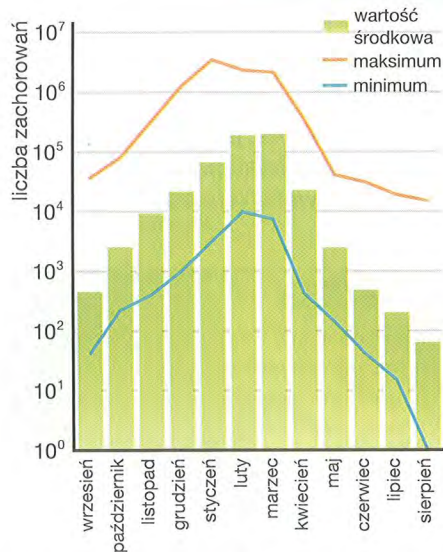
Szczególnym rodzajem zanieczyszczeń powietrza jest **dym tytoniowy**. W jego skład wchodzi ok. 4000 związków chemicznych w postaci gazów lub cząsteczek stałych. Większość z nich ma działanie toksyczne, a kilkadziesiąt – rakotwórcze. Dym tytoniowy podrażnia i uszkadza komórki nabłonka wyściełającego drogi oddechowe. W obronie przed nim podrażnione komórki śluzowe wydzielają znacznie więcej śluzu. Jednocześnie następuje zahamowanie ruchu rzęsek, które oczyszczają drogi oddechowe (to dlatego palacze ciągle pokasłują). Zalegający śluz ogranicza wymianę gazową i stanowi doskonałą pożywkę dla bakterii, które jeszcze bardziej nasilają uszkodzenia nabłonka i zmniejszają ruchliwość rzęsek. Prowadzi to do stanów zapalnych dróg oddechowych, a w efekcie – do trwałego uszkodzenia układu oddechowego.

■ Wybrane choroby układu oddechowego

Wykazano wyraźną zależność między zanieczyszczeniem powietrza a częstością występowania lub nasilania się objawów niektórych chorób układu oddechowego. W tej sytuacji nie dziwi fakt, że ostre i przewlekłe choroby narządów oddechowych są notowane głównie w krajach uprzemysłowionych i szybko rozwijających się. Do najczęściej występujących chorób spowodowanych zanieczyszczeniami powietrza należą: katar (nieżyt nosa, zapalenie błony śluzowej nosa), grypa, zapalenie płuc, astma oskrzelowa (zwana dawniej dychawicą oskrzelową), bronchit (przewlekłe zapalenie oskrzeli), rozedma płuc i gruźlica.

Katar jest najczęściej chorobą pochodzenia wirusowego. Czynnikiem sprzyjającym jego rozwojowi jest oziębienie ciała. U dzieci nie należy lekceważyć kataru, ponieważ jego następstwem może być zapalenie ucha środkowego. Długo utrzymujący się katar może obejmować zatoki przynosowe, prowadząc do zapalenia zatok.

Grypa jest chorobą zakaźną o ostrym przebiegu, wywoływaną przez różne odmiany wirusa grypy. Występuje zwykle pod postacią fali zachorowań (epidemii), pojawiających się w tych samych regionach co dwa, trzy lata.



Liczba zachorowań na grype w poszczególnych miesiącach roku (dane z lat 1974–2011).

Okres wylegania choroby trwa ok. 2–3 dni. Do charakterystycznych objawów należą: dreszcze, bóle mięśniowo-stawowe, suchy kaszel, wysoka gorączka, katar. Częstym powikłaniem po grypie jest zapalenie mięśnia sercowego. Jako profilaktykę stosuje się szczepienia ochronne. Nie gwarantują one całkowitego zabezpieczenia przed grypą, gdyż materiał genetyczny i wynikające z jego budowy właściwości wirusa podlegają dynamicznym zmianom. W rezultacie wirus aktualnie wywołujący grype różni się nieco od tego, który atakował w poprzednim sezonie i został wykorzystany do produkcji szczepionki. Mimo to szczepienie sprawia, że jeżeli dojdzie do zachorowania, to jego przebieg będzie łagodniejszy, a okres powrotu do zdrowia – krótszy.

W wypadku zachorowania na grypę należy przebywać w domu, stosując się do wszystkich zaleceń lekarza przez cały okres trwania choroby. Zwykle przyjmuje się leki zmniejszające dolegliwości towarzyszące grypie (np. przeciwbólowe, przeciwgorączkowe), a w razie wystąpienia powikłań lub dla ochrony przed nimi – antybiotyki.

Zapalenie oskrzeli (nieżyt oskrzeli) jest częstą chorobą, w której stwierdza się obrzęk i zaczerwienienie błony śluzowej oskrzeli, a także zwiększone wydzielanie śluzu. Gromadzący się

Astma

Astma oskrzelowa jest przewlekłym stanem zapalnym dróg oddechowych. Charakteryzuje się występowaniem napadów duszności, które są spowodowane zwężeniem światła oskrzeli.

■ PRZYCZYNA

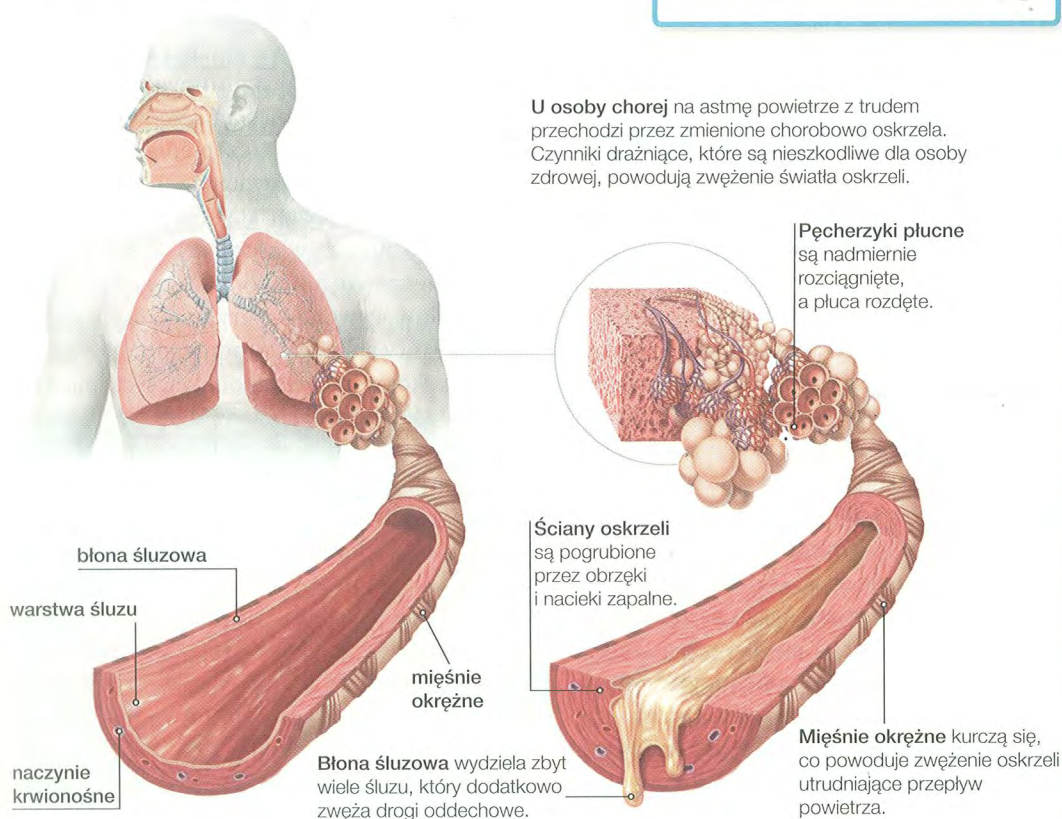
Zachorowanie na astmę wiąże się z czynnikami genetycznymi (np. predyspozycje genetyczne, płeć żeńska) oraz środowiskowymi (alergeny, zakażenia dróg oddechowych, wzrost zanieczyszczenia środowiska).

U osoby zdrowej światło oskrzeli jest duże, oskrzela nie wykazują stanu zapalnego, przepływ powietrza jest swobodny.

Czynniki wywołujące napad astmy:

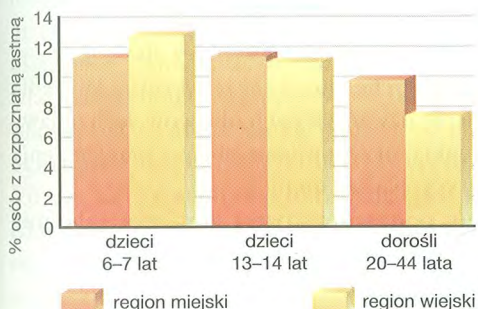
- alergeny (w powietrzu, pożywieniu, lekach),
- zanieczyszczone powietrze,
- zimne powietrze,
- dym tytoniowy,
- wysiłek fizyczny,
- silne emocje (np. radość, smutek, strach).

U osoby chorej na astmę powietrze z trudem przechodzi przez zmienione chorobowo oskrzela. Czynniki drażniące, które są nieszkodliwe dla osoby zdrowej, powodują zwężenie światła oskrzeli.



■ DIAGNOSTYKA

Objawy napadu astmy to: uczucie duszności, kaszel, świszczący oddech i uczucie ściskania w klatce piersiowej. Aby zdiagnozować astmę, stosuje się testy oddechowe, takie jak spirometria. Rozpoznanie alergenów wywołujących atak astmy następuje m.in. na podstawie wyników alergologicznych testów skórnych.



Odsetek osób chorych na astmę w Polsce w roku 2008.



Badanie spirometryczne mierzy pojemność płuc i szybkość wydechu. U osób chorych na astmę są one zmniejszone.

■ LECZENIE

W zależności od nasilenia objawów stosuje się:

- ▶ leki kontrolujące chorobę – przyjmowane codziennie pozwalają zapobiec atakom duszności,
- ▶ leki stosowane doraźnie – szybko działające leki rozszerzające oskrzela, które hamują ostre objawy.

Lek przeciwastmatyczny podawany drogą wziewną. Dzięki takiemu sposobowi podawania leku dociera on bezpośrednio do dróg oddechowych, co ogranicza ryzyko niepożądanych działań ogólnoustrojowych.



■ PROFILAKTYKA

Aby zapobiec astmie, należy szybko skonsultować się z lekarzem, gdy pojawią się takie dolegliwości, jak: alergia, duszność, przewlekły kaszel i pogorszenie tolerancji wysiłku. Wystąpieniu ataków duszności zapobiega: regularne przyjmowanie leków, unikanie kontaktu z czynnikami wywołującymi chorobę i monitorowanie nasilenia objawów. W niektórych sytuacjach lekarz może zalecić immunoterapię (odczulanie).

Warto zająrzeć!
<http://www.tacyjakja.pl/astma.html>

śluz utrudnia dopływ powietrza do płuc, dlatego jednym z objawów choroby jest duszność. Towarzyszą jej gorączka oraz bóle mięśniowe i kostne. Równocześnie zostaje uruchomiony ważny mechanizm obronny utrzymujący drożność dróg oddechowych – kaszel. Początkowo jest on suchy, później następuje odkrztuszanie wydzieliny. Zapalenie oskrzeli może przyjmować postać ostrą, wywołaną obecnością wirusów lub bakterii, trwającą zwykle 7–14 dni. Czynniki sprzyjające rozwojowi choroby to wdychanie zanieczyszczonego powietrza i oziębienie ciała. Dlatego w strefie klimatu umiarkowanego, w której znajduje się Polska, zwiększenie liczby zachorowań odnotowuje się wiosną i zimą ze względu na często zdarzające się w tych porach roku wychłodzenie ciała.

Chronicznym (przewlekłym) zapaleniem oskrzeli nazywa się stan, w którym objawy tej choroby ze strony układu oddechowego utrzymują się co najmniej dwa lata. Rozwija się ono często u nałogowych palaczy tytoniu i prowadzi do wielu powikłań, m.in. rozedmy płuc.

W przebiegu **rozedmy płuc** następuje zmniejszenie sprężystości ścian pęcherzyków płucnych oraz zanik wielu przegród międzypęcherzykowych. Przez to zmniejsza się powierzchnia wymiany gazowej, a chory odczuwa wyraźne trudności w oddychaniu, nasilające się zwłaszcza po wysiłku fizycznym.

Przyczyną **zapalenia płuc** mogą być różnego rodzaju czynniki chorobotwórcze – bakterie, wirusy, a nawet grzyby. Choroba przenosi się drogą kropelkową i prowadzi do wytworzenia we wnętrzu pęcherzyków płucnych płynu, co jest przyczyną znacznego zmniejszenia powierzchni oddechowej tego narządu. Zapalenie płuc wymaga leczenia antybiotykami, a u dzieci i osób starszych dodatkowo hospitalizacji.

Gruźlica jest chorobą zakaźną wywoływaną przez bakterie nazywane prątkami gruźlicy. Rozprzestrzenia się drogą kropelkową. Źródłem zakażenia jest najczęściej chory człowiek, choć mogą nim być także chore zwierzęta (krowy, owce, świnie). W drugim wypadku przyczyną infekcji jest picie nieprzegotowanego mleka pochodzącego od chorych na gruźlicę krow lub

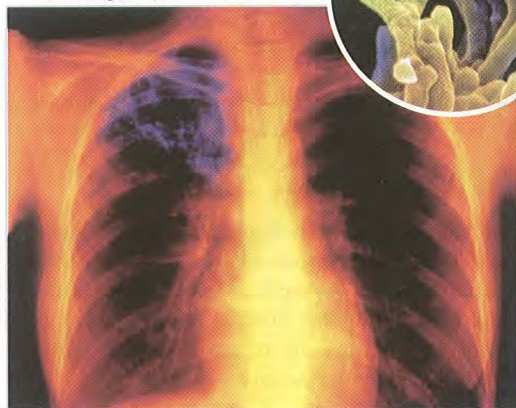
spożycie surowego mięsa chorego zwierzęcia. Jest to zatem zakażenie drogą pokarmową.

Rzeczywiście rozwój choroby zależy od ilości i zjadliwości bakterii, a także od aktualnej odporności organizmu. Czynniki sprzyjające zachorowaniu są m.in.:

- ▶ złe odżywianie się i nieodpowiednie warunki mieszkaniowe,
 - ▶ inne choroby, np. AIDS, cukrzyca, choroby nowotworowe, pylica płuc,
 - ▶ wyniszczenie organizmu przez alkohol.
- Początek choroby, a także wczesne jej stadia mogą nie dawać żadnych objawów. Jeśli objawy występują, przypominają objawy przeziębienia lub grypy. Należą do nich:
- ▶ stany podgorączkowe i gorączka (głównie w godzinach popołudniowych),
 - ▶ nocna potliwość,
 - ▶ osłabienie,
 - ▶ brak apetytu,
 - ▶ utrata masy ciała.

Najczęstszym objawem gruźlicy płuc jest długotrwałe utrzymujący się kaszel. Ponadto mogą wystąpić duszności, bóle w klatce piersiowej czy krwotoki płucne. Objawami gruźlicy pozapłucnej mogą natomiast być obrzmienia, bolesność ruchowa, powiększenie obwodowych węzłów chłonnych, upośledzenie funkcjonowania zaatakowanych narządów.

Prątek gruźlicy (*Mycobacterium tuberculosis*) wywołujący gruźlicę (mikrofotografia skaningowa).

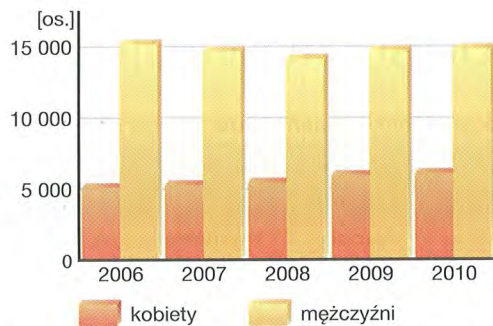


Zmiany gruźlicze w płucu prawym (zdjęcie rentgenowskie barwione komputerowo).

Bakterie wywołujące gruźlicę mogą uszkadzać ściany naczyń krwionośnych, a następnie wraz z krwią przedostawać się do różnych narządów wewnętrznych, inicjując w nich proces chorobowy. W zależności od jego umiejscowienia wyróżnia się **gruźlicę narządu oddechowego** (głównie płuc) oraz **gruźlicę pozapłucną** (np. nerek, kości, jelit, skóry). W obrębie zainfekowanych tkanek powstają charakterystyczne zmiany, tzw. gruźelki. Są to **guzki gruźlicze** osiągające rozmiary kilku milimetrów. Od nich właśnie pochodzi nazwa choroby. Szczególną rolę w walce z gruźlicą odgrywają **szczepienia ochronne**. Zazwyczaj wkrótce po urodzeniu stosuje się szczepionkę określaną jako BCG (*Bacillus Calmette-Guérin*). Wprowadzenie obowiązkowych szczepień przeciw gruźlicy dla wszystkich dzieci oraz stosowanie leczenia antybiotykami znacznie ograniczyło liczbę zachorowań. Niestety, w ostatnich latach pojawiły się szczepy prątków gruźlicy odporne na stosowane dotychczas antybiotyki. W profilaktyce gruźlicy ważne są również badania weterynaryjne zwierząt, których celem jest wykluczenie zakażeń odzwierzęcych.

Rak płuca jest obecnie najczęściej występującym **nowotworem złośliwym na świecie**. W ciągu ostatnich 60 lat stwierdzono ponad 30-krotny wzrost zachorowalności na niego w większości krajów świata. Według Światowej Organizacji Zdrowia (*World Health Organization – WHO*), w 2008 roku z jego powodu zmarło ok. 1,4 mln osób. Jest najczęstszą przyczyną zgonów mężczyzn i drugą, po raku piersi, przyczyną zgonów kobiet.

Najważniejszym czynnikiem ryzyka zachorowania na raka płuca jest **palenie papierosów**. Uważa się, że ok. 90% przypadków tej choroby



Liczba zachorowań na nowotwory złośliwe płuc w Polsce w latach 2006–2010.

to skutek działania dymu tytoniowego i nie ma znaczenia, czy był on wdychany podczas palenia biernego czy czynnego. Ryzyko zachorowania u nałogowego palacza zwiększa się wraz z liczbą wypalanych papierosów i długością trwania nałogu. Udokumentowano również, że zaprzestanie palenia papierosów zmniejsza zagrożenie nowotworowe.

Rak płuca początkowo nie daje żadnych objawów lub objawy te są niespecyficzne (kaszel, chrypka, uczucie duszności), dlatego niestety najczęściej jest rozpoznawany w stadium zaawansowanym. Leczenie często polega na chirurgicznym usunięciu zmienionych nowotworowo tkanek i zastosowaniu chemioterapii lub radioterapii. **Chemioterapia** polega na niszczeniu komórek nowotworowych za pomocą związków chemicznych. Istotą **radioterapii** jest naświetlanie nowotworu promieniowaniem jonizującym o dużej energii.

Należy pamiętać, że zmiany nowotworowe spowodowane paleniem tytoniu mogą dotyczyć nie tylko płuc, ale także jamy ustnej, gardła i krtani.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega zależność między występowaniem chorób układu oddechowego a jakością wdychanego powietrza.
2. Podaj główny czynnik ryzyka zachorowania na raka płuc.
3. Scharakteryzuj dwie wybrane choroby układu oddechowego.
4. Na podstawie dostępnych źródeł informacji wyjaśnij, dlaczego gruźlica jest nazywana chorobą społeczną.
5. Wymień główne przyczyny powstawania raka płuc.

Warto zajrzeć!

 <http://wsse-poznan.pl/wp-content/uploads/2011/05/Gruzlica.pdf>
<http://www.igichp.edu.pl/uzup/pochp/httpochp/def.htm>

Podsumowanie

Budowa i funkcje elementów układu oddechowego

Cecha	Drogi oddechowe					Płuca
	jama nosowa	gardło	krtań	tchawica	oskrzela	
Budowa	- wyścielana błoną śluzową zaopatrzoną w rzęski i gruczoły śluzowe - połączona z zatokami przynosowymi	wspólny odcinek układów pokarmowego i oddechowego (miejsce, gdzie krzyżują się drogi oddechowa i pokarmowa)	- zbudowana z połączonych ze sobą chrząstek - w części krtani, zwanej głośnią, powstaje głos; głośnię tworzą fałdy głosowe oraz znajdująca się między nimi szczelina (szpara głośni)	- zbudowana z chrząstek w kształcie podkowy, co zapewnia sprężystość i zapobiega zanikaniu światła tchawicy - wyścielana nabłonkiem migawkowym	- tworzą system odgałęzień o coraz mniejszej średnicy, tzw. drzewo oskrzelowe - oskrzela prawe jest krótsze i grubsze od oskrzela lewego	- narząd parzysty, lewe płuco złożone z dwóch płatów, prawe z trzech płatów - najdrobniejsze odgałęzienia oskrzeli kończą się pęcherzykami płucnymi
Funkcja	- ogrzewanie, oczyszczanie i nawilżanie powietrza - odbieranie bodźców zapachowych dzięki receptorom węchu	- transport powietrza i pokarmu - umożliwia dźwięczne mówienie	- wydawanie głosu - nagłośnia (ruchoma chrząstka krtani) uniemożliwia przedostawanie się pokarmu do tchawicy	- transport powietrza - usuwanie zanieczyszczeń z powietrza	rozprowadzanie powietrza w płucach za pośrednictwem drzewa oskrzelowego	wymiana gazowa zewnętrzna

Transport gazów oddechowych

Cechy transportu		Tlen	Dwutlenek węgla
Kierunek transportu		pęcherzyki płucne → krew → tkanki (z powodu wyższego niż w tkankach ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi)	tkanki → krew → pęcherzyki płucne (z powodu wyższego niż we krwi ciśnienia parcjalnego dwutlenku węgla w tkankach)
Ciśnienie parcjalne gazów oddechowych	w pęcherzykach płucnych	100 mm Hg	40 mm Hg
	we krwi natlenowanej	100 mm Hg	40 mm Hg
	w tkankach	30 mm Hg	46 mm Hg
	we krwi odtlenowanej	40 mm Hg	46 mm Hg
Element transportujący		głównie erytrocyty	głównie osocze
Postać transportowa		oksyhemoglobina (cząsteczka hemoglobiny przekształca się w oksyhemoglobinę po związaniu czterech cząsteczek tlenu)	- jony wodorowęglanowe (70%) - karbaminohemoglobina (20%) - rozpuszczony fizycznie dwutlenek węgla w płynie osocza (10%)

Wentylacja płuc

Cecha	Wdech	Wydech
Mechanizm ruchu	czynny – zachodzi dzięki pracy mięśni oddechowych	• bierny – zachodzi bez pracy mięśni • czynny – w wypadku odruchów (np. śmiech, kaszel, ziewanie)
Ruchy mięśni	skurcz przepony i mięśni międzyżebrowych	rozkurcz przepony i mięśni międzyżebrowych
Zmiany objętości klatki piersiowej	powiększenie	zmniejszenie
Zmiany ciśnienia w płucach	spadek ciśnienia powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego i napływ powietrza do płuc	wzrost ciśnienia powyżej wartości ciśnienia atmosferycznego i usunięcie powietrza z płuc

Choroby i dolegliwości układu oddechowego

Nazwa	Przyczyny	Objawy	Leczenie	Profilaktyka
Nieżyt nosa (katar)	zakażenie wirusowe, podłoże alergiczne, oziębienie ciała	wyciek płynnej wydzieliny z nosa, gorączka	leki zmniejszające dolegliwości i podnoszące odporność organizmu	unikanie wyziębienia ciała oraz zbliżania się do osób chorych
Grypa	zakażenie wirusem grypy	dreszcze, bóle stawów i mięśni, katar, suchy kaszel, gorączka	leki zmniejszające dolegliwości i skracające przebieg choroby	unikanie kontaktu z chorymi, szczepienia ochronne
Zapalenie oskrzeli	zakażenie wirusowe lub bakteryjne	kaszel, gorączka, duszności spowodowane gromadzeniem się śluzu w oskrzelach	inhalacje, leki zmniejszające dolegliwości	unikanie wyziębienia ciała, palenia tytoniu oraz miejsc silnie zanieczyszczonych pyłami
Rozedma płuc	zmniejszenie się sprężystości ścian pęcherzyków płucnych spowodowane m.in. paleniem tytoniu	trudności w oddychaniu, duszności, kaszel	leki rozszerzające oskrzela	niepalenie tytoniu, unikanie dymu tytoniowego oraz miejsc silnie zanieczyszczonych pyłami
Zapalenie płuc	najczęściej zakażenie bakteryjne, czasem wirusowe	osłabienie, kaszel, duszności, bóle mięśni, gorączka	antybiotyki, czasem hospitalizacja	unikanie wyziębienia ciała, staranne leczenie innych chorób układu oddechowego
Gruźlica	zakażenie bakteriami – prątkami gruźlicy	początkowo podobne do objawów przeziębienia lub grypy, następnie pojawianie się guzków gruźliczych w tkankach	antybiotyki	szczepienia ochronne, prześwietlenia płuc
Astma oskrzelowa	m.in. zmiany alergiczne wywołane np. przez roztocze kurzu domowego, pyłki roślin	duszności i świszczący oddech spowodowane przez zmniejszenie światła oskrzeli	podawanie leków rozkurczających oskrzela	unikanie kontaktu z alergenem
Rak płuc	najczęściej palenie papierosów	kaszel, bóle w klatce piersiowej, krwawa wydzielina	chirurgiczne usunięcie zmienionych tkanek, chemioterapia, radioterapia	niepalenie tytoniu, badania profilaktyczne

Test maturalny

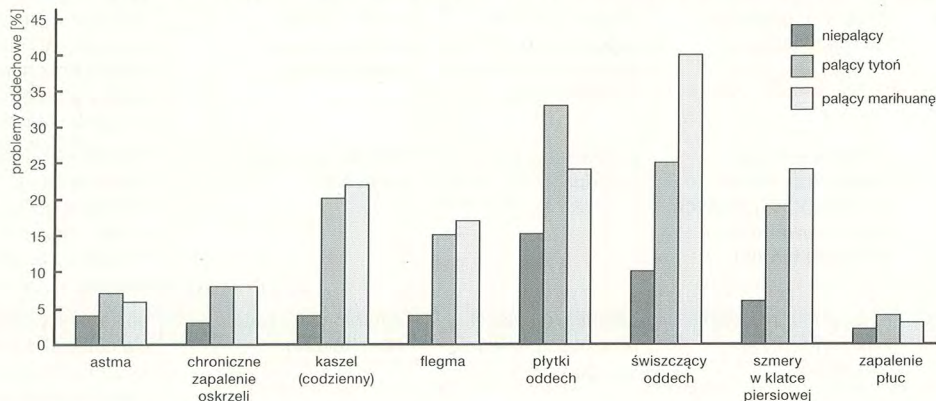
- 1** Proces pobierania tlenu i usuwania dwutlenku węgla z organizmu nosi nazwę wymiany gazowej. Odbyna się on dzięki wymianie powietrza w płucach, czyli wentylacji płuc. W cykl wentylacyjny są zaangażowane liczne struktury organizmu.

Uzupełnij tabelę, przyporządkowując poszczególne fazy wentylacji płuc do odpowiednich kolumn.

1. Skurcz mięśni międzyżebrowych zewnętrznych.
2. Rozkurcz przepony.
3. Skurcz mięśni powierzchniowych brzucha.
4. Uniesienie mostka.
5. Skurcz przepony.
6. Skurcz mięśni międzyżebrowych wewnętrznych.
7. Opadanie mostka.

Wdech	Wydech bierny	Wydech czynny

- 2** Wykres przedstawia zależność pomiędzy częstością obserwowanych problemów oddechowych u osób palących tytoń lub marihuanę w porównaniu z osobami niepalącymi.



- a) Porównaj procentową częstość występowania dwóch wybranych problemów oddechowych w trzech grupach badanych: osób palących tytoń, osób palących marihuanę i osób niepalących.

.....

.....

- b) Sformułuj wniosek dotyczący częstości występowania problemów oddechowych u osób palących marihuanę i osób palących papierosy w porównaniu z osobami niepalącymi.

.....

- c) Zaznacz nazwę podstawowego badania, pozwalającego lekarzowi na ocenę pracy płuc pacjenta.

A. Bronchoskopia.

B. Wymaz z gardła.

C. Spirometria.

D. Fonografia.

3 Głos powstaje w części krtani nazywanej głośnią. Tworzą ją rozpięte pomiędzy chrząstkami krtani fałdy głosowe, zbudowane z więzadeł i mięśni, oraz znajdująca się między nimi szczelina – szpara głośni. Przechodzące przez nią powietrze powoduje wibrację fałdów głosowych i powstawanie dźwięków.

a) Wyjaśnij, od czego zależy natężenie głosu, a od czego jego wysokość.

.....

.....

.....

b) Wymień dwa elementy dróg oddechowych decydujące o barwie głosu.

1.
2.

4 Wykres przedstawia wiązanie tlenu przez hemoglobinę osoby dorosłej, hemoglobinę płodową i mioglobinę.

a) Wyjaśnij, w jaki sposób tlen zawarty we krwi matki przedostaje się do organizmu płodu.

.....

.....

.....

.....

b) Podaj nazwę rodzaju wymiany gazowej, w której bierze udział mioglobina.

.....

.....

c) Podaj nazwę procesu fizycznego, który stanowi podstawę wymiany gazowej, zachodzącej między komórkami a krwią.

.....

5 Rozpuszczalność gazów w wodzie maleje wraz ze wzrostem temperatury i rośnie wraz ze wzrostem ciśnienia, a dysocjacja oksyhemoglobiny rośnie wraz ze spadkiem pH.

a) Uzasadnij stwierdzenie, że podczas nurkowania na duże głębokości powinno się wynurzać na powierzchnię stopniowo, a nie gwałtownie.

.....

.....

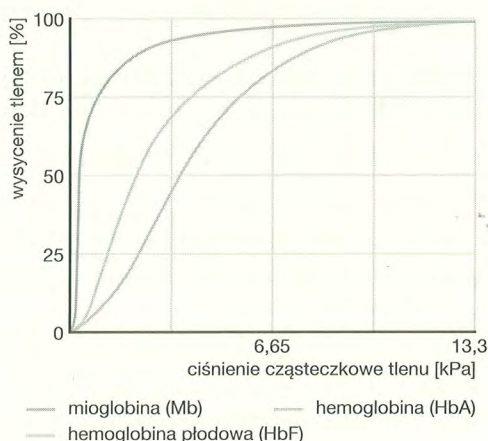
.....

b) Wyjaśnij, dlaczego podczas wspinania się na bardzo wysokie szczyty ważne są odpowiednio częste i długie postoje (tzw. stacjonowanie).

.....

.....

.....



- 5 „U człowieka głównym mechanizmem obronnym przed toksycznością tlenu jest tzw. kaskada tlenowa, czyli stopniowe obniżanie prężności tlenu. Ciśnienie atmosferyczne tlenu wynosi 160 mm Hg, w płucach jest on wiązany przez hemoglobinę erytrocytów, znajdujących się w naczyniach włosowatych oplatających pęcherzyki płucne. W naczyniach tych nasycenie hemoglobiny tlenem sięga 95%, a ciśnienie tlenu wynosi tutaj około 100 mm Hg. W trakcie krążenia krwi hemoglobina oddaje tlen i jego ciśnienie stopniowo spada. W krwi wychodzącej z serca (w obiegu ustrojowym) ciśnienie to wynosi 85 mm Hg, w rozgałęziających się tętniczkach wynosi 70 mm Hg, a w sieci naczyń włosowatych w narządach wewnętrznych już tylko 50 mm Hg. Tutaj nasycenie hemoglobiny tlenem jest na poziomie 60–70%. Tlen odłącza się od hemoglobiny i wchodzi do wnętrza komórek drogą dyfuzji od większego stężenia do mniejszego. [...] We wnętrzu ciała ciśnienie tlenu w komórkach wynosi tylko 1–10 mm Hg. Ostatnim etapem wędrówki tlenu są mitochondria [...]. Ciśnienie tlenu w mitochondriach wynosi zaledwie 0,5 mm Hg. W przeliczeniu procentowym jest to poziom niższy niż 0,3% ciśnienia tlenu atmosferycznego, czyli 0,07% ciśnienia powietrza.”

M. Gajewski i in., *Gospodarka tlenowa w organizmie. Część I. Warunki normy fizjologicznej*, „Życie Weterynaryjne”, 2005, 80(7).

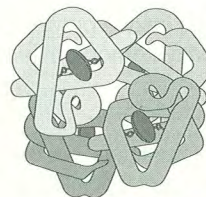
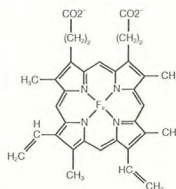
- a) Wyjaśnij, dlaczego w powyższym tekście za ostatni etap wędrówki tlenu uznano mitochondria.

.....

- b) Zaznacz zdanie błędnie opisujące wymianę gazową i transport tlenu w organizmie.

- A. Największy ubytek tlenu następuje podczas transportu tlenu w obrębie naczyń krwionośnych.
 B. Wymiana gazowa zachodzi na zasadzie dyfuzji prostej.
 C. Cząsteczka hemoglobiny związana z tlenem tworzy oksyhemoglobinę.
 D. Na reakcję łączenia się hemoglobiny z tlenem ma wpływ temperatura i pH.
 E. W tkankach ciśnienie parcjale tlenu jest wyższe niż w żyłach.
 F. W naczyniach włosowatych wysycenie hemoglobiny tlenem wynosi ok. 65%.

- 6 Ilustracje przedstawiają schemat budowy cząsteczki hemoglobiny A i wzór strukturalny hemu.



- a) Oceń prawdziwość zdań dotyczących hemoglobiny. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

		P/F
1.	Hemoglobina człowieka jest białkiem złożonym z jednego łańcucha α i jednego łańcucha β , przy czym każdy z tych łańcuchów jest połączony z jedną grupą hemową.	
2.	W centrum grupy hemowej znajduje się trójwartościowy jon żelaza, z którym cząsteczka tlenu nie łączy się kowalencyjne.	
3.	Połączenie hemoglobiny z tlenem jest odwracalne, a stopień wysycenia hemoglobiny tlenem zależy od ciśnienia parcjalego tlenu.	

- b) Podaj, ile cząsteczek tlenu transportuje jedna cząsteczka hemoglobiny przy 50-procentowym utlenowaniu (wysyceniu).

.....

To było na maturze!

Zadanie 1. (1 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PR), zad. 1.

W tabeli przedstawiono wyniki pomiarów ciśnienia parcjalnego gazów oddechowych oraz prężność tych gazów w naczyniach włosowatych.

Ciśnienie Gaz oddechowy	Ciśnienie parcjalne w		Prężność gazów w naczyniach włosowatych płuc	
	powietrzu atmosferycznym	powietrzu pęcherzykowym	krew tętnicza	krew żylna
Tlen (O_2)	160 mm Hg	100 mm Hg	95 mm Hg	40 mm Hg
Dwutlenek węgla (CO_2)	0,33 mm Hg	40 mm Hg	40 mm Hg	46 mm Hg

Na podstawie powyższych danych zaznacz trafne wyjaśnienie mechanizmu przenikania tlenu z powietrza pęcherzykowego do krwi oraz dwutlenku węgla z krwi do powietrza pęcherzykowego.

- A. Występuje dyfuzja tych gazów zgodna z gradientem ich ciśnień w powietrzu atmosferycznym i krwi.
- B. Ciśnienie parcjalne tych gazów w powietrzu pęcherzykowym jest inne niż ich prężność w naczyniach włosowatych.
- C. Występuje korzystna różnica ciśnień obu gazów w powietrzu pęcherzykowym i we krwi, która pozwala na ich transport na zasadzie dyfuzji.
- D. Prężność obu gazów oddechowych w naczyniach włosowatych płuc jest wyższa od ich ciśnienia parcjalnego w powietrzu atmosferycznym, co powoduje ich dyfuzję.

Zadanie 2. (1 pkt)

Źródło: CKE 2009 (PR), zad. 18.

Wymiana gazowa w płucach zachodzi na zasadzie dyfuzji. Niezależnie od wysokości nad poziomem morza zawartość tlenu w powietrzu jest taka sama (21%), zmienia się natomiast jego ciśnienie parcjalne.

W tabeli przedstawiono wartości ciśnienia parcjalnego tlenu w naczyniach włosowatych płuc oraz w powietrzu atmosferycznym na różnych wysokościach n.p.m.

Miejsce pomiaru	Ciśnienie parcjalne O_2 (kPa)
Naczynia włosowate płuc	5,3
Powietrze atmosferyczne na wysokości 0 tys. m n.p.m.	21,3
Powietrze atmosferyczne na wysokości 8 tys. m n.p.m.	6,4

Na podstawie powyższych informacji wyjaśnij, uwzględniając mechanizm wymiany gazowej, dlaczego aby przebywać na wysokości 8 tys. m n.p.m., powinno się używać butli z tlenem.

Zadanie 3. (2 pkt)

Źródło: CKE 11.2006 (PP), zad. 13.

W tabeli przedstawiono dane o zapadalności na gruźlicę w Polsce w latach 1960–2000, w trzech wybranych grupach wiekowych.

Rok	Wiek chorych (w latach)		
	0–14	20–44	45–64
1960	16580	37244	22746
1970	1273	18440	13001
1980	573	11358	8434
1990	225	6682	5818
2000	103	241	4221

Określ tendencję zmian w zapadalności na gruźlicę w latach 1960–2000 oraz wymień grupę wiekową, w której tendencja ta jest najmniej widoczna.

.....
.....
.....
.....

Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 11.2006 (PP), zad. 10.

Badania kliniczne wykazały, że oddychając w przestrzeni zawierającej powietrze o stałej zawartości tlenu, ale zwiększającej się zawartości dwutlenku węgla, obserwujemy zwiększenie częstości i głębokości ruchów oddechowych.

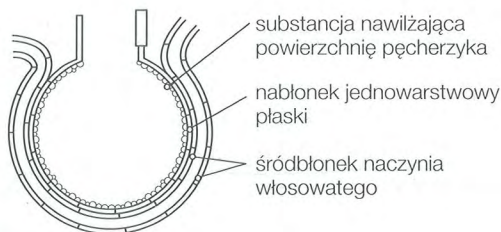
Wyjaśnij udział układu nerwowego w mechanizmie regulacji ruchów oddechowych.

Wzrost ciśnienia dwutlenku węgla w krwi powoduje zwiększenie częstości i głębokości oddychania. Udział układu nerwowego polega na odbiorze sygnałów z receptorów chemoreceptorów i mechanoreceptorów, które przesyłają informacje do ośrodkowego układu nerwowego, który następnie wysyła sygnały do mięśni oddechowych.

Zadanie 5. (1 pkt)

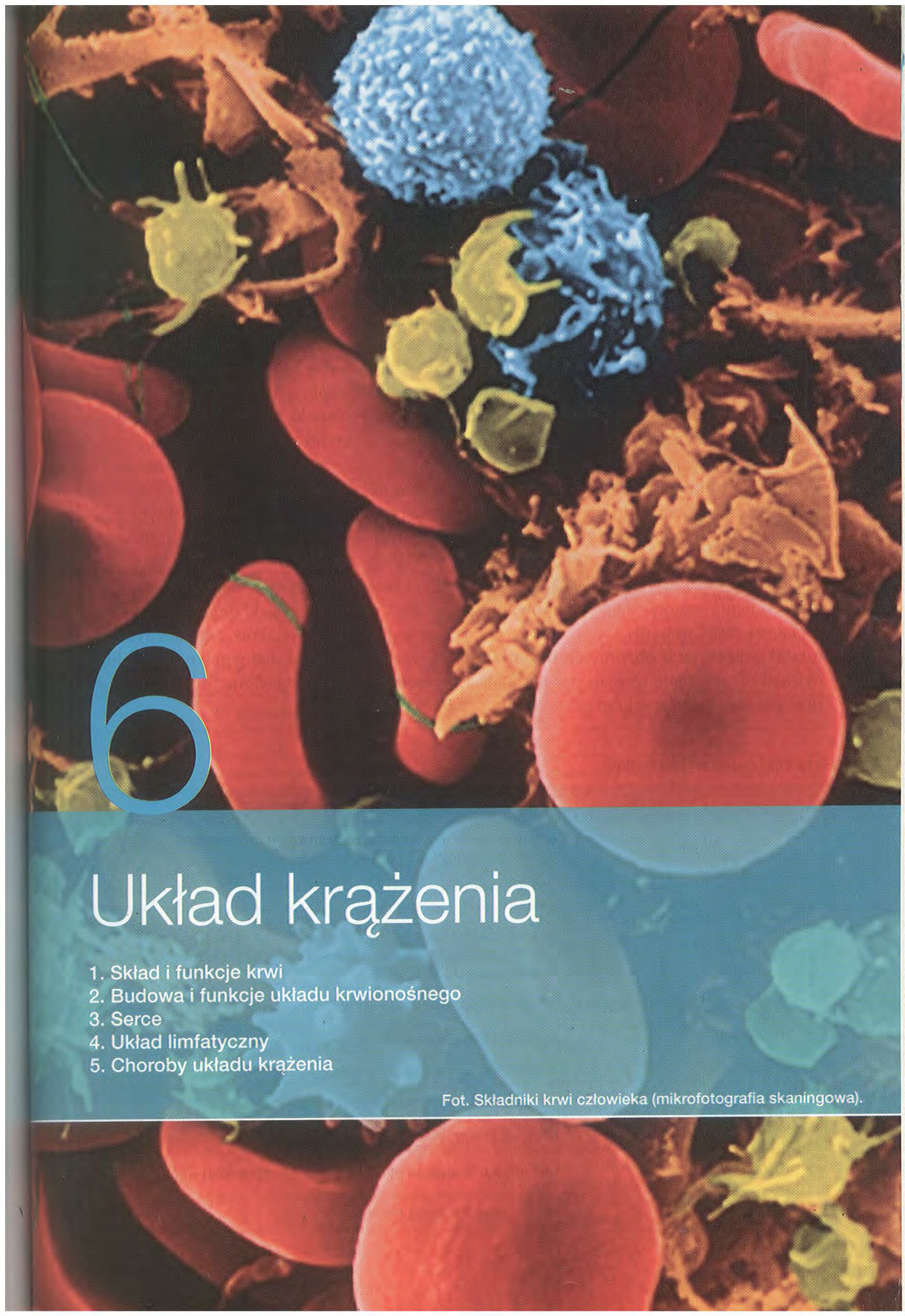
Źródło: CKE 01.2009 (PP), zad. 10.

Na rysunku przedstawiono budowę pęcherzyka płucnego człowieka.



Wyjaśnij na przykładzie jednego przedstawionego na rysunku elementu budowy pęcherzyka płucnego, przystosowanie pęcherzyka do pełnionej funkcji.

Nabłonek jednowarstwowy płaski przystosowany do wymiany gazowej dzięki swojej cienkiej budowie i dużej powierzchni.

A scanning electron micrograph (SEM) of human blood components. The image shows several large, red, biconcave disc-shaped red blood cells (erythrocytes) scattered throughout. Interspersed among them are smaller, more irregularly shaped cells, including a large blue cell with a highly textured, bumpy surface (likely a macrophage or a platelet aggregate) and several smaller yellow-green cells with more complex, irregular shapes (likely leukocytes). The background is dark and filled with fine, fibrous structures, possibly fibrin or other extracellular matrix components.

6

Układ krążenia

1. Skład i funkcje krwi
2. Budowa i funkcje układu krwionośnego
3. Serce
4. Układ limfatyczny
5. Choroby układu krążenia

Fot. Składniki krwi człowieka (mikrofotografia skaningowa).

1

Skład i funkcje krwi

Krew jest nietypową, bo płynną tkanką organizmu. Całkowita objętość krwi krążącej w naczyniach dorosłego człowieka wynosi ok. 5,5 l, co stanowi 7% masy ciała. Podstawową funkcją krwi jest utrzymanie stałego środowiska wewnętrznego organizmu (homeostazy). Funkcja ta jest realizowana przez:

- ▶ **transport różnych substancji**, m.in.: gazów oddechowych (tłenu z płuc do tkanek i dwutlenku węgla z tkanek do płuc), składników odżywczych i regulujących wchłoniętych z przewodu pokarmowego, szkodliwych produktów metabolizmu z tkanek do nerek, hormonów produkowanych przez gruczoły dokrewne;
- ▶ **stabilizację parametrów fizjologicznych** organizmu, tzn. utrzymywanie stałej temperatury, ciśnienia osmotycznego oraz równowagi kwasowo-zasadowej (pH);
- ▶ **udział w reakcjach obronnych organizmu**, dzięki właściwościom żernym krwinek białych oraz poprzez krążące w krwi przeciwciała.

■ Skład krwi

Krew składa się z elementów morfotycznych (krwinek) oraz płynnego osocza. Stosunek objętości krwinek do całkowitej objętości krwi określa się mianem **hematokrytu**. Wartość tego wskaźnika ustala się przez odwirowanie krwi w kalibrowanej probówce z dodatkiem środków przeciwkrzepiających. Wówczas krwinki opadną na dno próbówki, a osocze zbierze się nad nimi.

Do elementów morfotycznych krwi należą erytrocyty (krwinki czerwone), leukocyty (krwinki białe) oraz płytki krwi. Wszystkie powstają w czerwonym szpiku kostnym znajdującym się w kościach płaskich i nasadach kości długich.

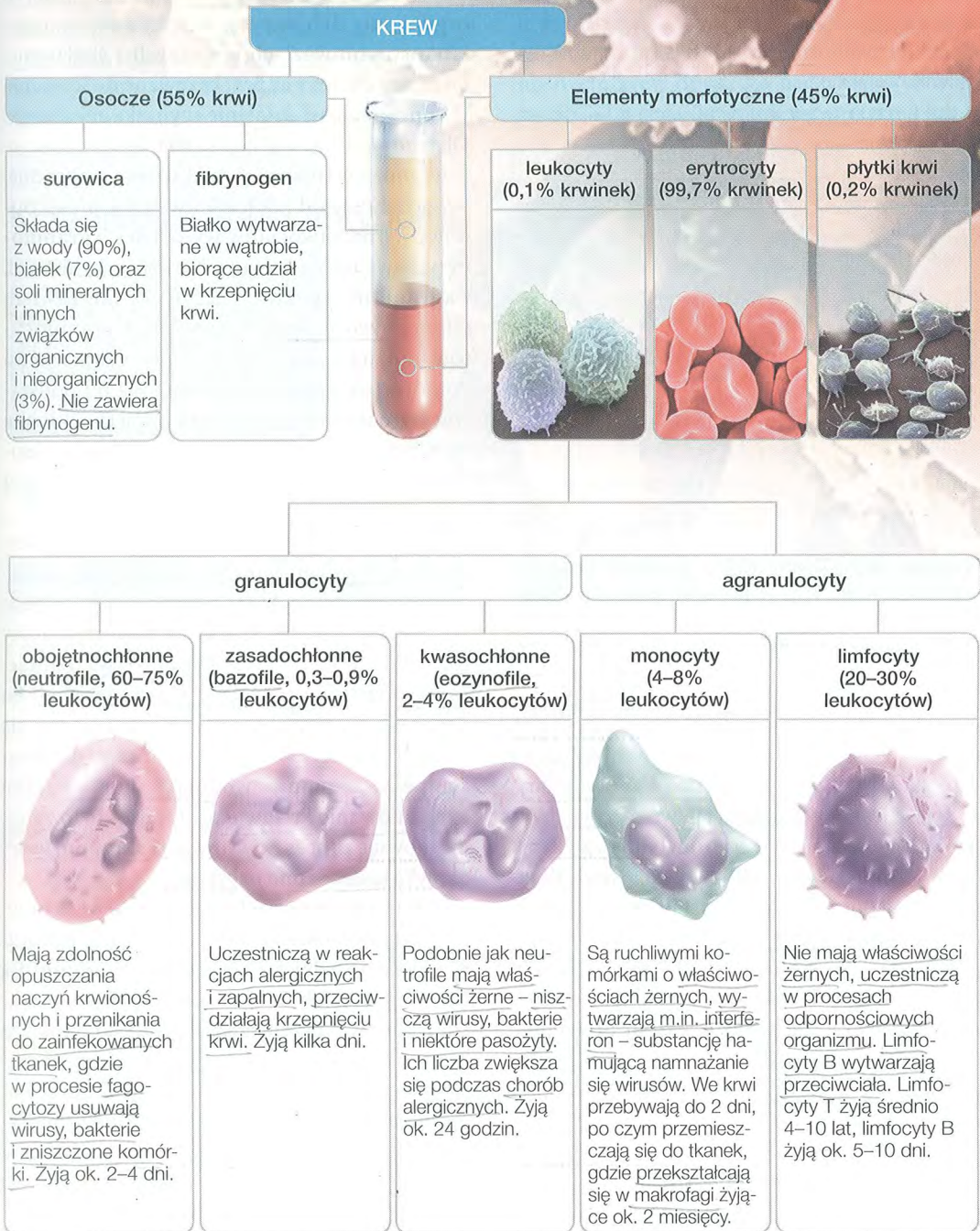
Osocze krwi zawiera ok. 90% wody. Pozostałą część stanowią związki organiczne i sole mineralne. Wśród związków organicznych osocza przeważają białka. Jednym z nich jest **fibrynogen**. Osocze pozbawione fibrynogenu nazywa się **surowicą**.

Składniki osocza i ich funkcje

Składnik		Funkcja
Woda		rozpuszczalnik innych substancji zawartych w osoczu; udział w utrzymywaniu ciśnienia krwi
Białka	albuminy	zatrzymywanie wody we krwi, utrzymywanie stałego pH i ciśnienia osmotycznego, transport m.in. kwasów tłuszczowych i hormonów
	globuliny	nośniki cząsteczek węglowodanów, lipidów, niektórych hormonów (np. insuliny), jonów żelaza i miedzi oraz witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E, K)
	immunoglobuliny (przeciwciała)	udział w odporności organizmu
	fibrynogen	udział w krzepnięciu krwi
	protrombina	nieaktywna forma enzymu biorącego udział w krzepnięciu krwi
Jony	Na^+ , K^+ , Cl^-	utrzymywanie ciśnienia osmotycznego
	Ca^{2+}	udział w krzepnięciu krwi
	HCO_3^-	utrzymywanie stałego pH krwi, transport dwutlenku węgla
	HPO_4^{2-}	utrzymywanie stałego pH krwi

Skład krwi

W jednym mikrolitrze krwi zdrowego człowieka znajduje się ok. 4,5–5,5 mln erytrocytów, 4,5–10 tys. leukocytów oraz 150–400 tys. płytek krwi.



limfocyty B → przeciwciała
limfocyty T → pamięć

Zakres prawidłowych wartości wybranych parametrów krwi

Parametr	Norma (K – dla kobiet, M – dla mężczyzn)
pH	K i M: 7,35–7,44
krwinki białe	K i M: $4\text{--}10 \times 10^3/\mu\text{l}$
krwinki czerwone	K: $4,0\text{--}5,5 \times 10^6/\mu\text{l}$ M: $4,5\text{--}6,5 \times 10^6/\mu\text{l}$
hemoglobina	K: 12–16 (g/dl) M: 13–18 (g/dl)
hematokryt	K: 38–45 (%) M: 40–54 (%)
płytki krwi	K i M: $150\text{--}400 \times 10^3/\mu\text{l}$
OB*	K: 6–16 (mm/h) M: 2–8 (mm/h)
białko całkowite	K i M: 60–84 (g/l)
albuminy	K i M: 35–50 (g/l)
globuliny	K i M: 23–35 (g/l)
cholesterol	K i M: 140–200 (mg/dl)
glukoza	K i M: 70–110 (mg/dl)

* Odczyn Biernackiego (OB) – szybkość opadania erytrocytów we krwi w przyjętej jednostce czasu. Odczytu dokonuje się najczęściej po godzinie. Znaczne zwiększenie wartości OB obserwuje się w stanach zapalnych i przy zmianach nowotworowych.

Erytrocyty to komórki, które transportują gazy oddechowe. Są wypełnione **hemoglobiną** – białkiem odpowiedzialnym za przenoszenie prawie całej objętości tlenu i pewnej części dwutlenku węgla. Dojrzałe erytrocyty nie zawierają jądra komórkowego, nie zużywają więc tlenu na własne potrzeby. Mają kształt dwuwklęsłych dysków, co poprawia stosunek powierzchni do objętości i tym samym zwiększa możliwość przenikania gazów oddechowych przez ich błonę komórkową. Specyficzny kształt powoduje, że łatwo ulegają odkształceniom i dzięki temu przechodzą przez naczynia włosowate. Żyją średnio 120 dni, po czym ulegają rozpadowi w śledzionie i, w mniejszym stopniu, w wątrobie.

Leukocyty to elementy zróżnicowane pod względem budowy i funkcji. Są większe od erytrocytów i zawierają jądra komórkowe. Ważną

cechą większości leukocytów jest zdolność aktywnego poruszania się (niezależnie od kierunku i tempa przepływu krwi) oraz **fagocytozy**, czyli pochłaniania cząstek stałych, np. bakterii czy martwych komórek. Wszystkie krwinki białe biorą udział w reakcjach odpornościowych organizmu. Ich zapasy znajdują się w szpiku kostnym, węzłach chłonnych i śledzionie. W razie potrzeby są przekazywane do krwi, np. w odpowiedzi na działanie czynnika zakaźnego. Dlatego podczas infekcji liczba leukocytów we krwi może wzrosnąć ponad dziesięciokrotnie. W zależności od zdolności wybarwiania i budowy wśród leukocytów wyróżnia się **granulocyty**, zawierające w cytozolu różne ziarnistości, i **agranulocyty**, których cytozol nie zawiera widocznych granul. Ziarnistości granulocytów można zaobserwować po wybarwieniu komórek różnymi barwnikami. Na tej podstawie wyróżnia się granulocyty obojętnochłonne (neutrofile), zasadochłonne (bazofile) i kwasochłonne (eozynofile). Do agranulocytów należą monocyty oraz limfocyty B i T.

Płytki krwi nie są komórkami, lecz otoczonej błoną fragmentami cytoplazmy megakariocytów dużych komórek występujących w szpiku kostnym. Żyją znacznie krócej niż erytrocyty (ok. 8–10 dni) i są rozkładane w śledzionie. Biorą udział w procesie krzepnięcia krwi. Po przerwaniu ciągłości naczyń gromadzą się one w miejscu uszkodzenia i uwalniają serotoninę – hormon powodujący skurcz naczyń i zahamowanie krwawienia. Oprócz tego zapożyczają proces powstawania skrzepu, który zamyka uszkodzone naczynie.

Zaburzenia procesu krzepnięcia krwi są przyczyną chorób określanych jako skazy krwotoczne. Do najbardziej znanych należy **hemofilia** (krwawiczków), która jest chorobą dziedziczną.

Prawidłowo przebiegający proces krzepnięcia chroni organizm przed wykrwawieniem, zsklepiając uszkodzone naczynia. Natomiast zjawiskiem patologicznym, niezwykle niebezpiecznym dla życia, jest krzepnięcie krwi wewnątrz naczyń krwionośnych. Zaczopowanie naczyń przez tzw. **zakrzep** (w odróżnieniu od prawidłowo powstającego skrzepu) prowadzi do

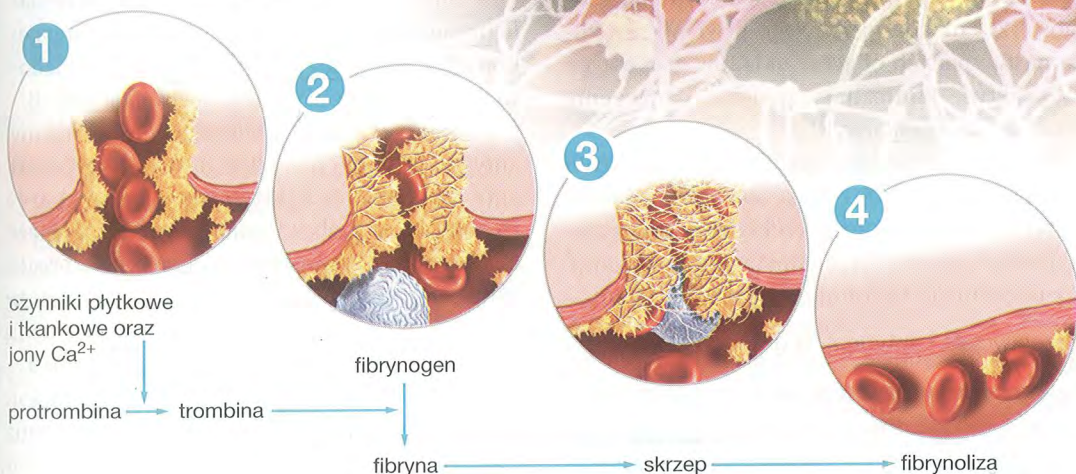
martwicy tkanek pozbawionych stałego dopływu krwi, czyli do zawału. Zakrzepy mogą być także przyczyną wzrostu ciśnienia krwi w naczyniu, co w konsekwencji powoduje pęknięcie jego ściany i wynaczynienie krwi. W takiej sytuacji dochodzi do krwotoku wewnętrznego, zwanego potocznie wylewem.

Powstawaniu zakrzepów zapobiegają naturalne substancje przeciwkrzepliwie organizmu, m.in. wytwarzana w wątrobie heparyna.

Ogólna ilość krwi w organizmie człowieka jest wielkością stałą i może ulegać jedynie nieznacznym wahaniom. Są one uzależnione od stanu zdrowia, odżywienia i warunków życia. Zmniejszenie ilości krwi występuje w krwotokach oraz w wypadku przyjmowania zbyt małej ilości płynów. Przy krwotokach, które są następstwem przerywania ciągłości naczyń krwionośnych, krew opuszcza naczynia, wylewając się do jamy ciała (krwotok wewnętrzny) lub na

Krzepnięcie krwi i fibrynoliza

Krzepnięcie krwi to zespół reakcji, który wymaga udziału ok. 30 różnych substancji. Niektóre z nich są wytwarzane przez komórki organizmu (np. fibrynogen), inne muszą być dostarczone w pożywieniu (np. jony wapnia i witamina K). Powstały skrzep ulega rozpuczeniu podczas fibrynolizy.



1 Okres przygotowawczy – zranienie wywołuje kaskadę reakcji. Z uszkodzonych płytek krwi i tkanek zostają uwolnione liczne białkowe czynniki krzepnięcia krwi, które kolejno się aktywują, doprowadzając ostatecznie do aktywacji protrombiny – czynnika krzepnięcia występującego w osoczu w formie nieaktywnej. W obecności jonów wapnia protrombina zmienia się w trombinę.

2 Krzepnięcie właściwe – znajdujący się w osoczu krwi fibrynogen pod wpływem trombiny przyjmuje postać gęstej sieci złożonej z długich włókien, stąd nazwa włóknik (fibryna). Utworzona sieć, w której zostają uwięzione elementy komórkowe krwi, zamyka zranienie – w ten sposób powstaje skrzep.

3 Okres retrakcji – następuje po ok. godzinie od momentu wytworzenia skrzepu. Polega na skracaniu nitek włóknika i zbliżaniu się do siebie brzegów rany.

4 Fibrynoliza – rozpuszczanie skrzepu i zastępowanie go odpowiednim typem tkanki.

serotonina → hormon powodujący skurcz naczyń i zahamowanie krwienia

zewnątrz (krwotok zewnętrzny). Utrata 30% lub więcej krążącej krwi wywołuje groźne dla życia następstwa. Znaczne obniżenie ciśnienia krwi powoduje zmniejszenie wydolności serca, a w konsekwencji spowolnienie przepływu krwi. Skutkiem utraty krwi jest również zmniejszenie ogólnej liczby erytrocytów w organizmie. Opisane zjawiska prowadzą do niedotlenienia wielu narządów, z których najbardziej wrażliwy jest mózg. Długotrwałe niedotlenienie mózgu może być przyczyną śmierci. W sytuacji znacznej utraty krwi zabiegiem ratującym życie jest transfuzja. Krew przygotowaną do transfuzji przechowuje się w warunkach zapobiegających jej krzepnięciu (w temperaturze ok. 0°C, z dodatkiem substancji wytrącających z osocza jony wapnia, np. cytrynianu sodu).

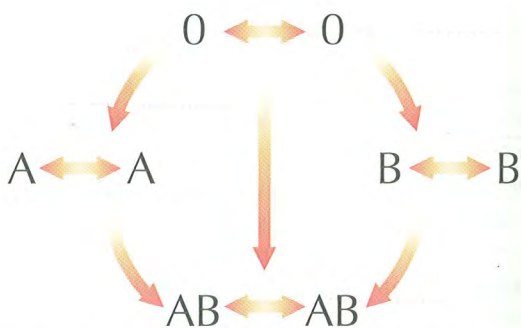
■ Grupy krwi

O skuteczności stosowanego w lecznictwie przetaczania krwi (transfuzji) decyduje zgodność tzw. układu grupowego krwi. Wśród kilkunastu znanych obecnie układów grupowych w praktyce klinicznej największe znaczenie mają układy ABO oraz Rh.

Podstawą wyodrębnienia czterech głównych grup krwi: A, B, AB i 0 jest obecność w błonie erytrocytów specyficznych białek (glikoprotein), nazywanych antygenami (aglutynogenami). Oznaczono je literami A i B. Osoby mające

Przeciwciała i antygeny w grupach krwi A, B, AB, 0

Grupa krwi	Antygen w błonie erytrocytu	Przeciwciała w osoczu krwi
A	A 	anty-B 
B	B 	anty-A 
AB	A i B 	brak
0	brak A i B 	anty-A, anty-B 



Możliwość przetaczania krwi między poszczególnymi grupami. Osobę o grupie krwi 0 nazywamy uniwersalnym dawcą, a osobę o grupie krwi AB – uniwersalnym biorcą.

krwinki z antygenem A mają grupę krwi A, osoby, które mają krwinki z antygenem B – grupę krwi B, natomiast osoby, u których występują oba antygeny, mają grupę krwi AB. Jeśli erytrocyty nie zawierają żadnego z antygenów, grupę krwi określa się jako 0.

W surowicy krwi znajdują się też **przeciwciała** (izoaglutyniny) skierowane przeciwko antygenom, nazywane **anty-A** oraz **anty-B**. Przykładowo krew grupy A zawiera przeciwciała anty-B.

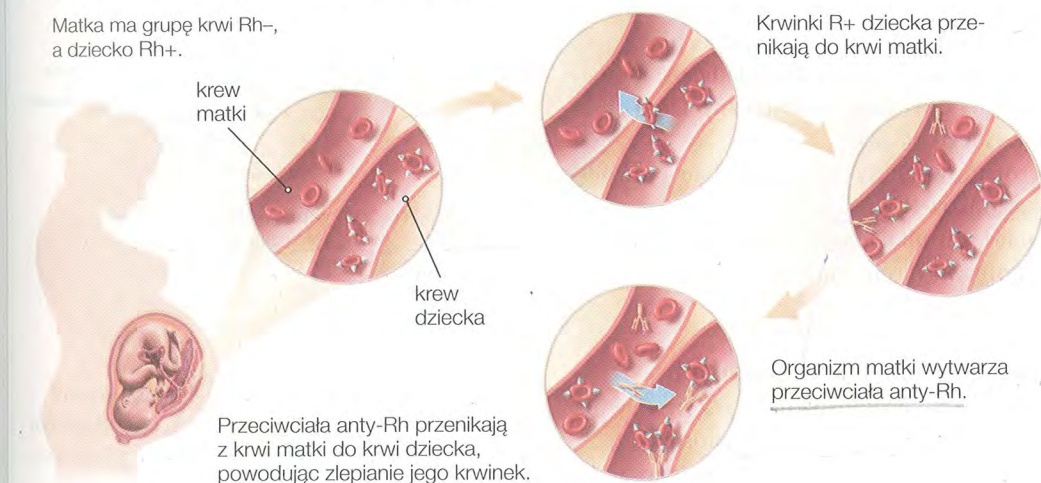
Kontakt krwinek zawierających określony antygen (np. A) i przeciwciał (w tym wypadku anty-A) powoduje **aglutynację** (zlepianie) erytrocytów, a w konsekwencji prowadzi do ciężkich zaburzeń i zagrożenia życia. Wynika z tego, że we krwi jednego człowieka jednocześnie nie

		DAWCA			
		0	A	B	AB
BIORCA	0				
	A				
	B				
	AB				

Test aglutynacji jest stosowany w oznaczaniu grup krwi i diagnostyce wielu chorób.

Konflikt serologiczny w zakresie Rh

Konflikt serologiczny w zakresie Rh występuje po niewłaściwie wykonanej transfuzji, np. gdy osoba z grupą krwi Rh⁻ otrzyma krew z czynnikiem Rh⁺, lub gdy w organizmie kobiety ciężarnej z grupą krwi Rh⁻ rozwija się dziecko, które ma grupę krwi Rh⁺. Podczas pierwszej ciąży konfliktowej ilość wytworzonych przeciwciał anti-Rh jest na tyle mała, że nie stanowi zagrożenia dla dziecka. W każdej kolejnej ciąży tego typu zagrożenie dla dziecka jest coraz większe, ponieważ oprócz już istniejących przeciwciał anti-Rh we krwi matki powstają nowe. Aby zapobiec skutkom konfliktu serologicznego, matce podaje się substancje, które neutralizują przeciwciała anti-Rh wytworzone przez jej organizm.



może się znajdować antygen i skierowane przeciwko niemu przeciwciała. Gdy to nastąpi, powstaje konflikt serologiczny, dlatego przed każdą transfuzją krwi, w celu wykazania zgodności grup krwi dawcy i biorcy, wykonuje się próbę krzyżową.

1. **Próba krzyżowa** polega na zmieszaniu krwinek dawcy z surowicą biorcy (jeden test) oraz surowicy dawcy z krwinkami biorcy (drugi test) i zbadaniu obecności lub braku czynnika Rh w krwinkach biorcy. Jeśli w wyniku próby krzyżowej wystąpi aglutynacja, czyli zlepienie się czerwonych krwinek w duże kompleksy, jest

to sygnał, że tej krwi nie można przetoczyć pacjentowi. W takiej sytuacji mówi się o niezgodności grup krwi lub konflikcie serologicznym. Najbezpieczniejsze jest przetaczanie tej samej grupy krwi i dlatego w praktyce klinicznej tę metodę stosuje się najczęściej.

Oprócz antygenów A i B w błonach ludzkich erytrocytów znajduje się ok. 30 innych antygenów. Złożony układ antygenów, wśród których dominujące znaczenie ma antygen D, określa się jako czynnik Rh. Krew, w której on występuje, określa się jako Rh⁺. Krew pozbawiona antygeny D to krew Rh⁻. Ma ją tylko 15% ludzi.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij fizjologiczną rolę krwi.
2. Podaj skład krwi oraz określ rolę poszczególnych elementów morfotycznych krwi.
3. Omów znaczenie diagnostyczne badanych składników krwi.
4. Określ związek budowy erytrocytów z ich funkcją.
5. Wyjaśnij, na jakiej podstawie określa się grupę krwi człowieka.
6. Wymień grupy krwi, które można przetoczyć biorcom o grupach krwi: A oraz B.
7. Wyjaśnij, w jaki sposób dochodzi do konfliktu serologicznego.

2

Budowa i funkcje układu krwionośnego

Układ krążenia zapewnia transport substancji między różnymi tkankami, narządami i układami narządów. Zaopatruje je w tlen i substancje odżywcze oraz odprowadza zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii. W ten sposób umożliwia ich eliminację przez nerki, płuca oraz wątrobę. Na układ krążenia składają się układ krwionośny oraz układ limfatyczny. Do układu krwionośnego należą:

- ▶ czterojamowe serce, składające się z dwóch przedsionków i dwóch komór, którego rytmiczna praca warunkuje przemieszczanie się krwi,
- ▶ zamknięty system naczyń krwionośnych, w których krąży krew.

■ Rodzaje naczyń krwionośnych

Wyróżnia się trzy rodzaje naczyń krwionośnych: tętnice, żyły i naczynia włosowate.

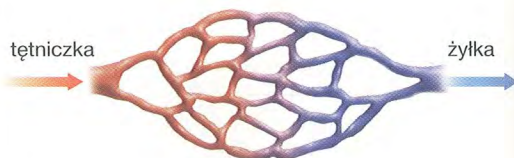
Tętnice rozprawdają krew z serca do wszystkich tkanek organizmu. Ich trójwarstwowe ściany są mocne i elastyczne, ponieważ muszą wytrzymać wysokie ciśnienie przepływającej krwi.

Żyły transportują krew z tkanek ciała do serca. Ciśnienie krwi jest w nich niskie (w pobliżu ujścia żył głównych do serca wynosi ok. 5 mm Hg; 6,7 kPa), dlatego ich ściany, mimo że także zbudowane z trzech warstw, są cienkie i wiotkie. W dużych i średnich naczyniach żylnych występują zastawki uniemożliwiające cofanie się krwi.

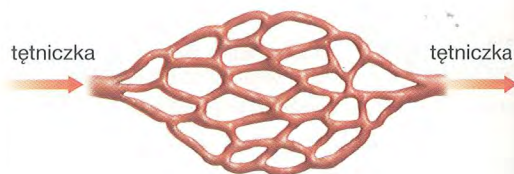
Naczynia włosowate tworzą w organizmie gęste sieci. Ich łączną długość szacuje się na 100 000 km. Ściany naczyń włosowatych są wyjątkowo cienkie i składają się tylko z jednej warstwy płaskich komórek, nazywanej śródbłonkiem. Taka budowa jest wynikiem przystosowania naczyń włosowatych do sprawnej wymiany składników między krwią a tkankami. W wymianie tej pośredniczy płyn tkankowy (międzykomórkowy), opływający komórki. Naczynia włosowate docierają do komórek na

Sieci naczyń włosowatych

Wyróżnia się trzy typy sieci naczyń włosowatych.



Zwykła sieć naczyń włosowatych łączy końcowe odcinki tętnic, zwane tętniczkami, z początkowymi odcinkami żył – żyłkami, tworząc układ: tętniczka – naczynia włosowate – żyłka.



Sieć dziwna występuje tylko w niektórych narządach. Naczyniami doprowadzającymi i odprowadzającymi krew są tętniczki (np. w nerkach) lub żyłki (np. w wątrobie).

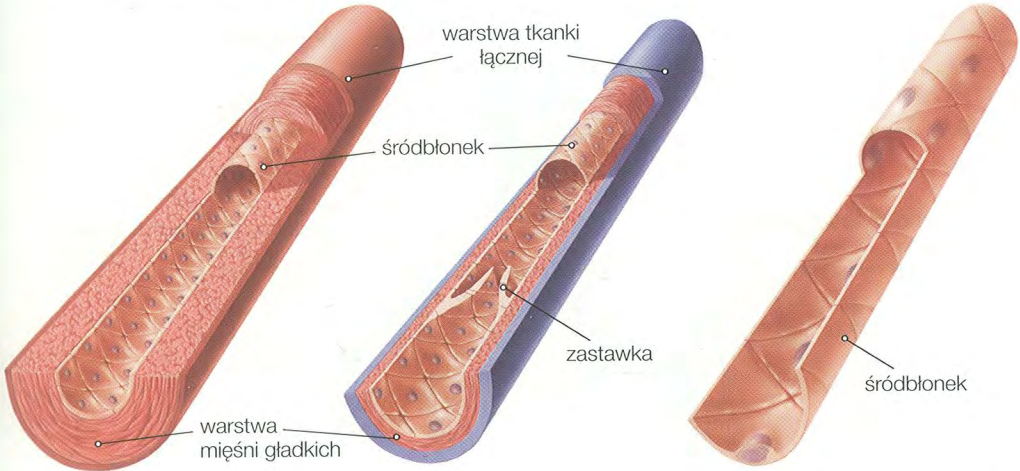


Układ wrotny tworzą sieci naczyń włosowatych dwóch narządów połączone jednym większym naczyniem krwionośnym. Przykładowo sieci jelita cienkiego i wątroby kontaktują się ze sobą za pośrednictwem żyły wrotnej.

odległość równą ok. 0,05 mm. Najsilniej rozwiniętą sieć naczyń włosowatych mają narządy o dużej aktywności metabolicznej, np. wątroba.

Budowa naczyń krwionośnych

Ściany tętnic i żył są zbudowane z trzech warstw. Zewnętrzną tworzy tkanka łączna, środkową – tkanka mięśniowa gładka, a wewnętrzną – nabłonek jednowarstwowy płaski, nazywany śródbłonkiem. Ściany naczyń włosowatych są wyjątkowo cienkie i składają się tylko z jednej warstwy – śródbłonka.



Ściany tętnic są grube i elastyczne. Duża ilość włókien sprężystych sprawia, że się nie zapadają, a gruba warstwa mięśni umożliwia aktywny skurcz zwężający światło naczynia.

Ściany żył są wiotkie i cienkie. Mają słabo wykształconą warstwę mięśniową, dlatego puste naczynia się zapadają. Światło żył jest znacznie większe niż światło odpowiadających im tętnic.

Ściany naczyń włosowatych są bardzo cienkie, zbudowane tylko z jednej warstwy płaskich komórek śródbłonka. Dzięki temu zachodzi wymiana substancji między krwią a płynem tkankowym.

Przepływ krwi w żyłach kończyn dolnych

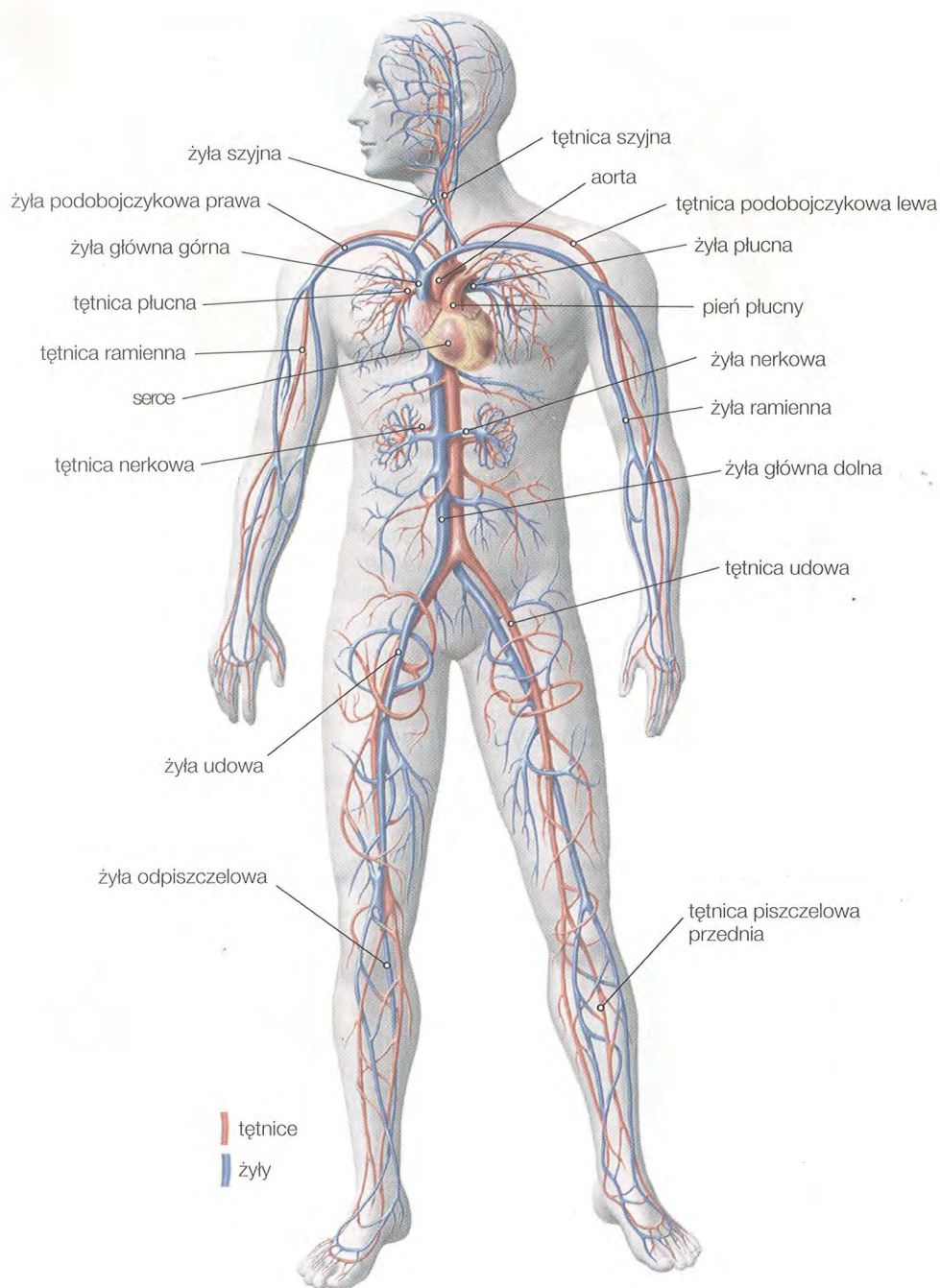
Przepływ krwi w żyłach kończyn dolnych odbywa się wbrew sile ciężkości. Ułatwia go praca zastawek i mięśni szkieletowych. Mimo to długotrwałe przebywanie w pozycji pionowej powoduje nabrzmienie żył w nogach z powodu utrudnionego odpływu krwi. Zastój krwi sprzyja rozciąganiu i wiotczeniu ścian żył, czyli zmianom prowadzącym do powstawania żylaków.

⇒ żylaki



Układ krwionośny człowieka

Układ krwionośny jest częścią układu krążenia. Składa się z naczyń krwionośnych, w których krąży krew, oraz z serca wymuszającego jej przepływ. Funkcją układu krwionośnego jest transport substancji w obrębie organizmu.

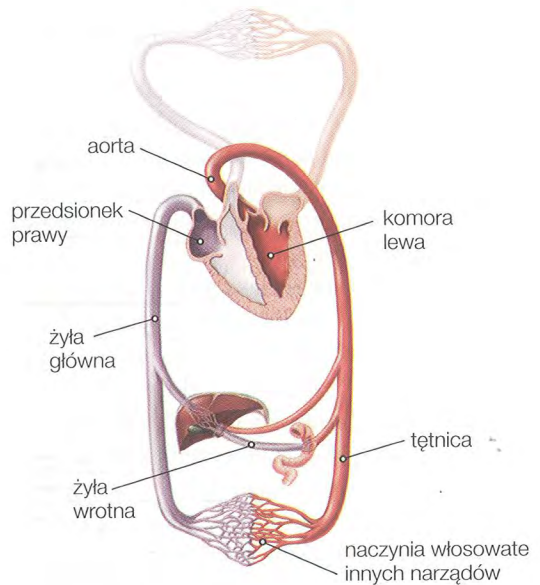
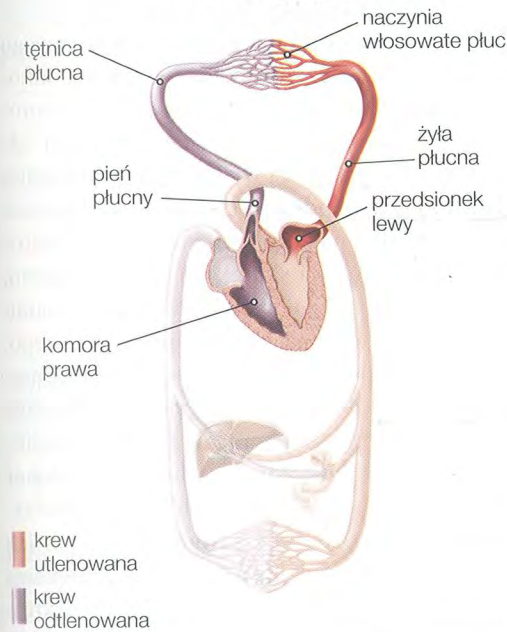


Krążenie krwi

W układzie krwionośnym wyróżnia się dwa krwiobiegi: mały (płucny) i duży (obwodowy). Krwiobieg mały umożliwia wymianę gazową między krwią a płucami, zapewniając utlenowanie krwi. Krwiobieg duży zapewnia wszystkim komórkom organizmu stałą dostawę tlenu i usuwa z nich produkty przemiany materii.

Krwiobieg mały

Krwiobieg duży



■ Krążenie krwi

W układzie krwionośnym człowieka wyróżnia się dwa krwiobiegi:

➤ **krwiobieg duży** (obwodowy, somatyczny) rozpoczyna się w lewej komorze serca, skąd krew wypływa aortą, przepływa przez wszystkie narządy i dociera do prawego przedsionka serca. Obieg ten zapewnia wszystkim komórkom organizmu stałą dostawę tlenu i usuwa z nich dwutlenek węgla;

➤ **krwiobieg mały** (płucny) rozpoczyna się w prawej komorze serca, skąd krew płynie

do płuc, a z nich do lewego przedsionka serca; umożliwia wymianę gazową między krwią a płucami, zapewniając utlenowanie krwi.

Pod względem czynnościowym można więc mówić o dwóch częściach serca: prawej i lewej. Prawa część pompuje krew odtlenowaną, zaś lewa utlenowaną.

Czy wiesz, że...

W organizmie człowieka krew przepływa przez duży i mały krwiobieg w czasie ok. 20–28 sekund.

Polecenia kontrolne

1. Opisz funkcjonowanie obiegów krwi.
2. Scharakteryzuj typy sieci naczyń włosowatych występujących w organizmie człowieka.
3. Porównaj tętnice z żyłami. Wyjaśnij, z czego wynikają różnice w ich budowie.
4. Omów funkcje żył, tętnic i naczyń włosowatych.
5. Określ związek budowy naczyń włosowatych z pełnioną przez nie funkcją.

Aby układ krwionośny mógł spełniać swoje funkcje, krew musi nieustannie krążyć po całym organizmie. Umożliwia to praca serca. Skurcze serca tłoczą krew z komór do dużych naczyń tętniczych, skąd systemem coraz drobniejszych tętnic dociera ona do naczyń włosowatych w tkankach i narządach całego organizmu. Stamtąd jest zbierana przez naczynia włosowate żyłne, którymi dostaje się do coraz szerszych żył, by ostatecznie powrócić do przedsionków serca, a z nich do komór.

Serce dorosłego człowieka jest stożkowatym narządem o wielkości zbliżonej do pięści i wadze ok. 0,5 kg, zbudowanym głównie z tkanki mięśniowej. Dzieci w wieku 2–4 lat mają duże serce w stosunku do reszty ciała, dlatego wykazują dużą odporność na zmęczenie. W okresie dojrzewana (14–16 lat) rozmiary serca są małe i nieproporcjonalne do reszty ciała, stąd zdarzające się u nastolatków stany zmęczenia, zabłąbnięcia i omdlenia. Właściwą wielkość w stosunku do rozmiarów ciała serce osiąga u osób w wieku 18–20 lat.

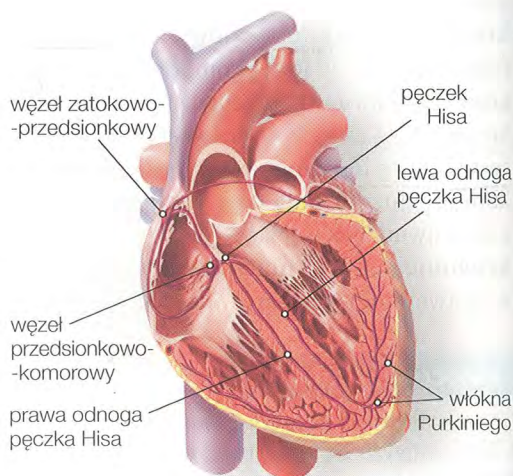
Układ przewodzący serca

Serce, wyizolowane z organizmu i przechowywane w odpowiednich warunkach fizjologicznych, może wykonywać rytmiczne skurcze jeszcze przez wiele godzin. Ta szczególna właściwość nosi nazwę automatyzmu serca. Wynika ona z obecności w mięśniu sercowym ośrodków stymulujących jego pracę, tworzących tzw. układ przewodzący serca. Ośrodki automatyzmu serca są zbudowane ze specjalnie zmodyfikowanych włókien mięśniowych, które mają zdolność rytmicznego samopobudzania i przewodzenia skurczów, niezależnie od pobudzenia nerwowego.

Serce pracuje w rytmie generowanym przez nadrzędny ośrodek automatyzmu. Jest nim węzeł zatokowo-przedsionkowy, umiejscowiony w tylnej ścianie prawego przedsionka. Następnie pobudzenie jest przekazywane do

węzła przedsionkowo-komorowego znajdującego się w ścianie między prawym przedsionkiem a prawą komorą. Stamtąd impulsy docierają do pęczka przedsionkowo-komorowego (pęczka Hisa), który rozdziela się na dwie odnogi biegnące wzdłuż przegrody międzykomorowej do koniuszka serca. W ścianach komór odnogi rozdziela się na wiele drobnych włókien Purkiniego, pobudzających komory do skurczu.

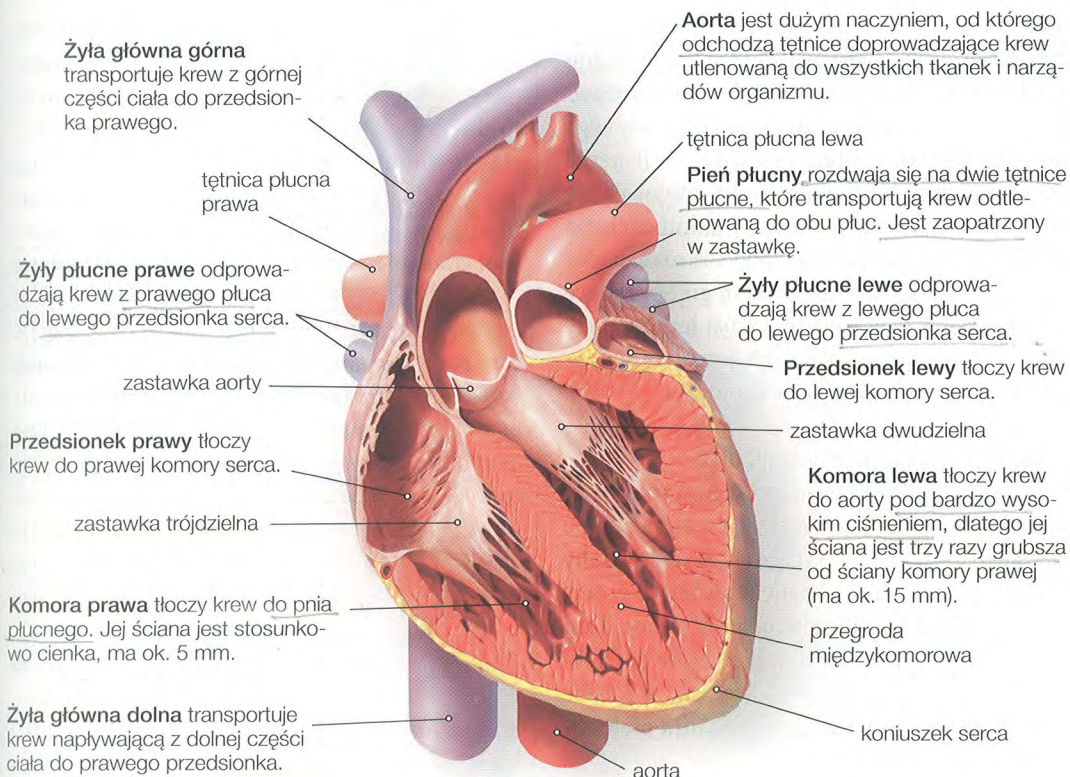
W wypadku nagłego zatrzymania akcji zdrowego serca, np. na skutek porażenia prądem, często udaje się ją wznowić dzięki wykonaniu zewnętrznego masażu mięśnia sercowego. Warunkiem powodzenia jest udzielenie pomocy do 5 min od chwili ustania pracy serca, czyli zanim nastąpią nieodwracalne zmiany w mózgu (jest on szczególnie wrażliwy na niedobór tlenu i substancji odżywczych). Przy zaburzeniach pracy ośrodków automatyzmu lub ich uszkodzeniach istnieje możliwość wszczepienia sztucznego rozrusznika serca. Jest to elektroniczne urządzenie, które umieszcza się pod skórą klatki piersiowej.



Węzeł zatokowo-przedsionkowy inicjuje pracę serca, dlatego jest nazywany fizjologicznym rozrusznikiem.

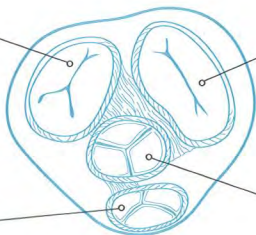
Budowa serca

Serce jest zamknięte w worku osierdziowym, zbudowanym z dwóch warstw tkanki łącznej. Błazka wewnętrzna (trzewna) przylega do powierzchni serca, następnie odchyła się i przechodzi w błazkę zewnętrzną (ścienną). Pomiedzy warstwami tkanki łącznej tworzy się jama osierdza, która jest wypełniona płynem, zmniejszającym wzajemne tarcie obu warstw podczas pracy serca. U człowieka serce ma cztery jamy: dwie komory i dwa przedsionki. Między przedsionkami a komorami oraz na pograniczu komór i wychodzących z nich tętnic znajdują się zastawki. W rytmicznie kurczącym się sercu zastawki warunkują jednokierunkowy przepływ krwi: z przedsionków do komór, a następnie do tętnic.



Zastawka trójdzielna (przedsionkowo-komorowa prawa) składa się z trzech płatków. Blokuje powrót krwi z prawej komory do prawego przedsionka.

Zastawka pnia płucnego, podobnie jak zastawka aorty, składa się z trzech płatków o kształcie półksiężyca (stąd ich dawna nazwa: zastawki półksiężycowate). Zapobiega cofaniu się krwi z pnia płucnego do prawej komory.



Zastawka dwudzielna (przedsionkowo-komorowa lewa, mitralna) składa się z dwóch płatków. Zapobiega cofaniu się krwi z lewej komory do lewego przedsionka.

Zastawka aorty składa się z trzech płatków w kształcie półksiężyca. Uniemożliwia powrót krwi do lewej komory.

Praca serca

Cykl pracy serca to seria zmian zachodzących podczas jednego skurczu i rozkurczu komór oraz przedsionków serca. U dorosłego człowieka pozostającego w stanie spoczynku serce kurczy się ok. 70 razy na minutę, a pojedynczy cykl trwa niecałą sekundę (ok. 0,85 s). W cyklu pracy serca wyróżnia się trzy etapy.

Regulacja pracy serca

Pracę serca regulują nie tylko ośrodki automatyzmu, ale też układ nerwowy i układ hormonalny. Dzięki temu możliwa jest modyfikacja zarówno częstotliwości uderzeń serca, jak i siły jego skurczu. Zmiany intensywności akcji serca (przyspieszanie lub hamowanie) odbywają się odruchowo, tzn. bez udziału świadomości. Na przyspieszenie pracy serca wpływają m.in. bodźce płynące z kory mózgu (strach, gniew, radość i inne), wysiłek fizyczny lub wzrost temperatury ciała (w stanach gorączkowych serce może uderzać nawet ponad 100 razy na minutę).

Diagnostyka pracy serca

Jedną z podstawowych metod diagnostycznych jest elektrokardiografia. Jej celem jest rozpoznanie przebiegu zjawisk elektrycznych w sercu osoby badanej. Impulsy elektryczne powstające w sercu docierają także do powierzchni skóry. Tam za pomocą odpowiednio umieszczonych elektrod można je zarejestrować i zapisać w formie elektrokardiogramu podczas badania elektrokardiograficznego (EKG).

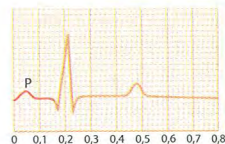
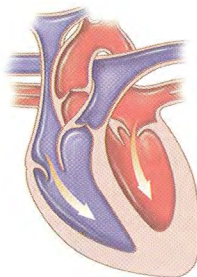
Bardzo prostym i niewymagającym aparatury badaniem pracy serca jest pomiar tętna (pulsu). Tętno (puls) to rytmiczne rozciąganie ścian naczyń tętniczych podczas wypełniania ich krwią wyrzucaną z serca w czasie skurczu komór.



Krzywa elektrokardiograficzna osoby zdrowej pozostającej w spoczynku. Załamek P powstaje podczas skurczu przedsionków, krzywa QRS obrazuje początek skurczu komór, załamek T oznacza koniec skurczu komór i początek ich rozkurczu.

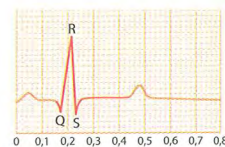
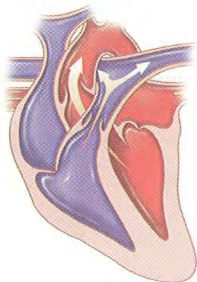
Cykl pracy serca

- 1 Etap skurczu przedsionków i rozkurczu komór (0,15 s). Krew przepływa z przedsionków do komór.



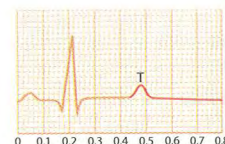
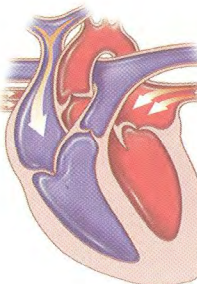
- 2 Etap skurczu komór i rozkurczu przedsionków (0,3 s). Wzrasta ciśnienie krwi w komorach, następuje zamknięcie zastawek przedsionkowo-komorowych. Towarzyszą temu zjawiska akustyczne, zwane pierwszym tonem serca. Gdy ciśnienie krwi w komorach serca przewyższy ciśnienie panujące w tętnicach, zastawki półksiężycowate otwierają się i krew z komór zostaje wypchnięta do tętnic.

① ton



- 3 Etap rozkurczu całego serca, czyli zarówno komór, jak i przedsionków. Jest to okres pauzy lub spoczynku (0,4 s). Zastawki półksiężycowate zamykają się, czemu towarzyszy drugi ton serca. Krew napływa do przedsionków.

② ton serca



Fala powstającego w ten sposób wzmożonego ciśnienia krwi w naczyniach tętniczych rozchodzi się ku obwodowi. Tętno jest łatwo wyczuwalne we wszystkich tętnicach biegnących powierzchniowo, pod skórą. Najczęściej bada się je na tętnicy promieniowej (po wewnętrznej stronie nadgarstka). Określając właściwości tętna, uwzględnia się m.in. jego częstość i regularność. Na podstawie pomiaru tętna można wnioskować o prawidłowości funkcjonowania układu krwionośnego. Tętno w temperaturze pokojowej i w spoczynku wynosi ok. 70 uderzeń na minutę.

Wiele chorób układu krwionośnego, w tym serca, wymaga systematycznych pomiarów ciśnienia krwi. Ciśnienie krwi to wypadkowa nacisku wywieranego przez krew na ściany naczyń krwionośnych i oporu tych naczyń. Jego wartość w tętnicach zależy od fazy cyklu pracy serca. Najwyższe ciśnienie występuje podczas skurczu komór (ciśnienie skurczowe), najniższe w czasie ich rozkurczu i pauzy (ciśnienie rozkurczowe). Prawidłowa wartość ciśnienia skurczowego w spoczynku, mierzonego w tętnicy ramiennej, wynosi ok. 120 mm Hg, a rozkurczowego 80 mm Hg. W praktyce wartość ciśnienia przedstawia się jako ułamek, czyli dla prawidłowej wartości jest to 120/80 mm Hg [160/107 hPa].

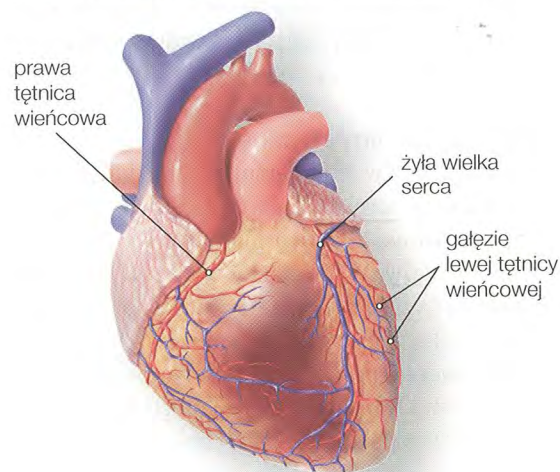
■ Regulacja ciśnienia krwi w naczyniach

Ciśnienie krwi w naczyniach jest regulowane na drodze nerwowej i hormonalnej oraz przez pracę serca. Proces ten polega na zmianach średnicy naczyń krwionośnych. Zwężenie naczyń powoduje wzrost ciśnienia i zwiększenie przepływu krwi, rozszerzenie naczyń jest przyczyną spowolnienia jej przepływu i obniżenia ciśnienia.

Zewnętrznym objawem odruchowego rozszerzenia naczyń krwionośnych skóry i napływu krwi jest jej wyraźne zaczerwienienie. Takie zjawisko mogą wywołać silne emocje lub podwyższona temperatura ciała. Nagłe zblednięcie skóry jest z kolei spowodowane skurczem naczyń krwionośnych, a w konsekwencji ograniczeniem napływu krwi.

■ Krążenie wieńcowe

Serce, podobnie jak pozostałe narządy, potrzebuje do pracy tłenu i substancji odżywczych. Są one doprowadzane przez tętnice wieńcowe, które odchodzą od aorty w jej początkowym odcinku. Tętnice oplatają serce na kształt wieńca, a ich liczne odgałęzienia wnikają w głąb mięśnia sercowego. Zbędne produkty przemiany materii są odprowadzane przez żyły wieńcowe uchodzące bezpośrednio do prawego przedsionka serca.



Naczynia wieńcowe. Przez tętnice wieńcowe przepływa średnio ok. 5% całkowitej ilości krwi krążącej w organizmie człowieka. Ilość ta może się zwiększyć nawet pięciokrotnie, np. podczas wysiłku.

Polecenia kontrolne

1. Podaj przystosowania serca do pełnionej przez nie funkcji.
2. Wyjaśnij znaczenie krążenia wieńcowego i określ skutki jego niewydolności.
3. Omów cykl pracy serca.
4. Narysuj schemat serca człowieka, zaznacz na nim ośrodki automatyzmu serca i podpisz je.
5. Wyjaśnij pojęcie *automatyzm pracy serca*.
6. Wymień czynniki wpływające na przyspieszenie pracy serca.
7. Wyjaśnij, czym jest elektrokardiogram.

Układ limfatyczny (chłonny) stanowi część układu krążenia. Jego główne funkcje to:

- ▶ utrzymanie równowagi płynów ustrojowych,
- ▶ obrona organizmu przed drobnoustrojami chorobotwórczymi (dlatego jest ważnym elementem układu odpornościowego).

Poza tym układ limfatyczny uczestniczy w transporcie tłuszczów i niektórych hormonów. Pośredniczy także w wymianie składników między krwią a komórkami tam, gdzie nie dochodzi już nacynia krwionośne.

Układ limfatyczny jest układem otwartym. Tworzą go **narządy limfatyczne** i **naczynia limfatyczne**, w których płynie limfa. Do **centralnych narządów limfatycznych** należą grasica i szpik kostny. **Narządami obwodowymi** są: węzły chłonne, śledziona i grudki limfatyczne (np. migdałki i kępki Peyera).

■ Narządy limfatyczne

Grasica leży w śródpiersiu, za mostkiem. Otoczona jest torebką łącznotkankową. Narząd ten składa się z dwóch płatów, a każdy z nich – z płacików. W płacikach wyróżnia się część korową i część rdzenną. Grasica powiększa się do 2. roku życia, pozostaje duża aż do okresu dojrzewania, po czym stopniowo przekształca się w tzw. ciało tłuszczowe zamostkowe. Grasica pełni ważną funkcję odpornościową. Wytwarza także związki o charakterze hormonalnym, stymulujące m.in. powstawanie i dojrzewanie limfocytów T. Jest więc równocześnie gruczołem dokrewnym.

Szpik kostny czerwony występuje u dorosłych tylko w kregach, żebrach, mostku, obojczykach, kościach czaszki i miednicy, a u osób młodych także w nasadach kości długich. Pełni funkcję krwiotwórczą, wytwarza elementy morfotyczne krwi.

Węzły chłonne mają średnicę 2–30 mm i kształt zbliżony do ziarna fasoli. Występują we wszystkich narządach wewnętrznych,

a także tworzą wyraźne skupiska w zgięciach łokciowych, podkołanowych, pod pachami, w pachwinach, na szyi i głowie. Pełnią funkcje odpornościowe.

Śledziona leży w lewej górnej części jamy brzusznej. Jest największym narządem limfatycznym. Ma długość ok. 12 cm i szerokość ok. 7 cm, waży ok. 150 g. Śledziona jest otoczona torebką łącznotkankową, od której odchodzą beleczki tworzące zrąb narządu. W torebce i beleczkach znajdują się mięśnie gładkie sprawiające, że struktury te mogą się obkurczać. Dzięki temu zapas krwi, który znajduje się w śledzionie, może być wyrzucany do krwiobiegu. Wnętrze śledziony jest wypełnione przez miąższ, tzw. miazgę. Miąższ ten jest bardzo kruchy, dlatego śledziona bardzo łatwo pęka przy urazach lewej strony jamy brzusznej. Śledziona odgrywa ważną rolę w reakcjach odpornościowych, ponadto niszczy zużyte erytrocyty. Równocześnie śledziona pełni funkcję pomocniczego zbiornika krwi. W sytuacji zwiększonego zapotrzebowania na krew, np. podczas wysiłku fizycznego, następuje gwałtowny skurcz śledziony i wyrzut zgromadzonej w niej krwi, co objawia się kłującym bólem w lewym podżebrzu, określanym potocznie jako kłucie w boku.

Grudki limfatyczne to skupiska limfocytów B i T oraz komórek żernych występujące pojedynczo lub w grupach w ścianie przewodu pokarmowego, dróg oddechowych i narządów moczowo-płciowych. Zgrupowanie grudek limfatycznych w jelicie nosi nazwę kępek Peyera, a w tylnej części jamy ustnej i gardła – migdałków. Grudki limfatyczne występują również w ścianie wyrostka robaczkowego.

Migdałki tworzą wokół gardła pierścień, który chroni organizm przed infekcjami układu oddechowego i pokarmowego. Znajdujące się po obu stronach gardła tzw. migdałki podniebienne dość łatwo ulegają infekcjom.

Kolonizujące je bakterie lub ich toksyny mogą przenikać do różnych narządów organizmu (np. serca, nerek, stawów), stając się przyczyną ich uszkodzenia. Jeśli stany zapalne migdałków podniebiennych powtarzają się, lekarz może zalecić ich usunięcie.

Czy wiesz, że...

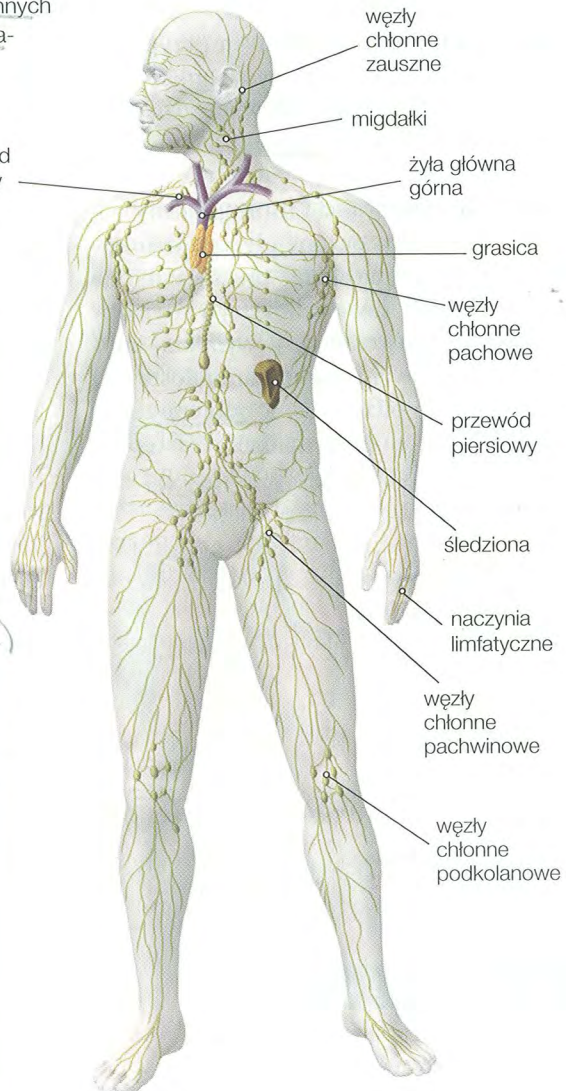
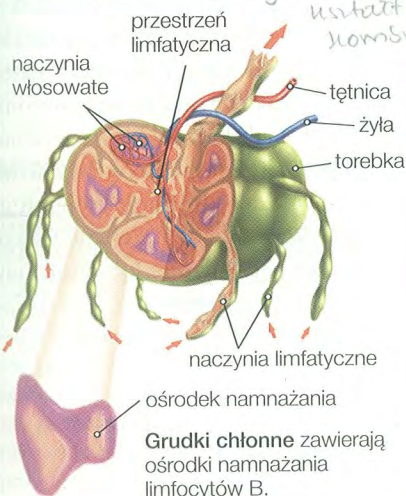
U dzieci często występuje przerost migdałka nieparzystego (zwanego trzecim), którego następstwem są m.in. niedrożność nosa i przewlekłe stany zapalne zatok przynosowych oraz uszu. W takim przypadku, między 5. a 7. rokiem życia, stosuje się leczenie operacyjne.

Budowa układu limfatycznego

Układ limfatyczny tworzą: gęsta sieć cienkościennej naczyń, w których krąży limfa, oraz narządy limfatyczne, z których część (węzły chłonne i grudki limfatyczne) jest rozproszona po całym ciele.

Węzeł chłonny

W skład układu limfatycznego wchodzi naczynia limfatyczne, w których płynie limfa, oraz narządy limfatyczne. Te ostatnie są zbudowane głównie z tkanki limfoidalnej. Jest to odmiana tkanki łącznej siateczkowej, w której oczkach namnażają się limfocyty.



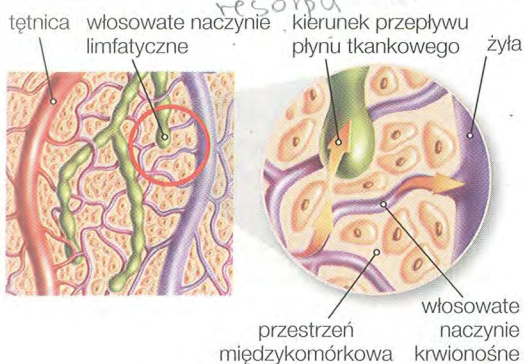
Naczynia limfatyczne

Naczynia limfatyczne tworzą na obszarze całego organizmu skomplikowany system. Rozpoczyna się on w przestrzeniach międzykomórkowych, skąd ślepo zakończone, włosowate naczynia limfatyczne zbierają nadmiar płynu tkankowego. Drobne naczynia limfatyczne łączą się w coraz większe, na końcu przechodząc w dwa główne naczynia limfatyczne: przewód piersiowy oraz przewód limfatyczny prawy. Oba przewody uchodzą do dużych żył położonych w pobliżu serca. Ściany średnich i większych naczyń limfatycznych przypominają ściany żył – są stosunkowo cienkie, zbudowane z trzech warstw. Wewnątrz naczyń limfatycznych występują zastawki.

Powstawanie, skład i funkcje limfy

Komórki tkanek są otoczone **płynem tkankowym**, powstającym na skutek przesączania się części osocza z włosowatych naczyń krwionośnych. Płyn ten pośredniczy w wymianie substancji między krwią a komórkami: dostarcza tlen i substancje odżywcze, a odbiera zbędne produkty przemiany materii. Następnie

filtracja



Przepływ płynu tkankowego z włosowatych naczyń limfatycznych przez przestrzeń międzykomórkową do włosowatych naczyń krwionośnych.

powraca do naczyń krwionośnych. Jego część, która dostaje się do wnętrza włosowatych naczyń limfatycznych, jest nazywana **limfą** (chłonką). Skład limfy jest podobny do składu osocza. Zawiera ona jednak znacznie mniej białek. W limfie znajdują się znaczne ilości limfocytów, pochodzących z narządów limfatycznych rozmieszczonych na drodze jej przepływu. Limfa odprowadzana z jelit jest biała i gęsta, ponieważ zawiera znaczne ilości tłuszczu, natomiast limfa opuszczająca inne narządy jest zwykle bezbarwna.

Rola układu krążenia w utrzymaniu homeostazy

Układ krążenia odgrywa istotną rolę w utrzymaniu równowagi wewnątrzustrojowej. Do jego głównych funkcji należą: transport substancji, obrona organizmu i termoregulacja. Swoje funkcje spełnia dzięki współpracy z innymi układami narządów, m.in. z układem pokarmowym, oddechowym i wydalniczym. Krew i limfa, krążąc po całym organizmie, zapewniają utrzymanie stałego ciśnienia osmotycznego, równowagi kwasowo-zasadowej i temperatury. Rozprowadzają również substancje odżywcze wchłaniane z przewodu pokarmowego oraz hormony uwalniane z gruczołów dokrewnych. Ponadto krew dostarcza do komórek pobierany w płucach tlen oraz odprowadza z tkanek do płuc dwutlenek węgla, a z tkanek do nerek – zbędne i szkodliwe produkty przemiany materii.

Krew i limfa pełnią również funkcje obronne. Znajdujące się w nich komórki i przeciwciała, docierając do wszystkich miejsc w organizmie, rozpoznają i zwalczają drobnoustroje chorobotwórcze oraz wytwarzane przez nie toksyny. Usuwają również uszkodzone lub chorobowo zmienione komórki organizmu.

Polecenia kontrolne

1. Podaj rolę układu limfatycznego.
2. Wymień narządy tworzące układ limfatyczny. Omów funkcje wybranego narządu.
3. Wymień podobieństwa i różnice między układem krwionośnym a limfatycznym.
4. Wyjaśnij zależność między osoczem, płynem tkankowym a limfą.
5. Korzystając z dodatkowych źródeł informacji, podaj przyczyny obrzeków ciała, związanych z funkcjonowaniem układu limfatycznego.

Choroby układu krążenia ze względu na częstotliwość występowania i skutki zalicza się, podobnie jak choroby nowotworowe, do chorób cywilizacyjnych.

■ Choroby związane ze składem krwi

Anemia i białaczka należą do chorób związanych ze składem krwi. Przy **anemii** (niedokrwistości) stężenie hemoglobiny i liczba erytrocytów są mniejsze od wartości optymalnych dla organizmu. Przyczyny tego stanu mogą być bardzo różne. Wymienia się wśród nich m.in. upośledzone wytwarzanie krwinek czerwonych, ich nadmierne niszczenie, niedobór żelaza, witaminy B₁₂ i kwasu foliowego. Konsekwencją tych zaburzeń jest niewydolność transportu tlenu objawiająca się blednością skóry, szybkim męczeniem się, bólami i zawrotami głowy, szumem w uszach, mroczkami przed oczami, sennością oraz trudnością w skupieniu uwagi.

Białaczka to choroba, której istotą jest nadmierne wytwarzanie i nieprawidłowe dojrzewanie krwinek białych. Nagromadzone komórki nie różnicują się prawidłowo, dlatego nie pełnią właściwych sobie funkcji obronnych. Przyczyną białaczki mogą być m.in. substancje chemiczne lub promieniowanie jonizujące. Jedną z metod jej leczenia jest przeszczepienie

szpiku kostnego, czyli zastąpienie szpiku chorego komórkami szpiku pobranymi od zdrowego dawcy.

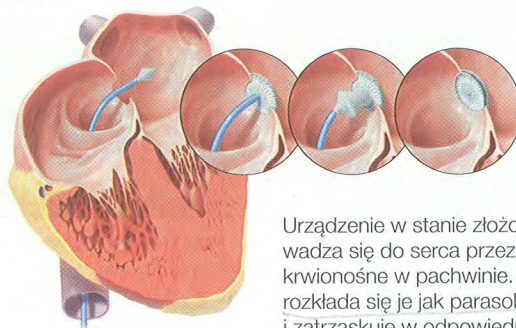
■ Wady serca

Kolejną grupą chorób związanych z układem krążenia są wrodzone lub nabyte wady serca. Wady wrodzone wynikają z nieprawidłowego ukształtowania tego narządu w trakcie rozwoju zarodkowego i płodowego. Jedną z najczęściej spotykanych wad tego typu jest ubytek przegrody między przedsionkami serca. Przedostawanie się krwi przez powstały otwór powoduje nieprawidłowe obciążenie serca, choć rzadko daje istotne objawy we wczesnym dzieciństwie. Z reguły są to częste infekcje układu oddechowego i duszność w trakcie wysiłku fizycznego. W okresie dojrzewania mogą pojawić się zaburzenia rytmu serca i cechy niewydolności prawej komory serca.

Wady nabyte są najczęściej związane ze złą pracą lub uszkodzeniem zastawek. Mogą powstać m.in. jako powikłanie po infekcjach bakteriami chorobotwórczymi powodującymi anginę lub zapalenie gardła. Z tego powodu nie należy lekceważyć nawet drobnych dolegliwości dotyczących górnych dróg oddechowych (jamy nosowej i gardła).

Leczenie wad wrodzonych serca

Ubytek przegrody międzyprzedsionkowej to jedna z najczęstszych wad wrodzonych serca. Stanowi ok. 12% wszystkich wad tego narządu. Jej obecność jest wskazaniem do leczenia chirurgicznego, mającego na celu przywrócenie prawidłowego przepływu krwi przez serce. Jedną ze stosowanych metod polega na zamknięciu otworu między przedsionkami za pomocą urządzenia przypominającego parasolkę.



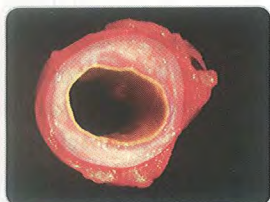
Urządzenie w stanie złożonym wprowadza się do serca przez naczynie krwionośne w pachwinie. Następnie rozkłada się je jak parasolkę i zatrząskuje w odpowiednim miejscu, wypełniając ubytek.

Miażdżyca

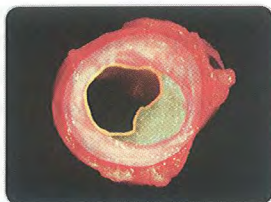
Miażdżyca to jedna z najczęściej występujących chorób układu krążenia. Jest chorobą przewlekłą, dotyczy średnich i dużych tętnic. Choć jej objawy pojawiają się zwykle dopiero po 40. roku życia, pierwsze zmiany o charakterze miażdżycowym można stwierdzić nawet już we wczesnym dzieciństwie. Ich stopniowy rozwój prowadzi do narastającego upośledzenia ukrwienia narządów.

■ PRZYCZYNA

Uważa się, że przyczyną miażdżycy są uszkodzenia ścian naczyń krwionośnych wynikające z braku niezbędnych minerałów, aminokwasów oraz witamin. W miejscach uszkodzeń, głównie w wewnętrznej błonie tętnic, gromadzą się cholesterol i inne lipidy. W ten sposób powstają blaszki miażdżycowe, które ulegając stopniowemu zwapnieniu, powodują stwardnienie tętnic, zmniejszenie ich elastyczności i zwężenie światła.



Światło zdrowej tętnicy jest szerokie i nie zakłóca przepływu krwi.



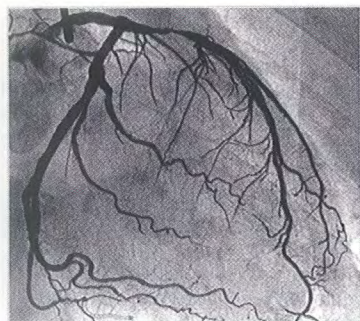
Na skutek miażdżycy światło tętnicy jest zwężone, a przepływ krwi utrudniony.

Czynniki ryzyka wystąpienia miażdżycy:

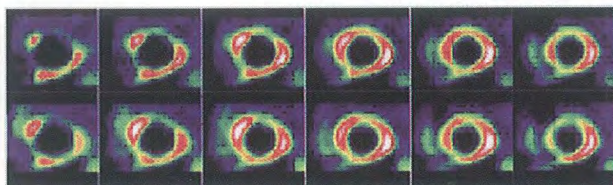
- płeć męska,
- starszy wiek,
- palenie tytoniu,
- dieta bogata w nasycone kwasy tłuszczowe i cukry proste,
- niedostateczne spożycie niektórych witamin (C, A, E, B₆, B₁₂),
- niektóre choroby (np. cukrzyca, otyłość, nadciśnienie tętnicze),
- długotrwałe napięcie nerwowe.

■ DIAGNOSTYKA

Aby zdiagnozować miażdżycę, oznacza się m.in. stężenie cholesterolu i triglicerydów we krwi. Wykonuje się też USG tętnic, pokazujące przepływ krwi w naczyniach tętniczych nóg i szyi, tomografię komputerową serca, koronarografię (tętnice wieńcowe poddaje się działaniu kontrastu, który umożliwia uwidocznienie ich za pomocą promieniowania rentgenowskiego) oraz scyntyografię.



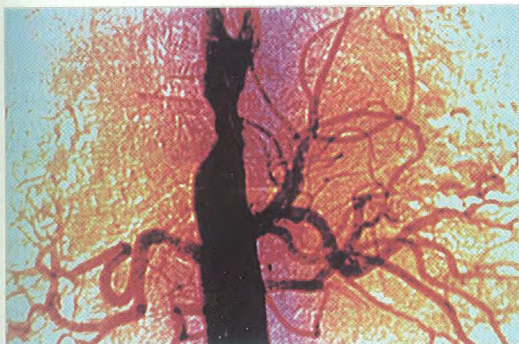
Zdjęcie rentgenowskie tętnic wieńcowych wykonane podczas koronarografii.



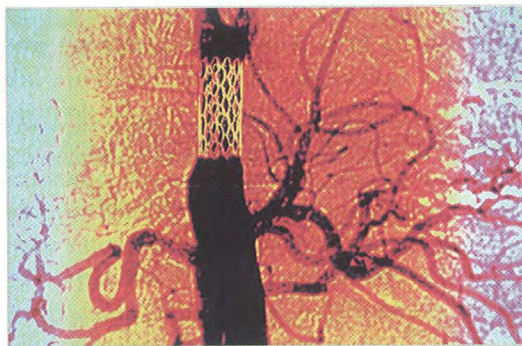
Przekrój tętnicy wieńcowej (zdjęcia rentgenowskie barwione komputerowo). W wypadku miażdżycy tętnic wieńcowych wykonuje się badanie scyntygraficzne. Polega ono na wprowadzeniu do krwi radioaktywnego izotopu talu 201, a następnie wykonaniu serii zdjęć rentgenowskich. Uszkodzone komórki serca nie wychwytyją talu, dlatego niedotlenione obszary mają kolor czerwony.

LECZENIE

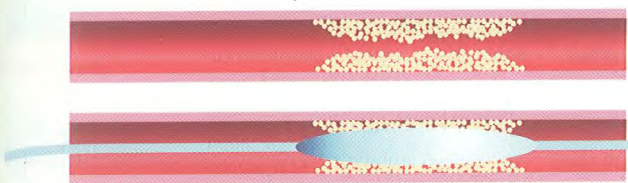
W leczeniu miażdżycy stosuje się przede wszystkim leki obniżające ciśnienie, krzepliwość oraz poziom cholesterolu we krwi. Bardziej zaawansowana postać choroby wymaga chirurgicznego usunięcia blaszki miażdżycowej. Alternatywnym zabiegiem jest angioplastyka (rozpychanie zwężonych tętnic i zgniatanie blaszek miażdżycowych balonikiem). W najcięższych przypadkach wykonuje się by-passy, czyli wszczepia się do serca fragmenty naczyń pobranych np. z nogi pacjenta, tak by omijały zwężone miejsce.



Naczynie przed angioplastyką (zdjęcie rentgenowskie barwione komputerowo).



Naczynie po angioplastyce (zdjęcie rentgenowskie barwione komputerowo). Aby zapobiec nawrotowi zwężenia, w rozszerzonym odcinku naczynia umieszcza się niewielką sprężynkę zwaną stentem.



W czasie angioplastyki wprowadza się do zwężonego odcinka tętnicy wiercownicę cewnik. Jest on zaopatrzony w niewielki balonik, który zostaje wypełniony roztworem soli fizjologicznej. Powiększający się balonik poszerza światło naczynia.

PROFILAKTYKA

W profilaktyce miażdżycy ważne jest prowadzenie zdrowego trybu życia, czyli:

- ▶ aktywność fizyczna,
- ▶ ograniczenie spożywania nasyconych kwasów tłuszczowych i cukrów prostych (przede wszystkim smażonych potraw, słodczy, fast foodów, czerwonego mięsa),
- ▶ niepalenie papierosów,
- ▶ dostarczanie soli mineralnych, wszystkich niezbędnych aminokwasów i witamin,
- ▶ ustalenie i usunięcie przyczyn niedoboru minerałów (np. zaburzenia trawienia, wchłaniania czy metabolizmu).



Systematyczny wysiłek fizyczny zwiększa wytrzymałość i sprawność mięśnia sercowego.

■ Konsekwencje miażdżycy

Miażdżycy dotyczy najczęściej naczyń tętniczych serca, mózgu i kończyn dolnych. Jej następstwem jest pogrubienie ścian tętnic i zmniejszenie ich światła, a w konsekwencji utrudnienie przepływu krwi oraz wzrost jej ciśnienia. Chropowata wewnętrzna powierzchnia ściany naczynia może także uszkadzać płytki krwi, uruchamiając kaskadę reakcji enzymatycznych prowadzących do krzepnięcia krwi wewnątrz naczynia i **powstania zakrzepu**. Znaczne zwężenie lub zamknięcie światła tętnicy prowadzi do martwicy tkanek.

Miażdżycy naczyń wieńcowych powoduje chorobę wieńcową, czyli niedokrwienie serca. Choroba ta nie daje żadnych objawów, dopóki osoba na nią cierpiąca jest wypoczęta i odprężona. Jednak w sytuacjach wzmożonego zapotrzebowania na tlen (wysiłek, stres, obfity posiłek lub zetknięcie z zimnym powietrzem czy wodą), zwężone naczynia wieńcowe nie są w stanie dostarczyć do serca wystarczającej ilości krwi. Wówczas pojawia się silny ból za mostkiem, określany mianem **dusznicy bolesnej**. W następstwie braku dopływu krwi do tkanek serca dochodzi do jego martwicy – zawału.

Miażdżycy może także doprowadzić do niedokrwienia i zawału mózgu. Stan ten jest określany jako niedokrwienno **udar mózgu**. W zależności od umiejscowienia udaru objawy są różne.

Objawem miażdżycy tętnic kończyn dolnych jest **chromanie przestankowe** – silny ból pojawiający się podczas chodzenia i ustępujący po krótkim odpoczynku. Wraz z postępem choroby ból występuje także w trakcie spoczynku. Całkowite zamknięcie tętnic grozi amputacją kończyn.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega niewydolność krążenia.
2. Podaj główne przyczyny niewydolności krążenia.
3. Scharakteryzuj czynniki, które zwiększają ryzyko wystąpienia miażdżycy.
4. Wymień prawdopodobne przyczyny rozwoju choroby nadciśnieniowej.
5. Opisz, w jaki sposób można walczyć z chorobami układu krążenia.

■ Nadciśnienie tętnicze

Nadciśnienie tętnicze należy do najbardziej rozpowszechnionych chorób na świecie i wraz z chorobą wieńcową stanowi przyczynę ponad połowy wszystkich zgonów wywołanych chorobami układu krążenia. Nadciśnienie tętnicze oznacza podwyższenie ciśnienia skurczowego i rozkurczowego powyżej normy, czyli według WHO powyżej wartości 140/90 mm Hg w spoczynku. Do przyczyn nadciśnienia zalicza się m.in.:

- ▶ zmniejszenie sprężystości naczyń (wywołane np. miażdżycą tętnic),
- ▶ wzrost objętości minutowej serca (z powodu np. niedomykalności zastawki aorty).

W konsekwencji utrzymującego się nadciśnienia powstają stopniowo pogłębiające się zmiany narządów wewnętrznych, głównie serca, naczyń krwionośnych, mózgu, nerek oraz narządu wzroku. W leczeniu nadciśnienia stosuje się wspomagająco niskokaloryczną dietę z ograniczeniem soli, zaleca się też unormowany tryb życia pozbawiony czynników stresogennych. Rodzaj stosowanych leków zależy od stopnia zaawansowania choroby.

Czy wiesz, że...

Przeciążenie, niewydolność lub uszkodzenie naczyń limfatycznych powodują gromadzenie się nadmiaru płynu tkankowego w przestrzeniach międzykomórkowych pod skórą. Wywołuje to obrzęk limfatyczny, np. palców, stopy, podudzia czy uda, któremu często towarzyszą zmiany zapalne skóry. Obrzęk kończyny może niekiedy prowadzić do jej deformacji bądź do obniżenia jej sprawności.

Podsumowanie

Elementy układu krążenia

UKŁAD KRAŻENIA

Układ krwionośny

- serce
- naczynia krwionośne: tętnice, żyły, naczynia włosowate

Układ limfatyczny

- narządy limfatyczne: grasicca, szpik kostny, węzły chłonne, śledziona, grudki limfatyczne (np. migdałki i kępkę Peyera)
- naczynia limfatyczne

Skład krwi

KREW

Osocze

woda

związki organiczne (głównie białka)

jony

erytrocyty

Elementy morfotyczne

leukocyty

- granulocyty:
- neutrofile
 - eozynofile
 - bazofile

- agranulocyty:
- limfocyty
 - monocyty

płytki krwi

Elementy morfotyczne krwi

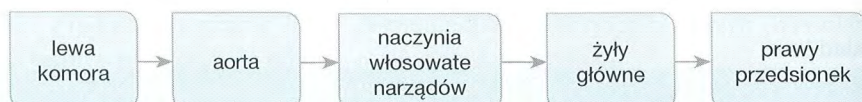
Cecha		Opis	Funkcja	Czas życia
Erytrocyty		komórki dwuwklęsłe, pozbawione jądra komórkowego	transport tlenu i częściowo dwutlenku węgla	ok. 120 dni
Leukocyty	neutrofile	komórki z ziarnistościami pochłaniającymi barwniki o odczynie obojętnym	usuwanie bakterii, wirusów i zarażonych komórek na drodze fagocytozy	2–4 dni
	eozynofile	komórki z ziarnistościami pochłaniającymi barwniki o odczynie kwaśnym	niszczenie bakterii i niektórych pasożytów	1 dzień
	bazofile	komórki z ziarnistościami pochłaniającymi barwniki o odczynie zasadowym	udział w reakcjach alergicznych i zapalnych	kilka dni
	limfocyty	niewielkie komórki z dużym jądrem komórkowym, nie mają właściwości żernych	udział w procesach odpornościowych (limfocyty T i B), wytwarzanie przeciwciał (tylko limfocyty B)	limfocyty T – średnio 4–10 lat, limfocyty B – ok. 5–10 dni
	monocyty	ruchliwe komórki o właściwościach żernych	wytwarzanie interferonu (hamuje on rozwój komórek nowotworowych i namnażanie się wirusów), pochłanianie patogenów na drodze fagocytozy	ok. 2 miesięcy
Płytki krwi		fragmenty cytoplazmy megakariocytów	udział w procesie krzepnięcia krwi, wytwarzanie serotoniny, która wywołuje skurcz naczyń i hamowanie krwawienia	8–10 dni

Budowa i funkcje naczyń krwionośnych

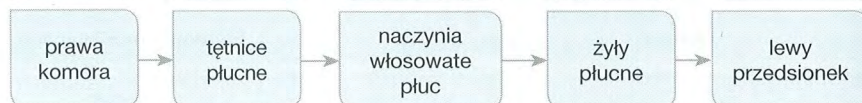
Cecha	Tętnice	Naczynia włosowate	Żyły
Grubość ścian	duża	najmniejsza	mała
Budowa ścian	ściana trójwarstwowa, duża ilość włókien sprężystych, gruba warstwa mięśni	ściana naczynia zbudowana z pojedynczej warstwy komórek	ściana trójwarstwowa, wyposażona w zastawki, warstwa mięśni cienka
Funkcja	rozprowadzanie krwi z serca do tkanek	umożliwiają wymianę substancji między krwią a tkankami	odprowadzanie krwi z tkanek do serca

Krążenie krwi

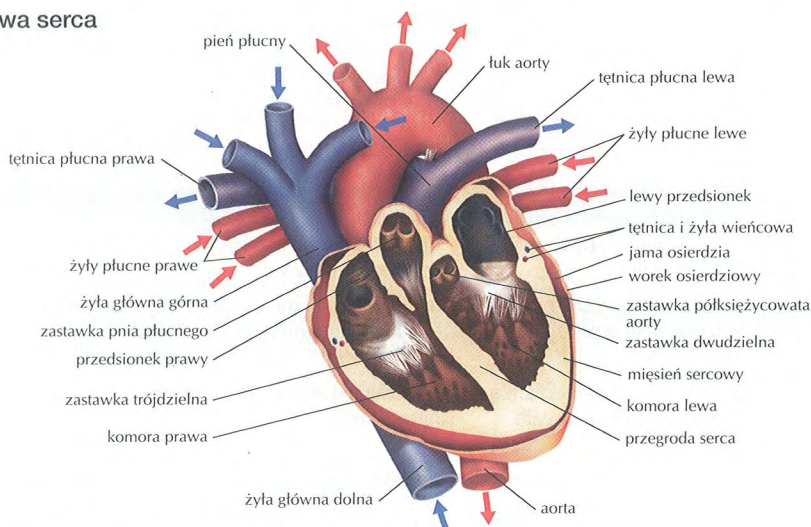
Krwiobieg duży:



Krwiobieg mały:



Budowa serca



Narządy układu limfatycznego

Cechy	Węzły chłonne	Migdałki	Grasica	Śledziona
Budowa	zbudowane z tkanki limfatycznej, 2–30 mm średnicy	skupienia tkanki limfatycznej, różnej wielkości	zbudowana z tkanki limfatycznej, osiąga masę ok. 25 g, po okresie dojrzewania stopniowo zanika	owalny narząd o masie ok. 150 g
Funkcje	- filtrują limfę, zatrzymując drobno-ustroje - miejsce namnażania się limfocytów B	biorą udział w zwalczaniu drobnoustrojów wnikających do organizmu przez jamę ustną i drogi oddechowe	- bierze udział w dojrzewaniu limfocytów T i wysyłaniu ich do innych narządów limfatycznych - jest niezbędna w rozwoju odporności organizmu - pełni funkcję gruczołu dokrewnego	- wytwarza limfocyty i monocyty - bierze udział w rozkładzie wszystkich elementów morfotycznych

Porównanie układów krwionośnego i limfatycznego

Cecha	Układ krwionośny	Układ limfatyczny
Budowa ogólna	- naczynia krwionośne (tętnice, naczynia włosowate, żyły) - serce	- naczynia limfatyczne (włosowate naczynia limfatyczne, przewody limfatyczne) - narządy: grasicca, szpik kostny, węzły chłonne, śledziona, grudki limfatyczne (np. migdałki i kępkę Peyera) oraz naczynia limfatyczne, w których płynie limfa.
System naczyń	zamknięty	otwarty
Tkanka płynna i jej skład	krw; osocze (złożone z wody, białek i substancji mineralnych) i elementy morfotyczne (erytrocyty, leukocyty, płytki krwi)	limfa; skład podobny do składu osocza (mniej białek), leukocyty (limfocyty)
Funkcje	- transport substancji (gazów oddechowych, składników pokarmowych, hormonów i in.) - utrzymywanie homeostazy (stałych wartości m.in.: temperatury, ciśnienia osmotycznego, pH) - udział w obronie przed drobnoustrojami chorobotwórczymi	- reakcje obronne organizmu - utrzymanie równowagi osmotycznej organizmu - transport substancji m.in. tłuszczów

Choroby układu krwionośnego

Nazwa	Przyczyny	Objawy	Leczenie i profilaktyka
Anemia (niedokrwistość)	upośledzenie wytwarzania krwinek czerwonych lub ich nadmierne niszczenie, niedobór żelaza, witaminy B ₁₂ , kwasu foliowego	liczba erytrocytów niższa od wartości optymalnych, błądność, szybkie męczenie się, senność	spożywanie pokarmów zawierających żelazo i witaminę B ₁₂
Białaczka	złożone, m.in. narażenie organizmu na promieniowanie jonizujące lub niektóre substancje chemiczne	nadmierne wytwarzanie krwinek białych	przeszczep szpiku kostnego, chemioterapia
Miażdżycza naczyń krwionośnych	złożone, m.in. spożywanie nadmiernej ilości nasyconych kwasów tłuszczowych	osadzanie się na ścianach tętnic związków tłuszczowych (głównie cholesterolu) i złogów wapnia, zwężenie światła naczyń i utrudnienie przepływu krwi, wzrost ciśnienia krwi	ograniczenie ilości spożywanych tłuszczów nasyconych, aktywność fizyczna, leczenie farmakologiczne
Choroba wieńcowa	złożone, m.in. spożywanie nadmiernej ilości nasyconych kwasów tłuszczowych	niedokrwienie serca, objawy niedotlenienia organizmu: duszności, osłabienie	leczenie farmakologiczne, leczenie chirurgiczne: wstawianie by-passów, poszerzanie światła tętnic wieńcowych
Nadciśnienie tętnicze	różne, w tym zmniejszenie sprężystości tętnic (wywołane np. miażdżycą tętnic)	wzrost wartości ciśnienia w stanie spoczynku powyżej określonej normy	niskokaloryczna dieta z ograniczeniem soli, unormowany tryb życia, leczenie farmakologiczne

Test maturalny

1 Krew składa się z krwinek i płynnego osocza.

a) Przyporządkuj do wymienionych w tabeli składników krwi przykłady pełnionych przez nie funkcji.

1. Transport większości CO_2 .
2. Produkcja przeciwciał.
3. Transport NH_3 .
4. Tworzenie skrzepu.
5. Transport składników odżywczych.
6. Fagocytoza patogenów.
7. Transport hormonów.
8. Transport tlenu.
9. Wyrównanie temperatury.

Osocze	Eryocyty	Leukocyty	Płytki krwi

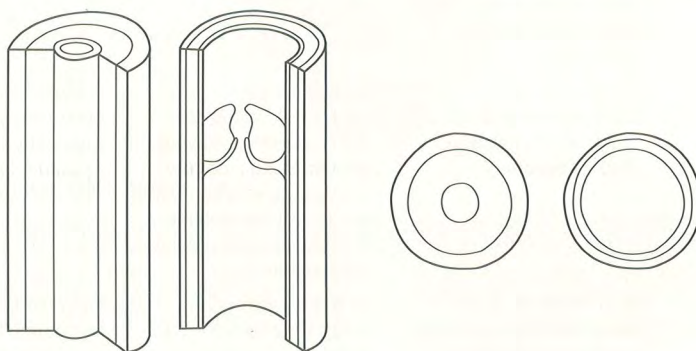
b) Wyjaśnij, o czym może świadczyć podwyższona ilość leukocytów we krwi badanej osoby, a o czym – obniżona ilość erytrocytów.

.....

.....

.....

2 Ilustracje przedstawiają przekrój podłużny oraz przekrój poprzeczny tętnicy i żyły.



Podaj trzy różnice w budowie tętnicy i żył oraz wyjaśnij ich znaczenie fizjologiczne.

1.
2.
3.

3 Jednym z ważnych parametrów określanych w ogólnym badaniu krwi jest hematokryt.

a) Wyjaśnij, czym jest hematokryt.

.....

b) Zaznacz prawidłową, przybliżoną wartość hematokrytu u zdrowego mężczyzny.

A. Około 36%.

B. Około 46%.

C. Około 57%.

D. Około 12%.

c) Określ kierunek zmian wartości hematokrytu w wypadku anemii, podkreślając właściwą odpowiedź.

wzrost wartości hematokrytu / spadek wartości hematokrytu

4 Ilustracja przedstawia test na aglutynację, który wykonano przed przeprowadzeniem transfuzji krwi, aby oznaczyć grupy krwi. W celu wykonania testu zmieszano krew czterech możliwych dawców (1–4) oraz krew biorcy z surowicami krwi o grupach: A, B, AB i 0.

	1.	2.	3.	4.	BIORCA
A					
B					
AB					
0					

a) Podaj grupy krwi biorcy oraz dawców.

Biorca:

Dawca 1:

Dawca 2:

Dawca 3:

Dawca 4:

b) Wypisz numery dawców, których krew może być wykorzystana do transfuzji w opisanym przypadku.

.....

c) Wyjaśnij, na czym polega aglutynacja.

.....

d) Podaj inny niż przedstawiony w zadaniu przykład wykorzystania testu na aglutynację.

.....

- 5** Choroby układu krążenia występują powszechnie w krajach rozwiniętych. Z uwagi na częstość występowania i skutki zalicza się je do chorób cywilizacyjnych. Jedną z najprostszych metod profilaktyki tych chorób jest prowadzenie zdrowego trybu życia.

a) Oceń prawdziwość zdań dotyczących miażdżycy. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

		P/F
1.	Polega ona na gromadzeniu się w ścianach naczyń krwionośnych związków tłuszczowych oraz złogów sodu.	
2.	Jednym z jej objawów jest pogrubienie ścian naczyń krwionośnych i zmniejszenie ich światła.	
3.	W jej trakcie następuje spadek ciśnienia krwi, spowodowany zwężeniem naczyń krwionośnych.	

b) Podaj cztery czynniki ryzyka wystąpienia miażdżycy.

1. 3.
2. 4.

c) Wyjaśnij zależność pomiędzy miażdżycą a chorobą wieńcową.

.....
.....

- 6** Wątroba to narząd wykazujący podwójne ukrwienie, tzw. ukrwienie normalne (tętnica – naczynia włosowate – żyła) oraz ukrwienie wrotne (żyła – naczynia włosowate – żyła).

Wyjaśnij, dlaczego krew pobrana z żyły wrotnej nie może być użyta do diagnostyki cukrzycy.

.....
.....

- 7** Układ krążenia składa się z dwóch osobnych układów: krwionośnego i limfatycznego, które różnią się od siebie budową oraz pełnionymi funkcjami.

Uzupełnij tabelę, przyporządkowując poniższe opisy właściwym układom.

1. Płyn wpływa do naczyń układu ze szczelin międzykomórkowych w tkankach.
2. Jest to układ zamknięty.
3. W płynie układu występują metabolity i leukocyty, brakuje natomiast płytek krwi.
4. W miejscu rozerwania naczyń powstaje skrzep.
5. W węzłach układu płyn zatrzymuje się.
7. W układzie tym ciśnienie zmienia się cyklicznie.

Układ krwionośny	Układ limfatyczny

To było na maturze!

Zadanie 1. (1 pkt)

Źródło: CKE 2009 (PR), zad. 16.

Wyróżnia się 4 podstawowe grupy krwi: A, B, AB i 0. W błonach erytrocytów warunkujących wystąpienie danej grupy krwi są odpowiednio antygeny A lub B, albo A i B lub nie ma żadnych antygenów. Stwierdzono, że w surowicy krwi nigdy nie występują przeciwciała skierowane przeciwko własnym antygenom. Przy niewłaściwym przetoczeniu krwi antygeny dawcy wywołują reakcję przeciwciał polegającą na zlepianiu się obcych krwinek (aglutynacja).

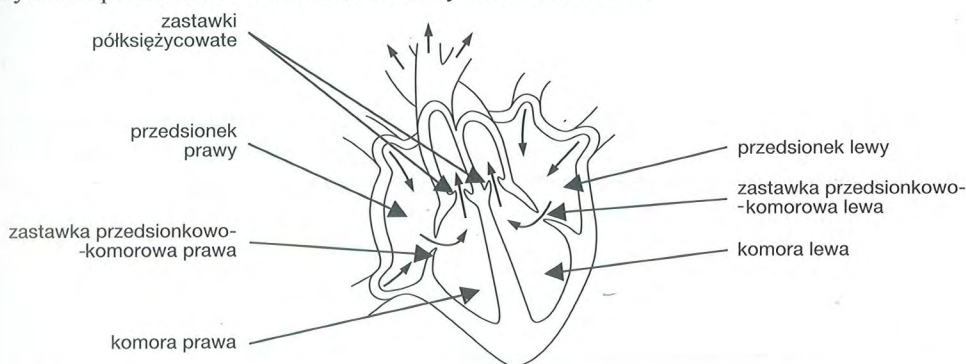
Do dwóch probówek: pierwszej z surowicą krwi A i drugiej z surowicą krwi B dodano niewielką ilość krwi o nieznannej grupie. W obu probówkach nic się nie zmieniło (brak aglutynacji).

Podaj grupę krwi, którą dodano do obu probówek. 0

Zadanie 2. (1 pkt)

Źródło: CKE 2009 (PR), zad. 17.

Na rysunku przedstawiono schemat budowy serca człowieka.



W tabeli przedstawiono trzy kolejne fazy pracy serca w czasie jednego cyklu.

Części serca	Faza I	Faza II	Faza III
Przedsionki	skurcz	rozkurcz	rozkurcz
Komory	rozkurcz	skurcz	rozkurcz
Zastawki przedsionkowo-komorowe	otwarte	zamknięte	otwarte
Zastawki półksiężycowate	zamknięte	otwarte	zamknięte

Na podstawie schematu budowy serca oraz informacji w tabeli przyporządkuj po jednym z poniższych opisów kierunku przepływu krwi (A, B, C, D) do wyróżnionej fazy pracy serca (I, II, III).

- A. Nowa porcja krwi napływa do serca.
- B. Krew z przedsionków napływa do komór.
- C. Krew z komór przepływa do przedsionków.
- D. Krew z komór wypływa z serca.

Faza I B Faza II D Faza III A

Zadanie 3. (1 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PR), zad. 20.

W tabeli przedstawiono charakterystykę naczyń krwionośnych: tętnic, żył, aorty i naczyń włosowatych, uwzględniając przekrój naczynia, panujące w nim ciśnienie i prędkość przepływu krwi.

	Przekrój mm	Ciśnienie kPa	Prędkość przepływu cm/s ⁻¹
A	10	13	40
B	3	13–5	40–10
C	2	1,3–0,6	0,3–5
D	0,008	4–1,5	<0,1

Ustal, który zbiór danych (A–D) jest charakterystyczny dla żył. Swój wybór uzasadnij, uwzględniając przynajmniej dwa parametry.

C – prędkość przepływu jest ^(mała prędkość) ~~mała~~ ^{pośrednia} (pomiędzy tętnic i włosowatymi), a ciśnienie jest niskie

Zadanie 4. (1 pkt)

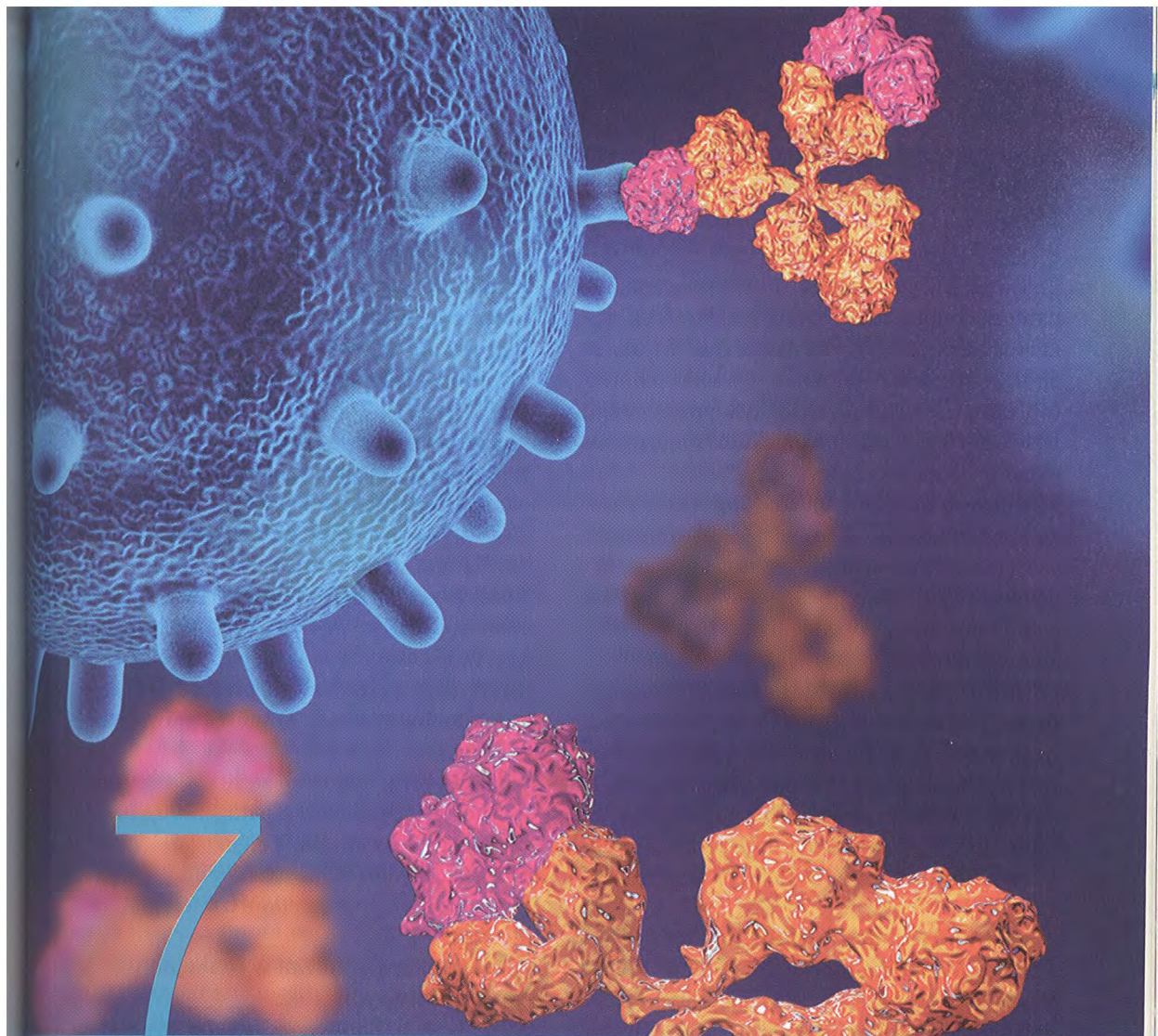
Źródło: CKE 2008 (PP), zad. 5.

Układ grupowy Rh stanowią trzy pary antygenów, z których największe znaczenie ma antygen D. Krew charakteryzującą się obecnością antygeny D w błonach erytrocytów oznacza się Rh+, a przy braku tego antygeny Rh-. Niezgodność antygenowa między matką a płodem dotycząca antygeny D może stanowić przyczynę konfliktu serologicznego (prowadzącego do hemolitycznej choroby noworodków).

W tabeli przedstawiono cztery przypadki układów grupowych Rh matki i płodu.

	Grupy krwi	
	matki	płodu
A.	Rh–	Rh+
B.	Rh+	Rh–
C.	Rh+	Rh+
D.	Rh–	Rh–

Wśród przedstawionych w tabeli przypadków (A–D) zaznacz ten, który może doprowadzić do konfliktu serologicznego.



Obrona immunologiczna organizmu

1. Budowa i funkcjonowanie układu odpornościowego
2. Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

Rys. Przeciwciało (kolor pomarańczowy) łączące się z antygenem (kolor niebieski).

1

Budowa i funkcjonowanie układu odpornościowego

Człowiek w każdej sekundzie styka się z milionami drobnoustrojów chorobotwórczych, takich jak bakterie, grzyby czy wirusy. Mimo to choruje stosunkowo rzadko. Na wiele chorób (np. odrę czy świnkę) zapada tylko raz w życiu. Dzieje się tak dzięki sprawnie funkcjonującemu układowi odpornościowemu.

Podstawą działania układu odpornościowego jest zdolność do rozróżniania specyficznych cząsteczek chemicznych – antygenów. **Antygenami** są najczęściej białka lub polisacharydy znajdujące się na powierzchni mikroorganizmów chorobotwórczych, które wtargnęły do organizmu wraz z wdychanym powietrzem, pobranym pokarmem, wodą lub przez uszkodzoną skórę. Mogą nimi być też toksyny wydzielane przez bakterie, grzyby lub pasożyty. Antygeny te są rozpoznawane przez układ odpornościowy jako **obce** i wywołują odpowiedź immunologiczną organizmu.

■ Elementy układu odpornościowego

Drobnoustroje chorobotwórcze mogą dostać się do każdego miejsca w organizmie, dlatego układ odpornościowy jest rozproszony. Tworzą go wszystkie narządy układu limfatycznego oraz wyspecjalizowane komórki biorące udział w reakcjach odpornościowych. Są to m.in. limfocyty, makrofagi, granulocyty, komórki tuczne i dendrytyczne. Ich działanie jest wspomagane przez różne cząsteczki, takie jak przeciwciała.

Tkanki i narządy układu odpornościowego

Do tkanek i narządów limfatycznych tworzących układ odpornościowy należą:

- ▶ **grasica**, która jest miejscem dojrzewania limfocytów T oraz eliminacji tych limfocytów T, które mają nieprawidłowo wykształcone receptory na powierzchni błony;
- ▶ **szpik kostny czerwony**, w którym powstają wszystkie limfocyty, dojrzewają limfocyty B oraz są usuwane limfocyty nieprawidłowo wykształcone i uszkodzone;

▶ **migdałki**, które odgrywają istotną rolę w obronie organizmu przed zakażeniami drogą pokarmową i oddechową. Są one miejscem zatrzymywania, a także namnażania się limfocytów;

▶ **węzły chłonne**, w których następuje filtracja limfy i zatrzymywanie patogenów. Namnażają się w nich limfocyty B i T, a limfocyty B wytwarzają tam również przeciwciała;

▶ **śledziona**, będąca miejscem reakcji odpornościowych przeciwko obcym cząsteczkom, które znalazły się we krwi. Wytwarza ona limfocyty, uczestniczy w fagocytozie i niszczeniu zużytych krwinek białych, płytek krwi i prawdopodobnie również komórek nowotworowych;

▶ **kępki Peyera**, w których zachodzą reakcje odpornościowe przeciwko patogenom pojawiającym się w świetle jelita cienkiego. Uczestniczą one również w powstawaniu tolerancji na antygeny pokarmowe i florę bakteryjną.

Komórki biorące udział w reakcjach odpornościowych

W reakcjach odpornościowych organizmu biorą udział limfocyty, makrofagi, granulocyty, komórki tuczne oraz komórki dendrytyczne. **Limfocyty**, podobnie jak wszystkie inne elementy morfotyczne krwi, powstają w szpiku kostnym. Następnie nabywają zdolność do odpowiedzi immunologicznej – kompetencję immunologiczną – w procesie nazywanym dojrzewaniem limfocytów. Proces ten polega na utworzeniu się na powierzchni limfocytów charakterystycznych receptorów, które rozpoznają antygeny. Dojrzewanie limfocytów odbywa się w szpiku kostnym albo w grasicy. Na tej podstawie wyróżnia się limfocyty B i limfocyty T.

Limfocyty B dojrzewają w szpiku kostnym. Ich zadanie polega na wytwarzaniu przeciwciał.

Limfocyty T dojrzewają w grasicy. Rozpoznają antygeny, biorą udział w regulacji reakcji obronnej organizmu oraz niszczeniu

patogenów. Są zróżnicowane na klasy:

- ▶ **limfocyty Tc** (cytotoksyczne) – dzięki obecności specjalnych receptorów rozpoznają komórki z obcym antygenem na powierzchni i niszczą je,
- ▶ **limfocyty Ts** (supresorowe) – hamują reakcje obronne organizmu (stanowią m.in. zabezpieczenie przed autoagresją, biorą udział w mechanizmach tolerancji na antygeny pokarmowe),
- ▶ **limfocyty Th** (pomocnicze; ang. *helper*) – wzmacniają odpowiedź immunologiczną organizmu.

Do limfocytów należą też **komórki NK**, nazywane naturalnymi zabójcami (ang. *natural killer*). Oznaczają się one zdolnością do niszczenia innych komórek organizmu, np. zmienionych nowotworowo lub zainfekowanych wirusem.

Makrofagi to komórki powstające z monocytów. Fagocytyują one patogeny na różnych etapach reakcji odpornościowej.

Granulocyty obojętnochłonne i kwasochłonne biorą udział w fagocytozie. Oznacza to, że pochłaniają różne rodzaje antygenów. Granulocyty zasadochłonne magazynują i wydzielają m.in. histaminę. Jest to substancja, która zwiększa przepuszczalność naczyń, co prowadzi do zaczerwienienia i obrzęku uszkodzonej tkanki (czyli do stanu zapalnego).

Komórki tuczne (mastocyty) to komórki tkanki łącznej występujące w obrębie różnych

narządów, wytwarzające i gromadzące m.in. histaminę. Odgrywają podobną rolę jak granulocyty zasadochłonne.

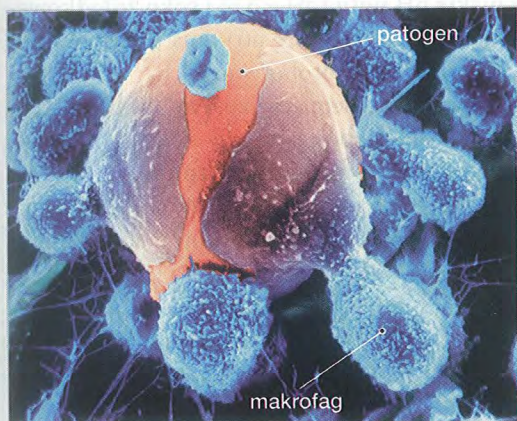
Komórki dendrytyczne powstają w szpiku kostnym. Podobnie jak komórki nerwowe mają wypustki – stąd ich nazwa.

Limfocyty B, makrofagi oraz komórki dendrytyczne są to **komórki prezentujące antygeny** (ang. *antigen presenting cells* – APC). Pochłaniają one antygeny, a następnie dzielą je za pomocą enzymów na fragmenty, które umieszczają na swojej powierzchni. W tej formie antygeny są rozpoznawane przez limfocyty T.

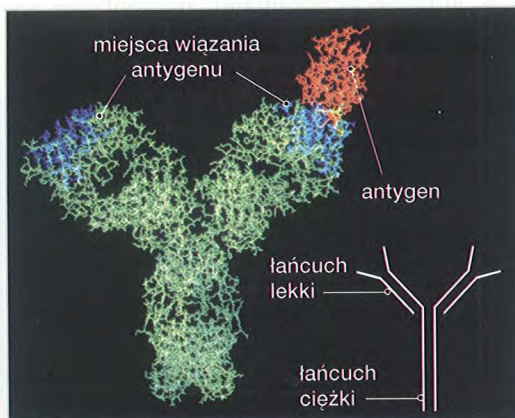
Cząsteczki uczestniczące w reakcjach odpornościowych

Podczas reakcji odpornościowej ważną rolę w rozpoznawaniu i niszczeniu patogenów odgrywają cząsteczki białek, m.in. przeciwciała, białka układu dopełniacza oraz cytokiny.

Przeciwciała określane są też mianem **immunoglobulin (Ig)**. Pojedyncze przeciwciało ma zazwyczaj kształt litery Y. Składa się z czterech łańcuchów polipeptydowych: dwóch ciężkich (H) oraz dwóch lekkich (L). Końcówki obu ramion Y stanowi charakterystyczna dla danego przeciwciała sekwencja aminokwasów, która jest dopasowana do struktury konkretnego antygeny. Jeden rodzaj przeciwciał wiąże się tylko z jednym, idealnie pasującym antygenem.



Makrofagi unieszkodliwiający patogen na drodze fagocytozy (mikrofotografia skaningowa).



Budowa przeciwciała. Cząsteczka przeciwciała jest zbudowana z dwóch łańcuchów ciężkich połączonych z dwoma łańcuchami lekkimi.

Autoagresja – odpowiedź immunologiczna organizmu prowadząca do uszkodzeń własnych tkanek.

Charakterystyka poszczególnych klas immunoglobulin

Klasa	Opis
IgG	Występują <u>we krwi i tkankach</u> , jako jedyne przenikają przez łożysko (chronią płód). Są <u>głównymi przeciwciałami</u> biorącymi udział w reakcji odpornościowej.
IgA	Występują głównie w <u>wydzielinach błon śluzowych</u> , m.in. przewodu pokarmowego, dróg oddechowych i układu moczowo-płciowego, zapewniając obronę w miejscu występowania.
IgM	Występują na <u>powierzchni limfocytów B oraz we krwi</u> . Wydzielane <u>we wczesnych stadiach reakcji odpornościowej organizmu</u> , <u>eliminują patogeny zanim zostaną wytworzone odpowiednie ilości IgG</u> .
IgD	Występują na <u>powierzchni limfocytów B</u> , biorą udział w ich różnicowaniu.
IgE	Występują w <u>tkankach</u> powodują uwalnianie histaminy z komórek tucznych. Uczestniczą w <u>zwalczaniu pasożytów oraz w reakcjach alergicznych</u> .

Przeciwciała na różne sposoby przyczyniają się do unieszkodliwiania antygenów. Same nie potrafią ich zniszczyć, ale **wiążąc antygeny**, naznaczają je, dzięki czemu są one łatwym celem dla komórek (np. limfocytów Tc) lub białek układu dopełniacza, które potrafią je zniszczyć. Wyróżnia się pięć klas immunoglobulin (IgG, IgA, IgM, IgD, IgE), aktywujących różne mechanizmy unieszkodliwiania antygeny.

Układ dopełniacza jest tworzony przez zespół ok. 30 enzymów osocza krwi. Swoją nazwę zawdzięcza on zdolności wspomagania (dopełniania) czynności przeciwciał w zwalczaniu infekcji. Układ dopełniacza jest aktywowany przez połączenie antygeny z przeciwciałem (IgG lub IgM). Jego aktywacja prowadzi m.in. do niszczenia komórek bakteryjnych i zakażonych komórek organizmu, gromadzenia się komórek układu odpornościowego w miejscach procesów zapalnych oraz stymulowania syntezy i uwalniania białek pełniących funkcje regulacyjne w procesach odpornościowych.

Cytokiny to różnorodne peptydy lub białka wytwarzane i wydzielane przez komórki układu odpornościowego. Wpływają one na wzrost, namnażanie i aktywowanie komórek uczestniczących w odpowiedzi immunologicznej. Ze względu na funkcje wyróżnia się m.in.: **interleukiny** (przekazują informacje między krwinkami białymi), **interferony** (są zaangażowane w obronę przeciwwirusową) i **chemokiny** (powodują przemieszczanie się leukocytów do miejsca zakażenia).

■ Odporność nieswoista i swoista

Po rozpoznaniu antygeny organizm może się skutecznie bronić dzięki mechanizmom odporności nieswoistej oraz swoistej. **Odporność nieswoista (wrodzona)** jest obecna w chwili narodzin człowieka. Wiąże się ona z występowaniem **naturalnych barier ochronnych**, które ograniczają wnikanie czynników chorobotwórczych. Bariery te stanowią pierwszą linię obrony organizmu, choć nie łączą się z reakcją odpornościową. Należą do nich m.in.:

- ▶ **nieszkodzona skóra**, stanowiąca mechaniczną zaporę dla drobnoustrojów,
- ▶ **błona śluzowa przewodu pokarmowego, dróg oddechowych**, która dzięki śluzowi i rzęskom (drogi oddechowe) zatrzymuje i usuwa liczne patogeny,
- ▶ **niskie pH potu** (pH = 5,5) i **soku żołądkowego** (pH = 1–2), które utrudnia rozwój mikroorganizmów chorobotwórczych,
- ▶ **ślina i łzy** zawierające **lizozym** – białko o działaniu bakteriobójczym,
- ▶ **fizjologiczne odruchy obronne**, np: kaszel, kichanie, wymioty, które umożliwiają gwałtowne pozbycie się patogenów z organizmu,
- ▶ **niektóre białka** obecne w krwi i tkankach, np. układ dopełniacza, interferony.

Te patogeny, które wniknęły do organizmu, pokonując naturalne bariery fizyczne i chemiczne, trafiają na **drugą linię obrony**, należącą do odporności nieswoistej. Stanowią ją **komórki żerne** (m.in. makrofagi, granulocyty obojętne i kwasochłonne) i **komórki NK**.

RODZAJE ODPORNOŚCI

Odporność nieswoista

- **naturalne bariery ochronne:**
nieuszkodzona skóra, śluz w układzie pokarmowym oraz śluz i rzęski w drogach oddechowych, niskie pH potu i soku żołądkowego, ślina i łzy, odruchy obronne (kaszel, kichanie, wymioty)
- **komórki:**
komórki NK, komórki żerne: granulocyty obojętnochłonne i kwasochłonne, makrofagi
- **cząsteczki biorące udział w reakcjach odpornościowych:**
niektóre białka (np. układ dopełniacza, interferony)

Odporność swoista

- **komórki biorące udział w reakcjach odpornościowych:**
limfocyty T, limfocyty B
- **cząsteczki:**
przeciwciała

Nieswoista reakcja odpornościowa oparta na fagocytozie jest zawsze taka sama, niezależnie od czynnika chorobotwórczego zagrażającego organizmowi. Nie przyspiesza jej ani nie nasila nawet wielokrotny kontakt z tym samym patogenem.

Odporność swoista (nabyta) kształtuje się w trakcie życia osobniczego. Odpowiedź immunologiczna w tym typie odporności jest zawsze skierowana przeciwko konkretnym czynnikom chorobotwórczym, a jej uruchomienie wymaga pewnego czasu.

W mechanizmach odporności swoistej uczestniczą:

- ▶ **limfocyty B** i wytwarzane przez nie **przeciwciała**,
- ▶ **limfocyty T**.

Komórki i substancje biorące udział w reakcjach odpornościowych swoistych stanowią trzecią linię obrony organizmu.

Odpowiedź immunologiczna organizmu

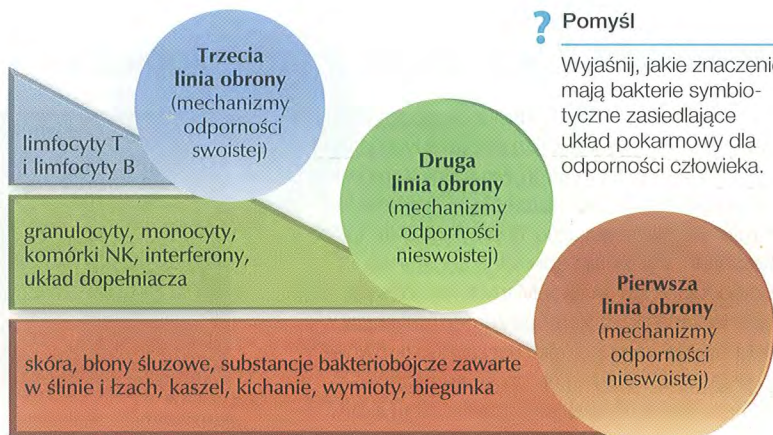
Pojawienie się w organizmie antygeny powoduje odpowiedź immunologiczną organizmu, czyli uruchomienie ciągu reakcji obronnych zmierzających do eliminacji antygeny. Jej pierwszym etapem jest wychwytywanie obcych antygenów z płynów ciała przez komórki żerne podczas nieswoistej reakcji odpornościowej.

Odpowiedź nieswoista prowadzi do uruchomienia mechanizmów odporności swoistej. Wyróżnia się dwa typy odpowiedzi:

- ▶ **odpowiedź typu humoralnego**, w której biorą udział przeciwciała obecne we krwi, limfie i płynach tkankowych oraz na powierzchni komórek,
- ▶ **odpowiedź typu komórkowego**, w której z antygenem reagują bezpośrednio komórki – limfocyty T.

Linie obrony organizmu

Uruchomienie odpowiednich mechanizmów odporności nieswoistej oraz odporności swoistej zapewnia organizmowi kompleksową, a tym samym skuteczną obronę.

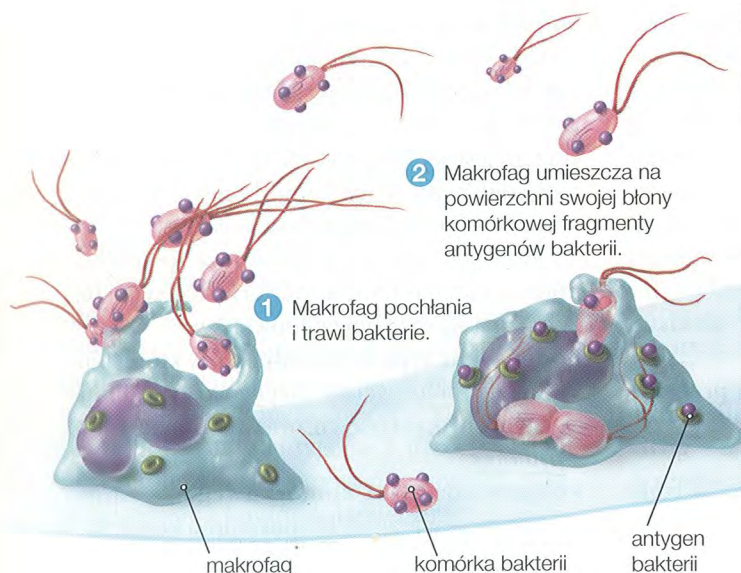


Typy odpowiedzi immunologicznej

Za odporność, czyli zdolność organizmu do ochrony przed czynnikami chorobotwórczymi, odpowiada układ odpornościowy. Zapobiega on wnikaniu patogenów do organizmu oraz usuwa lub niszczy te patogeny, którym udało się wniknąć. W jego skład wchodzi m.in. tkanki i narządy limfatyczne oraz krążące między nimi wyspecjalizowane komórki. Wyróżnia się dwa typy odpowiedzi immunologicznej: odpowiedź typu humoralnego i odpowiedź typu komórkowego.

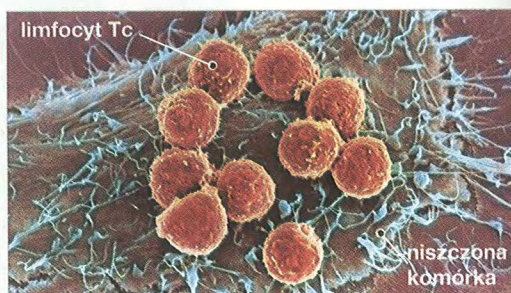
Humoralna odpowiedź immunologiczna

Humoralna odpowiedź immunologiczna polega na produkcji przeciwciał, czyli cząsteczek, które łączą się z konkretnymi antygenami i w ten sposób doprowadzają do unieszkodliwienia patogenów.



Komórkowa odpowiedź immunologiczna

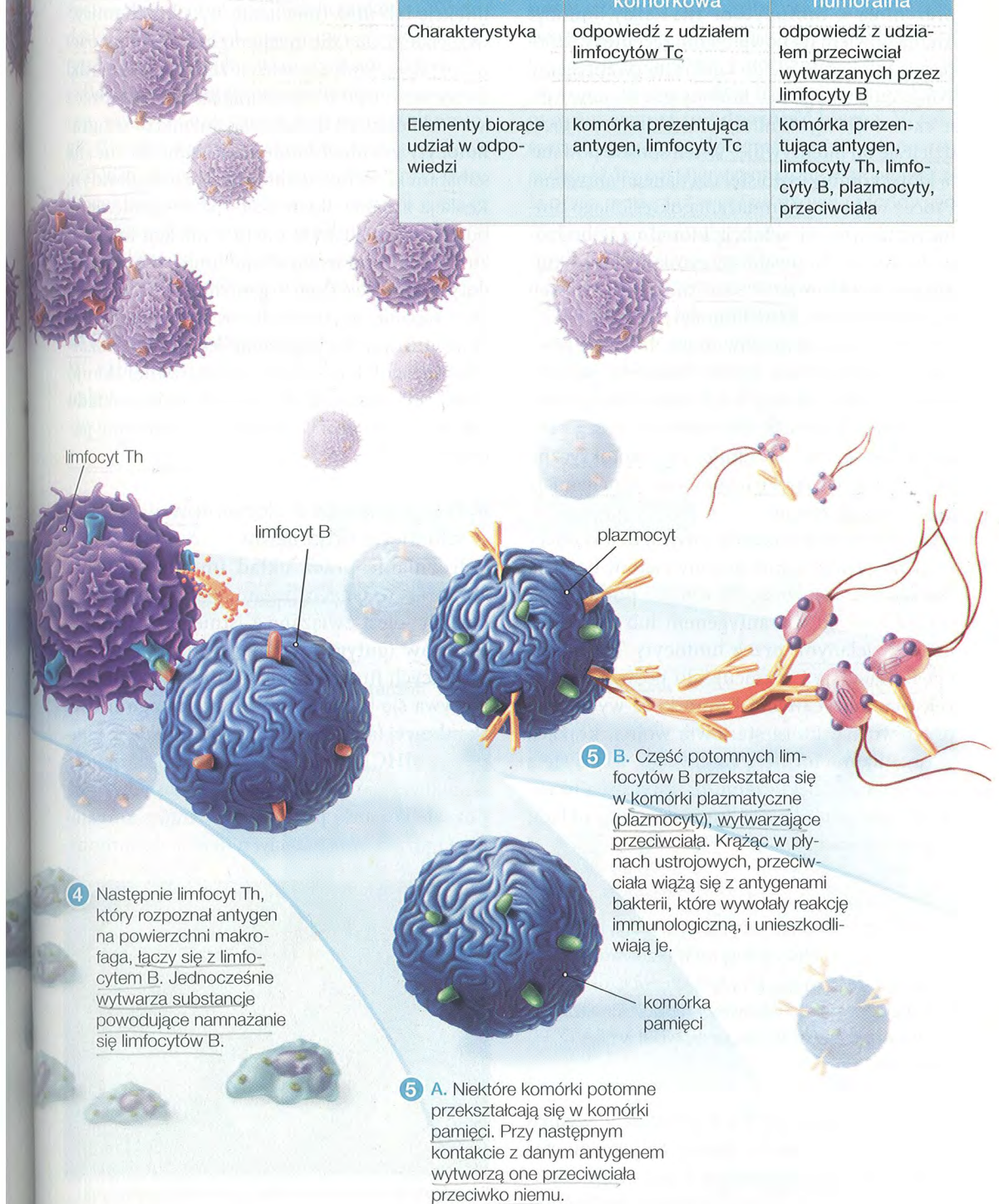
Komórkowa odpowiedź immunologiczna polega na niszczeniu komórek rozpoznawanych jako obce, czyli komórek zakażonych wirusami, komórek nowotworowych, przeszczepów i grzybów. Limfocyty cytotoksyczne Tc przylegają do takich komórek i wydzielają specjalne substancje powodujące ich śmierć. Martwe komórki są pochłaniane przez komórki żerne. Ten rodzaj odpowiedzi immunologicznej zachodzi również w wypadku uczulenia na część substancji. Substancje te, działając na powierzchni skóry, zmieniają strukturę białek. Wówczas komórki skóry są uznawane przez układ odpornościowy za obce.



Limfocyty Tc (mikrofotografia skaningowa) zabijają komórki zakażone m.in. przez aktywowanie genów odpowiedzialnych za samozniszczenie tych komórek.

Porównanie odpowiedzi komórkowej z humoralną

Cechy	Odpowiedź komórkowa	Odpowiedź humoralna
Charakterystyka	odpowiedź z udziałem limfocytów Tc	odpowiedź z udziałem przeciwciał wytwarzanych przez limfocyty B
Elementy biorące udział w odpowiedzi	komórka prezentująca antygen, limfocyty Tc	komórka prezentująca antygen, limfocyty Th, limfocyty B, plazmocyty, przeciwciała



Przebieg odpowiedzi immunologicznej

Komórki żerne pochłaniają antygeny, po czym prezentują je limfocytom Th. Każdy limfocyt Th ma bowiem na powierzchni receptory, które pasują przestrzennie do konkretnego antygeny. Połączenie antygeny z limfocytem Th powoduje aktywację tego limfocytu, w której rezultacie dzieli się on intensywnie. W ten sposób powstają klony komórki swoistej dla danego antygeny. Proces wyboru i namnażania określonego limfocytu nazywa się **selekcją klonalną**. Pobudzone limfocyty Th uwalniają cytokiny, które mobilizują inne komórki uczestniczące w reakcji odpornościowej, m.in. limfocyty B.

Prezentacja antygenów może dotyczyć również komórek, które zostały zakażone patogenem. Jednak przebiega ona w nieco inny sposób i w efekcie prowadzi do aktywacji innego rodzaju limfocytów: Tc. Limfocyty cytotoksyczne przyłączają się do takich komórek i uruchamiają proces ich niszczenia.

Limfocyty B rozpoznają antygen dzięki obecnym na powierzchni przeciwciałom o ściśle określonej swoistości. W wyniku pobudzenia (przez kontakt z antygenem lub cytokinami wydzielanymi przez limfocyty Th) limfocyt B dzieli się i różnicuje do postaci **komórek plazmatycznych**. Komórki te wydzielają przeciwciała, które stanowią wolną, krążącą w organizmie formę. Przeciwciała wiążą się z antygenami, dzięki czemu przyspieszają likwidację patogenów przez inne elementy układu odpornościowego.

Czy wiesz, że...

Limfocyty B w ciągu jednego dnia mogą przestawić się z syntezy jednej klasy przeciwciał na inną, zachowując przy tym ich swoistość wobec antygeny. Pojedynczy limfocyt B może wytworzyć nawet 10 mln przeciwciał w ciągu godziny.

Niektóre limfocyty T i B powstałe w wyniku pierwszego kontaktu z danym antygenem stają się **komórkami pamięci**. Dzięki nim odpowiedź immunologiczna na ponowny kontakt z antygenem jest szybsza i bardziej efektywna.

Reakcja zapalna

Reakcja zapalna jest odpowiedzią organizmu na infekcję lub uraz (mechaniczny albo chemiczny). Należy ona do mechanizmów odporności nieswoistej. Podczas reakcji zapalnej dochodzi do wzmożonego wytwarzania wielu białek przez komórki różnych tkanek i uwalniania przez granulocyty zasadochłonne oraz komórki tuczne substancji, m.in. histaminy i prostaglandyn. Reakcja zapalna objawia się zaczerwienieniem, bólem i obrzękiem w miejscu infekcji lub urazu oraz podwyższoną temperaturą, która może dotyczyć także całego organizmu. W trakcie reakcji zapalnej dochodzi do rozszerzenia naczyń krwionośnych i zwiększenia ich przepuszczalności, wskutek czego do zaatakowanej tkanki mogą przedostawać się różne komórki układu odpornościowego. Umożliwia to niszczenie patogenów.

Rozpoznawanie elementów własnego organizmu

Odróżnianie przez układ immunologiczny komórek własnych organizmu od innych – obcych – jest związane z istnieniem **autoantygenów** (antygenów własnych organizmu), pełniących funkcje swoistych identyfikatorów. Nazywa się je **głównym układem zgodności tkankowej** (ang. *major histocompatibility complex* – MHC). Porównując antygeny zgodności tkankowej komórek, układ odpornościowy rozpoznaje komórki pochodzące z innego organizmu i rozpoczyna przeciw nim reakcję obronną.



Leukocyty (mikrofotografia skaningowa) były pierwszymi komórkami ludzkimi, na których odkryto antygeny zgodności tkankowej.

Praktycznie każdy człowiek, z wyjątkiem bliźniąt jednojajowych, jest wyposażony w unikatowy zestaw antygenów zgodności tkankowej. W dodatku im bliższe pokrewieństwo między ludźmi, tym większe podobieństwo tych antygenów.

Badanie antygenów zgodności tkankowej ma praktyczne zastosowanie w transplantologii. Biorąc i dawcę przeszczepu dopasowuje się w taki sposób, by ich antygeny zgodności tkankowej były jak najbardziej podobne, a więc by osiągnąć jak największą **zgodność tkankową**. Im większa zgodność tkankowa, tym mniejsze jest ryzyko odrzucenia przeszczepu.

■ Odporność czynna i bierna

W zależności od sposobu, w jaki organizm nabywa odporność, wyróżniamy odporność swoistą bierną i odporność swoistą czynną.

Odporność uzyskana po szczepieniu lub przebytej chorobie jest określana mianem **odporności czynnej**, gdyż została samodzielnie wytworzona przez organizm. Odporność **nabyta** przez wprowadzenie do organizmu gotowych przeciwciał skierowanych przeciwko konkretnym antygenom to **odporność bierna**. W taki sposób uzyskuje odporność organizm noworodka, który zostaje wyposażony w przeciwciała przez matkę już w czasie rozwoju płodowego (za pośrednictwem łożyska) oraz po urodzeniu (podczas karmienia piersią).

W sytuacjach szczególnych podaje się zawierającą przeciwciała surowicę odpornościową, (np. surowica przeciwężcowa lub surowica neutralizująca jady węży). Zastosowanie surowicy pozwala wprawdzie szybko unieszkodliwić antygen, ale nie daje trwałej odporności.



Surowica odpornościowa – płynna część krwi pozbawiona krwinek, płytek krwi, fibrynogenu oraz czynników krzepnięcia, zawierająca dużą ilość przeciwciał, otrzymana w wyniku uodpornienia organizmu określonym antygenem.

■ Pamięć immunologiczna i jej znaczenie

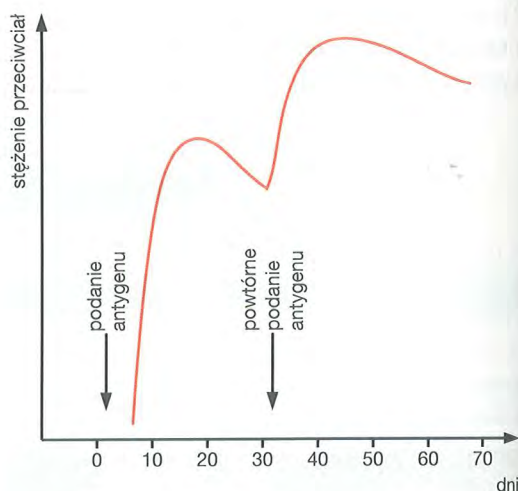
Podczas pierwszego kontaktu z patogenem organizm uruchamia mechanizmy odpornościowe – jest to tzw. **pierwotna odpowiedź immunologiczna**. Po zwalczeniu patogenu w organizmie pozostają limfocyty T i B (komórki pamięci) oraz pewna ilość przeciwciał wytworzonych przeciwko temu antygenowi. Stanowią one **pamięć immunologiczną**. Dzięki niej przy kolejnym kontakcie z tym antygenem reakcja obronna jest szybsza i znacznie silniejsza, często również przebiega bez objawów chorobowych. Taką reakcję nazywamy **wtórą odpowiedzią immunologiczną**.

Pamięć immunologiczna stanowi podstawę działania **szczepień ochronnych**. Wprowadzenie do organizmu człowieka osłabionych bądź zabitych drobnoustrojów lub ich składników (pojedynczych antygenów) wywołuje odpowiedź immunologiczną. Jest ona zbliżona do odpowiedzi immunologicznej wywołanej naturalnym kontaktem z antygenem (pierwotna odpowiedź immunologiczna), włącznie z wytworzeniem przeciwciał i powstawaniem komórek pamięci. To wystarczy, żeby organizm poradził sobie w wypadku zakażenia zjadliwą postacią drobnoustroju. Poziom przeciwciał po kontakcie z antygenem (chorobie czy zaszczepieniu) zmniejsza się stopniowo i po pewnym czasie, jeśli nie następuje ponowny kontakt z patogenem, odporność wygasa. W wypadku szczepionek

można zapobiec wygasaniu odporności, powtarzając szczepienie przez podanie tzw. dawki przypominającej.

Czy wiesz, że...

Coraz bardziej popularne stają się szczepionki skojarzone. Zawierają one antygeny kilku gatunków patogenów, dzięki czemu jedno szczepienie uodparnia na wiele chorób. W Polsce stosowana jest np. szczepionka skojarzona przeciw odrze, różyczce i śwince, trwają też prace nad dołączeniem do niej antygenów wirusa ospy wietrznej.



Stężenie przeciwciał w pierwotnej i wtórnej odpowiedzi immunologicznej.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, w jaki sposób układ odpornościowy rozpoznaje czynniki chorobotwórcze.
2. Wymień komórki układu odpornościowego, które biorą udział w nieswoistej reakcji obronnej.
3. Scharakteryzuj rolę, jaką w układzie immunologicznym odgrywają limfocyty.
4. Wyjaśnij, czym jest odporność humoralna i odporność komórkowa.
5. Omów budowę przeciwciał. Opisz, w jaki sposób unieszkodliwiają one antygeny?
6. Wyjaśnij, jaką funkcję w układzie odpornościowym pełnią cytokiny.
7. Podaj różnice między odpornością wrodzoną a odpornością nabytą.
8. Wyjaśnij, w jaki sposób działają szczepienia ochronne.

Warto zajrzeć!



<http://www.youtube.com/watch?v=lrYIZJiuf18>
http://www.mz.gov.pl/wwwfiles/ma_struktura/docs/zal_szczep2012_18112011.pdf

2

Zaburzenia funkcjonowania układu odpornościowego

Immunologia, czyli nauka o odporności, jest jedną z najdynamiczniej rozwijających się dziedzin medycyny. Poszukuje ona metod kontrolowania reakcji immunologicznych, aby zwiększyć skuteczność tych reakcji w walce z patogenami i nowotworami lub je zahamować w przebiegu chorób autoimmunizacyjnych, alergii oraz po przeszczepach.

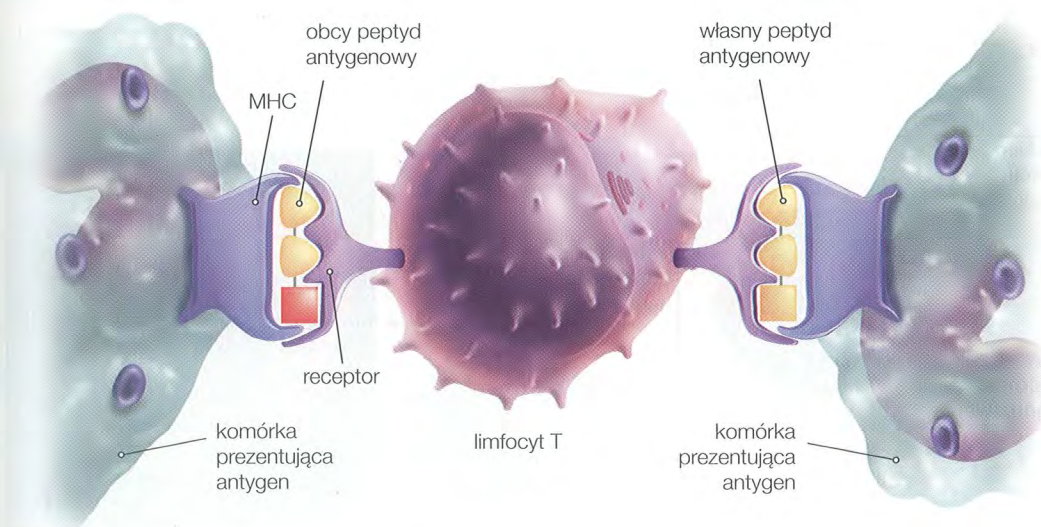
■ Choroby autoimmunizacyjne

Obrona organizmu opiera się na odróżnianiu komórek własnych od komórek obcych. Biorące udział w reakcjach odpornościowych limfocyty T i B są selekcjonowane odpowiednio w grasicy i szpiku kostnym. Te, które reagują na antygeny własne, są eliminowane. Czasem jednak ten mechanizm zawodzi i układ odpornościowy rozpoznaje komórki własnego organizmu jako obce. Uruchamia wówczas reakcję odpornościową przeciw tkankom organizmu, co określa się mianem **autoagresji**. Reakcja ta prowadzi do wielu ciężkich chorób, nazywanych **chorobami autoimmunizacyjnymi**.

Choroby te mogą dotyczyć każdego układu. Do niektórych z nich przyczyniają się niewłaściwie skierowane przeciwciała, np. w **anemii hemolitycznej** przeciwciała atakują krwinki czerwone, doprowadzając do ich lizy, a w **miastenii** – receptory komórek mięśniowych odbierających impulsy nerwowe, co blokuje skurcz mięśni. Z kolei w **cukrzycy typu I** limfocyty T niszczą komórki trzustki wytwarzające insulinę. W **stwardnieniu rozsianym** atak limfocytów T jest skierowany przeciw osłonkom mielinowym otaczającym komórki nerwowe w mózgowiu i rdzeniu kręgowym.

Wśród prawdopodobnych przyczyn nieprawidłowych reakcji odpornościowych są m.in.:

- ▶ uwarunkowania genetyczne,
- ▶ zaburzenia czynności limfocytów Ts (supresorowych),
- ▶ reakcje krzyżowe (podobieństwo budowy fragmentów antygenów własnych i obcych sprawia, że powstaje odpowiedź, w której wyniku są rozpoznawane i niszczone oba typy antygenów).



Limfocyty T rozpoznają obce antygeny tylko wtedy, kiedy są one związane z cząsteczkami MHC. Jeżeli jednak obcy antygen jest bardzo podobny do własnego, może zdarzyć się pomyłka.

AIDS

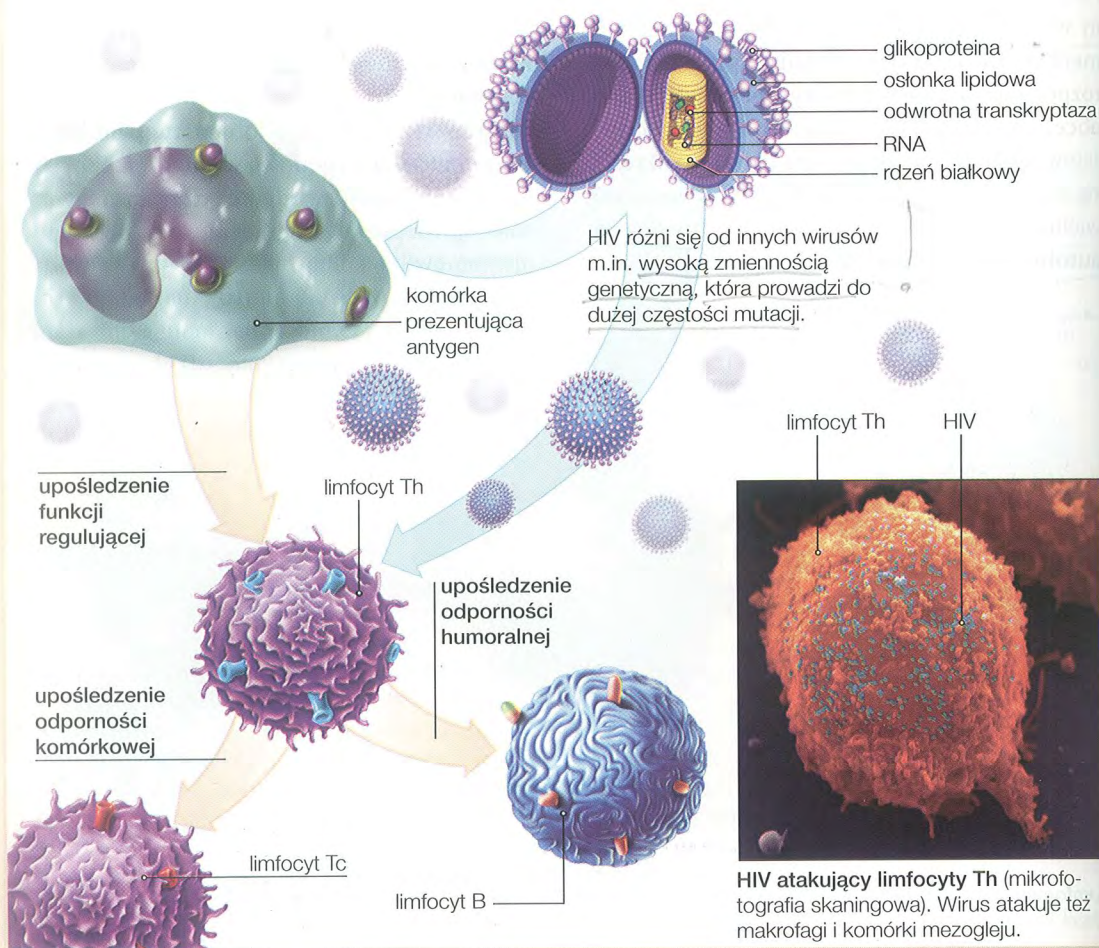
AIDS jest skrótem angielskiego terminu **Acquired Immunodeficiency Syndrome**, który w tłumaczeniu oznacza „zespół nabytego upośledzenia odporności”. Osoby chore na AIDS mają bardzo niski poziom limfocytów Th, co sprawia, że ich organizmy stają się bezbronne wobec patogenów lub własnych komórek zmienionych nowotworowo.

PRZYCZYNA

Zespół nabytego upośledzenia odporności powodowany jest przez ludzki wirus upośledzenia odporności – HIV (ang. **H**uman **I**mmunodeficiency **V**irus). Atakuje on komórki układu odpornościowego, niszcząc mechanizmy obronne organizmu. W efekcie u chorego rozwijają się groźne dla życia zakażenia oportunistyczne (powodowane przez drobnoustroje, które u osób z prawidłowo działającym układem odpornościowym nie wywołują chorób) i nowotwory.

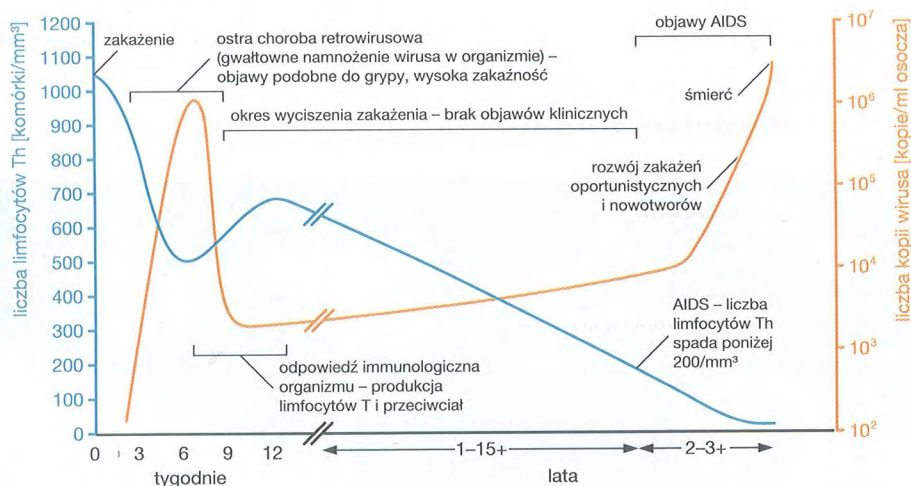
Sytuacje, w których może dojść do zakażenia HIV:

- kontakt seksualny,
- kontakt z zakażoną krwią,
- ciąża, poród lub karmienie piersią.



■ DIAGNOSTYKA

Charakterystyczną cechą HIV jest długi okres latencji (utajenia). Z tego względu objawy AIDS mogą wystąpić po kilku, a nawet kilkunastu latach od momentu zakażenia. W diagnostyce tej choroby stosuje się testy, które sprawdzają, czy w organizmie jest obecny RNA wirusa, jego białka lub skierowane przeciwko niemu przeciwciała.



Przebieg zakażenia HIV.

AIDS w 2011 roku

	Polska	Świat
Liczba osób zakażonych HIV	15 200	34,2 mln
Liczba nowo rozpoznanych zakażeń HIV	969	2,5 mln
Liczba zgonów spowodowanych AIDS	83	1,7 mln

■ LECZENIE

Dotychczas nie znaleziono skutecznej metody całkowitego wyleczenia pacjenta zakażonego HIV. Celem terapii jest zatem jedynie wydłużenie i poprawa jakości życia pacjentów, a także ich ochrona przed innymi infekcjami. Najnowsze leki antyretrowirusowe pozwalają na przeżycie ok. 45 lat od momentu rozpoczęcia terapii.

■ PROFILAKTYKA

Profilaktyka AIDS skupia się na zapobieganiu zakażeniom HIV. Zalecane są bezpieczne zachowania seksualne oraz wykonanie testu wykrywającego obecność HIV (u siebie i u partnera), a także unikanie kontaktu z zakażoną krwią. W wypadku zakażenia wirusem postęp choroby pomaga zwolnić: przyjmowanie leków, zapobieganie infekcjom oportunistycznym, odpowiednia dieta, aktywność fizyczna i unikanie stresu.

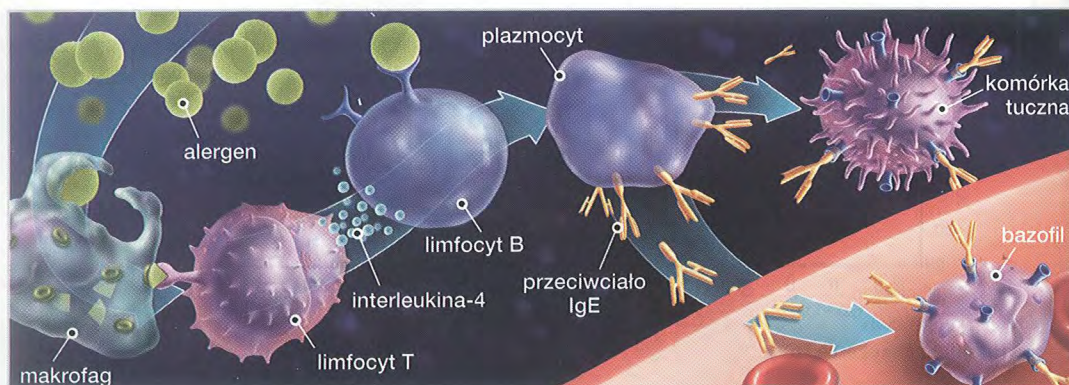
Warto zajrzeć!
<http://www.aids.gov.pl/>

■ Alergia – stan nadwrażliwości organizmu

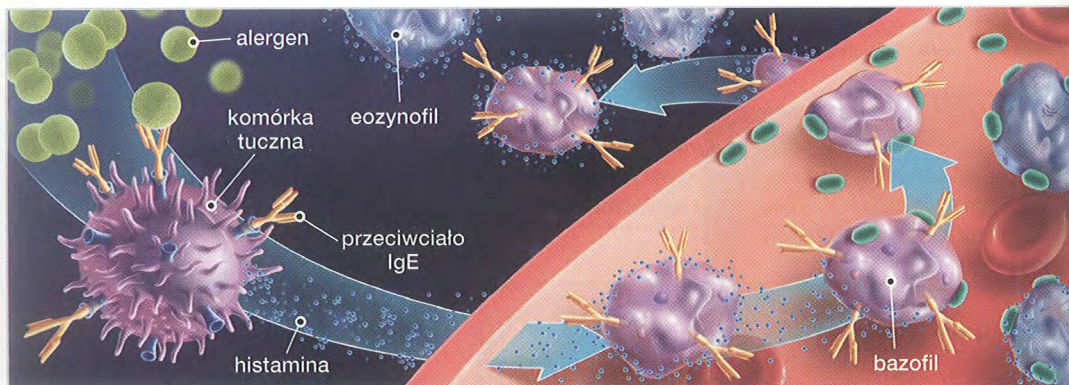
Alergia (uczulenie) jest formą odpowiedzi immunologicznej organizmu, w której układ odpornościowy silnie reaguje na kontakt z łagodnymi, nieszkodliwymi dla osób zdrowych, antygenami, tzw. alergenami. Najwięcej osób cierpi z powodu alergicznego nieżytu nosa, kataru siennego i astmy oskrzelowej. Alergeny

wywołują różne objawy, ponieważ aktywują reakcje odpornościowe w różnych tkankach organizmu. Gdy reakcja zachodzi w tkankach górnych dróg oddechowych, alergen powoduje kichanie i obrzęk błony śluzowej nosa, gdy w tkankach dolnych dróg oddechowych – zmniejszają światło oskrzeli i zwiększają wydzielanie śluzu. Gdy reakcja przebiega w tkankach układu pokarmowego, wywołują nudności,

Mechanizm powstawania reakcji alergicznej



Pierwszy kontakt z alergenem nie daje żadnych objawów. Przygotowuje jedynie organizm do szybkiej odpowiedzi podczas ponownego kontaktu z tym samym alergenem. Proces uczulenia rozpoczyna się, gdy makrofagi pochłaniają alergen i prezentują jego fragmenty limfocytom Th. W odpowiedzi limfocyty Th wydzielają zaliczane do cytokin białko, zwane interleukiną-4, które pobudza limfocyty B do namnażania się i przekształcania w plazmocyty produkujące przeciwciała klasy IgE. Ich wytwarzanie może trwać wiele dni, ponadto nie zanikają one nawet wówczas, gdy alergen, który wywołał reakcję, został wyeliminowany. Wiążą się z powierzchnią komórek tucznych i krążących we krwi bazofili.



Powtórny kontakt z alergenem powoduje, że w ciągu kilku sekund wiąże się on z przeciwciałami IgE znajdującymi się na powierzchni komórek tucznych. To pobudza komórki do wydzielania wielu tzw. mediatorów reakcji alergicznej, które odpowiadają za objawy alergii. Jednym z mediatorów jest histamina. W większości przypadków reakcja alergiczna przechodzi w fazę przewlekłą. Pobudzone komórki tuczne za pomocą sygnałów chemicznych oddziałują na bazofile, eozynofile, makrofagi i limfocyty Tc, powodując ich przechodzenie z krwi do tkanek. W tkankach komórki te wydzielają substancje przedłużające i zaostrzające objawy alergii oraz uszkodzające tkankę.

Działanie histaminy, mediatora reakcji alergicznych

Działanie histaminy	Objawy
Zwężanie dróg oddechowych	świszczący oddech, trudności w oddychaniu
Rozszerzanie naczyń krwionośnych	zaczerwienienie w miejscu kontaktu z alergenem, pojawia się pokrzywka; w wypadku reakcji uogólnionej może dojść do śmiertelnego w skutkach wstrząsu anafilaktycznego; na skutek wstrząsu spada ciśnienie krwi, dochodzi do skurczu oskrzeli
Zwiększanie przepuszczalności małych naczyń krwionośnych	mięscowy obrzęk tkanek (uogólniony może przyczynić się do wstrząsu)
Stymulowanie zakończeń nerwowych	swędzenie i miejscowa bolesność
Zwiększanie wydzielania śluzu w drogach oddechowych	zwężenie światła dróg oddechowych, trudności w oddychaniu

wymioty i biegunki. Jeżeli alergen dostanie się do krwiobiegu, może wywołać **reakcję anafilaktyczną** – uogólnioną odpowiedź alergiczną, niebezpieczną dla życia. Takimi groźnymi alergenami mogą być niektóre leki (np. penicylina) oraz jady owadów.

■ Przeszczepianie (transplantacja) tkanek i narządów

Transplantacja tkanek i narządów jest jedną z metod leczenia, a często ratowania życia. Przeszczepiać można całe narządy (np. nerkę, wątrobę, serce) lub ich fragmenty (np. skórę, rogówkę). W niektórych rodzajach białaczek przeszczepia się szpik kostny. Głównym problemem związanym z transplantacją jest możliwość odrzucenia przeszczepu, ponieważ układ odpornościowy biorcy rozpoznaje antygeny zgodności tkankowej dawcy jako obce i niszczy je. Jest to prawidłowa reakcja układu odpornościowego, niepożądana jednak z medycznego punktu widzenia przy przeszczepach.

Przeszczepy najlepiej jest wykonywać w obrębie tkanek jednego osobnika lub między

osobnikami identycznymi genetycznie, ponieważ nie są one wówczas odrzucane. Gdy nie jest to możliwe, aby uniknąć odrzucenia przeszczepu, przed transplantacją wykonuje się testy zgodności tkankowej (MHC oraz układu grupowego krwinek czerwonych AB0). Ze względu na podobieństwo genetyczne, a tym samym podobieństwo antygenów zgodności tkankowej, potencjalnych dawców szuka się najpierw wśród osób najbliższej spokrewnionych. Ryzyko odrzucenia przeszczepu można zmniejszyć, stosując wobec biorcy zabiegi immunosupresyjne (promieniowanie jonizujące, np. rentgenowskie, lub środki farmakologiczne). Ich zadaniem jest osłabienie swoistych reakcji odpornościowych organizmu (przez zniszczenie limfocytów). W ten sposób zwiększa się szansę przyjęcia przeszczepu, ale równocześnie także ryzyko rozwoju infekcji, gdyż po zabiegu organizm jest bezbronny wobec patogenów. Z tego powodu chory przed zabiegiem i po nim przez pewien czas przebywa w sterylnych pomieszczeniach, a później rutynowo otrzymuje niewielkie dawki leków immunosupresyjnych.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega alergia. Podaj przykłady trzech alergenów.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób może dochodzić do powstawania chorób autoimmunologicznych. Podaj dwa przykłady tego typu chorób.
3. Wyjaśnij, dlaczego przeszczepy wykonywane w obrębie tkanek jednego człowieka lub między osobnikami identycznymi genetycznie nie są odrzucane.
4. Podaj sposoby zwiększania tolerancji immunologicznej organizmu oraz przykłady sytuacji, w których się je stosuje.

Podsumowanie

Rodzaje odporności – podział ze względu na precyzję działania i czas reakcji

ODPORNOŚĆ

nieswoista (wrodzona) – obecna w chwili narodzin, nie jest skierowana przeciwko konkretnym antygenom; obejmuje:

- naturalne bariery ochronne (np. nieuszkodzona skóra, śluz w układzie pokarmowym, niskie pH potu i soku żołądkowego, fizjologiczne odruchy obronne)
- komórki NK, komórki żerne (makrofagi, granulocyty obojętnochłonne i kwasochłonne)
- cząsteczki uczestniczące w reakcjach odpornościowych (układ dopełniacza, interferon)

swoista (nabyta) – kształtuje się w trakcie całego życia, jest skierowana przeciwko konkretnym antygenom, jej uruchomienie wymaga pewnego czasu; obejmuje odpowiedź:

- komórkową z udziałem limfocytów Tc
- humoralną z udziałem przeciwciał produkowanych przez limfocyty B

Rodzaje odporności swoistej – podział ze względu na sposób jej powstawania

Odporność swoista			
czynna		bierna	
naturalna	sztuczna	naturalna	sztuczna
wytworzenie przeciwciał w reakcji na kontakt z drobnoustrojami, które wniknęły do organizmu samoistnie, np. w wyniku przebiecia choroby	wytworzenie przeciwciał w wyniku podania szczepionki	otrzymywanie przeciwciał wytworzonych przez organizm matki za pośrednictwem łożyska lub z mlekiem w czasie karmienia	otrzymywanie przeciwciał zawartych w surowicy odpornościowej

Obrona organizmu przed czynnikami chorobotwórczymi

Pierwsza linia obrony:

- element odporności nieswoistej,
- oparta na naturalnych barierach ochronnych,
- elementy: nieuszkodzona skóra, błony śluzowe, pot, sok żołądkowy, ślina, łzy.

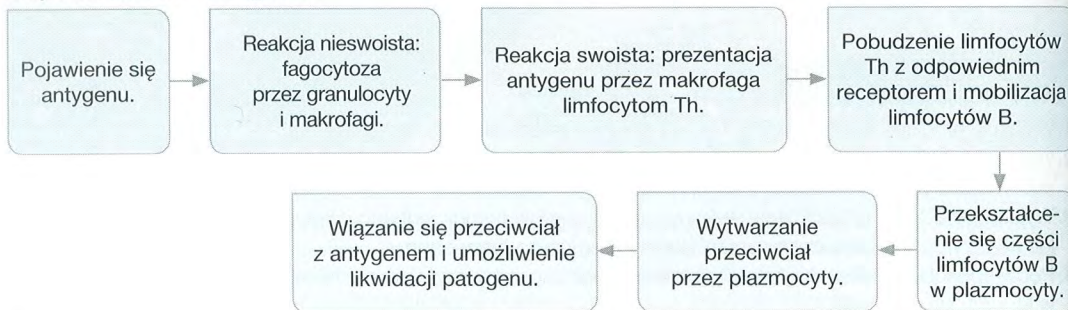
Druga linia obrony:

- element odporności nieswoistej,
- związana ze zdolnością niektórych leukocytów do fagocytozy,
- elementy: neutrofile, eozynofile, makrofagi,
- krótki czas reakcji.

Trzecia linia obrony:

- element odporności swoistej,
- związana z mechanizmami wykształconymi przeciw konkretnym antygenom,
- elementy: limfocyty B, limfocyty T, przeciwciała,
- długi czas reakcji.

Odpowiedź immunologiczna



Budowa układu odpornościowego

	Elementy	Funkcje
Tkanki i narządy	grasica	• miejsce dojrzewania limfocytów T • eliminacja nieprawidłowych limfocytów T
	szpik kostny	• miejsce powstawania leukocytów i dojrzewania limfocytów B • usuwanie limfocytów nieprawidłowo rozwiniętych i uszkodzonych
	węzły chłonne	• filtracja limfy, zatrzymywanie antygenów • miejsce rozmnażania się limfocytów • miejsce wytwarzania przeciwciał przez limfocyty B
	śledziona	• wytwarzanie limfocytów i monocytów
	migdałki	• ochrona przed drobnoustrojami wnikającymi przez drogi oddechowe i jamę ustną
	kępkę Peyera	• reakcje odpornościowe przeciw antygenom w jelicie cienkim
Komórki	limfocyty B	• wytwarzanie przeciwciał
	limfocyty T	• klasa Tc – rozpoznają i niszczą komórki z obcymi antygenami • klasa Ts – hamują reakcje obronne • klasa Th – wzmacniają reakcję obronną organizmu, <u>wpływają na czynność limfocytów Tc oraz B</u>
	komórki NK	• niszczenie komórek nowotworowych oraz komórek zainfekowanych wirusem
	makrofagi	• fagocytoza drobnoustrojów chorobotwórczych • aktywacja limfocytów Th poprzez <u>prezentację antygenów</u>
	granulocyty	• neutrofile – fagocytoza • eozynofile – zwalczanie pasożytów • bazofile – wydzielanie histaminy zwiększającej średnicę naczyń krwionośnych
	komórki tłuszczowe	• gromadzenie histaminy, wywoływanie stanu zapalnego
Cząsteczki	immunoglobuliny (przeciwciała)	• wiązanie antygenów, co umożliwia ich eliminację przez inne elementy układu odpornościowego
	cytokiny	• interleukiny – przekazywanie informacji między leukocytami • interferony – udział w reakcjach przeciw wirusom • chemokiny – pobudzanie leukocytów do zbliżania się do miejsca zakażenia
	układ dopełniacza	• wspomaganie przeciwciał w zwalczaniu infekcji

Choroby układu odpornościowego

	Nazwa	Charakterystyka	Przyczyny
Choroby autoimmunizacyjne	anemia hemolityczna	przeciwciała atakują krwinki czerwone, doprowadzając do ich lizy	złożone, m.in. uwarunkowanie genetyczne, zaburzenia czynności limfocytów Ts, reakcje krzyżowe
	miastenia	przeciwciała atakują receptory komórek mięśniowych odbierające impulsy nerwowe, co blokuje skurcz mięśni	
	cukrzyca typu I	limfocyty T niszczą komórki trzustki wytwarzające insulinę	
	stwardnienie rozsiane	limfocyty T wpływają na niszczenie osłonek mieliny neuronów w <u>mózgowiu i rdzeniu kręgowym</u>	
Alergie		układ odpornościowy silnie reaguje na kontakt z nieszkodliwymi dla osób zdrowych antygenami, tzw. alergenami	złożone, m.in. uwarunkowanie genetyczne, środowisko życia, zanieczyszczenie powietrza
AIDS		niszczenie limfocytów Th, przez co organizm nie jest zdolny do zwalczania antygenów – upośledzenie odporności	HIV, który atakuje <u>limfocyty Th</u>

Test maturalny

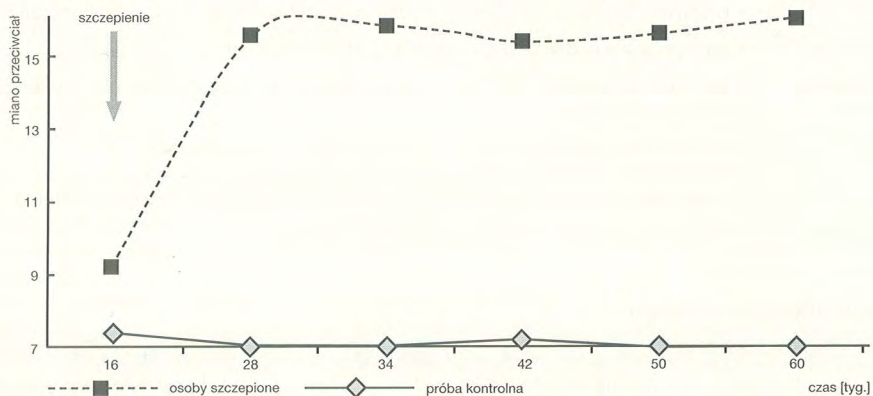
- 1** Organizm człowieka wykorzystuje różne mechanizmy do obrony przed wtargnięciem do niego patogenów. Wiele z tych mechanizmów ma charakter wrodzony, inne organizm wykształca w trakcie życia.

Uzupełnij tabelę. Przyporządkuj podane przykłady mechanizmów obrony przed infekcjami do odpowiednich rodzajów odporności.

1. Kwaśny odczyn potu.
2. Lizozym w ślinie i we łzach.
3. Przeciwciała odpornościowe we krwi.
4. Krzepnięcie krwi.
5. Zdolności żerne makrofagów.
6. Określone klony limfocytów występujące we krwi.

Odporność wrodzona	Odporność nabyta

- 2** Wykres przedstawia miano (ilość) przeciwciał w organizmie skierowanych przeciwko wybranemu patogenowi od momentu przeprowadzenia szczepienia.



- a) Określ, czy szczepienie zwiększa obronę swoistą czy nieswoistą organizmu. Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

.....

- b) Podaj, jakie osoby są ujęte na wykresie jako próba kontrolna.

.....

- c) Wyjaśnij, dlaczego szczepienie jest bezpieczniejszą formą nabycia odporności niż kontrolowane zarażenie.

.....

.....

3 Warunkiem wstępnym dokonania przeszczepu szpiku kostnego jest wysoki poziom zgodności tkankowej dawcy i biorcy.

a) Uszereguj etapy postępowania lekarskiego niezbędne do przeprowadzenia transplantacji szpiku (A–E), zaczynając od etapu najwcześniejszego.

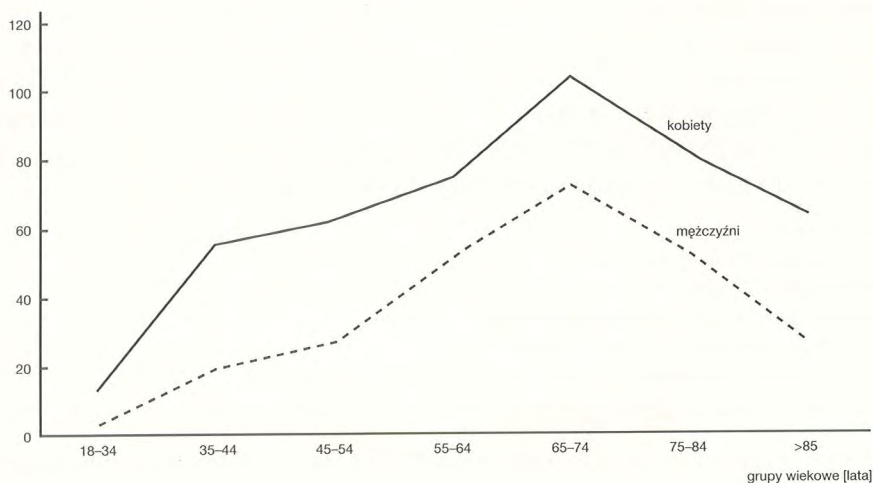
- A. Podawanie biorcy środków immunosupresyjnych i utrzymywanie go w warunkach aseptycznych.
- B. Pobranie od dawcy szpiku kostnego.
- C. Zniszczenie szpiku biorcy przez napromieniowanie.
- D. Znalezienie dawcy o wystarczającej zgodności tkankowej.
- E. Przeniesienie szpiku dawcy do organizmu biorcy.

Kolejność etapów postępowania lekarskiego:

b) Wyjaśnij, czym jest układ MHC i jaką funkcję pełni on w organizmie.

.....

4 Reumatoidalne zapalenie stawów jest chorobą autoimmunizacyjną, w której obserwuje się przewlekłe stany zapalne tkanki łącznej, szczególnie okolic stawowych. Wykres przedstawia zapadalność na reumatoidalne zapalenie stawów w zależności od grup wiekowych i płci, wyrażoną liczbą zachorowań na 100 000 osób.



a) Podaj brakujący opis osi y.

.....

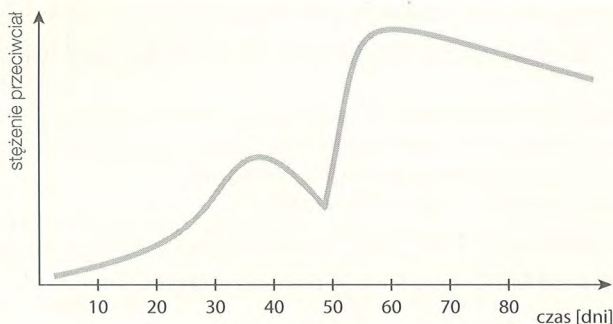
b) Określ, u której płci częściej obserwuje się zachorowania na reumatoidalne zapalenie stawów. Następnie podaj przybliżony wiek, w którym dochodzi do największej zachorowalności na tę chorobę u obu płci.

Płeć: Wiek:

c) Wyjaśnij, czym są spowodowane choroby autoimmunizacyjne.

.....

- 5 Wykres przedstawia przebieg pierwotnej i wtórnej odpowiedzi immunologicznej organizmu na kontakt z tym samym antygenem.



- a) Podaj dokładny czas pierwszego i drugiego kontaktu organizmu z antygenem.

Czas pierwszego kontaktu z antygenem:

Czas drugiego kontaktu z antygenem:

- b) Opisz różnice w przebiegu reakcji immunologicznej po drugim kontakcie z antygenem w porównaniu z reakcją po pierwszym kontakcie z antygenem.

.....

- 6 Za mechanizm odpowiedzi skierowanej przeciw konkretnemu antygenowi odpowiadają przede wszystkim limfocyty należące do dwóch typów: B i T.

- a) Przyporządkuj rodzajom limfocytów odpowiednie informacje.

- A. Dojrzewanie w grasicy.
- B. Dojrzewanie w szpiku kostnym.
- C. Identyfikowanie antygenów prezentowanych przez makrofagi.
- D. Wytwarzanie przeciwciał jednego rodzaju.
- E. Wydzielanie gotowych przeciwciał do osocza.
- F. Zatrzymywanie gotowych przeciwciał w błonie komórkowej.
- G. Wydzielanie limfokin regulujących odpowiedź immunologiczną.

Limfocyty T: Limfocyty B:

- b) Oceń prawdziwość zdań dotyczących antygenów. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

		P/F
1.	Pod wpływem antygeny limfocyty B przekształcają się w komórki plazmatyczne wytwarzające przeciwciała.	
2.	Antygeny mają najczęściej budowę lipidową.	
3.	W odpowiedzi na pojawienie się danego antygeny organizm zazwyczaj wytwarza jeden rodzaj przeciwciał.	
4.	Autoagresja jest reakcją odpornościową organizmu skierowaną przeciwko własnym antygenom.	

To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PR), zad. 17.

Wyróżnia się dwa rodzaje odporności: wrodzoną (nieswoistą) i nabytą (swoistą).

a) **Podaj, w którym z tych rodzajów odporności następuje wytworzenie w organizmie pamięci o patogenie.**

.....

b) **Wśród podanych niżej sposobów obrony organizmu przed patogenami (A-D) zaznacz ten, który jest odpowiedzią swoistą.**

- A. Wytwarzanie interferonu przez komórki zaatakowane przez wirusy.
- B. Fagocytowanie patogenów przez granulocyty obojętnochłonne i kwasochłonne.
- C. Wytwarzanie przeciwciał przez limfocyty B, które zetknęły się z patogenami.
- D. Obecność w płynach ciała np. łzach, mleku, ślinie lizozymu uszkadzającego bakterie.

Zadanie 2. (1 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PR), zad. 23.

Główny układ zgodności tkankowej człowieka (HLA) to zespół białek, które są niezwykle silnymi immunogennymi antygenami. Wprowadzone do organizmu komórki, z niezgodnym układem HLA na ich powierzchni, mogą być natychmiast rozpoznane przez limfocyty jako obce i niszczone.

Wyjaśnij, jakie działania muszą być podjęte w przypadku przygotowania pacjenta do przeszczepu narządu.

.....
.....

Zadanie 3. (1 pkt)

Źródło: CKE 05.2006 (PP), zad. 10.

Dzięki zróżnicowaniu właściwości leukocytów organizm dysponuje dwoma rodzajami odporności: komórkową i humoralną.

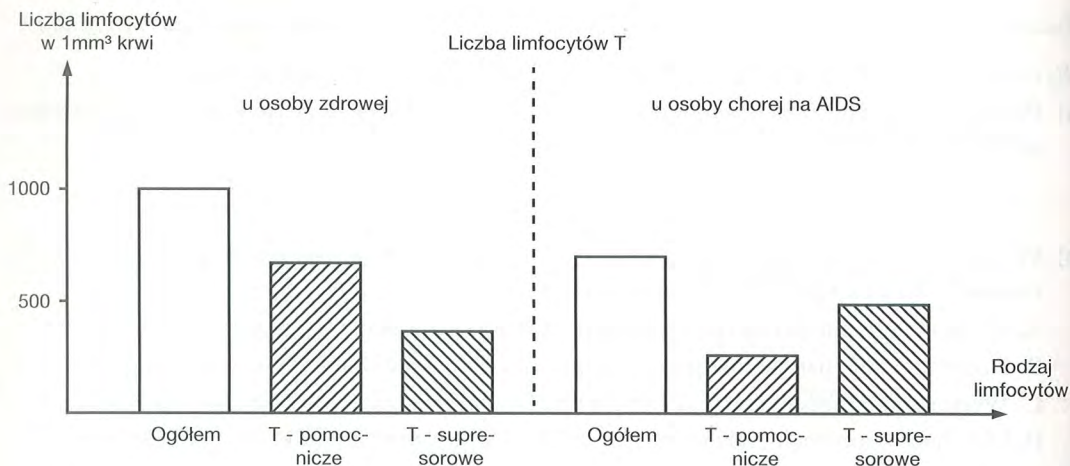
Podaj, na czym polega odporność komórkowa, a na czym humoralna, wykorzystując określenia: fagocytoza, przeciwciała.

.....
.....
.....
.....

Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PP), zad. 6.

Na diagramach przedstawiono zawartość limfocytów T we krwi dwóch osób: osoby zdrowej i chorej na AIDS.



Na podstawie analizy diagramów określ dwie zmiany, które zachodzą we krwi osoby chorej w porównaniu z osobą zdrową.

1.
2.

Zadanie 5. (2 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PP), zad. 25.

U pewnej pacjentki w czerwcu 2008 r. specjaliści z Barcelony zastąpili uszkodzony fragment tchawicy jego sprawnym odpowiednikiem. Wszczepiony odcinek zrekonstruowano w następujący sposób:

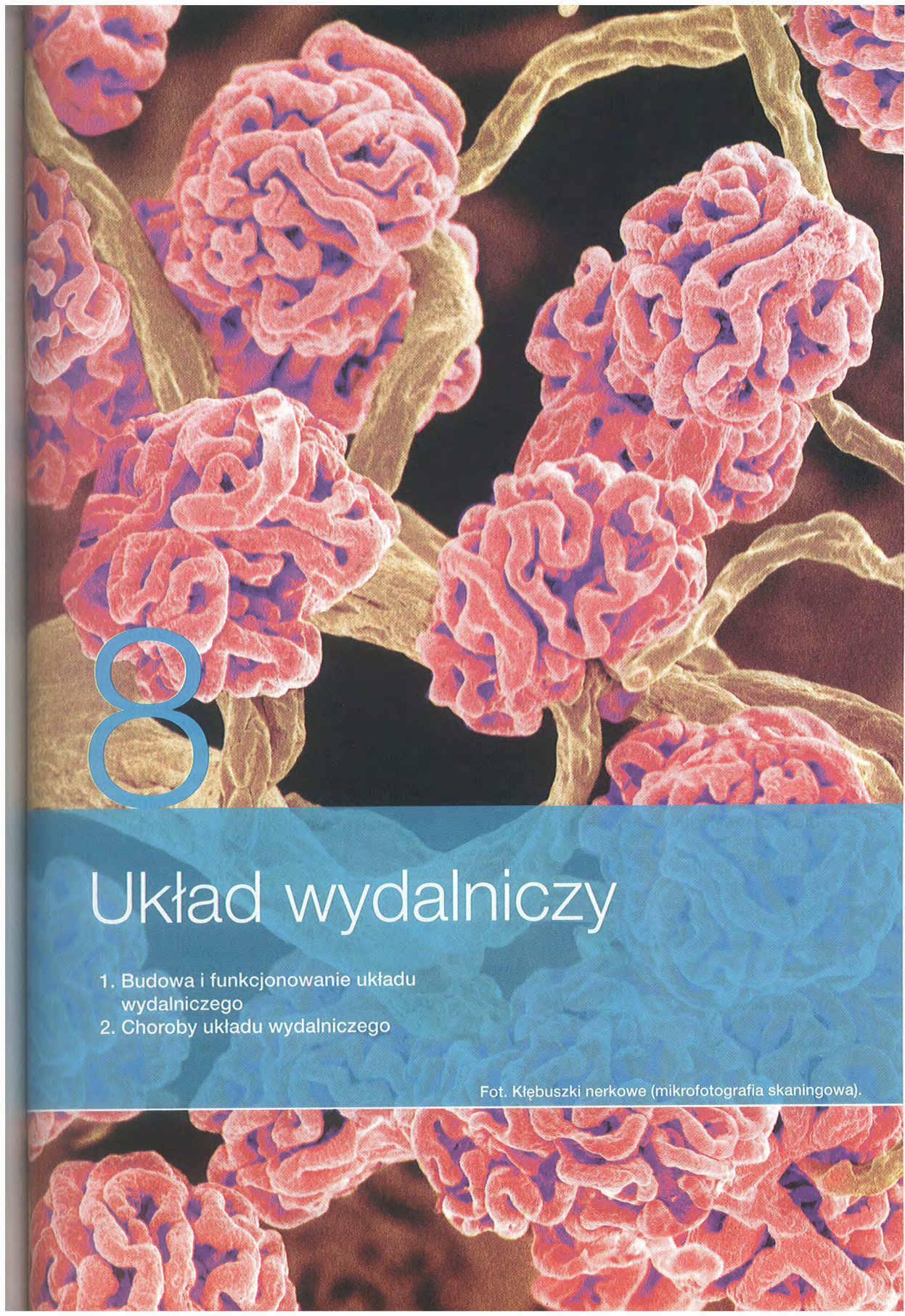
- Z ciała martwego dawcy pobrano tchawicę. Następnie oczyszczono ją z komórek, pozostawiając jedynie kolagenowy szkielet.
- Do ponownego obudowania szkieletu kolagenowego wykorzystano komórki macierzyste pobrane ze szpiku kostnego pacjentki, które umieszczono na szkielecie.
- Tak przygotowany fragment na cztery dni umieszczono w bioreaktorze i po tym czasie przeszczepiono pacjentce. Komórki macierzyste zróżnicowały się na odpowiednie komórki tkanek budujących tchawicę.

Po czterech dniach od operacji wszczepiony fragment z trudnością można było odróżnić od naturalnych tkanek, a po miesiącu rozwinął on własną sieć naczyń krwionośnych.

Pacjentka po operacji nie brała leków immunosupresyjnych, które przeciwdziałają odrzuceniu przeszczepu.

Podaj dwa powody, dla których pacjentka nie musiała brać leków immunosupresyjnych.

1.
2.

A scanning electron micrograph (SEM) of kidney glomeruli. The glomeruli are shown as clusters of red, highly convoluted capillaries, connected by yellowish-brown tubular structures. The background is dark. A large blue number '8' is overlaid on the left side of the image.

8

Układ wydalniczy

1. Budowa i funkcjonowanie układu wydalniczego
2. Choroby układu wydalniczego

Fot. Kłębuszki nerkowe (mikrofotografia skaningowa).

1

Budowa i funkcjonowanie układu wydalniczego

Układ wydalniczy jest najważniejszym elementem regulującym gospodarkę wodną, mineralną i azotową organizmu. Do jego zadań należy:

- ▶ wydalanie, czyli usuwanie produktów przemiany materii,
- ▶ regulacja stężenia soli mineralnych oraz ilości wody we krwi i innych płynach ustrojowych, dzięki czemu utrzymuje właściwy skład tych płynów, a tym samym homeostazę.

Wydalanie to proces fizjologiczny, którego celem jest usunięcie z organizmu zbędnych i szkodliwych produktów metabolizmu, czyli końcowych produktów przemiany materii. Powstają one m.in. w wyniku: oddychania komórkowego, degradacji aminokwasów i kwasów nukleinowych oraz rozkładu elementów obumarłych komórek.

Produkty przemiany materii to:

- ▶ **amoniak, mocznik i kwas moczowy**, będące końcowymi produktami przemiany związków azotowych (białek i kwasów nukleinowych). **Amoniak** jest toksyczny i powstaje w procesie degradacji aminokwasów, nazywanym **deaminacją**. Związek ten jest przekształcany w **cyklu mocznikowym** zachodzącym w **wątrobie** w nietoksyczny **mocznik**. Mocznik trafia

z krwią do **nerek**, skąd jest usuwany. Z kolei **kwas moczowy** powstaje w wyniku przemian **zasad purynowych** (składników budulcowych kwasów nukleinowych). Jest on usuwany przez **nerki**, a częściowo także przez **skórę**;

- ▶ **dwutlenek węgla**, będący produktem rozkładu węglowodanów i tłuszczów. Jest on usuwany przez **płuca** i w niewielkim stopniu przez **skórę**;

- ▶ **woda**, również powstająca jako produkt rozkładu węglowodanów i tłuszczów. Jest ona usuwana przez **skórę**, **płuca**, **układ pokarmowy** i **nerki**;

- ▶ **sole mineralne**, będące produktami przemian gospodarki mineralnej. W nadmiarze zakłócają one równowagę jonową organizmu. Są usuwane przez **skórę** oraz przez **nerki**.

Należy pamiętać, że **niestrawione resztki pokarmu** nie są produktami przemiany materii zachodzącej w komórkach, dlatego zostają usunięte na drodze **defekacji**, a nie wydalania.

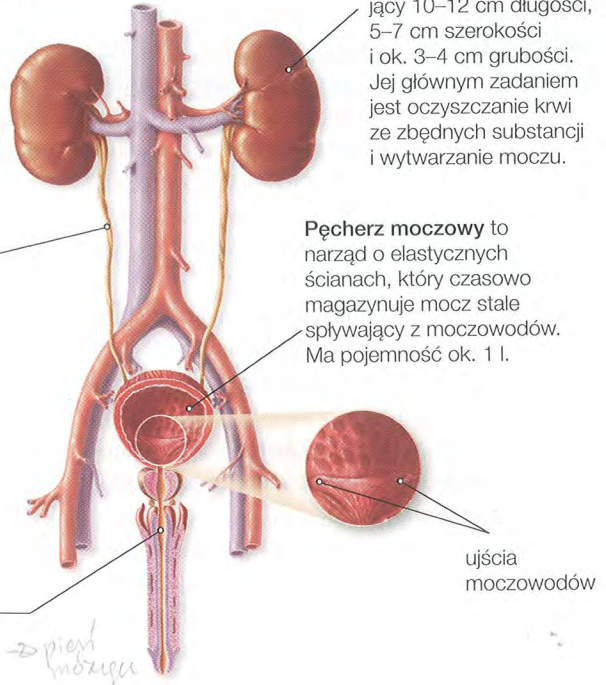
Z wydalaniem wiąże się ściśle regulacja ilości wody i soli mineralnych w organizmie – **osmoregulacja**. Dzięki temu procesowi organizm utrzymuje ilość wody i soli mineralnych na niemal stałym poziomie.

Wydalanie zbędnych produktów metabolizmu

Rodzaj produktu przemiany materii	Proces prowadzący do powstania produktu przemiany materii	Komórki, w których powstają produkty przemiany materii	Drogi usuwania produktu przemiany materii z organizmu
Mocznik	deaminacja aminokwasów	komórki wątroby	• nerki (z moczem)
Kwas moczowy	rozkład kwasów nukleinowych	komórki wątroby	• nerki (z moczem) • skóra (z potem)
Barwniki żółciowe	rozpad hemoglobiny	komórki wątroby	• nerki (z moczem)
Woda	oddychanie komórkowe	wszystkie komórki	• nerki (z moczem) • skóra (z potem) • płuca (z wydychanym powietrzem)
Dwutlenek węgla	oddychanie komórkowe	wszystkie komórki	• płuca (z wydychanym powietrzem)
Sole mineralne	przemiany mineralne	wszystkie komórki	• nerki (z moczem) • skóra (z potem)

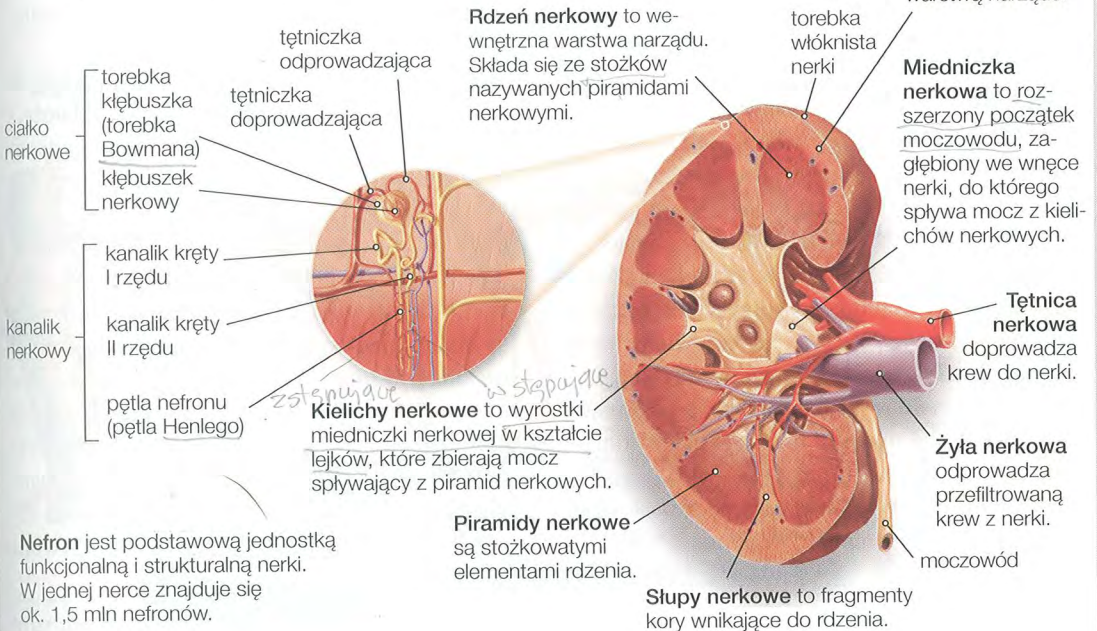
Budowa układu wydalniczego

Układ wydalniczy człowieka składa się z dwóch nerek oraz dróg moczowych, do których należą: dwa moczowody, pęcherz moczowy i cewka moczowa.



Budowa nerki

W nerce wyróżnia się dwie warstwy: położony głębiej rdzeń nerkowy i leżącą powierzchniowo korę nerkową. Fragmenty kory, wnikające do rdzenia w postaci słupów nerkowych, dzielą go na piramidy nerkowe. Powstały mocz spływa do kielichów nerkowych, z nich do miedniczki nerkowej, a następnie do moczowodu.



Powstawanie moczu

Na powstawanie moczu składają się trzy procesy fizjologiczne: filtracja, resorpcja zwrotna (wchłanianie zwrotne) i sekrecja (wydzielanie).

Filtracja polega na przenikaniu do torebki kłębuszka (torebki Bowmana) niektórych substancji z osocza krwi. Podstawą tego procesu jest:

- ▶ wyższe ciśnienie krwi w kłębuszku nerkowym niż w torebce kłębuszka,
- ▶ duża powierzchnia filtracji wynikająca z silnie rozbudowanej sieci naczyń kłębuszka,
- ▶ duża przepuszczalność ścian naczyń włosowatych kłębuszka związana z występowaniem licznych perforacji między komórkami jednowarstwowego nabłonka, z którego są zbudowane te naczynia.

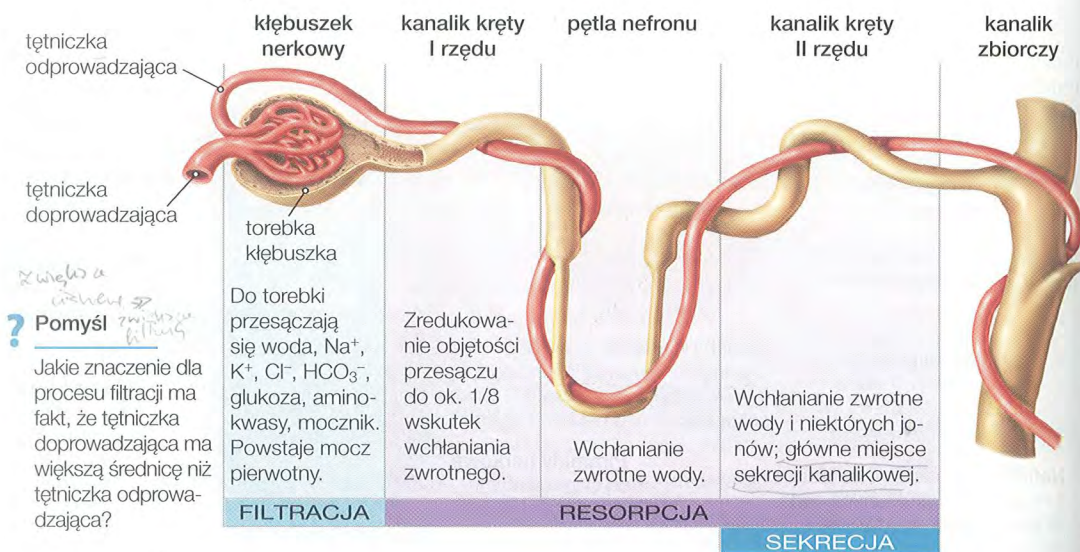
Z krwi przepływającej przez naczynia włosowate kłębuszka do wnętrza torebki kłębuszka przenika ok. 20% objętości osocza. Płyn znajdujący się wewnątrz torebki kłębuszka jest

nazywany **moczem pierwotnym** (przesączem pierwotnym). W ciągu doby powstaje 160–180 l tego płynu. Jest on izotoniczny w stosunku do osocza, a także prawie z nim identyczny pod względem składu chemicznego. Zawiera substancje, które pokonały barierę filtracyjną, czyli ścianę naczynia włosowatego oraz ścianę torebki kłębuszka. Należą do nich: woda, jony soli mineralnych (m.in. sodu, potasu, chlorkowe, wodorowęglanowe), a także drobnocząsteczkowe związki organiczne (np. aminokwasy, witaminy, glukoza, mocznik).

Organizm nie może pozbyć się takiej ilości wody, a także rozpuszczonych w niej wielu ważnych substancji. W związku z tym w kanalikach krętych oraz w pętli nefronu zachodzi drugi etap powstawania moczu – **resorpcja zwrotna**. Proces ten umożliwia wchłanianie zwrotne wielu substancji z moczu pierwotnego do naczyń krwionośnych. Jest to możliwe, ponieważ zarówno kanaliki kręte, jak i pętla nefronu (pętla

Procesy przebiegające w nefronie

W torebce kłębuszka zachodzi filtracja. W kanaliku krętym I rzędu zachodzi resorpcja zwrotna obowiązkowa, czyli wchłanianie wody, glukozy, aminokwasów i soli mineralnych (transport aktywny). W pętli nefronu oraz kanaliku krętym II rzędu zachodzi resorpcja zwrotna nieobowiązkowa – wchłanianie do krwi wody i niektórych jonów w zależności od zapotrzebowania organizmu – oraz sekrecja, czyli wydzielanie części substancji do światła kanalików. Mocz spływa z nefronu do kanalika zbiorczego.



Henlego) są otoczone gęstą siecią naczyń włosowatych. Procesy resorpcji zwrotnej przebiegają tu z dużą intensywnością – w ciągu doby kanalik nefronów wchłaniają zwrotnie ok. 178 l wody, 1200 g soli mineralnych i prawie 250 g glukozy. Większość substancji jest wchłaniana na drodze transportu aktywnego, inne biernie, czyli zgodnie z gradientem stężeń i bez nakładu energii. Znaczna część składników moczu pierwotnego (ok. 65%) zostaje zwrotnie wchłonięta w kanalikach I rzędu (m.in. glukoza, aminokwasy, witaminy oraz wiele jonów soli mineralnych). Wchłanianie pozostałych składników zachodzi w pętli nefronu oraz kanalikach II rzędu. Pozostaje ono pod kontrolą hormonów i zależy od aktualnego zapotrzebowania organizmu.

Sekrecja to proces wydzielania substancji do wnętrza kanalików, zachodząca przede wszystkim w kanalikach II rzędu. Dzięki niej do moczu przedostają się np. jony potasu, amonu i wodoru, hormony steroidowe, a także niektóre leki, np. penicylina.

Resorpcja oraz sekrecja to procesy prowadzące do zagęszczenia moczu oraz znacznej modyfikacji jego składu. W ich wyniku w ciągu doby powstaje około 1,5 l moczu zwanego **moczem ostatecznym**.

■ Skład moczu ostatecznego

Człowiek wydala w ciągu doby 1–2 l moczu ostatecznego. Zawiera on ok. 96% wody, 1,5% soli mineralnych oraz 2,5% związków organicznych.

Wśród **soli mineralnych** dominuje chlorek sodu (stanowi on ok. 44% wszystkich soli), pozostałe to inne chlorki, fosforany(V), wodorowęglany, siarczany(VI): potasu, magnezu, wapnia, sodu i amonu. Głównymi składnikami organicznymi moczu są: **mocznik**, **kreatynina** (związek azotowy powstający w czasie przemian metabolicznych w mięśniach), **kwasek moczowy** (końcowy produkt metabolizmu kwasów nukleinowych) oraz **barwniki** (np. urobilinogen).

Porównanie wybranych składników zawartych w moczu pierwotnym i moczu ostatecznym

Składniki	Mocz pierwotny	Mocz ostateczny
Woda	180 l	1,5 l
Białka	10–20 g	0
Jony chlorkowe	630 g	5 g
Glukoza	180 g	0 g
Mocznik	53 g	25 g

■ Wydalanie moczu

Mocz wypływający z kanalików zbiorczych, poprzez kielichy nerkowe sływa do miedniczki nerkowej, gdzie się gromadzi. Skurcze perystaltyczne moczowodów (fala skurczu mięśni okrężnych moczowodu) powodują jednak, że mocz małymi porcjami sływa do pęcherza moczowego. Wypełnianie pęcherza moczowego powoduje rozciąganie jego ścian, co z kolei pobudza receptory. Informacja o wypełnieniu pęcherza dociera do ośrodka wydalania znajdującego się w części krzyżowej rdzenia kręgowego. Następuje rozluźnienie mięśni zwieraczy cewki moczowej, skurcz pęcherza i wydalanie moczu (mikcja).

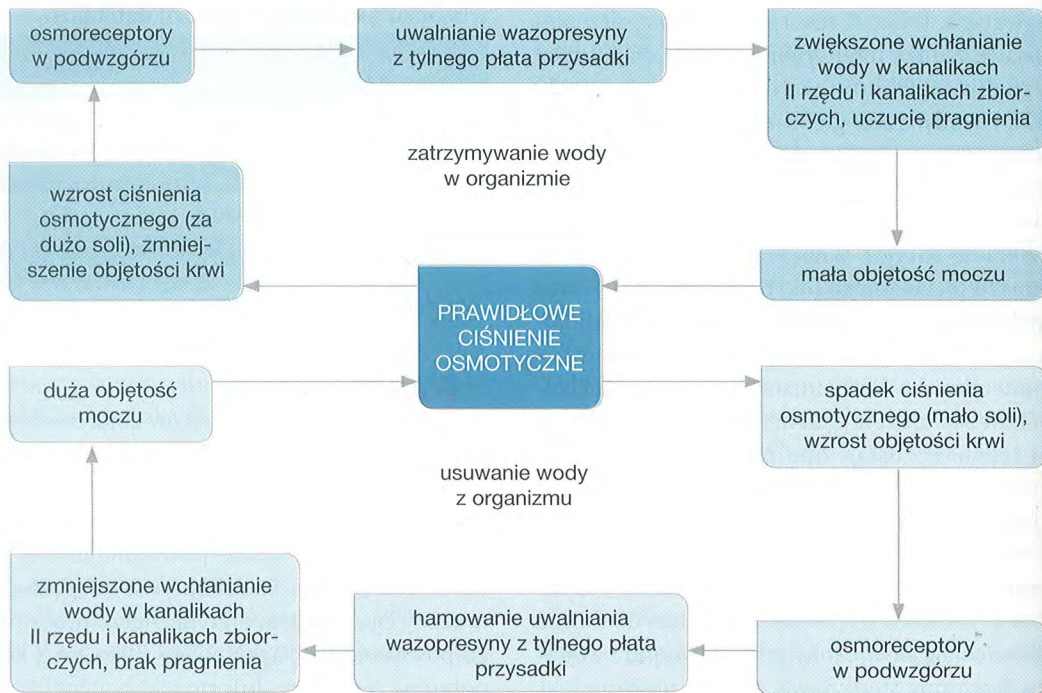
■ Kontrola hormonalna wydalania

Ilość i stężenie moczu są regulowane przez kilka hormonów. Wchłanianie zwrotne wody jest możliwe dzięki działaniu **wazopresyny** – hormonu podwzgórza. Niedobór lub brak wazopresyny są przyczyną moczówki prostej. Choroba ta objawia się przede wszystkim wielomoczem – w ciągu doby chory wydala 5–20 l moczu. Tak znaczna utrata wody powoduje wzmożone pragnienie, ale chociaż chory wypija równoważną ilość płynu, ma objawy odwodnienia. Regulacji hormonalnej podlega także wchłanianie zwrotne jonów. Na przykład hormon **kory nadnerczy** – **aldosteron** – wpływa na wchłanianie jonów sodu, wydzielany zaś przez przytarczycę **parathormon** reguluje wchłanianie jonów wapnia.

Ca^{2+}

Wazopresyna (hormon antydiuretyczny, ADH) – hormon wytwarzany przez podwzgórze, magazynowany i uwalniany przez przysadkę, regulujący m.in. wchłanianie zwrotne wody w kanalikach nerkowych.

Regulacja objętości wydalanego moczu



podwyższa ciśnienie krwi

Wewnątrzwydzielnicza funkcja nerek

W bezpośrednim sąsiedztwie ciała nerkowego znajduje się niewielka grupa wyspecjalizowanych komórek, tworząca **aparat przykłębuszkowy**. Odpowiada on za wytwarzanie **reniny** – enzymu, który zapoczątkowuje proces przemian jednego z białek osocza krwi – **angiotensynogenu** – w aktywną postać nazywaną **angiotensyną II**. Ta zaś powoduje skurcz naczyń krwionośnych, co podnosi ciśnienie krwi oraz reguluje

wydzielanie wazopresyny i aldosteronu. Zwiększa to intensywność procesu filtracji w nerkach. Sygnałem do zwiększonego wytwarzania reniny jest obniżenie ciśnienia tętniczego krwi, powodujące swoiste niedokrwienie nerki.

Nerki są również źródłem hormonów tkankowych – wytwarzają **erytropoetynę** pobudzającą powstawanie erytrocytów oraz **dihydroksykalcysterol**, będący pochodną witaminy D₃, regulujący gospodarkę wapniowo-fosforanową.

Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, na czym polega wydalanie. Podaj produkty przemiany materii oraz sposoby ich wydalania z organizmu.
2. Wyjaśnij różnicę między wydalaniem a defekacją.
3. Wymień główne funkcje układu wydalniczego. Wskaż w budowie układu wydalniczego przystosowania do pełnienia tych funkcji.
4. Omów procesy, które zachodzą w trakcie powstawania moczu ostatecznego.
5. Wyjaśnij pojęcia: *mocz pierwotny*, *mocz ostateczny*, a następnie omów mechanizm tworzenia się tych rodzajów moczu.
6. Scharakteryzuj wewnątrzwydzielniczą funkcję nerek.

2

Choroby układu wydalniczego

W ciągu doby przez nerki przepływa ok. 1500 l krwi, która zostaje w nich oczyszczona z końcowych produktów przemiany materii. Gdyby praca nerek została przerwana na krótki czas, nastąpiłoby zatrucie organizmu, prowadzące nawet do śmierci. Dlatego tak ważne jest wczesne wykrywanie i leczenie chorób układu wydalniczego.

■ Badanie moczu

Ogólne badanie moczu jest jednym z podstawowych badań laboratoryjnych. W jego trakcie:

- ▶ ocenia się właściwości fizyczne moczu, takie jak: barwa, przejrzystość, pH, ciężar właściwy,
- ▶ wykrywa się w moczu niektóre substancje (m.in. białko, glukozę, ciała ketonowe, bilirubinę i urobilinogen), ocenia się składniki osadu.

Prawidłowy mocz powinien być **przejrzysty** i mieć **barwę** od jasnożółtej do ciemnożółtej.

Przy bakteryjnych zapaleniach układu wydalniczego, a niekiedy również w przebiegu kamicy nerkowej, mocz staje się mętny. Barwa moczu pochodzi od niewielkiej ilości barwników żółciowych: urochromu i urobilinogenu. Intensywność zabarwienia świadczy o stanie nawodnienia organizmu. Spożywanie zbyt małej ilości płynów powoduje zagęszczenie moczu i zmianę jego barwy na ciemnożółtą. Brunatne zabarwienie moczu może świadczyć o stanie zapalnym wątroby, występującym np. przy wirusowym zapaleniu wątroby. Zmiana zabarwienia niekiedy jest spowodowana przechodzeniem do niego różnych barwników z pokarmu, przykładowo po zjedzeniu buraków mocz staje się różowy. Takie zabarwienie może jednak świadczyć również o obecności w moczu krwinek czerwonych.

Analiza moczu

Ilościowa i jakościowa analiza moczu ostatecznego umożliwia rozpoznawanie wielu chorób układu wydalniczego, jak również innych chorób, które powodują zmiany w składzie moczu.

Spadek **ciężaru właściwego** poniżej 1015 g/l występuje przy przewlekłej niewydolności nerek.

Białko w moczu może świadczyć o poważnych chorobach nerek.

Glukoza pojawia się w moczu osób chorych na cukrzycę.

Obecność **bilirubiny** lub **urobilinogenu** wskazują na stan zapalny wątroby.

Obecność **ciał ketonowych** może wskazywać na cukrzycę.

Zwiększona liczba **komórek nabłonka płaskiego** sugeruje stan zapalny dróg moczowych.

Zwiększona liczba **leukocytów** wskazuje na choroby układu wydalniczego.

W zakażeniach dróg moczowych i niektórych typach kamicy nerkowej **odczyn pH** może być obojętny lub zasadowy.

Barwa moczu może zmieniać się nie tylko z powodu chorób układu wydalniczego, lecz również pod wpływem diety.

MOCZ – analiza ogólna – prawidłowe wartości

Barwa	odcienie żółci, najczęściej barwa słomkowa
Odczyn pH	ok. 6
Ciężar właściwy (gęstość)	1018–1030 (g/l)
Białko	brak (mg/100)
Glukoza	brak (mmol/l)
Urobilinogen	0,1 (mg)
Bilirubina	brak
Ciała ketonowe	brak
OSAD	
Nabłonki	pojedyncze
Leukocyty	1–5
Erytrocyty	0–3
Bakterie	brak

Bakterie w moczu świadczą o zakażeniach układu wydalniczego.

Zwiększona liczba **erytrocytów** jest charakterystyczna m.in. dla stanów zapalnych nerek.

Niewydolność nerek

Na niewydolność nerek, czyli stan chorobowy nerek powodujący ograniczenie ich czynności, może cierpieć nawet kilkanaście procent populacji ludzi na świecie. Wiele osób nie zdaje sobie z tego sprawy, ponieważ chore nerki przez długi czas nie dają żadnych objawów.

■ PRZYCZYNA

Do wystąpienia niewydolności nerek przyczyniają się głównie:

- ▶ choroby nerek (kłębuszkowe zapalenie nerek, odmiedniczkowe zapalenie nerek, wielotorbielowate zwyrodnienie nerek, kamica nerkowa),
- ▶ choroby niszczące nerki (nadciśnienie tętnicze, cukrzyca, toczeń trzewny).

■ DIAGNOSTYKA

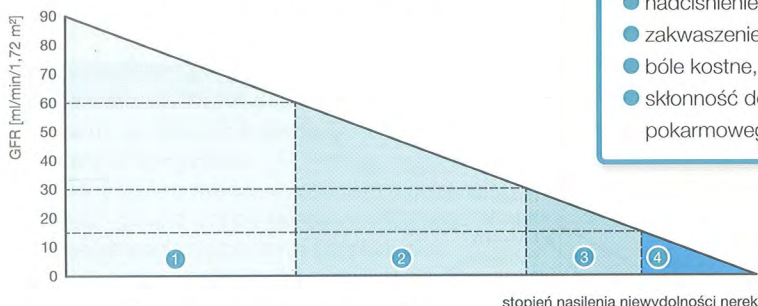
Stopień wydolności nerek określa się na podstawie współczynnika przesączania kłębuszkowego (ang. **G**lomerular **F**iltration **R**ate – GFR). Jest to ilość osocza przefiltrowana w jednostce czasu przez kłębuszki nerkowe do moczu pierwotnego. Współczynnik ten oznacza się na podstawie stężenia kreatyniny w moczu. U człowieka prawidłową wartością jest ok. 140 ml/min/1,72 m², gdzie 1,72 m² oznacza uśrednioną powierzchnię ciała. Wartości poniżej 90 ml/min/1,72 m² wskazują na niewydolność nerek:

- ▶ **ostra niewydolność nerek** polega na nagłym, potencjalnie odwracalnym pogorszeniu czynności wydalinowej nerek. Przyczynami są: niedostateczne ukrwienie nerek, choroby kłębuszków i miąższu lub zaburzenia odpływu moczu;
- ▶ **przewlekła niewydolność nerek** to stan nieodwracalnego uszkodzenia kłębuszków nerkowych. Wiąże się ze stopniową redukcją liczby czynnych nefronów, co prowadzi do zaburzeń gospodarki wodnej i upośledzenia funkcji wydalinowych.

Objawy, które mogą świadczyć o niewydolności nerek:

- zmiana ilości moczu wydalanego w ciągu doby,
- osłabienie,
- brak apetytu,
- niedokrwistość,
- nadciśnienie,
- zakwaszenie organizmu,
- bóle kostne, skłonność do złamań kości,
- skłonność do krwawień z przewodu pokarmowego.

Etapy przewlekłej niewydolności nerek



Niewydolność nerek i towarzyszące jej objawy:

- 1 utajona** – zwiększenie ilości moczu wydalanego w ciągu doby,
- 2 wyrównana** – nadciśnienie tętnicze i niedokrwistość,
- 3 niewyrównana** – osłabienie, obrzęki, problemy z pamięcią i snem,
- 4 schyłkowa (mocznica)** – liczne objawy niewydolności nerek, zagrożenie życia.

LECZENIE

W leczeniu niewydolności nerek niezbędna jest odpowiednia dieta (ograniczenie soli i białka, zwiększenie ilości tłuszczów wielonienasyconych) oraz często zażywanie leków.

Gdy niewydolność jest zaawansowana, konieczne jest leczenie nerkozastępcze – dializa.

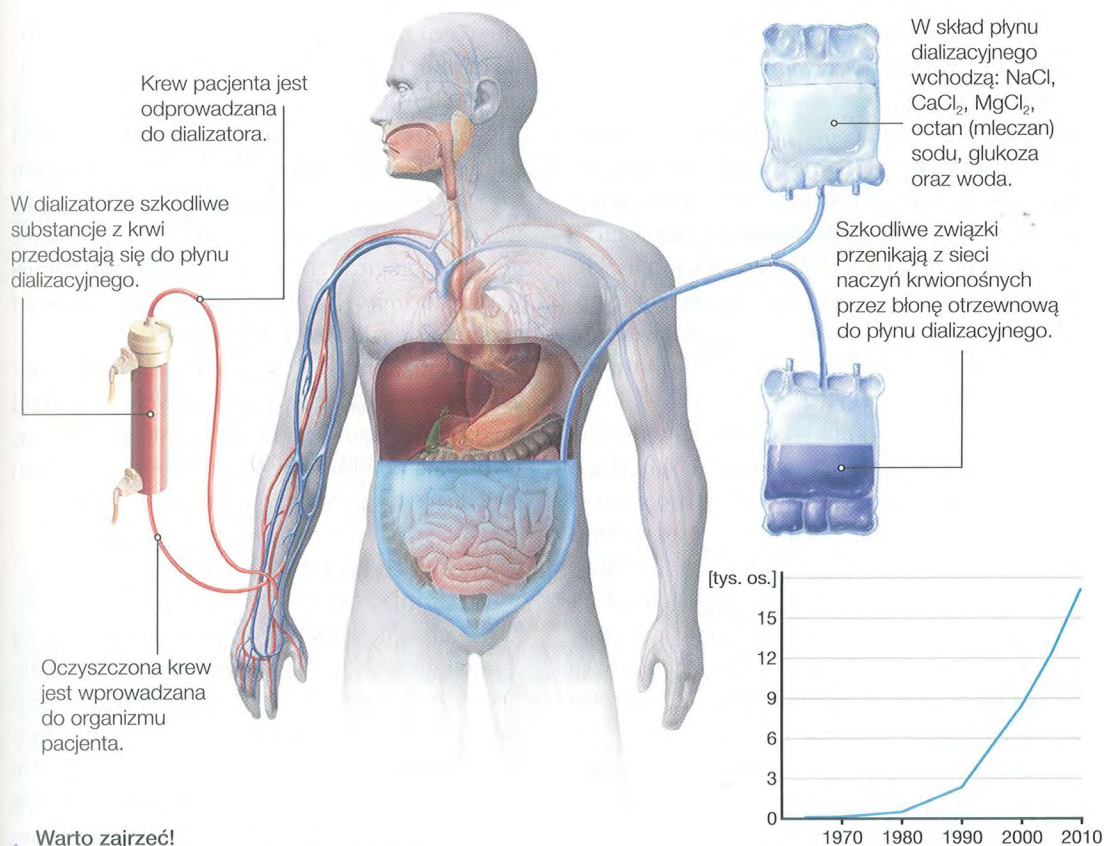
W wypadku schyłkowej niewydolności nerek niezbędny jest przeszczep nerki.

Hemodializa

Polega na przepompowaniu krwi pacjenta przez sztuczną błonę półprzepuszczalną w urządzeniu zwanym dializatorem. Trwający kilka godzin zabieg wykonuje się kilka razy w tygodniu w ośrodku dializacyjnym.

Dializa otrzewnowa

Odbywa się przez wprowadzanie i usuwanie płynu dializacyjnego z jamy otrzewnowej. Funkcję błony dializacyjnej pełni błona otrzewnowa. Zwykle dializa tego typu jest stosowana przez kilka godzin w ciągu doby. Może być wykonywana w domu pacjenta.



Warto zajrzeć!

<http://nefrologia.mp.pl/choroby/choroby-udoroslych/show.html?id=53432>

Liczba pacjentów leczonych dializami w Polsce w latach 1965–2010.

PROFILAKTYKA

Podstawą profilaktyki niewydolności nerek jest odpowiednia dieta (m.in. ograniczanie spożycia soli i picie odpowiedniej ilości płynów – ok. 2,5 l/dobę). Ważne są też regularne badania: mierzenie ciśnienia krwi, coroczne badanie moczu. W wypadku zauważenia jakichkolwiek zmian w moczu należy skontaktować się z lekarzem.

Ciężar właściwy moczu zależy od ilości wypitych płynów i wydolności nerek. Wzrasta, gdy mocz zawiera białko i cukier, maleje przy częstym oddawaniu moczu. Stały niski ciężar właściwy, niezależnie od nawodnienia organizmu, wskazuje na przewlekłą niewydolność nerek.

Odczyn (pH) moczu waha się od lekko kwaśnego do lekko zasadowego i zależy m.in. od diety. Wartość pH wzrasta w przewlekłej niewydolności nerek, przy nadmiarze wapnia i zakażeniach dróg moczowych.

W prawidłowym moczu występują też składniki chemiczne, których nie można wykryć za pomocą powszechnie stosowanych metod. Z tego względu mówi się, że mocz zdrowych osób nie powinien ich zawierać. Do składników tych należą: białko, glukoza, bilirubina, ciała ketonowe. U ludzi zdrowych **białko** występuje w ilości ok. 100 mg/dobę (tej ilości nie wykrywa badanie). Jego obecność w moczu w ilości powyżej 300 mg/dobę to **białkomocz patologiczny**. Może on wskazywać na chorobę lub uszkodzenie nerek. W niektórych sytuacjach, np. podczas gorączki, po dużym wysiłku fizycznym i u kobiet w ciąży, obserwuje się **białkomocz fizjologiczny** (poniżej 250 mg/dobę).

Glukoza nie powinna występować w moczu, ponieważ jest wchłaniana zwrótnie w kanalikach nerkowych. Jej prawidłowe stężenie w osoczu krwi wynosi 3,9–6,1 mmol/l. Z chwilą wzrostu stężenia glukozy w osoczu powyżej 10–11 mmol/l, czyli po przekroczeniu tzw. progu nerkowego, nie zostaje ona w całości wchłonięta zwrótnie, lecz pojawia się w moczu ostatecznym. Obecność cukru w moczu to **cukromocz (glikozuria)**. Obserwuje się go najczęściej w cukrzycy.

Bilirubina jest produktem rozpadu barwnika krwi (hemu). Powstaje podczas rozkładu erytrocytów. Jej obecność w moczu może świadczyć o stanach zapalnych wątroby. Pochodną bilirubiny jest **urobilinogen**. Powstaje on w jeliach, skąd z krwią jest transportowany do nerek. Jego zawartość w moczu osób zdrowych wynosi ok. 0,05–4,0 mg/dobę, a wzrost wydalania

następuje w krwawieniach do przewodu pokarmowego (wtedy powstają duże ilości bilirubiny) lub w stanach zapalnych wątroby.

Ciała ketonowe (aceton, kwas acetooctowy i kwas hydroksymasłowy) to pośrednie produkty metabolizmu tłuszczów powstające w wątrobie. Ich obecność w moczu świadczy, że organizm do uzyskania energii wykorzystuje tłuszcze zamiast glukozy. Sytuacja taka ma miejsce np. podczas cukrzycy lub intensywnego odchudzania się.

Po odwirowaniu próbki moczu zdrowego człowieka w badanym osadzie można znaleźć m.in. pojedyncze **leukocyty**, **erytrocyty** oraz złuszczone **komórki nabłonka dróg moczowych**. Ich obecność w większej liczbie świadczy o chorobach układu wydalniczego. Mocz zdrowego człowieka jest jałowy, tzn. nie zawiera bakterii. Ich obecność może być następstwem niewłaściwego pobierania próby lub może wskazywać na zakażenie układu wydalniczego. O patologicznej obecności drobnoustrojów w moczu mówi się wtedy, gdy w 1 ml moczu znajduje się więcej niż 10^5 bakterii.

W osadzie mogą też znajdować się niewielkie ilości składników mineralnych w postaci np. kryształów. Większe ilości tych składników wymagają powtórzenia badania, mogą bowiem świadczyć o kamicy nerkowej.

■ Profilaktyka chorób układu wydalniczego

Wiele chorób układu wydalniczego rozwija się z powodu jego niewłaściwej higieny. Do ważnych zasad, których należy przestrzegać w profilaktyce chorób układu wydalniczego, należą:

- ▶ przestrzeganie zasad higieny osobistej, w celu uniknięcia zakażeń drobnoustrojami. W ten sposób nie dopuszcza się do zapalenia pęcherza moczowego, a jeśli bakterie wnika dalej – do zapalenia nerek,
- ▶ regularne opróżnianie pęcherza moczowego, co chroni przed rozwojem w nim bakterii,

Próg nerkowy – takie stężenie substancji we krwi, po którego przekroczeniu nie następuje całkowita resorpcja tej substancji z moczu pierwotnego (substancja pojawia się w moczu ostatecznym).

- ▶ ograniczenie spożycia soli, ponieważ zbyt duże stężenie tej substancji we krwi utrudnia wchłanianie wody w nefronach,
- ▶ picie odpowiedniej ilości płynów (ok. 2,5 l dziennie), ponieważ przy niedoborze wody w nerkach powstaje zbyt zagęszczony mocz, co prowadzi do ich uszkodzenia,
- ▶ kontrolne badanie moczu raz w roku,
- ▶ badanie moczu w 14–21 dni po przebytych bakteryjnych zakażeniach migdałków, zapaleniu zatok czy ropniu zęba.

Choroby układu wydalniczego

Nazwa choroby	Czynnik wywołujący chorobę	Objawy	Leczenie
Zapalenie cewki moczowej i pęcherza moczowego	bakterie, rzadko szkodliwe substancje wydalone wraz z moczem	bolesne, częste parcie na mocz, oddawanie niewielkich ilości moczu, zapaleniu może towarzyszyć gorączka; w moczu stwierdza się bakterie, liczne krwinki białe, nieliczne krwinki czerwone, niewielkie ilości białka oraz złuszczone komórki nabłonka	antybiotyki, picie dużych ilości płynów
Zapalenie miedniczek nerkowych	powstaje najczęściej w wyniku nieleczzonego bakteryjnego zapalenia pęcherza moczowego	ostre bóle w okolicy krzyża, wysoka temperatura, dreszcze, częste oddawanie małych ilości moczu, któremu towarzyszy ból i pieczenie; w moczu stwierdza się liczne krwinki białe	antybiotyki, nagrzewanie okolic nerek, picie dużych ilości płynu, stosowanie mieszanek ziołowych o działaniu moczopędym i odkażającym
Kamica nerkowa	powstawanie złożeń – kamieni – w nerkach lub drogach moczowych, spowodowane wytrącaniem się z moczu związków chemicznych, czemu sprzyja np. picie zbyt małych ilości płynów; choroba występuje dwukrotnie częściej u kobiet niż u mężczyzn	napady ostrego bólu (kolka nerkowa), nudności, wymioty, zablokowanie odpływu moczu, obecność w moczu krwinek czerwonych	picie dużych ilości płynów, odpowiednia dieta (niskokaloryczna, z małą zawartością soli), stosowanie leków rozszerzających drogi moczowe (rozkurczowych), rozkruszanie kamieni za pomocą ultradźwięków, niekiedy interwencja chirurgiczna
Ostre kłębuszkowe zapalenie nerek	zwykle pojawia się jako powikłanie po przebytych zakażeniach górnych dróg oddechowych, zapaleniu zatok czy migdałków lub ropniu zęba	obrzęki ciała, bóle głowy i podbrzusza, apatia, senność, bladość, wzrost ciśnienia tętniczego, utrata łaknienia, wymioty, gorączka; niekiedy przebiega bezobjawowo, co jest niebezpieczne, ponieważ nieleczona choroba może doprowadzić do upośledzenia czynności nerek, z całkowitą niewydolnością włącznie	zlikwidowanie ognisk zapalnych w organizmie przez zażywanie antybiotyków, stosowanie diety zawierającej małe ilości białek, wypoczynek; w przebiegu ciężkim dodatkowo podaje się pochodne hormonów steroidowych kory nadnerczy

Polecenia kontrolne

1. Wymień substancje, które nie powinny znajdować się w moczu zdrowego człowieka. Odpowiedź uzasadnij.
2. Wymień przyczyny powstawania chorób układu wydalniczego.
3. Scharakteryzuj dwie wybrane choroby układu wydalniczego.
4. Wyjaśnij, dlaczego dializa jest jedną z metod ratowania życia.
5. Omów podstawowe zasady higieny układu wydalniczego.

Podsumowanie

Funkcje układu wydalniczego

Wydalanie	Osmoregulacja
usuwanie z organizmu zbędnych produktów przemiany materii	regulacja stężenia soli mineralnych oraz ilości wody we krwi i innych płynach

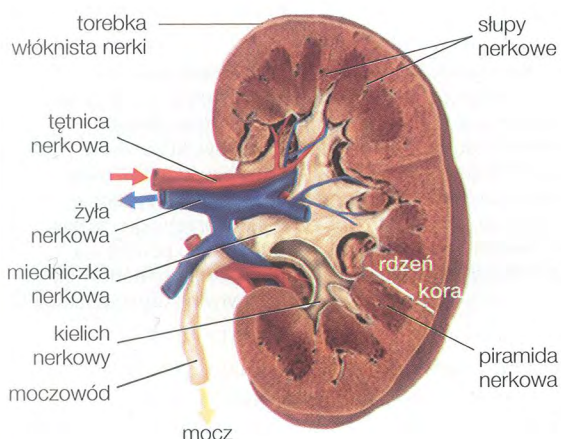
Produkty przemiany materii

Wydalana substancja	Źródło pochodzenia substancji	Droga usuwania z organizmu
Amoniak, mocznik, kwas moczowy	degradacja aminokwasów i rozkład kwasów nukleinowych	nerki, częściowo skóra
Sole mineralne	produkty przemian gospodarki mineralnej	skóra, nerki
Dwutlenek węgla	produkt oddychania komórkowego	płuca
Woda	produkt oddychania komórkowego	skóra, płuca, nerki

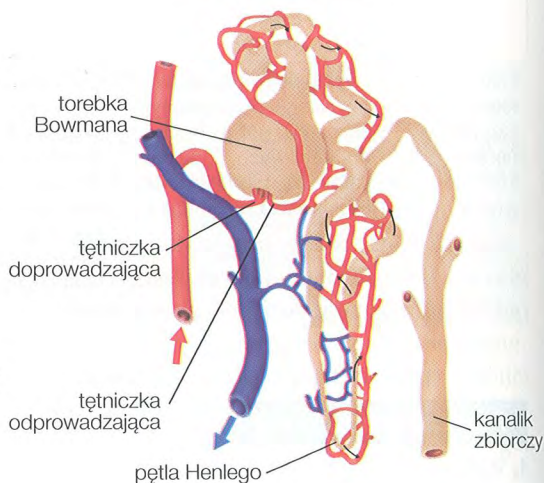
Wewnątrzwydzielnicza funkcja nerek

Hormon	Funkcja
Renina	Zapoczątkowuje proces przemian jednego z białek osocza krwi (angiotensynogenu) w aktywną postać – angiotensynę II, której działanie zwiększa intensywność procesu filtracji w nerkach.
Erytropoetyna	Pobudza wytwarzanie erytrocytów.
Dihydroksykalciferol	Reguluje gospodarkę wapniowo-fosforanową.

Budowa nerki



Budowa nefronu



Procesy fizjologiczne podczas wydalania

Proces	Miejsce	Opis	Wynik procesu	Intensywność procesu
Filtracja	ciałka nerkowe	• przenikanie substancji z osocza krwi do torebki kłębuszka • zachodzi biernie, na skutek różnicy ciśnienia krwi w tętnicze doprowadzającej i odprowadzającej	powstanie moczu pierwotnego o składzie zbliżonym do osocza krwi (zawiera m.in. wodę, sole mineralne, związki organiczne)	wytwarzanie 160–180 l moczu pierwotnego na dobę
Resorpcja zwrotna	kanaliki kręte (głównie I rzędu), pętla nefronu	• wchłanianie zwrotne wielu substancji z moczu pierwotnego do naczyń krwionośnych • proces zachodzi głównie na drodze transportu aktywnego	transport do krwi glukozy, aminokwasów, witamin i soli mineralnych	zależna od potrzeb organizmu; wchłaniane zwrotnie jest ok. 178 l wody i ok. 250 g glukozy na dobę
Sekrecja	głównie kanaliki kręte II rzędu	• proces wydzielania substancji (jonów potasu, amonu i wodoru, hormonów steroidowych, niektórych leków) do wnętrza kanalików	zagęszczenie moczu – powstawanie moczu ostatecznego	wytwarzanie ok. 1,5 l moczu ostatecznego na dobę

Elementy układu wydalniczego i ich funkcje

Narząd	Budowa	Funkcja
Nerka	• parzysty narząd o długości 10–12 cm, szerokości 5–7 cm i grubości 3–4 cm • w budowie wewnętrznej można wyróżnić dwie warstwy: położony głębiej rdzeń i leżącą powierzchniowo korę • podstawową jednostką strukturalną nerki jest nefron	• usuwanie produktów przemiany materii z krwi • wytwarzanie moczu
Moczowód	• parzysty przewód o długości ok. 20 cm	• odprowadzanie moczu z miedniczek nerkowych do pęcherza moczowego
Pęcherz moczowy	• narząd o elastycznych ścianach, jego wymiary zależą od stopnia wypełnienia moczem • pojemność ok. 1 l	• czasowe magazynowanie moczu
Cewka moczowa	• uchodzący z pęcherza moczowego przewód o długości ok. 15–20 cm u mężczyzn i 3–5 cm u kobiet, • w ścianie cewki moczowej znajdują się mięśnie zwane zwieraczami, zamykające jej światło	• wyprowadzanie moczu z organizmu • u mężczyzn także wyprowadzanie nasienia

Test maturalny

- 1** Organizm człowieka jest układem otwartym. Pobiera on pokarm, wodę i sole mineralne oraz tlen, a usuwa niestrawione resztki pokarmu, wodę, zbędne sole mineralne, CO_2 , przekształcone barwniki żółciowe i azotowe produkty przemiany materii (głównie mocznik). Procesy usuwania z organizmu różnych substancji, w zależności od znaczenia fizjologicznego oraz miejsca usuwania, noszą nazwę wydalania lub defekacji.

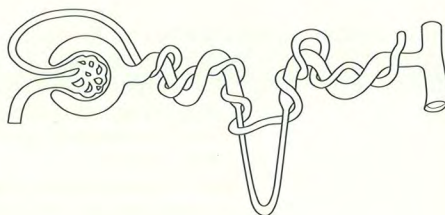
a) Uzupełnij tabelę dotyczącą wydalania i defekacji.

Nazwa procesu	Usuwane substancje	Droga opuszczenia organizmu
Wydalanie		
Defekacja		

b) Zaznacz funkcję, której nie pełnią nerki dorosłego człowieka.

- A. Funkcja wewnątrzwydzielnicza.
- B. Funkcja krwiotwórcza.
- C. Regulacja ciśnienia krwi.
- D. Osmoregulacja.
- E. Regulacja gospodarki mineralnej.

- 2** Na ilustracji przedstawiono budowę i ukrwienie nefronu.



a) Wyjaśnij, dlaczego w kłębuszku nerkowym występuje sieć dziwna.

.....

.....

b) Określ, w jaki sposób różnica między średnicą tętniczki doprowadzającej a średnicą tętniczki odprowadzającej wpływa na proces filtracji.

.....

.....

c) Uzupełnij tabelę, przyporządkowując wymienione poniżej substancje i procesy do odpowiednich części nefronu.

Substancje: *niektóre jony i hormony steroidowe, woda, aminokwasy, glukoza, witaminy, sole mineralne, mocznik*

Procesy: *wybiórcza resorpcja, sekrecja, filtracja*

	Ciałko nerkowe	Kanalik kręty I rzędu	Pętla nefronu	Kanalik kręty II rzędu
Przemieszczane substancje				
Zachodzący proces				

3 Jedną z funkcji pełnionych przez układ wydalniczy jest osmoregulacja.

a) Podaj znaczenie terminu *osmoregulacja*.

.....

.....

.....

b) Wyjaśnij, w jaki sposób układ wydalniczy pełni funkcję osmoregulacyjną.

.....

.....

.....

4 Ilość moczu wydalanego na dobę jest zmienna, a w dobowym bilansie wodnym oprócz układu wydalniczego uczestniczą też układ pokarmowy, płuca i skóra.

a) Przeczytaj treść zadania i wykonaj niezbędne obliczenia.

Przez obie nerki dorosłego człowieka przepływa w ciągu minuty średnio ok. 1,2 l krwi, przy czym ok. 20% osocza staje się przesączem pierwotnym, a współczynnik zagęszczania moczu wynosi 115. Jaką objętość moczu wtórnego tworzą nerki w ciągu doby? Przyjmij, że hematokryt wynosi 50%.

Odpowiedź:

b) Uzupełnij tabelę, przyporządkowując podane niżej sposoby dobowej utraty wody z organizmu do poszczególnych wartości.

z moczem, przez skórę i płuca, z kałem

Sposoby utraty wody	Objętość [ml/dobę]
	1500
	900
	100

c) W przebiegu wielu chorób występują objawy, które zwiększają dobową utratę wody, co doprowadzi do zaburzenia bilansu wodnego i odwodnienia. Podaj dwa objawy chorób, podczas których następuje utrata wody z organizmu.

1.

2.

5 Chorych z niewydolnością nerek poddaje się hemodializie zewnętrznej lub dializie otrzewnowej, która polega na przemywaniu wnętrza jamy brzusznej płynem dializującym, bez wyprowadzania krwi na zewnątrz.

a) Określ, jaki system naczyń krwionośnych jest źródłem zbędnych i szkodliwych metabolitów, usuwanych z płynem dializującym w przypadku dializy wewnętrznej.

.....

b) Podaj jedną zaletę i jedną wadę dializy wewnętrznej.

Zaleta:

Wada:

c) Podaj nazwę procesu fizycznego, który zachodzi podczas dializy.

.....

d) Zaznacz punkt, w którym podano opis płynu dializującego.

- A. Woda podwójnie destylowana.
- B. Wodny roztwór chlorku sodu o stężeniu 0,85%.
- C. Płyn fizjologiczny z dodatkiem glukozy w stężeniu 100 mg na 100 ml.
- D. Płyn fizjologiczny z dodatkiem różnych soli mineralnych, glukozy, aminokwasów, witamin.
- E. Pełne osocze krwi.

6 Niewłaściwa higiena osobista może być powodem rozwoju chorób układu moczowego. W przebiegu wielu z nich występują ostre bóle i gorączka.

a) Oceń prawdziwość zdań dotyczących schorzeń układu wydalniczego. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

		P/F
1.	Pojawienie się w moczu białka nie dowodzi zakażenia bakteryjnego dróg moczowych.	
2.	Bakterie mogą odpowiadać za tworzenie się kamieni nerkowych.	
3.	Blokada moczowodu kamieniem nerkowym grozi wodonerczem.	
4.	Ciała ketonowe w moczu mogą świadczyć o anoreksji.	
5.	Wartość pH moczu zależy od diety i nie jest czynnikiem diagnostycznym przewlekłej niewydolności nerek.	

b) Zaznacz prawidłowe zakończenie zdania.

Kamienie nerkowe usuwa się

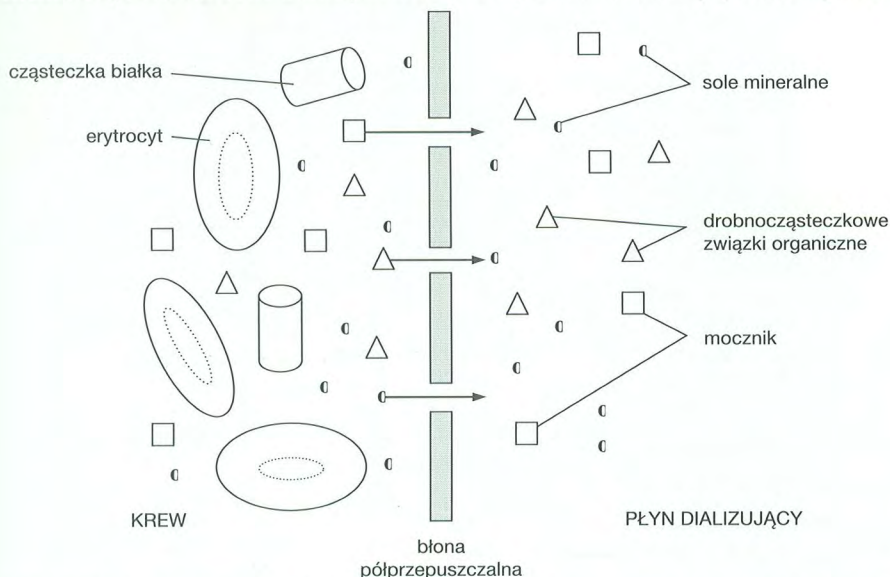
- A. chirurgicznie.
- B. farmakologicznie.
- C. ultradźwiękami.
- D. każdą z tych metod, w zależności od sytuacji.

To było na maturze!

Zadanie 1. (1 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PR), zad. 2.

Na schemacie przedstawiono zasadę działania urządzenia do dializy (sztucznej nerki).



Na podstawie analizy schematu wyjaśnij, dlaczego nie wszystkie składniki znajdujące się we krwi przenikają do płynu dializującego.

Zadanie 2. (1 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PR), zad. 3.

Podaj nazwę elementu nefronu, w którym zachodzi filtracja krwi.

Zadanie 3. (2 pkt)

Źródło: CKE 05.2006 (PP), zad. 5.

Podczas powstawania moczu w nerkach glukoza jest transportowana z nakładem energii z wnętrza kanalików nerkowych do naczyń krwionośnych (wchłanianie zwrotne).

a) Uzasadnij, czy transport glukozy z kanalików nerkowych do naczyń krwionośnych jest aktywny, czy bierny.

b) Określ konsekwencje wchłaniania zwrotnego glukozy dla składu moczu zdrowego człowieka.

Poniższą tabelę wykorzystaj do rozwiązania zadań 4. i 5.

Układ wydalniczy, pełniąc funkcję osmoregulacyjną, usuwa nadmiar wody i różnych substancji pochodzących z przemian metabolicznych. Współdziała też w utrzymaniu odpowiedniej ilości składników mineralnych, których nadmiar lub niedobór w organizmie może powodować choroby.

W tabeli przedstawiono dobowe wydalanie niektórych składników moczu człowieka.

Składnik moczu	Wydalanie (g/dobę)
Woda	600–2500
Mocznik	33,0
Chlorki	7,0
Sód	6,0
Potas	2,5
Siarczany	2,0
Fosforany	1,7
Kreatynina	1,0
Amoniak	0,7
Kwas moczowy	0,6
Wapń	0,2
Magnez	0,2

Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PP), zad. 11.

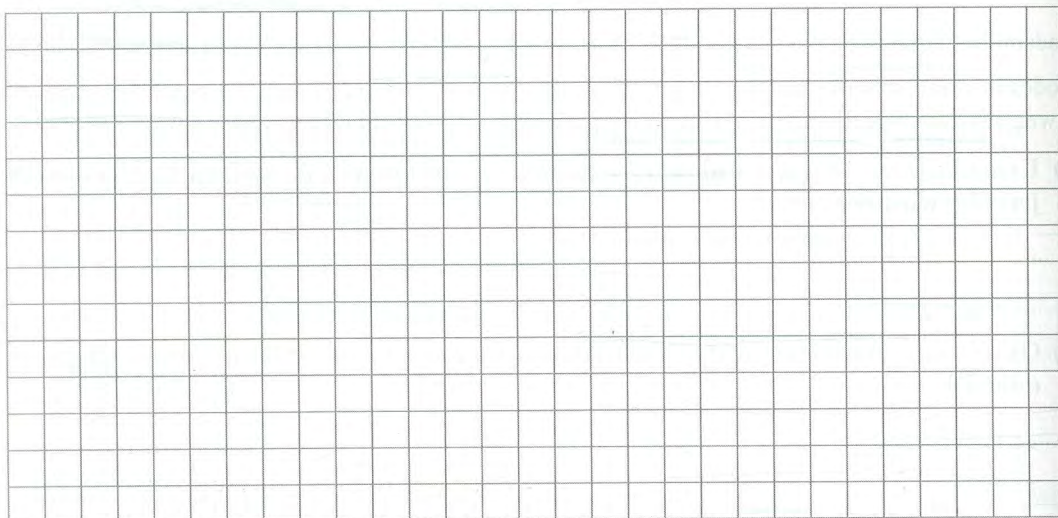
Wypisz z tabeli nazwy czterech substancji wydalaných w moczu człowieka, które są produktami przemian związków azotowych.

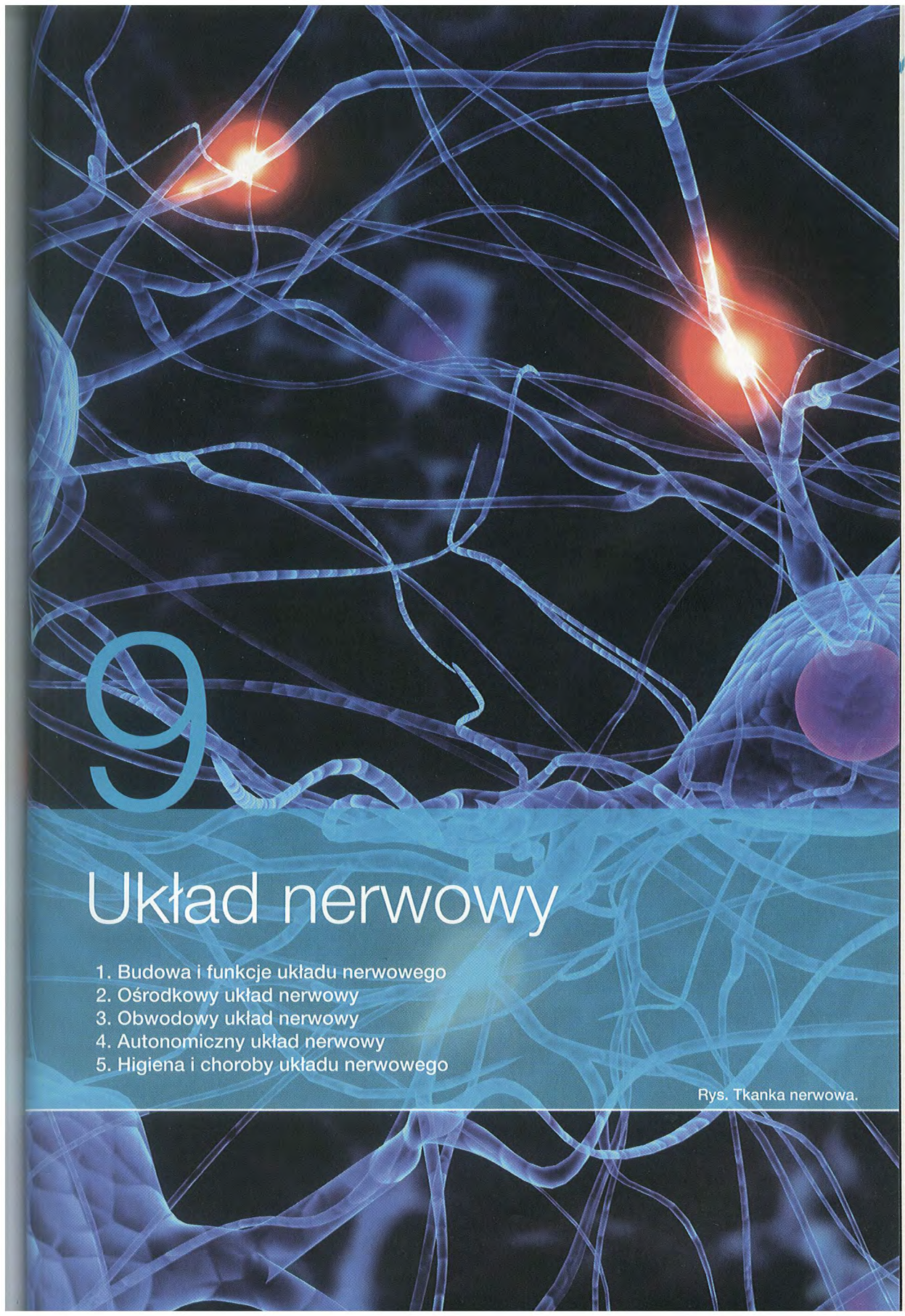
1.
2.
3.
4.

Zadanie 5. (2 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PP), zad. 12.

Na podstawie danych zawartych w tabeli przedstaw w postaci wykresu słupkowego dobowe wydalanie przez człowieka chlorków, siarczanów i fosforanów.



An abstract illustration of a neural network. It features a dense web of thin, glowing blue lines representing nerve fibers. Two prominent points of intersection or stimulation are highlighted with bright red and orange light. On the right side, a larger, more complex structure is visible, possibly representing a brain or a cluster of neurons, with a red sphere attached to it. The background is dark, making the glowing fibers stand out.

9

Układ nerwowy

1. Budowa i funkcje układu nerwowego
2. Ośrodkowy układ nerwowy
3. Obwodowy układ nerwowy
4. Autonomiczny układ nerwowy
5. Higiena i choroby układu nerwowego

Rys. Tkanka nerwowa.

1

Budowa i funkcje układu nerwowego

Układ nerwowy człowieka jest złożoną, nie do końca jeszcze poznaną strukturą. Stanowi ośrodek koordynujący wszystkie procesy zachodzące w organizmie, będącym pod wpływem nieustannie zmieniających się warunków środowiska.

Do głównych funkcji układu nerwowego należą:

- ▶ **odbiór** (za pośrednictwem receptorów) oraz analiza bodźców płynących ze środowiska zewnętrznego, a także z narządów wewnętrznych,
- ▶ **reakcja** na bodźce za pośrednictwem narządów wykonawczych, np. mięśni,
- ▶ **regulacja i koordynacja** czynności wszystkich narządów i układów narządów, a tym samym utrzymywanie organizmu w stanie równowagi wewnątrzustrojowej. *homeostaza*

■ Budowa układu nerwowego

Podstawową jednostką anatomiczną i czynnościową układu nerwowego jest komórka nerwowa – **neuron**. Neurony w układzie nerwowym odpowiadają za **przepływ informacji w postaci impulsów nerwowych**. Liczbę neuronów w organizmie człowieka określa się na ok. 150 mld. Oprócz neuronów w skład tkanki nerwowej wchodzi także **komórki glejowe**. Jest ich nawet 50 razy więcej niż neuronów. Komórki glejowe pełnią w stosunku do neuronów funkcje podporowe i odżywcze.

UKŁAD NERWOWY

Układ ośrodkowy

- mózgowie
- rdzeń kręgowy

Układ obwodowy

- nerwy czaszkowe
- nerwy rdzeniowe
- zwoje nerwowe
- zakończenia nerwowe odbierające bodźce (receptory)

Ze względu na budowę i rozmieszczenie poszczególnych elementów układ nerwowy dzieli się na ośrodkowy układ nerwowy (OUN) oraz obwodowy układ nerwowy.

■ Budowa neuronu

Neurony różnią się między sobą kształtem ciała komórki, liczbą wypustek oraz ich długością. Zazwyczaj są zbudowane z ciała komórki nerwowej oraz dwóch rodzajów wypustek – dendrytów i aksonów. **Ciało komórki nerwowej** (perykarion) to część neuronu otaczająca jądro komórkowe. W cytozolu komórki nerwowej znajdują się takie same organelle jak w większości komórek zwierzęcych. Charakteryzuje ją rozbudowany aparat Golgiego oraz duża liczba mitochondriów. Dobrze rozwinięta jest w niej siateczka śródplazmatyczna szorstka, nazywana tu **tigroidem** (lub ciałkami Nissla). W ciele komórki oraz w jej wypustkach występują białkowe włókienka (elementy cytoszkieletu) zwane **neurofibrylami**.

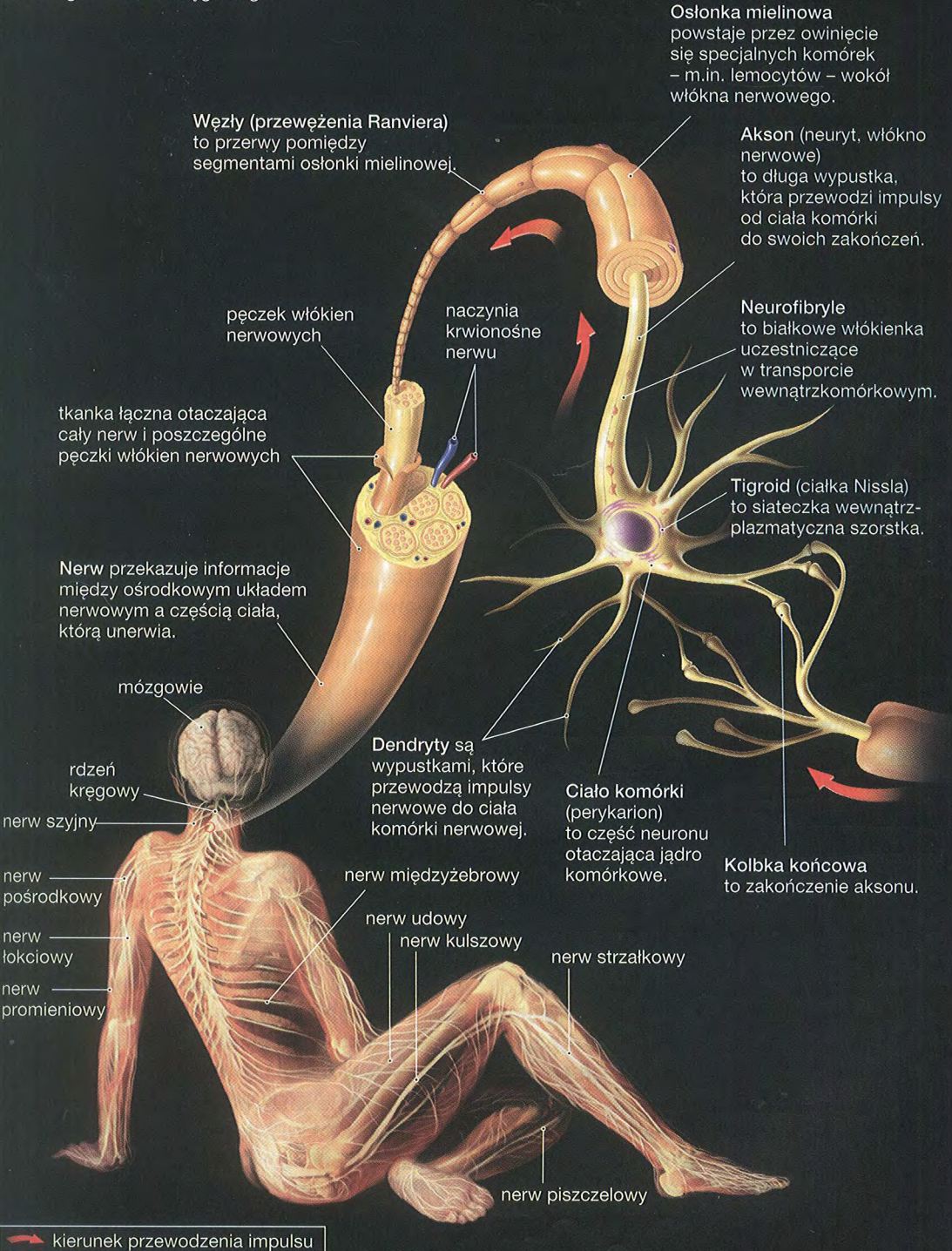
W odniesieniu do wypustek neuronów (a dokładniej – długich dendrytów oraz aksonów) stosuje się także pojęcie włókna nerwowe.

■ Komórki glejowe

Wąsko wyspecjalizowane neurony utraciły zdolność pełnienia niektórych funkcji życiowych. Z tego powodu występujące obok nich w tkance nerwowej komórki glejowe przejęły funkcje: podporową, odżywczą, izolującą, a nawet regeneracyjną. Wśród komórek glejowych ważną rolę odgrywają **lemocyty**, zwane również komórkami osłonkowymi lub komórkami Schwanna [wym. szwana]. Są to długie, spłaszczone komórki, tworzące osłonki wokół włókien nerwowych (głównie aksonów). Wśród komórek glejowych największe są **astrocyty**. Mają one kształt gwiazdzisty oraz dużą liczbę wypustek. Astrocyty biorą udział w transporcie substancji oraz pełnią funkcję podporową. Uczestniczą także w pourazowej naprawie tkanki nerwowej.

Budowa układu nerwowego

Układ nerwowy jest zbudowany z ok. 25 mld neuronów. Ich włókna nerwowe tworzą nerwy, które odchodzą od mózgu i rdzenia kręgowego.



Na^+ na zewnątrz błony,
 K^+ po stronie wewnętrznej

■ Funkcjonalny podział neuronów

Biorąc pod uwagę spełniane funkcje, wyróżnia się trzy rodzaje neuronów:

- ▶ **neurony czuciowe** – przewodzą impulsy nerwowe od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego (mózgowia i rdzenia kręgowego),
- ▶ **neurony ruchowe** – przewodzą impulsy z ośrodkowego układu nerwowego do narządów wykonawczych (efektorów), tzn. mięśni lub gruczołów,
- ▶ **neurony pośredniczące (interneurony)** – występują pomiędzy neuronami czuciowymi a neuronami ruchowymi.

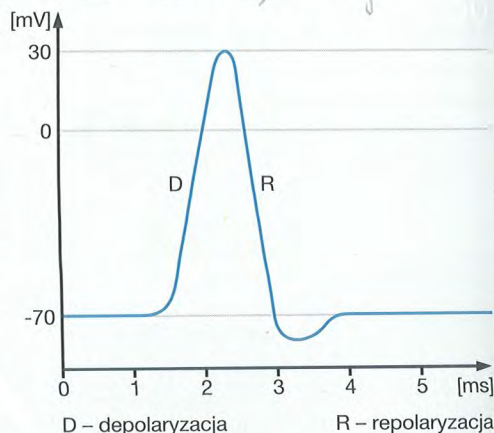
■ Pobudliwość i przewodnictwo komórek nerwowych

Komórki nerwowe są pobudliwe – mogą pod wpływem działającego bodźca przechodzić ze stanu spoczynku do stanu pobudzenia. Oznacza to, że dochodzi w nich do powstawania i przewodzenia impulsu nerwowego. Podstawą pobudliwości neuronu są zjawiska elektrochemiczne zachodzące w błonie komórkowej, związane z transportem jonów (głównie sodu i potasu). Niepobudzona komórka nerwowa wykazuje **potencjał spoczynkowy**. Oznacza to, że między wnętrzem komórki a środowiskiem zewnętrznym istnieje różnica ładunków elektrycznych. Zewnętrzna powierzchnia błony neuronu jest naładowana dodatnio, a wewnętrzna – ujemnie. Taki stan nazywa się polaryzacją błony.

Polaryzacja błony jest spowodowana różnicą w ilości ładunków po obu stronach błony. Wynika ona z istnienia:

- ▶ dużego stężenia dodatnich jonów sodu i ujemnych jonów chloru na zewnątrz błony (przy czym przeważają jony dodatnie),
- ▶ dużego stężenia dodatnich jonów potasu i ujemnych jonów wielkocząsteczkowych białek po wewnętrznej stronie błony (przy czym przeważają jony ujemne).

Na wartość potencjału błonowego ma wpływ bierna dyfuzja przez błonę jonów K^+ oraz, w mniejszym stopniu, jonów Na^+ , Cl^- i innych.



Zmiany potencjału błony podczas depolaryzacji i repolaryzacji można przedstawić na wykresie. Wartość potencjału spoczynkowego wynosi ok. -70 mV (miliwoltów); a potencjału czynnościowego – ok. 30 mV.

Stężenie jonów Na^+ po zewnętrznej stronie błony jest ok. 10 razy większe niż wewnątrz neuronu, a stężenie jonów K^+ ok. 30 razy większe wewnątrz niż na zewnątrz. Z tego powodu jony Na^+ i K^+ przechodzą przez błonę komórkową zgodnie z różnicą stężeń na drodze dyfuzji ułatwionej. Ich transport odbywa się przez specjalne kanały jonowe. W spoczynku większość kanałów Na^+ i K^+ jest zamknięta. Dyfuzja odbywa się wtedy w niewielkim stopniu i tylko przez nieliczne słabo otwarte kanały jonowe. Sytuacja ta mogłaby po dostatecznie długim czasie doprowadzić do zaniku potencjału i zdolności do odbierania bodźców. Biernemu przenikaniu jonów sodu i potasu przeciwdziała jednak **pompa sodowo-potasowa**. Przy udziale energii pochodzącej z rozkładu ATP aktywnie transportuje ona jony sodu (Na^+) z powrotem na zewnątrz komórki oraz jony potasu (K^+) do jej wnętrza (przy czym jony K^+ są pompowane w mniejszej ilości niż Na^+). W ten sposób **pompa sodowo-potasowa utrzymuje błonę w stanie polaryzacji**.

Po zadziałaniu bodźca progowego następuje miejscowa **depolaryzacja** błony. Bodziec ten powoduje otwarcie się w błonie kanałów jonowych, przez które jony sodu biernie przepływają do wnętrza włókna. Chwilę później jony potasu również na drodze dyfuzji ułatwionej

Bodziec progowy – najsłabszy bodziec zdolny wywołać stan pobudzenia w komórce.

przez kanały jonowe wypływają na zewnątrz. W rezultacie na zewnątrz włókna zaczyna występować nadmiar ładunków ujemnych, a we wnętrzu – nadmiar ładunków dodatnich. Taka bardzo szybka zmiana ładunków pomiędzy powierzchnią włókna a jego wnętrzem jest nazywana **potencjałem czynnościowym**. Ma on trzy charakterystyczne cechy:

- ▶ powstaje zawsze wtedy, gdy zadziała bodziec progowy, niezależnie od jego siły,
- ▶ rozprzestrzenia się,
- ▶ jest zawsze przewodzony w jednym kierunku – od miejsca powstania w stronę zakończenia aksonu.

Potencjał czynnościowy rozprzestrzenia się, wywołując depolaryzację sąsiednich fragmentów. Przesuwająca się fala depolaryzacji to **impuls nerwowy**.

Po ustaniu działania bodźca zaczyna działać pompa sodowo-potasowa. Usuwa ona z wnętrza komórki jony sodu, a transportuje do niego jony potasu. Zjawisko to – **repolaryzacja** – prowadzi do przywrócenia stanu spoczynkowego, czyli ponownej **polaryzacji** błony. Spolaryzowana błona może ponownie ulegać wzbudzeniu i przewodzić kolejne potencjały czynnościowe.

■ Okres nie pobudliwości neuronu

Czas potrzebny do ponownego spolaryzowania komórki nerwowej jest zwany **okresem jej nie pobudliwości (refrakcji)**. Jest to okres niewrażliwości komórki na bodziec, bez względu na jego siłę (refrakcja bezwzględna), lub okres niewrażliwości na bodziec progowy (refrakcja względna). Stan refrakcji względnej może zostać przerwany przez bardzo silny bodziec, tzw. **bodziec nadprogowy**.

Występowanie okresu nie pobudliwości włókien nerwowych stanowi czynnościowe zabezpieczenie neuronu warunkujące dopuszczalną, bezpieczną częstość pojawiania się impulsów (potencjałów czynnościowych). W większości komórek nerwowych w ciągu jednej sekundy powstaje do 100 zmian potencjałów (impulsów nerwowych). Wartości powstającego w aksonie potencjału czynnościowego są podobne,

niezależnie od siły działającego bodźca. Mimo to człowiek odróżnia ciepło od temperatury grożącej uszkodzeniem skóry. Jest to możliwe, ponieważ w układzie nerwowym siła bodźców jest wyrażana częstotliwością impulsów nerwowych. Na przykład siła skurczu mięśnia zależy od częstotliwości zmian potencjałów (impulsów) – im jest ich więcej w ciągu sekundy, tym mocniejszy jest skurcz.

■ Synapsy

Neurony to niezależne komórki, które będąc elementem budowy układu nerwowego, muszą się ze sobą kontaktować i współpracować. Przekazywanie impulsów nerwowych z jednej komórki do drugiej odbywa się za pomocą synaps.

Synapsa nazywa się wyspecjalizowane połączenie, w którym zakończenie aksonu kontaktuje się z inną komórką (nerwową, mięśniową lub gruczołową). W organizmie człowieka wyróżnia się dwa rodzaje synaps: synapsy elektryczne i synapsy chemiczne.

W **synapsach elektrycznych** akson jednej komórki styka się z dendrytem następnej tak ściśle, że powstałe połączenie szczelinowe daje efekt ciągłości elektrycznej. Dzięki temu sygnał pobudzenia jest przekazywany bardzo szybko z komórki do komórki, bez opóźnień, jakimi charakteryzują się synapsy chemiczne.

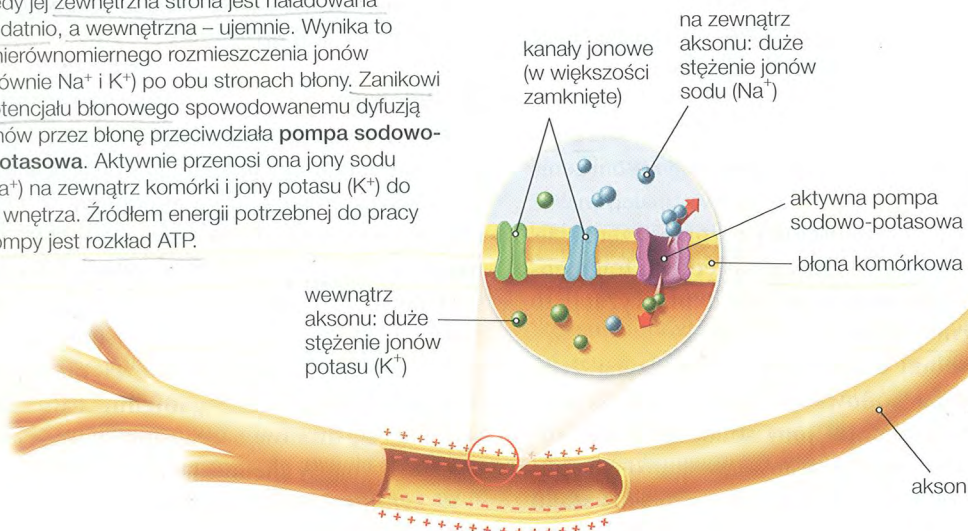
W **synapsach chemicznych** w chwili, gdy potencjał czynnościowy dociera do kolbki synaptycznej, następuje uwolnienie związku chemicznego, zwanego **neuroprzekaznikiem (neurotransmiterem lub mediatorem)**. Dostaje się on do szczeliny, po czym wiąże z receptorami rozmieszczonymi w błonie postsynaptycznej. Związanie neuroprzekaznika pobudza kolejną komórkę (powoduje powstanie i przepływ impulsu). Następuje więc zamiana impulsu elektrycznego na impuls chemiczny, który z kolei wywołuje impuls elektryczny. Wydzielanie i wiązanie neuroprzekazników jest przyczyną pewnego opóźnienia w przepływie impulsu. Jednak dzięki istnieniu wielu różnych neuroprzekazników, a także różnych receptorów błony postsynaptycznej wiążących odpowiednie neuroprzekazniki, **działa ono wybiórczo**.

Przewodzenie impulsu nerwowego

Przewodzenie impulsów nerwowych odbywa się na zasadzie przepływu jonów przez błonę komórkową między wnętrzem neuronu a środowiskiem zewnętrznym.

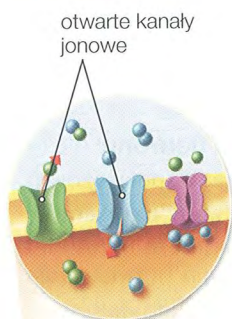
1 Polaryzacja

Błona komórkowa aksonu jest spolaryzowana, kiedy jej zewnętrzna strona jest naładowana dodatnio, a wewnętrzna – ujemnie. Wynika to z nierównomiernego rozmieszczenia jonów (głównie Na^+ i K^+) po obu stronach błony. Zanikowi potencjału błonowego spowodowanemu dyfuzją jonów przez błonę przeciwdziała **pompa sodowo-potasowa**. Aktywnie przenosi ona jony sodu (Na^+) na zewnątrz komórki i jony potasu (K^+) do jej wnętrza. Źródłem energii potrzebnej do pracy pompy jest rozkład ATP.

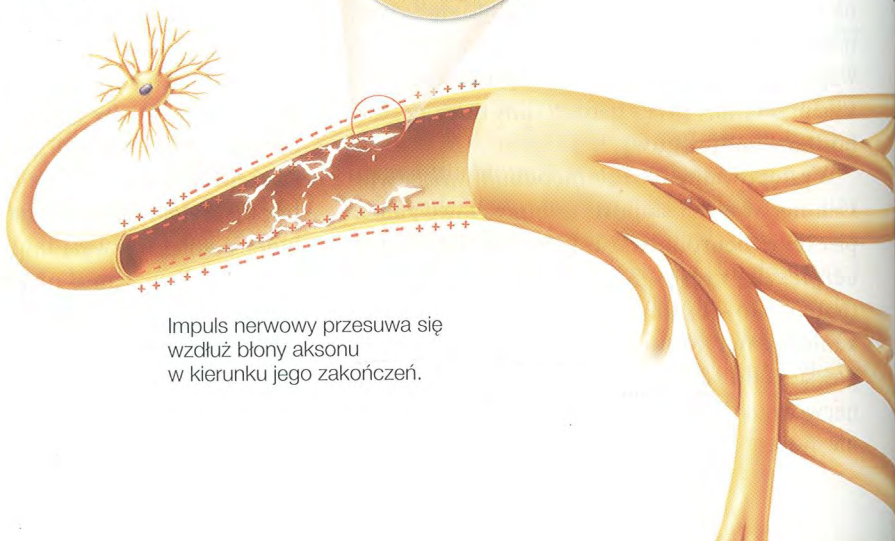


2 Depolaryzacja

Po zadziałaniu bodźca o odpowiedniej sile następuje otwarcie się kanałów jonowych i wnikanie jonów Na^+ do wnętrza komórki, po czym jony K^+ wypływają na zewnątrz. W rezultacie zewnętrzna strona błony komórkowej staje się naładowana ujemnie („-”) w stosunku do strony wewnętrznej. Fala pobudzenia – impuls nerwowy – przesuwa się wzdłuż błony aksonu w kierunku jego zakończeń.

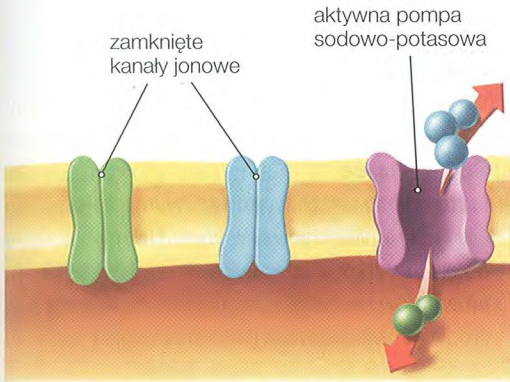


Miejscowa zmiana stężenia jonów po obu stronach błony sprawia, że otwierają się kolejne kanały jonowe.



3 Repolaryzacja

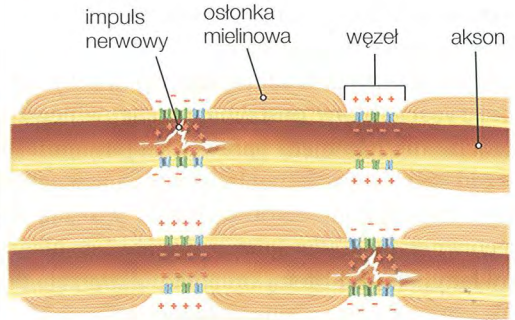
Przywrócenie stanu początkowego, czyli powrót błony neuronu do stanu polaryzacji, nosi nazwę repolaryzacji. Następuje wówczas zamknięcie kanałów jonowych, a pompa sodowo-potasowa usuwa z komórki jony Na^+ i transportuje do wnętrza jony K^+ .



Pompa sodowo-potasowa usuwa z komórki jony Na^+ i transportuje do wnętrza jony K^+ na zasadzie transportu aktywnego.

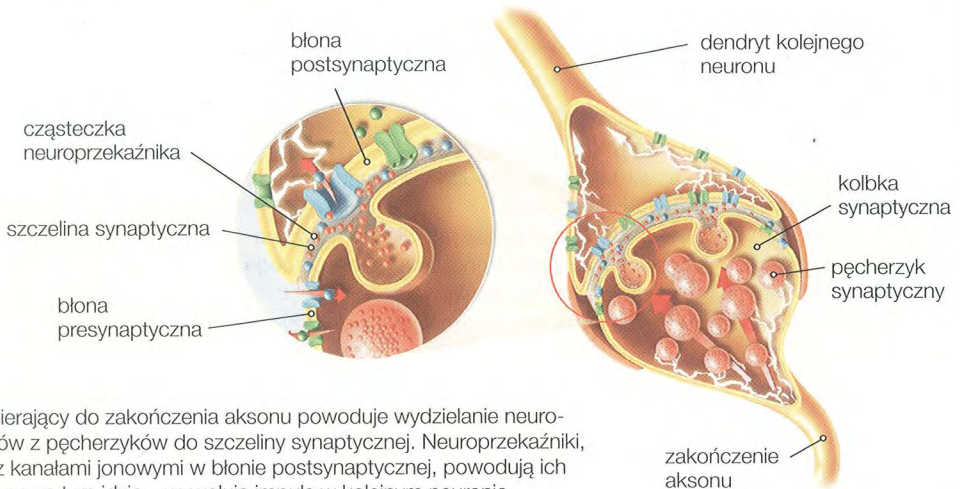
Szybkość przewodzenia impulsów

W aksonach nieotoczonych osłonkami mielinowymi (niezmielinizowanych), impuls nerwowy rozchodzi się stopniowo wzdłuż błony komórkowej i osiąga maksymalną szybkość ok. 2 m/s. Osłonka mielinowa zwiększa przewodzenie impulsów nerwowych do 120 m/s. Dzieje się tak dlatego, że impuls przeskakuje między przerwami w otoczce, zwanymi węzłami.



Przekazywanie impulsów między komórkami

Impuls nerwowy po dotarciu do zakończenia aksonu musi być przekazany z komórki nerwowej do następnej komórki (nerwowej, mięśniowej lub gruczołowej) za pomocą synapsy. Każda synapsa składa się z błony presynaptycznej, szczeliny synaptycznej i błony postsynaptycznej. Część presynaptyczna należy do komórki nerwowej, od której będzie przekazane pobudzenie. Część postsynaptyczna należy do komórki, która przyjmie pobudzenie i przekaże je dalej.



Impuls docierający do zakończenia aksonu powoduje wydzielanie neuroprzekaźników z pęcherzyków do szczeliny synaptycznej. Neuroprzekaźniki, łącząc się z kanałami jonowymi w błonie postsynaptycznej, powodują ich otwarcie, a co za tym idzie – wywołują impuls w kolejnym neuronie.

Rodzaje neuroprzekazników

W neuronach oraz synapsach poszczególnych części tego samego neuronu występują różne neuroprzekazniki. Są one wytwarzane w ciele komórki nerwowej (perykarionie). Wśród nich wymienia się substancje pobudzające i hamujące przekazywanie pobudzenia przez synapsę. Do najlepiej zbadanych neuroprzekazników o charakterze pobudzającym należą **acetylocholina** oraz **noradrenalina**. Działanie hamujące wykazuje natomiast **kwas gamma-aminomasłowy** (ang. *gamma-aminobutyric acid* – GABA).

Neuroprzekaznik pobudzający powoduje depolaryzację błony postsynaptycznej, a neuroprzekaznik hamujący sprawia, że jony potasu wydostają się z wnętrza neuronu na zewnątrz, podczas gdy jony chlorkowe (Cl^-) wnikają do jego wnętrza. W ten sposób zwiększa się ujemny ładunek pod błoną oraz jej polaryzacja do ok. -80 mV (jest to hiperpolaryzacja błony).

Przekazywanie impulsów nerwowych przez synapsy chemiczne odbywa się zawsze w jednym kierunku, ponieważ zależy od uwalniania neuroprzekazników, które znajdują się jedynie w kolbkach synaptycznych na końcach aksonu. Mimo że pojedynczy neuron ma tylko jeden akson, może on być rozgałęziony i łączyć się z dużą liczbą innych neuronów. Dlatego do pojedynczego neuronu może dochodzić wiele gałązek aksonu, które kończą się na jego ciele

WYBRANE RODZAJE NEUROPRZEKAŹNIKÓW

Neuroprzekazniki pobudzające

- acetylocholina
- dopamina
- adrenalina
- noradrenalina
- serotonina
- histamina

Neuroprzekazniki hamujące

- kwas gamma-aminomasłowy (GABA)
- glicyna

Czy wiesz, że...

Ludzki mózg potrafi wydzielać neuroprzekazniki o działaniu przeciwbólowym. Należą do nich endorfiny i enkefalin. Do tych samych receptorów co one przyłączają się opioidowe środki farmakologiczne (m.in. morfina), stosowane w leczeniu silnych bólów, np. po operacjach czy w przebiegu choroby nowotworowej.

lub dendrytach, tworząc połączenia synaptyczne. Ocenia się, że niektóre wyspecjalizowane neurony mogą mieć ok. 10 tys. połączeń synaptycznych. Połączenia te nie są przypadkowe, lecz tworzą w ośrodkowym układzie nerwowym precyzyjnie działające drogi, nazywane **szlakami neuronalnymi**. W zależności od rodzaju neuroprzekaznika wyróżnia się np. **szlaki serotoninericzne** czy **dopaminergiczne**.

Polecenia kontrolne

1. Wymień elementy budujące pojedynczy neuron.
2. Podaj różnice w budowie i działaniu różnych wypustek neuronu.
3. Określ funkcje organelli swoistych dla neuronu.
4. Wyjaśnij sposób tworzenia się osłonek pokrywających włókna nerwowe.
5. Scharakteryzuj proces powstawania i przewodzenia impulsu nerwowego.
6. Wyjaśnij funkcję synaps w przepływie impulsu nerwowego.
7. Wyjaśnij, na czym polega różnica między przewodzeniem a przekazywaniem impulsów nerwowych.

Warto zajrzeć!

 <http://www.biofiz.am.wroc.pl/dydaktyka/inne/bfstr61.html>

2

Ośrodkowy układ nerwowy

Do ośrodkowego układu nerwowego (OUN) należą mózgowie oraz rdzeń kręgowy. Narządem nadrzędnym jest mózgowie, które u człowieka waży średnio 1,4 kg, stanowiąc zaledwie 2% całkowitej masy jego ciała. Mózgowie potrzebuje do sprawnego funkcjonowania aż 20% tlenu pobieranego przez organizm w spoczynku. Ostateczną masę (ok. 1,1–2 kg) osiąga ok. 20. roku życia człowieka. Wzrost mózgowia następuje głównie w wyniku powiększania się wypustek neuronów oraz rozwoju gleju. U ludzi nie zaobserwowano związku między masą mózgu a zdolnościami intelektualnymi, jeśli masa ta mieści się w podanym przedziale.

■ Podział mózgowia

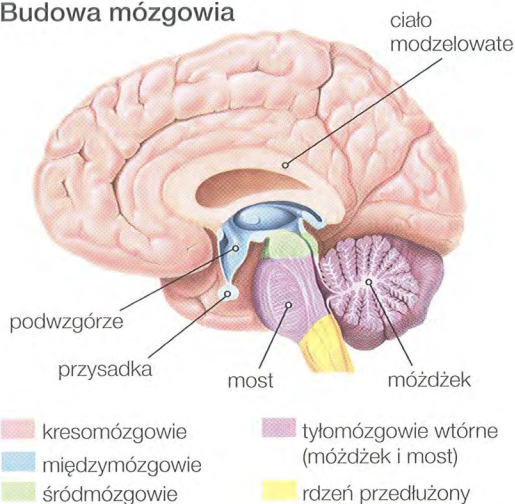
Biorąc pod uwagę sposób kształtowania się mózgowia w czasie rozwoju zarodkowego, narząd ten dzieli się na: kresomózgowie, międzymózgowie, śródmózgowie, tyłomózgowie wtórne (móżdżek i most) oraz rdzeń przedłużony. W podziale stosowanym w medycynie kresomózgowie i międzymózgowie określa się jako mózg, a śródmózgowie, most i rdzeń przedłużony jako pień mózgu. Osobną częścią wyróżnianą w tym podziale jest móżdżek (część tyłomózgowia wtórnego).

Kresomózgowie jest największą częścią mózgowia człowieka. Ma postać dwóch półkul, połączonych ze sobą za pomocą włókien tworzących ciało modzelowate (inna nazwa: spoidło wielkie). W skład półkul wchodzi: istota szara, tworząca **korę mózgu**, oraz położona pod nią istota biała, tworząca drogi nerwowe. Grubość kory mózgu waha się w granicach 1,5–6 mm. Kora jest zbudowana z gęsto upakowanych komórek nerwowych (ok. 10 mld). Pozwala to na wytworzenie olbrzymiej liczby synaps (każdy neuron kory mózgu ma 5–6 tys. synaps). Tworzy ona liczne fałdy, poroździelanie bruzdami (wgłębieniami), co wydatnie zwiększa jej powierzchnię (ma ona ok. 2000 cm²). Bruzdy dzielą powierzchnię półkul na płaty. W obrębie każdej półkuli wyróżnia się cztery parzyste płaty. Są to: płat czołowy, ciemieniowy, skroniowy i potyliczny.

Międzymózgowie jest całkowicie ukryte pod półkulami kresomózgowia. Ważną jego częścią jest **podwzgórze**. Znajdują się tu ośrodki czynności wegetatywnych, czyli niezależnych od woli, np. ośrodki termoregulacji, pragnienia, głodu i sytości. Neurony podwzgórza pełnią funkcję wydzielniczą, nadrzędną w stosunku do układu dokrewnego. Uwalniają hormony

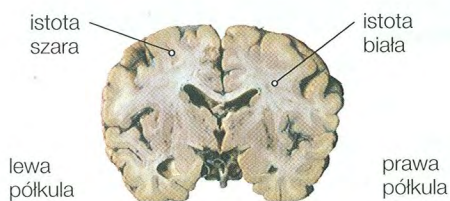
PODZIAŁ MÓZGOWIA	
podział rozwojowy	podział kliniczny
kresomózgowie	mózg
międzymózgowie	
śródmózgowie	pień mózgu (oprócz móżdżku)
tyłomózgowie wtórne (móżdżek i most)	
rdzeń przedłużony	
	móżdżek

Budowa mózgowia

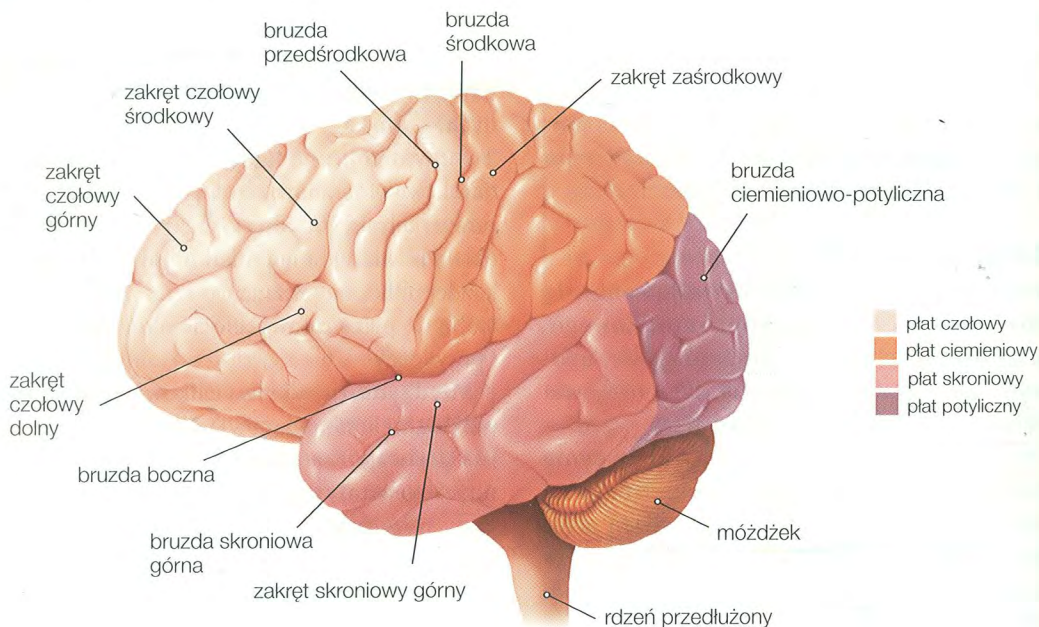


Budowa mózgu

Główną część mózgu stanowi kresomózgowie. Jest ono złożone z dwóch półkul połączonych za pomocą włókien tworzących ciało modzelowate. Półkule zbudowane są z istoty szarej tworzącej **korę mózgu** oraz znajdującej się pod kórą istoty białej. Największe bruzdy dzielą korę mózgu na płaty. Na powierzchni każdej półkuli mózgowej wyróżnia się cztery płaty: czołowy, skroniowy, ciemieniowy i potyliczny.



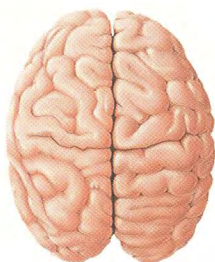
Istota szara jest zbudowana z ciał komórek nerwowych. Istotę białą tworzą włókna nerwowe.



Półkule mózgu

Półkule mózgu nie są swoimi lustrzanymi odbiciami. Różnią się zarówno budową, jak i funkcją. Na przykład płat skroniowy lewej półkuli jest większy, a bruzda boczna nieco dłuższa; u osób praworęcznych dominuje półkula lewa, a u leworęcznych – półkula prawa.

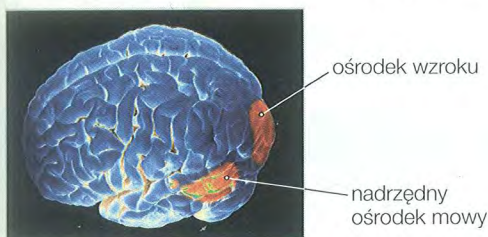
Prawa półkula – tutaj zwykle znajdują się ośrodki zawiadujące orientacją w przestrzeni (choć funkcje obu półkul pod tym względem uzupełniają się), zapamiętywaniem, odtwarzaniem oraz porównywaniem wrażeń wzrokowych i słuchowych, a także odpowiedzialne za zdolności artystyczne.



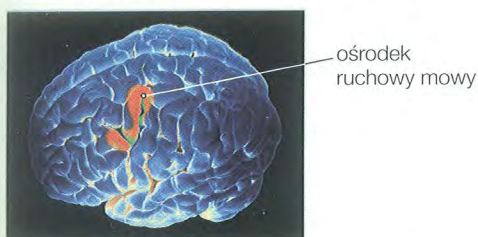
Lewa półkula – w niej zwykle są zlokalizowane ośrodki związane z zapamiętywaniem, rozumieniem oraz odtwarzaniem mowy, także w formie pisemnej.

Ośrodki w korze mózgowej

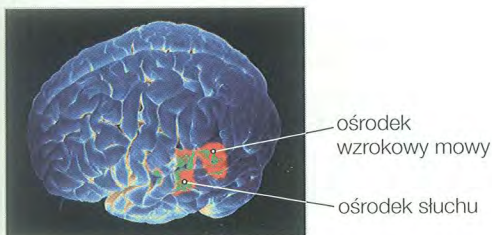
Funkcjonalny podział mózgu obejmuje korę ruchową, czuciową, wzrokową, słuchową i kojarzeniową. W każdej z nich, wykonując badanie zwane tomografią pozytonową, można zlokalizować odpowiednie ośrodki nerwowe. W korze ruchowej (tylna część płata czołowego) mieszczą się ośrodki kontrolujące pracę mięśni szkieletowych. Kora czuciowa (płat ciemieniowy) zbiera informacje z receptorów czucia dotyku, ucisku, rozciągania, temperatury i bólu rozmieszczonych w całym ciele. Kora wzrokowa znajduje się w płacie potylicznym, zaś kora słuchowa w płacie skroniowym. Kora kojarzeniowa obejmuje wszystkie płaty. Odpowiada za procesy zapamiętywania, uczenia się, kojarzenia i myślenia.



Ośrodek wzroku (kora wzrokowa) mieści się w płacie potylicznym. Na styku płata potylicznego, ciemieniowego i skroniowego znajduje się nadrzędny ośrodek mowy (kora kojarzeniowa).



Ośrodek ruchowy mowy (kora kojarzeniowa) umożliwia tworzenie głosek i sylab, czyli wypowiadanie słów.



Ośrodek słuchu (kora słuchowa) jest miejscem, do którego docierają sygnały z narządu słuchu. Ośrodek wzrokowy mowy (kora kojarzeniowa) umożliwia czytanie.

wpływające na pracę przysadki (liberyny i statyny), nerek (wazopresyna) oraz na skurcze mięśni gładkich męskich i żeńskich narządów rozrodczych (oksytocyna).

Śródmózgowie jest częścią pnia mózgu. Są tu umiejscowione m.in. ośrodki reakcji wzrokowych i słuchowych, takich jak zmiana średnicy źrenicy, ruchy powiek czy odwracanie głowy w kierunku źródła dźwięku. Śródmózgowie jest też miejscem koordynacji ruchów mimowolnych oraz ruchów szybkich.

Tylomózgowie wtórne (móżdżek i most) jest drugą co do wielkości częścią mózgowia. **Móżdżek** składa się z dwóch półkul, połączonych częścią zwaną robakiem. Jest pokryty cienką warstwą istoty szarej, tworzącą tzw. korę móżdżku. Pod korą znajduje się istota biała. W obrębie móżdżku są umiejscowione ośrodki nerwowe odpowiedzialne za **utrzymanie odpowiedniego stanu napięcia mięśni oraz koordynację ruchów**.

Wśród objawów uszkodzenia móżdżku wymienienia się m. in.:

- ▶ utratę napięcia mięśniowego,
- ▶ zaburzenia koordynacji ruchów, czyli niezdolność móżdżkową – ruchy człowieka stają się niezręczne, mają zbyt duży lub zbyt mały zasięg, pojawiają się trudności z dotknięciem czubka nosa,
- ▶ niemożność wykonania w szybkim tempie ruchów naprzemiennych, np. odwracania i nawracania ręki,
- ▶ oczopląs – nieskoordynowane ruchy poziome oczu, będące przejawem upośledzenia pracy mięśni poruszających gałkami ocznymi,
- ▶ drżenie mięśni.

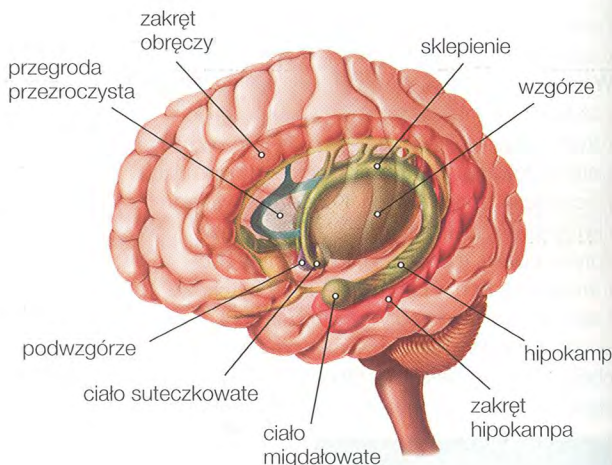
Most to fragment pnia mózgu położony między śródmózgowiem a rdzeniem przedłużonym. Jest zbudowany z włókien nerwowych i ciał neuronów, przypomina wyglądem grubą taśmę. Pośredniczy w przepływie sygnałów między mózgiem, móżdżkiem i rdzeniem przedłużonym.

Liberyny – substancje hormonalne podwzgorza pobudzające działanie przysadki.

Statyny – substancje hormonalne podwzgorza hamujące działanie przysadki.

Układ limbiczny

Pewne struktury kresomózgowia, międzymózgowia i śródmózgowia współpracują ze sobą, tworząc układ limbiczny. Odpowiada on za zachowania i emocje, ma znaczenie w motywacji oraz zachowaniach seksualnych. Bierze udział w regulacji stanów snu i czuwania, a także kontroluje pobieranie pokarmu. Reakcje zachodzące w układzie limbicznym wpływają na proces zapamiętywania, kształtowanie osobowości oraz podejmowanie decyzji. W skład tego układu wchodzi: kora mózgowa (ośrodki korowe płatów czołowego i skroniowego, hipokampa oraz ciała migdałowatego) oraz struktury podkorowe (część wzgórza, podwzgórza, kilka jąder śródmózgowia oraz łączące je drogi nerwowe).



Wybrane struktury tworzące układ limbiczny

Struktura	Funkcja
Hipokamp	Tworzenie i odtwarzanie <u>pamięci długotrwałej</u> , udział w procesie uczenia się, rozpoznawanie nowości.
Zakręt hipokampa	Tworzenie i odtwarzanie <u>pamięci przestrzennej</u> .
Ciało migdałowate	Analiza emocjonalnych aspektów doświadczeń i wysyłanie sygnału o niebezpieczeństwie, kontrola emocji i zachowań seksualnych.
Ciało suteczkowe	Proces zapamiętywania informacji.
Część podwzgórza	Udział w kierowaniu zachowaniem, regulowanie reakcji obronnych, zachowań seksualnych, przyjmowania pokarmu.
Zakręt obręczy	Ocena zachowań, tworzenie i odtwarzanie <u>pamięci emocjonalnej</u> .
Sklepienie	<u>Przekazywanie sygnałów</u> między hipokampem a podwzgórzem.
Część wzgórza	Kontrola stanu czuwania i snu, udział w procesach zapamiętywania i uczenia się.

Rdzeń przedłużony jest częścią mózgowia, która łączy się z rdzeniem kręgowym. Ma kształt spłaszczonego stożka o długości ok. 3 cm. W rdzeniu przedłużonym występują skupienia istoty szarej. Stanowią one ośrodki nerwowe wielu ważnych czynności odruchowych, takich jak: ssanie, połykanie, żucie oraz odruchy obronne (np. kaszel, kichanie, mruganie powiekami, wymioty). W obrębie rdzenia przedłużonego znajdują się również:

▶ ośrodek oddechowy – regulujący czynność

oddechową – pobudzany przez wzrost stężenia dwutlenku węgla we krwi,

- ▶ ośrodek naczynioruchowy – regulujący ciśnienie i tempo przepływu krwi przez wpływ na zmianę średnicy naczyń krwionośnych,
- ▶ ośrodek regulacji czynności serca – zwiększający częstość skurczów serca.

Uszkodzenie rdzenia przedłużonego powoduje ciężkie zaburzenia czynnościowe całego organizmu, a w skrajnych przypadkach prowadzi do śmierci.

■ Budowa i rola rdzenia kręgowego

Rdzeń kręgowy przebiega w kanale kręgowym utworzonym przez otwory w kręgach kręgosłupa. Ma kształt nieco spłaszczonego walca, którego podłużne wygięcia odpowiadają krzywiznom kręgosłupa. Ciągnie się od rdzenia przedłużonego do poziomu drugiego kręgu lędźwiowego i osiąga długość ok. 45 cm. Na wysokości pierwszych kręgów lędźwiowych rdzeń zwęża się, przechodząc w tzw. nić końcową. W rdzeniu kręgowym wyróżnia się pięć części: szyjną, piersiową, lędźwiową, krzyżową i guziczną (ogonową).

Rdzeń kręgowy jest zbudowany z **istoty szarej** i położonej na zewnątrz niej **istoty białej**. Na przekroju poprzecznym istota szara przypomina kształtem motyla lub literę **H**, przy czym kształt ten zmienia się na poszczególnych poziomach. Wzdłuż centralnej części rdzenia kręgowego przebiega wypełniony płynem mózgowo-rdzeniowym **kanał środkowy**. Łączy się on z komorami występującymi w obrębie mózgowia. Rdzeń kręgowy przewodzi impulsy z mózgowia do narządów wykonawczych i z powrotem oraz uczestniczy w odruchach bezwarunkowych.

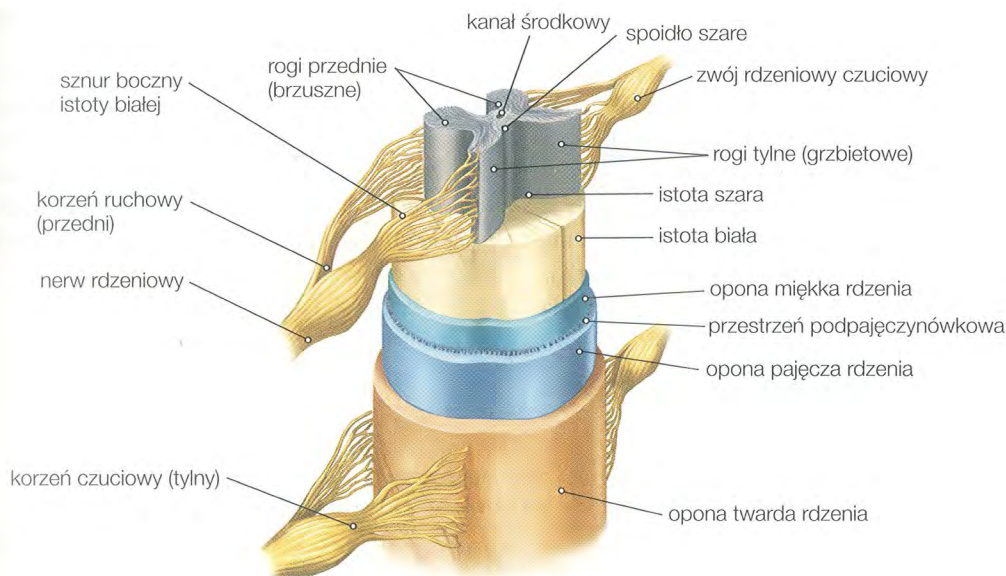
■ Płyn mózgowo-rdzeniowy

W mózgowiu znajdują się połączone przestrzenie zwane **komorami mózgu**. Powstaje w nich **płyn mózgowo-rdzeniowy**. Jest to **przesącz osocza krwi** w sieci naczyń włosowatych, dlatego jego skład jest bardzo podobny do składu osocza krwi. Zawiera on niewielkie ilości białka, glukozy, jony potasowe oraz **duże ilości jonów chlorkowych i sodowych**, a także śladowe ilości komórek: limfocytów i monocytów. Organizm człowieka wytwarza w ciągu doby ok. 700 ml płynu mózgowo-rdzeniowego, przy czym średnia chwilowa jego ilość waha się w granicach 100–250 ml.

Płyn mózgowo-rdzeniowy krąży w komorach mózgu, w przestrzeni podpajęczynówkowej oraz w kanale centralnym rdzenia kręgowego, z którym kontaktuje się jedna z komór mózgu. Pełni on następujące funkcje:

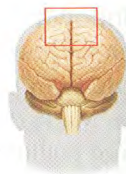
- ▶ tworzy warstwę ochronną ośrodkowego układu nerwowego,
- ▶ zapewnia równomierny rozkład ciśnienia w jamie czaszki,
- ▶ odżywia neurony i usuwa produkty ich metabolizmu.

Budowa rdzenia kręgowego



Ochrona mózgowia i rdzenia kręgowego

Mózgowie i rdzeń kręgowy to bardzo delikatne struktury, dlatego są osłonięte błonami zbudowanymi z tkanki łącznej, noszącymi nazwę **opon**. Od strony zewnętrznej mózgowia i rdzenia opony ułożone są w kolejności: opona twarda, opona pajęczka i opona miękka.



- 1 Opona twarda** składa się z dwóch warstw: zewnętrznej, zrośniętej z okostną, i wewnętrznej, przylegającej do opony pajęczkiej. Pomiędzy tymi warstwami występują zatoki żyłne.

Skóra, tkanka podskórna i leżące pod nimi ścięgno pokrywają kości czaszki.

Ziarnistości pajęczynówki to wybrzuszenia wnikaące do zatok żylnych, które odgrywają ważną rolę we wchłanianiu płynu mózgowo-rdzeniowego do krwi.

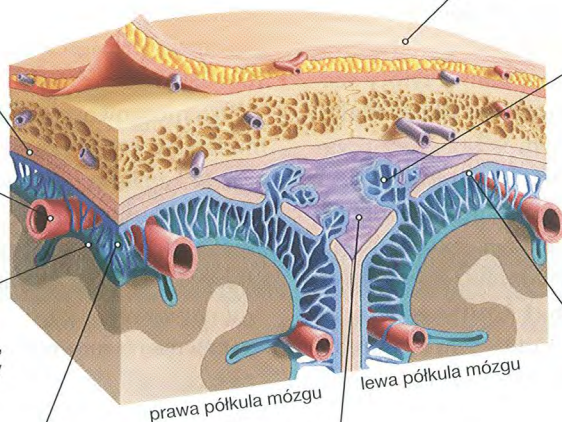
Naczynie krwionośne dostarcza krew do opon mózgowia.

- 3 Opona miękka** przylega bezpośrednio do powierzchni mózgowia, wnikaąc w jego bruzdy i zagłębienia. Zawiera liczne tętnice i żyłne naczynia krwionośne.

Przestrzeń podpajęczynówkowa jest wypełniona płynem mózgowo-rdzeniowym.

Zatoka żylna odgrywa ważną rolę w chłodzeniu mózgu.

- 2 Opona pajęczka** (pajęczynówka) jest najcieńszą z opon. Pomiędzy nią a kolejną błoną, czyli oponą miękka, znajduje się **jama podpajęczynówkowa** – przestrzeń wypełniona płynem mózgowo-rdzeniowym.



Płyn jest zabezpieczony przed przenikaniem z krwi substancji mogących zakłócić funkcjonowanie neuronów dzięki **barierze krew-mózg**. Tworzą ją nieprzepuszczalne ściany naczyń włosowatych mózgu i otaczających je komórek gglejowych (astrocytów). Bariera ta nie przepuszcza wielu substancji wielkocząsteczkowych, w tym np. leków. Przechodzą przez nią

natomiast (nawet wbrew gradientowi stężeń): glukoza, aminokwasy i cząsteczki, z których powstają neuroprzekaźniki. Niekiedy pobiera się płyn mózgowo-rdzeniowy w celach diagnostycznych (np. zwiększenie w nim ilości białka oraz liczby komórek może świadczyć o stanie zapalnym mózgu lub opon mózgowia).

Polecenia kontrolne

1. Omów podział mózgowia.
2. Scharakteryzuj funkcje kory mózgowej.
3. Scharakteryzuj histologiczną budowę istoty białej oraz istoty szarej.
4. Opisz usytuowanie istoty białej i szarej w obrębie mózgowia oraz rdzenia kręgowego.
5. Określ główne funkcje rdzenia kręgowego.
6. Wymień rodzaje opon mózgowia oraz rdzenia kręgowego. Podaj ich funkcje.

3

Obwodowy układ nerwowy

Obwodowy układ nerwowy jest zbudowany z 12 par nerwów czaszkowych, 31 par nerwów rdzeniowych, zwojów nerwowych oraz zakończeń nerwowych odbierających bodźce (receptorów).

Nerwy są pęczkami włókien nerwowych, czyli wypustek neuronów podtrzymywanych i chronionych przez tkankę łączną właściwą. Nerwy zawierające włókna czuciowe (przewodzące impulsy nerwowe od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego) to **nerwy czuciowe**. Nerwy, które zawierają włókna ruchowe (przewodzące impulsy z ośrodkowego układu nerwowego do narządów wykonawczych, tzn. mięśni lub gruczołów) to **nerwy ruchowe**. Natomiast te, które zawierają zarówno włókna czuciowe, jak i ruchowe, to **nerwy mieszane**. **Zwojem** nazywamy skupienie ciał komórek nerwowych poza ośrodkowym układem nerwowym.

■ Nerwy czaszkowe i rdzeniowe

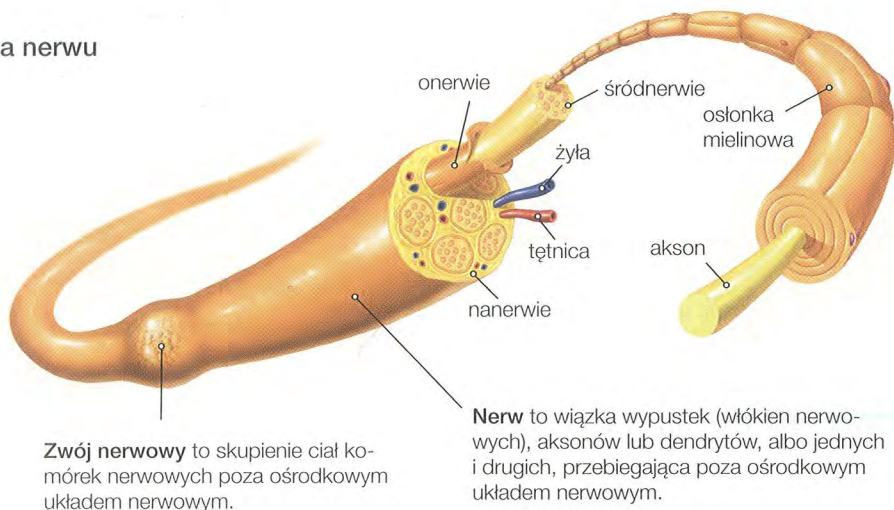
Nerwy czaszkowe unerwiają głównie głowę i jej okolice. Mają swój początek w mózgowiu. Opuszczają czaszkę przez otwory w jej

podstawie. W zależności od rodzaju zawartych w nich włókien dzieli się je na nerwy ruchowe, czuciowe i mieszane. Niektóre nerwy czaszkowe (III, VII, IX, X) zawierają włókna układu autonomicznego.

Nerwy rdzeniowe unerwiają m.in.: skórę, mięśnie i narządy wewnętrzne. Opuszczają kanał kręgowy przez otwory międzykręgowe.

Nerwy rdzeniowe są **nerwami mieszanymi** (oprócz włókien czuciowych i ruchowych zawierają też włókna autonomiczne). Uszkodzenie tych nerwów może prowadzić do zaburzeń ruchowych lub czuciowych. Objawem zaburzeń ruchowych jest niedowład lub porażenie mięśni (wraz z ich zanikiem). Zaburzenia czuciowe zależą od podrażnienia lub uszkodzenia nerwu. W pierwszym wypadku objawiają się bólem, w drugim – np. niedoczulicą. **Niedoczulica** jest to osłabienie czucia powierzchniowego, czyli odczuwania temperatury, dotyku, ucisku czy bólu. Obszar niedoczulicy zależy od umiejscowienia nerwów rdzeniowych oraz rozległości ich uszkodzenia.

Budowa nerwu

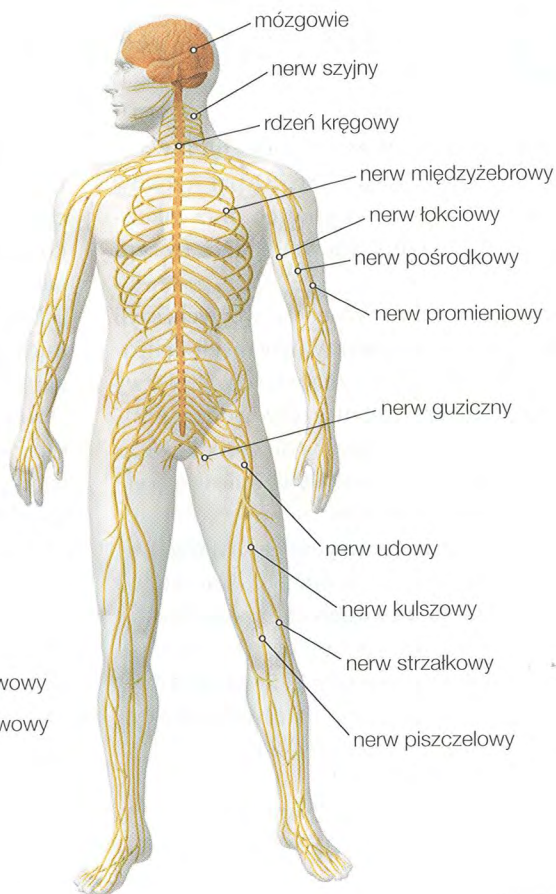


Układ autonomiczny (autonomiczny układ nerwowy) – część układu nerwowego odpowiedzialna za regulowanie pracy narządów wewnętrznych.

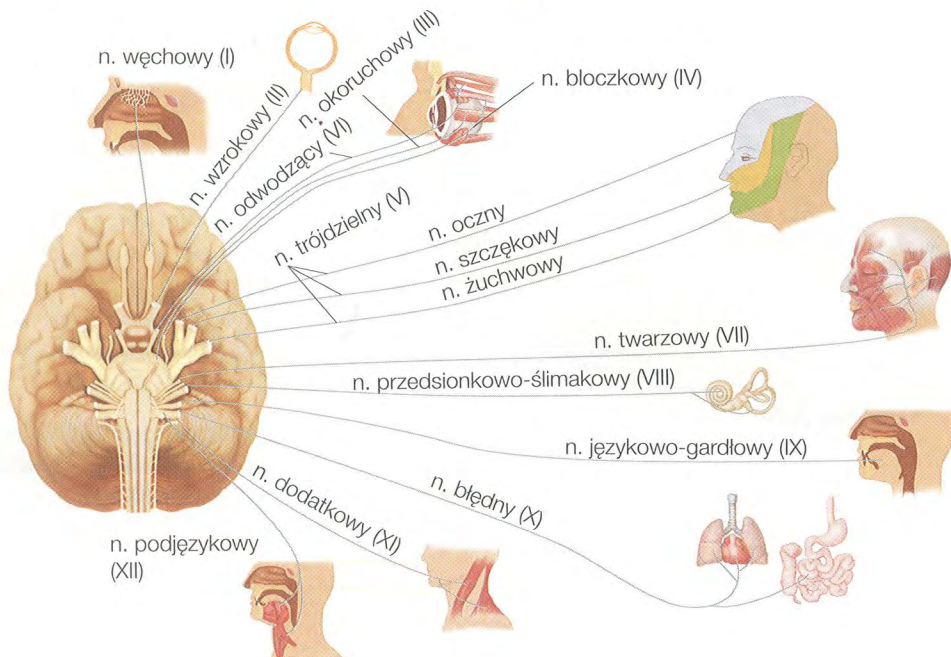
Budowa obwodowego układu nerwowego

Nerwy przekazują informację pomiędzy ośrodkowym układem nerwowym a wszystkimi innymi częściami ciała. Nerwy czaszkowe są parzyste. Oznacza się je za pomocą cyfr rzymskich od I do XII. Poza nerwem X (nerw błędny) oraz XI (nerw dodatkowy) unerwiają one okolice głowy i szyi. Nerw błędny unerwia serce, oskrzela, płuca, żołądek i jelita, natomiast nerw dodatkowy unerwia mięśnie obręczy barkowej. Wśród nerwów rdzeniowych wyróżnia się 8 par nerwów szyjnych, 12 par nerwów piersiowych, 5 par nerwów lędźwiowych, 5 par nerwów krzyżowych oraz parę nerwów guzicznych. Unerwiają one skórę, mięśnie, narządy wewnętrzne i naczynia krwionośne.

- ośrodkowy układ nerwowy
- obwodowy układ nerwowy



Nerwy czaszkowe



Łuk odruchowy

Odruch jest to szybka, automatyczna, powtarzalna reakcja organizmu na bodziec napływający ze środowiska zewnętrznego lub z wnętrza organizmu. Zachodzi on w obrębie struktur, które wchodzą w skład łuku odruchowego.

Łuk odruchowy to droga, jaką pobudzenie przebywa od receptora do efektoru. Składa się ona z pięciu elementów: receptora, drogi nerwowej dośrodkowej (czuciowej), ośrodka nerwowego, drogi nerwowej odśrodkowej (ruchowej) i efektoru.

Receptory są wyspecjalizowanymi strukturami, w których na skutek działania bodźców powstaje pobudzenie. Mogą być one skupione w narządach zmysłów, np. wzroku lub słuchu. Receptorami mogą być również rozgałęzione zakończenia dendrytów neuronów czuciowych w skórze, odbierające wrażenia (np. receptory bólu w skórze).

Efektory to inaczej narządy wykonawcze. Są one ostatnim elementem łuku odruchowego. Efektorami mogą być: mięsień szkieletowy, mięsień gładkie lub gruczoły.

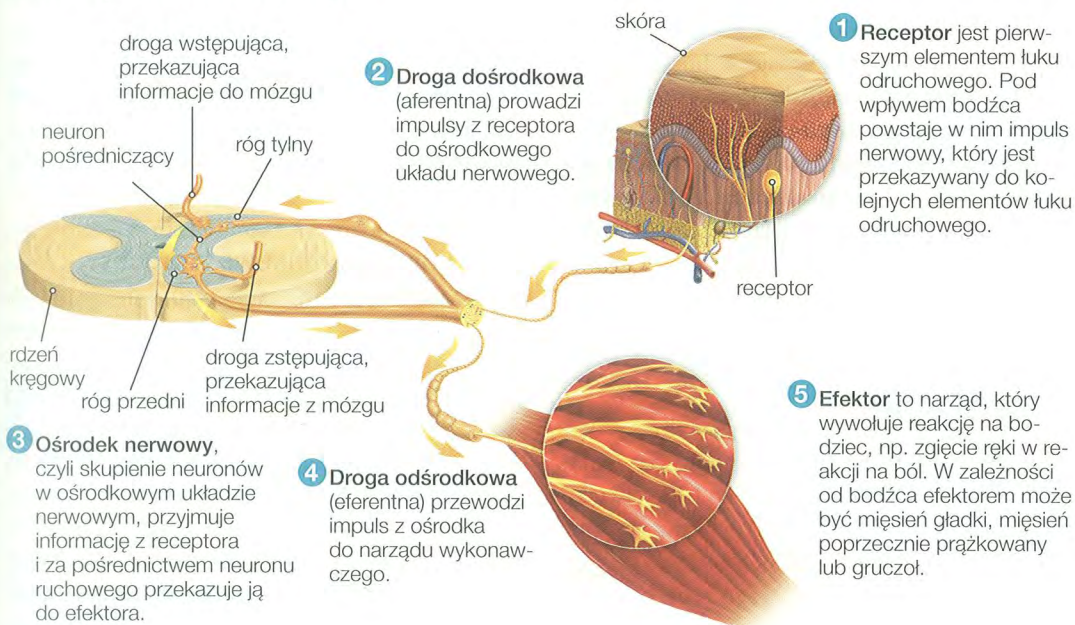
Odruchy bezwarunkowe i warunkowe

Jedną z podstawowych klasyfikacji odruchów jest ich podział na odruchy bezwarunkowe (wrodzone, gatunkowe) oraz warunkowe (nabyte, osobnicze).

Odruchy bezwarunkowe powstają przy zaangażowaniu ośrodków rdzenia kręgowego (od-ruchy rdzeniowe) oraz ośrodków mózgowia położonych poza obszarem kory mózgu, czyli **bez udziału kory mózgu**. Są typowe dla wszystkich przedstawicieli gatunku, **dziedziczone** z pokolenia na pokolenie. Należą do nich:

- ▶ odruchy obronne, np. odruch wymiotny (podczas drażnienia tylnej ściany gardła), odruch skurczu kończyny pod wpływem uklucia palca,
- ▶ odruchy związane z utrzymaniem postawy ciała i lokomocją,
- ▶ odruch podeszwowy (zgięcie palców stopy przy mechanicznym podrażnieniu skóry na podeszwie),
- ▶ odruch ssania (wywołany przez dotknięcie okolicy ust noworodka),
- ▶ wydzielania śliny pod wpływem pobudzenia receptorów smaku.

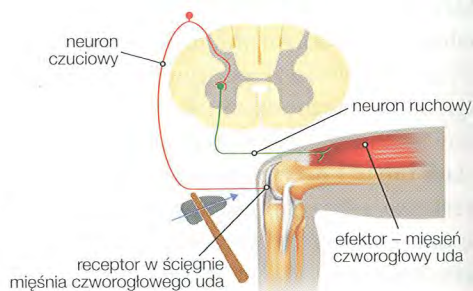
Elementy łuku odruchowego



Obserwacja

Obserwacja odruchu kolanowego

Do zaobserwowania odruchu kolanowego potrzebny będzie młoteczek (drewniany lub gumowy). Usiądź na krześle i załóż nogę na nogę. Druga osoba niech lekko uderza młoteczkiem w twoje kolano tuż poniżej rzepki – w miejscu tym znajduje się ścięgno mięśnia czworogłowego uda. Uderzenie nie powinno być zbyt mocne! Prawidłowe wykonanie ćwiczenia spowoduje skurcz mięśnia i nagły wyprost w stawie kolanowym.



Odruch warunkowy wykształca się w wyniku indywidualnego doświadczenia osobniczego. Wymaga on zaangażowania **ośrodków kory mózgu i nie jest dziedziczny**, czyli powstaje, utrzuca się lub wygasa w zależności od warunków zewnętrznych. Wiele czynności w naszym życiu jest opartych na odruchach warunkowych, np. jazda na rowerze, zdobywanie wiedzy, uczenie się języków obcych czy sposób zachowania. Muszą być one podtrzymywane (ćwiczone), ponieważ łatwo zanikają, np. jeśli nie powtarza się obcych słówek, to zapomina się ich znaczeń.

Odruch warunkowy powstaje na podstawie odruchu bezwarunkowego. Jednym z naukowców zajmujących się powstawaniem odruchów warunkowych był rosyjski fizjolog **Iwan Pawłow**. Prowadził on badania na psach. Podawał im pokarm – **bodziec kluczowy** – jednocześnie zapalając lampkę lub włączając dzwonek. Sygnały te były **bodźcami obojętnymi**. Psy, widząc pokarm, wydzielają ślinę. Po wielokrotnym powtórzeniu tego ćwiczenia Pawłow wprowadził zmianę: zapalił światło, nie podając jednocześnie pokarmu. Reakcją psów było wydzielanie śliny mimo braku obecności bodźca kluczowego (pokarmu).

W prowadzonych badaniach Pawłow wykazał, że powstanie odruchu warunkowego wymaga skojarzenia bodźca obojętnego (np. dźwięku dzwonka lub światła lampki) z bodźcem kluczowym wywołującym odruch bezwarunkowy (np. podaniem pokarmu). Tego typu odruchy nazywane są obecnie **klasycznymi odruchami**

warunkowymi lub odruchami pawłowowskimi. Istnieją również **instrumentalne odruchy warunkowe**. Są one efektem bardziej złożonego procesu uczenia się. Podstawą powstania odruchu instrumentalnego jest dążenie do zaspokojenia potrzeby, czyli motywacja. Mogą nią być potrzeby fizjologiczne, takie jak: głód, pragnienie, popęd płciowy, lub psychiczne, np. potrzeba bliskości. Im większa motywacja, tym szybciej powstaje odruch warunkowy.

Zastosowanie innego kryterium pozwala wyróżnić odruchy obronne i zachowawcze. **Odruchy obronne** są wywołane działaniem czynników szkodliwych. Do odruchów tych zalicza się usuwanie się poza zasięg działania czynnika szkodliwego lub unieszkodliwianie (usuwanie) czynnika grożącego organizmowi (np. przez wymioty, kichanie, kaszel). **Odruchy zachowawcze** są niezbędne do utrzymania życia organizmu. Zalicza się do nich np. odruchy związane z oddychaniem lub wydalaniem.

■ Odruchy warunkowe a proces uczenia się

W życiu osobniczym wciąż wytwarzają się nowe odruchy warunkowe. Stanowią one podstawę uczenia się. Już wytworzone odruchy mogą wzrastać lub zmniejszać się, a nawet zostać całkowicie zahamowane. Uważa się, że odruchy warunkowe wytwarzają się dzięki powstawaniu i zwielokrotnieniu nowych połączeń synaptycznych. Zanikanie odruchów warunkowych jest natomiast związane z zanikaniem połączeń synaptycznych. Uczenie się to według współczesnej

biologii i psychologii proces nabywania, a następnie przechowywania informacji w sposób, który pozwoli na ich późniejsze wykorzystanie. Inaczej mówiąc, uczenie się modyfikuje w odpowiedni sposób zachowanie człowieka.

Na zachowanie ma wpływ zarówno przyzwyczajenie do obojętnych bodźców, jak i wyrobienie odruchów warunkowych (rozwiązywanie problemów na podstawie doświadczeń). Ponadto człowiek nabywa umiejętność abstrakcyjnego myślenia, niedostępną dla innych gatunków. Typowe dla człowieka jest też traktowanie uczenia się jako świadomego procesu zdobywania nowych wiadomości i umiejętności.

■ Rodzaje pamięci

Podstawą sprawnego uczenia się jest pamięć, czyli zdolność do przechowywania i odtwarzania informacji. Współcześnie wyróżnia się trzy rodzaje pamięci: pamięć sensoryczną, krótkotrwałą i długotrwałą.

Pamięć sensoryczna (zmysłowa, ultrakrótką) to pamięć o znacznej pojemności, lecz trwająca bardzo krótko. Informacje docierające do niej za pośrednictwem zmysłów (np. usłyszane rozmowy, dotyk, zapach) są przez nią przechowywane zaledwie przez sekundę.

Pamięć krótkotrwałą (operacyjną) jest pamięcią o niewielkiej pojemności. U większości ludzi obejmuje ona 6–8 pozycji, np. wyrazów czy cyfr numeru telefonicznego. Zarejestrowane informacje zostają utracone w czasie od kilku sekund do kilku minut. Przechowywanie informacji w pamięci krótkotrwałej wymaga ich powtarzania. Pamięć ta pośredniczy więc

w zapamiętywaniu informacji oraz wydobywaniu ich z pamięci długotrwałej.

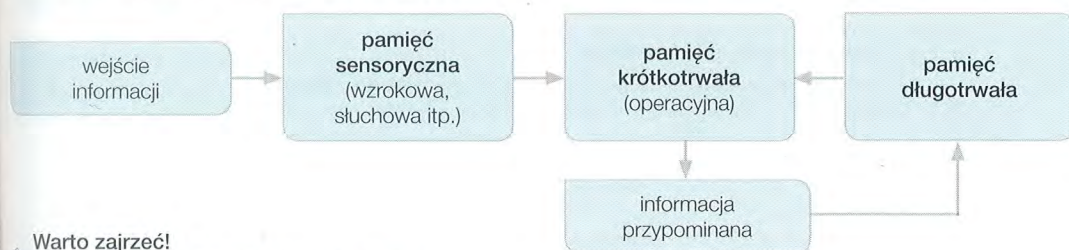
Pamięć długotrwałą ma znaczną, praktycznie nieograniczoną pojemność. Skierowanie do niej informacji z pamięci krótkotrwałej wymaga ich powtarzania, a następnie klasyfikowania i grupowania w kategorie, tak aby można je było połączyć z informacjami umieszczonymi w niej wcześniej. Jest to warunkiem skutecznego, trwałego zakodowania informacji.

Odtworzenie informacji przechowywanych w pamięci długotrwałej wymaga ich rozpoznania oraz czasowego przeniesienia do pamięci krótkotrwałej. Nie zawsze procesy te przebiegają jednakowo sprawnie. Wśród przyczyn trudności w odtwarzaniu informacji wymienia się:

- ▶ brak koncentracji uwagi, a w konsekwencji słabą rejestrację informacji,
- ▶ nieużywanie zapamiętanych informacji,
- ▶ zachodzenie na siebie informacji (np. uczenie się podobnych do siebie języków obcych).

Sprawne funkcjonowanie pamięci wymaga od człowieka angażowania się w procesy zapamiętywania, kojarzenia ze sobą informacji, a także uruchomienia wyobraźni. W programie większości kursów szybkiego zapamiętywania uwzględnia się ćwiczenia rozwijające wyobraźnię wzrokową. Do najpopularniejszych z nich należy technika lokalizacyjna, polegająca na wyobrażaniu sobie zapamiętywanych przedmiotów w określonych miejscach pomieszczenia lub np. mijanych obiektów na trasie spaceru. Część ludzi przejawia skłonność do wyobrażeń wzrokowych, a część – do wyobrażeń słuchowych lub ruchowych.

Przebieg informacji przez różne rodzaje pamięci



Warto zajrzeć!

http://www.ppp1.wroc.pl/techniki_pamieciowe.pdf

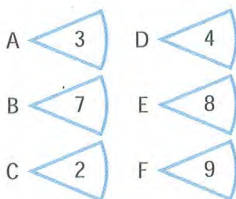
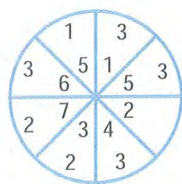
Możliwości ludzkiej pamięci są niezwykle. Większość ludzi rozpoznaje dziesiątki twarzy innych osób, pamięta mnóstwo różnych miejsc czy utworów muzycznych. Paradoksalnie o wiele trudniej zapamiętuje się pozornie proste informacje, np. numery telefonów, daty czy nazwiska. Zdarzają się ludzie obdarzeni fenomenalną pamięcią, z jednakową łatwością zapamiętujący setki cyfr, utwory literackie w obcych językach, skomplikowane wzory matematyczne

czy długie serie przypadkowych sylab. Występowanie takiej pamięci jest zdecydowanie niewygodne, ponieważ pamięć ludzka musi być jednocześnie efektywna i nieefektywna. Oznacza to, że mózg musi zatrzymywać pewne informacje, a jednocześnie uwalniać się od tych, które są mu zbędne. Dlatego człowiek uczy się, a następnie zapomina niektóre informacje po to, aby nabyć kolejne czy nauczyć się nowych rzeczy.

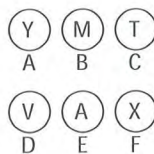
Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij, dlaczego mówimy, że nerwy rdzeniowe są nerwami mieszanymi.
2. Wymień struktury warunkujące powstawanie odruchu.
3. Jakimi cechami różnią się odruchy bezwarunkowe od odruchów warunkowych?
4. Zapoznaj się z poniższym zestawem zadań, zbliżonych do tych, które są umieszczane w testach inteligencji. Spróbuj je rozwiązać. Które zadania uważasz za łatwe? Które sprawiły Ci trudność? Porównaj swoją opinię z opiniami innych uczniów. Pamiętaj, że wyniki testów inteligencji nie są jedynym kryterium pozwalającym na ocenę poziomu inteligencji. Często ludzie wybitni osiągają w takich testach słabe wyniki.

a) Którą cyfrę należy wstawić do koła?



c) Z podanych elementów można ułożyć pewną literę. Którą?



b) Każdy ciąg pięciu liczb ułożonych poziomo lub pionowo powinien dać po zsumowaniu wynik 40. Do uzupełnienia kwadratu należy użyć tylko dwóch liczb. Która z liczb (A–F) znajdzie się w polu oznaczonym znakiem zapytania?

			2	
12				0
	?	8	6	6
3	7	6	7	17
6	5	6	16	7

4	10
A	B
13	21
C	D
18	5
E	F

Prawidłowe odpowiedzi: zadanie 1 – E (suma liczb w każdym z dolnych sektorów jest o 1 większa niż w przeciwieśnym górnym sektorze); zadanie 2 – B, zadanie 3 – F.

Warto zajrzeć!

 <http://www.braincampaign.org/Common/Docs/Files/2779/pchap11pt1.pdf>

5. Na podstawie dostępnych źródeł, np. informacji znajdujących się na stronie IBRO (ang. International Brain Research Organization), zaproponuj i wykonaj ćwiczenia pozwalające zbadać właściwości pamięci krótkotrwałej.

4

Autonomiczny układ nerwowy

Ze względu na pełnione funkcje układ nerwowy dzieli się na somatyczny i autonomiczny. **Somatyczny układ nerwowy** odbiera bodźce ze środowiska zewnętrznego i kieruje wykonywaniem ruchów świadomych. Jest to układ obwodowy, tworzy go 12 par nerwów czaszkowych oraz 31 par nerwów rdzeniowych. **Autonomiczny układ nerwowy (AUN)** odbiera bodźce z wnętrza ciała i reguluje pracę narządów wewnętrznych. Współpracując z układem somatycznym, umożliwia przystosowanie organizmu do zmieniających warunków środowiska, jest więc odpowiedzialny za stałość środowiska wewnętrznego organizmu (homeostazę).

■ Budowa poszczególnych części układu autonomicznego

W obrębie układu autonomicznego wyróżnia się **układ współczulny** i **układ przywspółczulny**. Oba układy przekazują impulsy do tych samych narządów, ale za pośrednictwem innych par nerwów. Działanie tych układów charakteryzuje jednak antagonizm czynnościowy (działanie przestawne).

Układ współczulny

Układ ten ma budowę segmentową. Wyróżnia się w nim: część ośrodkową, pnie współczulne i część obwodową. **Część ośrodkowa** to ośrodki nerwowe umiejscowione w rogach bocznych istoty szarej w rdzeniu kręgowym, na wysokości od ósmego kręgu piersiowego

do trzeciego kręgu lędźwiowego. Wychodzą stąd **przedzwojowe włókna nerwowe**, które kończą się w zwojach pnia współczulnego. Do ośrodków współczulnych rogów bocznych istoty szarej rdzenia kręgowego zalicza się m.in. ośrodek naczynioworuchowy (wpływa on na skurcz mięśniówki gładkiej naczyń oraz zmniejszenie ich światła), a także ośrodek wydzielania potu.

Pnie współczulne są utworzone przez zwoje nerwowe (przy czym na każdy pień przypada od 21 do 24 zwojów współczulnych połączonych nerwami). Leżą one przykręgowo, wzdłuż kręgosłupa, po obu jego stronach.

Część obwodowa składa się z włókien biorących początek w zwojach pnia współczulnego, zwanych **włóknami zazwojowymi**. W porównaniu z włóknami przedzwojowymi są one o wiele dłuższe. Większość włókien zazwojowych dociera do unerwianych narządów, towarzysząc nerwom rdzeniowym.

Układ przywspółczulny

W układzie przywspółczulnym wyróżnia się dwie części: część mózgową (zwaną głową lub czaszkową) i część rdzeniową (zwaną również krzyżową).

Część mózgową obejmuje ośrodki nerwowe umiejscowione w śródmózgowiu, mózdzku i rdzeniu przedłużonym. Wypustki neuronów należących do mózkowej części przywspółczulnej tworzą długie włókna przedzwojowe.

FUNKCJONALNY PODZIAŁ UKŁADU NERWOWEGO

Somatyczny układ nerwowy

- odbiera bodźce pochodzące ze środowiska
- reguluje pracę mięśni szkieletowych
- kieruje wykonywaniem ruchów świadomych

Autonomiczny układ nerwowy

- odbiera bodźce pochodzące z wnętrza organizmu
- odpowiada za stałość środowiska wewnętrznego organizmu (homeostazę)
- unerwia mięśnie gładkie, mięsień sercowy i gruczoły
- działa niezależnie od naszej woli

współczulny

przywspółczulny

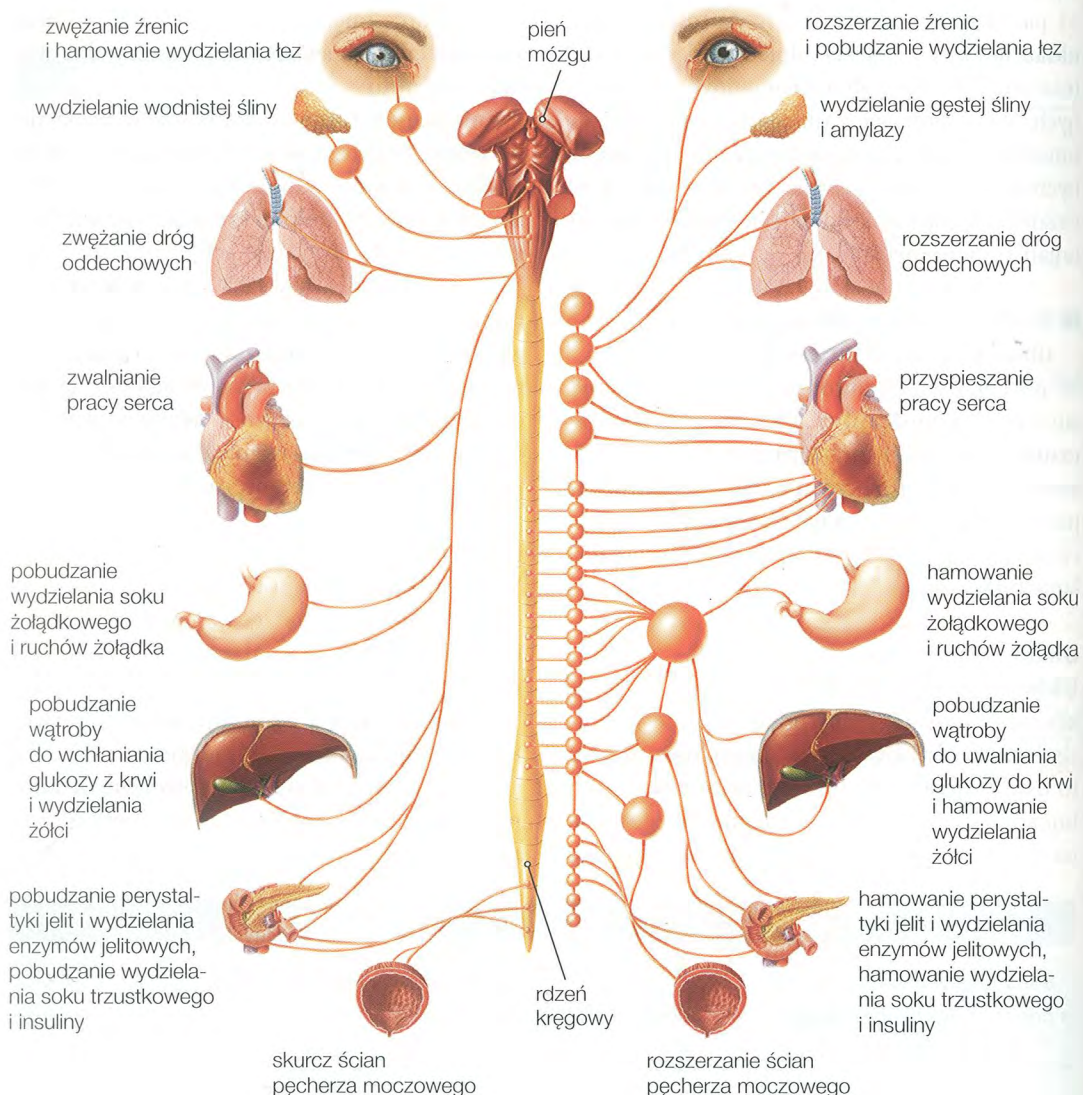
Budowa autonomicznego układu nerwowego

Część przywspółczulna AUN

Działanie części przywspółczulnej autonomicznego układu nerwowego dominuje w stanach relaksu i snu. Pobudza ona pracę narządów wewnętrznych, takich jak narządy układu pokarmowego, co sprzyja trawieniu, wchłanianiu do krwi produktów trawienia, a także pobudza syntezę glikogenu w wątrobie. Umożliwia również wydalenie i rozmnażanie się.

Część współczulna AUN

Część współczulna autonomicznego układu nerwowego odpowiada za przygotowanie organizmu do wysiłku fizycznego. Powoduje zwiększenie ilości tlenu i glukozy we krwi oraz podwyższenie ciśnienia krwi, którą kieruje głównie do mięśni szkieletowych. Zwiększa także aktywność mózgu i narządów zmysłów.



Charakterystyka układu współczulnego i układu przywspółczulnego

Cechy	Układ współczulny	Układ przywspółczulny
Umieszczenie ośrodków nerwowych	istota szara części piersiowej i lędźwiowej rdzenia kręgowego	istota szara śródmózgowia, mózdzku i rdzenia przedłużonego, rogi boczne istoty szarej rdzenia kręgowego na wysokości między 1. a 3. kręgiem kości krzyżowej
Położenie zwojów nerwowych	przykręgowo, wzdłuż kręgosłupa, po obu jego stronach	w narządach wewnętrznych lub w bezpośrednim ich sąsiedztwie
Przebieżniki nerwowe uwalniane w synapsach	zwykle noradrenalina	acetylocholina

Część rdzeniowa jest tworzona przez ośrodki nerwowe umiejscowione w rogach bocznych istoty szarej rdzenia kręgowego na wysokości między 1. a 3. kręgiem kości krzyżowej. Tu biorą początek – podobnie jak w wypadku części mózgowej – długie przedzwojowe włókna nerwowe. Włókna te, zarówno części mózgowej, jak i rdzeniowej, kończą swój bieg w zwojach. Te jednak nie tworzą zwartego pnia, a znajdują się bezpośrednio w narządach lub w ich niedalekim sąsiedztwie. Dopiero ze zwojów odchodzą stosunkowo krótkie włókna zazwojowe, docierające do unerwianych narządów. Włókna przywspółczulne części mózgowej wchodzi w skład niektórych nerwów czaszkowych (III, VII, IX, X), stanowiąc – jak włókna części krzyżowej – element nerwów rdzeniowych.

■ Antagonizm czynnościowy

Działanie układu autonomicznego jest niezwykle złożone i stosunkowo mało poznane. Większość narządów jest unerwiana zarówno przez włókna współczulne, jak i przywspółczulne. Między obiema częściami autonomicznego układu nerwowego obserwuje się zazwyczaj antagonizm czynnościowy. Na przykład nerwy współczulne przyspieszają rytm serca, powodują rozszerzenie źrenic, wpływają na skurcz mięśni

oskrzeli, natomiast nerwy przywspółczulne zwalniają rytm serca, zwężają źrenice i powodują rozluźnienie mięśni oskrzeli. W przypadku wielu narządów **układ współczulny działa pobudzająco** i w sytuacji stresowej mobilizuje organizm do działania, umożliwiając mu stosowną reakcję, np. podczas wysiłku fizycznego. W organizmie dominują wówczas procesy kataboliczne (wydatkowania energii). Do komórek dociera więcej tlenu z substancjami odżywczymi, uruchamiane są też rezerwy energetyczne organizmu. Natomiast **układ przywspółczulny zazwyczaj hamuje aktywność narządów** – warunkuje więc, po ustąpieniu działania bodźców stresowych, powrót wszystkich vegetatywnych funkcji organizmu do poziomu wyjściowego. Pobudza z kolei czynności trawienne, ułatwia wchłanianie pokarmu i gromadzenie zapasów energetycznych. Dlatego układ ten jest określane jako anaboliczny.

W ciągu doby następują zmiany aktywności obydwu części układu autonomicznego. W dzień dominuje układ współczulny, a podczas snu – układ przywspółczulny. Jego aktywność przeważa również w ciągu dnia w okresach wypoczynku lub po obfitym posiłku. Pojawia się wówczas uczucie senności.

Polecenia kontrolne

1. Podaj zasadnicze różnice w funkcjonowaniu układów somatycznego i autonomicznego.
2. Omów funkcje autonomicznego układu nerwowego.
3. Wymień różnice w budowie części współczulnej i części przywspółczulnej układu autonomicznego.
4. Wyjaśnij, w jaki sposób układ współczulny przygotowuje organizm do wysiłku fizycznego.
5. Wyjaśnij pojęcie *antagonizm czynnościowy*. Podaj odpowiedni przykład.

Badaniem, rozpoznawaniem i leczeniem chorób układu nerwowego zajmuje się dziedzina medycyny zwana **neurologią**. Wszelkie schorzenia tego układu są więc określane mianem chorób neurologicznych. Ich przyczyną są m.in. wady rozwojowe, urazy mechaniczne, różnego rodzaju infekcje czy zmiany zwyrodnieniowe. Niekiedy choroby te mają charakter zaburzeń psychicznych. Ich rozpoznawaniem i leczeniem zajmuje się inny dział medycyny – **psychiatria**. Na zaburzenia psychiczne cierpi coraz większa liczba osób, głównie mieszkańców krajów wysoko rozwiniętych. Jednym z czynników wzmagających ryzyko zachorowania jest bowiem nadmierny stres.

Emocje

Układ nerwowy ma wpływ na powstawanie **emocji**. Są to świadome lub nieświadome odczucia o charakterze pozytywnym (np. radość, szczęście) lub negatywnym (złość, smutek). Wraz z rozwojem osobistym emocje zyskują coraz bardziej złożone formy, zwane uczuciami. Mogą one, podobnie jak emocje, mieć charakter pozytywny (np. miłość, przyjaźń) lub negatywny (nienawiść, agresja). Podczas gdy emocje są determinowane biologicznie, uczucia wiążą się z procesem poznawczym. Na przykład dziecko rozwija w sobie miłość do matki w wyniku przyjemności, jaką czerpie z kontaktu z nią. Uczucia, tak jak emocje, potrafią działać bardzo motywująco. W kontrolę emocji są zaangażowane przede wszystkim struktury układu limbicznego (zwłaszcza ciało migdałowate), podwzgórze i śródmózgowie.

Stres

Reakcję organizmu, zarówno fizjologiczną, jak i psychologiczną, na działanie niekorzystnych bodźców zewnętrznych, nazywamy **stresem**. Dzięki niemu uruchomione zostają mechanizmy, które umożliwiają zwiększenie aktywności i mobilizację organizmu.

WYBRANE PSYCHICZNE PRZYCZYNY STRESU

Zewnętrzne

- duże zmiany życiowe
- praca
- trudności w relacjach z innymi
- problemy finansowe
- nadmiar zadań do wykonania
- dzieci i rodzina

Wewnętrzne

- pesymizm
- perfekcjonizm
- nierealistyczne oczekiwania
- brak asertywności
- zła samoocena
- niezdolność do akceptacji niepewności jutra

Bodźce wywołujące stres, nazywane **stresorami**, mogą mieć pochodzenie:

- ▶ fizyczne, np. hałas, silne migoczące światło, wibracje, zanieczyszczenie środowiska,
- ▶ psychiczne, np. niepokój przed egzaminem, choroba, konflikty w pracy.

Wydarzenia wywołujące stres (opracowanie: T. Holmes i R. Rahe)

Punkty*	Wydarzenia
13 p.	wakacje, urlop
18 p.	zmiana w nawykach życia towarzyskiego
20 p.	przeprowadzka, zmiana szkoły, zmiana warunków pracy
26 p.	rozpoczęcie lub zakończenie nauki w szkole, utrata lub rozpoczęcie pracy przez współpartnera
37 p.	śmierć przyjaciela
39 p.	pojawienie się nowego członka rodziny, rozpoczynanie nowej pracy
40 p.	ciąża
47 p.	zwolnienie z pracy
50 p.	ślub
53 p.	ciężkie zranienie lub choroba
63 p.	śmierć bliskiego członka rodziny, pobyt w więzieniu
73 p.	rozwód
100 p.	śmierć współmałżonka

* Jednostki stresu.

FIZYCZNE ORAZ PSYCHICZNE OBJAWY DŁUGOTRWAŁEGO STRESU

Poznawcze

- problemy z zapamiętywaniem
- trudności w koncentracji uwagi
- trudności w podejmowaniu decyzji
- trudności w rozwiązywaniu problemów

Fizyczne

- nawracające bóle głowy i mięśni
- regularne kłopoty ze snem
- ciągłe uczucie zmęczenia i senności
- spadek zainteresowania seksem
- częste przeziębienia
- nerwowe tiki
- dolegliwości pokarmowe

Emocjonalne

- częste zmiany nastroju
- brak cierpliwości
- uczucie ciągłego niepokoju
- drażliwość i wybuchowość
- poczucie samotności
- powracające „czarne myśli”
- skłonność do płaczu

Związane z zachowaniem

- jedzenie mimo braku uczucia głodu
- izolowanie się od innych osób
- odkładanie różnych prac na później
- używanie środków odurzających, aby się uspokoić
- nawyki, np. obgryzanie paznokci, zaciskanie szczęk

Warto zajrzeć!

 http://www.wse.waw.pl/aa%20materiały%20dydaktyczne/TiR_Psychologia_Choinka.pdf

Stresorami są nie tylko sytuacje postrzegane jako negatywne, np. brak pracy, samotność, ale i jako pozytywne, np. zakup psa, zawarcie małżeństwa. Poziom stresu w odpowiedzi na te same bodźce jest cechą indywidualną. Przykładowo konieczność opieki nad dzieckiem dla jednej osoby może być nieprzyjemna, dla innej natomiast może być źródłem radości i satysfakcji.

Badania psychologiczne pozwoliły na ocenę wpływu stresu towarzyszącego różnym wydarzeniom na zdrowie. Każdemu z wydarzeń przypisano liczbę punktów (jednostek stresu). Sumując je, można ocenić prawdopodobieństwo zachorowania w ciągu 2 lat m.in. na choroby układu krwionośnego. Na przykład 200–299 jednostek stresu to 51% szansy zachorowania.

Stres jest **zazwyczaj** **zjawiskiem krótkotrwałym**. Po jego ustąpieniu następuje powrót fizjologicznych czynności organizmu do stanu wyjściowego, sprzed działania stresora. Odpowiedni poziom stresu stymuluje i motywuje do aktywnego działania, lecz to, co dla jednej osoby jest stymulujące, dla innej może być zbyt dużym obciążeniem, przekraczającym możliwości przystosowawcze organizmu. Należy mieć jednak świadomość, że **długotrwały stres** w każdym wypadku prowadzi do głębokich zaburzeń czynności psychicznych i fizjologicznych organizmu. Do szkodliwych następstw stresu należą m.in.: nadciśnienie tętnicze, zwiększone ryzyko rozwoju miażdżycy, choroba wrzodowa żołądka oraz osłabienie reakcji odpornościowych organizmu.

■ Nerwice

Długotrwały stres może prowadzić do zaburzeń psychicznych, takich jak **nerwice**. Przyczyną nerwic są najczęściej nagłe, kompleksowe zmiany warunków otoczenia, ciągłe napięcie nerwowe, poczucie zagrożenia oraz lęk. Do najbardziej znanych nerwic należy **nerwica lękowa**, zwana również nerwicą fobii. Jest to zaburzenie, w którym dominuje lęk. Chory odczuwa stały, umiarkowany niepokój, napięcie, nieokreślone zagrożenie albo też przeżywa ostre napady lęku (niekiedy nasilonego do stanu paniki) przed pewnymi przedmiotami lub sytuacjami. Lęki te są nieuzasadnione, tzn. występują bez żadnego racjonalnego powodu. Są to tzw. fobie. Do bardziej znanych fobii należą **klaustrofobia** (lęk przed przebywaniem w zamkniętych pomieszczeniach), **agorafobia** (lęk przed przebywaniem na otwartej przestrzeni) oraz **arachnofobia** (lęk przed pajakami).

Nieradzenie sobie ze stresem może również prowadzić do rozwoju **depresji**. W chorobie tej przez dłuższy czas (minimum dwa tygodnie) odczuwa się przygnębienie, trudności z koncentracją, zaniżoną samoocenę, lęk. Depresja często utrudnia, a czasem wręcz uniemożliwia funkcjonowanie w życiu codziennym.

Stres

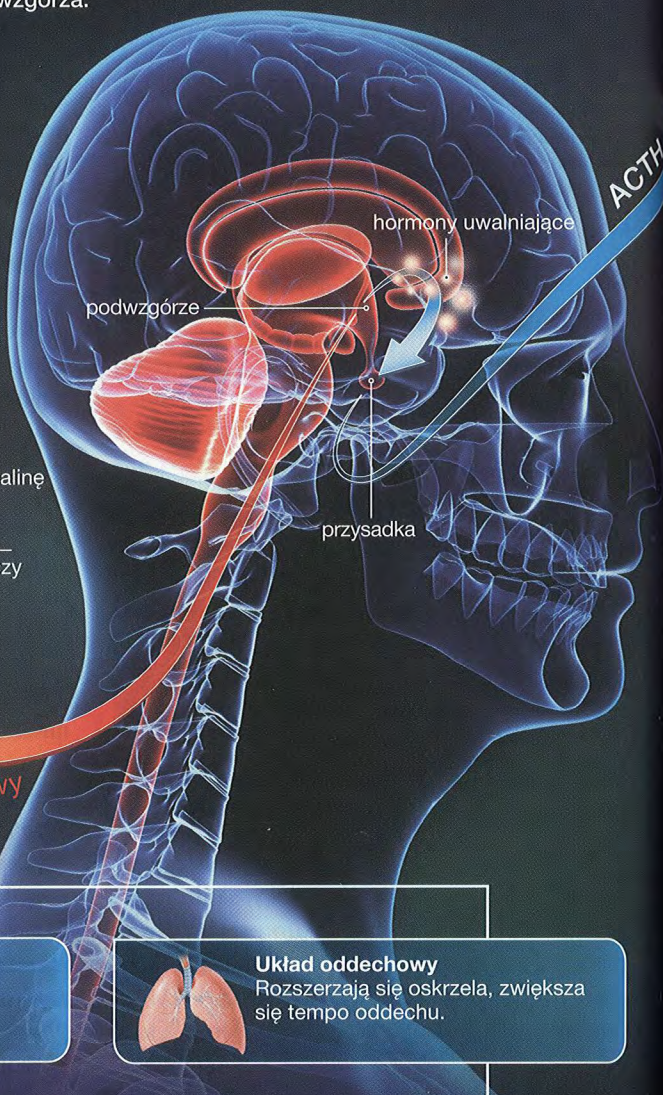
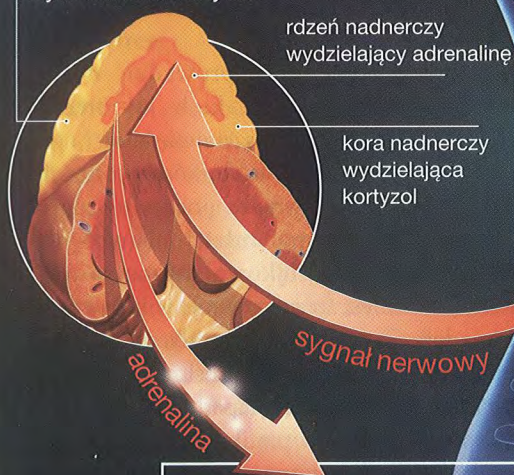
Bodziec stresowy wywołuje szereg reakcji układów nerwowego oraz hormonalnego, prowadzących do zmodyfikowania czynności niektórych tkanek i narządów. Umożliwia to zwiększenie aktywności organizmu i jego mobilizację do działania. O charakterze i nasileniu reakcji stresowej decydują ośrodki nerwowe kory mózgowej oraz układu limbicznego, szczególnie podwzgórza.

1 Faza I: alarm

W pierwszych chwilach po zadziałaniu stresora impulsy z mózgu (podwzgórza) aktywują współczulny układ nerwowy. Pobudza on rdzeń nadnerczy do wydzielania adrenaliny i noradrenaliny. Jest odpowiedzialny za tzw. reakcję walki lub ucieczki.

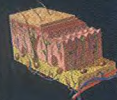
Nadnercze

jest gruczołem położonym na górnym końcu nerki. Rdzeń nadnerczy wydzielą hormon – adrenalinę. Natomiast kora nadnerczy wydzielą m.in. kortyzol.



Mózg

Zwiększa się ukrwienie mózgu.



Skóra

Zwężają się naczynia krwionośne w skórze, czego efektem jest błądź skóry.



Mięśnie

Rozszerzają się naczynia krwionośne w mięśniach szkieletowych.



Układ oddechowy

Rozszerzają się oskrzela, zwiększa się tempo oddechu.



Serce

Zwiększa się częstość skurczów serca (kołatanie) – rośnie ciśnienie krwi.

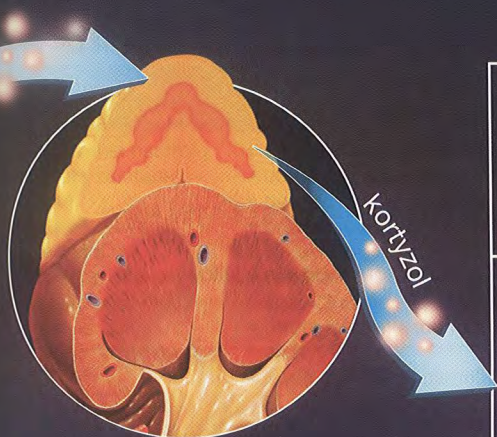


Wątroba

Glikogen zmagazynowany w wątrobie zostaje rozłożony do glukozy – wzrasta poziom glukozy we krwi.

2 Faza II: adaptacja

Po minutach lub godzinach od zadziałania stresora aktywuje się system podwzgórze-przysadka-nadnercza (oś HPA). Podwzgórze za pomocą hormonu uwalniającego pobudza przedni płat przysadki, który wydziela hormon adrenokortykotropowy (ACTH). Pobudza on korę nadnerczy do wydzielania glikokortykoidów (m.in. kortyzolu), które regulują natężenie reakcji stresowej.



Fazy reakcji stresowej

Stres jest zazwyczaj zjawiskiem krótkotrwałym (faza I: alarm). Po jego ustąpieniu następuje powrót fizjologicznych czynności organizmu do stanu wyjściowego. Dłuższy stres uruchamia mechanizmy adaptacyjne, aby skutecznie i bez nadmiernych zaburzeń radzić sobie ze stresorem (faza II: adaptacja). Jeśli organizm poradzi sobie z trudną sytuacją, to wszystko wraca do normy. W przeciwnym wypadku następuje III faza reakcji stresowej: wyczerpanie. Stałe pobudzenie całego organizmu (długotrwały stres) wywołuje głębokie zaburzenia czynności psychicznych i fizjologicznych organizmu. Prowadzi to do chorób, m.in. nadciśnienia tętniczego, miażdżycy, problemów z pamięcią oraz osłabienia reakcji odpornościowych organizmu, a w skrajnych wypadkach – do śmierci.



Mięśnie

Nasilenie glukoneogenezy w wątrobie skutkuje pozyskiwaniem aminokwasów z innych narządów, głównie z mięśni. Prowadzi to do zaników mięśniowych.



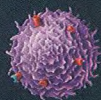
Wątroba

Zostaje pobudzony proces glukoneogenezy – powstawania glukozy z niecukrowych składników (aminokwasów), przez co wzrasta poziom glukozy we krwi.



Narządy zmysłów

Zmniejsza się zdolność odbierania najsłabszych bodźców, ale zwiększa się zdolność odróżniania bodźców, które są odbierane.



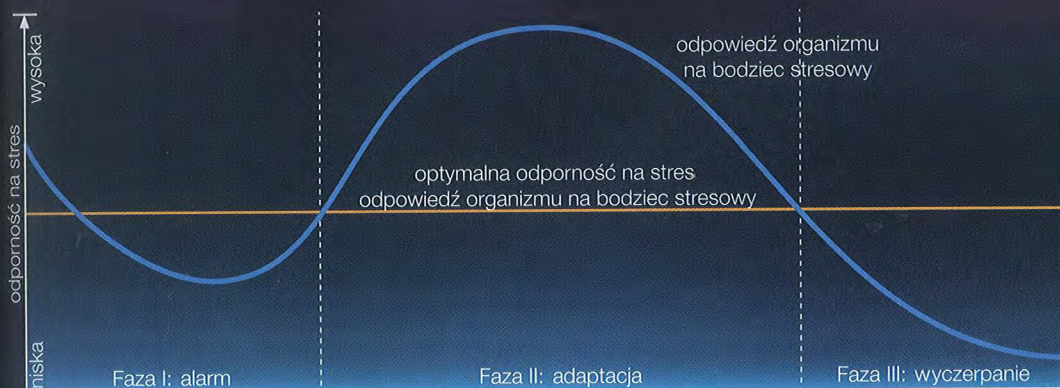
Układ odpornościowy

Następuje obniżenie reaktywności komórek układu odpornościowego, hamowane są reakcje zapalne i alergiczne. Nasila się rozpad białek, w tym białek układu odpornościowego.



Przysadka i podwzgórze

Hamowana jest aktywność przysadki i podwzgórza, co prowadzi do regulacji natężenia reakcji stresowej.



Depresja

Depresja jest najczęściej spotykanym zaburzeniem psychicznym. Charakteryzuje się przede wszystkim pogorszeniem nastroju, zmniejszeniem aktywności oraz lękiem. Cierpi na nią ok. 10% populacji świata, w tym dwukrotnie więcej kobiet niż mężczyzn.

■ PRZYCZYNA

Przyczyny depresji są złożone. Należą do nich:

- ▶ czynniki psychologiczno-społeczne (stres, żaloba, rozstanie, utrata pracy, pozycji społecznej, kryzys rodzinny, finansowy, kalectwo),
- ▶ czynniki somatyczne (choroba, zwłaszcza ciężka i przewlekła, stosowanie niektórych leków),
- ▶ czynniki dziedziczne (wrodzona skłonność do zaburzeń depresyjnych).

■ „ANATOMIA” DEPRESJI

U osób z depresją zidentyfikowano zmiany aktywności niektórych obszarów mózgu. Wiele naukowców wiąże je z obniżeniem poziomu neuroprzekaźników, głównie noradrenaliny i serotoniny.

- ➦ zwiększona aktywność u osób z depresją
- ➥ zmniejszona aktywność u osób z depresją
- ➥ **Kora przedczołowa** jest związana z przetwarzaniem informacji, osobowością i zachowaniami społecznymi.

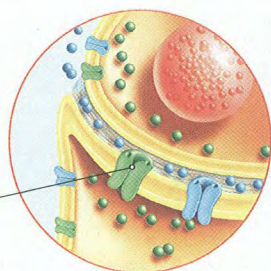
➦ **Kora przedniego zakrętu obręczy** bierze udział w emocjonalnej odpowiedzi na ból i regulacji gniewu.

Podwzgórze bierze udział w regulacji emocji i nastroju.

➦ **Wzgórze** kontroluje poziom pobudzenia i świadomości.

➦ **Ciało migdałowe** odpowiada za negatywne emocje.

zamknięty kanał błonowy u osoby dotkniętej depresją



otwarty kanał błonowy u osoby zdrowej



Niski poziom serotoniny i noradrenaliny powoduje, że kanały błonowe pozostają zamknięte. W efekcie obszary mózgu odpowiadające za emocje nie zostają odpowiednio pobudzone i może pojawić się depresja.

Wysoki poziom neuroprzekaźników powoduje otwarcie się kanałów błonowych i przekazanie pobudzenia do obszarów mózgu odpowiadających za regulowanie nastroju i emocji.

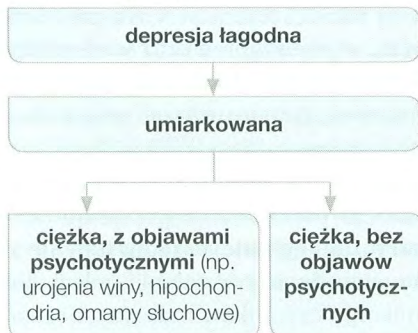
■ DIAGNOSTYKA

Depresja występuje wtedy, gdy przez co najmniej dwa tygodnie utrzymują się dwa objawy podstawowe i co najmniej dwa objawy dodatkowe. Nasilenie tych objawów w znacznym stopniu utrudnia codzienne funkcjonowanie.

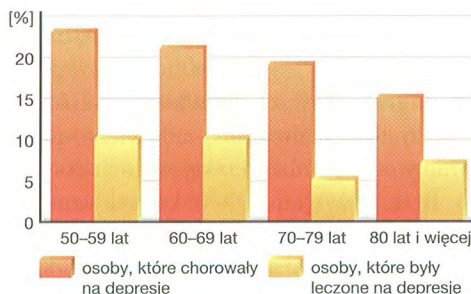
Objawy depresji

Objawy podstawowe	Objawy dodatkowe
• obniżenie nastroju • utrata zainteresowań • nieodczuwanie radości • spadek energii • nadmierna męczliwość	• utrata wiary w siebie • utrata poczucia własnej wartości • poczucie winy • problemy z pamięcią i koncentracją uwagi • zaburzenia snu • spowolnienie lub nadpobudliwość • utrata łaknienia lub nadmierny apetyt • myśli o śmierci i samobójstwie

Stopnie depresji



Depresja jest dużym problemem u ludzi w starszym wieku. Jej pojawieniu się sprzyjają choroby oraz zmniejszanie się kręgu przyjaciół. Niestety, wiele osób nie korzysta z pomocy lekarskiej.



Depresja u osób w starszym wieku w Polsce w 2007 r.

■ LECZENIE

W depresji stosuje się zwykle leczenie farmakologiczne (powodujące przywrócenie właściwego poziomu neuroprzekaźników) powiązane z psychoterapią. Uważa się, że leczenie farmakologiczne powinno być długotrwałe (min. 6 miesięcy). Psychoterapia polega na wspieraniu pacjenta, a także udzielaniu mu informacji o depresji. Znaczenie psychoterapii stopniowo wzrasta w przebiegu leczenia; często jest ona niezbędna w zapobieganiu nawrotom choroby.

■ PROFILAKTYKA

Profilaktyka depresji skupia się na czynnościach wpływających na poprawę nastroju. Ważne są:

- ▶ bliskie, szczere i autentyczne relacje z innymi,
- ▶ dobra relacja ze sobą (dzięki np. medytacji, relaksacji, modlitwie czy pisaniu pamiętnika),
- ▶ zdrowy sen (regularny, ciągły i odpowiednio długi),
- ▶ rozwiązywanie problemów (przy wsparciu bliskiej osoby lub profesjonalisty),
- ▶ regularna aktywność fizyczna,
- ▶ sprawianie sobie (i innym) drobnych przyjemności,
- ▶ dzielenie dużych zadań na mniejsze.

Warto zajrzeć!
 <http://www.depresja.net.pl/>

■ Powstawanie uzależnień

W powstawanie uzależnień są zaangażowane dwa układy funkcjonalne mózgu: układ kary i układ nagrody. Są to sieci neuronów przekazujące pobudzenie do różnych struktur mózgu za pomocą wytwarzanych neuroprzekaźników, np. dopaminy i acetylocholiny. Układy te są rozmieszczone w wielu częściach mózgu, m.in. w podwzgórzu oraz w elementach układu limbicznego. **Układ nagrody** jest związany z zaspokajaniem potrzeb organizmu, takich jak przyjmowanie pokarmu, wody czy kontakty seksualne, czemu towarzyszą **pozytywne emocje** (odczuwanie przyjemności). **Układ kary** funkcjonuje przeciwnie do układu nagrody. Jego działanie polega głównie na unikaniu czynników uważanych za szkodliwe. W swej najsilniejszej formie powoduje ucieczkę przed niebezpieczeństwem. Wyzwała on **negatywne emocje** i odczucia, np. strach, ból, głód czy pragnienie.

Układ nagrody jest zaangażowany właściwie we wszystkie zachowania człowieka, np. pobieranie wody, pokarmu, aktywność seksualną itp. Brak pożywienia, a w konsekwencji zmniejszenie stężenia glukozy we krwi, jest sygnałem dla podwzgórzowego ośrodka głodu, który wywołuje uczucie łaknienia, motywując organizm do poszukiwania pokarmu. W tej sytuacji jedzenie staje się przyjemnością, pobudza bowiem układ nagrody. Przyjęcie odpowiedniej ilości pokarmu spowoduje zwiększenie stężenia glukozy we krwi – podwzgórzowy ośrodek sytości będzie tłumić układ nagrody związany z jedzeniem. Dalsze spożywanie pokarmu może już przynieść karę dla organizmu – np. złe samopoczucie. Układy nagrody i kary zazwyczaj działają sprawnie i precyzyjnie. Jednak w pewnych warunkach ich funkcjonowanie ulega zaburzeniom. Przejawami tych zaburzeń są poważne anomalie zachowania, takie jak bulimia, anoreksja, zaburzenia seksualne czy nadmierna agresywność.

W normalnych warunkach układ nagrody jest pobudzany np. przez dopaminę – neuroprzekaźnik wytwarzany przez komórki nerwowe. Środki uzależniające mogą modyfikować

wytwarzanie odpowiednich neuroprzekaźników, naśladować lub hamować ich działanie.

Uzależnienie jest więc chorobą układu kary i układu nagrody. U osób uzależnionych aktywność tych układów zostaje zaburzona: maleje rola układu kary, a rośnie – układu nagrody. Substancja lub czynność (np. uprawianie hazardu, seksu, zakupoholizm), od której dana osoba się uzależnia i która dostarcza przyjemności, jest dla tej osoby rodzajem natychmiastowej gratyfikacji, którą może zdobyć przy niewielkim wysiłku.

■ Choroby neurologiczne

Ciężką chorobą neurologiczną jest **stwardnienie rozsiane** (łac. *sclerosis multiplex* – SM). Jej przyczyną jest zanikanie osłonki mielinowej, przede wszystkim w rdzeniu kręgowym, mózdzku i nerwach wzrokowych. Postępujący zanik osłonki mielinowej powoduje zaburzenia w przewodzeniu impulsów nerwowych. Prowadzi to do występowania wielu objawów, np. zaburzeń czuciowych, ruchowych, równowagi, pamięci, zmęczenia i zespołów bólowych. Leczenie polega m.in. na podawaniu leków modulujących lub hamujących czynność układu odpornościowego oraz na rehabilitacji chorego.

W **chorobie Parkinsona** obserwuje się uszkodzenie komórek nerwowych śródmózgowia. Komórki te wytwarzają dopaminę, stąd ich uszkodzenie skutkuje niedoborem tego neuroprzekaźnika. W efekcie pojawiają się zaburzenia – początkowo spowolnienie ruchowe, a po pewnym czasie zaburzenia równowagi i trudności z wykonywaniem czynności. Z czasem choroba doprowadza do inwalidztwa. W jej leczeniu stosuje się farmaceutyki, rehabilitację, a niekiedy operacje neurochirurgiczne.

W **chorobie Alzheimera** obserwuje się zanik kory mózgowej, począwszy od części przyśrodkowej płata skroniowego. Efektem są zaburzenia pamięci, a wraz z postępem choroby – także innych funkcji poznawczych (spostrzegania, uwagi, myślenia), zachowania, mowy i czynności ruchowych. W zaawansowanym stadium choroby dotknięta nią osoba wymaga stałej opieki. Choroba Alzheimera jest chorobą postępującą



Za pomocą badania elektroencefalograficznego (EEG) można zobrazować czynność mózgu. Wykorzystywane do tego celu urządzenie przedstawia impulsy elektryczne w postaci falistych linii, które drukuje się na papierze. Badanie pozwala rozpoznać wiele chorób układu nerwowego, m.in. padaczkę.

– jak dotąd nie wynaleziono sposobu leczenia, który zatrzymałby całkowicie jej rozwój. Jakość życia osób dotkniętych tą chorobą oraz ich rodzin można podnieść dzięki podawaniu choremu leków, jego rehabilitacji, a także udziału w terapii zajęciowej.

Padaczka, zwana również epilepsją, powstaje na skutek zaburzeń czynności mózgu spowodowanych urazami lub czynnikami genetycznymi. Z powodu nieprawidłowych wyładowań grup neuronów w mózgu następuje utrata świadomości lub przytomności, występują drgawki oraz bezdech. W terapii padaczki stosuje się leczenie farmakologiczne wymagające dokładnego rozpoznania przyczyny napadów.

■ Sen

Sen stanowi jeden z warunków prawidłowego funkcjonowania organizmu. Jego brak powoduje takie zaburzenia czynności układu nerwowego, jak: nerwowość, drżenie rąk; zaburzenia widzenia, wzmożona wrażliwość skóry czy trudności z koncentracją. Zapotrzebowanie na sen zmienia się u człowieka wraz z wiekiem. Noworodek śpi ok. 21 godz. na dobę, dzieci w wieku 3–4 lat potrzebują ok. 12 godz. snu oraz drzemki w ciągu dnia. Sześcioletki śpią ok. 10 godz., 12-latkę – 9 godz., a osoby dorosłe ok. 7–8 godz. Podane liczby są przybliżone, gdyż zapotrzebowanie na sen jest dla każdego indywidualne i wynika m.in. z trybu życia.

Obliczono, że na sen człowiek poświęca prawie 1/3 życia.

W czasie snu aktywność mózgu ulega wyrażnym cyklicznym zmianom. Badania nad snem obejmują m.in. rejestrację szybkości ruchów gałek ocznych. Na podstawie wyników badań wyróżnia się dwa rodzaje (fazy) snu:

▶ **sen wolnofalowy** – zwany fazą NREM (ang. *non-rapid eye movement* – nieszybkie ruchy gałek ocznych);

▶ **sen paradoksalny**, zwany również czynnym, określane jako faza REM (ang. *rapid eye movements*, czyli szybkie ruchy gałek ocznych).

Człowiek zapada w **sen wolnofalowy** zaraz po zaśnięciu. W tym czasie następują zmiany wielu fizjologicznych czynności organizmu, np.:

- ▶ zwolnienie akcji serca,
- ▶ obniżenie ciśnienia krwi (o 10–30 mm Hg),
- ▶ obniżenie temperatury ciała (o ok. 0,5°C),
- ▶ zmniejszenie tempa oddychania oraz znaczne spłycenie oddechu,
- ▶ rozkurcz większości mięśni szkieletowych,
- ▶ spowolnienie pracy mięśni gładkich – treść pokarmowa przechodzi przez przewód pokarmowy z mniejszą prędkością,
- ▶ przyspieszenie procesów gojenia się ran i oparzeń – śpiący organizm zajęty jest naprawą i konserwacją.

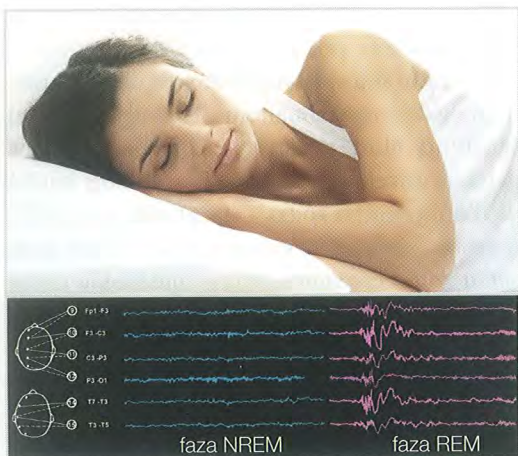
W czasie snu receptory w ciele nie przerywają pracy, lecz stale odbierają bodźce i wysyłają sygnały do ośrodkowego układu nerwowego. Niektóre z bodźców powodują przerwanie snu. Mogą to być bodźce zewnętrzne (np. płacz dziecka, dźwięk budzika, obecność dymu) lub bodźce wewnętrzne (np. wypełnienie pęcherza, głód czy pragnienie).

W opisywanej fazie snu człowiek wykonuje nieświadome ruchy, np. przekręca się z boku na bok, co zapobiega uszkodzeniu naczyń krwionośnych pod wpływem długotrwałego ucisku.

Podczas kolejnej fazy snu, zwanej fazą **snu paradoksalnego**, obserwuje się:

- ▶ zwiększenie przepływu krwi przez mózg,
- ▶ mniejszą regularność czynności serca i oddychania.

Badanie elektroencefalograficzne (EEG) wykazuje, że zmiany potencjałów elektrycznych,



W nocy mózg przechodzi kolejne fazy snu, nieustannie krążąc między stanami minimalnego pobudzenia i aktywności graniczącej ze stanem czuwania.

czyli fale mózgu, są w tej fazie bardziej podobne do fal w stanie czuwania niż tych, które pojawiają się podczas snu klasycznego. U większości ludzi w fazie snu paradoksalnego występują charakterystyczne **gwałtowne ruchy gałek ocznych**. Fазie tej towarzyszą też **marzenia senne**. Przebudzenie na tym etapie snu sprawia, że większość osób potrafi opisać ich treść. (zdaniem naukowców, z dużym prawdopodobieństwem można powiedzieć, że ludzie mają marzenia senne także w czasie snu wolnofalowego). Sen kończy się zwykle fazą paradoksalną, gdyż stosunkowo łatwo można się z niej wybudzić.

Warunkiem właściwego wypoczynku jest występowanie obu faz snu w odpowiednich

proporcjach. Sen paradoksalny pojawia się średnio co 90 min. W sumie u osoby dorosłej zajmuje on ok. 25% całego cyklu snu, natomiast pozostałe 75% to sen wolnofalowy.

■ Rytmu biologiczne

Procesy fizjologiczne wykazują pewną rytmiczność – podlegają zmianom w czasie. Są to **rytmu biologiczne**, czyli okresowe zmiany natężenia procesów biologicznych i fizjologicznych funkcji organizmu. Zależą one od czynników zewnętrznych, takich jak pory roku czy pory dnia, oraz czynników wewnątrzustrojowych, czyli tzw. zegara biologicznego. U człowieka rytmowi dobowemu podlegają:

- ▶ sekwencja stanów czuwania i snu,
- ▶ temperatura ciała,
- ▶ wydzielanie hormonów,
- ▶ pobieranie pokarmu,
- ▶ stężenie glukozy we krwi,
- ▶ wydajność umysłowa.

W ciągu doby zmienia się m.in. temperatura ciała. Wzrasta ona w ciągu dnia, szczyt osiąga pod wieczór, a obniża się w trakcie snu, osiągając wartość minimalną nad ranem, ok. godz. 5. Natomiast wydzielanie żeńskich hormonów płciowych oraz owulacja są poddawane rytmowi okołomiesięcznemu. Dobowe rytmy, m.in. snu i czuwania, są wyznaczone przez wewnętrzny zegar biologiczny, który nadaje rytm aktywności organizmu. Jest on zlokalizowany w **podwzgórzu** i zależy od cyklu światła i ciemności.

Polecenia kontrolne

1. Wymień czynniki, które mogą stać się źródłem stresu.
2. Wyjaśnij, jakie mogą być następstwa długotrwałego stresu.
3. Przygotuj badanie (np. za pomocą ankiety) sprawdzające świadomość społeczną na temat:
 - a) przyczyn powstawania depresji.
 - b) sposobów zapobiegania powstawaniu tej choroby.
4. Scharakteryzuj sposób działania układu nagrody.
5. Uzasadnij stwierdzenie, że uzależnienie jest chorobą układów kary i nagrody.
6. Określ znaczenie snu dla prawidłowego funkcjonowania organizmu.
7. Na podstawie dostępnych źródeł przygotuj prezentację dotyczącą funkcjonowania zegara biologicznego człowieka.

Podsumowanie

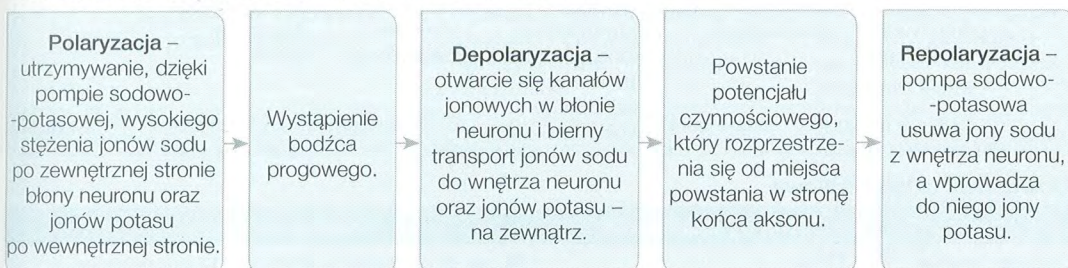
Podział układu nerwowego

Podział anatomiczny		Podział funkcjonalny	
ośrodkowy układ nerwowy	obwodowy układ nerwowy	somatyczny układ nerwowy	autonomiczny układ nerwowy
• składa się z mózgowia i rdzenia kręgowego • pełni funkcje kontrolne: odbiera bodźce, analizuje je i decyduje o reakcji organizmu	• składa się z nerwów czaszkowych, rdzeniowych, zwojów nerwowych i receptorów • odbiera bodźce z otoczenia, przesyła informacje pomiędzy receptorami, ośrodkowym układem nerwowym a efektorami	• odbiera bodźce pochodzące spoza organizmu • odpowiada za świadome czynności organizmu	• odbiera bodźce z wnętrza organizmu • odpowiada za czynności niezależne od woli

Funkcjonalny podział neuronów

NEURONY		
Czuciowe	Ruchowe	Pośredniczące
• przewodzą impulsy nerwowe od receptorów do ośrodkowego układu nerwowego	• przewodzą impulsy z ośrodkowego układu nerwowego do narządów wykonawczych (efektorów)	• występują pomiędzy neuronami czuciowymi a ruchowymi, dokonują analizy informacji docierających w postaci impulsów

Mechanizm przewodnictwa impulsu w błonie neuronu



Porównanie synaps

Cecha	Synapsa elektryczna	Synapsa chemiczna
Budowa synapsy	ściśle połączenie aksonu jednej komórki z dendrytem następnej	między wypustkami neuronów występuje szczelina synaptyczna
Mechanizm działania	impuls elektryczny biegnie bezpośrednio z jednej komórki do następnej	impuls elektryczny powoduje uwolnienie cząsteczek neuroprzekaźnika, które przedostają się przez szczelinę i wiążą z receptorami kolejnej komórki
Opóźnienie impulsu	bez opóźnień	opóźnienie będące skutkiem procesów wydzielania oraz przyłączania neuroprzekaźnika

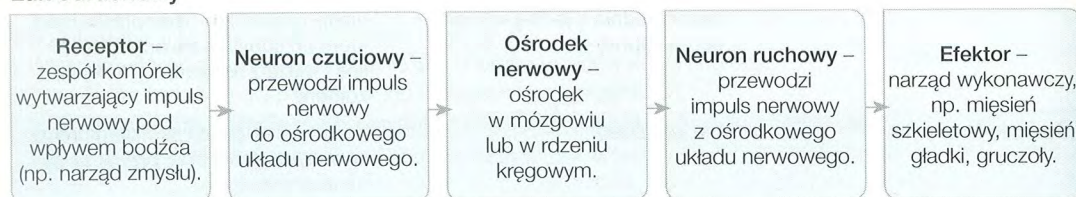
Budowa i funkcje ośrodkowego układu nerwowego

	Mózgowie					Rdzeń kręgowy
	kresomózgowie	mięzymózgowie	śródmózgowie	tyłomózgowie wtórne (móżdżek i most)	rdzeń przedłużony	
Budowa	- ma postać dwóch półkul połączonych ciałem modzełowym - w skład półkul wchodzi: istota szara, tworząca korę mózgu, oraz położona pod nią istota biała, tworząca drogi nerwowe	- znajduje się pod półkulami kresomózgowia - jego ważnym elementem jest podwzgórze	jest częścią pnia mózgu	- móżdżek składa się z dwóch półkul, które łączy tzw. robak - most to fragment pnia mózgu położony między śródmózgiem a rdzeniem przedłużonym	- łączy mózgowie z rdzeniem kręgowym - znajdują się w nim skupienia istoty szarej, stanowiące ośrodki nerwowe wielu ważnych czynności odruchowych	- przebiega w kanale kręgowym - istota szara jest położona w głębi rdzenia, natomiast istota biała – na zewnątrz
Funkcja	- odpowiada za większość świadomych czynności - kontroluje pracę mięśni szkieletowych - analizuje odebrane bodźce - odpowiada za uczenie się, zapamiętywanie i kojarzenie	- kontroluje czynności niezależne od woli (termoregulacja, przemiana materii itp.) - hormony podwzgórza wpływają na czynności gruczołów dokrewnych	- ośrodek odruchów wzrokowych (zmiana wielkości źrenicy, ruch powiek) oraz słuchowych (odwracanie głowy w stronę źródła dźwięku) - odpowiada za koordynację ruchów szybkich i mimowolnych	- móżdżek odpowiada za koordynację ruchów - most pośredniczy w przepływie sygnałów między mózgiem, móżdżkiem i rdzeniem przedłużonym	- kontroluje czynności odruchowe (kichań, kaszel itp.) - znajdują się w nim ośrodki regulujące ruchy oddechowe, ciśnienie krwi, częstotliwość skurczów serca	umożliwia przesyłanie impulsów z receptorów do mózgowia i z mózgowia do efektorów

Obwodowy układ nerwowy

Cecha	Nerwy czaszkowe	Nerwy rdzeniowe
Liczba nerwów	12 par	31 par (8 par nerwów szyjnych, 12 par nerwów piersiowych, 5 par nerwów lędźwiowych, 5 par nerwów krzyżowych i 1 para nerwów guzicznych)
Miejsce, gdzie się zaczynają	mózgowie	rdzeń kręgowy
Rodzaj nerwów	czuciowe, ruchowe i mieszane	mieszane

Łuk odruchowy



Rodzaje odruchów

Odruchy bezwarunkowe	Odruchy warunkowe
• powstają bez udziału kory mózgowej • są typowe dla wszystkich przedstawicieli gatunku i są dziedziczne	• wymagają zaangażowania ośrodków kory mózgu • wykształcają się w trakcie życia osobnika i nie są dziedziczne • mogą zaniknąć, jeśli nie są utrwalane

Układ autonomiczny

UKŁAD AUTONOMICZNY

Część współczulna – odpowiada za przygotowanie organizmu do wysiłku fizycznego

- rozszerzanie źrenicy i pobudzenie wydzielania łez
- wydzielanie gęstej śliny i amylazy
- rozszerzanie dróg oddechowych
- przyspieszanie pracy serca
- hamowanie wydzielania soku żołądkowego i ruchów żołądka
- pobudzanie wątroby do uwalniania glukozy do krwi oraz hamowanie wydzielania żółci
- hamowanie perystaltyki jelit i wydzielania enzymów jelitowych
- hamowanie wydzielania soku trzustkowego i insuliny
- rozszerzenie ścian pęcherza moczowego

Część przywspółczulna – jej działanie dominuje w stanach relaksu i snu

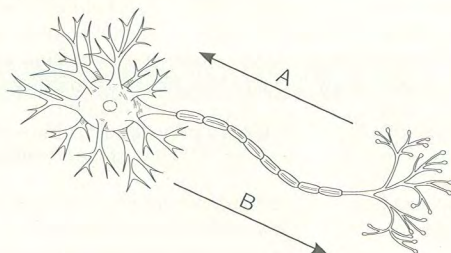
- zwężanie źrenicy i hamowanie wydzielania łez
- wydzielanie wodnistej śliny
- zwężanie dróg oddechowych
- zwalnianie pracy serca
- pobudzanie wydzielania soku żołądkowego i ruchów żołądka
- pobudzanie wątroby do wchłaniania glukozy z krwi i wydzielania żółci
- pobudzanie perystaltyki jelit i wydzielania enzymów jelitowych
- pobudzanie wydzielania soku trzustkowego i insuliny
- skurcz ścian pęcherza moczowego

Choroby układu nerwowego

Nazwa	Przyczyny	Skutki	Leczenie i profilaktyka
Nerwice	długotrwały stres, lęki, poczucie zagrożenia, nagłe i duże zmiany	poczucie niepokoju lub zagrożenia, napięcie, w wypadku nerwicy lękowej (fobii) – obawy przed określonymi sytuacjami, przedmiotami lub zwierzętami	unikanie sytuacji stresowych, leczenie pod okiem specjalisty, psychoterapia, niekiedy konieczność zażywania leków
Depresja	złożone, m.in. długotrwały lub silny stres	zły nastrój, kłopoty z koncentracją, lęk, zaniżona samoocena	w miarę możliwości unikanie sytuacji stresowych, leczenie pod kontrolą specjalisty – farmakologiczne, psychoterapia
Stwardnienie rozsiane	choroba autoimmunizacyjna, zanikanie osłonki mielinowej neuronów	zaburzenia w przesyłaniu impulsów nerwowych, prowadzące np. do zaburzeń czuciowych, ruchowych, równowagi, pamięci	leczenie farmakologiczne, rehabilitacja, terapia zajęciowa
Choroba Parkinsona	niedobór dopaminy wywołany uszkodzeniem neuronów śródmózgowia	początkowo spowolnienie ruchów, później zaburzenia równowagi, trudności w wykonywaniu ruchów precyzyjnych	leczenie farmakologiczne, rehabilitacja, terapia zajęciowa, czasami leczenie neurochirurgiczne
Choroba Alzheimer	stopniowy zanik kory mózgowej	zaburzenia pamięci, zachowania, mowy i czynności ruchowych	leczenie farmakologiczne, rehabilitacja, terapia zajęciowa
Padaczka (epilepsja)	zaburzenia czynności mózgu spowodowane np. urazami lub czynnikami genetycznymi	napady padaczkowe wywołane nadmierną aktywnością grup neuronów: drgawki, utrata świadomości, bezdech	leczenie farmakologiczne wymagające dokładnego rozpoznania przyczyny napadów

Test maturalny

- 1 Na ilustracji przedstawiono neuron – podstawową jednostkę anatomiczną i czynnościową układu nerwowego.



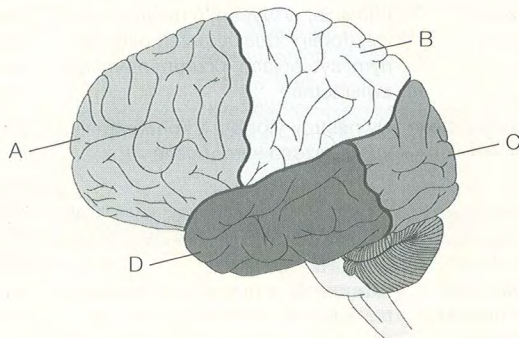
- a) Określ kierunek przepływu impulsu nerwowego przez neuron. Podkreśl prawidłową odpowiedź.

kierunek A / kierunek B

- b) Wyjaśnij, do czego służą osłonka mielinowa aksonu oraz występujące w niej węzły.

.....

- 2 Ilustracja przedstawia mózg ludzki z zaznaczeniem poszczególnych pól.



- a) Podaj nazwy pól zaznaczonych na ilustracji literami A–D.

A.

C.

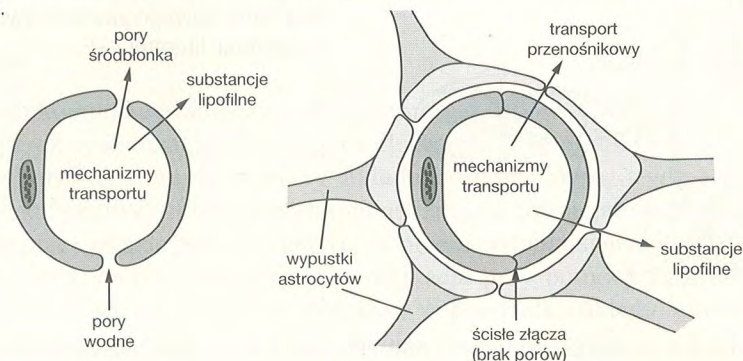
B.

D.

- b) Zaznacz typowy objaw uszkodzenia struktury oznaczonej na ilustracji literą X.

- A. Utrata pamięci krótkotrwałej.
 B. Utrata napięcia mięśniowego.
 C. Zaburzenia czynności odruchowych.
 D. Zaburzenia słuchu.

- 3 Ilustracja przedstawia przekrój poprzeczny przez dwa typy naczyń włosowatych: naczynia występujące w większości tkanek ciała i naczynia występujące w mózgu (tworzące tzw. barierę krew-mózg).



- a) Określ, którego typu naczyń włosowatych dotyczy każda z wymienionych cech. Wpisz znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

Cechy naczyń	Typy naczyń	Naczynia włosowate ciała	Naczynia włosowate w mózgu
Dyfuzja przez pory wodne			
Transport substancji rozpuszczalnych w tłuszczach przez błony		X	X
Transport przenośnikowy			
Dodatkowa warstwa ochronna wokół naczynia			X

- b) Wyjaśnij, jaki wpływ na rozprzestrzenianie się cząsteczek chemicznych (np. leków) ma bariera krew-mózg.

.....

.....

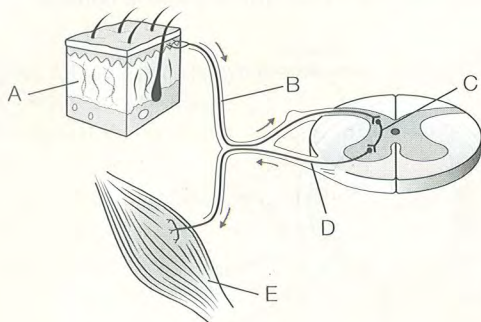
- 4 Błona komórkowa neuronu jest nośnikiem impulsu nerwowego, będącego przesuwającą się wzdłuż tej błony falą depolaryzacji.

Ustal prawidłową kolejność etapów przewodzenia impulsu nerwowego w neuronie. Etap 1. został podany.

1. Błona neuronu jest spolaryzowana, z przewagą ładunku dodatniego na zewnątrz.
2. Dochodzi do niewielkiego odwrócenia stanu polaryzacji błony w obszarze pobudzenia.
3. W miejscu pobudzonego włączają się pompy sodowo-potasowe, przywracające stan polaryzacji.
4. W danym miejscu błony neuronu otwierają się kanały dla jonów K^+ i Na^+ .
5. Przez kanały błonowe w tym miejscu neuronu na zewnątrz wypływają jony K^+ , a do środka napływają jony Na^+ .
6. W bliskim sąsiedztwie danego miejsca w błonie komórkowej neuronu zaczyna się przepływ jonów K^+ i Na^+ przez błonę.
7. Dochodzi do zaburzenia stanu polaryzacji kolejnego, sąsiadującego z drugiej strony pobudzonego miejsca, fragmentu błony neuronu.

Prawidłowa kolejność zdarzeń: 1,

5 Ilustracja przedstawia schemat łuku odruchowego.



a) Podaj nazwy poszczególnych elementów łuku odruchowego zaznaczonych na ilustracji literami A–E.

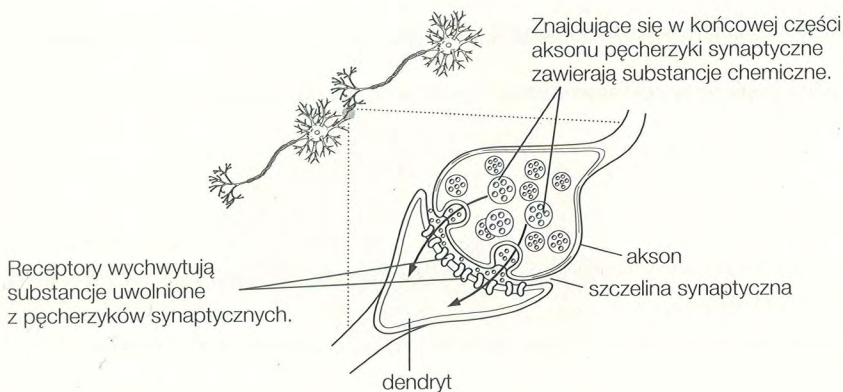
- A.
 B.
 C.
 D.
 E.

b) Opisz trzy różnice pomiędzy odruchem warunkowym a odruchem bezwarunkowym.

1.
2.
3.

6 Ilustracja przedstawia połączenie synaptyczne, znajdujące się między dwiema komórkami nerwowymi.

Uzereguj kolejne etapy zmian w połączeniu synaptycznym w związku z przejściem impulsu nerwowego, wpisując numery 2–6.



3. ... Przekaznik chemiczny dostaje się do szczeliny synaptycznej.
6. Dochodzi do depolaryzacji błony postsynaptycznej, co wywołuje w niej impuls nerwowy o charakterze elektro-chemicznym.
1. Do kolbki synaptycznej aksonu dociera depolaryzacja błony komórkowej.
5. Część przekaznika dociera do błony postsynaptycznej i łączy się z jej receptorami, co otwiera kanały jonowe w tej błonie.
2. Część pęcherzyków synaptycznych, z nagromadzonym w nich przekaznikiem chemicznym, zbliża się do błony presynaptycznej.
4. Przekaznik chemiczny przemieszcza się zgodnie z gradientem stężeń, przy czym część jego cząsteczek jest w tym czasie rozkładana enzymatycznie.

To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PR), zad. 5.

Sprawny system komunikacji między komórkami organizmów wielokomórkowych może być osiągnięty poprzez sygnalizację chemiczną i elektryczną. W organizmie człowieka sygnały chemiczne wykorzystywane są w pracy układu hormonalnego, wydzielającego do krwi substancje przekaźnikowe – hormony. Natomiast zmiany potencjału elektrycznego komórek leżą u podstaw pracy układu nerwowego. Tu do przekazywania sygnałów elektrycznych służą wyspecjalizowane komórki – neurony. Komunikacja przy pomocy neuronów jest szybka, ale pobudzenie komórek ma nietrwały charakter. W przypadku układu hormonalnego wpływ na docelowe komórki jest znacznie dłuższy, chociaż prędkość przekazu jest niewielka. (...)

Na podstawie informacji zawartych w powyższym tekście skonstruuj i wypełnij tabelę porównującą funkcjonowanie układów: nerwowego i hormonalnego. Uwzględnij w niej takie cechy, jak: rodzaj przekazywanych sygnałów, ich drogę przemieszczania się po organizmie oraz szybkość, z jaką są one przekazywane.

[illegible]

Zadanie 2. (2 pkt)

Źródło: CKE 2005 (PP), zad. 19.

W Polsce i na świecie zauważono od dawna zanikanie u niektórych dorosłych umiejętności czytania i pisania (czyli zjawisko wtórnego analfabetyzmu), mimo że opanowali oni te czynności w szkole.

Określ, do jakiej kategorii odruchów należą umiejętności czytania i pisanie oraz wyjaśnij, dlaczego.

Podaj prawdopodobną przyczynę zaniku tego typu odruchu wśród wtórnych analfabetów.

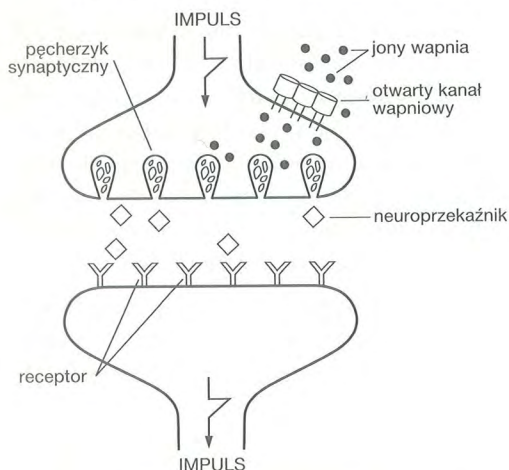
[Faint handwriting on lined paper]

Zadanie 3. (3 pkt)

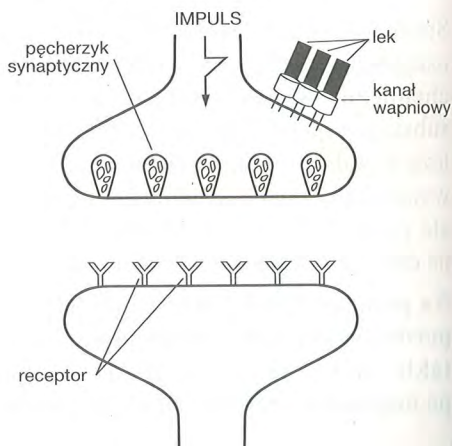
Źródło: CKE 2009 (PR), zad. 22.

Na schematach A i B przedstawiono sposób działania pewnego leku i jego wpływ na funkcjonowanie synapsy.

A) stan przed zastosowaniem leku



B) stan po zastosowaniu leku



Na podstawie analizy powyższych schematów opisz trzy kolejne następstwa działania przedstawionego leku.

1.
2.
3.

Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PR), zad. 21.

Poniżej podano pewne informacje dotyczące powstawania klasycznego odruchu warunkowego:

1. Widok, zapach i smak pokarmu zjadanego przez psa powoduje wydzielanie śliny.
2. Inne bodźce (obojętne), np. dźwięk dzwonka bez połączenia z podawaniem pokarmu, nie powodują wydzielania śliny u psa.
3. Włączenie dzwonka i jednocześnie podawanie pokarmu powoduje wydzielanie śliny.
4. Po wytworzeniu odruchu, dźwięk dzwonka bez podania pokarmu powoduje wydzielanie śliny.

a) Wyjaśnij, czy jednorazowe włączenie dzwonka i podanie pokarmu (pkt 3) doprowadzi do powstania odruchu warunkowego.

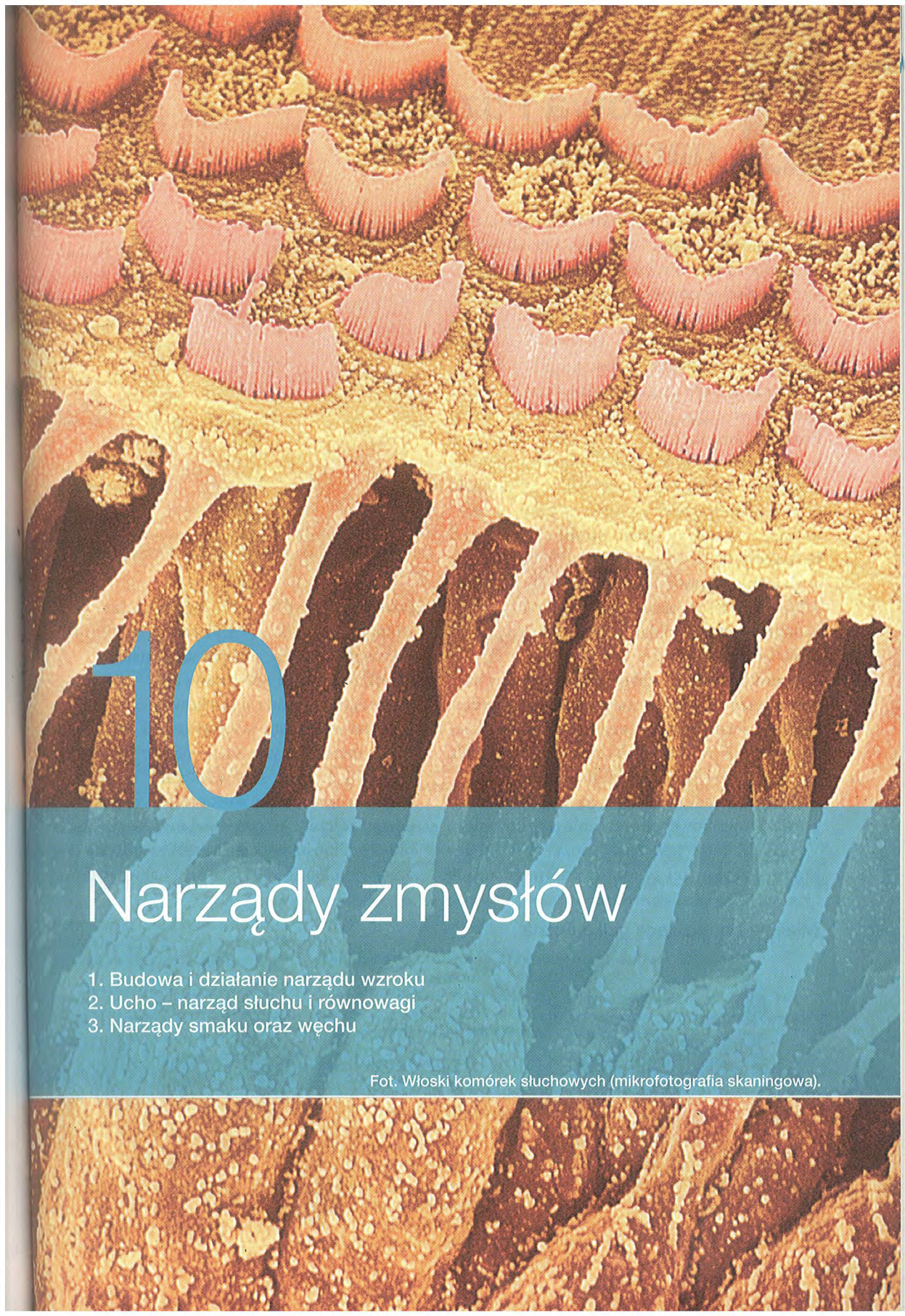
.....

.....

b) Wyjaśnij, na czym polega wytworzenie klasycznego odruchu warunkowego.

.....

.....



10

Narządy zmysłów

1. Budowa i działanie narządu wzroku
2. Ucho – narząd słuchu i równowagi
3. Narządy smaku oraz węchu

Fot. Włoski komórek słuchowych (mikrofotografia skaningowa).

1

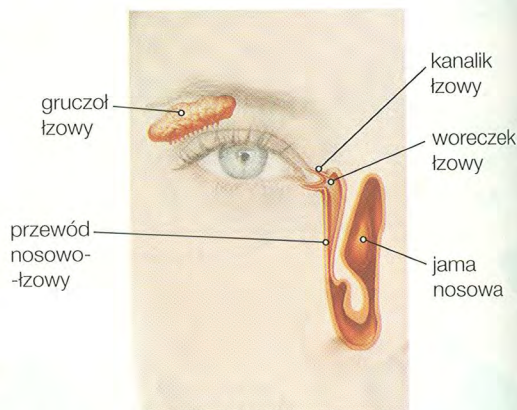
Budowa i działanie narządu wzroku

Narzędem wzroku jest **oko**. Umożliwia ono rozróżnianie barw i widzenie przedmiotów znajdujących się w różnych odległościach. Oko jest umiejscowione w kostnym oczodole. Składa się z gałki ocznej, nerwu wzrokowego oraz narządów dodatkowych – aparatu ruchowego i aparatu ochronnego gałki ocznej.

Aparat ochronny gałki ocznej stanowią: powieki, brwi, rzęsy, spojówki oraz narząd łzowy. **Powieki** chronią gałkę oczną i rozpraszają na jej powierzchni łzy. **Brwi i rzęsy** zatrzymują cząsteczki kurzu oraz pyłu. Wnętrze powieki i część gałki ocznej wyścieła gładka, wilgotna błona śluzowa, zwana **spojówką**. **Narząd łzowy** składa się z gruczołów łzowych, których wydzielinę stanowią łzy. Zawierają one **lizozym** – białko o właściwościach bakteriobójczych. Ich zadaniem jest nawilżanie i oczyszczanie spojówki oraz rogówki.

Aparat ruchowy każdego oka składa się z **sześciu mięśni**. Z jednej strony mięśnie są przyczepione do ściany gałki ocznej, z drugiej – do ściany oczodołu. Mięśnie gałki ocznej umożliwiają jej ruchy wewnątrz oczodołu. Możemy wpływać na ich pracę, ponieważ są one zbudowane z tkanki mięśniowej poprzecznie prążkowanej.

Gałka oczna jest zasadniczą częścią narządu wzroku. Jej wnętrze jest wypełnione



Gruczoły łzowe stale wytwarzają niewielkie ilości łez. Większość łez wyparowuje, reszta spływa do jamy nosowej.

galaretowatym płynem zwanym **ciałem szklanym**. Ścianę gałki ocznej tworzą trzy błony:

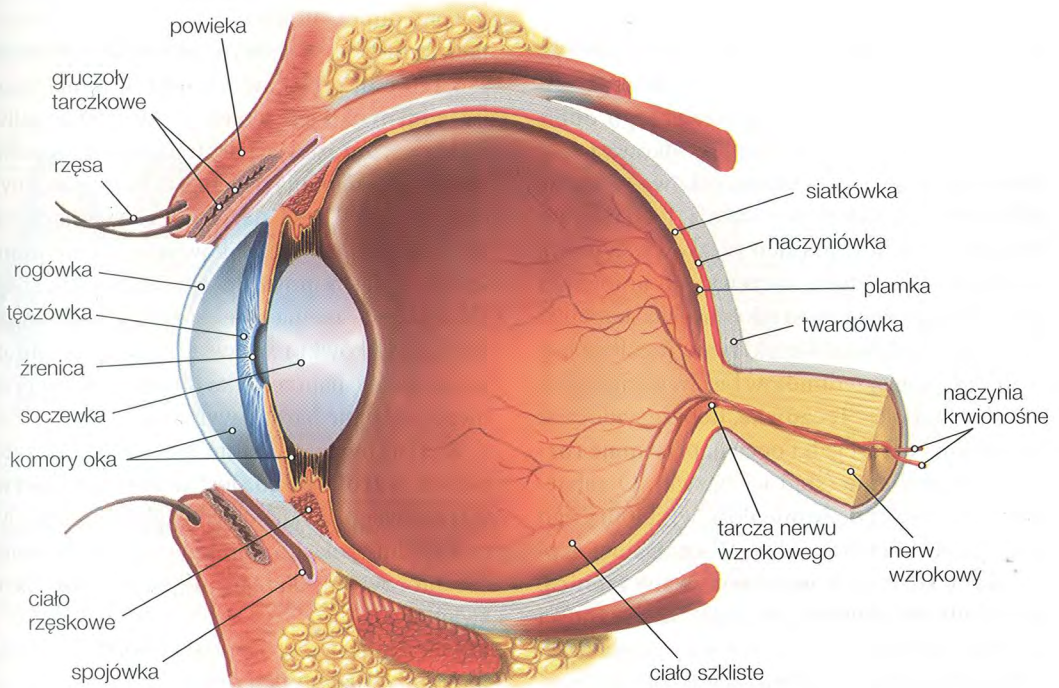
- ▶ zewnętrznie leżąca **błona włóknista**,
- ▶ środkowa **błona naczyniowa**,
- ▶ wewnętrzna błona – **siatkówka**.

Błona włóknista w tylnej części gałki ocznej jest nieprzezroczysta i nosi nazwę **twardówki**. Jej barwa zmienia się z wiekiem – u dzieci jest białoniebieskawa, w wieku starszym przyjmuje odcień żółtawy. W przedniej części gałki ocznej błona włóknista jest cieńsza, przezroczysta i bardziej wypukła. Ten obszar nosi nazwę **rogówki**.

Mięśnie poruszające gałką oczną



Budowa oka



Powieka to fałd skóry, który ochrania i nawilża oko.

Gruczoły tarczowe wydzielają łój, który zapobiega nieustannemu wypływowi łez i tworzy warstwę ograniczającą ich parowanie.

Rogówka to przednia część błony włóknistej. Skupia światło i stanowi ochronę mechaniczną gałki ocznej.

Tęczówka to przednia część błony naczyniowej, która zmienia wielkość źrenicy, dostosowując oko do warunków oświetlenia. Zapobiega również wnikaniu do oka nadmiernej ilości światła.

Źrenica jest otworem, przez który światło przedostaje się w głąb oka.

Soczewka jest przezroczystą strukturą załamującą promienie świetlne. Odpowiada za zdolność ostrego widzenia.

Komory oka to przestrzeń wypełniona płynem wodnistym.

Ciało rzęskowe jest elementem błony naczyniowej. Wytwarza płyn wodnisty wypełniający komory oka i – wpływając na kształt soczewki – bierze udział w regulacji ostrości widzenia.

Spojówka to przezroczysta błona, która pokrywa wewnętrzną stronę powiek oraz część gałki ocznej. Wytwarza śluz nawilżający i chroniący gałkę oczną przed drobnymi zanieczyszczeniami.

Ciało szkliste ma postać przezroczystej galaretowatej masy. Nadaje gałce ocznej kształt i załamuje promienie świetlne.

Tarcza nerwu wzrokowego, zwana dawniej plamką ślepą, to obszar, w którym zbiegają się włókna nerwowe opuszczające gałkę oczną.

Nerw wzrokowy przekazuje informacje do mózgowia. Podobnie jak mózgowie – jest otoczony oponami.

Twardówka jest tylną częścią błony włóknistej, która tworzy zewnętrzną ścianę gałki ocznej i chroni głębiej położone elementy przed urazami.

Plamka to część siatkówki, która jest skupieniem czopków.

Naczyniówka jest częścią błony naczyniowej. Zawiera liczne naczynia krwionośne.

Siatkówka jest wewnętrzną warstwą gałki ocznej. Zawiera komórki światłoczułe.

Warto zajrzeć!
[http://www.scholaris.pl/
 frontend,4,108711.html](http://www.scholaris.pl/frontend,4,108711.html)

Błona naczyniowa składa się z trzech elementów: naczyniówki, ciała rzęskowego i tęczówki.

Naczyniówka zawdzięcza swoją nazwę dobrze rozbudowanej sieci włosowatych naczyń krwionośnych. Zawiera ciemny barwnik pochłaniający światło, co zapobiega jego odbiciom wewnątrz gałki ocznej. Środkowa część błony naczyniowej – **ciało rzęskowe** – otacza gałkę oczną na kształt pierścienia. Jego najważniejszą częścią jest **mięsień rzęskowy**. Wpływa on na zmianę kształtu soczewki, co umożliwia **akomodację oka**. Jest to zdolność do skupiania obrazu na siatkówce. Dzięki temu możliwe jest ostre widzenie przedmiotów bez względu na ich odległość od oka. **Tęczówka**, dobrze widoczna w przedniej części gałki ocznej, przyjmuje rozmaite zabarwienie (stąd jej nazwa). O zabarwieniu tęczówki decyduje ilość występującego w jej komórkach barwnika. W centralnej części tęczówki znajduje się otwór zwany **źrenicą**. Jego średnica może się zmieniać w zależności od natężenia światła. Skurcz mięśni gładkich tęczówki zmniejsza lub zwiększa średnicę źrenicy, umożliwiając przystosowanie się oka do widzenia przy różnym oświetleniu. Proces przystosowania się oka do widzenia w różnych warunkach świetlnych nazywamy **adaptacją oka**.

Siatkówka jest światłoczułą błoną, zbudowaną m.in. z dwóch rodzajów komórek receptorowych: **pręcików** i **czopków**. **Pręciki** są niewrażliwe na barwę, odpowiadają za postrzeganie kształtu i ruchu przedmiotu, dobrze funkcjonują

w półmroku. Znacznie więcej pręcików znajduje się w peryferyjnej części siatkówki, dlatego w warunkach słabego oświetlenia lepiej widzimy przedmioty umieszczone z boku, dostrzegane kątem oka. W jednym oku znajduje się blisko 120 mln pręcików. **Czopki** są mniej liczne (w jednym oku jest ich ok. 7 mln). Są wrażliwe na barwę, umożliwiają dostrzeganie szczegółów obrazu, funkcjonują najlepiej przy intensywnym oświetleniu. Część siatkówki zawierającą największe skupienie czopków nazywa się **plamką** (dawniej, z powodu charakterystycznego zabarwienia, zwana plamką żółtą). Leży ona na środku siatkówki i sprawia, że barwne obrazy umieszczone naprzeciwko obserwatora są przez niego widziane bardzo wyraźnie.

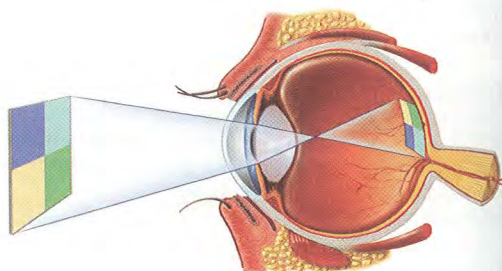
W siatkówce znajduje się także **początek nerwu wzrokowego**. Jest nim **tarcza nerwu wzrokowego**, zwana dawniej **plamką ślepą**. Ma ona średnicę ok. 1,5 mm i nie zawiera komórek receptorowych, dlatego nie odbiera bodźców świetlnych.

■ Mechanizm widzenia

Promienie światła odbite od obserwowanego przedmiotu trafiają do wnętrza gałki ocznej i skupiają się dokładnie na **siatkówce**. Tak precyzyjny przebieg promieni jest możliwy dzięki elementom gałki ocznej tworzącym **układ optyczny oka**. W skład układu optycznego wchodzi: **rogówka**, **płyn komory przedniej oka**, **soczewka** oraz **ciało szkliste**. Podczas przechodzenia przez układ optyczny promienie świetlne

Porównanie czopków z pręcikami

Cechy porównywane	Pręciki	Czopki
Liczba komórek w siatkówce oka	120 mln	7 mln
Sposób rozmieszczenia	więcej w obwodowej części siatkówki	więcej w środkowej części siatkówki
Wrażliwość na barwy	niewrażliwe na barwy	wrażliwe na barwy
Optymalne warunki funkcjonowania	półmrok	intensywne oświetlenie

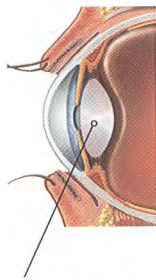


Obraz powstający na siatkówce jest obrazem rzeczywistym, pomniejszonym i odwróconym (rysunek poglądowy). Proces interpretacji wrażeń wzrokowych powstających na siatkówce zachodzi w ośrodku wzroku znajdującym się w płacie potylicznym kory mózgu.

Akomodacja oka

Akomodacja umożliwia wyraźne widzenie przedmiotów z różnych odległości. Jest ona uwarunkowana prawidłowym funkcjonowaniem struktur układu optycznego, głównie soczewki.

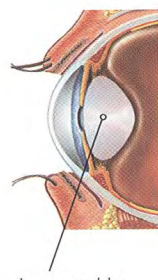
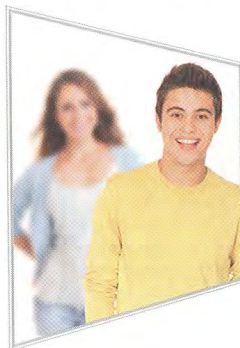
Widzenie dalekie



soczewka spłaszczona

Rozkurcz mięśnia powoduje spłaszczenie soczewki i możliwość ostrego widzenia przedmiotów umieszczonych w oddali.

Widzenie bliskie



soczewka wypukła

Widzenie blisko położonych przedmiotów wymaga zwiększenia wypukłości soczewki. Następuje to w wyniku skurczu mięśnia rzęskowego.

odbite od obserwowanego przedmiotu ulegają załamaniu. W rezultacie powstający na siatkówce obraz jest odwrócony i pomniejszony. Zdolność załamywania promieni świetlnych przez wszystkie elementy układu optycznego oka nazywa się **refrakcją oka**. Wyraża się ją w jednostkach zwanych **dioptriami**.

Widzenie dwuoczne – przestrzenne

Położenie gałek ocznych sprawia, że obie osie wzrokowe są ułożone równolegle – każde oko widzi więc nieco inaczej, a pola widzenia obu oczu częściowo się na siebie nakładają. Jest to widzenie **dwuoczne** (binokularne,

stereoskopowe). Daje ono możliwość widzenia trójwymiarowego, co jest niezwykle istotne np. przy ocenie odległości.

Chemizm widzenia

Elementem funkcjonalnym siatkówki są trzy warstwy komórek:

- ▶ warstwa nerwowo-nabłonkowa, którą stanowią fotoreceptory – pręciki i czopki,
- ▶ warstwa środkowa, utworzona przez komórki dwubiegunowe,
- ▶ warstwa komórek zwojowych, których aksony łączą się, tworząc nerw wzrokowy.

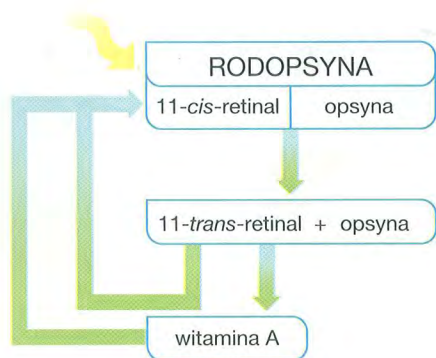
Schemat drogi światła i impulsu nerwowego



Dioptria (D) – jednostka zdolności skupiania lub rozpraszania wiązki równoległych promieni świetlnych przez soczewkę. Szklą korekcyjną z soczewkami skupiającymi oznacza się wartością dodatnią dioptrii (szklą dla dalekowidzów), a z soczewkami rozpraszającymi – wartością ujemną (dla krótkowidzów).

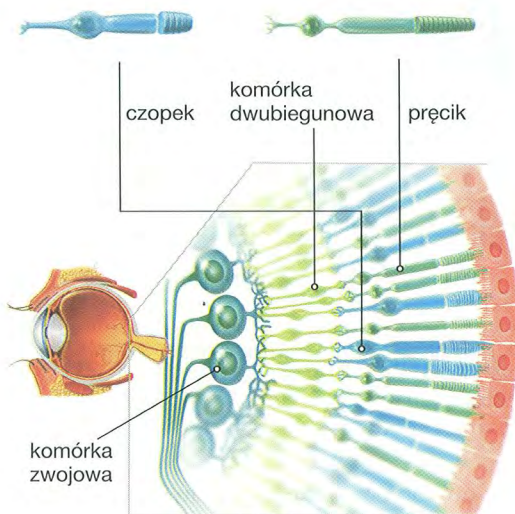
Podstawy procesu widzenia

Czopki i pręciki w szczytowych częściach zawierają dyski z barwnikami. W pręcikach jest to rodopsyna, w czopkach – jodopsyna. Pod wpływem światła ulegają one przemianom prowadzącym do powstania impulsu nerwowego. Impuls ten jest przekazywany przez kolejne komórki siatkówki do nerwu wzrokowego, który przesyła go do płata potylicznego w korze mózgowej.



Cykl przemian rodopsyny

Rodopsyna składa się z opsyny i retinalu. Retinal jest pochodną witaminy A. Występuje w postaci dwóch izomerów: *cis* oraz *trans*. Forma *cis* (którą ma w ciemności) pod wpływem światła zmienia się w formę *trans*. Następuje wówczas odłączenie retinalu od rodopsyny i w efekcie powstaje impuls nerwowy. W ciemności *trans*-retinal przekształca się powoli w *cis*-retinal lub zamienia w witaminę A, która następnie też ulega przemianie do *cis*-retinalu. *Cis*-retinal ponownie łączy się z opsyną.



Przetwarzanie informacji wzrokowej

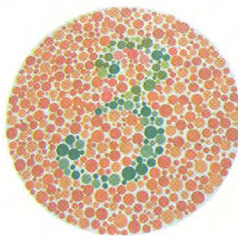
Impuls nerwowy z czopków i pręcików jest przekazywany do komórek dwubiegunowych, a następnie do komórek zwojowych. Aksony komórek zwojowych łączą się, tworząc nerw wzrokowy.

Po przejściu przez wszystkie elementy optyczne oka światło dociera do siatkówki. Tam zostaje pochłonięte przez **barwniki światłoczułe** znajdujące się w pręcikach i czopkach. W **pręcikach** jest to **rodopsyna**, zwana również **czerwienią wzrokową**. Barwnikiem światłoczułym w **czopkach** jest z kolei **jodopsyna**. Barwniki te pod wpływem światła ulegają przemianom, które prowadzą do powstania impulsu nerwowego.

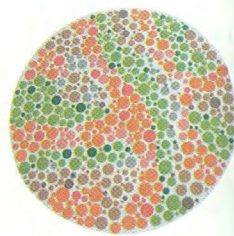
Wady wzroku

U niektórych osób występują zaburzenia refrakcji i akomodacji oka. Do najczęstszych wad wzroku należą: krótkowzroczność, dalekowzroczność i astygmatyzm. Z kolei daltonizm to potoczne

określenie genetycznie uwarunkowanych zaburzeń w rozpoznawaniu barw, najczęściej czerwonej i zielonej.



tablica 1



tablica 2

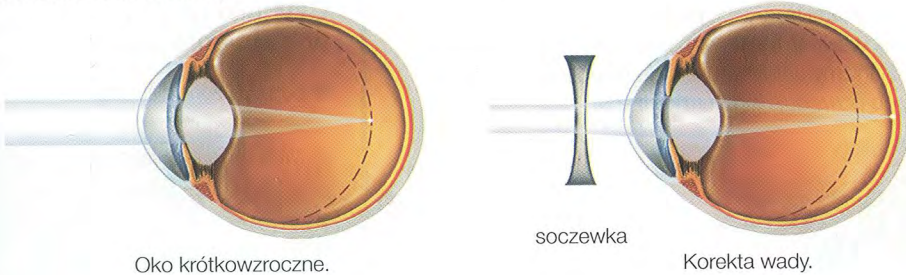
Tablice pseudoizochromatyczne służące do badania prawidłowości rozpoznawania barw. Osoba błędnie rozpoznająca barwy w zakresie czerwieni i zieleni na tablicy 1. nie zobaczy cyfry 3, natomiast na tablicy 2., która dla osoby zdrowej stanowi zbiór plam, zobaczy cyfrę 4.

Wady wzroku i sposoby ich korygowania

Wady wzroku, takie jak krótkowzroczność, dalekowzroczność i astygmatyzm, wynikają z zaburzenia refrakcji i akomodacji oka.

Krótkowzroczność

Krótkowzroczność występuje wtedy, gdy wydłużenie gałki ocznej powoduje zogniskowanie obrazu przed siatkówką. Wadę tę koryguje się, stosując okulary z soczewkami rozpraszającymi (dwuwklęsłymi). Przy braku korygowania oraz na skutek nieprzestrzegania higieny pracy wzroku krótkowzroczność nasila się.



Dalekowzroczność

Dalekowzroczność (nadwzroczność) pojawia się, kiedy skrócenie gałki ocznej powoduje zogniskowanie obrazu za siatkówką. Wadę koryguje się, stosując okulary z soczewkami o działaniu skupiającym (soczewki wypukłe). Dalekowzroczność jest wadą typową dla ludzi starszych, których soczewka traci swoją naturalną elastyczność, a jednocześnie zdolność akomodacji.



Astygmatyzm

Astygmatyzm (niezborność oka) jest spowodowany nierównomierną krzywizną rogówki lub soczewki, która sprawia, że promienie świetne skupiają się w kilku ogniskach (na siatkówce, przed i poza nią). W efekcie odbierany obraz jest nieostry i zniekształcony. Wadę koryguje się za pomocą szkieł cylindrycznych (walcowatych).

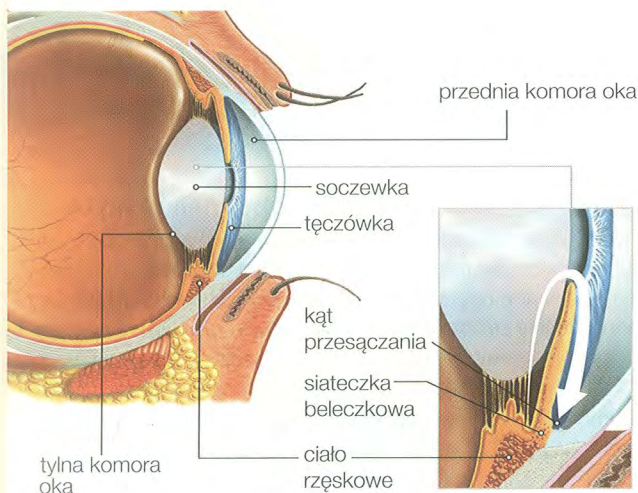


Jaskra

Jaskra jest chorobą oczu, która prowadzi do trwałego uszkodzenia nerwu wzrokowego, a w efekcie do stopniowego pogarszania się widzenia, a nawet utraty wzroku. Uważa się, że stanowi ona drugą najczęstszą przyczynę ślepoty na świecie.

PRZYCZYNA

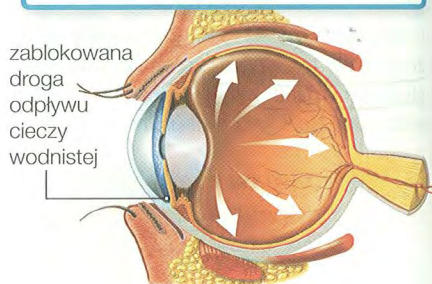
Głównymi przyczynami jaskry są: podwyższone ciśnienie w gałce ocznej (ciśnienie wewnątrzgałkowe) oraz zaburzenia ukrwienia oka. Oba mechanizmy doprowadzają do niedokrwienia nerwu wzrokowego, co powoduje jego uszkodzenie.



Ciało rzęskowe wytwarza ciecz wodnistą oka. U osób zdrowych prędkość produkowania cieczy wodnistej jest taka sama jak prędkość jej odpływu. Dzięki temu wewnątrz oka utrzymywane jest stałe ciśnienie.

Czynniki ryzyka wystąpienia jaskry:

- podwyższone ciśnienie wewnątrzgałkowe,
- zaburzenia ukrwienia oka,
- czynniki genetyczne,
- nieprawidłowe ciśnienie krwi,
- wiek powyżej 40 lat,
- krótkowzroczność > -4.0 dioptrii.



U chorych na jaskrę przepływ cieczy wodnistej przez szczeliny siateczki bełeczkowej jest utrudniony (80% chorych) lub zablokowany (20% chorych). Powoduje to wzrost ciśnienia wewnątrzgałkowego.

Brak objawów jaskry

naczynia krwionośne



Wczesne objawy jaskry

nerw wzrokowy



Zaawansowane objawy jaskry

zagłębienie



Rozwój jaskry. Wzrost ciśnienia śródgałkowego powoduje stopniowe uszkodzenie nerwu wzrokowego. Efektem są zmiany w polu widzenia, zaburzenia ostrości widzenia i dolegliwości bólowe.

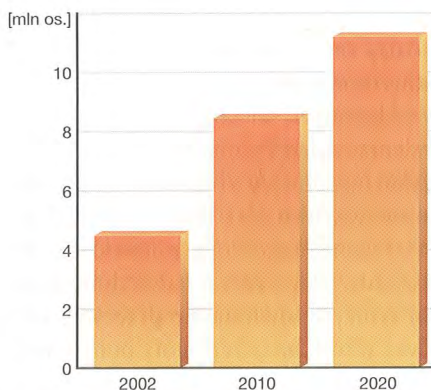
■ DIAGNOSTYKA

Początki jaskry zwykle przebiegają bezobjawowo (nawet przez 20 lat). Pierwsze objawy to: bóle głowy lub gałki ocznej, zmiana ostrości widzenia, pogorszenie pola widzenia czy przewlekłe zapalenie spojówek. Podstawą rozpoznania jaskry są badania, które w okulistyce służą również do diagnozowania wad wzroku. Są to:

- ▶ tonometria – badanie ciśnienia wewnątrzgałkowego,
- ▶ tonografia – pomiar zdolności odpływu cieczy z gałki ocznej,
- ▶ gonioskopia – badanie kąta przesączania,
- ▶ perymetria – badanie pola widzenia,
- ▶ badanie tarczy nerwu wzrokowego.



Gonioskopia pozwala zbadać, czy odpływ cieczy wodnistej oka jest prawidłowy, utrudniony lub zablokowany. Dzięki temu badaniu można określić rodzaj jaskry.



Liczba osób niewidomych na skutek jaskry na świecie w roku 2002 i 2010 oraz prognoza na rok 2020.

■ LECZENIE

Po rozpoznaniu jaskry w pierwszej kolejności stosuje się leczenie farmakologiczne. Leki (w postaci kropli do oczu lub tabletek) powodują obniżenie ciśnienia wewnątrzgałkowego, zmniejszenie produkcji cieczy wodnistej i ułatwienie jej prawidłowego odpływu. Gdy leki nie skutkują, stosuje się leczenie laserowe lub chirurgiczne, które polega na utworzeniu drogi odpływu dla cieczy wodnistej.

■ PROFILAKTYKA

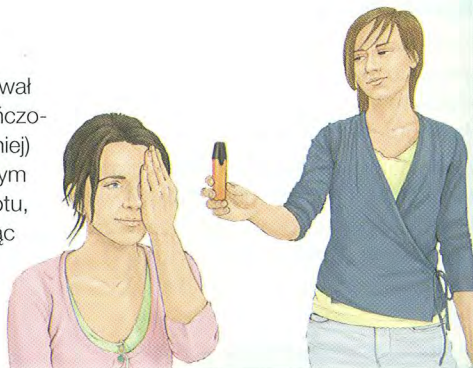
W profilaktyce jaskry ważne jest dbanie o odpowiednie nawilżenie gałki ocznej: unikanie długotrwałego wpatrywania się w monitor czy telewizor, wietrzenie i nawilżanie pomieszczeń. Należy też zadbać o odpowiednie oświetlenie miejsca pracy. Ponadto polecana jest dieta bogata w substancje poprawiające jakość widzenia (luteinę, nienasycone kwasy omega-3, zeaksantynę, cynk, selen, witaminy A, C i E), które występują w owocach, np. czarnych jagodach. Zaleca się również regularne przeprowadzanie badań okulistycznych pod kątem jaskry: po 30. roku życia co 2 lata, a po 40. roku życia – raz w roku.

Warto zajrzeć!
 <http://www.mojeoczy.pl/quiz/test-na-jaskre>

Obserwacja

Co widzimy najpierw: kolory czy kształty?

Zasłoń lewe oko. Prawym wpatruj się w jeden punkt przed sobą. Poproś kolegę, aby bardzo wolno przesuwal niewielki przedmiot o jaskrawym kolorze, np. pomarańczową piłeczkę lub flamaster (nie pokazując Ci go wcześniej) od lewej strony głowy ku linii wzroku. Powiedz, w którym momencie będziesz w stanie określić kształt przedmiotu, a w którym – jego kolor. Powtórz ćwiczenie, zasłaniając tym razem prawe oko. Zapisz, w jakiej kolejności zauważa się przedmiot, rozpoznaje jego kształt oraz określa jego kolor. Wyjaśnij, dlaczego tak się dzieje.



■ Choroby oczu i higiena wzroku

Oczy zmuszone do dłuższego oglądania przedmiotów położonych blisko (np. podczas czytania, kreślenia, wpatrywania się w ekran monitora) wykazują objawy zmęczenia. Powodem **zmęczenia wzroku** jest długotrwały skurcz mięśnia rzęskowego. Mogą pojawić się przy tym łzawienie, pieczenie, a nawet bóle głowy. W takiej sytuacji powinno się przerwać pracę i skierować wzrok na przedmioty położone daleko – wtedy bowiem oczy odpoczywają.

Bardzo uciążliwe są **stany zapalne spojówek**. Ich objawy to m.in. zaczerwienienie, obrzęk i pieczenie. Przyczyną są najczęściej bakterie, wirusy lub ciała obce drażniące spojówkę mechanicznie lub chemicznie.

Poważnym schorzeniem narządu wzroku, występującym zwykle u osób w podeszłym wieku, jest **zaćma** (katarakta). Jest to utrata przejrzystości soczewki, na skutek której staje się ona nieprzepuszczalna dla promieni świetlnych. Leczenie zaćmy polega na noszeniu szkieł o silnych właściwościach skupiających lub operacyjnym usunięciu zmętniałej soczewki i zastąpieniu jej sztuczną.

Uszkodzenie mięśni gałek ocznych może powodować odchylenie gałek od prawidłowego, równoległego ustawienia. Odchylenie to nazywa się **zezem**. Sposób leczenia zezu zależy od przyczyn jego powstania – obejmuje korygowanie wady okularami, ćwiczenia mięśni oka, a w ostateczności – zabieg chirurgiczny.

Polecenia kontrolne

1. Wymień elementy aparatu ochronnego oka. Określ ich rolę.
2. Omów mechanizm akomodacji oka.
3. Wyjaśnij, dzięki czemu możliwe jest widzenie barw.
4. Wyjaśnij, na czym polegają krótkowzroczność i dalekowzroczność. Omów sposoby korekcji każdej z tych wad wzroku.
5. Wykonaj opisane doświadczenie, a następnie zamieszczone pod nim polecenia.
Zbliż rysunek maksymalnie do oczu. Zasłoń lewe oko i skieruj wzrok na krzyżyk. Powoli odsuwaj rysunek od oka. Zapisz przybliżoną odległość, przy której ciemne koło przestanie być widoczne. Przeprowadzając doświadczenie, staraj się utrzymać oko w bezruchu.
 - a) Omów wynik doświadczenia.
 - b) Wyjaśnij, dlaczego koło przestało być widoczne.



2 Ucho – narząd słuchu i równowagi

Ucho należy do grupy mechanoreceptorów, co oznacza, że odbiera bodźce mechaniczne, a dokładniej – drgania cząsteczek powietrza rozchodzące się w postaci fali dźwiękowej. U człowieka ucho jest jednocześnie narządem słuchu oraz równowagi.

■ Budowa narządu słuchu

Narząd słuchu składa się z trzech głównych części: ucha zewnętrznego, ucha środkowego i ucha wewnętrznego.

Ucho zewnętrzne to jedyna widoczna część narządu słuchu. Służy ono do wychwytywania fal dźwiękowych. Składa się z:

- ▶ **małżowiny usznej** – fałdu skórniego, wewnątrz którego występuje tkanka chrzęstna. Jej dolna część, zwana płatkem, nie zawiera szkieletu chrzęstnego;
- ▶ **przewodu słuchowego** – kanału o długości ok. 3 cm, którego wewnątrz wyściela tłustawa

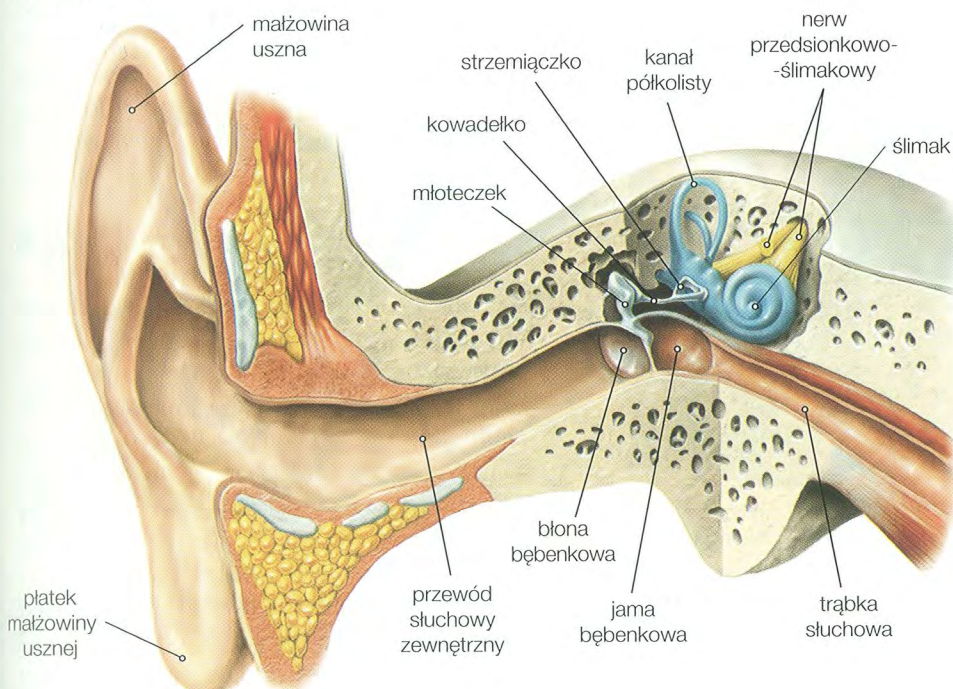
substancja – **woskowina**. Wraz z wyrastającymi w początkowym odcinku przewodu krótkimi, grubymi włoskami zapobiega ona przedostawaniu się do dalszych części ucha różnego rodzaju zanieczyszczeń.

Przewód słuchowy zamyka cienka **błona bębenkowa** (ok. 0,1 mm grubości), stanowiąca równocześnie granicę między uchem zewnętrznym a uchem środkowym.

Ucho środkowe przenosi i wzmacnia drgania fal dźwiękowych. Tworzą je:

- ▶ **jama bębenkowa**, która zawiera trzy miniaturowe kości, zwane **kosteczkami słuchowymi**: młoteczek, kowadełko i strzemiączko. Młoteczek przyrasta do wewnętrznej części błony bębenkowej. Umożliwia to przenoszenie drgań błony na pozostałe, połączone ze sobą kosteczki, czyli kolejno na kowadełko i strzemiączko. Kosteczki nie tylko przenoszą drgania błony bębenkowej, lecz także wzmacniają je

Budowa ucha



ok. 30-krotnie. Drgania strzemiączka są przekazywane na błonę umieszczoną po przeciwnej stronie jamy bębnekowej. Błona ta przesłania **okienko owalne**, które kontaktuje się z uchem wewnętrznym;

▶ **trąbka słuchowa** (dawniej: trąbka Eustachiusza) – przewód o długości 3,5–4 cm, prowadzący z jamy bębnekowej do nosowej części gardła. Jego zadaniem jest utrzymanie jednakowego ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym i jamie bębnekowej. Przy szybkiej zmianie wysokości (np. podczas startu samolotu) odczuwa się przytępienie słuchu. Wrażenie to jest wywołane różnicą ciśnień między uchem zewnętrznym (gdzie powstaje ciśnienie wysokie) a uchem środkowym (w którym utrzymuje się ciśnienie niskie). W wyniku powstałej różnicy trąbka słuchowa zaciska się. Po

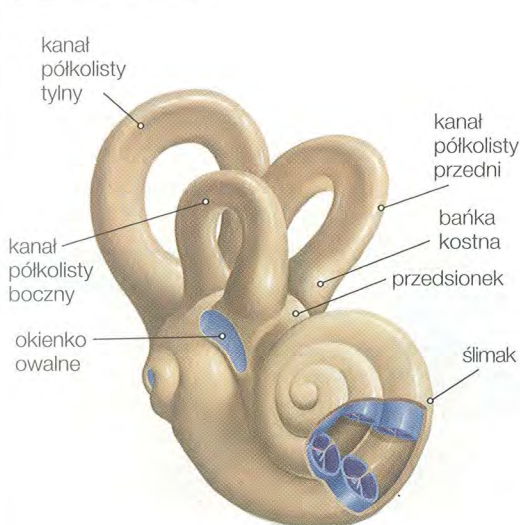
wykonaniu kilku ruchów połykania (np. śliny) trąbka staje się drożna i zostaje przywrócone prawidłowe słyszenie. Z tego względu poleca się ssanie cukierków w trakcie lotu – zwiększa się przez to wydzielanie śliny i następuje jej regularne przełykanie.

Upośledzenie słuchu występuje także podczas kataru i silnego wydmuchiwanie nosa. W tych wypadkach ciśnienie wewnątrz ucha środkowego jest wyższe od ciśnienia atmosferycznego.

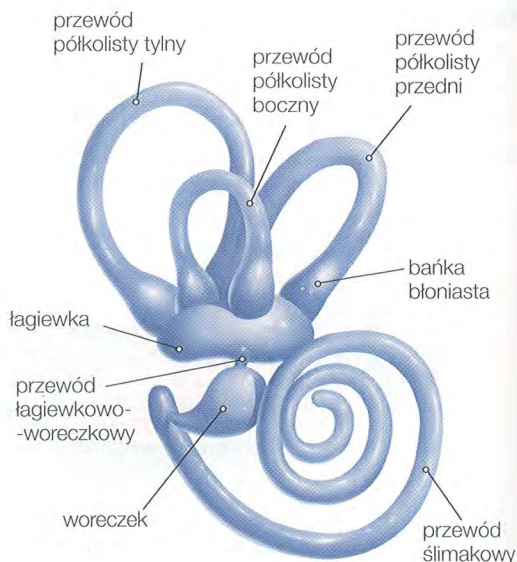
Ucho wewnętrzne, ze względu na zawiły układ wielu jam i kanałów, jest nazywane **błędniakiem**. Błędniak jest zbudowany z części zewnętrznej (kostnej) i wewnętrznej (błoniastej). **Błędniak kostny** jest to system przestrzeni i kanałów w kości skroniowej. Składa się on ze ślimaka, przedsionka oraz trzech kanałów półkolistych. Wewnątrz błędniaka kostnego znajduje się

Budowa błędniaka

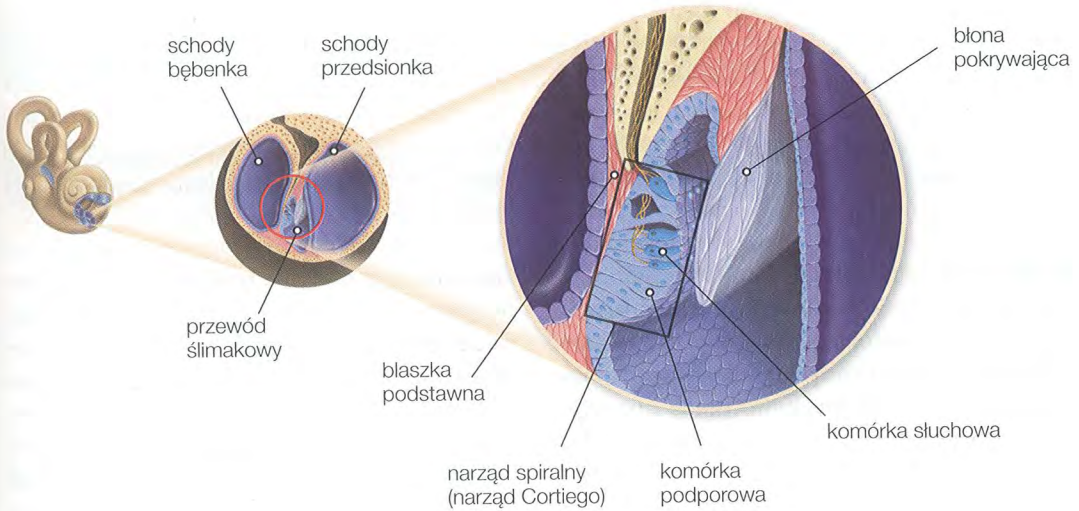
Błędniak błoniasty znajduje się w błędniaku kostnym. Przedsionek błędniaka kostnego zawiera woreczek i łagiewkę, w ślimaku znajduje się przewód ślimakowy, a w kanałach półkolistych mieszczą się przewody półkoliste. Zarówno błędniak kostny, jak i błędniak błoniasty są wypełnione płynami.



Błędniak kostny składa się z: kanałów półkolistych zakończonych bańkami kostnymi, ślimaka oraz przedsionka.



W skład błędniaka błoniastego wchodzi: przewody półkoliste zakończone bańkami błoniastymi, woreczek, łagiewka i przewód ślimakowy.



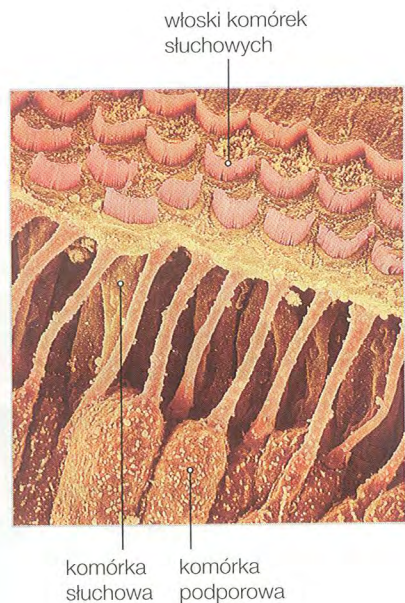
Przewód ślimakowy. Drgania płynu wprowadzają w ruch blaszkę podstawną i narząd spiralny. Sprawia to, że komórki słuchowe tego narządu dotykają błony pokrywającej. Na skutek tego włoski komórek słuchowych uginają się, co powoduje powstanie impulsu nerwowego.

błędnik błoniasty. W ślimaku mieści się przewód ślimakowy, a w nim narząd spiralny (dawniej: narząd Cortiego; wym. kortiego), będący właściwym narządem słuchu. Zawiera on komórki receptorowe przetwarzające fale dźwiękowe na impulsy nerwowe, które są analizowane w mózgu. Wewnątrz przedsionka znajduje się woreczek i łagiewka, natomiast w kanałach półkolistych błędnika kostnego znajdują się przewody półkoliste. Woreczek, łagiewka i przewody półkoliste stanowią narząd równowagi.

■ Powstawanie wrażeń słuchowych – funkcjonowanie ślimaka

Fala dźwiękowa skierowana do przewodu słuchowego jest przenoszona w postaci drgań do jego wnętrza przez kolejne elementy narządu słuchu, którymi są: błona bębniowa, młoteczek, kowadełko, strzemiączko oraz błona okienka owalnego. Następnie drgania przenoszają się na płyn wypełniający przewód ślimakowy oraz na narząd spiralny. Na skutek drgań rzęski komórek słuchowych dotykają błony pokrywającej i uginają się. Odskształcenia błony komórkowej powodują powstanie impulsu nerwowego. Jest on przekazywany wzdłuż aksonów

komórek słuchowych, tworzących nerw słuchowy. Gdy impulsy te dotrą do mózgu, a dokładniej – do płata skroniowego kory mózgowej – odbieramy informację dźwiękową.



Komórki słuchowe (mikrofotografia skaningowa) są wyposażone we włoski. Na powierzchni jednej komórki znajduje się 100–300 włosków. Są one ułożone w kształt litery U. Liczba włosków z wiekiem maleje.

Droga fal dźwiękowych i impulsu nerwowego



■ Budowa narządu równowagi

Narząd równowagi mieści się w uchu wewnętrznym. Zbudowany jest z woreczka, łagiewki oraz połączonych z nią przewodów półkolistych, ułożonych w trzech różnych płaszczyznach.

W woreczku i łagiewce zlokalizowane są plamki statyczne. Plamkę statyczną tworzą komórki zmysłowe zaopatrzone w rzęski oraz kamyczki błędnikowe (otolity), zbudowane z kryształów węgla i fosforanu wapnia. Rzęski wraz z kamyczkami błędnikowymi są zanurzone w galaretowatej substancji – blonie kamyczkowej. Pochylenie głowy na boki, do przodu lub do tyłu powoduje przemieszczanie się płynu (endolimfy). Ten z kolei wywołuje ruch otolitów, które uciskają rzęski komórek zmysłowych i wzbudzają w nich impuls nerwowy.

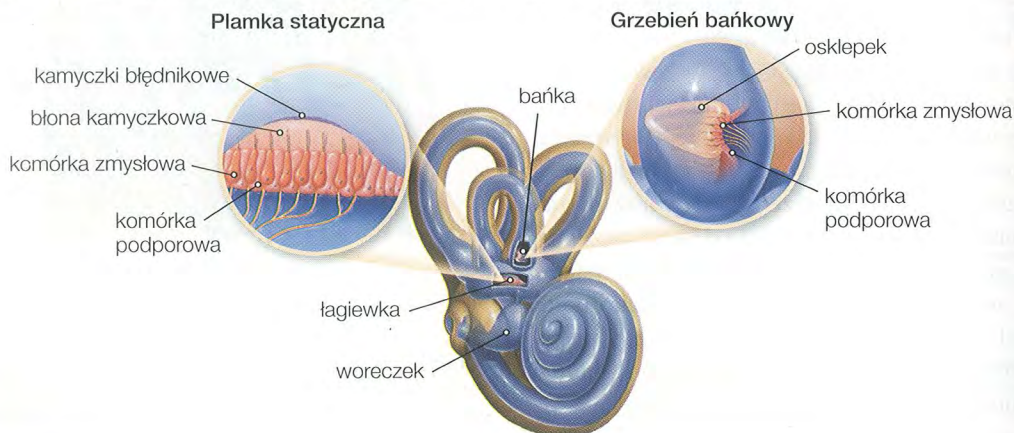
Przewody półkoliste rozszerzając się w odcinkach końcowych, tworzą bańki. W bańkach

znajdują się grzebień bańkowy. Są to skupienia komórek zmysłowych zaopatrzonych w rzęski. Rzęski są zanurzone w galaretowatej substancji zwanej osklepek. Ruch głowy sprawia, że porusza się płyn wypełniający przewody. Powoduje to zmianę położenia galaretowatej masy oraz rzęsek. Zgięcie rzęsek prowadzi do powstania impulsu nerwowego. W ten sposób odbierane są informacje o skrętach (obrotach) głowy i reszty ciała. Impulsy nerwowe są przekazywane do ośrodków mózgu (znajdujących się w mózdku i korze mózgowej), które uruchamiają odruchy zapewniające utrzymanie równowagi.

Nadmierne pobudzenie narządu równowagi (np. podczas podróży statkiem, samochodem, samolotem, a także w następstwie huśtania się, szybkiego obracania itp.) wywołuje zespół objawów określanych mianem choroby lokomocyjnej. Do najczęstszych objawów należą: zawroty głowy, nudności (a niekiedy wymioty),

Zmysł równowagi

Rejestrowanie położenia i ruchów ciała umożliwiają grzebień bańkowy położony w bańkach kanałów półkolistych oraz plamki statyczne znajdujące się w woreczku i łagiewce.



zaburzenia czynności serca oraz zmniejszenie koordynacji ruchów. Nasilenie objawów zależy od wrażliwości osobniczej. Zaburzenia mijają po zaprzestaniu działania wywołującego je bodźca. Zapobiegawczo stosuje się środki zmniejszające wrażliwość narządu równowagi.

Zachowanie równowagi zależy od zintegrowania informacji płynących z receptorów różnych narządów. Są to głównie receptory narządu równowagi w uchu wewnętrznym, a także receptory narządu wzroku, receptory czucia głębokiego w obrębie mięśni, ścięgien i stawów oraz receptory skóry, zwłaszcza dotyku i uścisku.

■ Wrażliwość słuchu

Określając jakość dźwięku, najczęściej bierze się pod uwagę jego wysokość i natężenie. Wysokość dźwięku zależy od częstotliwości drgań, czyli ich liczby na sekundę. Wyraża się ją w jednostkach zwanych hercami (Hz). Zakres częstotliwości, na którą reaguje ludzkie ucho, wynosi od 16 (dźwięki niskie) do 20 000 Hz (dźwięki wysokie). Największą wrażliwość ucho wykazuje jednak w zakresie między 500 a 5000 Hz (np. dźwięki ludzkiej mowy obejmują zakres 100–800 Hz, a dźwięki instrumentów muzycznych 30–4000 Hz).

Natężenie dźwięku (głośność) zależy od amplitudy fali dźwiękowej. Wyraża się je

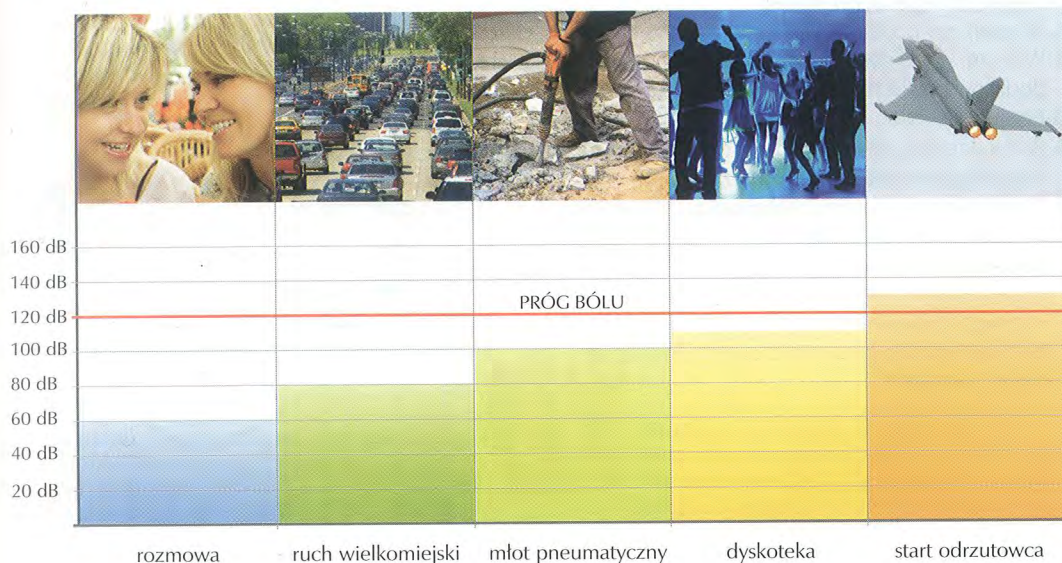
w **decybelach (dB)**. Górna granica skali natężenia dźwięku uważana za bezpieczną dla ucha człowieka wynosi 120 dB. Jednak w pewnych warunkach, np. przy długotrwałym oddziaływaniu, obserwuje się szkodliwość dźwięków także o niższym natężeniu.

Odbiór głośności dźwięku jest wynikiem sumowania impulsów docierających do ucha w danym czasie. Sumowanie odbywa się w ośrodkowym układzie nerwowym. Rozróżnianie dźwięków o różnej częstotliwości jest natomiast wynikiem przesuwania się fali dźwiękowej na różne odległości w głąb ślimaka (im niższy dźwięk, tym płycej dociera w głąb ślimaka, gdyż fala o niższej częstotliwości szybciej ulega wygaszeniu).

■ Przykłady negatywnych skutków oddziaływania hałasu

W zależności od poziomu natężenia dźwięku wywołuje naturalne reakcje fizjologiczne (słyszenie) lub zmiany patologiczne (np. upośledzenie słuchu).

Do zmian fizjologicznych spowodowanych hałasem należy przede wszystkim tzw. maskowanie. Zjawisko to polega na tym, że spośród tonów charakteryzujących się różną częstotliwością rejestrujemy tylko ton silniejszy. Natomiast słabsze tony ulegają zagłuszeniu.





Częste słuchanie głośnej muzyki przez słuchawki może trwale uszkodzić włoski komórki słuchowych. Pierwszymi objawami takich uszkodzeń są przejściowe lub stałe szumy uszne.

Uszkodzenie narządu słuchu następuje w wyniku pojawienia się bardzo intensywnego, nagłego dźwięku o znacznym natężeniu lub na skutek długotrwałego oddziaływania dźwięków przekraczających poziom 90 dB. Na przykład podczas słuchania głośnej muzyki złożonej z dźwięków o powtarzających się częstotliwościach może dojść do uszkodzenia określonych komórek receptorowych, a w konsekwencji – do głuchoty na dźwięki o takiej wysokości. Zagrożenie dotyczy zarówno wykonawców muzyki,

jak i jej odbiorców, zwłaszcza osób używających słuchawek.

Badania dowodzą, że hałas wpływa negatywnie nie tylko na narząd słuchu, lecz także na cały organizm, powodując:

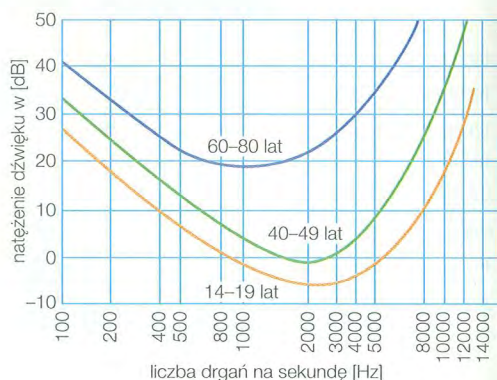
- ▶ **zaburzenia pracy układu krążenia;** obejmują one zwiększenie częstości skurczów serca, podwyższenie wartości ciśnienia tętniczego oraz zmiany przepływu krwi w obrębie narządów wewnętrznych – wątroby, nerek i mózgu;
- ▶ **zmiany czynności gruczołów dokrewnych,** które dotyczą głównie tarczycy (u osób narażonych na intensywne bodźce akustyczne często występuje nadczynność tarczycy), nadnerczy oraz gruczołów płciowych;
- ▶ **pogorszenie widzenia** – przy dźwięku o natężeniu ok. 110 dB następuje ograniczenie pola widzenia i pogorszenie widzenia nocnego, a także zmniejszenie percepcji barw (zwłaszcza barwy czerwonej). Z tego powodu głośne słuchanie muzyki w czasie prowadzenia samochodu może być bardzo niebezpieczne;
- ▶ **zmniejszenie masy ciała potomstwa,** które obserwuje się u kobiet ciężarnych narażonych na działanie dźwięków o dużym natężeniu;
- ▶ **zaburzenia funkcjonowania przewodu pokarmowego,** w tym osłabienie jego perystaltyki.

Polecenia kontrolne

1. Wymień trzy podstawowe elementy narządu słuchu. Określ funkcje każdego z nich.
2. Wyjaśnij, w jaki sposób płyn wypełniający kanały półkoliste generuje powstawanie bodźców przekształcanych w impulsy nerwowe.
3. Porównaj sposób pobudzenia receptorów słuchu oraz równowagi.
4. Scharakteryzuj zakres wrażliwości ludzkiego słuchu, uwzględniając wysokość oraz natężenie rejestrowanych dźwięków.
5. Przeanalizuj wykres zależności progu słyszalności od częstotliwości dźwięku.

Następnie odpowiedz na pytania:

- a) Jaki zakres częstotliwości odbiera narząd słuchu młodego człowieka?
- b) W jaki sposób wrażliwość słuchu zmienia się wraz z wiekiem?



3

Narządy smaku oraz węchu

Do chemoreceptorów ludzkiego organizmu należą powiązane ze sobą fizjologicznie narządy smaku i węchu.

Narządem smaku są **kubki smakowe** rozmieszczone przede wszystkim w **brodawkach języka**, ale również w obrębie innych części jamy ustnej. Biologiczna funkcja receptorów smaku polega na określeniu przydatności pokarmu do spożycia oraz odruchowym pobudzeniu wydzielniczej czynności gruczołów układu pokarmowego, co w znacznym stopniu usprawnia obróbkę i przyswajanie pokarmu. Receptory smaku wykazują wrażliwość tylko na substancje rozpuszczone w wodzie (dlatego istotne jest odpowiednie nawilżanie śliną suchego pokarmu

znajdującego się w ustach). Człowiek rozróżnia pięć podstawowych smaków: **slony**, **kwaśny**, **słodki**, **gorzki** oraz **umami**, czyli **mięsny**. Smak umami to smak, jaki odczuwamy w kontakcie z **glutaminianem** (jeden z aminokwasów).

Każdy kubek smakowy zawiera receptory wrażliwe na wszystkie pięć smaków, dlatego odbieramy je całą powierzchnią języka. Z tego powodu nie można stworzyć mapy lokalizacji odczuwania poszczególnych smaków na języku.

Czy wiesz, że...

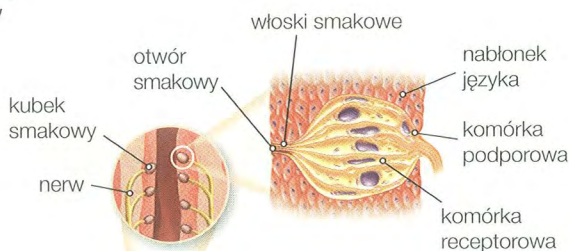
Komórki kubka smakowego żyją tylko 10 dni.

Po tym czasie są zastępowane nowymi.

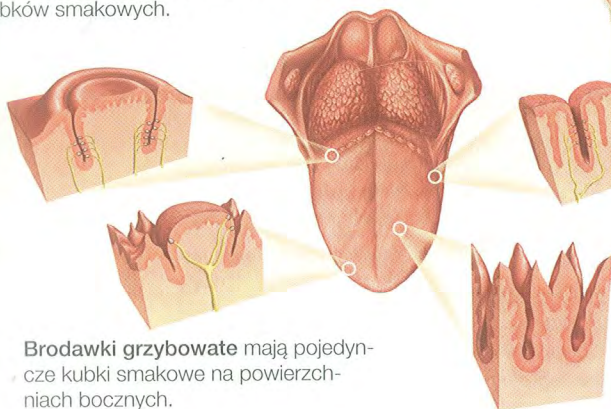
Budowa narządu smaku

Kubki smakowe znajdują się w **brodawkach okolonych**, **grzybowatych** i **liściastych** pokrywających grzbietową część języka. W kubkach występują m.in. komórki receptorowe (smakowe) odbierające bodźce dotykowe i smakowe. Informacja o tych bodźcach jest zamieniana w impulsy nerwowe przekazywane do odpowiednich ośrodków w korze mózgowej.

Brodawki okolone to największe brodawki języka. Na bocznej powierzchni jednej brodawki oraz w tzw. wale okołobrodawkowym występuje ok. 250 kubków smakowych.



Brodawki liściaste występują u człowieka sporadycznie, głównie na brzegach tylnej części języka. Mają wiele kubków smakowych, znajdujących się na bocznych powierzchniach.



Brodawki grzybowate mają pojedyncze kubki smakowe na powierzchniach bocznych.

Brodawki nitkowate stanowią 90% wszystkich brodawek języka. Nie zawierają kubków smakowych. Nadają powierzchni języka szorstkość.

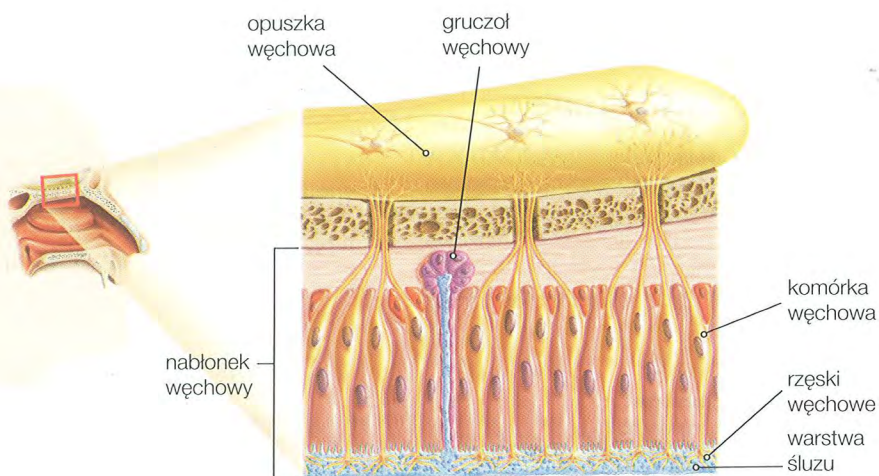
Narząd węchu stanowi **nabłonek węchowy**, który znajduje się w górnej części jamy nosowej i zajmuje ok. 4 cm². Występujące w nim receptory węchu – **komórki węchowe** reagują na substancje lotne rozpuszczalne w śluzie pokrywającym nabłonek węchowy. Wykazują one większą wrażliwość w porównaniu z receptorami smaku, jednak olbrzymia różnorodność zapachów uniemożliwia tak wyraźne ich odróżnienie, jakie wykazuje narząd smaku. Przypuszcza się, że człowiek jest w stanie rozróżnić ok. 3000 zapachów.

Biologiczna funkcja powonienia człowieka jest związana, podobnie jak w wypadku smaku, z funkcjonowaniem narządów trawiennych. Wrażliwość zmysłu węchu wzrasta w trakcie

głodu organizmu. Węch jest zmysłem, który szybko ulega adaptacji. Oznacza to, że przy długotrwałym działaniu bodźca wrażliwość receptorów szybko maleje. Ta szczególna właściwość sprawia, że węch ma niewielkie znaczenie jako zmysł ostrzegania przed zatruciem substancjami lotnymi, jeśli ulatniają się one stale, w niewielkiej ilości. Z tego powodu w żadnym wypadku nie należy lekceważyć jakichkolwiek niepokojących sygnałów zapachowych.

Czy wiesz, że...

Wrażenia węchowe wpływają na wrażenia smakowe. Osoba chora na katar może zaobserwować, że nie odczuwa smaków potraw.



Nabłonek węchowy to obszar wyspecjalizowany w odbieraniu bodźców chemicznych. Zawiera ona komórki węchowe zaopatrzone w rzęski węchowe oraz gruczoły węchowe, których wydzielina jest rozpuszczalnikiem substancji zawartych w powietrzu.

Polecenia kontrolne

1. Określ biologiczną rolę chemoreceptorów człowieka.
2. Wyjaśnij, dlaczego smak i węch należą do chemoreceptorów.
3. Omów funkcjonowanie chemoreceptorów człowieka.
4. Zaprojektuj tabelę, w której porównasz funkcjonowanie receptorów smaku i węchu.
5. Na podstawie dostępnych źródeł wyjaśnij, dlaczego w niektórych perfumach znajdują się słoiczki z kawą.

Podsumowanie

Narządy zmysłów i rodzaje receptorów

Zmysły	Narządy zmysłów i ich lokalizacja	Receptory
Smak	kubki smakowe zawierające komórki smakowe; są rozmieszczone głównie w brodawkach języka	chemoreceptory
Węch	nabłonek węchowy zawierający komórki węchowe; znajduje się w górnej części jamy nosowej	chemoreceptory
Wzrok	oko zawierające komórki światłoczułe – pręciki i czopki	fotoreceptory
Słuch	narząd spiralny zawierający komórki słuchowe, położony w uchu wewnętrznym	mechanoreceptory
Równowaga	komórki zmysłowe zlokalizowane w woreczku, łagiewce oraz kanałach półkolistych znajdujących się w uchu wewnętrznym	mechanoreceptory

Elementy oka

OKO			
Nerw wzrokowy	Gałka oczna	Narządy dodatkowe	
	• błona włóknista • błona naczyniowa • siatkówka • ciało szkliste	aparat ochronny • powieka • brwi i rzęsy • spojówka • narząd łzowy	aparat ruchowy • sześć mięśni przyczepionych do gałki ocznej i ściany oczodołu

Błony gałki ocznej

Nazwa błony	Budowa	Funkcje
Błona włóknista	• mocna, włóknista biała błona, której barwa zmienia się wraz z wiekiem (od niebieskawej do żółtawej) • jej przednia część (rogówka) jest wypukła, cienka i przezroczysta	• ochrona gałki ocznej przed urazami • załamywanie światła docierającego do oka
Błona naczyniowa	• największa jej część – naczyniówka – ma rozbudowaną sieć włosowatych naczyń krwionośnych i zawiera ciemny barwnik pochłaniający światło • środkowa część (ciało rzęskowe) zawiera mięsień rzęskowy zmieniający kształt soczewki • przednia część błony naczyniowej – tęczówka – ma barwę zależną od ilości występującego w jej komórkach barwnika; skurcz mięśni gładkich tęczówki zmienia średnicę źrenicy – otworu znajdującego się w jej środkowej części	• odżywianie gałki ocznej • regulacja kształtu soczewki (akomodacja oka) i wielkości źrenicy • przystosowanie oka do widzenia przy różnym oświetleniu (adaptacja oka)
Siatkówka	• jest zbudowana z dwóch rodzajów komórek receptorowych: pręcików i czopków • pręciki odbierają informacje o kształcie i ruchu widzianych przedmiotów, a także pozwalają widzieć w półmroku; w oku jest ich ok. 120 mln • czopki są wrażliwe na barwy, optymalne warunki ich działania to przede wszystkim dobre oświetlenie, najwięcej gromadzi się ich w plamce; w oku jest ich ok. 7 mln	• odbieranie bodźców świetlnych

Wady wzroku i choroby oczu

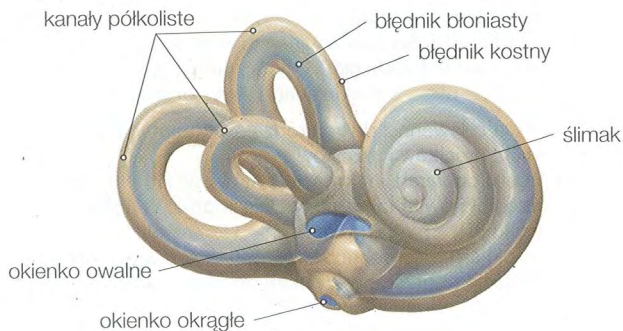
Wada lub choroba	Przyczyny	Objawy	Korygowanie lub leczenie
Krótkowzroczność	wydłużenie gałki ocznej	zogniskowanie obrazu przed siatkówką	stosowanie soczewek rozpraszających
Dalekowzroczność	skrócenie gałki ocznej	zogniskowanie obrazu za siatkówką	stosowanie soczewek skupiających
Astygmatyzm	nierównomierna krzywizna soczewki lub rogówki	skupienie obrazu w kilku miejscach, brak ostrości widzenia	stosowanie soczewek cylindrycznych
Daltonizm	uwarunkowanie genetyczne	zaburzenia rozpoznawania barw	brak możliwości leczenia
Zez	uszkodzenie mięśni gałek ocznych	nieprawidłowe ustawienie gałek ocznych	stosowanie odpowiednich soczewek, ćwiczenie mięśni oka, operacja chirurgiczna
Zapalenie spojówek	zakażenie bakteryjne lub wirusowe, obecność ciał obcych	pieczenie, zaczerwienienie, obrzęk, ból	unikanie podrażnienia oczu, stosowanie leków w postaci kropli do oczu, w wypadku zakażenia bakteryjnego – leczenie antybiotykiem
Zaćma	utrata przejrzystości soczewki	pogorszenie lub utrata wzroku	noszenie szkieł silnie skupiających światło, operacja chirurgiczna
Jaskra	podwyższone ciśnienie w gałce ocznej	uszkodzenie nerwu wzrokowego, a w efekcie pogorszenie lub utrata wzroku	leki zmniejszające ciśnienie w gałce ocznej (np. w postaci kropli), zabiegi laserowe, leczenie operacyjne

Elementy ucha

Ucho (narząd słuchu i równowagi)		
ucho zewnętrzne	ucho środkowe	ucho wewnętrzne (błędnik)
- małżowina uszna – fałd skórny kierujący dźwięki do przewodu słuchowego - przewód słuchowy – kanał wyścielany woskowiną, która zapobiega przedostawaniu się do ucha zanieczyszczeń; zamyka go błona bębenkowa – cienka błona przenosząca fale dźwiękowe do ucha środkowego	- jama bębenkowa – znajdują się w niej kosteczki słuchowe (młoteczek, kowadelko, strzemiączko), które wzmacniają drgania błony bębenkowej i przekazują je do ucha wewnętrznego - trąbka słuchowa – przewód łączący jamę bębenkową i gardło; utrzymuje jednakowe ciśnienie w jamie bębenkowej i przewodzie słuchowym	- ślimak – znajduje się w nim narząd spiralny przetwarzający drgania na impulsy nerwowe - przedsionek – rejestruje ruchy głowy (element narządu równowagi) - kanały półkoliste – trzy przewody rejestrujące położenie głowy (element narządu równowagi)

Budowa błędnika

Na zewnątrz znajduje się błędnik kostny, wewnątrz – błędnik błoniasty. Błędnik kostny składa się ze ślimaka, kanałów półkolistych i przedsionka. Błędnik błoniasty tworzony jest przez przewody półkoliste, woreczek, łagiewkę i przewód ślimakowy.



Test maturalny

1 Ilustracja przedstawia budowę oka.

a) Podaj numery struktur, których krzywizny decydują o sile skupiającej oka.

.....

b) Podaj numer struktury zamieniającej bodźce świetlne w sygnały nerwowe.

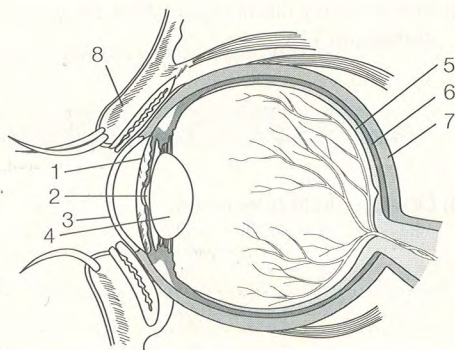
.....

c) Zaznacz punkt, w którym wybranym elementom oznaczonym na ilustracji przypisano prawidłowe nazwy.

- A. 1 – tęczówka, 3 – rogówka, 5 – naczyniówka.
- B. 3 – rogówka, 5 – siatkówka, 6 – naczyniówka.
- C. 2 – źrenica, 1 – tęczówka, 6 – siatkówka.
- D. 1 – rogówka, 2 – źrenica, 4 – soczewka.

d) Wyjaśnij, w jaki sposób ciało rzęskowe wpływa na ostrość widzenia.

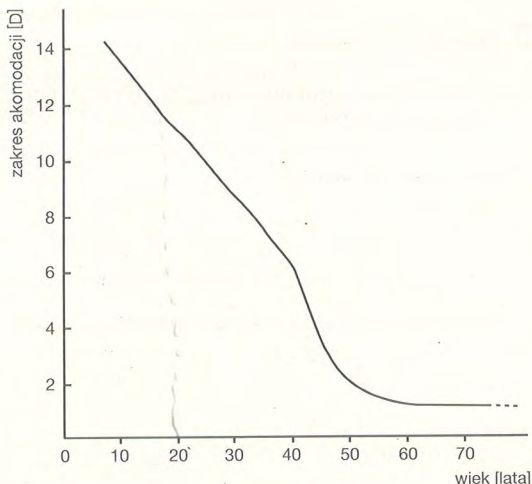
.....
.....



2 Przeprowadzono doświadczenie, w którym zmierzono zakres zdolności akomodacji oka (w dioptriach – D) w zależności od wieku osoby badanej. Wyniki doświadczenia ilustruje wykres.

a) Sformułuj hipotezę, która będzie odpowiednia do przeprowadzonego doświadczenia.

.....
.....
.....
.....



b) Określ liczbę dioptrii, która wyraża zdolność akomodacji oka osoby w wieku 20 lat.

.....

c) Wyjaśnij, czym jest akomodacja oka.

.....
.....
.....

3 Ilustracja przedstawia aparat ochronny oka.

a) Podaj nazwy elementów oznaczonych na ilustracji numerami 1–3.

1.
2.
3.

b) Opisz funkcje brwi i rzęs.

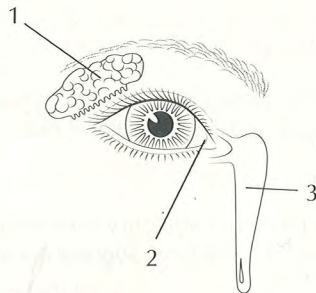
-
-
-

c) Wyjaśnij, dlaczego osoby zakatarzone często łzawią.

-
-
-

d) Podaj trzy funkcje fizjologiczne łez.

1.
2.
3.



4 Ilustracja przedstawia budowę ucha.

a) Podaj nazwy struktur oznaczonych na ilustracji numerami 1–3.

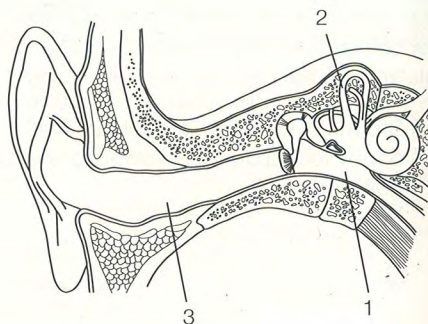
1.
2.
3.

b) Wyjaśnij, jaką rolę odgrywa okienko owalne.

-
-
-

c) Opisz funkcje błony bębenkowej i trąbki słuchowej.

-
-
-
-



- 5 Organizm człowieka odbiera ze środowiska bodźce: mechaniczne, chemiczne, świetlne i termiczne. Poszczególne narządy zmysłów wyspecjalizowały się w odbieraniu bodźców o konkretnym charakterze.

a) Uzupełnij tabelę, wpisując odpowiednie rodzaje bodźców przy odbierających je strukturach.

Nazwa struktury	Rodzaje bodźców
Nabłonek węchowy	
Błona bębenkowa	
Kubki smakowe	
Narząd spiralny	
Pręciki	
Wolne zakończenia nerwowe	

b) Oceń prawdziwość zdań dotyczących narządów zmysłów. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

		P/F
1.	Zmysł węchu, w odróżnieniu od zmysłu smaku, odbiera bodźce ze środowiska gazowego, a nie ze środowiska ciekłego.	
2.	Różne fragmenty powierzchni języka są ściśle wyspecjalizowane w odbiorze jednego rodzaju smaku.	
3.	Poziom natężenia dźwięków wyraża się w skali logarytmicznej, w jednostkach zwanych decybelami.	
4.	Węch jest zmysłem, który szybko ulega adaptacji. Oznacza to, że przy długotrwałym działaniu bodźca wrażliwość receptorów szybko rośnie.	
5.	Kłopoty z odbiorem wrażeń węchowych, np. w związku z katarem, nie wpływają na odbiór wrażeń smakowych.	

- 6 Ucho człowieka pełni dwie funkcje: narządu słuchu i narządu równowagi.

a) Podaj nazwy właściwego narządu słuchu oraz elementów składających się na właściwy narząd równowagi.

.....

.....

.....

b) Napisz nazwę struktury, w której znajdują wymienione powyżej narządy zmysłów.

.....

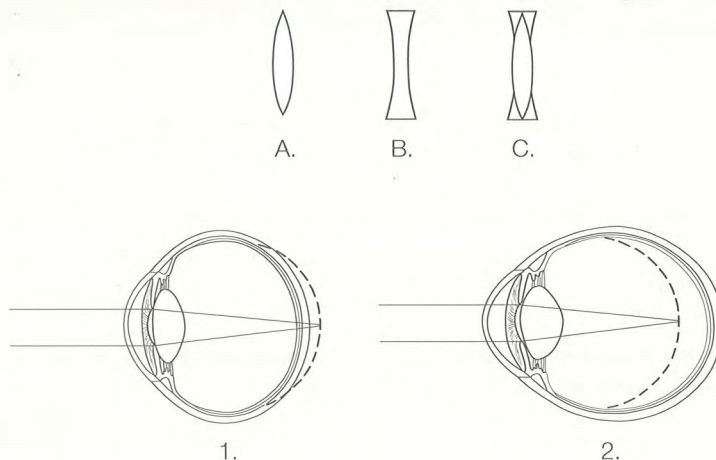
c) Zakreśl prawidłowe zakończenie zdania.

Zakres częstotliwości, na który reaguje ludzkie ucho, wynosi

- A. 100–800 Hz.
- B. 30–4000 Hz.
- C. 16–20 000 Hz.
- D. 10–100 000 Hz.

- 7** Zaburzenia procesu widzenia mogą być spowodowane różnymi czynnikami, wśród których najbardziej powszechne są wady wzroku i choroby oczu. Wady wzroku są spowodowane zaburzeniem refrakcji i akomodacji oka.

Na ilustracji przedstawiono trzy rodzaje soczewek (A–C) oraz dwa rodzaje wad wzroku (1–2).



- a) Przyporządkuj każdej z wad soczewkę odpowiednią do jej korekcji.

1. 2.

- b) Podaj dwa czynniki ryzyka zachorowania na jaskrę.

1.
2.

- c) Zaznacz punkt, który zawiera prawidłowy opis zaćmy.

- A. Jest spowodowana utratą przejrzystości soczewki, na skutek której staje się ona nieprzepuszczalna dla promieni świetlnych.
- B. Jest spowodowana wydłużeniem gałki ocznej, powodującym zogniskowanie obrazu przed siatkówką.
- C. Jej bezpośrednią przyczyną jest obumieranie nerwu wzrokowego, powodowane zbyt wysokim ciśnieniem wewnątrz gałki ocznej.
- D. Jest wynikiem skrócenia gałki ocznej i zogniskowania obrazu za siatkówką.

- 8** W wyniku oddziaływania na organizm intensywnych dźwięków o znacznym natężeniu może nastąpić poważne uszkodzenie słuchu jak również upośledzenie pracy wielu innych układów.

Wymień cztery, inne niż uszkodzenie słuchu, negatywne skutki oddziaływania hałasu na organizm ludzki.

1.
2.
3.
4.

To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 2005 (PP), zad. 17.

Ze względu na rodzaj odbieranego bodźca receptory dzielimy na następujące grupy:

- a) fotoreceptory, c) mechanoreceptory
b) chemoreceptory, d) elektroreceptory.

Określ, do których z wymienionych grup należą receptory umożliwiające funkcjonowanie:

I – narządów smaku i węchu,

II – narządu słuchu i równowagi.

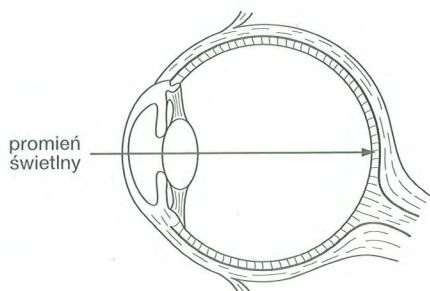
I

II

Zadanie 2. (1 pkt)

Źródło: CKE 01.2006 (PP), zad. 16.

Na podstawie analizy schematu budowy oka ustal kolejność elementów gałki ocznej, przez które przemieszcza się promień świetlny. W odpowiednich miejscach tabeli wpisz liczby 1–6.



	siatkówka
	rogówka
	ciało szkliste
	żrenica
	soczewka
	komora przednia

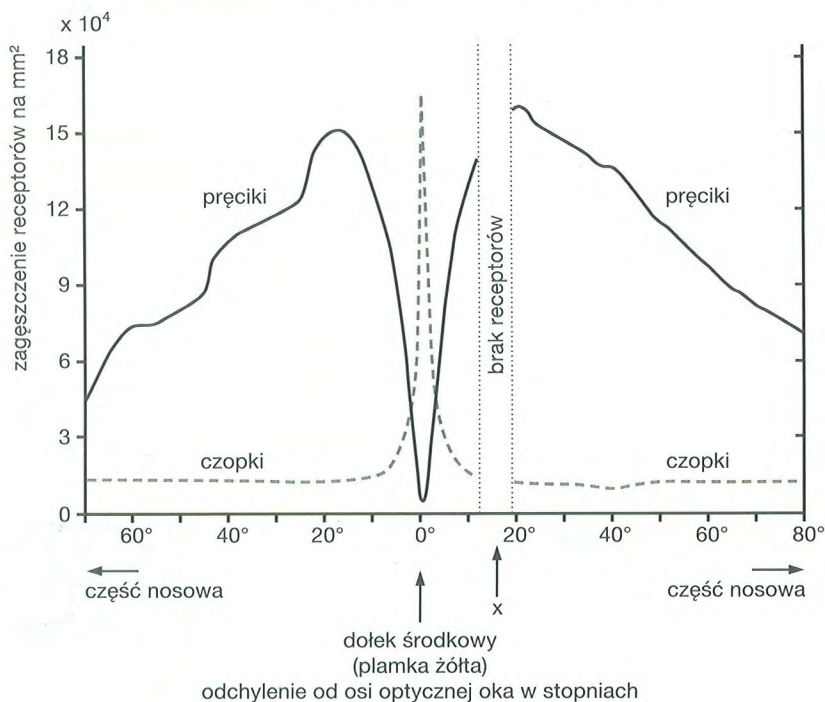
Zadanie 3. (2 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PP), zad. 9.

Które z poniższych stwierdzeń dotyczących procesu widzenia są prawdziwe, a które fałszywe? Wstaw literę P obok informacji prawdziwych lub literę F obok informacji fałszywych.

		P/F
A.	Za widzenie w nocy i w dzień odpowiedzialne są obydwa rodzaje komórek receptorowych siatkówki – czopki i pręciki.	
B.	Daltonizm jest spowodowany brakiem lub nieprawidłowym działaniem niektórych rodzajów czopków.	
C.	Ustawienie oczu z przodu głowy człowieka zapewnia mu znacznie szersze pole widzenia, niż zwierzętom mającym oczy po bokach głowy.	
D.	Prawidłowe widzenie zależy nie tylko od prawidłowo działających oczu, ale także od prawidłowej analizy informacji w mózgu, które zostały odebrane przez oko.	

Na wykresie przedstawiono rozmieszczenie receptorów – czopków i pręcików – w siatkówce oka człowieka. Badano ich zagęszczenie w różnych odległościach od dołka środkowego. Odległości określono w stopniach odchylenia od osi optycznej oka.



Na podstawie: <http://www.swiatlo.tak.pl/pts/pts-oko-proces-widzenia.php>

- a) Na podstawie informacji przedstawionych na wykresie opisz dołek środkowy (plamkę żółtą), uwzględniając rodzaje i ilość receptorów.

.....

.....

- b) Podaj nazwę miejsca X na wykresie i wyjaśnij, dlaczego w tym miejscu nie ma żadnych receptorów.

.....

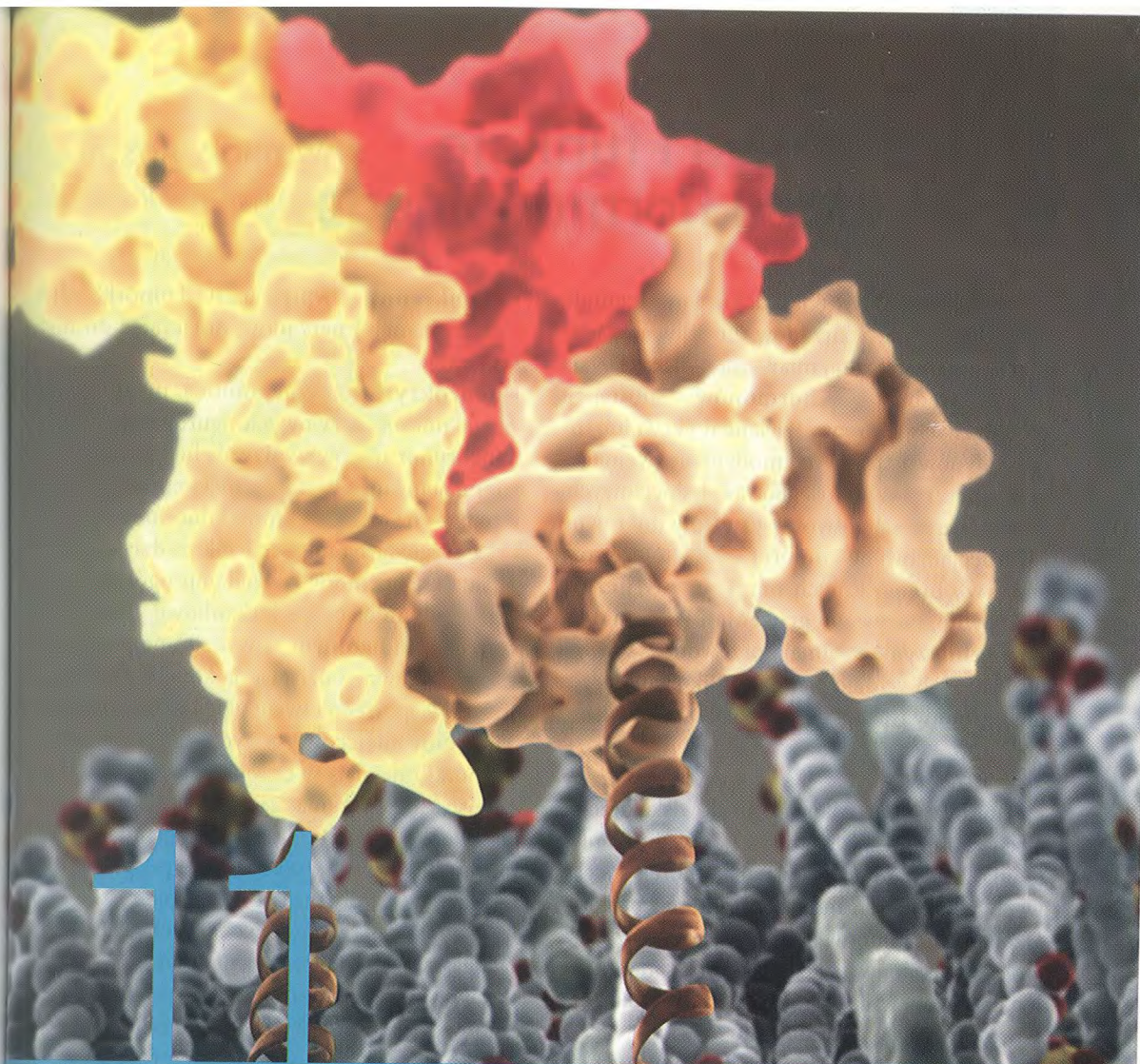
.....

.....

- c) Podaj nazwę receptorów, których jest najwięcej w siatkówce oka, oraz określ ich rolę w procesie widzenia.

.....

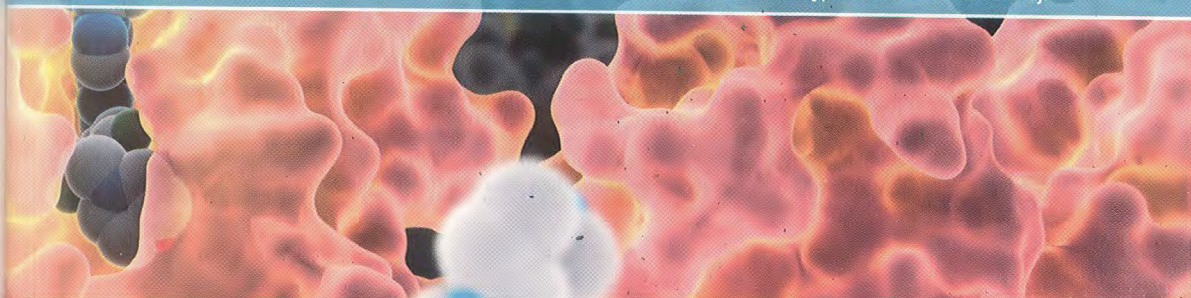
.....



Układ hormonalny

1. Budowa i funkcje układu hormonalnego
2. Regulacja wydzielania hormonów

Rys. Receptor (kolor żółty) hormonu wzrostu (kolor czerwony) w błonie komórkowej.



1

Budowa i funkcje układu hormonalnego

Układ hormonalny (układ dokrewny) reguluje i koordynuje pracę narządów, umożliwiając adaptację organizmu do zmian środowiska. Działa on za pośrednictwem **hormonów** – substancji organicznych, które wydzielane do krwi lub innych płynów ustrojowych modyfikują (wzmagają lub hamują) czynności komórek docelowych. Układ hormonalny tworzą gruczoły dokrewne i wyspecjalizowane komórki wydzielnicze rozsiane w obrębie innych narządów. **Gruczoły dokrewne**, nazywane **gruczołami wewnątrzwydzielniczymi**, nie mają przewodów wyprowadzających wydzielinę, a produkowane przez nie hormony trafiają bezpośrednio do krwi.

Hormony

Hormony są wydzielane do środowiska otaczającego komórki wydzielnicze (krew, limfa, płyn tkankowy). Stamtąd trafiają do komórek docelowych, gdzie łączą się ze swoistymi receptorami. Działanie hormonów na komórki docelowe wywołuje określone reakcje biochemiczne i fizjologiczne, zapewniające utrzymanie homeostazy. Hormony wykazują **działanie**:

- ▶ **autokrynnne** – wpływają na czynność tych samych komórek, przez które są wydzielane,
- ▶ **parakrynnne** – wpływają na czynność komórek sąsiednich, dyfundując do nich przez przestrzeń międzykomórkową,

▶ **endokrynnne** – wpływają na komórki oddległych tkanek i narządów, docierając do nich z krwią,

▶ **neurokrynnne** – za pomocą uwalnianych z zakończeń nerwowych **neuroprzekazników** (neurohormonów) wpływają bezpośrednio na inne neurony, a za pośrednictwem układu krążenia – na oddległe komórki docelowe.

Ze względu na miejsce i zakres działania wyróżnia się hormony o działaniu ogólnym oraz hormony miejscowe i tkankowe. **Hormony o działaniu ogólnym** są wydzielane przez gruczoły dokrewne i działają na komórki docelowe jedynie za pośrednictwem układu krwionośnego.

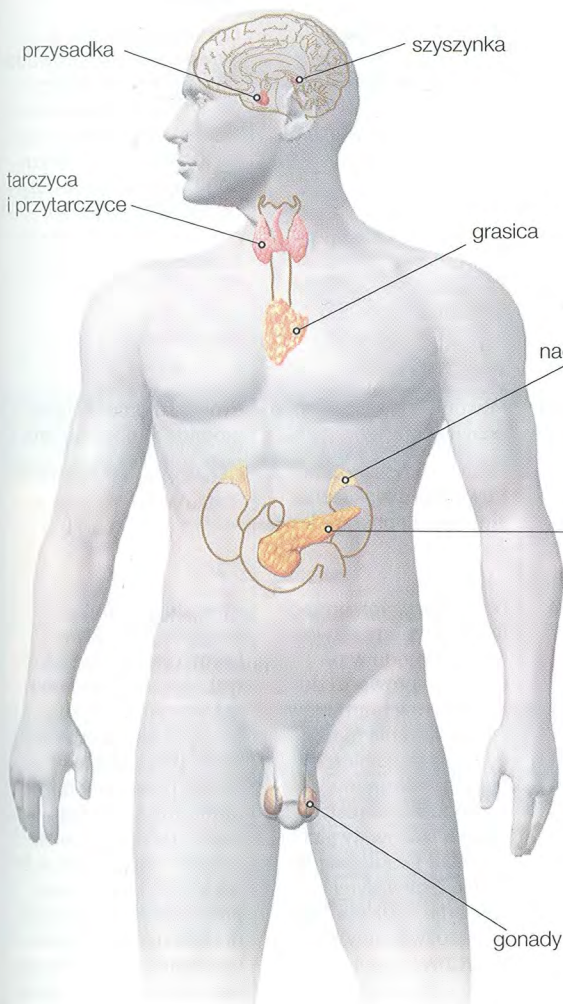
Hormony miejscowe są wydzielane przez różne komórki i działają w bezpośrednim sąsiedztwie miejsca wytwarzania. Zalicza się do nich m.in. acetylocholinę, histaminę i prostaglandyny. **Hormony tkankowe** są wytwarzane przez komórki gruczołowe, które nie tworzą skupień i występują w obrębie narządów, niebędących gruczołami. Mogą działać parakrynnie, neurokrynnie lub dokrewnie. Do hormonów tkankowych należą hormony przewodu pokarmowego, m.in. gastryna i sekretyna. Są one wydzielane przez komórki gruczołowe rozproszone w błonie śluzowej żołądka i jelit, wpływają na pracę narządów układu pokarmowego. Hormonem tkankowym jest też wytwarzana przez nerki erytropoetyna.

Wybrane hormony tkankowe i miejscowe

Nazwa substancji	Miejsce wydzielania	Działanie
Gastryna	błona śluzowa żołądka i dwunastnicy	Zwiększa wydzielanie kwasu solnego i pepsyny oraz regenerację błony śluzowej żołądka, dwunastnicy i jelita grubego; pobudza aktywność motoryczną przewodu pokarmowego.
Sekretyna	dwunastnica	Hamuje wydzielanie soku żołądkowego, pobudza trzustkę do wydzielania enzymów trawiennych.
Erytropoetyna	nerki	Pobudza procesy krwiotwórcze w czerwonym szpiku kostnym w sytuacjach niedotlenienia.
Prostaglandyny	większość tkanek organizmu	Rozszerzają lub zwężają naczynia krwionośne, uczestniczą w reakcji zapalnej, powodują skurcze mięśni gładkich.

Gruczoły dokrewne

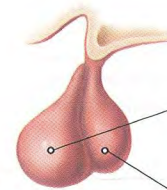
Gruczoły dokrewne znajdują się w różnych miejscach organizmu i nie są ze sobą połączone. Część z nich wchodzi w skład innych układów, np. pokarmowego lub rozrodczego. Ich wspólną cechą jest wydzielanie hormonów.



Grasica jest głównym narządem układu limfatycznego, leżącym w śródpiersiu. Po okresie dojrzewania stopniowo zanika. Powstają w niej liczne hormony, określane wspólnie jako tymozyna.



Szyszynka jest niewielkim gruczołem położonym nad mózżkiem. Wytwarza melatoninę.



Przysadka składa się z dwóch płatów: przedniego, zwanego częścią gruczołową, i tylnego, zwanego częścią nerwową.

Przedni płatek przysadki wydzielają m.in. hormony wpływające na funkcjonowanie innych gruczołów dokrewnych.

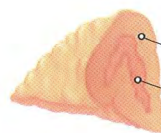
Tylny płatek magazynuje i uwalnia hormony podwzgórza.



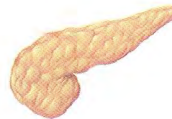
Tarczycy leży na chrząstce tarczowej krtań i z przodu górnej części tchawicy. Wydziela tyroksynę i trijodotyroninę oraz kalcytoninę.



Przytarczycy to dwie pary (górna i dolna) drobnych gruczołów znajdujących się na tylnej powierzchni tarczycy. Wydzielają parathormon.



Nadnercza leżą na górnych biegunkach nerek. Każde składa się z kory i rdzenia. **Kora** wydzielają kortykoidy, a **rdzeń** – adrenalinę.



Trzustka jest jednocześnie częścią układu pokarmowego i dokrewnego, ponieważ oprócz enzymów trawiennych wydzielają hormony – glukagon oraz insulinę.



Gonady

Jajniki wydzielają żeńskie hormony płciowe: estrogeny, progesteron.



Jądra wydzielają męskie hormony płciowe, m.in. testosteron.

Wybrane hormony i ich wpływ na organizm człowieka

Gruczoły	Hormony	Działanie hormonów	Skutki niedoboru hormonów (niedoczynności gruczołów)	Skutki nadmiaru hormonów (nadczynności gruczołów)
Przysadka	hormony tropowe	Pobudzają tarczycę, korę nadnerczy i gonady do wydzielania.	Podobne do niedoczynności gruczołów, na które działają.	Podobne do nadczynności gruczołów, na które działają.
	hormon wzrostu – somatotropina	Pobudza przemianę białek, tłuszczów, węglowodanów i składników mineralnych we wszystkich komórkach, stymuluje wzrost. Najbardziej intensywnie hormon ten jest wydzielany w nocy, wkrótce po zaśnięciu.	Niedobór hormonu w okresie dzieciństwa prowadzi do karłowatości przysadkowej (niski wzrost z zachowaniem właściwych proporcji ciała).	Nadmiar hormonu w okresie wzrostu prowadzi do gigantyzmu (olbrzymi, lecz proporcjonalny wzrost). Nadmiar hormonu w okresie zakończonego wzrostu prowadzi do akromegalii (stopniowe powiększanie się m.in. dłoni, stóp, serca).
	prolaktyna (PRL)	Pobudza gruczoły mlekowe w okresie poporodowym do wytwarzania mleka, hamuje owulację.	—	—
Szyszynka	melatonina	Działa na rytm snu i czuwania, hamuje rozwój i czynność gonad.	Powoduje przyspieszone dojrzewanie.	Prowadzi do obniżenia płodności, opóźnia dojrzewanie.
Tarczyca	kalcytonina (CT)	Zmniejsza stężenie wapnia we krwi przez blokowanie uwalniania wapnia z kości.	Powoduje zwiększenie stężenia wapnia we krwi.	—
	tyroksyna (T ₄), trijodotyronina (T ₃)	Pobudzają metabolizm, ułatwiają wchłanianie glukozy z przewodu pokarmowego.	Do syntezy tych hormonów potrzebny jest jod. Niedobór jodu w organizmie prowadzi do niedoborów hormonów i powiększenia tarczycy (wole endemiczne), niedobór hormonu powoduje u dorosłych obrzęk śluzowaty (sucha, szorstka skóra, nalaną twarz, z obwisłymi powiekami), u dzieci ogólny niedorozwój umysłowy i fizyczny.	Powoduje chorobę Gravesa-Basedowa [wym. grejwsa basedowa], która jest chorobą autoimmunologiczną tarczycy. Jej objawy to m.in.: przyspieszenie tempa przemiany materii, utrata wagi, powiększenie tarczycy (wole), zwiększona pobudliwość nerwowa, bezsenność, przyspieszenie oddechu, drżenie rąk oraz ogólne osłabienie i łatwe męczenie się, wytrzeszcz gałek ocznych.
Przytarczycce	parathormon (PTH)	Zwiększa stężenie wapnia we krwi przez uwalnianie go z kości i wzmożone wchłanianie z przewodu pokarmowego, zmniejsza stężenie fosforu we krwi.	Powoduje zmniejszenie stężenia wapnia we krwi, a w konsekwencji wzmożoną pobudliwość tkanki nerwowej. Objawia się to uczuciem mrowienia, skurczami mięśni szkieletowych, a niekiedy oddechowych i może doprowadzić do śmierci.	Powoduje demineralizację kości, zmiany w budowie stają się przyczyną bólów kostnych i trudności w chodzeniu. Zwiększenie stężenia wapnia we krwi powoduje zwiększone wydalanie go z moczem, co sprzyja odkładaniu się złogów wapnia w nerkach.
Grasica	tymozyna <i>tymulina</i>	Wpływa na dojrzewanie limfocytów T.	Powoduje obniżenie liczby limfocytów we krwi.	—

Wybrane hormony i ich wpływ na organizm człowieka

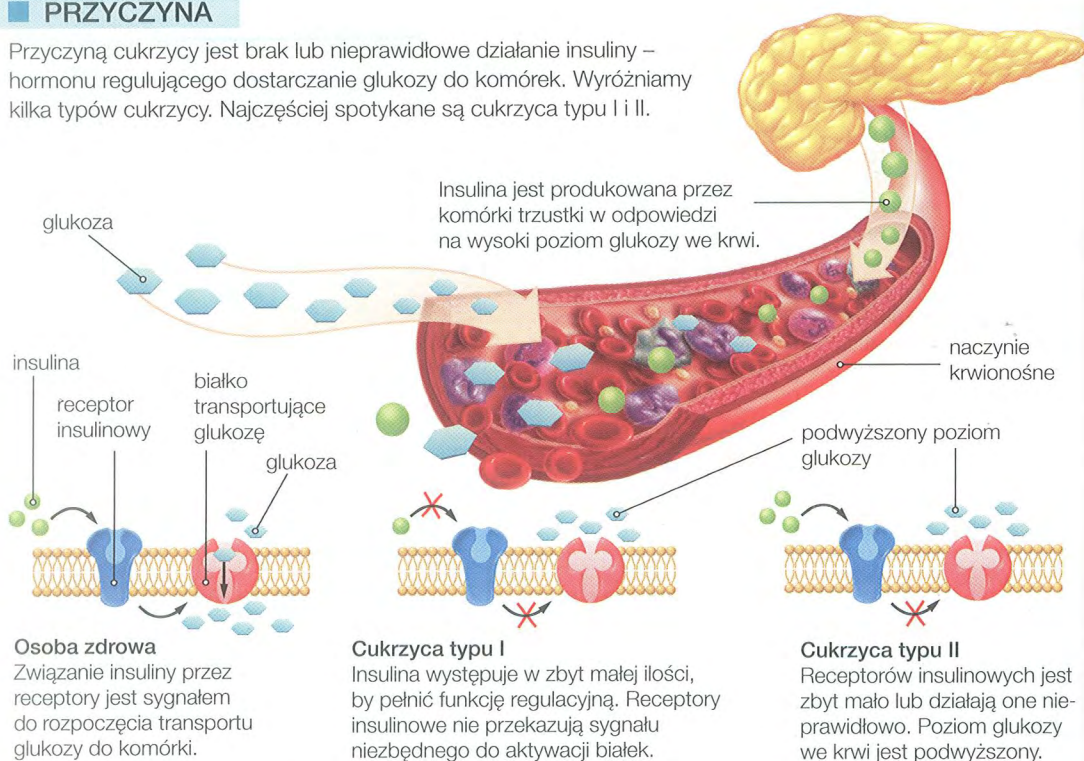
Nadnercza	adrenalina, noradrenalina (wytwarzane w rdzeniu nadnerczy)	Przygotowują organizm do walki lub ucieczki: podnoszą ciśnienie krwi, zwiększają częstotliwość skurczów serca, zwiększają stężenie glukozy we krwi oraz wentylację płuc.	—	Napady nadciśnienia (ciśnienie skurczowe może w chwili ataku osiągać wartość nawet do 300 mm Hg), zbyt wysoki poziom glukozy we krwi.
	glikokortykosteroidy, np. kortyzol (wytwarzane w korze nadnerczy)	Powoduje wzrost stężenia glukozy we krwi, zwiększa ciśnienie krwi, obniża odporność organizmu.	Niedobór kortykosteroidów powoduje chorobę Addisona, którą cechują: brak łaknienia, wymioty, krótkotrwałe bóle brzucha, zmniejszenie masy ciała, przebarwienie skóry.	Nadmiar kortykosteroidów powoduje zespół Cushinga [wym. kuszinga], który cechują: zaburzenia gospodarki tłuszczowej i węglowodanowej, odkładanie się tkanki tłuszczowej, zwłaszcza na twarzy i karku.
	mineralokortykosteroidy, np. aldosteron (wytwarzane w korze nadnerczy)	Wpływa na gospodarkę mineralną organizmu – zwiększa wchłanianie jonów sodu i potasu w nerkach.		
Trzustka	insulina (wytwarzana w komórkach B trzustki)	Zmniejsza stężenie glukozy we krwi.	Powoduje cukrzycę typu I.	Powoduje zmniejszenie stężenia cukru we krwi, co wpływa na wrażliwe na niedobór glukozy mózgowie, w efekcie następuje utrata przytomności, a nawet śmierć.
	glukagon (wytworzany w komórkach A trzustki)	Zwiększa stężenie glukozy we krwi.	—	—
Jądra	testosteron (wytworzany w komórkach Leydiga [wym. lejdig] w jądrach i w korze nadnerczy)	Powoduje rozwój drugorzędowych cech płciowych (męskich narządów płciowych, poza jądrami), odpowiada za męską budowę ciała, wzrost mięśni szkieletowych i kości, rozrost krtani.	—	—
Jajniki	estrogeny (wytwarzane w pęcherzykach jajnikowych i korze nadnerczy)	Powoduje rozwój drugorzędowych cech płciowych (żeńskich narządów rozrodczych, poza jajnikami), wpływa na proporcje ciała, barwę głosu, typ owłosienia, zmiany zachodzące w macicy podczas cyklu miesięczkowego.	—	—
	progesteron (wytworzany w ciałku żółtym, łożysku i korze nadnerczy)	Umożliwia rozwój zarodka i płodu.	—	—

Cukrzyca

Cukrzyca to zaburzenia metaboliczne różnego pochodzenia, których skutkiem jest przewlekłe podwyższenie poziomu glukozy we krwi. Sytuacja ta prowadzi do zaburzeń funkcjonowania wielu narządów (np. oczu, nerek, serca). Szacuje się, że na cukrzycę cierpi ok. 5% populacji, a liczba nowych zachorowań szybko wzrasta.

■ PRZYCZYNA

Przyczyną cukrzycy jest brak lub nieprawidłowe działanie insuliny – hormonu regulującego dostarczanie glukozy do komórek. Wyróżniamy kilka typów cukrzycy. Najczęściej spotykane są cukrzyca typu I i II.

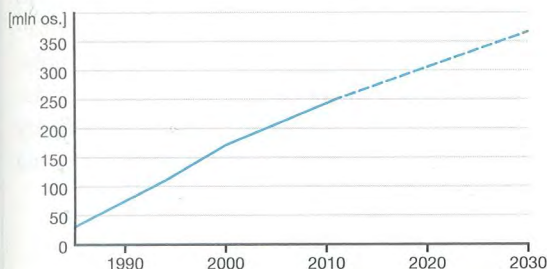


Porównanie cukrzycy typu I z cukrzycą typu II

Porównywana cecha	Cukrzyca typu I	Cukrzyca typu II
Przyczyna	niedobór insuliny w organizmie (organizm niszczy komórki trzustki produkujące insulinę)	niedobór lub nieprawidłowe działanie receptorów insulinowych
Moment pojawienia się objawów	u osób do 30. roku życia; objawy są nagłe, silne i szybko narastające w czasie	u osób po 35. roku życia; objawy są często niezauważalne, powoli narastające w czasie
Sposób wykrycia	przy nagłej konieczności skorzystania z pomocy lekarskiej	najczęściej przypadkowe, w trakcie innych badań
Częstość występowania	ok. 10% wszystkich zachorowań na cukrzycę	ok. 80–90% wszystkich zachorowań na cukrzycę
Występowanie	niezależne od stylu życia	związane z otyłością i niezdrowym stylem życia

■ DIAGNOSTYKA

U osób chorych na cukrzycę mogą występować objawy ogólnoustrojowe, takie jak wzmożone pragnienie czy osłabienie. Aby potwierdzić cukrzycę, mierzy się stężenie glukozy we krwi. Chorobę stwierdza się, gdy poziom glukozy jest wyższy niż 11,1 mmol/l w przypadkowym badaniu lub 7 mmol/l po co najmniej 8 godz. od ostatniego posiłku (na czczo).



Liczba osób chorych na cukrzycę na świecie w latach 1985–2011, oraz prognoza na lata 2012–2030.

■ LECZENIE

Celem leczenia cukrzycy jest osiągnięcie poziomu cukru zbliżonego do wartości prawidłowych. W każdym typie cukrzycy istotną rolę odgrywa leczenie niefarmakologiczne (dieta i aktywność fizyczna). W cukrzycy typu I chorym podaje się insulinę. W cukrzycy typu II leczenie rozpoczyna się zwykle od modyfikacji diety i wprowadzenia wysiłku fizycznego. Jeśli to nie wystarcza, stosuje się leki poprawiające działanie insuliny oraz nasilające jej wydzielanie, a w ostateczności – insulinoterapię.



Glukometr umożliwia chorym samodzielne kontrolowanie poziomu glukozy we krwi.

■ PROFILAKTYKA

Nieleczona cukrzyca często prowadzi do występowania poważnych powikłań zdrowotnych, takich jak choroby układu krążenia, układu nerwowego, oczu i nerek. Dlatego należy kontrolować poziom cukru we krwi (u osób zdrowych raz na 3 lata). Cukrzycy typu II można zapobiec dzięki:

- ▶ utrzymywaniu prawidłowej masy ciała,
- ▶ modyfikacji sposobu odżywiania się (m.in. ograniczeniu spożycia tłuszczów nasyconych i pokarmów bogatych w cukry proste),
- ▶ zwiększeniu aktywności fizycznej (co najmniej 30 min, cztery razy w tygodniu),
- ▶ niepaleniu tytoniu.

Objawy, które mogą świadczyć o cukrzycy:

- wzmożone pragnienie,
- częste oddawanie moczu,
- osłabienie i senność,
- utrata wagi,
- infekcje skórne.

? Pomyśl

Co, Twoim zdaniem, jest główną przyczyną tak szybkiego wzrostu zachorowań na cukrzycę?

Warto zajrzeć!
 <http://www.cukrzyca12.pl/cukrzyca-animacja.php>

■ Antagonistyczne działanie hormonów

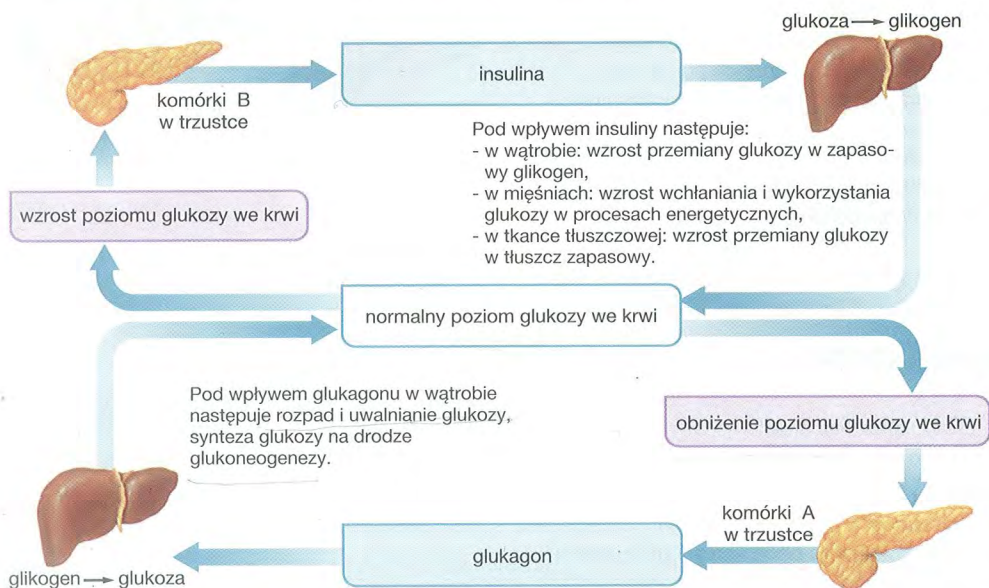
Niektóre hormony działają przeciwnie. Na przykład przeciwnie do **insuliny**, produkowanej przez komórki B trzustki, działa **glukagon**, produkowany przez komórki A trzustki. Insulina wpływa na obniżenie stężenia glukozy we krwi (cukier ten jest głównym źródłem energii dla organizmu), pobudza transport glukozy z krwi do komórek wątroby, komórek tłuszczowych i mięśniowych. Bodźcem do wydzielania insuliny jest wzrost stężenia glukozy we krwi, który następuje np. po posiłku. Z kolei działanie **glukagonu** warunkuje utrzymanie stałego stężenia glukozy we krwi w czasie głodu lub wysiłku fizycznego, kiedy konieczna jest mobilizacja źródeł energii. Prawidłowe stężenie glukozy we krwi zależy zatem od odpowiednich proporcji

insuliny i glukagonu, a także od hormonów innych gruczołów dokrewnych (np. nadnerczy i tarczycy).

Kolejną parę hormonów o działaniu przeciwnym stanowią **kalcytonina** (hormon tarczycy) i **parathormon** (hormon produkowany przez przytarczycę). Regulują one stężenie wapnia we krwi: kalcytonina powoduje spadek stężenia, natomiast parathormon – wzrost. W organizmie dorosłego człowieka znajduje się ok. 1 kg wapnia, z czego prawie 99% wchodzi w skład kości. W związku z tym regulacja stężenia tego pierwiastka we krwi dotyczy uwalniania go z kości, wchłaniania w jelitach oraz wydalenia z moczem. Wpływ na równowagę między wchłanianiem wapnia a jego wydalaniem ma również witamina D₃.

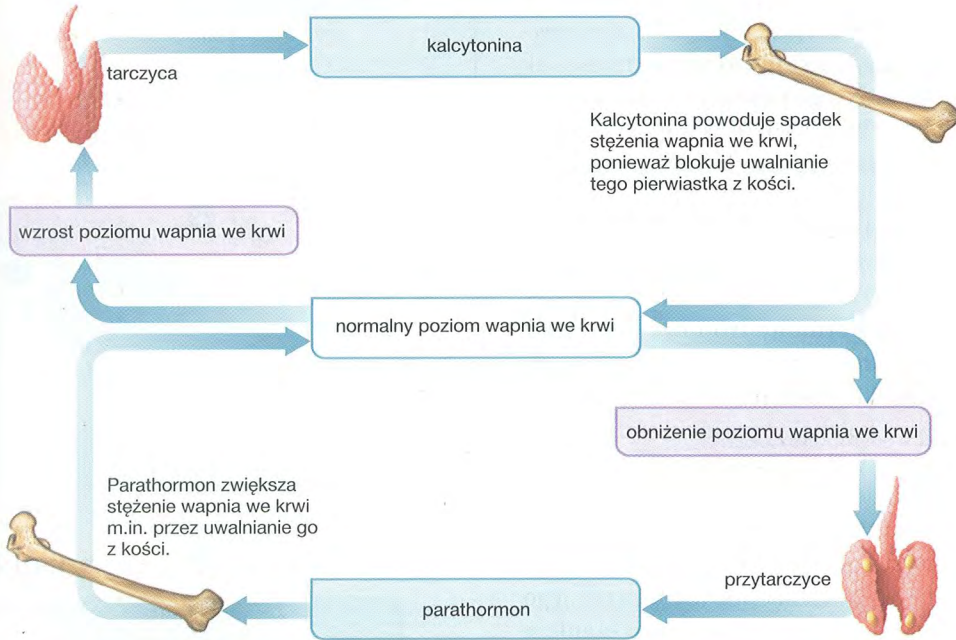
Antagonistyczne działanie insuliny i glukagonu

Glukoza jest jednym z produktów trawienia, wchłanianym do krwi w jelitach. Insulina stymuluje transport glukozy z krwi do tkanek oraz kontroluje syntezę glikogenu i triglicerydów. W stanie głodu źródłem glukozy jest wątroba. Uwalniany przez wątrobę cukier pochodzi z rozkładu glikogenu następującego pod wpływem glukagonu lub, przy przedłużającym się stanie głodu, z przemian aminokwasów pochodzących z białek mięśni.



Antagonistyczne działanie kalcytoniny i parathormonu

Wapń jest składnikiem budulcowym kości, bierze udział w procesie krzepnięcia krwi, wpływa także na funkcjonowanie mięśni i układu nerwowego. Jego stężenie we krwi regulują parathormon i kalcytonina. Przy obniżonym poziomie wapnia we krwi wydzielany przez przytarczycę parathormon powoduje uwalnianie wapnia z kości i jego wzmożone wchłanianie z przewodu pokarmowego. Natomiast przy wzroście poziomu wapnia we krwi wydzielana przez tarczycę kalcytonina blokuje jego uwalnianie z kości.



Polecenia kontrolne

1. Wyjaśnij pojęcia: *hormony, endokrynologia, gruczoł dokrewny, neurohormony*.
2. Podaj nazwę głównego hormonu szyszynki i scharakteryzuj jego działanie.
3. Omów znaczenie tarczycy dla prawidłowego rozwoju organizmu. Porównaj konsekwencje zaburzeń w funkcjonowaniu tego gruczołu u dzieci i osób dorosłych.
4. Wyjaśnij, dlaczego prawidłowe funkcjonowanie tarczycy wymaga odpowiedniego stężenia jodu we krwi.
5. Wymień hormony odpowiedzialne za gospodarkę wapniem.
6. Scharakteryzuj konsekwencje zmniejszonego oraz zwiększonego stężenia wapnia we krwi.
7. Wyjaśnij, jaką rolę w regulacji czynności układu immunologicznego odgrywają hormony grasicy.
8. Wyjaśnij, dlaczego gruczoły ślinowe i gruczoły potowe nie są gruczołami wewnątrzwydzielniczymi.

2

Regulacja wydzielania hormonów

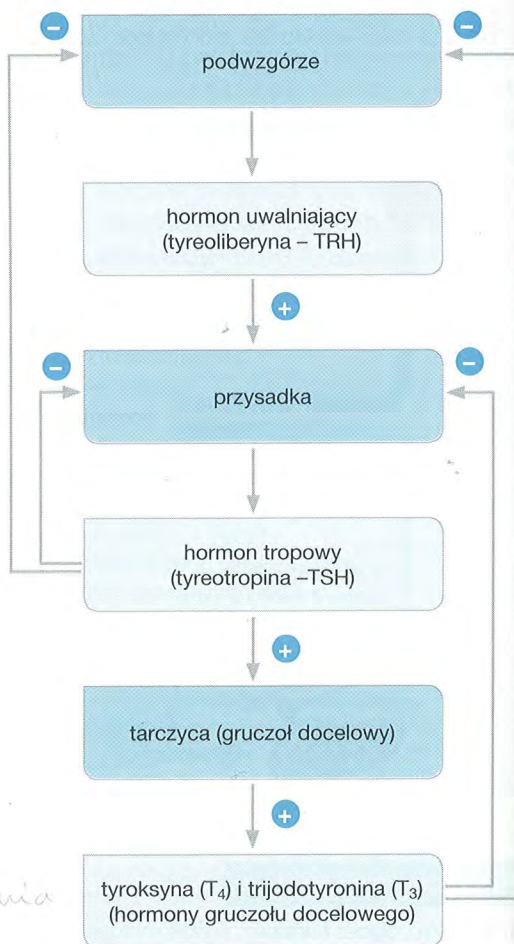
Hormony są wytwarzane i działają w niezwykle małych stężeniach. Dla większości z nich prawidłowe stężenie we krwi wynosi 10^{-12} – 10^{-7} mol/l. Z tego względu nawet niewielkie odchylenia od normy stają się przyczyną poważnych zaburzeń w funkcjonowaniu organizmu, przy czym równie niebezpieczny jest niedobór hormonu, jak i jego nadmiar. Z tego powodu regulacja stężenia hormonów w płynach ustrojowych jest bardzo precyzyjna.

■ Sprzężenie zwrotne

W regulacji czynności układu dokrewnego szczególną rolę odgrywa przysadka. Wydzielane przez nią **hormony tropowe** pobudzają gruczoły docelowe: tarczycę, korę nadnerczy, jajniki i jądra do uwalniania właściwych im hormonów. Z kolei zbyt wysokie stężenie danego hormonu wpływa hamująco na wydzielanie odpowiedniego hormonu tropowego przez przysadkę. Skutkuje to obniżeniem wydzielania hormonu przez gruczoł docelowy. Mechanizm hamowania wydzielania hormonu przez jego nadmiar jest nazywany **ujemnym sprzężeniem zwrotnym**. Gdy poziom hormonu wydzielanego przez gruczoł docelowy jest zbyt niski, przysadka wydela hormon tropowy pobudzający gruczoł docelowy do wydzielania większej ilości tego hormonu.

Praca przysadki jest regulowana przez układ nerwowy za pośrednictwem podwzgórza, będącego częścią międzymózgowia. Z przednim płatem przysadki podwzgórze jest połączone naczyniami krwionośnymi, tworzącymi tzw. **wrotny układ przysadki**. Naczyniami tymi wraz z krwią docierają do przysadki hormony sterujące jej pracą. Są to **hormony uwalniające** (liberyny) i **hamujące** (statyny). Przykładem liberyny jest hormon uwalniający tyreotropinę, a statyny – hormon hamujący uwalnianie prolaktyny. Z tylnym płatem przysadki podwzgórze jest połączone za pomocą neuronów, które wytwarzają **wazopresynę i oksytocynę**. Hormony

Regulacja pracy tarczycy jako przykład ujemnego sprzężenia zwrotnego



te, przekazywane za pośrednictwem neuronów do **tylnego płata przysadki**, są tam magazynowane i w razie potrzeby uwalniane. Proces wytwarzania hormonów przez komórki nerwowe nazywamy **neurosekrecją**.

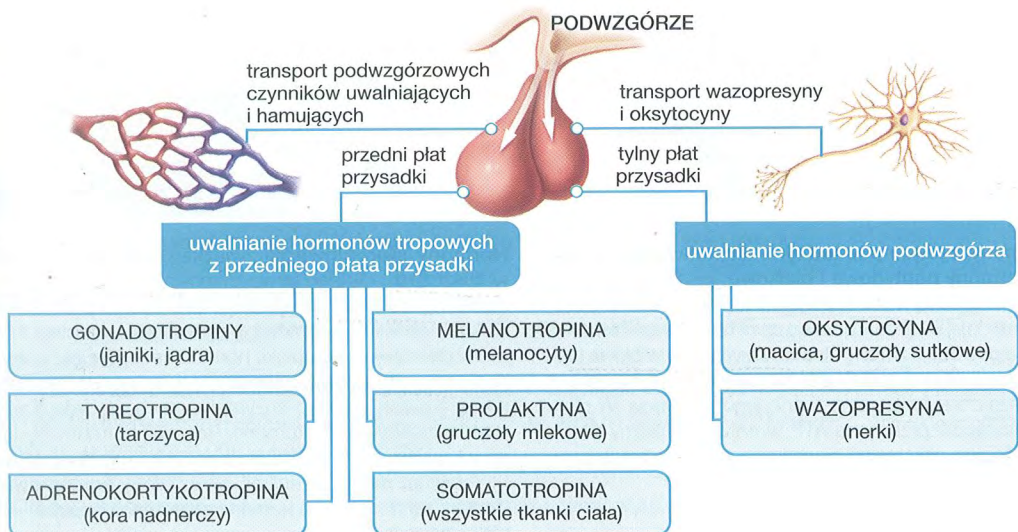
Układ hormonalny ma zatem budowę hierarchiczną. Nadrzędną funkcję pełni w nim podwzgórze, regulujące pracę przysadki przez wydzielanie hormonów uwalniających i hamujących. Przysadka z kolei za pomocą hormonów tropowych kontroluje działanie większości pozostałych gruczołów dokrewnych.

Hormony podwzgórza

Hormon	Narządy docelowe	Działanie
Hormony działające na przedni płat przysadki (gruczołowy)	tyreoliberyna	Uwalnia tyreotropinę.
	gonadoliberyna	Uwalnia gonadotropiny.
	kortykoliberyna	Uwalnia kortykotropinę.
	somatoliberyna	Uwalnia hormon wzrostu.
	somatostatyna	Hamuje uwalnianie hormonu wzrostu.
	prolaktoliberyna	Uwalnia prolaktynę.
	dopamina	Hamuje uwalnianie prolaktyny.
	melanoliberyna	Uwalnia melanotropinę.
	melanostatyna	Hamuje uwalnianie melanotropiny.
Hormony magazynowane w tylnym płacie przysadki	wazopresyna (hormon antydiuretyczny)	Wzmaga zwrotne wchłanianie wody z kanalików nerkowych, co powoduje zwiększenie objętości płynów ustrojowych, a zmniejszenie objętości moczu.
	oksytocyna	Powoduje skurcze mięśni gładkich macicy (z tego powodu podaje się ją w celu wywołania lub przyspieszenia porodu), wydzielanie mleka i skurcze nasieniowodów podczas ejakulacji.

Układ podwzgórzowo-przysadkowy

Podwzgórzowe czynniki uwalniające lub hamujące są transportowane wraz z krwią do przysadki, gdzie odpowiednio zmieniają wydzielanie przez nią hormonów. Transport wazopresyny i oksytocyny odbywa się bezpośrednio za pomocą włókien nerwowych docierających do tylnej części przysadki.



■ Molekularny mechanizm działania hormonów

Ze względu na budowę chemiczną hormony można podzielić na:

▶ zbudowane z aminokwasów:

- pochodne aminokwasów (tryptofanu i tyrozyny), np. melatonina, tyroksyna, trójiodotyronina, adrenalina, noradrenalina,
- peptydowe, np. adrenokortykotropina, melanotropina, wazopresyna, oksytocyna, kalcytonina, parathormon, insulina, glukagon,
- białkowe, np. hormony podwzgórza i przysadki;

▶ steroidowe, syntetyzowane z cholesterolu, np. hormony kory nadnerczy oraz hormony płciowe wydzielane przez jądra i jajniki.

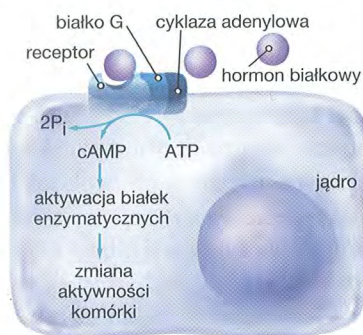
■ Współdziałanie układu hormonalnego z układem nerwowym

Układ hormonalny, podobnie jak układ nerwowy, reguluje podstawowe procesy życiowe organizmu. Jednak w odróżnieniu od układu nerwowego, który działa za pośrednictwem impulsów nerwowych, wpływa na komórki docelowe za pomocą przekaźników chemicznych – hormonów. Czas działania hormonów na komórki docelowe jest dłuższy niż czas działania impulsów. Skutki tego działania trwają niekiedy kilka dni lub tygodni po zniknięciu bodźca hormonalnego.

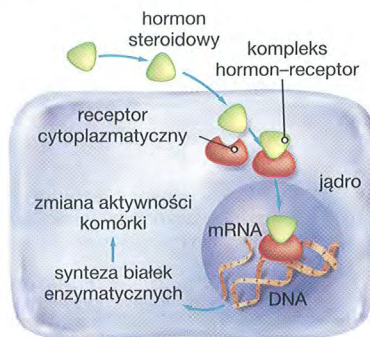
Łącznikiem pomiędzy układem hormonalnym a układem nerwowym jest podwzgórze. Do niego docierają impulsy nerwowe niosące

Działanie hormonów na komórki

Hormony są roznoszone przez płyny ustrojowe po całym organizmie i **przyłączają się do swoistych receptorów** na powierzchni (receptory błonowe) lub wewnątrz komórek (receptory cytoplazmatyczne lub jądrowe). To zapoczątkowuje szereg procesów wewnątrzkomórkowych, które zawsze prowadzą do zmiany aktywności komórki – **pobudzają lub hamują syntezę enzymów i innych białek**, a w wypadku komórek wydzielniczych jest to pobudzenie syntezy odpowiednich substancji (np. mleka przez gruczoły mlekowe lub śluzu przez gruczoły odźwiernikowe żołądka).



Hormony będące pochodnymi aminokwasów, a także hormony peptydowe i białkowe, jako rozpuszczalne w wodzie, nie są w stanie pokonać błony komórki i przedostać się do jej wnętrza. Łączą się one z receptorami błonowymi, co powoduje zmianę struktury tkwiącego w błonie białka G i umożliwia jego związanie się z enzymem błonowym (cyklazą adenylową), a następnie jego aktywację. W efekcie następuje przemiana ATP w cAMP (cykliczny AMP), który inicjuje ciąg reakcji biochemicznych, a to ostatecznie prowadzi do zmiany aktywności komórki.



Hormony steroidowe są związkami rozpuszczalnymi w tłuszczach, dlatego łatwo przenikają przez błonę komórkową do wnętrza komórki. Tam tworzą połączenie z odpowiednimi receptorami cytoplazmatycznymi komórki docelowej. Komplex hormon-receptor jest transportowany do jądra komórkowego, w którym reguluje syntezę białek, głównie enzymatycznych, decydujących o zmianie aktywności komórki. Również hormony będące pochodnymi aminokwasu tyrozyny (trójiodotyronina i tyroksyna) mogą przenikać przez błony komórkowe. Dostają się do wnętrza komórki za pomocą specjalnych białek transportujących.

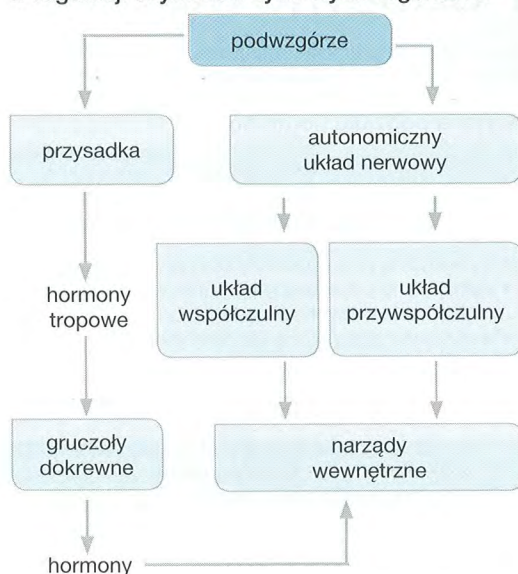
informacje o zmianach środowiska. W odpowiedzi na te informacje podwzgórze wpływa na:

▶ **układ hormonalny.** Podwzgórze wytwarza liberyny i statyny, które regulują czynność wewnątrzwydzielniczą przysadki. Hormony tropowe przysadki działają na gruczoły obwodowe, które wytwarzają odpowiednie hormony działające na narządy docelowe;

▶ **układ autonomiczny.** Podwzgórze przekazuje impulsy nerwowe do odpowiednich struktur układu autonomicznego, który kieruje pracą narządów docelowych.

Narządy docelowe odpowiednio dostosowują swoje funkcjonowanie do odbieranych informacji, umożliwiając tym samym dostosowanie się organizmu do zmiennych warunków środowiska. W ten sposób oba układy: hormonalny i nerwowy zapewniają utrzymanie homeostazy.

Udział układu hormonalnego i nerwowego w regulacji czynności życiowych organizmu



Porównanie układu hormonalnego z układem nerwowym

Cecha	Układ hormonalny	Układ nerwowy
Budowa	kilka narządów o odmiennej budowie tkankowej, brak połączeń między narządami	głównie tkanka nerwowa łącząca również wszystkie narządy tego układu
Szybkość przekazywania informacji	mała, taka jak prędkość przepływu krwi w naczyniach	duża, zwykle kilkadziesiąt metrów na sekundę
Szybkość reakcji organizmu	reakcja następuje po dłuższym czasie (po kilku minutach, godzinach lub dłużej)	reakcja natychmiastowa (w ciągu milisekund)
Sposób przekazywania informacji	za pomocą <u>przekaźników chemicznych – hormonów</u>	za pomocą <u>impulsów nerwowych</u>
Czas działania na organizm	długotrwały (nawet kilka tygodni)	krótkotrwały

Polecenia kontrolne

- Wyjaśnij znaczenie ujemnego sprzężenia zwrotnego w regulacji czynności układu dokrewnego.
- Scharakteryzuj rolę podwzgórza w kontrolowaniu czynności przysadki.
- Przedstaw klasyfikację hormonów, przyjmując za główne kryterium ich budowę chemiczną.
- Wyjaśnij mechanizm działania hormonu peptydowego i hormonu steroidowego.
- Wyjaśnij, które z właściwości przysadki pozwoliły na uznanie jej za gruczoł nadrzędny wobec pozostałych gruczołów dokrewnych.
- Wykonaj w zeszycie schemat obrazujący sposób regulacji czynności układu dokrewnego.
- Omów współdziałanie układu hormonalnego z układem nerwowym.

Podsumowanie

Hormony – substancje organiczne, które wydzielane do krwi lub innych płynów ustrojowych modyfikują (wzmacniają lub hamują) czynności komórek docelowych.

Kryteria podziału hormonów

PODZIAŁ HORMONÓW

ze względu na miejsce wytwarzania

- wytwarzane przez gruczoły dokrewne
- wytwarzane przez grupy komórek wydzielniczych w tkankach różnych narządów (hormony tkankowe)
- wydzielane przez różne komórki (hormony miejscowe)

ze względu na budowę chemiczną

- zbudowane z aminokwasów – pochodne aminokwasów, peptydowe, białkowe
- steroidowe – pochodne cholesterolu

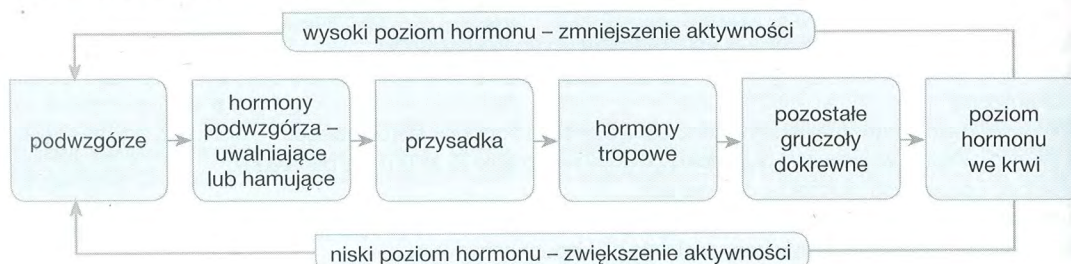
Charakterystyka hormonów

Cecha	Hormony peptydowe i białkowe, pochodne aminokwasów	Hormony steroidowe
Rozpuszczalność	rozpuszczalne w wodzie	rozpuszczalne w tłuszczach
Swobodne przenikanie przez błonę komórkową	nie	tak
Etapy przekazywania sygnału do komórki	1. połączenie hormonu z receptorami w błonie komórkowej 2. przekazanie sygnału do wnętrza komórki, co zapoczątkowuje ciąg reakcji biochemicznych 3. zmiana aktywności komórki	1. przeniknięcie hormonu przez błonę komórkową 2. połączenie hormonu z receptorami cytoplazmatycznymi komórki docelowej 3. transport kompleksu hormon–receptor do jądra komórkowego 4. regulacja syntezy białek, decydujących o zmianie aktywności komórki
Przykłady	melatonina, adrenalina, insulina	aldosteron, estrogeny, testosteron

Podział hormonów podwzgórza

Hormony podwzgórza		
liberyny	statyny	wazopresyna i oksytocyna
• hormony uwalniające hormony tropowe przysadki	• hormony hamujące uwalnianie hormonów tropowych przysadki	• hormony przekazywane do tylnego płata przysadki, gdzie są magazynowane i w razie potrzeby uwalniane

Regulacja czynności układu hormonalnego

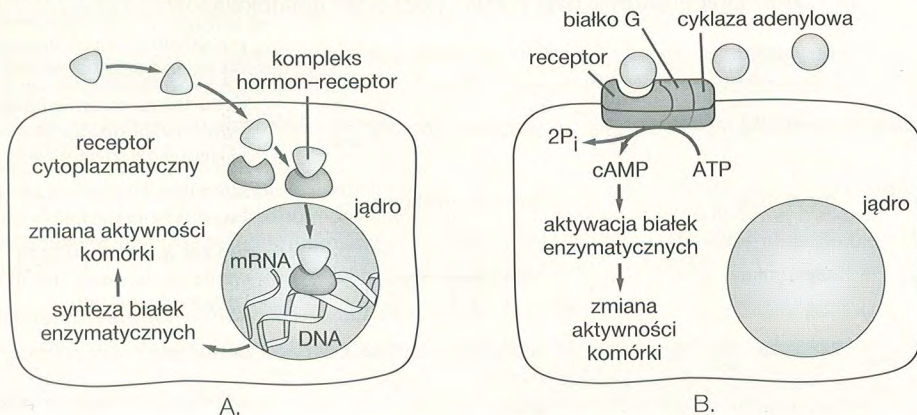


Miejsce wytwarzania i sposób działania wybranych hormonów

Nazwa hormonu	Gruzoł	Narząd docelowy	Działanie
Hormony białkowe, peptydowe, pochodne aminokwasów			
hormony tropowe	przysadka	inne gruczoły dokrewne	pobudzanie innych gruczołów do wydzielania hormonów
somatotropina	przysadka	wszystkie komórki	pobudzanie przemian białek, węglowodanów, tłuszczów i składników mineralnych
prolaktyna	przysadka	gruczoły mlekowe	stymulowanie wytwarzania i wydzielania mleka
melatonina	szyszynka	układ nerwowy	regulacja cyklu snu i czuwania, hamowanie rozwoju i czynności gonad
tyroksyna, trójjodotyronina	tarczycza	większość komórek ciała	pobudzanie metabolizmu
kalcytonina	tarczycza	kości	zmniejszenie stężenia wapnia we krwi
parathormon	przytarczyce	kości, jelito, nerki	zwiększenie stężenia wapnia we krwi oraz wchłaniania wapnia z przewodu pokarmowego, zmniejszanie stężenia fosforu we krwi
tymozyna	grasica	narządy układu odpornościowego	regulacja dojrzewania limfocytów T
adrenalina, noradrenalina	rdzeń nadnerczy	układ nerwowy, wątroba, serce, mięśnie gładkie, oskrzela	podnoszenie ciśnienia krwi, zwiększanie częstotliwości skurczów serca, poziomu glukozy we krwi, wentylacji płuc oraz przepływu impulsów nerwowych
insulina	trzustka (komórki B)	głównie mięśnie, tkanka tłuszczowa i wątroba	zmniejszanie stężenia glukozy we krwi
glukagon	trzustka (komórki A)	wątroba	zwiększanie stężenia glukozy we krwi
Hormony steroidowe			
kortyzol	kora nadnerczy	większość komórek ciała	zwiększanie stężenia glukozy we krwi i ciśnienia krwi, obniżanie odporności organizmu
mineralokortykosteroidy – aldosteron	kora nadnerczy	kanaliki nerkowe	zwiększanie wchłaniania jonów sodu i potasu w nerkach
estrogeny	jajniki (pęcherzyki Graafa), kora nadnerczy	większość komórek ciała	odpowiedzialne za rozwój drugorzędowych cech płciowych
progesteron	jajniki (ciałko żółte), łożysko, kora nadnerczy	macica	umożliwianie rozwoju zarodka i płodu
testosteron	głównie jądra	większość komórek ciała	rozwój drugorzędowych cech płciowych

Test maturalny

1 Ilustracja przedstawia działanie dwóch rodzajów hormonów.



a) Przyporządkuj rodzajom hormonów odpowiednie schematy działania, wpisując odpowiadającą im literę.

Hormon peptydowy:

Hormon steroidowy:

b) Podkreśl nazwy gruczołów produkujących hormony steroidowe.

kora nadnerczy, tarczyca, jądra, rdzeń nadnerczy, przysadka, jajniki

c) Oceń, którego typu hormonów dotyczy każde z poniższych zdań. Wpisz znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

	Hormony peptydowe	Hormony steroidowe
Receptor cytoplazmatyczny		
Receptor błonowy		
Hormon rozpuszczalny w tłuszczach		
Aktywacja cykazy adenylowej		
Udział białka G		
Zmiana aktywności komórki		

d) Wyjaśnij, co jest powodem odmiennej lokalizacji obu rodzajów hormonów (w błonie lub w cytoplazmie).

.....

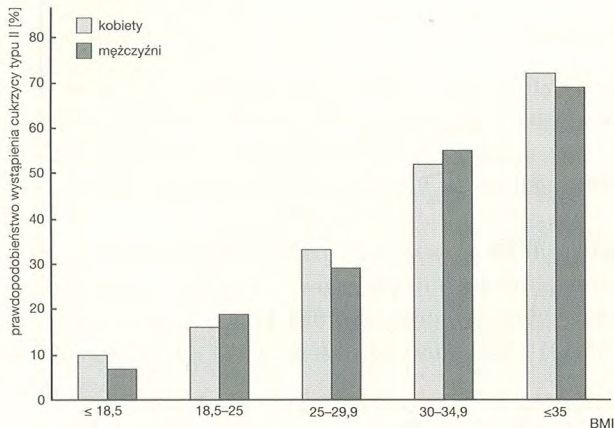
.....

.....

.....

.....

- 2** Cukrzyca jest to choroba o podłożu metabolicznym, której objawem jest podwyższony poziom glukozy we krwi. Wyróżnia się dwa typy cukrzycy – typ I i typ II. Poniższy wykres przedstawia ryzyko wystąpienia cukrzycy typu II u osób w wieku 18 lat, w zależności od płci i wskaźnika BMI.



- a) Na podstawie analizy wykresu podaj główny czynnik ryzyka wystąpienia cukrzycy typu II.

- b) Sformułuj hipotezę odpowiednią do przedstawionych na wykresie danych. Weź pod uwagę jedną zmienną niezależną.

- c) Zaproponuj trzy działania pomocne w profilaktyce cukrzycy typu II.

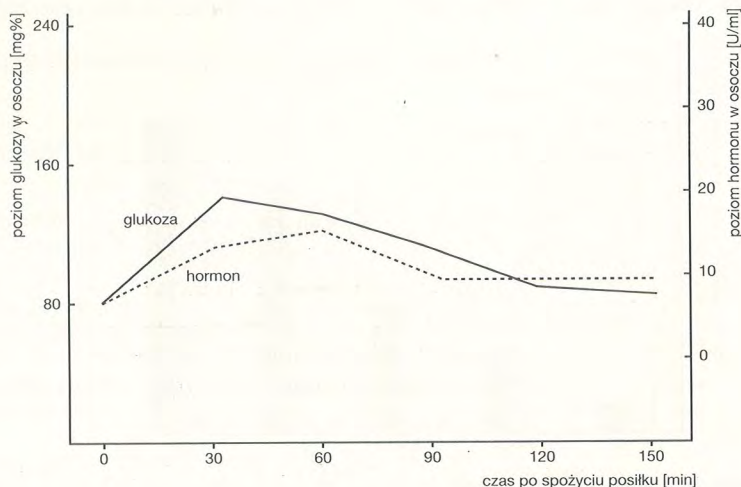
2.

3.

- 3** W organizmie istnieją dwa układy regulujące i koordynujące pracę narządów – układ nerwowy oraz układ hormonalny. Ich działanie różni się pod wieloma względami.

Skonstruuj tabelę, w której porównasz działanie układów nerwowego i hormonalnego. Weź pod uwagę szybkość przekazywanej informacji, czas działania sygnału oraz czas oczekiwania na reakcję organizmu.

- 4 Wykres przedstawia zmiany poziomu glukozy oraz pewnego hormonu w osoczu po spożyciu posiłku.



- a) Określ, którego hormonu dotyczy wykres: insuliny czy glukagonu. Uzasadnij swoją odpowiedź.

.....

.....

- b) Podaj, jakie komórki trzustki produkują insulinę i glukagon.

.....

- c) Oceń którego hormonu – glukagonu czy insuliny – dotyczy każde z poniższych zdań. Wpisz znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

	Glukagon	Insulina
Hormon ten stymuluje transport glukozy z krwi do tkanek.		X
Hormon ten jest wydzielany w odpowiedzi na wysokie stężenie glukozy we krwi.		X
Pod wpływem tego hormonu następuje wzrost przemian glukozy w tłuszcz zapasowy.		X

- 5 Przysadka i podwzgórze pełnią nadrzędną funkcję w regulacji hormonalnej. Podwzgórze steruje pracą przysadki, ta zaś, produkując hormony tropowe, wpływa na pracę gruczołów docelowych. Aktywność zarówno podwzgórza, jak i przysadki jest regulowana przy pomocy mechanizmu zwanego ujemnym sprzężeniem zwrotnym.

- a) Wyjaśnij, w jaki sposób podwzgórze reguluje pracę przysadki.

.....

.....

- b) Podaj nazwy dwóch hormonów produkowanych przez podwzgórze i magazynowanych w przysadce.

.....

To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PR), zad. 19.

Działanie hormonów tarczycy (tyroksyny i trójiodotyroniny) polega na pobudzaniu aktywności metabolicznej tkanek ustroju, co wyraża się zwiększonym zużyciem tlenu, glukozy i tłuszczów na poziomie komórkowym. Pobudzają one również wchłanianie węglowodanów oraz regulują metabolizm cholesterolu. Pobudzają też kurczliwość włókien mięśniowych.

Do lekarza zgłosiła się bardzo szczupła kobieta skarżąca się na utrzymującą się od dłuższego czasu podwyższoną temperaturę ciała, nerwowość, drżenie rąk, kołatanie serca.

Podczas badania stwierdzono tętno ponad 100 uderzeń/min, podwyższone ciśnienie tętnicze, obniżony poziom cholesterolu we krwi, niskie stężenie TSH (tyreotropiny) oraz wysoki poziom hormonów tarczycy.

- a) Podaj, czy opisane objawy wskazują na niedoczynność tarczycy czy na nadczynność tarczycy.

.....nadczyność.....

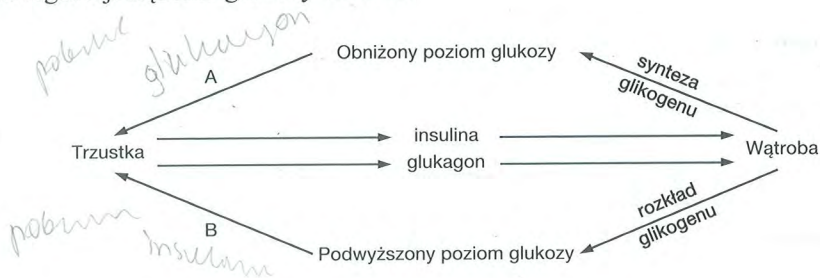
- b) Wyjaśnij, dlaczego, w opisanym przypadku, we krwi występuje niskie stężenie tyreotropiny.

W krwi pacjentki było wysoki poziom hormonów tarczycy, które na ośrodkowym poziomie hamowały wydzielanie tyreotropiny przez przysadkę przednią.

Zadanie 2. (2 pkt)

Źródło: CKE 2005 (PP), zad. 8.

Schemat regulacji stężenia glukozy we krwi.



Ustal, w którym miejscu schematu, A czy B, należy wstawić opis: *pobudzanie wytwarzania glukagonu*, a w którym z tych miejsc należy wstawić opis: *pobudzanie wytwarzania insuliny*.

.....
.....

Zadanie 3. (1 pkt)

Źródło: CKE 11.2006 (PP), zad. 7.

Właściwy poziom jonów wapnia we krwi jest efektem antagonistycznego działania dwóch hormonów – kalcytoniny i parathormonu.

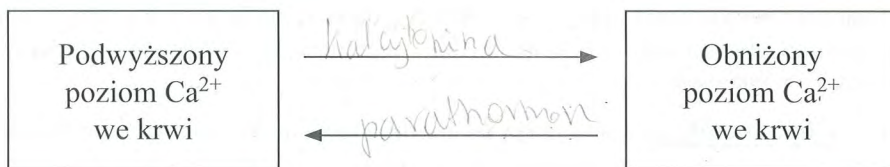
Kalcytonina

Hamuje uwalnianie wapnia z kości.
Przyczynia się do przesuwania Ca^{2+} do kości.
Ułatwia wydalanie Ca^{2+} z moczem.

Parathormon

Uwalnia wapń z kości.
Zwiększa resorpcję zwrotną Ca^{2+} z kanalików nerkowych.
Zwiększa wchłanianie Ca^{2+} ze światła jelita.

Uzupełnij poniższy schemat, wpisując nad każdą strzałką nazwę odpowiedniego hormonu.

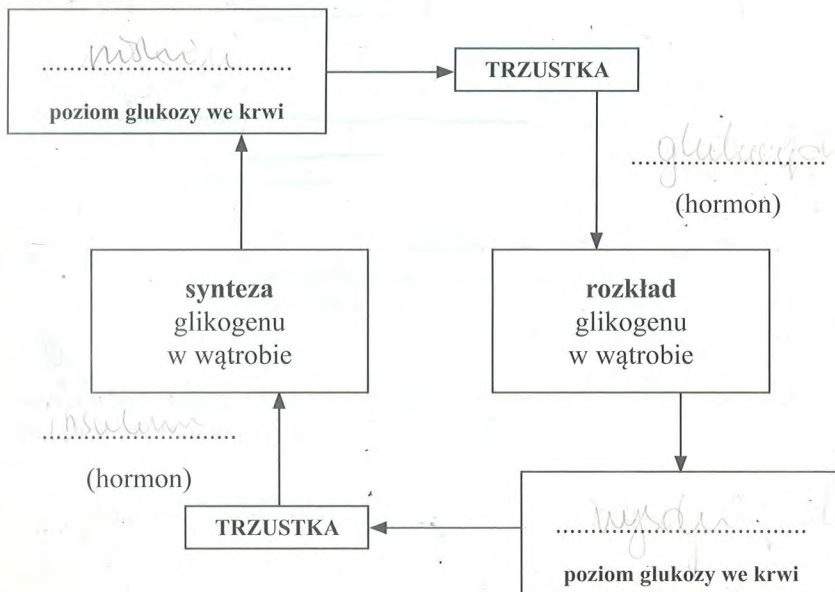


Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PP), zad. 19.

Za utrzymanie właściwego poziomu glukozy we krwi odpowiadają dwa hormony wydzielane przez trzustkę. Zbyt wysoki poziom glukozy we krwi pobudza wydzielanie przez trzustkę insuliny, która powoduje syntezę glikogenu w wątrobie. Przeciwnie do insuliny działa glukagon, który przy niskim poziomie glukozy we krwi rozkłada glikogen w wątrobie. Do krwi uwalniana jest wtedy glukoza, która podnosi poziom tego cukru we krwi.

Na podstawie analizy tekstu uzupełnij poniższy schemat tak, aby poprawnie ilustrował regulację poziomu glukozy we krwi.





12

Rozmnażanie i rozwój człowieka

1. Budowa i funkcjonowanie męskich narządów rozrodczych
2. Budowa i funkcjonowanie żeńskich narządów rozrodczych

3. Rozwój człowieka
4. Planowanie rodziny. Choroby i higiena układu rozrodczego

Fot. Zapłodnienie (mikrofotografia skaningowa).

Budowa i funkcjonowanie męskich narządów rozrodczych

Zdolność do rozmnażania się, czyli wydawania potomstwa przez osobniki rodzicielskie, zapewnia istnienie gatunku i jest jedną z cech istot żywych. W układach rozrodczych zarówno kobiet, jak i mężczyzn powstają komórki płciowe – **gamety**, których połączenie staje się początkiem istnienia nowego organizmu. Do zadań męskiego układu rozrodczego należy:

- ▶ wytwarzanie męskich komórek płciowych, czyli plemników,
- ▶ wprowadzanie plemników do żeńskich dróg rodnych,
- ▶ wytwarzanie hormonów płciowych.

Męski układ rozrodczy tworzą narządy płciowe zewnętrzne oraz narządy płciowe wewnętrzne. Do narządów płciowych zewnętrznych należą prącie i moszna, a do narządów wewnętrznych – jądra wraz z najądrzami, nasieniowody, przewód wytryskowy, cewka moczowa i gruczoły dodatkowe. Gruczoły te wytwarzają wydzieliny, które warunkują właściwą ruchliwość plemników. Układ rozrodczy u obu płci jest rozwojowo i anatomicznie powiązany z układem wydalniczym, dlatego czasami używa się nazwy układ moczowo-płciowy.

■ Narządy płciowe zewnętrzne

Prącie (penis) jest narządem kopulacyjnym. Wyróżnia się w nim trzon i żołądź. **Trzon** prącia ma kształt wydłużonego walca, jednym końcem przytwierdzonego do kości łonowych. Wolny koniec trzonu jest zakończony stożkową **żołądźką**, na której wierzchołku znajduje się ujście cewki moczowej. Skóra pokrywająca prącie jest połączona jedynie z podstawą żołądźki, dlatego łatwo się po nim przesuwa. W stanie spoczynku prącia skóra tworzy fałd okrywający żołądźkę, nazywany **napletkiem**. Od spodu napletek jest połączony z żołądźką za pomocą tzw. wędzidełka, które uniemożliwia jego nadmierne cofanie się.

Prącie jest zbudowane z trzech **ciał jamistych** oraz cewki moczowej. Dwa ciała jamiste leżą

obok siebie po grzbietowej stronie prącia, trzecie – tzw. **ciało gąbczaste** – przylega do nich od spodu i tworzy żołądź. W nim przebiega cewka moczowa. Pod wpływem podniecenia płciowego ciała jamiste i ciało gąbczaste wypełniają się **krwią tętniczą** pod dużym ciśnieniem. Jednocześnie odpływ krwi żyłnej z ciał jamistych jest utrudniony ze względu na obecność zastawek. W efekcie dochodzi do **wzwołu** (erekcji), czyli usztywnienia i zmiany wymiarów prącia, co umożliwia odbycie stosunku płciowego. Erekcja warunkuje także **zaplemnienie**. Jest to pozostawienie nasienia, które wydostaje się z prącia podczas stosunku płciowego, w narządach rozrodczych kobiety.

Moszna jest workiem skórno-mięśniowym, w którym znajdują się jądra. Takie umiejscowienie męskich gruczołów płciowych umożliwia ich prawidłowe działanie, ponieważ proces **spermatogenezy** – powstawania plemników – zachodzi tylko w temperaturze o ok. 2,5–4°C niższej od temperatury ciała.

■ Narządy płciowe wewnętrzne

Jądra są narządami wytwarzającymi plemniki i jednocześnie gruczołami dokrewnymi, których hormony:

- ▶ regulują czynności pozostałych narządów płciowych,
- ▶ są odpowiedzialne za rozwój i utrzymanie **męskich cech płciowych**. Są to cechy:
 - pierwszorzędowe, do których należą jądra,
 - drugorzędowe, do których należą drogi wprowadzające plemniki oraz narządy płciowe zewnętrzne,
 - trzeciorzędowe, które nie są bezpośrednio związane z rozrodem, ale umożliwiają rozpoznanie płci. Należą do nich m.in. zarost na twarzy, wąskie biodra, niski głos.

Jądra tworzą się w jamie brzusznej. Dopiero pod koniec rozwoju płodowego, między 7. a 9. miesiącem ciąży, zstępują do moszny. Niezstąpienie jąder, nazywane **wnętrostwem**, grozi

Męski układ rozrodczy

Męski układ rozrodczy tworzą narządy, które wytwarzają plemniki, nadają im zdolność do zapłodnienia i wyprowadzają je na zewnątrz ciała.

Przewód wytryskowy to odcinek dróg wyprowadzających nasienie, powstały z połączenia nasieniowodu z przewodem pęcherzyka nasiennego.

Bańka nasieniowodu to rozszerzenie nasieniowodu, w którym jest wytwarzana wydzielina pobudzająca ruch plemników.

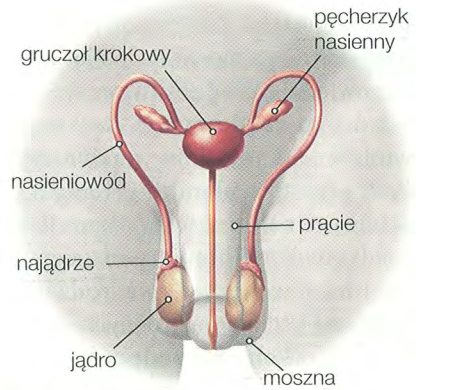
Nasieniowód jest przewodem doprowadzającym plemniki z najądrza do cewki moczowej.

Prącie jest narządem umożliwiającym wprowadzenie nasienia do żeńskich dróg rodnych.

Cewka moczowa to przewód wyprowadzający nasienie oraz mocznik na zewnątrz organizmu.

Jądro to męski gruczoł rozrodczy wytwarzający plemniki oraz wydzielający męskie hormony płciowe.

Moszna to skórno-mięśniowy worek, w którym znajdują się jądra, najądrza i początkowe odcinki nasieniowodów.



Pęcherzyk nasienny wytwarza wydzielinę zawierającą substancje odżywcze dla plemników.

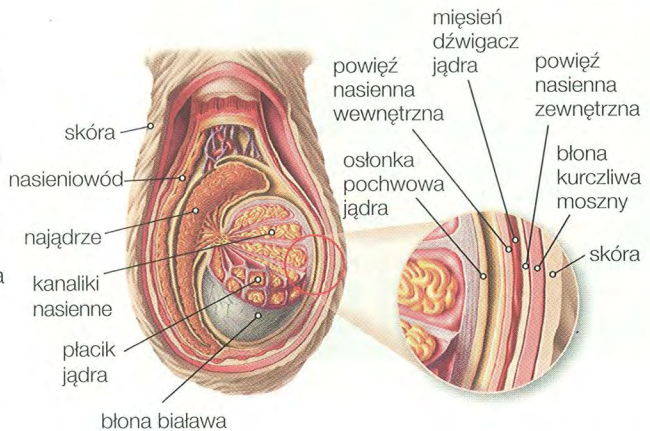
Gruczoł krokowy produkuje wydzielinę zawierającą enzymy niezbędne do upłynięcia nasienia.

Gruczoł opuszkowo-cewkowy wydzielają śluz ułatwiający przepływ plemników przez cewkę moczową.

Najądrze jest miejscem dojrzewania plemników.

Budowa jądra

Zewnętrzną warstwę jądra tworzy błona biaława zbudowana z tkanki łącznej włóknistej zbitej. Od błony białawej odchodzą promieniście łącznotkankowe przegrody dzielące jądro na ok. 200 płacików. Każdy z nich jest zbudowany z kanalików nasiennych poskręcanych w liczne pętle. Długość jednego kanalika wynosi ok. 30–80 cm. Z każdego płacika w kierunku najądrza wychodzi jeden prosty kanalik plemnikotwórczy, który stanowi pierwszy odcinek dróg wyprowadzających nasienie.



bezpłodnością. Z tego powodu, jeśli wystąpi, należy w ciągu pierwszych 5 lat życia wykonać odpowiedni zabieg chirurgiczny.

Jądra są zbudowane z sieci wąskich przewodów – **kanalików nasiennych**, w których powstają **plemniki**. Kanaliki te są wyścielone nabłonkiem plemnikotwórczym osadzonym na błonie podstawnej. W skład nabłonka wchodzi dwa rodzaje komórek: **komórki płciowe** na różnych etapach dojrzewania oraz **komórki podporowe** (komórki Sertoliego), których rolą jest odżywanie komórek płciowych. Komórki płciowe są rozmieszczone warstwami i w miarę dojrzewania zbliżają się do światła kanalików plemnikotwórczych. Przy błonie podstawnej znajdują się **spermatogonia**, za nimi **spermatocyty I i II rzędu**, **spermatydy**, a w świetle kanalików – **plemniki**.

Pomiędzy kanalikami znajdują się niewielkie skupienia komórek gruczołu śródmieższowego (komórek Leydiga). Komórki te pojawiają się w jądrze już w okresie życia płodowego, ale właściwą funkcję zaczynają pełnić dopiero w okresie dojrzewania płciowego. Produkują one męskie hormony płciowe – **androgeny**. Najważniejszym z nich jest **testosteron**, który decyduje o prawidłowym przebiegu spermatogenezy, powoduje wzrost prącia, moszny i jąder. Wpływa także na

wykształcenie i utrzymanie męskich cech płciowych.

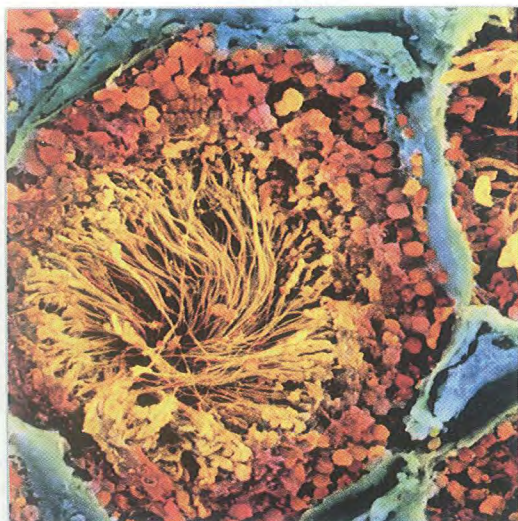
Do każdego jądra od góry przylega **najądrze** – kręty przewód, w którym dojrzewają plemniki. Najądrze przechodzi w **nasieniowód** – przewód o długości ok. 50 cm i prostym przebiegu. W jego początkowym odcinku magazynowane są dojrzałe plemniki. Podczas ejakulacji (wytrysku), wskutek gwałtownych skurczów perystaltycznych nasieniowodów, plemniki zostają wprowadzone do **przewodu wytryskowego**, a stamtąd do **cewki moczowej**. Z cewki wydostają się na zewnątrz organizmu. W trakcie pokonywania tej drogi płyn, w którym znajdują się plemniki, łączy się z wydzielinami gruczołów dodatkowych, tworząc nasienie (spermę). Do **gruczołów dodatkowych** należą: **pęcherzyki nasienne**, **prostate** i **gruczoł opuszkowo-cewkowy**.

Wydzieliną **pęcherzyków nasiennych** uchodzi do **bańki nasieniowodu**, czyli jego końcowego rozszerzonego odcinka. Stanowi ona główny składnik płynnej części nasienia, zwanej płynem nasiennym. W jej skład wchodzi m.in.:

- ▶ białka zasadowe nadające nasieniu odpowiedni odczyn zobojętniający kwaśne środowisko pochwy, ułatwiając tym samym poruszanie się plemników,
- ▶ fruktoza, niezbędna do beztlenowego oddychania plemników,
- ▶ prostaglandyny, które powodują skurcze macicy przyspieszające transport nasienia z pochwy do jajowodu, gdzie zazwyczaj dochodzi do zapłodnienia.

Prostate (gruczoł krokowy, stercz) to nieparzysty narząd wielkości kasztana. Jej wydzieliną (stanowiąca ok. 30% płynnej części nasienia) jest uwalniana do cewki moczowej podczas ejakulacji. Zawiera ona liczne enzymy hydrolytyczne, które upłynniają nasienie, ułatwiając plemnikom poruszanie się w drogach rodnych kobiety.

Parzyste **gruczoły opuszkowo-cewkowe** otwierają się do początkowego odcinka cewki moczowej. Ich śluzowata wydzielina nawilża ściany cewki moczowej, co ułatwia przepływ nasienia.



Kanalik nasenny dojrzalego płciowo mężczyzny (mikrofotografia skaningowa). W kanalikach nasiennych nieustannie odbywa się spermatogeneza.

■ Powstawanie plemników

Spermatogeneza odbywa się w kanalikach plemnikotwórczych. Po raz pierwszy zachodzi w okresie dojrzewania. Trwa ok. 70 dni i powtarza się przez wiele lat.

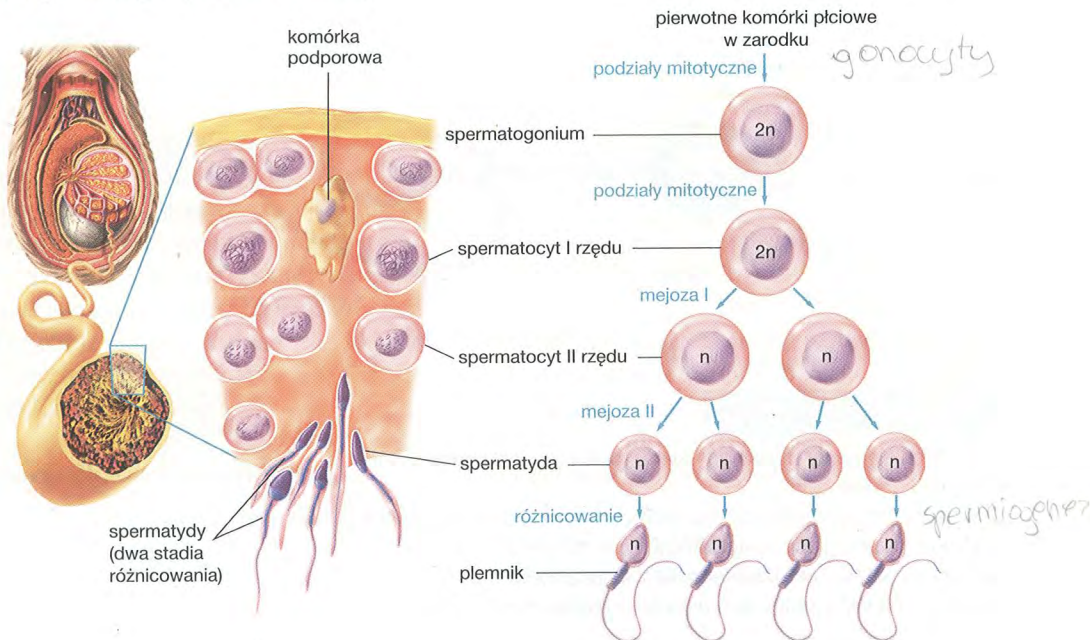
Pierwsze etapy spermatogenezy zachodzą jeszcze w okresie życia płodowego. Wówczas wyodrębniają się pierwotne komórki płciowe – **gonocyty** – które wielokrotnie dzielą się mitotycznie, a następnie przekształcają się w **spermatogonia**. Komórki te wchodzi w fazę G_0 cyklu komórkowego i trwają w tym stanie aż do okresu dojrzewania. Zachowują jednak zdolność do podziału mitotycznego przez całe życie osobnika, dlatego pełnią funkcję komórek macierzystych gamet. Od momentu rozpoczęcia dojrzewania płciowego spermatogonia dzielą się mitotycznie, dając kolejne pokolenia komórek, co zapewnia ciągłość spermatogenezy. Część spermatogonii pozostaje przy błonie podstawnej, stanowiąc bazę dla kolejnych pokoleń komórek, a pozostałe przesuwały się w kierunku światła kanalika, ulegając przekształceniu w **spermatocyty I rzędu**. Komórki te rozpoczynają podział meiotyczny. W efekcie pierwszego

podziału meiotycznego z jednego spermatocyty I rzędu powstają dwa **spermatocyty II rzędu**. Mają one zredukowaną liczbę chromosomów do haploidalnej. Spermatocyty II rzędu bardzo szybko przechodzą drugi podział meiotyczny, dając **spermatydy**, które różnicują się w prawidłowe morfologicznie **plemniki** w trakcie tzw. **spermiogenezy**. Dochodzi wówczas do przebudowy jądra komórkowego, odrzucenia większości cytoplazmy i organelli komórkowych oraz wykształcenia struktur niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania dojrzałych plemników.

■ Budowa plemnika

Plemnik człowieka należy do najmniejszych komórek rozrodczych występujących u ssaków. Ma ok. 60 μm długości. Składa się z główki i wtyki. Jest otoczony błoną komórkową. **Główka plemnika** zawiera niewielką ilość cytoplazmy, **haploidalne jądro komórkowe** oraz akrosom. Otoczka jądrowa jest prawie zupełnie pozbawiona porów, a znajdująca się w jądrze komórkowym **chromatyna** jest bardzo silnie skondensowana (część białek histonowych zostaje

Schemat przebiegu spermatogenezy



zastąpiona przez inne białka zasadowe – prota-
miny). Powoduje to, że jest ona mniej podatna
na uszkodzenia chemiczne podczas wędrówki
plemników w kierunku komórki jajowej. Na
szczyście główki, między błoną komórkową a ją-
drem plemnika, znajduje się **akrosom**. Powstaje
on ze złania się pęcherzyków aparatu Golgie-
go. Akrosom zawiera liczne enzymy umożli-
wiające plemnikowi pokonanie osłon jajowych
i wniknięcie do komórki jajowej. Po przeciwnej
stronie główki niż akrosom leży długa **witka**
odpowiedzialna za ruch plemnika. Jej głów-
nym elementem strukturalnym jest dziewięć
par mikrotubul położonych obwodowo i para
mikrotubul znajdujących się w centrum. Ruch
witki zapewniają liczne mitochondria zlokalizo-
wane w jej początkowym odcinku, nazywanym
wstawką.

Nasienie

Nasienie jest gęstym, lepkiem płynem o bia-
ławym zabarwieniu. W jego skład wchodzi:
plemniki, limfocyty, granulocyty oraz złusz-
czone komórki nabłonka wyściełającego drogi
wyprowadzające. Komórki te są zawieszone

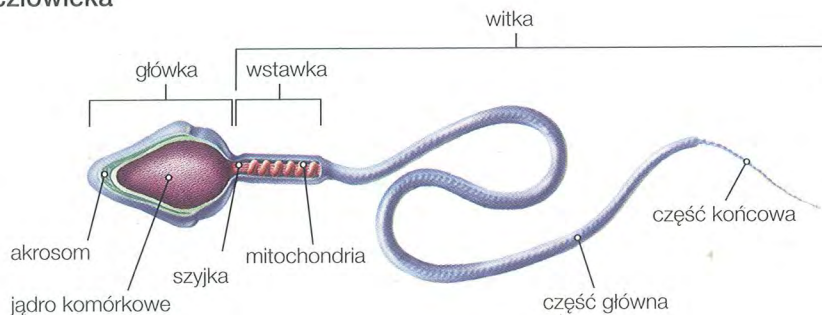
w płynie nasiennym, który jest mieszaniną
wydzielin najądrzy, nasieniowodów i gruczo-
łów dodatkowych. Jakość nasienia, świadczą-
o tym, czy spermatogeneza przebiega prawidło-
wo, określa się na podstawie różnych kryteriów.

Wybrane kryteria oceny jakości nasienia oraz ich wartości według WHO (2010)

Kryterium	Wartość
Objętość ejakulatu	≥ 1,5 ml
pH	≥ 7,2
Liczba plemników	≥ 15 mln/ml
Liczba plemników w ejakulacie	≥ 39 mln
Żywotność plemników	≥ 58% żywych plemników
Ruchliwość plemników	≥ 32% plemników o ruchu postępowym
Morfologia plemników	≥ 4% plemników o prawidłowej budowie

Warto zajrzeć!
<http://badanie-nasienia.pl/>

Plemnik człowieka



Polecenia kontrolne

1. Wymień elementy męskiego układu rozrodczego i podaj ich funkcje.
2. Opisz budowę jądra.
3. Wyjaśnij, dlaczego do rozwoju plemników konieczne jest zstąpienie jąder do moszny.
4. Omów przebieg spermatogenezy.
5. Wykaż związek budowy plemnika z jego funkcją.
6. Podaj, w jakich strukturach męskiego układu rozrodczego są wytwarzane składniki nasienia.

2

Budowa i funkcjonowanie żeńskich narządów rozrodczych

Na żeński układ rozrodczy składają się narządy płciowe zewnętrzne – wzgórek łonowy, wargi sromowe i łechtaczka – oraz narządy płciowe wewnętrzne, do których należą jajniki, jajowody, macica i pochwa. Układ ten odpowiada za powstawanie i dojrzewanie gamet żeńskich, czyli komórek jajowych. Jest także miejscem rozwoju zarodka i płodu oraz powstawania żeńskich hormonów płciowych. Hormony te odpowiadają za prawidłowe funkcjonowanie całego układu rozrodczego oraz za wykształcenie i utrzymywanie się żeńskich cech płciowych:

- ▶ pierwszorzędowych, którymi są jajniki,
- ▶ drugorzędowych, do których należą jajowody, macica, pochwa oraz narządy płciowe zewnętrzne,
- ▶ trzeciorzędowych, takich jak rozwinięte gruczoły mlekowe, szerokie biodra, wąskie ramiona, wysoki głos.

■ Narządy płciowe zewnętrzne

Zewnętrzną częścią żeńskiego układu rozrodczego jest srom. Tworzą go wzgórek łonowy, wargi sromowe większe, wargi sromowe mniejsze i łechtaczka. Wzgórek łonowy to trójkątna wypukłość zbudowana z tkanki tłuszczowej. Wargi sromowe to natomiast parzyste fałdy skórne otaczające wejście do pochwy oraz ujście cewki moczowej i łechtaczki. U kobiet, które nigdy nie współżyły płciowo, u wejścia do pochwy znajduje się fałd błony śluzowej, nazywany błoną dziewiczą. Łechtaczka jest narządem silnie unerwionym, a przez to bardzo wrażliwym. Podobnie jak prącie składa się z dwóch ciał jamistych, które wypełniają się krwią podczas pobudzenia płciowego.

■ Narządy płciowe wewnętrzne

Jajniki są parzystymi narządami znajdującymi się w dolnej części jamy brzusznej, po obu stronach macicy. Mają jajowaty kształt, ok. 5 cm długości i ok. 3 cm szerokości. Są umocowane do ścian macicy za pomocą więzadeł, ale mogą

w niewielkim stopniu zmieniać położenie. Powstają w nich żeńskie komórki płciowe, czyli komórki jajowe. Jajniki pełnią także funkcję gruczołów dokrewnych – wytwarzają żeńskie hormony płciowe: **estrogeny** i **progesteron**.

Jajowody to przewody o długości ok. 10 cm, którymi do macicy są transportowane dojrzałe komórki płciowe. W okolicy jajnika każdy jajowód jest rozszerzony i tworzy tak zwany lejek jajowodu, którego brzegi są mocno postrzępione i poruszają się. Obejmuje on jajnik, nie stykając się z nim, co wraz z ruchem strzępek ułatwia komórkom płciowym wędrówkę w głąb jajowodu. Jajowody są zaopatrzone w ciekłą warstwę mięśni, dzięki czemu mogą wykonywać ruchy perystaltyczne, ułatwiające przesuwanie się komórki płciowej lub (jeśli dojdzie do zapłodnienia) rozwijającego się zarodka. Proces ten wspomagają rzęski nabłonek migawkowego wyściełającego wnętrze jajowodu. Miejsce połączenia jajowodów z macicą nosi nazwę rogów macicy.

Macica osiąga 7–9 cm długości, kształtem przypomina gruszkę. Składa się z rozszerzonego trzonu i wąskiej dolnej części łączącej się z pochwą, nazywanej szyjką. Kanał szyjki jest wypełniony śluzem, którego właściwości fizyczne i chemiczne zmieniają się w czasie cyklu miesięczkowego. Macica jest miejscem, gdzie rozwija się zarodek i płód, aż do momentu osiągnięcia stanu, który pozwala na samodzielne życie poza organizmem matki. Jej ścianę tworzy gruba (ok. 2 cm) warstwa mięśni gładkich. Ich komórki w okresie ciąży bardzo się wydłużają i ulegają przerostowi, znacznie zwiększając masę macicy. Wnętrze macicy wyścieła błona śluzowa – endometrium, która w trakcie cyklu miesięczkowego podlega okresowym zmianom, a średnio raz na 28 dni złuszcza się, czemu towarzyszy krwawienie.

Pochwa jest przewodem, w którym pozostaje nasienie po akcie płciowym. Podczas porodu tworzy także kanał wyprowadzający dla płodu.

Żeński układ rozrodczy

Żeński układ rozrodczy wytwarza gamety żeńskie i zapewnia warunki do prawidłowego rozwoju zarodka oraz płodu. W układzie tym powstają żeńskie hormony płciowe zapewniające wykształcenie żeńskich cech płciowych i prawidłowe funkcjonowanie całego układu.

Jajowód to przewód doprowadzający komórki jajową do macicy. Ruch rzęsek wyścielających jego wnętrze ułatwia transport komórki jajowej i wędrowkę plemników w jej kierunku.

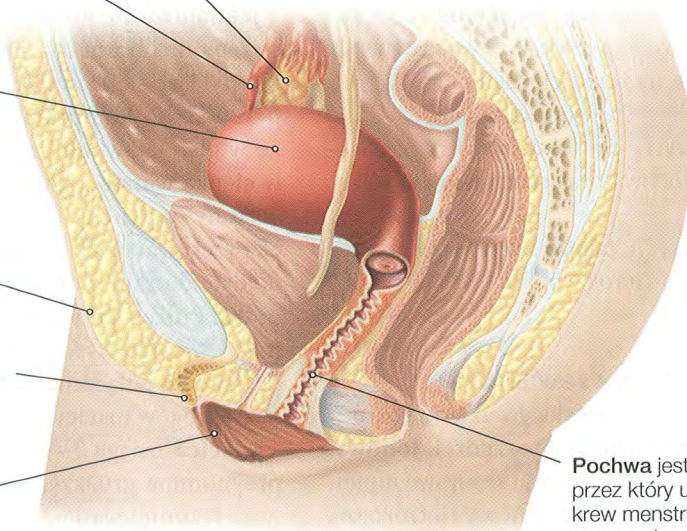
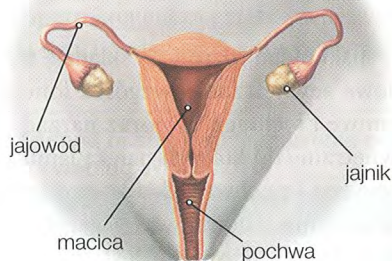
Macica to narząd, w którym odbywa się rozwój zarodka i płodu. Jest silnie umięśniona, dzięki czemu powiększa się w czasie ciąży.

Wzgórek łonowy to skupienie tkanki tłuszczowej.

Łechtaczka jest narządem odgrywającym rolę w pobudzeniu seksualnym.

Wargi sromowe pełnią funkcję ochronną, osłaniając łechtaczkę, wejście do pochwy i ujście cewki moczowej.

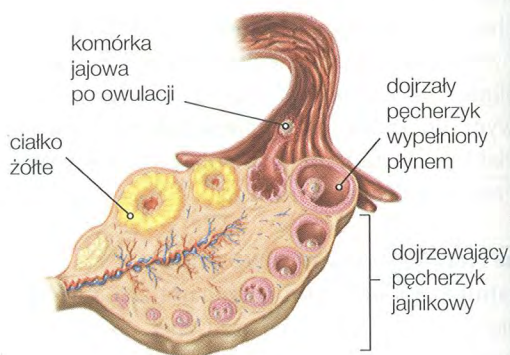
Jajnik jest jednocześnie gonadą i gruczołem dokrewnym. Wytwarza komórki jajowe i żeńskie hormony płciowe.



Pochwa jest przewodem, przez który uchodzi krew menstruacyjna, wprowadzane jest nasienie oraz wydostaje się płód.

Budowa jajnika

Jajnik składa się z dwóch części: wewnętrznej – rdzennej – oraz zewnętrznej – korowej. W szerszej i lepiej rozwiniętej części korowej, w pęcherzykach jajnikowych, znajdują się niedojrzałe komórki płciowe, z których powstają komórki jajowe. W każdym jajniku noworodka płci żeńskiej takich pierwotnych komórek jest ok. 2 mln, ale już w jajniku trzynastolatki (na skutek naturalnie postępującej degeneracji) wielokrotnie mniej – tylko ok. 200 tys. Jajnik jest więc miejscem, gdzie dokonuje się ciągła selekcja komórek płciowych, która sprawia, że szybko ich ubywa – już ok. 50. roku życia nie ma ich wcale.



■ Powstawanie komórek jajowych

Proces powstawania, wzrostu i dojrzewania żeńskiej komórki płciowej nazywa się **oogenezą**. Jego początek przypada na 3. tydzień życia płodowego. W wieku dojrzałym oogeneza staje się cykliczna.

Najbardziej pierwotnymi komórkami płciowymi są **gonocyty**, które mogą się aktywnie poruszać ruchem ameboidalnym. Dzięki tej zdolności gromadzą się w jednym miejscu i stają się częścią zawiązka jajnika.

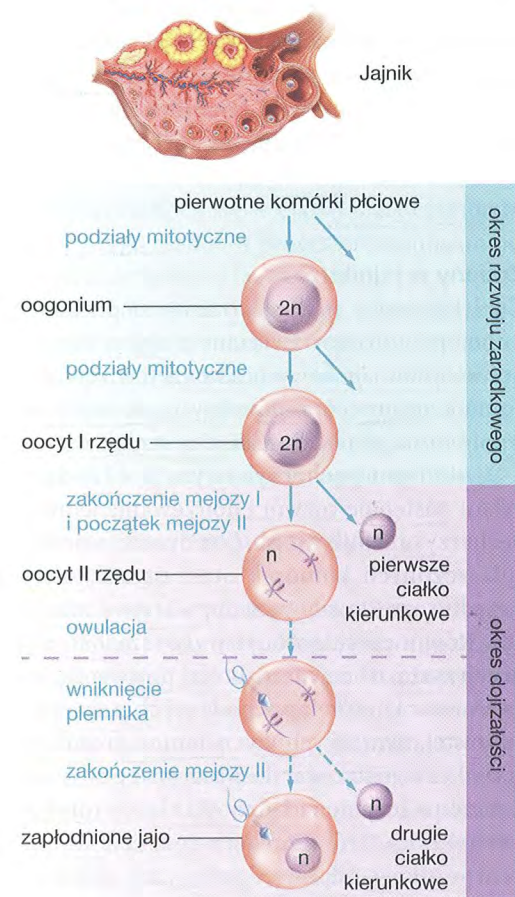
Gonocyty występujące w części korowej tworzącego się jajnika dzielą się mitotycznie, a następnie przekształcają w komórki zwane **oogoniami**. Do końca 5. miesiąca życia płodowego ich liczba zwiększa się dzięki dalszym intensywnym podziałom. Po wyczerpaniu możliwości podziałowych oogonia w krótkim czasie przekształcają się w **oocyty I rzędu**. Znajdują się one w pierwotnych pęcherzykach jajnikowych, których ścianę tworzy pojedyncza warstwa spłaszczonych komórek.

Jeszcze przed urodzeniem się dziewczynki wszystkie oocyty I rzędu rozpoczynają podział meiotyczny. Proces ten nie zostaje jednak ukończony. Rozwój oocytów I rzędu zatrzymuje się na jednym z etapów pierwszego podziału meiotycznego.

Wznowienie mejozy następuje dopiero po uzyskaniu dojrzałości płciowej. Średnio co 28 dni powtarza się cykl dojrzewania komórek płciowych, ale ostatecznie dojrzewa i jest uwalniana z jajnika tylko jedna z nich. W trakcie cyklu miesięczkowego następuje dokończenie pierwszego podziału meiotycznego oocytu I rzędu, co prowadzi do powstania dwóch komórek: **oocytu II rzędu** oraz **ciałka kierunkowego**.

Oocyt II rzędu jest w porównaniu z ciałkiem kierunkowym dużą komórką, zawierającą prawie całą cytoplazmę komórki macierzystej. Oocyt II rzędu rozpoczyna drugi podział meiotyczny, który zostaje zatrzymany w momencie, gdy opuszcza on jajnik, a więc w czasie owulacji. Wznowienie podziału zachodzi dopiero w jajowodzie i to tylko w sytuacji, gdy dojdzie do zapłodnienia. Jeżeli uwolniony oocyt II rzędu nie zostanie zapłodniony, ulega degradacji.

Schemat przebiegu oogenezy



■ Porównanie oogenezy ze spermatogenezą

W procesie oogenezy podział meiotyczny ulega zatrzymaniu dwukrotnie, a jego wznowienie jest związane z owulacją i zapłodnieniem. Ostatecznie z jednego oocytu I rzędu powstaje jedna komórka jajowa niezdolna do samodzielnego poruszania się. Zawiera ona znaczną część cytoplazmy komórki wyjściowej i jądro komórkowe z haploidalną liczbą chromosomów. Powstające podczas mejozy pozostałe dwie komórki to niewielkie ciałka kierunkowe, które szybko degenerują.

Podczas spermatogenezy mejoza jest procesem ciągłym, nie ulega zawieszeniu. W jej efekcie z każdego spermatocyty I rzędu powstają ostatecznie cztery ruchliwe, morfologicznie identycznie plemniki.

Cykl miesięczkowy

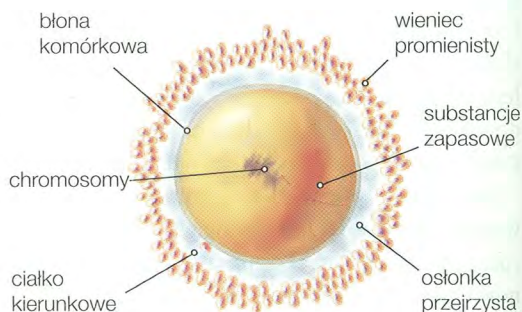
Cykl miesięczkowy (cykl płciowy kobiety) jest zespołem złożonych, zależnych od siebie przemian, powtarzających się mniej więcej co 28 dni. Zmiany te dotyczą jajników (cykl jajnikowy) oraz błony śluzowej macicy (cykl maciczny). Cykl płciowy kontrolują przysadka oraz podwzgórze.

Zmiany w jajniku

Cykl jajnikowy podlega działaniu przysadki i obejmuje procesy związane z dojrzewaniem pęcherzyków jajnikowych, uwolnieniem żeńskiej komórki płciowej oraz powstawaniem ciałka żółtego. Można go podzielić na trzy stadia.

W **stadium pęcherzykowym** (1.–13. dzień cyklu) następuje rozwój i dojrzewanie jednego pęcherzyka jajnikowego. Pojedyncza warstwa spłaszczonych komórek otaczających oocyt I rzędu rozrasta się, tworząc **warstwę ziarnistą**. Równocześnie oocyt wytwarza **osłonkę przejrzystą**, na zewnątrz której pojawia się kilka warstw komórek pochodzących z warstwy ziarnistej, tworzących tzw. **wieniec promienisty**. Na zewnątrz warstwy ziarnistej powstaje dobrze unaczyniona łącznotkankowa **torebka pęcherzyka**, która zawiera również komórki gruczołowe odpowiedzialne za wydzielanie estrogenów. Pod wpływem hormonów tropowych przysadki, głównie FSH (hormon folikulotropowy), komórki ziarniste wydzielają płyn, który gromadzi się między nimi. Powiększające się przestrzenie między komórkami warstwy ziarnistej łączą się stopniowo w dużą, centralną **jamę pęcherzyka** wypełnioną płynem. W ten sposób powstaje **dojrzały pęcherzyk jajnikowy** (pęcherzyk Graafa). Ma on średnicę 15–25 mm i zawiera oocyt II rzędu zatrzymany w metafazie drugiego podziału mejotycznego oraz ciałko kierunkowe.

Kolejne stadium to **owulacja** (14. dzień), czyli pęknięcie dojrzałego pęcherzyka jajnikowego i uwolnienie do jajowodu oocytu II rzędu wraz z osłonami (osłonką przejrzystą i wieńcem promienistym). Tylko w takiej postaci oocyt jest biologicznie wartościowy, tzn. zdolny do zapłodnienia. Jeśli do tego nie dojdzie w ciągu



Budowa oocytu II rzędu. Jest on otoczony osłonką przejrzystą, pełniącą funkcję ochronną, oraz komórkami ziarnistymi, które tworzą wieniec promienisty.

6–18 godzin, oocyt ulega degradacji. Owulacja następuje pod wpływem współdziałania hormonów przysadki folikulotropowego i luteinizującego (LH).

Cykl jajnikowy zamyka **stadium lutealne** (15.–28. dzień), w którym pod wpływem hormonu luteinizującego pęcherzyk Graafa przekształca się w ciałko żółte, wydzielające progesteron. Hormon warunkuje utrzymanie ewentualnej ciąży. Jeśli dojdzie do zapłodnienia, ciałko żółte przekształca się w ciałko żółte ciążowe, a jeśli do niego nie dojdzie – w ciałko białawe.

Zmiany w obrębie błony śluzowej macicy

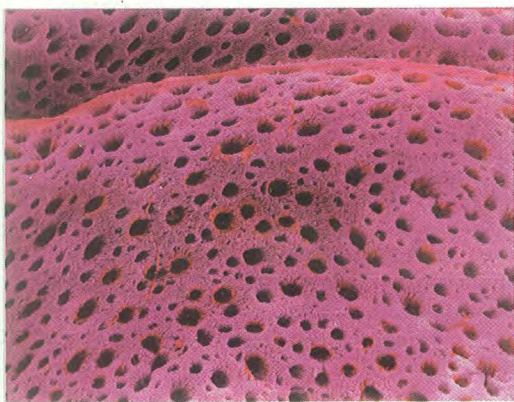
Cykliczne zmiany w błonie śluzowej macicy są bezpośrednią konsekwencją zmian w obrębie jajnika. Pod wpływem hormonów płciowych (estrogenów i progesteronu) wytwarzanych przez jajniki zmienia się jej grubość oraz właściwości fizjologiczne. W cyklu macicznym wyróżnia się cztery fazy.

Faza miesięczkowa (1.–5. dzień) – pierwszy dzień cyklu płciowego przypada na pierwszy dzień **menstruacji**, czyli krwawienia miesięczkowego, które jest efektem złuszczenia się powierzchniowej warstwy endometrium. W wyniku nagłego zmniejszenia stężenia estrogenów i progesteronu następuje skurcz naczyń krwionośnych błony śluzowej, a w konsekwencji jej niedotlenienie, niedożywienie i ostatecznie martwica. Obumarła błona śluzowa rozpada się i oddziela od podłoża. W tym czasie następuje rozkurcz naczyń, część z nich ulega

również przerwaniu. Wypływająca z nich krew wspomaga i przyspiesza usuwanie endometrium – krew wraz z martwą tkanką wydostaje się na zewnątrz. Bezpośrednio po krwawieniu rozpoczynają się procesy, które zapewniają odtworzenie błony śluzowej i przygotowanie jej do ewentualnego przyjęcia zapłodnionego jaja;

Faza odbudowy (6.–14. dzień) polega na odnowieniu błony śluzowej. Na początku tej fazy grubość endometrium wynosi ok. 1 mm, pod koniec wzrasta dwu- lub trzykrotnie. Proces ten jest stymulowany działaniem estrogenów, które są wytwarzane przez rozwijający się w tym czasie pęcherzyk jajnikowy. Faza ta kończy się z chwilą pęknięcia pęcherzyka Graafa;

Faza wydzielnicza (15.–27. dzień) – w miejscu pękniętego pęcherzyka Graafa tworzy się ciałko żółte, które zaczyna wytwarzać progesteron. Pod wpływem tego hormonu błona śluzowa macicy ulega dalszemu pogrubieniu. Równocześnie rozwijają się naczynia krwionośne, a przede wszystkim rozrastają się i rozpoczynają wydzielanie gruczoły maciczne. Błona śluzowa macicy staje się pulchna i ma strukturę gąbczastą – jest teraz gotowa do przyjęcia zapłodnionej komórki jajowej. **Implantacja**, czyli zagnieżdżenie rozwijającego się zarodka w błonie śluzowej macicy, pobudza rozwój ciała żółtego, które przekształca się w ciałko żółte ciążowe wydzielające coraz więcej progesteronu.



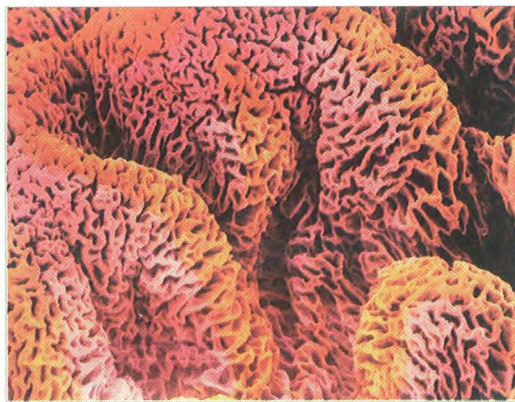
Błona śluzowa macicy w fazie odbudowy (mikrofotografia skaningowa). W fazie tej błona śluzowa macicy rozrasta się pod wpływem estrogenów. Wraz z nią w czasie cyklu zmieniają się również liczne gruczoły maciczne, których ujścia są widoczne na zdjęciu.

Hormon ten jest niezbędny do dalszego przebiegu ciąży i właściwego przygotowania gruczołów mlekowych. Ciałko żółte ciążowe funkcjonuje do końca 4. miesiąca ciąży. Po tym okresie zanika, a jego funkcję hormonalną przejmuje łożysko. Jeżeli do zapłodnienia nie dochodzi, oocyt II rzędu obumiera w jajowodzie, ciało żółte przekształca się w ciałko białawe. Wynikający z tego niedobór progesteronu powoduje przejście do kolejnej fazy cyklu.

Faza martwicza (28. dzień) – zmniejszenie stężenia progesteronu i estrogenów stymuluje jedno- lub dwudniowy okres niedokrwienia, powodujący obumieranie endometrium. W konsekwencji następuje złuszczenie błony śluzowej i kolejne krwawienie miesięczne.

■ Hormonalna regulacja cyklu płciowego

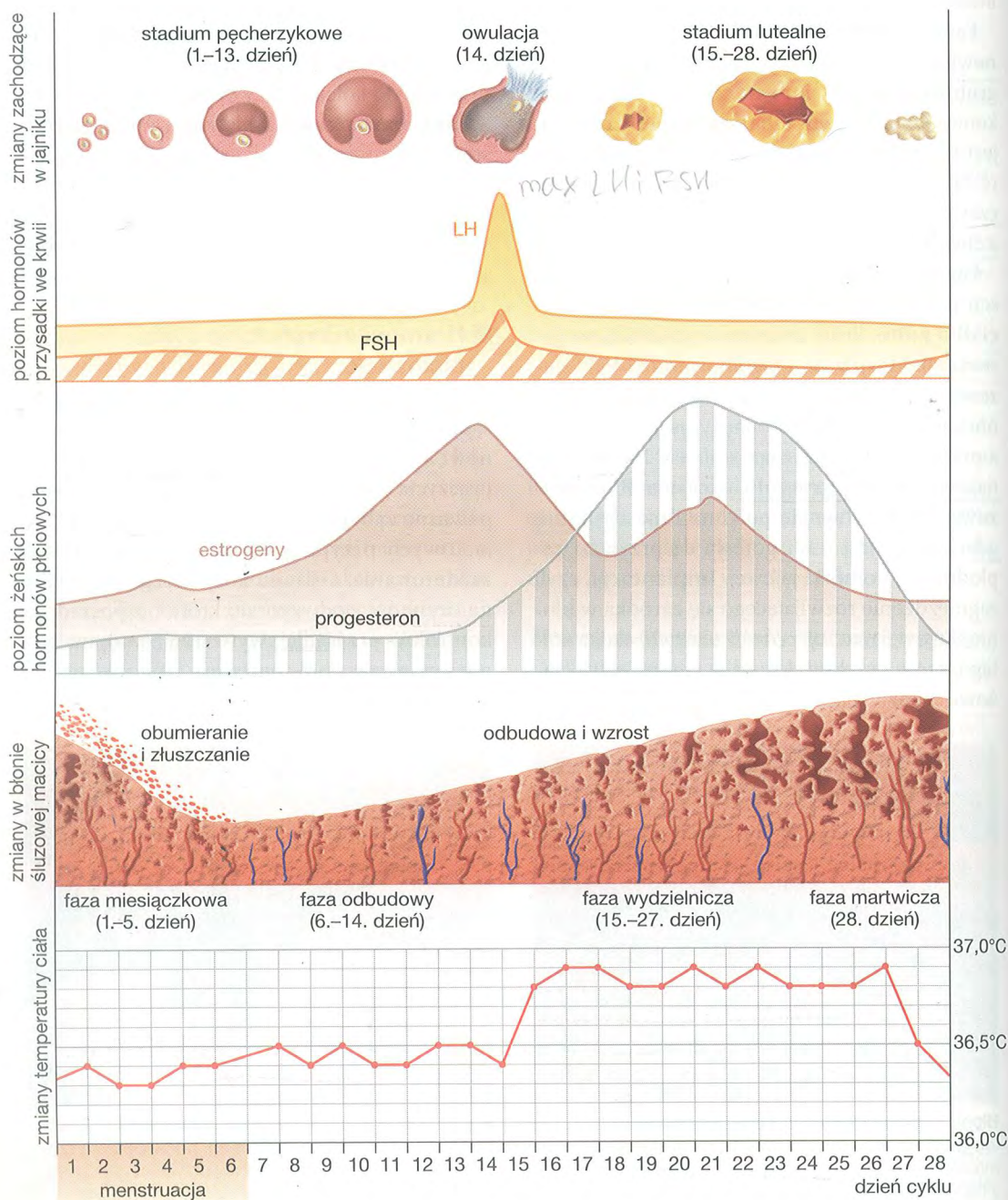
Regulacja cyklu płciowego kobiety odbywa się na kilku poziomach. Najwyższy z nich stanowi kora mózgu i ośrodki podkorowe. Silne przeżycia psychiczne mogą więc spowodować poważne zaburzenia cyklu płciowego, a w wyjątkowych przypadkach nawet jego zupełne zahamowanie. Ośrodki kory mózgu wpływają na czynność podwzgórza, które bezpośrednio kontroluje przysadkę, wytwarzając odpowiednie hormony: podwzgórzowe czynniki pobudzające lub hamujące przysadkę.



Błona śluzowa macicy w fazie wydzielniczej (mikrofotografia skaningowa). W fazie tej, pod wpływem progesteronu, błona śluzowa macicy przybiera gąbczastą strukturę, która ułatwia zagnieżdżenie się zarodka.

Zmiany zachodzące w jajniku i macicy podczas cyklu miesięczkowego

W cyklu miesięczkowym, który jest zjawiskiem powtarzalnym, zachodzi szereg zmian w obrębie jajników oraz w błonie śluzowej macicy. Zmienia się również stężenie hormonów płciowych – estrogenów i progesteronu.

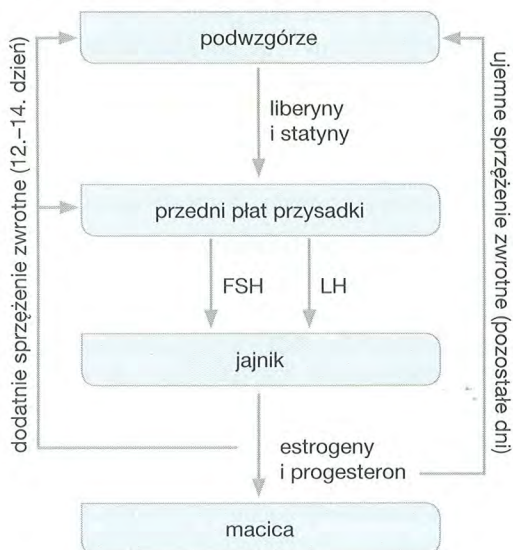


Przedni (gruczołowy) płat przysadki jest źródłem hormonów gonadotropowych: hormonu folikulotropowego i hormonu luteinizującego, sterujących pracą jajników. Hormony jajnikowe (estrogeny i progesteron) wpływają z kolei na zmiany w błonie śluzowej macicy, a także zwrotnie oddziałują na przysadkę i podwzgórze. Ze względu na wahania stężenia hormonów przysadki (FSH i LH) oraz efekty tych zmian w postaci różnego stężenia hormonów wytwarzanych przez jajniki (estrogenów i progesteronu) wyróżnia się trzy fazy cyklu płciowego. W **fazie folikularnej**, bezpośrednio po krwawieniu miesięczkowym obserwuje się duże stężenie hormonu folikulotropowego, determinujące rozwój i dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego, który staje się źródłem estrogenów. Jeden z nich – **estradiol** – na zasadzie sprzężenia zwrotnego dodatniego stymuluje wydzielanie hormonu luteinizującego w kolejnej fazie. W **fazie owulacji** stężenie FSH i LH jest maksymalne, co prowadzi do pęknięcia pęcherzyka Graafa i uwolnienia oocyta II rzędu. W **fazie lutealnej** następuje obniżenie stężenia FSH i LH, co powoduje przekształcenie pękniętego pęcherzyka Graafa w ciało żółte, wytwarzające **progesteron**. Dalsze losy ciała żółtego zależą od tego, czy nastąpi proces zapłodnienia. Jeśli nie, ciało żółte zanika, a to skutkuje gwałtownym

zmniejszeniem stężenia progesteronu. W konsekwencji rozpoczyna się następny cykl.

Zmiany stężenia FSH i LH wpływają także na temperaturę ciała. Obserwacja temperatury może być pomocna przy ustalaniu momentu owulacji.

Regulacja hormonalna cyklu płciowego



Warto zajrzeć!

<http://www.scholaris.pl/frontend,4,94346.html>
<http://www.pfm.pl/u235/navi/200060>

Polecenia kontrolne

1. Podaj funkcje każdego z żeńskich narządów płciowych wewnętrznych.
2. Wymień etapy oogenezy, które przypadają na okres przed urodzeniem się dziewczynki.
3. Określ, w jakim stadium rozwojowym żeńska komórka płciowa jest uwalniana w czasie owulacji.
4. Podaj miejsce i czas zakończenia podziału mejotycznego oocyta I rzędu.
5. Scharakteryzuj typy osłonek okrywających ludzki oocyt II rzędu.
6. Wymień podobieństwa i różnice między spermatogenezą a oogenezą.
7. Wyjaśnij znaczenie terminu *cykl miesięczkowy*.
8. Opisz zmiany, jakie zachodzą w obrębie błony śluzowej macicy, i podaj, czym są one spowodowane.
9. Wyjaśnij, w jaki sposób są regulowane zmiany zachodzące w czasie cyklu płciowego kobiety.
10. Wyjaśnij, jakie zmiany temperatury mogą wskazywać na wystąpienie owulacji.

Rozwój osobniczy (ontogeneza) człowieka obejmuje wszelkie zmiany, które zachodzą od chwili powstania pierwszej komórki nowego osobnika aż do jego śmierci. Choć jest to proces ciągły, wyróżnia się w nim dwa główne etapy:

- ▶ rozwój prenatalny – od poczęcia do narodzin,
- ▶ rozwój postnatalny – od narodzin do śmierci.

Część naukowców za początek ontogenezy uważa powstawanie komórek płciowych (gametogenezę).

■ Wędrowka plemników w drogach rodnych kobiety

Uwolnione w czasie aktu płciowego plemniki rozpoczynają wędrowkę w kierunku niedojrzałej komórki jajowej. Ostatecznie z ok. 250 mln plemników znajdujących się średnio w porcji nasienia do miejsca zapłodnienia dociera najwyżej 200.

Do zapłodnienia dochodzi zazwyczaj w **bańce jajowodu** – rozszerzonej części jajowodu w okolicy lejka. Odległość, jaką muszą przebyć plemniki, wynosi ok. 18 cm. Działanie witki nie wystarczyłoby do pokonania takiego dystansu, dlatego dużą część drogi plemniki przebywają biernie. Przemieszczają się dzięki skurczom mięśniówki macicy i jajowodów. W trakcie wędrowki na plemniki oddziałują wydzieliny dróg rodnych. Zmieniają one właściwości plemników, przygotowując je do zapłodnienia. Proces ten nazywa się **kapacytacją** (uzdatnianiem) plemników. Do czynników wywołujących kapacytację u człowieka należą m.in.: jony wapnia, sodu i potasu oraz swoiste białka.

Aby dotrzeć do macicy, plemniki muszą się przedostać przez śluz wypełniający jej szyjkę. Ich przemieszczanie się odbywa się dzięki oddziaływaniu elektrostatycznemu, dlatego drogę tę pokonują jedynie żywe komórki. Tylko one mogą bowiem utrzymywać stan polaryzacji błony warunkujący ten typ oddziaływania. W jamie macicy plemniki poruszają się aktywnie za pomocą witek. Ich ruch jest w niewielkim

stopniu wspomagany przez skurcze mięśniówki macicy. W miejscu, gdzie znajduje się ujście do jajowodu, odbywa się kolejna selekcja plemników – zatrzymywane są plemniki z defektami strukturalnymi oraz nieruchome. W jajowodach plemniki przesuwały się ruchem biernym. Dopiero w bańce jajowodu, pod wpływem zmian warunków środowiska, odzyskują pełną ruchliwość. Penetrują przestrzeń bańki jajowodu aż do momentu napotkania niedojrzałej komórki jajowej.

■ Zapłodnienie

Zapłodnienie rozpoczyna się w momencie kontaktu plemnika z żeńską komórką rozrodczą, a kończy połączeniem się tych komórek. Plemniki, które dotrą do niedojrzałej komórki jajowej, przenikają przez wieniec promienisty i osłonkę przejrzystą, co ułatwiają im enzymy akrosomalne. Pierwszy plemnik, który pokona obie osłony, układa się płasko na powierzchni błony komórkowej jaja. Następnie błony komórkowe obu gamet zlewają się, a jądro plemnika dostaje się do wnętrza żeńskiej komórki rozrodczej. Po połączeniu się gamet następuje dokończenie II podziału mejotycznego – powstaje **dojrzała komórka jajowa** oraz drugie ciało kierunkowe. Zachodzi również reakcja korowa uniemożliwiająca polispermię, czyli wnikanie do jednej komórki więcej niż jednego plemnika.

Jądro plemnika, po wniknięciu do cytoplazmy jaja, przemieszcza się w kierunku jądra komórki jajowej. W efekcie połączenia się obu jąder powstaje **zygota**, która jest pierwszą komórką nowego organizmu.

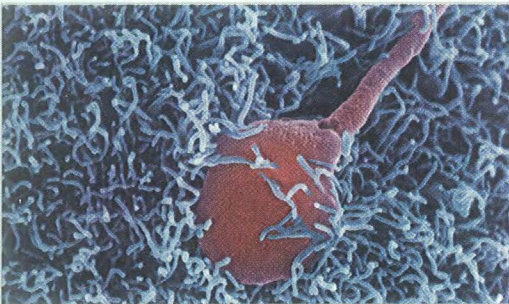
■ Rozwój prenatalny

Rozwój prenatalny organizmu obejmuje okres zarodkowy i płodowy. **Rozwój zarodkowy** trwa przez pierwsze osiem tygodni ciąży i liczy się od momentu powstania zygoty do wykształcenia się zawiązków wszystkich narządów. Obejmuje

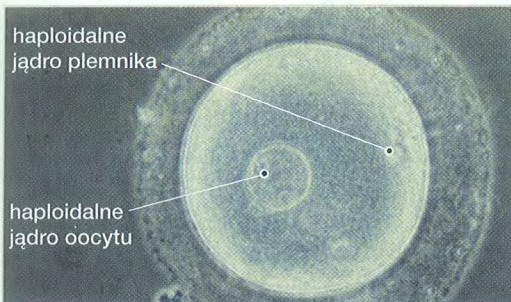
Przebieg zapłodnienia



Zbliżanie się plemników do komórki jajowej (mikrofotografia skaningowa).



Wnikanie plemnika (mikrofotografia skaningowa).



Kontynuacja II podziału meiotycznego oocyty (zdjęcie spod mikroskopu optycznego).



Podział mitotyczny zarodka (zdjęcie spod mikroskopu optycznego).

bruzdkowanie, gastrulację i organogenezę. Od dziewiątego tygodnia do porodu trwa natomiast **rozwój płodowy**.

Bruzdkowanie u człowieka jest całkowite i równomierne. Odbywa się wewnątrz osłon jajowych. Powstające blastomery są jednakowej wielkości i nie oddzielają się od siebie. Bruzdkujące jajo wędruje przez jajowód, docierając do jamy macicy. Skupienie 12–16 blastomerów nosi nazwę **moruli**. W dalszym rozwoju, prowadzącym do stadium **blastocysty**, kolejnym podziałom towarzyszy zmiana kształtu powstających komórek oraz gromadzenie się między nimi płynu. Na skutek tych przemian komórki zewnętrznej warstwy spłaszczają się, tworząc ścianę blastocysty nazywaną **trofoblastem**. Komórki znajdujące się wewnątrz pęcherzyka skupiają się w jednym miejscu przy trofoblastie, tworząc **węzeł zarodkowy**. Trofoblast wchłania substancje odżywcze z płynu jajowodowo-macicznego, wytwarza enzymy rozpuszczające osłonkę przejrzystą oraz ułatwiające implantację (zagnieżdżenie się) w macicy, a także bierze udział w powstawaniu kosmówki. Z węzła zarodkowego rozwija się właściwe ciało zarodka.

Po dotarciu do macicy blastocysta uwalnia się z osłonki przejrzystej i zagnieżdża w błonie śluzowej macicy. **Implantacja** następuje ok. siódmego dnia rozwoju, liczonego od momentu zapłodnienia. Ze względu na niewielkie zapasy substancji odżywczych prawidłowa implantacja jest warunkiem dalszego rozwoju zarodka.

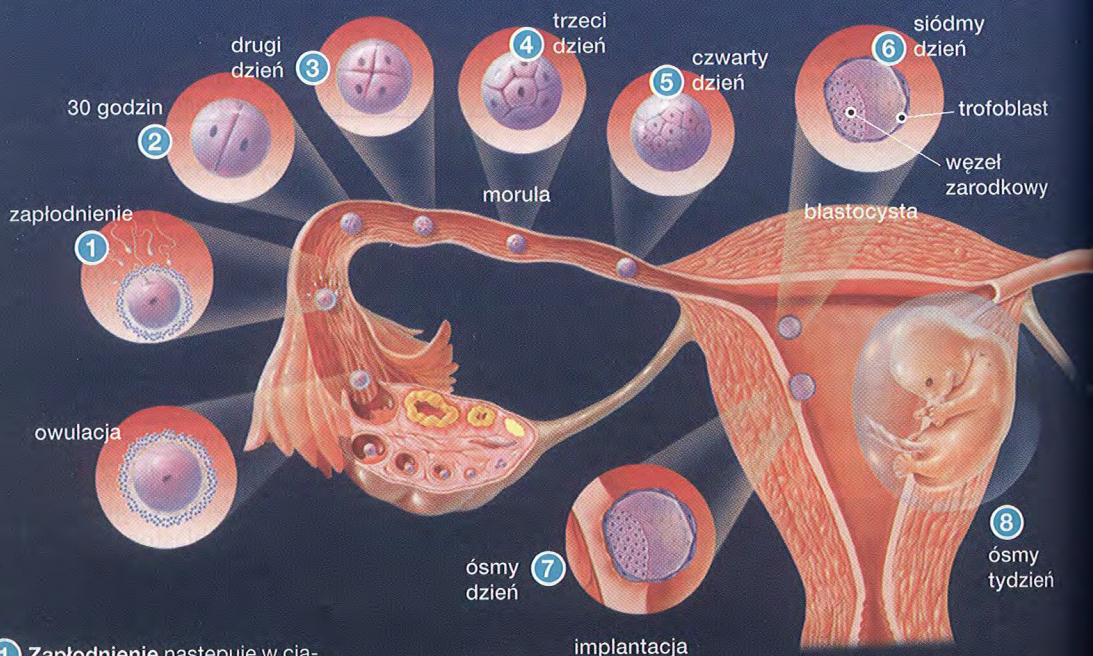
Kolejnym etapem rozwoju jest **gastrulacja**. W jej trakcie formują się pierwotne tkanki: **ektoderma**, **endoderma** i **mezoderma**, nazywane też listkami zarodkowymi. Z nich, w dalszym rozwoju, powstaną narządy pierwotne, takie jak: cewka nerwowa, struna grzbietowa i jelito zarodkowe. Nie występują one w dorosłym organizmie, gdyż ich miejsce zajmują **narządy ostateczne** (np. mózgowie i rdzeń kręgowy, kręgosłup). Proces tworzenia się narządów nosi nazwę **organogenezy**.

Warto zajrzeć!

 <http://www.wiz.pl/8,726.html>

Od poczęcia do narodzin

Rozwój prenatalny trwa przeciętnie 280 dni (licząc od pierwszego dnia ostatniej miesiączki), czyli 40 tygodni. Obejmuje rozwój zarodkowy i rozwój płodowy. W ciągu pierwszych trzech tygodni rozwoju z zygoty powstaje zarodek zbudowany z trzech listków zarodkowych: ektodermy, endodermy i mezodermy. Między czwartym a dziewiątym tygodniem ciąży odbywa się organogeneza oraz morfogeneza, czyli formowanie się zarysów ciała zarodka. W okresie płodowym (od dziewiątego tygodnia do końca ciąży) następuje dalszy wzrost oraz różnicowanie budowy i czynności tkanek, narządów i układów. W czasie rozwoju prenatalnego zmiany zachodzą z niewiarygodną szybkością. Z zygoty, która ma średnicę ok. 140 μm , kształtuje się płód osiągający średnio 50 cm długości i masę 3 kg.



1 Zapłodnienie następuje w ciągu 24 godz. od owulacji.

2 Około 30 godz. po zapłodnieniu zachodzi podział zygoty rozpoczynający brzdękowanie. W jego efekcie powstają dwie identyczne komórki, zwane blastomerami.

3 Dwa dni po zapłodnieniu zarodek składa się z czterech komórek. Kolejne podziały odbywają się co 10–12 godz.

4 Po trzech dniach zarodek składa się z 16 blastomerów i jest nazywany morulą. Nie zmienia on wielkości, ponieważ ogranicza go osłonka przejrzysta. Z tego też względu powstające komórki są coraz mniejsze.

5 Po czterech dniach liczba komórek nadal wzrasta. Między komórkami stopniowo gromadzi się płyn powodujący spłaszczanie się komórek tworzących ścianę pęcherzyka.

6 Około siedem dni po zapłodnieniu zarodek ma postać blastocysty, czyli wypełnionego płynem pęcherzyka, którego ściana nazywana jest trofoblastem. We wnętrzu blastocysty przy jednym z biegunów znajduje się skupienie komórek nazywane węzłem zarodkowym. Z niego rozwija się ciało zarodka.

7 Około ósmego dnia po zapłodnieniu blastocysta uwalnia się z osłonki przejrzystej i zagrzeźdza się w błonie śluzowej macicy. Implantację umożliwiają wydzielane przez trofoblast enzymy trawiące śluzówkę macicy.

8 Pod koniec drugiego miesiąca ciąży zarodek ma ok. 3 cm długości i masę ok. 10 g. Na jego nieproporcjonalnie dużej głowie widać oczy i zarys nosa. Na kończynach można dostrzec palce rąk i stóp.

ROZWÓJ ZARODKOWY



9
trzeci
miesiąc

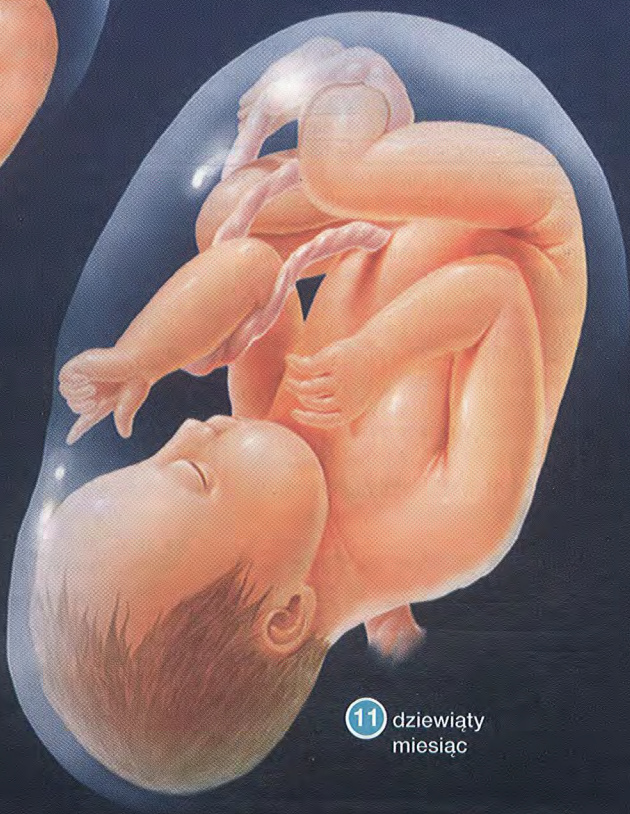
9 Pod koniec trzeciego miesiąca ciąży płód ma wykształcony układ mięśniowy i nerwowy. Reaguje na bodźce, porusza kończynami, choć ruchy te nie są jeszcze wyczuwane przez matkę. Na palcach rąk i stóp pojawiają się paznokcie. Płód ma ok. 10 cm długości i masę ok. 30 g.



10 szósty
miesiąc

10 Pod koniec szóstego miesiąca ciąży proporcje ciała płodu są podobne jak u noworodka. Jego szkielet kostnieje, dojrzewają narządy wewnętrzne. Płuca zaczynają wytwarzać surfaktant – substancję chroniącą pęcherzyki płucne przed zapadaniem się. Wykształcone są narządy zmysłów. Płód potrafi odróżnić głos matki od innych głosów. Ma ok. 30 cm długości i waży ok. 640 g.

11 W dziewiątym miesiącu ciąży płód jest zdolny do podjęcia czynności życiowych poza organizmem matki. W większości wypadków znajduje się już w pozycji odpowiedniej do porodu, czyli z głową skierowaną w dół. Ma ok. 50 cm długości i masę ok. 3500 g.



11 dziewiąty
miesiąc

Łożysko

Łożysko jest w pełni rozwinięte w czwartym miesiącu życia płodowego. Składa się z dwóch części: płodowej, będącej rozbudowaną kosmówką, i matczynej, która jest zmodyfikowaną błoną śluzową macicy. Łożysko ma kształt

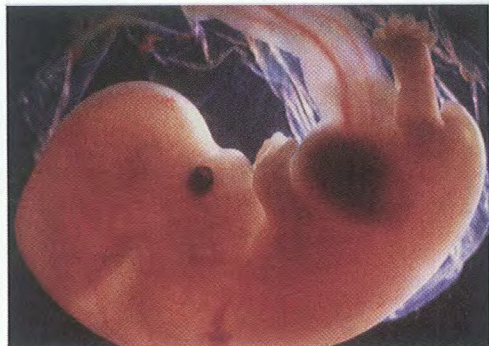
tarczy o średnicy ok. 20 cm i grubości 2,5 cm. Jest połączone z płodem za pomocą sznura pępowinowego, wewnątrz którego znajdują się trzy naczynia krwionośne: dwie tętnice pępkowe i żyła pępkowa. Naczynia te są zanurzone w swoistej tkance o konsystencji galarety, co

Błony płodowe

Błony płodowe zaczynają powstawać od ok. ósmego dnia po zapłodnieniu. Zalicza się do nich: omocznię, owodnię oraz kosmówkę. Niektórzy naukowcy uznają za błonę płodową również pęcherzyk żółtkowy. Do zadań błon płodowych należą: ochrona zarodka, a następnie płodu przed wpływem środowiska zewnętrznego oraz pośredniczenie w wymianie substancji między organizmem matki a zarodkiem, a następnie płodem.

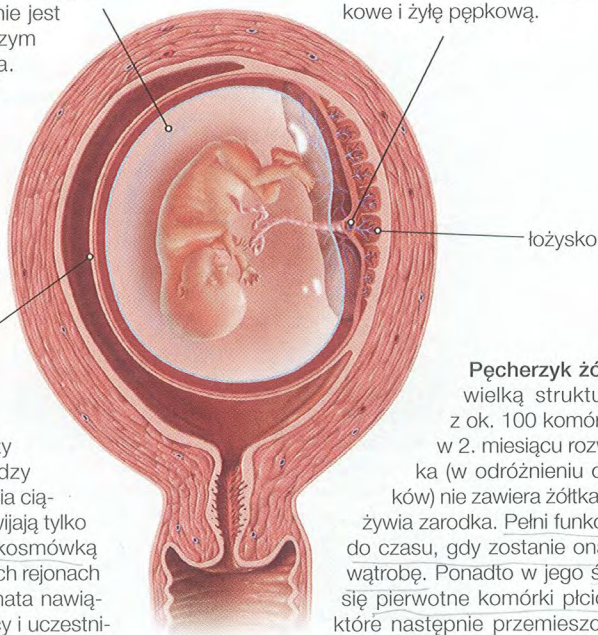
Owodnia jest cienką i przezroczystą błoną, która rozwijając się, stopniowo otacza zarodek. Utworzona przez nią jama jest wypełniona płynem owodniowym (tzw. wody płodowe), umożliwiającym swobodne poruszanie się płodu i utrzymanie odpowiedniej temperatury jego ciała, a także amortyzującym ewentualne wstrząsy. Źródłem płynu owodniowego są komórki owodni i układ krążenia matki. Rozwijający się płód połyka płyn, który następnie jest wchłaniany w jego jelitach, po czym dostaje się do układu krążenia. Równocześnie płód wydala do płynu owodniowego pewną ilość moczu (pod koniec ciąży ok. 0,5 l dziennie), dlatego konieczna jest stała wymiana tego płynu. W płynie owodniowym znajdują się złuszczone nabłonki zarodka. Fakt ten wykorzystuje się w diagnostyce prenatalnej.

Kosmówka zawdzięcza swą nazwę palczastym twórcom wyrastającym z jej powierzchni, czyli kosmkom. W początkowym okresie rozwoju w całości pośredniczy ona w wymianie substancji między matką a płodem. Od ok. 10. tygodnia ciąży kosmki utrzymują się i nadal rozwijają tylko w części zwanej z tego powodu kosmówką kosmatą, podczas gdy w pozostałych rejonach ulegają zanikowi. Kosmówka kosmata nawiązuje kontakt z błoną śluzową macicy i uczestniczy w powstaniu łożyska.



Siedmiotygodniowy zarodek (kadr z badania USG 3D) jest otoczony owodnią i rozgałęzioną kosmówką.

Omocznia powstaje jako ostatnia. Początkowo jest krótkim, ślepo zakończonym pasmem komórek nabłonkowych. Między trzecim a piątym tygodniem w jej ścianie powstają naczynia krwionośne (łącznie kosmówkę z naczyniami krwionośnymi płodu), które ostatecznie utworzą dwie tętnice pępkowe i żyłę pępkową.



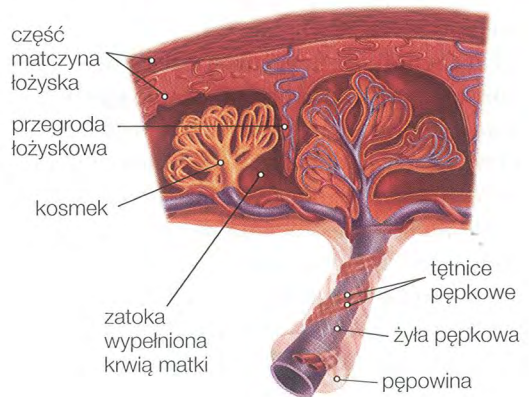
Pęcherzyk żółtkowy jest niewielką strukturą zbudowaną z ok. 100 komórek, która zanika w 2. miesiącu rozwoju. U człowieka (w odróżnieniu od gadów i ptaków) nie zawiera żółtka, dlatego nie odżywia zarodka. Pełni funkcję krwiotwórczą do czasu, gdy zostanie ona przejęta przez wątrobę. Ponadto w jego ścianie pojawiają się pierwotne komórki płciowe (gonocyty), które następnie przemieszczają się do załączków gonad.

zapobiega ich załamywaniu się w czasie ruchów płodu. Łożysko funkcjonuje średnio przez 266 dni. W czasie porodu, ok. 30 min po urodzeniu się dziecka, zostaje wydalone wraz z błonami płodowymi.

Łożysko jest narządem wyspecjalizowanym w procesach transportu i wymiany substancji między organizmem matki a płodem. Właściwym miejscem tej wymiany są kosmki, których główną część zajmują kapilary naczyń krwionośnych. Układy krążenia matki i płodu są oddzielone cienką warstwą tkanki, która tworzy **barierę łożyskową**. Ma ona bardzo dużą powierzchnię – ok. 14 m². Tą drogą odbywa się wymiana gazów, substancji odżywczych, wody, soli mineralnych i produktów przemiany materii. Przez barierę łożyskową mogą przenikać także liczne substancje trujące i niebezpieczne dla życia oraz zdrowia płodu, takie jak np. alkohol, nikotyna, kofeina, metale ciężkie. Bariera łożyskowa nie stanowi również przeszkody dla wirusów powodujących różyczkę, ospę czy zapalenie mózgu, ani dla protistów pasożytniczych będących przyczyną toksoplazmozy. Z organizmu matki przenikają przez nią **przeciwciała**.

Ich obecność odgrywa ważną rolę do momentu, gdy noworodek zacznie wytwarzać własne przeciwciała (po porodzie są one stale uzupełniane przez przeciwciała zawarte w mleku matki). Przez łożysko w obu kierunkach mogą przenikać elementy morfotyczne krwi. Fakt ten może być przyczyną konfliktu serologicznego. Łożysko funkcjonuje także jako gruczoł dokrewny, wydzielając hormony konieczne do podtrzymania ciąży.

Budowa łożyska



Hormony wydzielane przez łożysko

Hormon	Charakterystyka
Gonadotropina kosmówkowa (hCG)	- Do czwartego miesiąca ciąży utrzymuje ciało żółte ciążowe wydzielające progesteron. - U płodów męskich pobudza wydzielanie testosteronu przez jądra. - Zwiększa wydzielanie hormonów tarczycy (działa jak hormon tropowy przysadki). - Tłumi reakcję immunologiczną i zapobiega odrzuceniu płodu przez organizm matki.
Somatotropina kosmówkowa (hCS)	- Zapewnia dostateczną ilość składników odżywczych dla płodu przez wzmożony rozkład tłuszczów, ograniczenie zużycia glukozy przez matkę, zatrzymanie azotu, wapnia i potasu. - Wraz z prolaktyną przygotowuje gruczoły mlekowe do laktacji (wydzielania mleka).
Progesteron	- Niezbędny do utrzymania ciąży, od czwartego miesiąca ciąży wydzielany przez łożysko. - Utrzymuje błonę śluzową macicy w stanie fizjologicznej aktywności. - Hamuje samoistne skurcze macicy, wstrzymując poród. - Tłumi reakcję immunologiczną i zapobiega odrzuceniu płodu przez organizm matki. - Pobudza gruczoły mlekowe.
Estrogeny	- Utrzymują błonę śluzową macicy w stanie fizjologicznej aktywności. - Regulują syntezę progesteronu przez dostępność cholesterolu. - Zwiększają wrażliwość macicy na oksytocynę.
Relaksyna	- Zmniejsza kurczliwość macicy. - Rozluźnia więzadło łonowe.

Powstawanie wad wrodzonych

Ze względu na olbrzymie tempo zmian zachodzących w okresie prenatalnym rozwijający się organizm jest szczególnie wrażliwy na niekorzystne działanie wielu czynników zewnętrznych. Ich wpływ może spowodować nieprawidłowości w zakresie budowy i (lub) czynności organizmu, określane mianem wad wrodzonych. Ocenia się, że przyczyną 7–10% wad wrodzonych są **teratogeny**, wśród których wyróżnia się **czynniki fizyczne, chemiczne i biologiczne**. Wrażliwość na nie zależy od stadium rozwoju zarodka lub płodu, a także od dawki lub natężenia określonego czynnika.

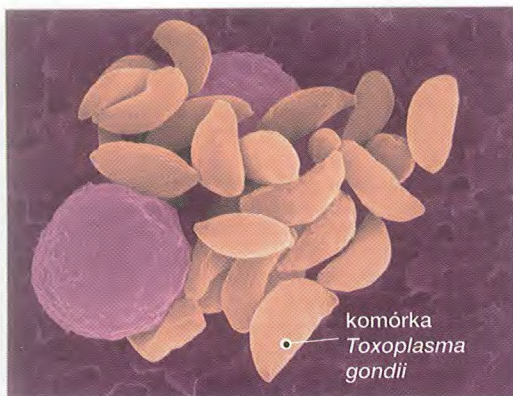
Do **czynników fizycznych** należą m.in.: wysoka temperatura, promieniowanie jonizujące, ultrafioletowe i rentgenowskie. Dlatego zgodnie z tzw. regułą 10 dni zaleca się kobietom w wieku rozrodczym ograniczenie badań rentgenowskich okolicy miednicy do pierwszych 10 dni cyklu miesiączkowego. To pozwala na uniknięcie przypadkowego napromienienia zarodka w sytuacji, gdy kobieta nie wie, że jest w ciąży. **Czynnikami chemicznymi** są substancje spożywane lub w inny sposób przyswajane przez matkę, np. niektóre leki, alkohol, dym tytoniowy. Bardzo ważne jest racjonalne odżywianie się, ponieważ niedobory pewnych substancji, np. jodu lub kwasu foliowego, również mogą wywołać negatywne skutki. Do **czynników**

biologicznych zalicza się wirusy oraz mikroorganizmy chorobotwórcze (bakterie, protisty pasożytnicze), które przenikają przez barierę łożyskową. Szczególnie niebezpieczny jest **wirus różyczki**. Prawdopodobieństwo uszkodzenia zarodka w wyniku zakażenia tym wirusem wynosi w pierwszym miesiącu ciąży 50%, dlatego stosuje się szczepienia ochronne u dziewcząt w wieku 13 lat.

Równie niebezpieczne jest zakażenie w pierwszym trymestrze ciąży **wirusem ospy wietrznej, półpaśca lub HIV**. Bezobjawowe dla kobiety ciężarnej, a ciężkie dla rozwijającego się dziecka jest zakażenie protistą pasożytniczym ***Toxoplasma gondii***, który poważnie uszkadza układ nerwowy.

Diagnostyka prenatalna

Diagnostyka prenatalna obejmuje badania przeprowadzane w czasie ciąży, których celem jest określenie, czy płód rozwija się prawidłowo i czy nie występują schorzenia, które mogą zakłócać przebieg ciąży i oddziaływać na rozwój płodu. Do najczęściej stosowanych metod należą **ultrasonografia (USG)** i **amniopunkcja**. Ultrasonografia umożliwia rozpoznanie większości wad strukturalnych zarodka i płodu. **Amniopunkcja** potwierdza lub wyklucza choroby genetyczne wynikające z zaburzenia liczby lub struktury chromosomów.



Toxoplasma gondii (mikrofotografia skaningowa). Skutkiem zakażenia tym mikroorganizmem mogą być trudności z zajściem w ciążę i powtarzające się poronienia.



Obraz płodu uzyskany dzięki ultrasonografii. Jest to metoda nieinwazyjna, w której wykorzystuje się ultradźwięki.

Teratogen – szkodliwy czynnik środowiska zewnętrznego prowadzący do powstawania anomalii rozwojowych w trakcie rozwoju osobniczego.



Amniopunkcja polega na nakłuciu owodni i pobraniu niewielkiej ilości płynu owodniowego, w którym znajdują się złączone komórki płodu. Wykonuje się ją w celu wykrycia ewentualnych wad genetycznych.

■ Poród

Zakończeniem rozwoju prenatalnego jest poród. Zwykle następuje on ok. 266–270 dni po zapłodnieniu. Rozpoczyna się regularnymi skurczami macicy określanymi jako bóle porodowe. Są one inicjowane przez oksytocynę – hormon wydzielany przez tylny płat przysadki. Wyróżnia się trzy fazy porodu:

- ▶ faza pierwsza – od rozpoczęcia akcji porodowej do pełnego rozwarcia szyjki macicy. Co 10–15 minut pojawiają się łagodne skurcze macicy, trwające 15–25 sekund. Stopniowo stają się one coraz silniejsze i trwają coraz dłużej. Powodują przemieszczanie płodu w kierunku rozszerzającej się szyjki macicy;
- ▶ faza druga (poród właściwy) – w jej trakcie następuje pęknięcie owodni i odejście wód płodowych. Intensywne skurcze macicy oraz mięśni brzucha przesuwają dziecko przez szyjkę macicy, a następnie przez pochwę. Po wydostaniu się na zewnątrz główki (kości czaszki są połączone w taki sposób, że jej kształt dostosowuje się do dróg rodnych) rodzi się reszta ciała dziecka. Skurcze macicy wyciskają krew płodową z łożyska do układu krwionośnego noworodka. Po ustaniu tętna w pępowinie zostaje ona przecięta i zawiązana. Od tej pory dziecko rozpoczyna samodzielne życie. Po

przecięciu pępowiny we krwi dziecka zaczyna się gromadzić dwutlenek węgla. Zwiększenie jego stężenia prowadzi do pobudzenia ośrodka oddechowego w rdzeniu przedłużonym. Wywołuje to skurcz mięśni oddechowych (klatki piersiowej i przepony), umożliwiając wykonanie pierwszego wdechu. Oddech jest głęboki i przy wydechu dziecko wydaje pierwszy krzyk;

- ▶ faza trzecia – od przecięcia pępowiny do wydalania łożyska i błon płodowych. Wkrótce po narodzinach dziecka łożysko oddziela się od ściany macicy i w kolejnej serii skurczów zostaje wydalone na zewnątrz wraz z błonami płodowymi.

■ Ocena stanu zdrowia noworodka

W ciągu pierwszych 5 minut po porodzie dokonuje się oceny stanu zdrowia noworodka. Przeprowadza się ją według skali Apgar. Pod uwagę bierze się w niej pięć badań, przy czym za każde z nich noworodek może otrzymać 0–2 p. Najwyższy wynik w skali Apgar wynosi 10 p. (5 razy po 2 p.). Wynik poniżej 3 p. oznacza, że dziecko wymaga szczególnej opieki lekarskiej. Ocena 4–6 p. jest wynikiem średnim, a powyżej 7 p. – dobrym.

Ocena stanu noworodka wg skali Apgar

Badane cechy	Punkty		
	0	1	2
Tętno (uderzenia/minutę)	brak	mniej niż 100	więcej niż 100
Oddech	brak	wolny, nieregularny	silny krzyk
Napięcie mięśniowe	wiotkość	lekkie zgięcie kończyn	czynne ruchy
Pobudliwość	brak odpowiedzi na bodziec	grymas	silny płacz, krzyk
Barwa skóry	sina lub biała	tutów różowy, kończyny sinawe	różowa, całe ciało zaróżowione

Rozwój postnatalny

W rozwoju postnatalnym wyróżnia się kilka następujących po sobie okresów. Trzeba jednak pamiętać, że choć opisane poniżej zmiany dotyczą rozwoju wszystkich ludzi, to tempo ich przebiegu jest indywidualne. Dlatego podane przedziały czasowe są tylko orientacyjne.



1 Okres noworodkowy obejmuje pierwsze cztery tygodnie po urodzeniu. W tym czasie organizm dziecka przystosowuje się do życia poza organizmem matki, m.in. zamyka się otwór między przedsionkami serca, przez który przepływała krew, obniża się ciśnienie w naczyniach płucnych.

2 Okres niemowlęcy trwa do końca pierwszego roku życia. Jest to czas szybkiego przyrostu długości i masy ciała. Wzrasta też sprawność ruchowa, pod koniec tego okresu dziecko zaczyna raczkować, a czasem chodzić. Około szóstego miesiąca życia wyrzynają się pierwsze zęby mleczne. Zaczyna rozwijać się mowa, a ok. dziewiątego miesiąca dziecko wypowiada proste słowa (np. mama, tata).

3 Okres poniemowlęcy trwa do końca trzeciego roku życia. W tym czasie doskonalą się pionizacja ciała, zręczność ruchów i zmysł równowagi. Dziecko osiąga spory stopień samodzielności. Postępuje rozwój mowy, zdolności kojarzenia i koncentracji uwagi.

4 Okres dzieciństwa trwa od trzeciego roku życia do rozpoczęcia dojrzewania. Odznacza się rozwojem możliwości intelektualnych – zapamiętywania, myślenia logicznego i abstrakcyjnego, chęcią poznawania świata. Dziecko uczy się funkcjonowania w grupie, kształtuje się jego charakter i osobowość.

5 Okres dojrzewania rozpoczyna się ok. 9. roku życia u dziewcząt i 11. roku życia u chłopców. Pod wpływem hormonów płciowych następuje wtedy rozwój cech fizycznych i psychicznych typowych dla płci. Charakterystyczne dla tego okresu są nerwowość, rozdrażnienie oraz zmienność nastroju.

6 Okres dorosłości rozpoczyna się ok. 25. roku życia. Wówczas człowiek osiąga dojrzałość fizyczną (wszystkie układy narządów są w pełni rozwinięte), psychiczną (posiada stabilność emocjonalną i umiejętność samodzielnego podejmowania decyzji) i społeczną (podejmuje pracę zawodową, osiąga niezależność finansową).



7 Okres przekwitania trwa ok. 2. lat. U kobiet rozpoczyna się między 45. a 55. rokiem życia, u mężczyzn – najczęściej po 55. roku życia. W tym okresie zmniejsza się stężenie hormonów płciowych, co prowadzi u kobiet do ustania miesiączkowania, a u mężczyzn do obniżenia zdolności rozrodczych.

8 Okres starości to czas następujący po okresie przekwitania. Odnacza się osłabieniem aktywności wielu narządów i zmniejszeniem odporności organizmu, co pociąga za sobą większą zapadalność na wiele chorób.

Polecenia kontrolne

- Wyjaśnij, w jaki sposób powstaje morula.
Podaj nazwę procesu prowadzącego do jej ukształtowania.
- Podaj funkcje trofoblastu.
- Wyjaśnij, na czym polega implantacja i jakiego stadium rozwoju zarodkowego ona dotyczy.
- Podaj, jak się nazywają i kiedy powstają pierwsze tkanki pierwotne.
- Wymień nazwy błon płodowych powstających w trakcie rozwoju człowieka.
- Określ, która z błon płodowych odpowiada za:
 - rozwój pierwotnych komórek płciowych (gonocytów).
 - amortyzację ewentualnych wstrząsów.
 - transport substancji między organizmem matki a płodem.
 - okresowe wytwarzanie składników krwi.
- Scharakteryzuj funkcjonowanie łożyska jako gruczołu dokrewnego.
- Określ kierunek transportu przez łożysko następujących substancji: tlen, dwutlenek węgla, mocznik, substancje odżywcze.
- Wyjaśnij termin *czynniki teratogenne*. Scharakteryzuj wybraną grupę takich czynników.
- Scharakteryzuj metody stosowane w diagnostyce prenatalnej.
- Wyjaśnij mechanizm wykonania przez noworodka pierwszego wdechu.
- Każdemu z etapów rozwoju postnatalnego przyporządkuj jedną z cech charakterystycznych dla jego przebiegu.
- Człowiek wyjątkowo długo opiekuje się swoim potomstwem.
Na podstawie własnych doświadczeń i obserwacji wyjaśnij, jak rozumiesz pojęcie *opieka nad potomstwem*. Określ wiek, w którym człowiek może rozpocząć samodzielne życie, tzn. bez opieki rodziców.

Warto zajrzeć!

 <http://www.zdrowie-uroda.net.pl/przebieg-rozwoju-osobniczego.html>
<http://pepowina.pl/od-zaplodnienia-do-narodziny/>

4

Planowanie rodziny. Choroby i higiena układu rozrodczego

Według badań przeprowadzonych w 2008 roku na zlecenie Krajowego Centrum do spraw AIDS, w Polsce średni wiek, w którym podejmowane jest współżycie płciowe, to 19 lat dla kobiet i nieco ponad 18 lat dla mężczyzn. Pod względem fizjologicznym zarówno kobieta, jak i mężczyzna są już wówczas dojrzały i zdolni do posiadania potomstwa. Często jednak nie są na to gotowi pod względem emocjonalnym i społecznym. Z tego względu decyzję o posiadaniu potomstwa warto podjąć świadomie.

Regulacja poczęć

Działania mające na celu zapobieganie niezaplanowanemu poczęciu dziecka są określane mianem **antykoncepcji**. Metody regulacji poczęć można podzielić na naturalne i sztuczne. **Metody naturalne** opierają się na znajomości cyklu płciowego kobiety i uwzględnianiu, że występują w nim dni, w których może dojść do zapłodnienia (dni płodne), oraz dni, w których jest to niemożliwe (dni niepłodne). **Metody sztuczne antykoncepcji** zapobiegają zapłodnieniu bez konieczności powstrzymania się od współżycia płciowego.

Skuteczność metod antykoncepcyjnych wyraża się w procentach lub za pomocą **wskaźnika Pearl** [wym. perla]. Określa on, jaki procent kobiet zajdzie w ciążę w ciągu roku mimo prawidłowego stosowania danej metody. Wskaźnik 0 oznacza całkowite zabezpieczenie przed ciążą. Taką skuteczność daje tylko absolutne powstrzymanie się do stosunków płciowych. Im wyższy wskaźnik, tym większe prawdopodobieństwo zajścia w ciążę – współżycie bez zabezpieczenia ma wskaźnik 85.

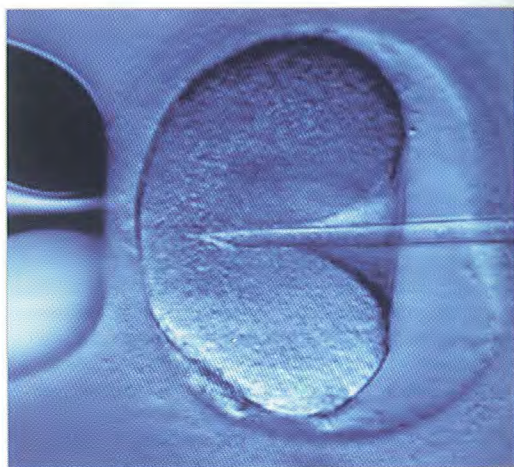
Niepłodność

Niepłodnością określa się niemożność poczęcia dziecka mimo regularnego współżycia bez zabezpieczenia w okresie dłuższym niż jeden rok. Szacuje się, że problem ten dotyczy ok. 15% par. Przyczyną tego stanu jest m.in. nieprawidłowe

funkcjonowanie układu rozrodczego kobiety (ok. 35% przypadków), mężczyzny (ok. 35% przypadków) lub obojga (ok. 10% przypadków).

Najczęstszymi przyczynami niepłodności u kobiet są zaburzenia hormonalne wpływające na owulację, nieprawidłowa budowa narządów rozrodczych (np. niedrożność jajowodów) i przebyte stany zapalne tych narządów. Niepłodność męska w większości przypadków jest spowodowana niską jakością nasienia – zbyt małą liczbą plemników, ich nieprawidłową budową lub niską żywotnością.

Ustalenie przyczyn i leczenie niepłodności jest trudne oraz wymaga wiele czasu i wytrwałości. Jednak w bardzo wielu przypadkach kończy się sukcesem – narodzinami oczekiwanego dziecka. Niektóre pary decydują się na **zapłodnienie in vitro**, czyli poza organizmem kobiety. Metoda ta polega na: hormonalnym pobudzeniu owulacji kilku pęcherzyków jajnikowych, następnie pobraniu dojrzałych oocytów i zapłodnieniu ich uzyskanym wcześniej nasieniem, hodowli wczesnych zarodków, w celu sprawdzenia prawidłowości ich rozwoju i wprowadzeniu zarodków do macicy.



Zapłodnienie in vitro (zdjęcie spod mikroskopu optycznego). W przypadku niepłodności męskiej wyselekcjonowane plemniki można wprowadzić bezpośrednio do oocytu.

Wybrane metody regulacji poczęć

	Nazwa metody, wskaźnik Pearl'a	Zasada działania	Zalety	Wady
Metoda naturalna	metoda objawowo-termiczna; 3–25	Wyznaczenie dni płodnych na podstawie: • znajomości cyklu płciowego i warunków zapłodnienia, • codziennej obserwacji zmian temperatury w kolejnych dniach cyklu, • codziennej obserwacji śluzu szyjkowego.	Brak skutków ubocznych.	Trudności z wyznaczeniem dni płodnych ze względu na zaburzenia cyklu, spowodowane m.in. chorobą, podróżą czy silnymi emocjami.
Metody mechaniczne	prezerwatywa; 2–15	Zapobieganie przedostawaniu się nasienia do pochwy. Może być powleczone środkami nawilżającymi i plemnikobójczymi.	Brak skutków ubocznych, chroni przed chorobami przenoszonymi drogą płciową.	Może zostać uszkodzona mechanicznie.
	kapturek dopochwowy; 6–16	Ostonka wykonana z miękkiej i cienkiej gumy zakładana na szyjkę macicy przed stosunkiem. Stanowi mechaniczną zaporę dla plemników. Odpowiednik prezerwatywy.	Brak skutków ubocznych.	Trudny do założenia. Źle założony nie pełni swojej funkcji.
Metody chemiczne	środki plemnikobójcze (tabletki, globulki, pianki, żele, kremy); 5–30	Preparaty umieszczane w pochwie ok. 15–30 min przed stosunkiem. Stanowią barierę dla plemników i niszczą je chemicznie.	Łatwe do aplikacji.	Uciążliwe w stosowaniu ze względu na czas oczekiwania, mogą powodować podrażnienie.
	środki hormonalne (pigułki antykoncepcyjne; 0,1–0,3, plastry, zastrzyki implanty; 0,3–1,0)	Ich działanie hamuje owulację oraz wpływa na właściwości śluzu szyjkowego (staje się on nieprzepuszczalny dla plemników).	Duża skuteczność, regulują cykl miesięczkowy (są stosowane do leczenia jego zaburzeń).	Mogą zwiększać krzepliwość krwi; są niewskazane m.in. dla kobiet palących, chorych na cukrzycę i niewydolność wątroby.

■ Choroby układu rozrodczego

Do najczęstszych chorób układu rozrodczego należą stany zapalne. U kobiet rozwijają się one zazwyczaj w obrębie zewnętrznych narządów płciowych oraz w pochwie, u mężczyzn – w cewce moczowej. Ich przyczyną mogą być wirusy, bakterie, grzyby lub protisty. Wiele zakażeń dotyczy obu płci, ponieważ następuje podczas kontaktów płciowych. Choroby rozprzestrzeniające się w ten sposób określa się mianem chorób przenoszonych drogą płciową. Większość z nich ma charakter niegroźnych infekcji narządów płciowych, inne wywołują poważne zaburzenia w funkcjonowaniu organizmu, a nawet śmierć. Do chorób przenoszonych drogą płciową należą m.in. kiła, rzeżączka, rzesistkowica oraz grzybica.

Kiła (syfilis) jest wywoływana przez bakterię *Treponema pallidum*, zwaną krętkiem błędym. Pierwszymi jej objawami są owrzodzenia narządów płciowych i powiększenie okolicznych węzłów chłonnych. Zmiany te mogą się cofać, więc często przemijają niezauważone. Jeśli chory nie podejmie leczenia, występuje nawrót choroby w postaci uogólnionej wysypki skórnej, a z biegiem miesięcy i lat zachodzą poważne zmiany w obrębie różnych narządów wewnętrznych (m.in. wątroby, serca, układu nerwowego, kości). Choroba jest niebezpieczna dla kobiet ciężarnych, gdyż bakterie przenikają przez łożysko, stając się przyczyną śmierci dziecka lub rozwoju tzw. kiły wrodzonej. Jej konsekwencją są poważne zaburzenia rozwoju fizycznego i psychicznego dziecka.

Rak szyjki macicy

Rak szyjki macicy jest jednym z najczęściej występujących u kobiet nowotworów narządów płciowych. Rozwija się wtedy, gdy uszkodzone komórki nabłonka szyjki macicy zaczynają dzielić się w sposób niekontrolowany. Polska należy do krajów o najwyższym w Europie ryzyku zachorowania na tę chorobę. Wynika to ze zbyt późnego wykrywania tej choroby u Polek.

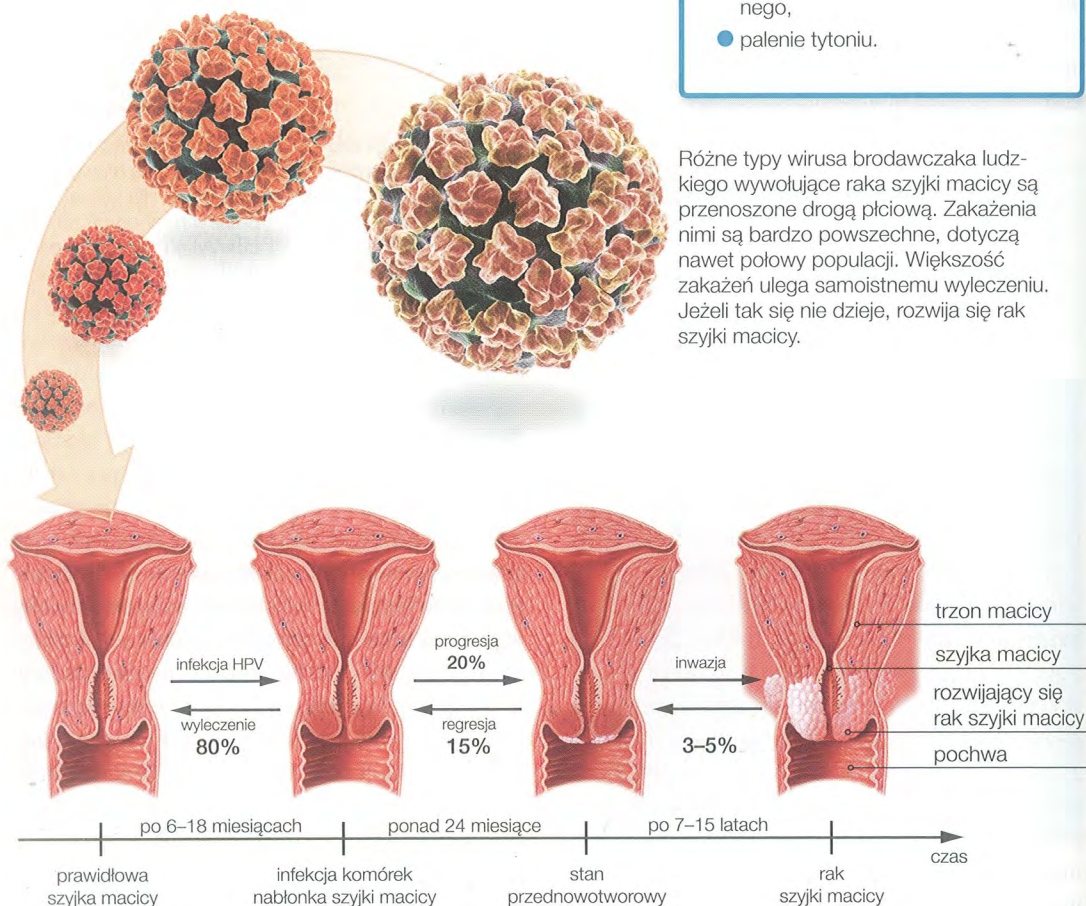
■ PRZYCZYNA

Rak szyjki macicy jest wywołany prawie zawsze przez wirusa brodawczaka ludzkiego (ang. **Human Papilloma Virus – HPV**). Spośród ponad 100 typów tego wirusa 15 może powodować nieprawidłowości komórek nabłonka szyjki macicy, które w ciągu 10–15 lat mogą doprowadzić do rozwoju raka.

Czynniki rozwoju raka szyjki macicy:

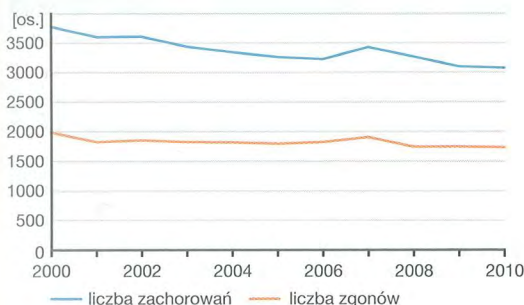
- wczesnie rozpoczęte współżycie seksualne,
- niebezpieczne zachowania seksualne,
- osłabienie układu immunologicznego,
- palenie tytoniu.

Różne typy wirusa brodawczaka ludzkiego wywołujące raka szyjki macicy są przenoszone drogą płciową. Zakażenia nimi są bardzo powszechne, dotyczą nawet połowy populacji. Większość zakażeń ulega samoistnemu wyleczeniu. Jeżeli tak się nie dzieje, rozwija się rak szyjki macicy.



■ DIAGNOSTYKA

Objawy, takie jak bóle brzucha i okolicy krzyżowej czy krwawienia z dróg rodnych, często występują dopiero w zaawansowanym stadium choroby. Na wykrycie choroby we wcześniejszym stadium pozwala cytologia (rozsmaz komórek pobranych z szyjki macicy), kolposkopia (oglądanie szyjki macicy przy pomocy urządzenia optycznego – kolposkopu) oraz badanie histopatologiczne wycinka szyjki macicy.

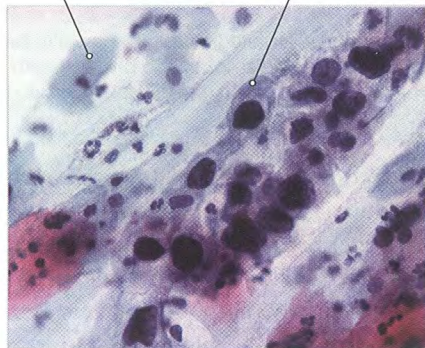


Liczba zachorowań i zgonów na raka szyjki macicy w Polsce w latach 2000–2010.

W Polsce zachorowalność i umieralność na raka szyjki macicy nie zmienia się od lat, podczas gdy na świecie zmniejszyła się o ok. 50% zachorowalność, a o 70% umieralność z powodu tej choroby.

komórka
prawidłowa

komórka zmieniona
nowotworowo



Prawidłowe i zmienione nowotworowo komórki szyjki macicy (zdjęcie spod mikroskopu optycznego). Badanie cytologiczne pozwala odróżnić zdrowe komórki od komórek w różnym stadium choroby nowotworowej. Na podstawie wyniku ustalany jest przebieg leczenia.

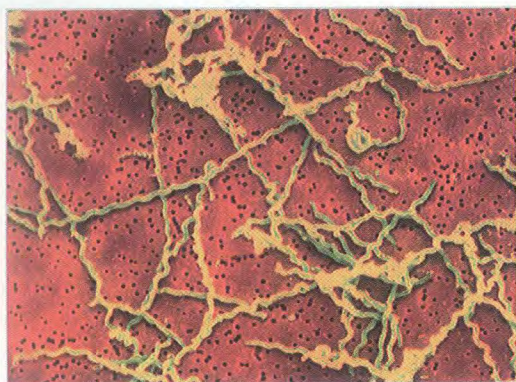
■ LECZENIE

Leczenie raka szyjki macicy skupia się na usunięciu nieprawidłowych komórek za pomocą różnych metod (np. lasera lub bardzo niskiej temperatury). W wypadku wczesnego stadium choroby wyleczalność jest bardzo wysoka (90–100%). Niestety, nawet u ponad 60% kobiet rak szyjki macicy wykrywany jest w momencie, kiedy daje przerzuty. Wówczas szanse wyleczenia są bardzo małe, a chorobę pozwalają kontrolować standardowe metody leczenia raka (np. chemioterapia).

■ PROFILAKTYKA

Podstawą profilaktyki raka szyjki macicy są regularne badania ginekologiczne oraz cytologiczne. Zaleca się, aby kobiety między 18. a 30. rokiem życia wykonywały je raz w roku, po 30. roku życia – co dwa lata, a po 40. – raz na trzy lata. W Polsce dostępna jest szczepionka przeciwko najbardziej niebezpiecznym typom HPV. Zmniejsza ona ryzyko zachorowania na raka szyjki macicy aż o 90%.

Warto zajrzeć!
 <http://www.hpv.pl/>



Krętek bładny (mikrofotografia skaningowa) to bakteria o spiralnym kształcie zaliczana do bakterii Gram-ujemnych. Wykazuje zdolność ruchu. Jest bezwzględny pasożytem.

Rzeżączka również jest chorobą bakteryjną. Powodują ją **dwoinki rzeżączki** (*Neisseria gonorrhoeae*) nazywane też gonokokami. Uszkadzają one wiele narządów wewnętrznych, a w sytuacji gdy nie podejmuje się leczenia – doprowadzają do bezpłodności. Do wczesnych objawów rzeżączki należą: wysięk z narządów płciowych, ból i pieczenie podczas oddawania moczu. Jej powikłaniami są zapalenia stawów i mięśnia sercowego. U dzieci zarażonych rzeżączką podczas porodu rozwija się rzeżączkowe zapalenie spojówek, które nieleczone prowadzi do uszkodzenia narządu wzroku.

Rzęsikowica to choroba wywołana przez rzęsikę pochwową (*Trichomonas vaginalis*), należącego do protistów pasożytniczych. Można się nią zarazić nie tylko podczas kontaktów seksualnych, ale także korzystając z brudnych toalet i cudzych przedmiotów higieny osobistej. Rzęsikę rozwija się w pochwie, cewce moczowej, pęcherzu moczowym i gruczole krokowym. Choroba objawia się swędzem i pieczeniem w cewce moczowej, a u kobiet także upławami (nadmierna wydzielina z pochwy). Może też przebiegać bezobjawowo. Rzęsikowicy mogą towarzyszyć zakażenia bakteryjne i grzybicze.



Rzęsikę pochwową (mikrofotografia skaningowa) jest rozpowszechniony na całym świecie, przy czym częściej występuje u kobiet niż u mężczyzn.

Przyczyną **grzybicy** narządów płciowych jest najczęściej **bielnik biały** (*Candida albicans*). U mężczyzn zakażenie może przebiegać bezobjawowo, u kobiet objawy są na ogół silnie odczuwane i nieprzyjemne. Należą do nich: uporczywy świąd, bolesność, mocne zaczerwienienie pochwy i sromu oraz obfite upławy.

Znając drogę rozprzestrzeniania się choroby, można jej zapobiegać. W wypadku chorób przenoszonych drogą płciową profilaktyka polega głównie na unikaniu przypadkowych kontaktów płciowych, a także używaniu prezerwatyw. W sytuacji podejrzenia występowania choroby należy wykonać odpowiednie badania, a w razie stwierdzenia choroby leczenie powinni podjąć oboje partnerzy.

Odrębny problem stanowią **choroby nowotworowe** narządów płciowych. U mężczyzn jest to najczęściej **rak prostaty** (choruje na niego ok. 20% mężczyzn). Pojawia się po 60. roku życia, a ryzyko jego wystąpienia rośnie z wiekiem. Można go jednak wykryć za pomocą specjalistycznego badania krwi już na wczesnym etapie, co daje możliwość wyleczenia. U kobiet najczęstszym nowotworem układu rozrodczego jest **rak szyjki macicy**.

Polecenia kontrolne

1. Podaj trzy argumenty przemawiające za tym, by nie spieszyć się z rozpoczęciem współżycia płciowego.
2. Wymień wady i zalety trzech wybranych metod antykoncepcji.
3. Wyjaśnij, jak można uniknąć chorób przenoszonych drogą płciową.

Podsumowanie

Elementy męskiego układu rozrodczego

MĘSKI UKŁAD ROZRODCZY		
Narządy wewnętrzne		Narządy zewnętrzne
• jądra • najądrza • nasieniowody • przewód wytryskowy • cewka moczowa		• prącie • moszna
• narządy dodatkowe: pęcherzyki nasienne, prostata (stercz, gruczoł krokowy), gruczoły opuszkowo-cewkowe		

Elementy żeńskiego układu rozrodczego

ŻEŃSKI UKŁAD ROZRODCZY	
Narządy wewnętrzne	Narządy zewnętrzne
• jajniki • jajowody • macica • pochwa	• srom (wzgórek łonowy, wargi sromowe większe i mniejsze, techtaczka)

Powstawanie komórek płciowych

Spermatogeneza	Oogeneza
gonocyty – pierwotne komórki płciowe	gonocyty – pierwotne komórki płciowe
po podziałach mitotycznych powstają spermatogonia	po podziałach mitotycznych powstają oogonia
po podziałach mitotycznych powstają spermatocyty I rzędu	po podziałach mitotycznych powstają oocyty I rzędu
I podział mejotyczny – proces ciągły	I podział mejotyczny – rozpoczęty jeszcze przed urodzeniem, zatrzymywany i wznowiany w trakcie cyklu miesięczkowego
powstają spermatocyty II rzędu	powstaje oocyt II rzędu i ciałko kierunkowe
II podział mejotyczny – proces ciągły	II podział mejotyczny – zatrzymany w momencie owulacji, zakończony po zapłodnieniu
powstają spermatozoidy, z których rozwijają się plemniki	powstaje komórka jajowa oraz ciałko kierunkowe, które następnie obumiera

Cykl miesięczkowy

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Zmiany w jajniku																												
Stadium pęcherzykowe – dojrzewanie pęcherzyka jajnikowego														Owulacja	Stadium lutealne – przekształcenie pęcherzyka Graafa w ciałko żółte, a następnie w ciałko białawe (jeśli nie doszło do zapłodnienia)													
Zmiany w błonie śluzowej macicy																												
Faza miesięczkowa (menstruacja)							Faza odbudowy – odnowienie błony śluzowej, zwiększenie jej grubości							Faza wydzielnicza – dalsze pogrubienie błony śluzowej macicy, rozrost i rozpoczęcie funkcjonowania gruczołów macicznych, powstanie gąbczastej struktury błony śluzowej														Faza martwicza

Łożysko, błony płodowe i pęcherzyk żółtkowy

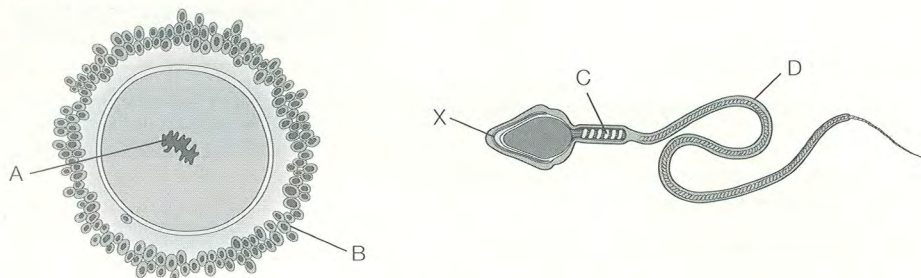
Element	Budowa	Funkcje
Łożysko	składa się z części płodowej (powstałej z kosmówki) i maczynej (przekształconej błony śluzowej macicy)	• transport i wymiana substancji między organizmem matki a płodem
Owodnia	cienka błona otaczająca cały zarodek, wypełniona płynem owodniowym	• amortyzacja i utrzymanie odpowiedniej temperatury płodu
Kosmówka	posiada liczne palczaste wyrostki (kosmki)	• wymiana substancji między matką a płodem • tworzenie łożyska
Omocznia	początkowo ślepo zakończony uchyłek, później zrasta się z kosmówką	• tworzenie naczyń krwionośnych łączących płód z łożyskiem
Pęcherzyk żółtkowy	niewielka struktura zbudowana z ok. 100 komórek	• wytwarzanie elementów morfotycznych krwi • powstawanie gonocytów

Ontogeneza

Etap	Okres	Czas	Charakterystyka
Rozwój prenatalny	zapłodnienie	–	połączenie plemnika z komórką jajową, zakończenie drugiego podziału mejotycznego komórki jajowej, powstanie zygoty
	bruzdkowanie	od powstania zygoty	wielokrotne podziały blastomerów, powstanie moruli, a następnie blastuli, ok. 7. dnia rozwoju – implantacja
	gastrulacja	od ok. 7. dnia po zapłodnieniu	powstanie listków zarodkowych
	organogeneza	od ok. 18. dnia po zapłodnieniu	wykształcenie się narządów pierwotnych
	rozwój płodowy	od ok. 8.–9. tygodnia	wykształcenie narządów ostatecznych, wzrost płodu, osiągnięcie stadium pozwalającego na przeżycie poza organizmem matki
	poród	ok. 40. tygodnia po zapłodnieniu	zakończenie rozwoju prenatalnego, wydostanie się dziecka poza organizm matki, rozpoczęcie samodzielnego życia
Rozwój postnatalny	okres noworodkowy	od narodzin	zmiany w budowie narządów wewnętrznych przystosowujące organizm do samodzielnego życia
	niemowlęstwo	od ok. 4. tygodnia życia	szybki wzrost ciała, przyrost jego masy, wzrost sprawności ruchowej, początek nauki mówienia
	okres poniemowlęcy	od ok. 1. roku życia	wykształcenie pionowej postawy ciała, rozwój zdolności koncentracji i kojarzenia
	dzieciństwo	od ok. 3. roku życia	rozwój zdolności intelektualnych, myślenia abstrakcyjnego, nauka zachowań społecznych
	dojrzewanie	u dziewcząt od ok. 9. roku życia, u chłopców od ok. 11. roku życia	rozpoczęcie funkcjonowania gruczołów płciowych, rozwój cech fizycznych typowych dla płci
	dorosłość	od ok. 25. roku życia	pełna dojrzałość fizyczna, psychiczna, emocjonalna i społeczna
	przekwitanie	u kobiet – po 45.–55. roku życia, u mężczyzn – po 55. roku życia	zmniejszenie stężenia hormonów płciowych, ustanie miesiączkowania u kobiet, obniżenie zdolności rozrodczych u mężczyzn
	starość	po okresie przekwitania	osłabienie sprawności narządów wewnętrznych, zmniejszenie odporności organizmu

Test maturalny

1 Ilustracje przedstawiają gamety człowieka.



a) Podaj argument przemawiający za tym, że u człowieka występuje typ zapłodnienia nazywany oogamią.

.....

.....

b) Wpisz nazwy struktur oznaczonych na ilustracjach literami A–D.

A.

C.

B.

D.

c) Wyjaśnij, jaką funkcję pełni struktura oznaczona na ilustracji literą X.

.....

.....

2 W trakcie życia osobniczego stopniowo kształtują się różne cechy płciowe człowieka. Cechy pierwszorzędowe pojawiają się już na etapie życia zarodkowego, cechy drugorzędowe powstają na etapie życia płodowego, a cechy trzeciorzędowe – w wieku dojrzewania płciowego.

a) Uzupełnij tabelę, wpisując w odpowiednie miejsca podane niżej cechy płciowe.

prącie, zarost łonowy, macica, najądrza, piersi, jajniki, nasieniowody, srom, jądra, jajowody, worek mosznowy, pochwa, obniżony głos

Rodzaj cech \ Płeć	Kobieta	Mężczyzna
I-rzędowe		
II-rzędowe		
III-rzędowe		

b) Opisz funkcję najądrzy.

.....

.....

.....

- 3** Gametogeneza prowadzi do wytworzenia dojrzałych gamet żeńskich i męskich, w procesach nazywanych odpowiednio: oogenezą i spermatogenezą.

a) Oceń, które opisy dotyczą spermatogenezy, a które oogenezy. Wpisz znak X w odpowiednie miejsca tabeli.

	Spermatogeneza	Oogeneza
Kończy się przed 50. rokiem życia.		
W jej wyniku z jednej komórki wyjściowej powstają cztery gamety.		
W jej trakcie podczas różnicowania morfologicznego gamet następuje odrzucenie większości cytoplazmy.		
W jej trakcie podział mejotyczny ulega zatrzymaniu.		

b) Oceń prawdziwość zdań dotyczących plemników. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

	P/F
1. W jądrach komórkowych dojrzewających plemników część białek histonowych zostaje zastąpiona przez protaminy.	
2. Większość plemników przedostaje się przez macicę do jajowodu.	
3. Po wejściu do macicy plemniki są aktywowane przez wydzieliny dróg żeńskich.	
4. Plemniki przepływają przez macicę tylko dzięki ruchom swoich wici.	
5. Śluz szyjki macicy przez większą część cyklu rozrodczego kobiety nie przepuszcza plemników.	
6. Plemniki penetrują tylko ten jajowód, w którym jest oocyt.	

c) Podaj dwa składniki nasienia inne niż gamety.

1.
2.

- 4** W ontogenezie człowieka wyróżnia się dwa główne etapy: rozwój prenatalny i postnatalny. Rozwój prenatalny przebiega od momentu zapłodnienia do porodu. Rozwój postnatalny rozpoczyna się w momencie porodu, a kończy się śmiercią człowieka.

Wymień kolejne etapy rozwoju postnatalnego człowieka. Podaj przybliżony zakres wiekowy dla każdego z etapów.

.....

.....

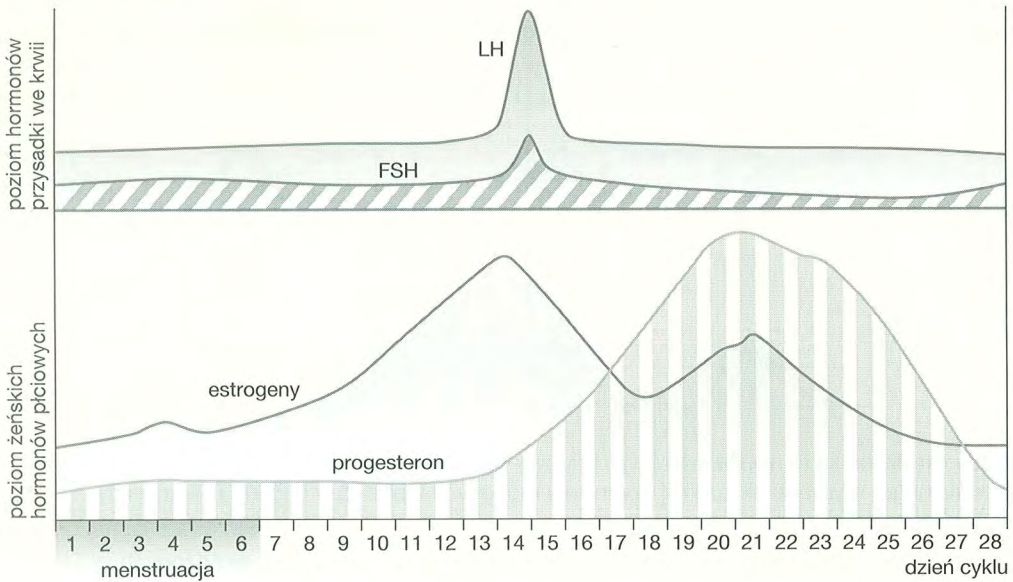
.....

.....

.....

.....

- 5** Wykres przedstawia zmiany stężeń hormonów we krwi kobiety w czasie jednego cyklu menstruacyjnego.



- a) Scharakteryzuj zmiany aktywności hormonów, które zachodzą podczas owulacji.

.....

- b) Podaj trzy czynniki (zewnętrzne lub wewnętrzne), które mogą spowodować zaburzenia cyklu menstruacyjnego.

1.
 2.
 3.

- c) Zapisz nazwę struktury, która stanowi główne źródło progesteronu w drugiej połowie cyklu menstruacyjnego.

.....

- 6** Okres prenatalny trwa od zapłodnienia do momentu porodu. W tym czasie następuje intensywny rozwój zarodka, a następnie płodu.

Ustal prawidłową kolejność etapów rozwoju zarodkowego i płodowego.

1. Organogeneza i morfogeneza.
2. Powstanie blastuli.
3. Zakończenie drugiego podziału meiotycznego komórki jajowej.
4. Implantacja zarodka w ścianie macicy.
5. Powstanie moruli.
6. Powstanie listków zarodkowych.

Prawidłowa kolejność etapów rozwoju prenatalnego:

a) Podaj trzy czynniki fizyczne, mogące powodować powstawanie wad wrodzonych.

1.
2.
3.

a) Przyporządkuj podane niżej przykłady środków antykoncepcyjnych do odpowiednich grup.

Grupy środków antykoncepcyjnych	Przykłady środków antykoncepcyjnych
Środki mechaniczne	
Środki chemiczne	

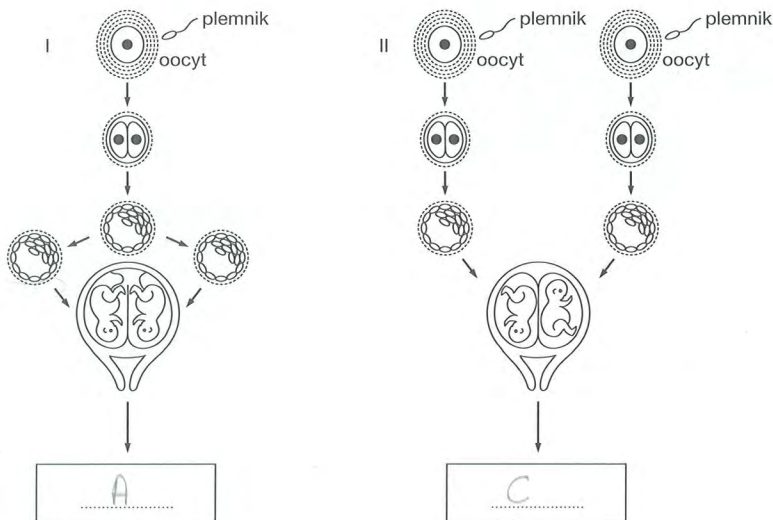
AIDS, kiła, toksoplazmoza, rzesistkowica, świerzb, rzeżączka, borelioza

To było na maturze!

Zadanie 1. (1 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PR), zad. 4.

Na schematach przedstawiono dwa sposoby (I, II) powstawania bliźniąt u człowieka.



Wpisz w wyznaczone miejsce pod każdym schematem po jednym oznaczeniu literowym poprawnego dokończenia zdania, wybierając je z niżej podanych (A, B lub C).

Są to

- A. prawie identyczne bliźnięta tej samej płci.
- B. prawie identyczne bliźnięta różnej płci.
- C. nie zawsze podobne do siebie i często różnopłciowe bliźnięta.

Zadanie 2. (2 pkt)

Źródło: CKE 11.2006 (PP), zad. 19.

Jedną z technik diagnostycznych badań prenatalnych polega na pobraniu próbek płynu owodniowego, w którym rozwija się płód. Igłę wprowadza się przez powłoki brzuszne i ścianę macicy, a następnie wciąga do strzykawki niewielką ilość płynu owodniowego, który poddaje się badaniu.

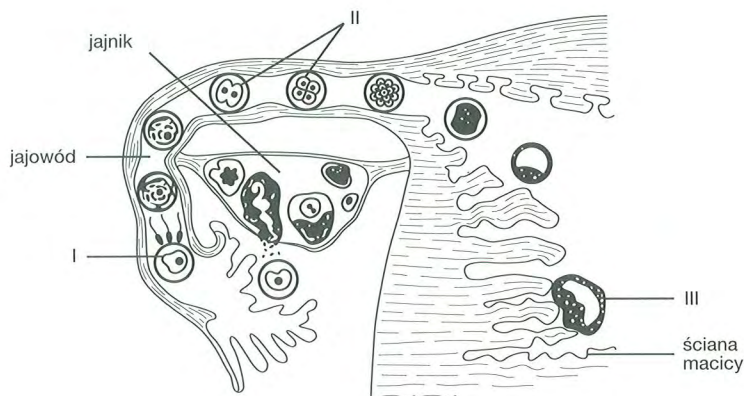
Podaj jeden medyczny argument przemawiający za prowadzeniem badań prenatalnych i jeden medyczny argument przeciwko ich prowadzeniu.

+ - wczesne wykrycie wad zarodka i chorób genetycznych, co pozwala na wczesne ich leczenie
- - możliwe uszczuplenie zarodka za pomocą igły

Zadanie 3. (1 pkt)

Źródło: CKE 2009 (PP), zad. 23.

Na schemacie przedstawiającym budowę układu rozrodczego kobiety cyframi rzymskimi oznaczono trzy stadia wczesnego rozwoju zarodkowego człowieka.



Przyporządkuj każdemu oznaczeniu (od I do III) po jednym z poniższych określeń.

- A. Bruzdkowanie.
- B. Implantacja zarodka.
- C. Owulacja.
- D. Zapłodnienie.

I D II A III B

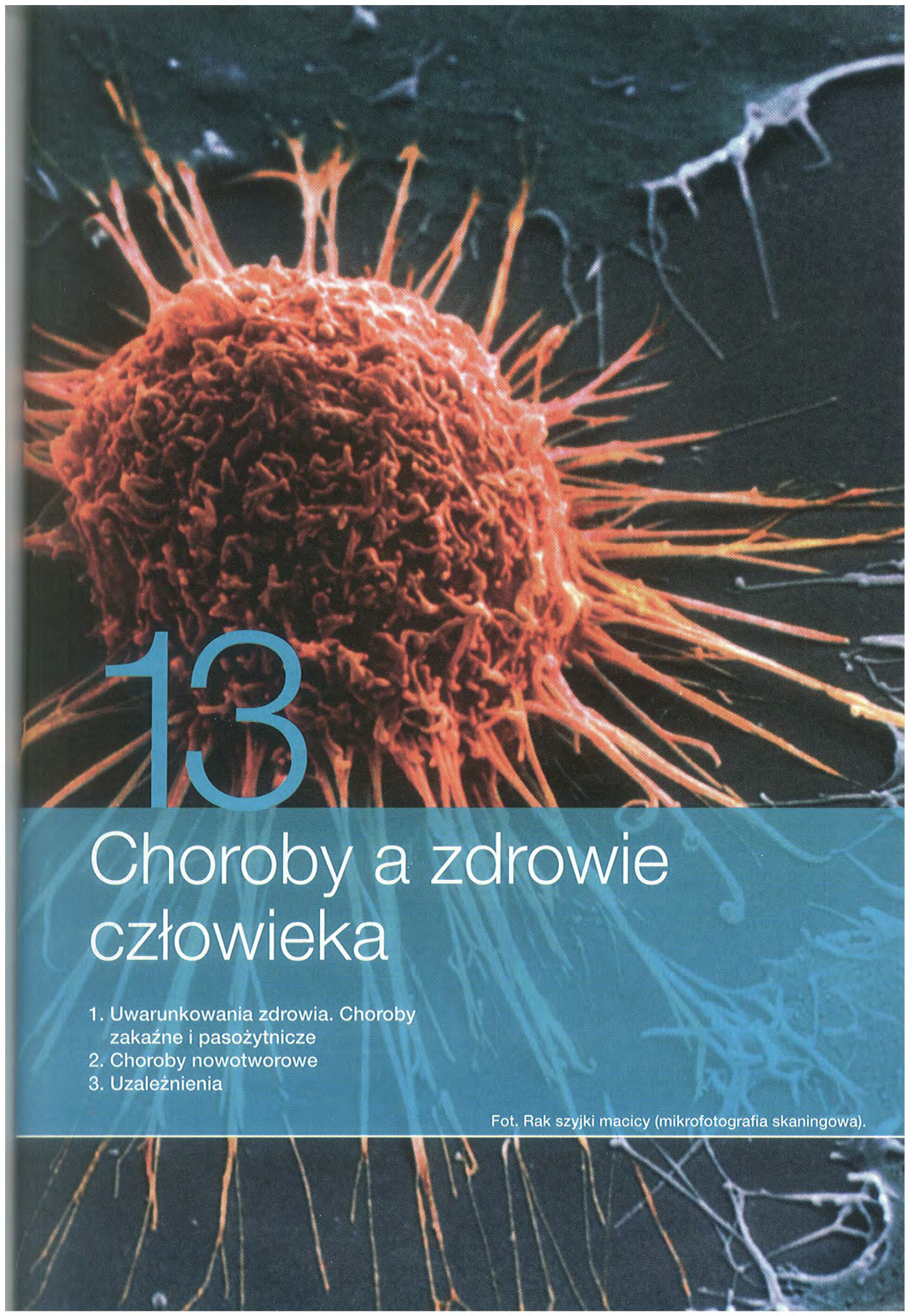
Zadanie 4. (1 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PP), zad. 15.

Przyporządkuj do symboli literowych, którymi oznaczono narządy rozrodcze męskie (A–C), odpowiednie cyfry wybrane spośród 1–4, którymi oznaczono ich funkcje.

Narząd	Funkcja
A. Jądro	1. Wytwarzanie wydzieliny, zapewniającej optymalne środowisko dla plemników.
B. Najądrze	2. Wprowadzanie nasienia do narządów płciowych kobiety.
C. Gruczoł krokowy (prostata)	3. Zapewnienie warunków dla procesu dojrzewania plemników.
	4. Wytwarzanie plemników i synteza androgenów.

A. 4 B. 3 C. 1



13

Choroby a zdrowie człowieka

1. Uwarunkowania zdrowia. Choroby zakaźne i pasożytnicze
2. Choroby nowotworowe
3. Uzależnienia

Fot. Rak szyjki macicy (mikrofotografia skaningowa).

1

Uwarunkowania zdrowia. Choroby zakaźne i pasożytnicze

Światowa Organizacja Zdrowia (ang. World Health Organization – WHO) definiuje zdrowie jako stan pełnego, dobrego samopoczucia fizycznego, psychicznego i społecznego, a nie tylko brak choroby czy kalectwa. W ostatnich latach definicja zdrowia została uzupełniona przez WHO o wymiar duchowy.

Podstawą **zdrowia fizycznego** są procesy fizjologiczne przebiegające prawidłowo na wszystkich poziomach organizacji ludzkiego ciała – od czynności pojedynczej komórki po pracę wszystkich układów narządów. Oznacza to sprawne i harmonijne działanie mechanizmów utrzymywania homeostazy.

Zdrowie psychiczne to zdolność logicznego myślenia, rozpoznawania uczuć i wyrażania ich w odpowiedni sposób. To także umiejętność radzenia sobie ze stresem. Dobre samopoczucie psychiczne skłania do działania, ułatwia adaptację do warunków zmieniającego się środowiska przyrodniczego i społecznego oraz radzenie sobie z tymi zmianami.

Wskaźnikiem **zdrowia społecznego** jest umiejętność nawiązywania, podtrzymywania i rozwijania prawidłowych relacji z innymi ludźmi. Relacje te wynikają z przynależności do grupy społecznej (m.in. rodziny, klasy w szkole, kręgu znajomych), w której spełnia się określone funkcje.

Zdrowie duchowe u niektórych ludzi jest związane z wiarą i praktykami religijnymi, u innych z ich osobistym systemem wartości pozwalającym zachować wewnętrzny spokój.

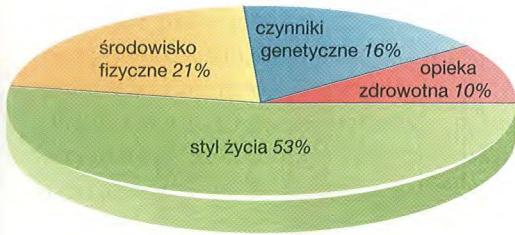
Zdrowie fizyczne, psychiczne, społeczne i duchowe są ze sobą nierozzerwalnie związane i wzajemnie na siebie wpływają. Na przykład powszechnie wiadomo, że dolegliwości fizyczne z reguły powodują obniżenie nastroju, drażliwość i ograniczenie kontaktów z innymi ludźmi, a pozytywne emocje i siła psychiczna pomagają odzyskać zdrowie fizyczne.

■ Uwarunkowania zdrowia

Zdrowie zależy od czterech głównych grup czynników. Największy wpływ na zdrowie człowieka ma **styl życia** (53%). Składają się na niego m.in. sposób odżywiania się, aktywność fizyczna, umiejętność radzenia sobie ze stresem, stosowanie substancji psychoaktywnych (nikotyna, alkohol, narkotyki) i zachowania seksualne. Drugie miejsce zajmuje **środowisko życia** (21%). Pojęcie to obejmuje środowisko przyrodnicze, gospodarkę, politykę i finanse, a także najbliższe otoczenie, czyli warunki pracy, mieszkanie, a przede wszystkim ludzi – rodzinę, znajomych i współpracowników. Trzecią grupę stanowią **czynniki genetyczne** (16%), które są związane z biologicznym funkcjonowaniem organizmu oraz dziedziczeniem predyspozycji do wystąpienia określonych chorób lub problemów zdrowotnych. Czwarta grupa czynników to **opieka zdrowotna** (10%), czyli dostępność świadczeń medycznych oraz jakość tych świadczeń. Jak wynika z powyższych danych, zdrowie człowieka zależy przede wszystkim od jego działań i zachowań.

■ Czym jest choroba?

Choroba to dynamiczny stan organizmu, w którym dochodzi do nieprawidłowej reakcji narządów na bodźce pochodzące ze środowiska zewnętrznego lub wewnętrznego, prowadzącej do zaburzenia homeostazy i (lub) zmian anatomicznych. Aby właściwie leczyć organizm, trzeba określić przyczyny i warunki powstawania choroby (etiologia) oraz wyjaśnić mechanizmy jej powstawania i rozwoju (patogeneza). **Etiologia** określa czynniki powodujące chorobę i związek między nimi a swoistą reakcją organizmu. **Patogeneza** ustala natomiast miejsca przenikania lub usytuowania czynnika chorobotwórczego, śledzenie rozwoju procesu chorobowego oraz określenie drogi jego szerzenia się.



Czynniki wpływające na zdrowie człowieka.

■ Czynniki chorobotwórcze

Wśród czynników chorobotwórczych (patogenów) wyróżnia się czynniki: biologiczne, chemiczne, fizyczne, genetyczne i społeczne.

Do **czynników biologicznych** zalicza się drobnoustroje chorobotwórcze (wirusy, bakterie i grzyby) oraz pasożytnicze protisty, płazińce, nicienie i stawonogi. Powodują one choroby zakaźne i pasożytnicze.

Czynniki chemiczne to wszelkie substancje chemiczne powodujące chorobę. Należą do nich niektóre pierwiastki chemiczne i związki chemiczne stosowane w przemyśle, rolnictwie i gospodarstwie domowym oraz w postaci używek, a także nieodpowiednio dawkowane leki. Czynniki te powodują zatrucia i (lub) oparzenia chemiczne.

Czynniki fizyczne stanowią bardzo obszerą grupę. Znajdują się wśród nich czynniki mechaniczne (m.in. narzędzia, maszyny, pojazdy mechaniczne), termiczne (wysoka i niska temperatura), promieniowanie (słoneczne, jonizujące), energia elektryczna, fale dźwiękowe i ciśnienie atmosferyczne. Skutki oddziaływania czynników fizycznych są bardzo zróżnicowane. Zalicza się do nich m.in. urazy, oparzenia, odmrożenia, porażenia słoneczne, chorobę popromienną i chorobę dekompresyjną.

CZYNNIKI CHOROBOTWÓRCZE

Wewnętrzne		Zewnętrzne
genetyczne	biologiczne (wirusy, bakterie, grzyby, protisty, zwierzęta)	niebiologiczne (fizyczne, chemiczne, społeczne)

Czynniki genetyczne są uwarunkowane dziedzicznie. Z pokolenia na pokolenie mogą być przekazywane nie tylko choroby genetyczne, lecz także skłonność do pewnych chorób, np. nowotworów i cukrzycy.

Czynniki społeczne to bodźce związane z życiem w społeczeństwie. Nadmierne tempo życia, ciągłe napięcie nerwowe, konflikty międzyludzkie i silne emocje mogą doprowadzić do nerwicy lub chorób psychicznych.

■ Klasyfikacja chorób

Choroby dotyczące ludzi można zestawiać w różny sposób. Stosuje się m.in.:

- ▶ podział oparty na przyczynach, który dzieli choroby na zakaźne i niezakaźne;
- ▶ podział topograficzno-anatomiczny, który wyróżnia choroby poszczególnych narządów (np. serca, nerek) lub układów narządów (np. układu oddechowego, układu krążenia);
- ▶ podział oparty na płci i wieku, wyróżniający np. choroby kobiece czy choroby wieku dziecięcego;
- ▶ podział wskazujący na udział czynnika genetycznego, który dzieli choroby na dziedziczne i niedziedziczne oraz wrodzone i nabyte;
- ▶ podział oparty na mechanizmach powstawania chorób, na którego podstawie wyróżnia się np. choroby alergiczne, zwyrodnieniowe i autoimmunizacyjne.

W klasyfikacji chorób pojawiają się jeszcze dwa terminy – *choroby cywilizacyjne* i *choroby społeczne*. Mianem **chorób cywilizacyjnych** określa się schorzenia wyraźnie związane z rozwojem cywilizacji. Ich przyczynami są m.in. zmiany w środowisku przyrodniczym (zanieczyszczenia gleby, wody i powietrza), mała aktywność fizyczna, niewłaściwa dieta i szybkie tempo życia. Do tej grupy zalicza się na przykład choroby układu krążenia, cukrzycę, alergie, nerwice. **Choroby społeczne** są to choroby występujące u dużej liczby osób, wymagające długotrwałego leczenia, powodujące duże straty społeczne (np. na skutek ograniczenia możliwości pracy). Należą do nich m.in. alkoholizm i AIDS. Niektóre choroby cywilizacyjne są jednocześnie chorobami społecznymi.

■ Choroby zakaźne

Choroby zakaźne to grupa chorób wywołanych przez drobnoustroje chorobotwórcze (wirusy, bakterie i grzyby), potocznie nazywane zarazkami. W szerszym ujęciu do chorób tych zalicza się również **choroby pasożytnicze**, których przyczyną są protisty pasożytnicze i pasożyty zwierzęce. Wniknięcie do organizmu i rozwój drobnoustrojów chorobotwórczych to **zakażenie (infekcja)**, a w wypadku pasożytów – **zarażenie (inwazja)**. Stąd wywodzą się używane dość często określenia *choroby infekcyjne* i *choroby inwazyjne*.

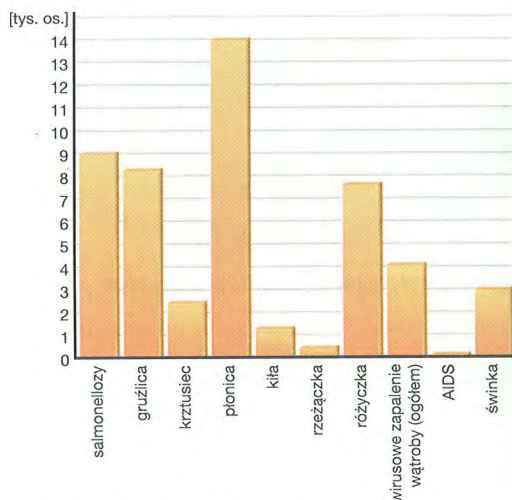
Czynniki biologiczne powodujące choroby pochodzą głównie ze środowiska zewnętrznego. Aby doszło do zachorowania, muszą one pokonać naturalne bariery ochronne organizmu oraz mechanizmy obrony swoistej i nieswoistej. W stanach obniżonej odporności zdarza się, że patogenami zostają drobnoustroje wchodzące w skład naturalnej mikroflory człowieka, bytujące w przewodzie pokarmowym, drogach oddechowych czy na skórze. Znanym przykładem takiego organizmu jest bytująca w jelicie grubym **pałeczka okrężnicy** (*Escherichia coli*), która po dostaniu się np. do dróg moczowych wywołuje ich stan zapalny. Jeśli zarazki przebywają w organizmie, nie wywołując objawów choroby, to taki organizm nazywa się **nosicielem**.

■ Źródła zakażenia

Źródłem zakażenia są najczęściej **chorzy ludzie, chore zwierzęta albo nosiciele** (zarówno ludzie, jak i zwierzęta). Czynniki zakaźne przenosi się od nich na inne organizmy. Niektóre choroby zakaźne, np. tężec, nie są zaraźliwe, ponieważ czynnik chorobotwórczy (w tym wypadku toksyna wytwarzana przez bakterię) nie jest przekazywany z człowieka na człowieka.

■ Drogi rozprzestrzeniania się patogenów biologicznych

Czynniki zakaźne mogą się przenosić z chorego lub nosiciela na innych ludzi wrażliwych na zakażenie w sposób bezpośredni lub pośredni. Do **bezpośrednich** dróg szerzenia się chorób



Zachorowalność na wybrane choroby zakaźne w Polsce w 2009 roku.

zakaźnych należą:

- ▶ **kontakt z chorym lub nosicielem** – podczas stosunków płciowych (np. kiła, rzeżączka, AIDS), a także pielęgnacji i leczenia osoby chorej (np. ospa wietrzna, dur brzuszny); w przypadku zwierząt – przez ugryzienie lub zadrapanie (np. wścieklizna);
- ▶ **kontakt przez łożysko** (np. różyczka, toksoplazmoza) lub w trakcie porodu (zakażenie wirusem opryszczki);
- ▶ **zakażenia własnymi pasożytami**, np. jajami owsika przenoszonymi na rękach z okolic odbytu do ust.

Do **pośrednich** dróg rozprzestrzeniania się chorób zakaźnych zalicza się:

- ▶ **drogę powietrzną**, najczęściej kropelkową, ponieważ drobnoustroje chorobotwórcze są przenoszone na kropelkach śliny, które wydostają się z organizmu chorego w czasie kichania i kaszlu (m.in. gruźlica, grypa i ospa wietrzna). Rzadziej zarazki przenoszą się wraz z pyłem zawartym w powietrzu (np. wirus ospy wietrznej i jaja niektórych pasożytów);
- ▶ **drogę pokarmową**, kiedy czynniki zakaźne dostają się do organizmu wraz ze zjedzonym pokarmem lub wypitą wodą (np. czerwotka, owsica i tasiemczyce). W związku z tym zachorowania mają czasem charakter epidemii, czyli dotyczą jednocześnie lub w krótkich odstępach czasu wielu ludzi;

- ▶ **zakażenie przez glebę**, w której znajdują się formy przetrwalnikowe patogenów (np. laseczki tężca, jaja pasożytów);
- ▶ **przenoszenie przez stawonogi**, przede wszystkim przez owady, ale także przez kleszcze i roztocze. Niektóre stawonogi (np. mucha domowa) przenoszą zarazki mechanicznie, czyli biernie. Inne (np. komar widliszek) są ich żywicielami i przenoszą je biologicznie, czyli czynnie;
- ▶ **przenoszenie za pośrednictwem przedmiotów**, m.in. zakażoną bielizną osobistą, pościel, zabawki (np. owsica), przybory toaletowe (np. wszawica), niejałowy sprzęt medyczny (np. AIDS, WZW typu B).

Czy wiesz, że...

Aby doszło do zakażenia HBV, wystarczy wprowadzić do organizmu zaledwie 0,04 µl zakażonej krwi.

■ Wrota zakażenia

Wrota zakażenia to miejsca, przez które patogeny wnikają do organizmu. Najczęściej są to drogi oddechowe, przewód pokarmowy, skóra i błony śluzowe. Górne drogi oddechowe są wrotami zakażenia dla chorób rozprzestrzeniających się drogą powietrzną. Wciągane w czasie wdechu kropelki śliny lub pyłu osadzają się na błonie śluzowej, a patogeny, po pokonaniu mechanizmów obronnych, wnikają do organizmu, wywołując zakażenie. **Układ oddechowy** stanowi wrota zakażenia m.in. dla odry, ospy wietrznej, różyczki, świnki i grypy. Patogeny szerzące się drogą pokarmową wnikają do organizmu przez **przewód pokarmowy**. Drobnoustroje, które po dostaniu się do organizmu z wodą lub pokarmem zdołają przetrwać w kwaśnym środowisku żołądka, przedostają się do jelita cienkiego. Następnie, przenikając przez jego błonę śluzową do krwi, powodują chorobę. W ten sposób wnikają patogeny powodujące WZW typu A, czerwonkę czy dur brzuszny. Przez uszkodzoną skórę do organizmu dostają się np. laseczki tężca, HBV, HCV i HIV, a przez błony śluzowe dróg moczowo-płciowych m.in. dwoinka rzeżączki czy krętek blady.

Czas, który upływa od momentu zakażenia do wystąpienia objawów choroby, nazywamy **okresem wylegania** (inkubacji). Może on wynosić kilka godzin, tydzień, a nawet kilka lat. W okresie inkubacji następuje namnożenie patogenu, a często także wytworzenie przez niego substancji działających chorobotwórczo (toksyn). Jednocześnie zostają uruchomione mechanizmy obronne organizmu. W dalszym przebiegu zakażenia dochodzi do pojawienia się objawów charakterystycznych (swoistych) dla danej choroby. Jej przebieg zależy od szkodliwości patogenu i sprawności układu odpornościowego.

Częstość zachorowań na poszczególne choroby jest różna, ponieważ zależy od naturalnej podatności organizmu. W przypadku ludzi, którzy nie zostali zaszczepieni, na odrę choruje 97% osób stykających się z nią, a na błonicę tylko 20%.

■ Zwalczanie, leczenie i profilaktyka chorób zakaźnych

W zwalczaniu chorób zakaźnych istotne jest wczesne i prawidłowe rozpoznanie choroby, wykrycie źródła zakażenia i unieszkodliwienie go oraz przerwanie dróg przenoszenia patogenów. Ważna jest także ochrona osób zdrowych, które mają kontakt z chorymi lub nosicielami.

Leczenie chorób zakaźnych polega na hamowaniu rozwoju patogenów. Dlatego największe znaczenie mają **antybiotyki** i antytoksyny stosowane w zakażeniach bakteryjnych oraz **leki przeciwwirusowe** i zwalczające pasożyty. Należy przy tym pamiętać, że tylko lekarz może postawić diagnozę i określić sposób leczenia.

Zapobieganie chorobom zakaźnym opiera się na **przestrzeganiu zasad higieny** – zarówno osobistej, jak i higieny żywności i żywienia czy higieny otoczenia. W tym ostatnim przypadku ważne są: niszczenie drobnoustrojów środkami chemicznymi (dezynfekcja), sterylizacja narzędzi i naświetlanie pomieszczeń promieniami UV (m.in. w zakładach fryzjerskich i studiach tatuażu), a także eliminowanie organizmów przenoszących patogeny, np. much, komarów i szczurów. W profilaktyce zakażeń niezależnie od działań higienicznych stosuje się **szczepienia ochronne**.

Wybrane choroby zakaźne człowieka

Nazwa choroby	Czynnik chorobotwórczy	Droga rozprzestrzeniania się	Wrota zakażenia	Sposób nabywania odporności
Choroby spowodowane przez wirusy				
WZW typu A	HAV	droga pokarmowa i wodna	układ pokarmowy	po przebytej chorobie, szczepienie
WZW typu B	HBV	• kontakt seksualny z chorym lub nosicielem • kontakt z przedmiotami (niejałowy sprzęt medyczny) • przez łożysko	uszkodzona skóra, błona śluzowa dróg moczowo-płciowych	po przebytej chorobie, szczepienie
WZW typu C	HCV	• bezpośredni kontakt z zakażoną krwią podczas zabiegów naruszających ciągłość skóry, kontakty seksualne z chorym lub nosicielem	uszkodzona skóra	brak szczepionki
Kłykciny kończyste, rak szyjki macicy	HPV	• bezpośredni kontakt z chorym lub nosicielem (przez skórę i kontakty seksualne)	skóra, błona śluzowa dróg moczowo-płciowych	szczepienie – szczepionka przeciw szczepom powodującym kłykciny kończyste i raka szyjki macicy
Grypa	wirus grypy	• droga powietrzna (kropelkowa) • bezpośredni kontakt z chorym	układ oddechowy	brak odporności naturalnej, szczepienie przed sezonem zachorowań nie zawsze skuteczne ze względu na dużą zmienność wirusa
Odra	wirus odry	• droga powietrzna (kropelkowa)	układ oddechowy	przeciwciała od matki do 6. miesiąca życia dziecka, szczepienie
Świnka (nagminne zapalenie ślinianek)	wirus świnki	• droga powietrzna (kropelkowa)	układ oddechowy	po przebytej chorobie, szczepienie
Różyczka	wirus różyczki	• droga powietrzna (kropelkowa) • przez łożysko	układ oddechowy	po przebytej chorobie, szczepienie
Ospa wietrzna	wirusy <i>Varicella zoster</i>	• droga powietrzna (kropelkowa) • bezpośredni kontakt z chorym	układ oddechowy	po przebytej chorobie, szczepienie
Choroba Heinego-Medina (nagminne porażenie dziecięce)	wirus polio	• droga pokarmowa (przeniesienie przez brudne ręce) • droga powietrzna (kropelkowa)	układ pokarmowy	szczepienie
Wścieklizna	wirus wścieklizny	• bezpośredni kontakt z chorym zwierzęciem (pogryzienie)	uszkodzona skóra	brak, szczepienie wykonuje się jedynie po pogryzieniu i tylko w uzasadnionych przypadkach

Nazwa choroby	Czynnik chorobotwórczy	Droga rozprzestrzeniania się	Wrota zakażenia	Sposób nabywania odporności
Choroby wywołane przez bakterie				
Gruźlica	prątek gruźlicy (<i>Mycobacterium tuberculosis</i>)	• bezpośredni kontakt z chorym lub nosicielem • droga powietrzna (kropelkowa lub pyłowa) • droga pokarmowa (woda lub mięso i mleko chorych krów), przez przedmioty (jeśli nie została zachowana odpowiednia higiena – wyparzanie naczyń, wygotowywanie pościeli i ręczników)	układ oddechowy, układ pokarmowy, uszkodzona skóra	szczepienie
Czerwonka bakteryjna	pałeczki z rodzaju <i>Shigella</i>	• bezpośredni kontakt z chorym, droga pokarmowa, przenoszenie przez przedmioty	układ pokarmowy	brak
Dur brzuszny	pałeczka duru brzusznego (<i>Salmonella typhi</i>)	• droga pokarmowa i wodna (zakażenie źródła wody, skażona żywność i mleko) • bierna (przez muchy) • kontakt bezpośredni z chorym lub nosicielem	układ pokarmowy	szczepienie
Cholera	przecinkowiec cholery (<i>Vibrio cholerae</i>)	• droga pokarmowa i wodna	układ pokarmowy	szczepienie
Wąglik	laseczka wąglika (<i>Bacillus anthracis</i>)	• bezpośredni kontakt z chorym zwierzęciem lub produktami pochodzenia zwierzęcego • pośrednio (np. przez muchy) • droga powietrzna, droga pokarmowa (spożycie surowego lub niedogotowanego zakażonego mięsa)	uszkodzona skóra, układ oddechowy, układ pokarmowy	brak
Borelioza	krętek (<i>Borrelia burgdorferi</i>)	• przenoszenie przez stawonogi – kleszcze	skóra uszkodzona przez kleszcza	brak
Tężec	laseczka tężca (<i>Clostridium tetani</i>)	• zakażenie przez glebę	uszkodzona skóra	szczepienie, w niektórych przypadkach podanie antytoksyny
Choroby wywołane przez grzyby				
Grzybica skóry	najczęściej drożdżaki (m.in. <i>Candida albicans</i>)	• bezpośredni kontakt z chorym lub nosicielem, przenoszenie przez przedmioty (bielizna, pościel, ręczniki, obuwie, powierzchnie, których dotykały osoby zakażone, np. na basenie)	skóra, błona śluzowa dróg moczowo-płciowych	brak

Wybrane choroby pasożytnicze człowieka

Nazwa choroby	Czynnik chorobotwórczy	Droga rozprzestrzeniania i sposób zarażenia się
Choroby wywołane przez protisty		
Malaria (zimnica)	jeden z czterech gatunków zarodźca (<i>Plasmodium sp.</i>)	• przez ukłucie samicy komara widliszka, w której ślinie znajdują się sporozoitów – formy inwazyjne pasożyta
Rzęsistkowica	rzęsistek pochwo- wy (<i>Trichomonas vaginalis</i>)	• droga bezpośrednia – kontakt seksualny • droga pośrednia – korzystanie ze wspólnych urządzeń sanitarnych i ręczników
Lamblioza (giardioza)	ogoniastek jelitowy (<i>Giardia lamblia</i>)	• droga pokarmowa – spożywanie wody skażonej fekaliami i pokarmów zawierających cysty pasożyta
Toksoplazmoza	<i>Toxoplasma gondii</i>	• droga pokarmowa – przez ręce zanieczyszczone oocytami pochodzącymi z gleby lub kociach odchodów, spożywanie wody i pokarmów zanieczyszczonych oocystami znajdującymi się w glebie, spożywanie surowego lub niedogotowanego mięsa zarażonych zwierząt • droga bezpośrednia – zarażenie płodu od matki przez łożysko, przypadkowy kontakt z zarażoną krwią lub organami
Czerwonka pełzakowa (pełzakowica)	pełzak czerwoni (<i>Entamoeba histolytica</i>)	• droga pokarmowa – spożywanie wody skażonej fekaliami i pokarmów zawierających cysty pasożyta
Choroby wywołane przez pasożytnicze zwierzęta		
Tasiemczyce	różne gatunki tasiemca, m.in. tasiemiec nieuzbrojony (<i>Taenia saginata</i>)	• droga pokarmowa – spożywanie surowego lub niedogotowanego mięsa wołowego zawierającego larwy tasiemca (wągry)
	tasiemiec uzbrojony (<i>Taenia solium</i>)	• droga pokarmowa – spożywanie surowego lub niedogotowanego mięsa wieprzowego zawierającego larwy tasiemca (wągry)
Glistnica	glista ludzka (<i>Ascaris lumbricoides</i>)	• droga pokarmowa – spożywanie wody oraz warzyw i owoców zanieczyszczonych jajami inwazyjnymi znajdującymi się w fekaliami
Włośnica	włosień kręty (<i>Trichinella spiralis</i>)	• droga pokarmowa – spożywanie surowego lub niedogotowanego mięsa wieprzowego lub z dzika, zawierającego cysty z larwami włośnia
Owsica	owsik ludzki (<i>Enterobius vermicularis</i>)	• droga pokarmowa – połknięcie jaj owsika przeniesionych z okolic odbytu za pośrednictwem brudnych rąk na pokarm i przedmioty codziennego użytku • droga powietrzna (pyłowa) – połknięcie wraz z kurzem jaj unoszących się w powietrzu

Polecenia kontrolne

1. Podaj definicje terminów zdrowie i choroba.
2. Oceń prawdziwość stwierdzenia: *Twoje zdrowie w twoich rękach.*
3. Przedstaw podział czynników chorobotwórczych oraz podaj ich przykłady.
4. Wyjaśnij, które choroby określa się jako zakaźne.
5. Wymień drogi rozprzestrzeniania się chorób.
6. Wyjaśnij, w jaki sposób można zapobiegać chorobom zakaźnym.
7. Wymień drogi zakażenia się gruźlicą.
8. Określ, w jaki sposób można uniknąć grzybic.

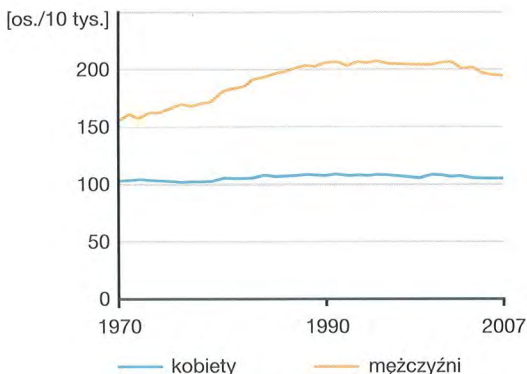
2 Choroby nowotworowe

Nowotwory to choroby niezakaźne zaliczane do chorób cywilizacyjnych. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem szacuje, że na świecie w 2008 r. na nowotwory zachorowało ok. 12,7 mln osób, a ok. 7,5 mln zmarło w wyniku choroby nowotworowej. W Europie co roku chorobę nowotworową rozpoznaje się u ok. 1,7 mln osób, a ok. 965 tys. ludzi umiera z jej powodu. W Polsce rocznie notuje się ok. 150 tys. zachorowań i ok. 90 tys. zgonów spowodowanych rakiem. Statystyki pokazują więc, że nowotwory stanowią poważny problem zdrowotny i społeczny.

Rodzaje nowotworów

Nowotwór to nieprawidłowa, nadmiernie rozrośnięta tkanka wywodząca się z prawidłowych komórek organizmu, które uległy przemianie w komórki nowotworowe (transformacja nowotworowa). Nadmierne mnożenie się (prolifracja) komórek nowotworowych prowadzi do powstania guza. Wyróżnia się nowotwory łagodne i złośliwe.

Nowotwory łagodne charakteryzują się dość **powolnym wzrostem**. Mogą jednak osiągnąć nawet kilkadziesiąt centymetrów. **Nie tworzą one przerzutów**, czyli guzów wtórnych, które powstają w innych miejscach organizmu z komórek oderwanych od guza pierwotnego i przeniesionych z krwią albo limfą. Ich komórki są zróżnicowane i dojrzałe, niewiele różnią się budową od prawidłowej tkanki. **Nie naciekają** jej ani sąsiednich narządów, co oznacza że rozrastający się nowotwór nie wnika między



Umieralność z powodu nowotworów złośliwych w Polsce.

prawidłowe komórki, tylko rozpycha je. Nowotwory łagodne nie stanowią zagrożenia życia, chyba że ich lokalizacja lub rozmiar uniemożliwiają funkcjonowanie ważnych narządów organizmu, np. mózgu czy serca. Zwykle są otoczone łącznotkankową torebką, co ułatwia ich całkowite usunięcie.

Nowotwory złośliwe cechuje natomiast **szybki wzrost**. Tworzące je komórki są niedojrzałe, a ich budowa bardzo różni się od budowy komórek typowych dla danej tkanki. Im mniej zróżnicowane są komórki nowotworu, tym bardziej jest on złośliwy (ekspansywny). Rozrasta się, naciekając sąsiednie tkanki i narządy, przez co upośledza ich funkcje. Jest trudny do usunięcia, ponieważ nie można go oddzielić od zdrowej tkanki. **Tworzy także liczne przerzuty** w okolicy guza pierwotnego, a ponadto w węzłach chłonnych i do innych narządów, co bardzo utrudnia leczenie. Obecność przerzutów

Klasyfikacja nowotworów

NOWOTWORY					
Łagodne	Złośliwe				
np. gruczolaki, mięśniaki, brodawczaki, naczyniaki	raki – powstałe z tkanki nabłonkowej, np. skóry, oskrzeli, płuca, żołądka	mięsaki – powstałe z tkanki łącznej m.in. mięśni, kości, chrząstek	chłoniaki – powstałe z tkanki limfatycznej (limfoidalnej)	białaczki – powstałe z komórek krwi	powstałe z innych tkanek

świadczy o zaawansowaniu choroby i znacznie pogarsza stan chorego, co prowadzi w wielu wypadkach do śmierci.

Zarówno guzy łagodne, jak i złośliwe klasyfikuje się oraz nazywa ze względu na rodzaj tkaniki, z której powstają. Na przykład powstające z nabłonka nowotwory łagodne to brodawczaki i gruczolaki, a nowotwory złośliwe to raki. Popularnie nazwa *rak* jest używana w odniesieniu do wszystkich nowotworów złośliwych. Nie są to jednak terminy równoważne znaczeniowo, ponieważ nie każdy nowotwór złośliwy jest rakiem, choć każdy rak jest nowotworem złośliwym.

■ Przyczyny powstawania nowotworów

Pierwotną przyczyną transformacji nowotworowej są mutacje zachodzące w określonych grupach genów odpowiedzialnych za podział, wzrost i różnicowanie się komórki oraz za kontrolę tych procesów. Pierwszą grupę tych genów stanowią tzw. **protoonkogeny** odpowiedzialne za kontrolę prawidłowego przebiegu cyklu komórkowego. Mutacja w ich obrębie powoduje nieograniczoną zdolność komórki do podziału. Zmutowane protoonkogeny nazywa się **onkogenami**.

Druga grupa to geny supresorowe, tzw. **antyonkogeny**. W prawidłowych komórkach ich produkty rozpoznają miejsca uszkodzeń

DNA i na czas ich naprawy hamują wejście komórki w fazę mitozy. Jeśli uszkodzenia są zbyt duże, a ich naprawa jest niemożliwa, to kierują komórkę na drogę programowanej śmierci (apoptozy). Mutacja w tych genach blokuje ich działanie, co sprawia, że komórki nieustannie się dzielą i nie ulegają apoptozie. Zmiany w obrębie antyonkogenów niemal zawsze prowadzą do transformacji nowotworowej, np. mutacja genu TP53 (należącego do tej grupy) występuje w 50% przypadków nowotworów.

Do trzeciej grupy należą **geny mutatorowe, nazywane genami opiekuńczymi**. Odpowiadają one za naprawę uszkodzeń DNA powstałych podczas replikacji lub na skutek działania czynników mutagennych. Zaburzenie działania tych genów prowadzi do wielu mutacji rozproszonych w całym genomie, w tym także w protoonkogenach i genach supresorowych. W związku ze specyfiką ich działania jedna mutacja w ich obrębie generuje kolejne.

Gdyby porównać organizm do samochodu, to onkogeny są jak maksymalnie wciśnięty pedał gazu, którego nie można odblokować. Antyonkogeny odpowiadają uszkodzonym hamulcom, a geny opiekuńcze to mechanik, który nie potrafi naprawić usterki.

■ Powstawanie nowotworów

Powstanie nowotworu – **karcinogeneza** – jest procesem złożonym, trwającym często wiele lat. Szacuje się, że przeciętny okres, jaki upływa od powstania pierwszej komórki nowotworowej do zauważalnej zmiany nowotworowej, wynosi 5–25 lat. Wyróżnia się cztery główne etapy karcinogenezy: preinicjację, inicjację, promocję i progresję.

Preinicjacja to okres, w którym komórka jest narażona na działanie fizycznych, chemicznych lub biologicznych czynników mutagennych. Te, które zwiększają prawdopodobieństwo powstania nowotworu, nazywa się **kancerogenami**. Na etapie preinicjacji ważną rolę odgrywają także **predyspozycje genetyczne** związane ze zmianami w genach, których produkty uczestniczą w usuwaniu substancji kancerogennych z organizmu oraz naprawianiu DNA.

Wybrane czynniki kancerogenne

Rodzaj czynników	Przykłady
Czynniki biologiczne	HBV, HPV (niektóre typy), HIV (pośrednio)
Czynniki chemiczne	alkohol etylowy, arsen (niektóre związki), azbest, benzen, chlorek winylu, chrom (niektóre związki), dym tytoniowy, estrogeny, nikiel (niektóre związki), oleje mineralne, pył drzewny, sadza, smoła, tlenek kadmu, węglowodory aromatyczne
Czynniki fizyczne	promieniowanie jonizujące (rentgenowskie, izotopów promieniotwórczych), promieniowanie UV (słoneczne i lamp kwarcowych)

Inicjacja jest etapem, w którym dochodzi do pierwszej, trwałej zmiany (mutacji) w materiale genetycznym pojedynczej komórki. Zmiana ta dotyczy protoonkogenów, genów supresorowych lub genów opiekuńczych i prowadzi do licznych podziałów zmutowanej komórki, nazywanej inaczej komórką zainicjowaną. Mutacja może powstać spontanicznie lub pod wpływem czynników mutagennych, może również zostać odziedziczona. W większości wypadków samo jej wystąpienie nie przesądza o zachorowaniu na nowotwór. Oznacza jedynie podwyższenie ryzyka zachorowania. O tym, czy komórka zainicjowana wejdzie w następny etap procesu, decydują czynniki, z którymi się zetknie. Jest tak, ponieważ do transformacji nowotworowej konieczne są mutacje bardzo wielu genów.

Promocja to trwający nawet kilkanaście lat etap, podczas którego komórka zainicjowana dzieli się nadmiernie, a w komórkach potomnych zachodzi wiele mutacji genów regulujących cykl komórkowy i naprawę DNA, aż do nabycia przez komórki cech nowotworowych.

Cechy komórek nowotworu złośliwego to:

- ▶ nieograniczona zdolność do podziałów,
- ▶ brak reakcji na sygnały hamujące podziały,
- ▶ zahamowanie apoptozy,
- ▶ zdolność do pobudzania angiogenezy, czyli rozrostu naczyń krwionośnych,
- ▶ zdolność do **naciekania** sąsiednich tkanek i tworzenia przerzutów,
- ▶ wytwarzanie czynników wzrostowych,
- ▶ unikanie wykrycia przez układ odpornościowy.

Po każdej mutacji musi dojść do namnożenia się zmienionych komórek – im więcej zmutowanych komórek, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia kolejnej mutacji w którejś z nich. Szczególnie niebezpieczne są mutacje w genach kodujących białka odpowiadające za przyleganie komórek. Zmniejszenie przylegania komórek nowotworowych umożliwia ich migrację między tkankami, a w późniejszym etapie ułatwia tworzenie przerzutów.

Zatrzymanie procesu tworzenia się nowotworu na etapie promocji jest jeszcze możliwe. Komórki nowotworowe podlegają bowiem

presji otaczających je komórek prawidłowych. Niektóre czynniki mutagenne przyspieszają promocję, ułatwiając i nasilając proliferację komórek. Należą do nich m.in. niektóre składniki dymu tytoniowego. Przerwanie kontaktu z nimi może powstrzymać rozwój nowotworu. Znane są też substancje hamujące promocję, np. witamina A. Z tego względu warto przestrzegać profilaktycznych zaleceń dotyczących nowotworów.

Ostatnim etapem powstawania nowotworu jest **progresja**, która może trwać od kilku miesięcy do kilku lat. Dochodzi do niej wtedy, gdy zaistnieją dogodne warunki, np. w okresie choroby, osłabienia odporności, zaburzeń hormonalnych. Wówczas organizm ostatecznie traci kontrolę nad komórkami nowotworowymi. Nie ulegają one apoptozie, nieprzerwanie się dzielą, a proces ten jest nieodwracalny. Ważnym momentem jest osiągnięcie przez nowotwór takiej wielkości, przy której dociera do niego zbyt mała ilość tlenu, substancji odżywczych i czynników wzrostowych. Wówczas niektóre komórki nowotworowe wydzielają substancje pobudzające angiogenezę. Prowadzi to do lepszego odżywienia komórek nowotworowych i dalszego wzrostu guza. Na tym etapie nowotwór może być **rozpoznany klinicznie**. Jest jeszcze w stadium przedinwazyjnym (może w nim trwać wiele lat), dlatego wykryty odpowiednio wcześniej może być całkowicie wyleczony.

Kolejne zmiany w komórkach nowotworowych prowadzą do rozluźnienia struktury guza i naciekania sąsiednich tkanek. Nowotwór wchodzi w **stadium inwazyjne**. Niektóre komórki nowotworowe są w stanie oderwać się od masy guza i przedostać do naczyń krwionośnych lub limfatycznych. Wraz z krwią lub limfą przemieszczają się po organizmie i osiedlają w specyficznych dla siebie tkankach, gdzie tworzą guzy wtórne, czyli **przerzuty**. Markery powierzchniowe komórek nowotworowych mają powinowactwo do markerów powierzchniowych konkretnej tkanki, dlatego np. komórki raka prostaty najczęściej tworzą przerzuty w kościach, podobnie jak rak piersi.

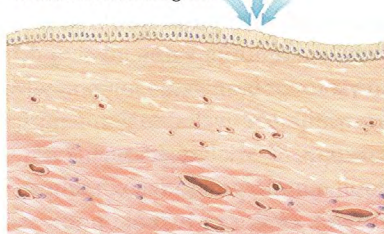
Etapy powstawania nowotworu złośliwego

Proces nowotworowy jest długotrwały i ciągły. Umownie dzieli się go na cztery etapy. Długość ich trwania w poszczególnych przypadkach może się różnić.

1 Preinicjacja

Etap narażenia na działanie czynników kancerogennych. W jego następstwie pojawia się komórka zainicjowana. U niektórych osób etap ten może trwać nawet całe życie i nie doprowadzić do powstania nowotworu.

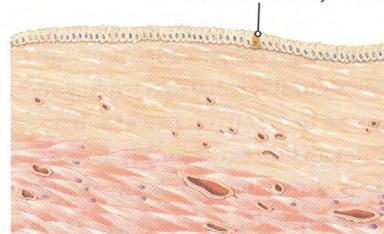
działanie kancerogenu



2 Inicjacja

Początkiem procesu nowotworowego są zmiany DNA pojedynczej komórki. Mutacja dotyczy genów związanych z kontrolą przebiegu cyklu komórkowego (protoonkogenów i antykonkogenów) lub naprawą DNA (genów opiekuńczych). Jej skutkiem są intensywne podziały zainicjowanej komórki.

komórka zainicjowana



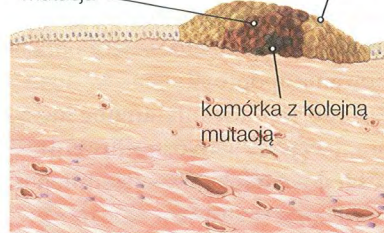
3 Promocja

Etap trwający wiele lat, w którym zainicjowana komórka intensywnie się dzieli. Częstość podziałów generuje kolejne mutacje w komórkach potomnych. Ich następstwem są zmiany metabolizmu i wyglądu komórek potomnych, które coraz bardziej różnią się od komórek prawidłowych. Ostatecznie nabywają cechy charakterystyczne dla komórek nowotworowych.

komórka, w której pojawiła się nowa mutacja

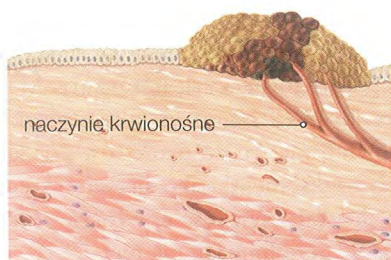
klon komórki zainicjowanej

komórka z kolejną mutacją



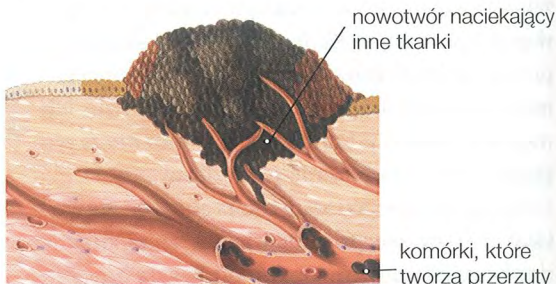
4 Progresja

Nieodwracalny etap, w którym następuje rozwój nowotworu. Jego komórki wytwarzają m.in. substancje pobudzające angiogenezę. Dopływ tlenu i substancji odżywczych powoduje rozrastanie się guza. Do momentu naruszenia granic między tkankami znajduje się on w stadium przedinwazyjnym, a po ich przekroczeniu nacieka sąsiadujące tkanki i może tworzyć liczne przerzuty.



naczynie krwionośne

stadium przedinwazyjne



nowotwór naciekający inne tkanki

komórki, które tworzą przerzuty

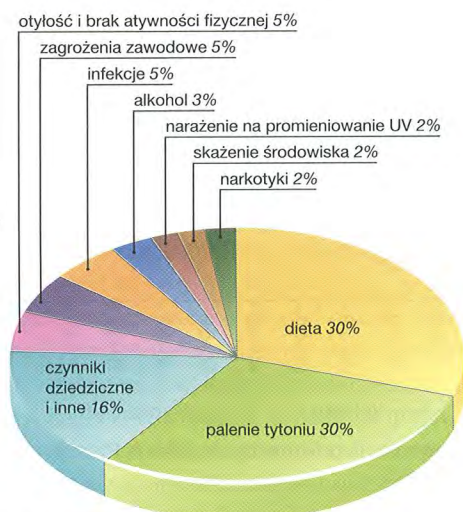
stadium inwazyjne

■ Profilaktyka i leczenie nowotworów

Powstawanie i rozwój nowotworów to procesy złożone, zależne od wielu różnych czynników. Dlatego trudno jednoznacznie ocenić, co doprowadziło do rozwoju konkretnego nowotworu. Na podstawie badań epidemiologicznych naukowcy wskazują jedynie **czynniki ryzyka**. Są to wszelkie sytuacje, które zwiększają prawdopodobieństwo zachorowania człowieka na nowotwór złośliwy.

Na niektóre czynniki ryzyka, takie jak wiek, płeć czy predyspozycje genetyczne, nie można wpłynąć. Warto jednak wiedzieć, czy w rodzinie występowały nowotwory i które narządy atakowały. Można natomiast kontrolować te czynniki, które wiążą się ze stylem życia. Stwierdzono wyraźną zależność między sposobem odżywiania się a występowaniem nowotworów złośliwych żołądka, jelita grubego, odbytnicy, przełyku, wątroby i pęcherza moczowego. Szczególną uwagę zwraca się na **nitrozoaminy**. Są to substancje o działaniu kancerogennym, których niewielkie ilości zawsze znajdują się w pożywieniu, np. jako pozostałość nawozów czy środków ochrony roślin. Nitrozoaminy mogą też powstawać w żołądku z azotanów używanych do konserwowania żywności. Z tego względu należy unikać produktów peklowanych, solonych i wędzonych.

Wędzenie, podobnie jak grillowanie, jest niewskazane także ze względu na znajdujące się w dymie wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, m.in. **benzopiren**, który zwiększa ryzyko raka żołądka i jelit. W profilaktyce nowotworowej zaleca się dietę niskotłuszczową, bogatą w owoce i warzywa, zwłaszcza surowe, które dostarczają m.in. witamin A, C i E. Witamina A jest czynnikiem hamującym promocję nowotworu, a witaminy C i E chronią DNA, wiążąc się z wolnymi rodnikami. Należy również spożywać produkty bogate w błonnik. Udowodniono, że zwiększenie spożycia błonnika o 10 g w trzech posiłkach dziennie zmniejsza ryzyko zachorowania na raka jelita grubego o ok. 20%, a w przypadku błonnika pochodzącego z roślin strączkowych nawet o 58%.

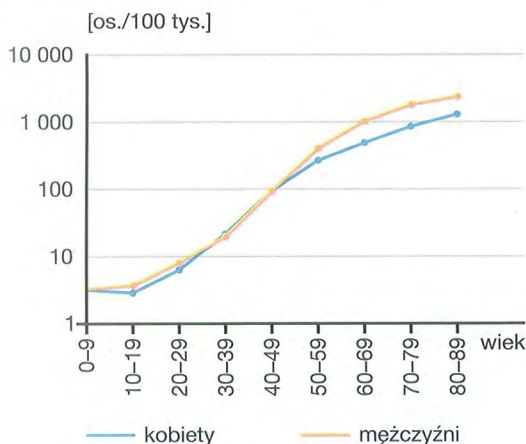


Czynniki zewnętrzne sprzyjające występowaniu nowotworów.

Czynnikiem ryzyka o najlepiej udokumentowanym działaniu kancerogennym i promocyjnym jest **dym tytoniowy**. Odpowiada on za ok. 90% zachorowań na raka płuca u mężczyzn i ok. 70% u kobiet. Przyczynia się także do powstawania nowotworów złośliwych krtani, jamy ustnej, gardła, przełyku, trzustki, nerki i pęcherza moczowego. Najskuteczniejszym sposobem ograniczenia wpływu dymu tytoniowego jest niepalenie papierosów oraz unikanie palenia biernego, które również zwiększa prawdopodobieństwo zachorowania.

Niestety, nie wszystkie czynniki sprzyjające nowotworom złośliwym da się wyeliminować. Dlatego trzeba dążyć do maksymalnego ograniczenia ich wpływu na organizm. Na przykład:

- ▶ nie podejmować ryzykownych zachowań seksualnych, sprzyjających rozwijaniu się nowotworów szyjki macicy, prącia i innych narządów płciowych, a także nowotworów występujących w przebiegu AIDS (do takich zachowań należą m.in. rozpoczęcie współżycia przed 18. rokiem życia i duża liczba partnerów seksualnych),
- ▶ ograniczyć ekspozycję na promieniowanie UV (opalenie słoneczne i opalanie w solarium), które w nadmiernej ilości przyczynia się do powstawania nowotworów skóry,



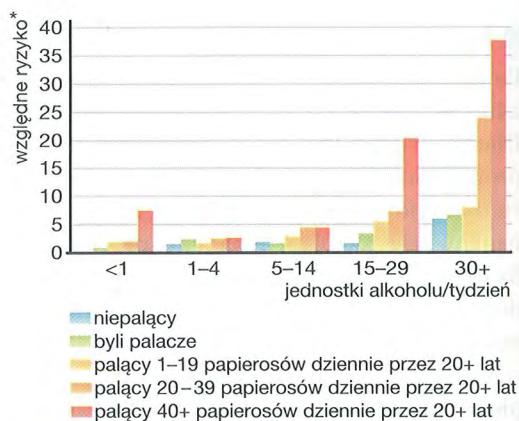
Zachorowania na nowotwory złośliwe w Polsce według wieku.

► unikać spożywania alkoholu, który jest jednym z czynników rakotwórczych, szczególnie w połączeniu z dymem tytoniowym.

Elementem walki z chorobą nowotworową jest **wczesne wykrywanie zmian nowotworowych**. Ważną rolę odgrywa w tym względzie samokontrola. Lekarze podają kilka objawów ostrzegawczych, mogących wskazywać na nowotwór. Ich wystąpienie nie musi oznaczać, że jest się chorym, jednak powinno skłonić do szybkiej konsultacji z lekarzem.

Wczesnemu wykrywaniu nowotworów służą też badania profilaktyczne, m.in. mammografia w przypadku raka piersi, badanie cytologiczne w przypadku raka szyjki macicy czy oznaczenie we krwi poziomu antygenu PSA swoistego dla prostaty.

W leczeniu nowotworów wykorzystuje się trzy podstawowe metody. Pierwszą i jednocześnie



* w porównaniu do osób niepalących i niepijących

Ryzyko wystąpienia nowotworu złośliwego w zależności od liczby wypalanych papierosów oraz ilości spożywanego alkoholu.

najstarszą z nich jest **leczenie chirurgiczne**, polegające na usunięciu zmienionej tkanki. Drugą metodą jest **radioterapia**, natomiast trzecią – chemioterapia.

OBJAWY, KTÓRE MOGĄ ŚWIADCZYĆ O WYSTĘPOWANIU NOWOTWORU

- zgrubienie lub guzek w piersi albo w innym miejscu ciała
- zmiana kształtu, wielkości lub koloru brodawek sutkowych, znamion lub brodawek na skórze
- utrzymujące się zaburzenia w oddawaniu kału lub moczu
- uporczywy kaszel lub chrypka, występujące bez wyraźnej przyczyny
- utrzymująca się niestrawność lub trudności w połykaniu
- nietypowa wydzielina lub krwawienie z naturalnych otworów ciała
- ból utrzymujący się bez wyraźnej przyczyny

Polecenia kontrolne

1. Podaj podobieństwa oraz różnice między nowotworami łagodnymi a nowotworami złośliwymi.
2. Określ, jakie jest podłoże powstawania nowotworów.
3. Wyjaśnij, czy nowotwory są dziedziczne.
4. Określ, czy nowotwory są chorobami genetycznymi. Uzasadnij swoje zdanie.
5. Wymień etapy rozwoju nowotworu i krótko je omów.
6. Scharakteryzuj komórki nowotworu złośliwego.
7. Wyjaśnij różnicę między mutagenem a kancerogenem.
8. Podaj trzy przykłady kancerogenów.
9. Wyjaśnij, dlaczego ryzyko zachorowania na nowotwór wzrasta wraz z wiekiem.

Obecnie uzależnienie traktuje się jako złożoną, przewlekłą chorobę układu nerwowego. Jego główną cechą jest natrętne i niekontrolowane dążenie do zażywania substancji psychoaktywnej, która wpływa na poprawę samopoczucia fizycznego i psychicznego. Do substancji wywołujących uzależnienie zalicza się: alkohol, tytoń, leki uspokajające i nasenne oraz substancje nazywane potocznie narkotykami.

Mianem uzależnienia określa się również często psychiczny przymus wykonywania jakiejś czynności. W tym wypadku uzależnienie może dotyczyć grania w gry komputerowe, korzystania z internetu, oglądania telewizji, pracowania czy robienia zakupów.

Uzależnienie stwierdza się wtedy, gdy w ciągu ostatniego roku wystąpiły trzy z wymienionych zjawisk:

- ▶ silne dążenie do zażywania substancji psychoaktywnej lub wykonywania określonej czynności,
- ▶ trudności z kontrolowaniem zażywania substancji psychoaktywnej lub wykonywania określonej czynności,
- ▶ fizjologiczne objawy związane z odstawieniem substancji psychoaktywnej lub zaniechaniem wykonywania określonej czynności,
- ▶ rozwój tolerancji na określoną substancję psychoaktywną,
- ▶ narastające zaniedbywanie innych dziedzin życia z powodu zażywania substancji psychoaktywnej lub wykonywania określonej czynności,
- ▶ kontynuowanie zażywania substancji psychoaktywnej lub wykonywania określonej czynności mimo dowodów, iż ma to szkodliwe następstwa.

■ Mechanizmy przystosowawcze organizmu – rozwój tolerancji

Pod wpływem substancji psychoaktywnych zmienia się metabolizm organizmu. Ich stała obecność uruchamia mechanizmy przystosowawcze, pozwalające na zachowanie (przynajmniej w pewnym zakresie) stanu równowagi wewnętrznej i w miarę normalne funkcjonowanie. Przystosowanie polega na pojawieniu się tolerancji. Mianem tym określa się potrzebę zażywania zwiększonej dawki substancji w celu uzyskania efektów, które poprzednio osiągnęto przy pomocy mniejszych dawek. Rozwój tolerancji można prześledzić na przykładzie osób uzależnionych od nikotyny. Żadna osoba, która zaczyna palić, nie wypali 20 papierosów w ciągu dnia. Jednak zaczynając od jednego papierosa, szybko dochodzi się do ok. 20–40 sztuk na dobę. Rekordziści potrzebują nawet 80 papierosów dziennie.

Z kolei u osób nadużywających alkoholu w krytycznej fazie nałogu obserwuje się **zwiększenie wrażliwości** na alkohol. Wówczas działa on coraz silniej – stan upojenia alkoholowego jest wywołowany coraz mniejszą dawką alkoholu i trwa coraz dłużej. Jest to sygnał świadczący o wyniszczeniu organizmu i najczęściej o poważnym uszkodzeniu wątroby, która nie jest w stanie unieszkodliwić trującej substancji.

■ Uzależnienie fizyczne

Jedną z konsekwencji przystosowania się organizmu do obecności substancji psychoaktywnych jest uzależnienie fizyczne. Charakteryzuje się ono zespołem objawów występujących w sytuacji nagłego odstawienia substancji uprzednio regularnie przyjmowanej (np. narkotyku czy alkoholu). Określa się je jako **zespół abstynencyjny**. Do najczęstszych objawów odstawienia należą: ogólne złe samopoczucie, uczucie

Warto zajrzeć!

 <http://www.wczp-lodz.pl/?tematycznie=201>

Substancja psychoaktywna – substancja chemiczna oddziałująca na centralny układ nerwowy; efektem jej oddziaływania są czasowe zmiany postrzegania, nastroju, świadomości i zachowania.

rozbicia, ból głowy i innych części ciała, nudności, wymioty, nadmierna potliwość, skurcze mięśni, drgawki. Są one nieprzyjemne dla osoby uzależnionej, dlatego zabiega ona o kolejną porcję substancji, aby uniknąć przykrych objawów abstynencji. W miarę rozwoju uzależnienia i postępującego wycieńczenia organizmu objawy abstynencji przybierają na sile, stanowią niejednokrotnie zagrożenie dla życia.

■ Uzależnienie psychiczne

Uzależnienie psychiczne jest to przymus przyjmowania substancji psychoaktywnej lub wykonywania jakiejś czynności w celu np. odprężenia się lub poprawy nastroju. Zwykle stanowi ono większy problem niż uzależnienie fizyczne, gdyż jest główną przyczyną powracania do nałogu po okresowej abstynencji. Uzależnienie tego typu jest zjawiskiem złożonym, fizjologicznie wiąże się z zaburzeniem funkcjonowania układu nagrody i kary, którego neuroprzekaznikiem jest dopamina. Wyleczenie uzależnienia psychicznego może trwać bardzo długo, nawet kilka lat.

Efektom uzależnienia psychicznego jest poważna **zmiana osobowości**. Osoba uzależniona robi wszystko, by zdobyć potrzebną substancję, np. kradnie (choć nigdy przedtem tego nie robiła), nie waha się żebrać i znosić upokorzeń.

■ Alkoholizm

Alkoholizm jest nałogiem, który powoduje silne uzależnienie fizyczne i psychiczne. Może dotknąć każdego, bez względu na wykształcenie czy stan majątkowy. Każdy z uzależnionych przechodzi przez podobne fazy uzależnienia, wynikające ze wzrastającego spożycia alkoholu.

Wśród czynników sprzyjających rozwojowi uzależnienia od alkoholu wymienia się:

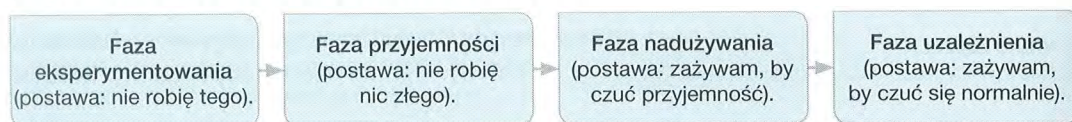
- ▶ czynniki społeczno-kulturowe – picie alkoholu podczas oficjalnych ceremonii oraz spotkań towarzyskich;
- ▶ czynniki psychologiczne – uwarunkowania wynikające z cech osobowości (np. podatność na stres i frustrację, niedojrzałość emocjonalna, zaburzenia poczucia wartości);
- ▶ predyspozycje do uzależnienia – dotyczą osób, u których występują małe stężenia enzymów odpowiedzialnych za przekształcanie alkoholu. W takiej sytuacji alkohol nie jest metabolizowany w stopniu wystarczającym i odpowiednio sprawnie, co w konsekwencji zwiększa prawdopodobieństwo rozwoju uzależnienia.

■ Narkomania

Narkotyki działają silnie na układ nerwowy, choć ich wpływ może być różny: pobudzający, hamujący lub halucynogeny. Wywołują silne uzależnienie psychiczne, a większość z nich także uzależnienie fizyczne. Wymagają stałego zwiększania przyjmowanych dawek, co często doprowadza do przedawkowania i w konsekwencji do śmierci.

Wśród substancji psychoaktywnych coraz większą popularność zyskują tzw. **dopalacze** – substancje będące pochodnymi znanych narkotyków. Różnią się od nich jedynie tym, że nie zostały wpisane na listę substancji kontrolowanych w ramach *Ustawy o przeciwdziałaniu narkomanii*. Nie są ani mniej szkodliwe, ani bezpieczniejsze od narkotyków. Jedynie ich działanie, skutki uboczne i powikłania nie są w pełni znane i przewidywalne, co czyni je jeszcze groźniejszymi. W wielu wypadkach nawet jednorazowe zażycie dopalaczy ma tragiczne następstwa.

Fazy uzależnienia od substancji psychoaktywnej



Wpływ alkoholu na organizm człowieka

Alkohol dociera do krwi w ciągu 5 min od chwili spożycia. Zarówno on sam, jak i produkty jego metabolizmu działają toksycznie na wszystkie komórki organizmu. Szczególnie wrażliwe są komórki tkanki nerwowej.

Układ nerwowy

Nawet niewielkie stężenie alkoholu we krwi (0,3–0,5 g/l) powoduje wyraźne zaburzenia funkcjonowania układu nerwowego. Obserwuje się m.in. zmiany nastroju, zmniejszoną wrażliwość na ból, utratę koordynacji ruchów, przedłużenie czasu reakcji. Dalszy wzrost stężenia alkoholu we krwi przyczynia się do zaburzeń funkcji intelektualnych i pamięci. W skrajnych przypadkach następuje utrata przytomności i śmierć.

Układ krążenia

Alkohol powoduje wzrost tętna i ciśnienia krwi, nieregularną pracę serca, zaburzenia termoregulacji. Przewlekłe picie alkoholu zwiększa ryzyko zawału serca i udaru mózgu.

Wątroba

Rozkład alkoholu odbywa się głównie w wątrobie, dlatego jest ona szczególnie narażona na jego toksyczne działanie. Spożywanie alkoholu może doprowadzić do zapalenia wątroby, jej marskości, a nawet raka.

Układ pokarmowy

Alkohol podrażnia błonę śluzową przewodu pokarmowego, powodując stan zapalny. Sprzyja chorobie wrzodowej żołądka i dwunastnicy. Zwiększa ryzyko zachorowania na raka jamy ustnej, gardła i przełyku, a także żołądka i jelita.

Trzustka

Trzustka w przeciwieństwie do wątroby nie ma zdolności regeneracyjnych. Jej uszkodzenia spowodowane przez alkohol są więc nieodwracalne. Zniszczeniu ulegają struktury odpowiedzialne za wydzielanie enzymów trawiennych i hormonów, m.in. insuliny.

? Pomyśl

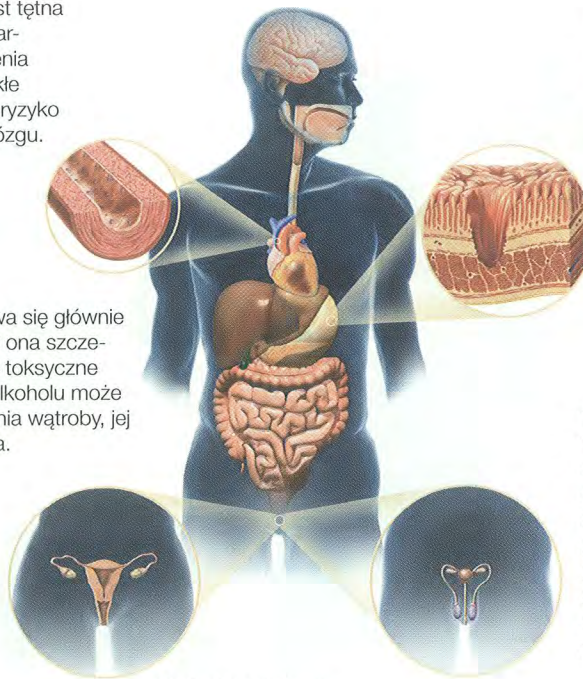
Dlaczego u dzieci z płodowym zespołem alkoholowym występują zaburzenia ośrodkowego układu nerwowego?

Układ rozrodczy

Spożywanie alkoholu obniża płodność przez zmniejszenie liczby plemników i upośledzenie ich ruchliwości u mężczyzn oraz zaburzenia cyklu miesięczkowego u kobiet.

Wpływ alkoholu na płód

Alkohol spożywany przez kobiety ciężarne wywołuje liczne uszkodzenia płodu. Określa się je mianem płodowego zespołu alkoholowego (ang. *fetal alcohol syndrom* – FAS). Do jego objawów należą m.in. niska masa ciała dziecka przy urodzeniu, charakterystyczne rysy twarzy, zaburzenia ze strony ośrodkowego układu nerwowego. Nie jest znana najmniejsza nieszkodliwa dawka alkoholu dla zarodka (płodu), dlatego kobieta planująca ciążę lub będąca w ciąży powinna zachować abstynencję.



Wpływ palenia tytoniu na organizm człowieka

Głównym związkiem psychoaktywnym zawartym w tytoniu jest nikotyna. W niskich dawkach działa ona na organizm pobudzająco, ponieważ wzmacnia wydzielanie adrenaliny. O uzależnieniu od papierosów decydują też substancje zawarte w dymie tytoniowym, które zwiększają w mózgu stężenie dopaminy pobudzającej układ nagrody. Niestety, w dymie tytoniowym znajduje się też ok. 4000 innych związków chemicznych, które działają na organizm toksycznie, a kilkadziesiąt z nich – kancerogennie. Palenie tytoniu powoduje m.in. zmniejszenie liczby prawidłowych plemników, obniżenie popędu seksualnego i przyspieszenie menopauzy.

Częstą dolegliwością palaczy jest **przewłekte zapalenie oskrzeli**. W jego przebiegu występuje obrzęk błony śluzowej oskrzeli i zwiększone wydzielanie śluzu, co utrudnia oddychanie.

Nikotyna sprzyja powstawaniu zakrzepów, dlatego skutkiem palenia może być **udar mózgu**. Zagrożenie wzrasta u kobiet stosujących jednocześnie antykoncepcję hormonalną.

? Pomyśl

Dlaczego ryzyko udaru mózgu jest szczególnie wysokie u kobiet po 35. roku życia, palących papierosy i stosujących antykoncepcję hormonalną?

Palenie tytoniu jest najistotniejszym czynnikiem ryzyka zachorowania na **raka płuca**. Przyczynia się także do powstawania i rozwoju **nowotworów jamy ustnej, gardła i krtani**.

Następstwem palenia tytoniu jest przyspieszenie rozwoju miażdżycy naczyń krwionośnych. Prowadzi to do niedokrwienia tkanek i narządów, a w konsekwencji do **zawału serca**.

Palenie tytoniu prowadzi do **rozedmy płuc**. Polega ona na nieodwracalnej utracie sprężystości płuc i zaniku przegród między pęcherzykami, co poważnie utrudnia wymianę gazową i objawia się dusznością.

Palenie powoduje podrażnienie błony śluzowej przewodu pokarmowego, co sprzyja chorobie wrzodowej i może prowadzić do **raka żołądka, jelit i trzustki**.

Wchłonięte do krwi składniki tytoniu są wydalane z moczem. Ich stały kontakt z narządami układu wydalniczego zwiększa ryzyko zachorowania na **raka nerki lub pęcherza moczowego**.

Wpływ nikotyny na płód

Nikotyna przenika przez łożysko i kumuluje się w tkankach płodu, zaburzając jego wzrost i rozwój. Do najważniejszych objawów płodowego zespołu tytoniowego (ang. *fetal tobacco syndrom* – FTS) należą m.in.: niska masa przy urodzeniu, częste zachorowania na choroby układu oddechowego oraz skłonność do alergii w dalszym okresie życia, niższy iloraz inteligencji, zwiększone ryzyko nagłej śmierci noworodka.

Warto zająrzeć!

 www.narkotyki.pl/wokol-nikotyny/wplyw-palenia-papierosow-na-ur/

■ Lekomania

Niektóre leki, m.in. przeciwbólowe, nasenne, uspokajające i antydepresyjne, stosowane niezgodnie z zaleceniem mogą spowodować uzależnienie fizyczne i psychiczne. Osoby uzależnione zażywają leki nie w celu złagodzenia objawów danej choroby, lecz aby uzyskać określony efekt, taki jak zmiana nastroju. Przy długotrwałym nadużywaniu leków u osób uzależnionych mogą pojawić się zaburzenia pamięci i uczenia się, halucynacje czy uszkodzenia różnych narządów.

■ Wpływ kofeiny na organizm człowieka

Najbardziej rozpowszechnioną substancją psychoaktywną na świecie jest kofeina. Chociaż wiele osób kojarzy ją głównie z kawą, występuje ona również w wielu innych napojach, a także lekach. Kofeina działa pobudzająco na ośrodkowy układ nerwowy, przez co usprawnia procesy kojarzeniowe, zmniejsza zmęczenie oraz senność. Ponadto substancja ta rozszerza naczynia krwionośne mózgu, zwiększa wydzielanie soku żółtkowego i ma właściwości moczopędne.

Kofeina, podobnie jak inne substancje psychoaktywne, powoduje uzależnienie fizyczne i psychiczne. Tolerancja na nią pojawia się dość szybko. U osoby uzależnionej przerwanie dostarczania kofeiny powoduje bóle głowy oraz drażliwość.

Ze względu na działanie pobudzające kofeina zaburza sen wolnofalowy. Ponieważ jest wydalana z organizmu po ok. 12 godz., spożyta zbyt późno powoduje, że człowiek budzi się zmęczony i niewyspany. Wówczas sięga po kolejną jej dawkę (zawartą np. w kawie), aby się obudzić.

Przybliżona zawartość kofeiny w wybranych napojach

Rodzaj napoju	Zawartość kofeiny [w mg]
Kawa (filiżanka)	85
Napój energetyzujący (puszka)	80
Coca-cola (puszka)	50
Herbata czarna (filiżanka)	30
Kakao	4

■ Leczenie uzależnień

Osoba uzależniona wymaga nie tylko leczenia farmakologicznego polegającego na odtruciu (detoksykacji) organizmu, lecz także, a często przede wszystkim, wsparcia psychologicznego. Aby wspierać proces zdrowienia, w psychoterapii powinny uczestniczyć także rodziny osób uzależnionych.

Osoby uzależnione mogą uzyskać pomoc z różnych źródeł. Młodzież może zwrócić się do szkolnego psychologa lub zadzwonić pod numer telefonu zaufania (dostępny w internecie). Warto też porozmawiać o tym z rodzicami, zwrócić się do lekarza pierwszego kontaktu, pracowników punktów konsultacyjnych Monaru lub do osoby duchowej.

Profilaktyka uzależnień polega na poszerzaniu w społeczeństwie wiedzy na temat uzależnień np. dzięki wdrażaniu programów edukacyjnych. W jej ramach podejmuje się też działania mające na celu poprawienie jakości życia osób zagrożonych uzależnieniem. Do działań tych należą różne formy aktywności w czasie wolnym (m.in. uprawianie sportu czy uczestniczenie w rozrywkach kulturalnych), a także doskonalenie umiejętności osobistych i społecznych.

Warto zajrzeć!

 <http://www.narkotyki.pl/leczenie-uzaleznien/wazne-telefon/>

Polecenia kontrolne

1. Wymień zjawiska, które świadczą o pojawieniu się uzależnienia od alkoholu.
2. Wyjaśnij, na czym polega zjawisko tolerancji substancji psychoaktywnej.
3. Omów skutki spożywania alkoholu i palenia tytoniu przez kobiety ciężarne.
4. Wymień trzy, najczęstsze Twoim zdaniem, przyczyny sięgania po alkohol i narkotyki przez osoby w Twoim wieku.

Podsumowanie

Charakterystyka zdrowia

Zdrowie			
zdrowie fizyczne	zdrowie psychiczne	zdrowie społeczne	zdrowie duchowe
utrzymywanie homeostazy, procesy fizjologiczne zachodzące prawidłowo na wszystkich poziomach organizacji organizmu (komórki, tkanki, narządy, układy narządów)	zdolność logicznego myślenia, odpowiedniego wyrażania myśli i uczuć, przystosowywania się do zmian w otoczeniu	umiejętność nawiązywania i podtrzymywania poprawnych stosunków z innymi ludźmi, przestrzeganie przyjętych norm społecznych	u niektórych ludzi związane jest z wiarą i praktykami religijnymi, u innych – z ich osobistym systemem wartości pozwalającym zachować wewnętrzny spokój

Czynniki wpływające na zdrowie

Czynnik	Styl życia	Środowisko życia	Czynniki genetyczne	Opieka zdrowotna
Przykłady	• aktywność fizyczna • dieta • zachowania seksualne • stosowanie używek • radzenie sobie ze stresem	środowisko przyrodnicze, warunki mieszkaniowe, relacje z rodziną, sąsiadami, znajomymi, współpracownikami, warunki finansowe	biologicznie uwarunkowania, skłonność do niektórych schorzeń lub problemów zdrowotnych	dostęp do świadczeń medycznych oraz ich jakość
Szacunkowy wpływ na zdrowie	53%	21%	16%	10%

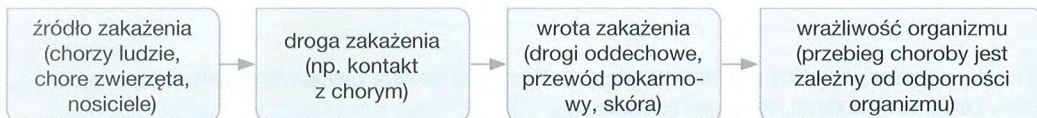
Podział czynników chorobotwórczych

Czynniki chorobotwórcze					
	biologiczne	chemiczne	fizyczne	genetyczne	społeczne
Przykłady	drobnoustroje chorobotwórcze, protisty i zwierzęta pasożytnicze	pierwiastki i związki chemiczne, niektóre używki, niewłaściwe dawkowanie leków	czynniki mechaniczne, zbyt wysoka lub niska temperatura, promieniowanie	cechy wrodzone organizmu	zbyt silny stres, konflikty międzyludzkie
Skutki	choroby zakaźne i pasożytnicze	zatrucie organizmu, oparzenia	urazy mechaniczne, oparzenia, odmrożenia, choroba popromienna	choroby genetyczne, skłonność do zapadania na pewne schorzenia	nerwice, choroby psychiczne

Podział dróg przenoszenia się chorób

Drogi przenoszenia się chorób	
bezpośrednie	pośrednie
• kontakt z chorym (np. ospa wietrzna, dur brzuszny) • przez łożysko (np. różyczka, toksoplazmoza) • w trakcie porodu (np. opryszczka)	• powietrzna (np. gruźlica, grypa) • pokarmowa (np. tasiemczyce, czerwionka) • przez glebę (np. tężec) • przez stawonogi (np. malaria, borelioza) • przez przedmioty (np. wszawica)

Łańcuch epidemiologiczny



Podział uzależnień

Uzależnienie	
fizyczne	psychiczne
- wywołane zwiększeniem tolerancji organizmu na działanie substancji psychoaktywnej - objawia się występowaniem zespołu abstynencyjnego (złe samopoczucie, bóle, skurcze mięśni, drgawki, mdłości)	- wywołane zaburzeniem układu nagrody - objawia się zmianą osobowości – zdobycie substancji psychoaktywnej lub wykonywanie czynności staje się główną potrzebą osoby uzależnionej

Przykłady uzależnień

Opis	Alkoholizm	Nikotynizm	Narkomania	Lekomania
Przyczyny	nadużywanie napojów alkoholowych	zażywanie nikotyny	zażywanie narkotyków lub/i dopalaczy	przyjmowanie nadmiernych ilości leków lub leków zawierających substancje wpływające na układ nerwowy
Skutki	- upośledzenie zmysłów - osłabienie koordynacji ruchów - zaburzenia pracy serca - zwiększona podatność na choroby serca i wątroby - może spowodować płodowy zespół alkoholowy - przedawkowanie alkoholu grozi śmiercią	- zwiększa ryzyko wystąpienia raka płuc, a także raka żołądka, jelita, trzustki, jamy ustnej, gardła i krtani - zwiększa ryzyko wystąpienia zawału serca, udaru i rozemdmy płuc - powoduje obniżenie popędu seksualnego, zmniejszenie liczby prawidłowych plemników i przyspieszenie menopauzy - może spowodować płodowy zespół tytoniowy	- wpływają silnie na układ nerwowy - powodują zmiany w zachowaniu - uszkadzają narządy wewnętrzne - ich przedawkowanie grozi śmiercią	przedawkowanie może spowodować śmierć

Test maturalny

- 1** Choroby zakaźne, choroby uwarunkowane genetycznie i choroby wieloczynnikowe mają różne podłoża oraz drogi rozprzestrzeniania się.

a) Przyporządkuj podanym przyczynom odpowiednie przykłady chorób wybrane spośród podanych poniżej.

AIDS, marskość wątroby, glistnica, zapalenie płuc, anemia sierpowata, nerwica, mukowiscydoza, nadciśnienie, tasiemczyca

Przyczyna choroby	Przykłady chorób
Mutacja genetyczna	
Zakażenie mikroorganizmem	
Niewłaściwy tryb życia	
Zakażenie pasożytem	
Alkohol	

b) Podaj po jednym przykładzie choroby, która rozprzestrzenia się zgodnie z podanymi drogami.

Kontakt przez łożysko:

Zakażenie przez glebę:

Przenoszenie przez stawonogi:

Przenoszenie przez powietrze (drogą kropelkową):

Przenoszenie drogą pokarmową:

Kontakt z przedmiotami, na których znajdują się patogeny:

c) Wymień trzy rodzaje zagrożeń dla zdrowia osób, które wyjeżdżają do krajów tropikalnych.

1.

2.

3.

- 2** Płodowy zespół alkoholowy (FAS) występuje u dzieci, których matki spożywały alkohol podczas ciąży.

a) Podaj dwa charakterystyczne objawy FAS.

1.

2.

b) Określ, jaka jest najmniejsza, nieszkodliwa dawka alkoholu, która nie powoduje FAS.

.....

.....

- 3** Do ośrodka terapii uzależnień zgłosiło się dwóch pacjentów. Poniżej znajdują się fragmenty przeprowadzonych z nimi wywiadów lekarskich.

Pacjent 1.

Obserwowalne drżenie rąk, nadmierna potliwość skóry, głos urywany, ruchy ciała niezborne, nadciśnienie tętnicze, zaburzenia rytmu serca. Pacjent skarży się na ból, wymioty, biegunkę.

Pacjent 2.

Obserwowalne trudności ze skupieniem uwagi. Pacjent rozkojarzony, nadpobudliwy i nadwrażliwy. Skarży się na depresję, zaburzony rytm snu i czuwania.

- a) Podaj rodzaj uzależnienia, na który cierpi każdy z pacjentów.

Pacjent 1:

Pacjent 2:

- b) Wymień nazwy dwóch środków uzależniających, które mogły być źródłem uzależnienia pacjenta nr 1.

1. 2.

- c) Jednym z objawów świadczących o uzależnieniu organizmu jest rozwój tolerancji na określony środek psychoaktywny. Oznacza to konieczność zażywania coraz większych dawek w celu uzyskania podobnych efektów.

Wyjaśnij, dlaczego w krytycznej fazie nałogu alkoholowego obserwuje się tendencję odwrotną, czyli zwiększenie wrażliwości na alkohol (coraz silniejsze działanie mniejszych dawek).

.....
.....

- 4** Nowotwory są zaliczane do chorób cywilizacyjnych i stanowią drugą pod względem częstości przyczynę zgonów w Polsce. Wyróżnia się dwa rodzaje nowotworów: nowotwory łagodne i nowotwory złośliwe.

- a) Oceń prawdziwość zdań dotyczących nowotworów. Uzupełnij tabelę, wpisując literę P, jeśli zdanie jest prawdziwe, lub literę F, jeśli jest fałszywe.

		P/F
1.	Nowotwory łagodne charakteryzują się powolnym wzrostem i małymi rozmiarami.	
2.	Nowotwory złośliwe cechują się szybkim wzrostem, a ich komórki są mało zróżnicowane.	
3.	Nowotwory łagodne nie tworzą przerzutów, a ich komórki zwykle niewiele różnią się budową od prawidłowej tkanki i nie naciekają jej ani sąsiednich narządów.	
4.	Nowotwory łagodne nigdy nie stanowią zagrożenia dla życia.	

- b) Wpisz nazwy nowotworów złośliwych sklasyfikowanych ze względu na rodzaj tkanki, z której powstały.

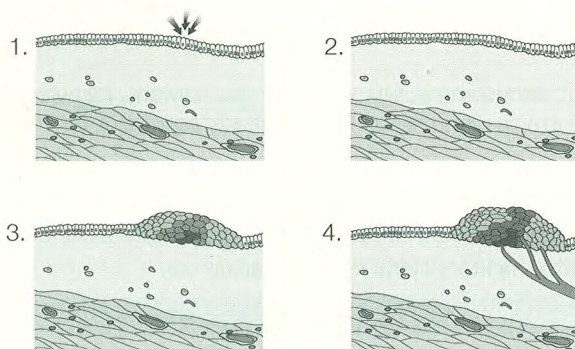
Nowotwory powstałe z tkanki łącznej, m.in. mięśni, kości, chrząstek:

Nowotwory powstałe z tkanki limfatycznej (limfoidalnej):

Nowotwory powstałe z tkanki nabłonkowej (np. skóry, oskrzeli, płuc, żołądka):

Nowotwory powstałe z komórek krwi:

5 Ilustracje przedstawiają etapy procesu nowotworowego.

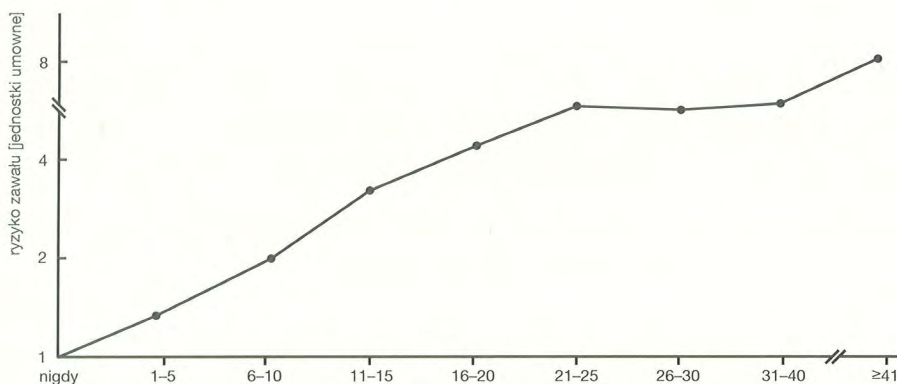


Przyporządkuj podane niżej nazwy do etapów procesu nowotworowego, przedstawionych na ilustracjach (1–4).

progresja, inicjacja, preinicjacja, promocja

- | | |
|---------|---------|
| 1. | 3. |
| 2. | 4. |

6 Wykres przedstawia wyniki badań, w których określano ryzyko wystąpienia zawału w zależności od liczby papierosów wypalanych w ciągu dnia.



a) Sformułuj brakujący podpis osi x.

.....

b) Podkreśl nazwy chorób, których ryzyko wystąpienia jest zwiększone u palaczy tytoniu.

*choroba wrzodowa, zapalenie wątroby, rozedma płuc, toksoplazmoza,
astygmatyzm, rak żołądka, udar mózgu, grzybica stóp, miażdżyca*

c) Wyjaśnij, czym jest zawał.

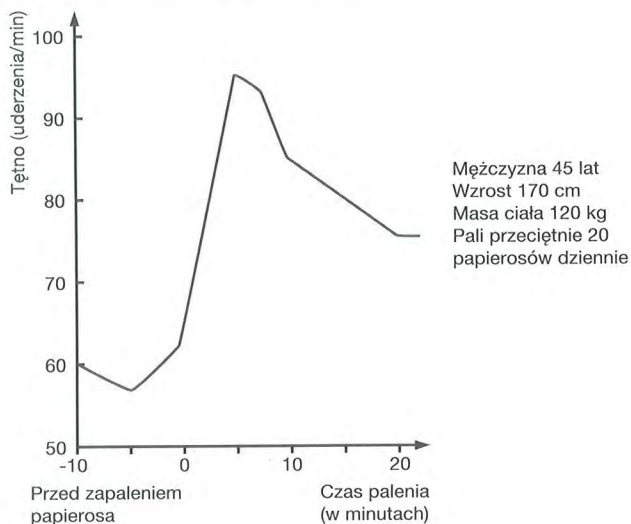
.....
.....

To było na maturze!

Zadanie 1. (2 pkt)

Źródło: CKE 01.2006 (PP), zad. 11.

Wykres przedstawia zmiany tętna pacjenta zmierzonego przed paleniem i w czasie palenia papierosów. Informacje o tym pacjencie podano obok.



Diagnoza: Ryzyko zawału

Na podstawie analizy wszystkich przedstawionych danych podaj dwa argumenty uzasadniające słuszność postawionej diagnozy.

.....

.....

Zadanie 2. (1 pkt)

Źródło: CKE 2008 (PP), zad. 8.

Tlenek węgla (czad), dostając się do organizmu człowieka, tworzy z hemoglobiną względnie trwałe związki. Źródłem czadu mogą być spaliny i dym papierosowy.

Uzasadnij opinię, że ludzie palący papierosy mogą być mniej wydolni fizycznie, niż niepalący.

.....

.....

.....

Zadanie 3. (2 pkt)

Źródło: CKE 2005 (PP), zad. 14.

W pewnej miejscowości większość mieszkańców sprzeciwiła się planowanej tam budowie ośrodka dla nosicieli wirusa HIV, w tym chorych na AIDS. Mieszkańcy uzasadniali swój sprzeciw troską o zdrowie własne i swoich dzieci.

Przedstaw dwa różne argumenty, które pozwolą przekonać mieszkańców tej miejscowości, że sama obecność nosicieli wirusa HIV i chorych na AIDS nie powoduje zagrożenia zakażeniem.

.....

.....

.....

.....

.....

Zadanie 4. (2 pkt)

Źródło: CKE 11.2006 (PP), zad. 9.

Choroby nowotworowe to druga, po chorobach układu krążenia, przyczyna zgonów ludzi. Do powstawania nowotworów przyczynia się wiele czynników.

Podaj dwa przykłady zachowań człowieka, które mogą zmniejszyć ryzyko zachorowania na choroby nowotworowe.

1.

.....

.....

2.

.....

.....

Zadanie 5. (2 pkt)

Źródło: CKE 2007 (PP), zad. 14

Jednym z zadań współczesnej medycyny klinicznej jest walka ze szczepami bakterii opornych na działanie antybiotyków.

Zaznacz wśród podanych niżej przykładów dwa takie zachowania człowieka, które przyczyniają się do powstawania szczepów opornych na antybiotyki.

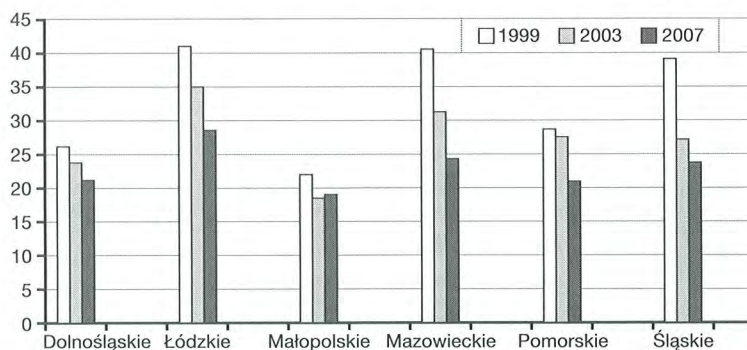
- A. Spożywanie jogurtów zawierających żywe kultury bakterii.
- B. Nieprzestrzeganie higieny osobistej.
- C. Nie zawsze uzasadnione stosowanie antybiotyków.
- D. Dodawanie antybiotyków do pasz zwierząt hodowlanych.
- E. Stosowanie leków podnoszących naturalną odporność organizmu.

Zadanie 6. (1 pkt)

Źródło: CKE 2012 (PR), zad. 12

W Polsce od 1955 roku szczepienia przeciwko gruźlicy (BCG) są obowiązkowe, a od 2006 roku szczepieniu podlegają noworodki już w pierwszej dobie życia.

Na diagramie przedstawiono zapadalność na gruźlicę w kilku województwach w Polsce w latach: 1999, 2003 i 2007, którą wyrażono liczbą zachorowań na 100 tys. ludności.



Na podstawie: *Sytuacja zdrowotna ludności Polski*, pod red. B. Wojtyński, P. Goryński, Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego-Państwowy Zakład Higieny, Warszawa 2008.

a) Podaj brakujący opis pionowej osi wykresu słupkowego.

b) Na podstawie powyższych danych przedstaw i uzasadnij swoją opinię dotyczącą skuteczności szczepień przeciwko gruźlicy w Polsce.

Zadanie 7. (2 pkt)

Źródło: CKE 01.2006 (PP), zad. 13.

Stwierdzono, że każdy człowiek w ciągu roku zapada na co najmniej dwie infekcje wirusowe.

Zaznacz dwa najbardziej skuteczne sposoby zapobiegania chorobom wirusowym.

- A. Dieta bogata w witaminę K i sód.
- B. Szczepienia ochronne.
- C. Podawanie antybiotyków.
- D. Dieta bogata w tłuszcze nasycone.
- E. Unikanie kontaktów z osobami zainfekowanymi.

Zadanie 8. (1 pkt)

Źródło: CKE 2010 (PP), zad. 14

W 2008 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie medycyny przyznano m.in. za odkrycie, że wirus brodawczaka ludzkiego (HPV) może być jednym z czynników wywołujących raka szyjki macicy. Choroba ta jest jedną z najgroźniejszych nowotworowych chorób kobiecych, na którą rocznie umiera na świecie 300 tys. kobiet.

Jak to odkrycie jest wykorzystane w profilaktyce medycznej?

Przydatne terminy

acetylocholina – jeden z przekaźników w układzie nerwowym; m.in. wyzwała skurcz mięśni szkieletowych.

acetylokoenzym A (acetylo-CoA) – aktywny octan, związek wysokoenergetyczny odgrywający kluczową rolę w metabolizmie. Bierze udział m.in. w cyklu Krebsa.

adenozynotrifosforan (ATP) – związek wysokoenergetyczny składający się z adeniny, rybozy i trzech reszt fosforanowych. Jest podstawowym nośnikiem energii w reakcjach biochemicznych.

adrenalina – hormon i neuroprzekaźnik wytwarzany w rdzeniu nadnerczy oraz niektórych neuronach ośrodkowego układu nerwowego. Pobudza współczulny układ nerwowy. Bywa nazywana hormonem walki i ucieczki.

akromegalia – choroba spowodowana nadmiernym wydzielaniem hormonu wzrostu (nadczynności przedniego płata przysadki) po zakończeniu wzrostu organizmu. Objawia się m.in. przerostem dłoni, stóp, nosa i żuchwy, pogrubieniem skóry, powiększeniem języka, warg, serca i wątroby.

akson (neuryt) – długa, pojedyncza wypustka neuronu, przewodząca impulsy nerwowe od ciała komórki do innych komórek. Zwykle jest otoczony osłonką.

aktyna – białko, z którego zbudowane są miofilamenty cienkie. Razem z tworzącą miofilamenty grube miozyną bierze udział w skurczu mięśni.

aldosteron – hormon wytwarzany i wydzielany przez komórki kory nadnerczy. Reguluje gospodarkę jonami sodu i potasu, wpływając na ich zatrzymywanie lub wydalanie.

alergia – stan nadwrażliwości organizmu na niektóre substancje pochodzące ze środowiska zewnętrznego, na które zdrowy organizm nie reaguje. Objawia się m.in. zapaleniem i obrzękiem błony śluzowej nosa (katar sienny), zmniejszeniem światła oskrzeli, zaburzeniami trawienia, wysypką.

amylazy – enzymy rozkładające polisacharydy (skrobię, glikogen). Występują m.in. w ślinie i soku trzustkowym.

anabolizm – procesy syntezy złożonych związków występujących w organizmie ze związków o prostszej strukturze. W komórkach rosnących anabolizm przeważa nad katabolizmem.

anemia (niedokrwistość) – stan organizmu wywołany niedoborem hemoglobiny (czerwonego barwnika krwi) lub krwinek czerwonych. Efektem anemii jest niedotlenienie komórek i tkanek.

angiotensyny – hormony tkankowe powstające z białek osocza pod wpływem reniny – enzymu wytwarzanego w nerkach. Powodują skurcz naczyń krwionośnych, a tym samym podnoszą ciśnienie krwi.

anhydraza (dehydrataza) – enzym powodujący odłączenie cząsteczek wody z danej substancji, np. anhydrazy węglanowa katalizuje odwracalną reakcję powstawania dwutlenku węgla z kwasu węglowego.

antygen – każda substancja zdolna do wywołania odpowiedzi immunologicznej i reagująca z produktami tej odpowiedzi. Najczęściej jest to białko lub polisacharyd obcy dla organizmu.

apoenzym – białkowa część enzymu czynna katalitycznie dopiero po połączeniu z niebiałkowym kofaktorem, którym może być jon metalu lub cząsteczka organiczna, np. witamina.

ATP – patrz adenozynotrifosforan.

autonomiczny układ nerwowy (AUN) – część układu nerwowego kontrolująca funkcjonowanie narządów wewnętrznych, a tym samym przyczyniająca się do utrzymania homeostazy. Nie podlega woli. Dzieli się na dwie części: układ współczulny i układ przywspółczulny. Wraz z somatycznym układem nerwowym tworzy obwodowy układ nerwowy.

autotrofy – organizmy samożywne zdolne do syntezy związków organicznych ze związków nieorganicznych w procesie fotosyntezy lub chemosyntezy.

bazofile (leukocyty zasadochłonne) – rodzaj krwinek białych, których cytozol zawiera ziarnistości pochłaniające barwniki zasadowe. Odgrywają istotną rolę w reakcjach alergicznych, wytwarzają m.in. heparynę zmniejszającą krzepliwość krwi oraz histaminę rozszerzającą naczynia krwionośne.

blastocel – wypełniona płynem jama blastuli.

blastocysta – stadium blastuli w rozwoju zarodkowym ssaków. Ma postać pęcherzyka, którego ściana (trofoblast) jest utworzona z jednej warstwy komórek, a we wnętrzu, przy jednym z biegunów, znajduje się skupisko komórek – węzeł zarodkowy. Przestrzeń między trofoblastem a węzłem zarodkowym wypełnia płyn.

blastula – stadium rozwoju zarodka. Ma postać pęcherzyka, którego ściana jest zbudowana z jednej warstwy komórek.

centrum aktywne enzymu – patrz miejsce aktywne enzymu.

centrum allosteryczne – patrz miejsce allosteryczne.

chemoautotrofy – organizmy samożywne uzyskujące energię do syntezy związków organicznych z utleniania związków nieorganicznych. Przykładem chemoautotrofów są bakterie metanowe, siarkowe, nityfikacyjne, żelaziste i wodorowe.

choroba autoimmunizacyjna – choroba spowodowana autoagresją, czyli reakcją odpornościową skierowaną przeciwko

własnym komórkom lub tkankom organizmu, np. cukrzyca typu I, stwardnienie rozsiane i anemia hemolityczna.

ciałko kierunkowe – mała komórka składająca się niemal wyłącznie z jądra komórkowego. Powstaje podczas oogenezy. Zwykle ulega degeneracji.

ciałko żółte – powstaje po owulacji z przekształconego pęcherzyka jajnikowego. Funkcjonuje jako gruczoł dokrewny. Wydziela progesteron – hormon warunkujący w początkowym okresie utrzymanie ciąży.

ciało modelowate – patrz spoidło wielkie mózgu.

ciśnienie osmotyczne – ciśnienie konieczne do zatrzymania przepływu rozpuszczalnika (np. wody) między roztworami oddzielonymi od siebie błoną półprzepuszczalną. Zależy od stężenia roztworów znajdujących się po obu stronach błony półprzepuszczalnej. Jego wartość jest równa ciśnieniu, jakie trzeba wywrzeć na roztwór o większym stężeniu substancji, by zapobiec przenikaniu rozpuszczalnika do roztworu o mniejszym stężeniu substancji.

CoQ – patrz ubiquinon.

cykl Calvina – ciąg reakcji zachodzący u roślin podczas fotosyntezy, w fazie niezależnej od światła. Polega na przekształceniu dwutlenku węgla w glukozę. W cyklu tym wyróżnia się trzy etapy: karboksylację, redukcję i regenerację.

cykl Krebsa (cykl kwasu cytrynowego) – ciąg reakcji zachodzący u organizmów oddychających tlenowo. Polega na utlenieniu acetylokoenzymu A do dwutlenku węgla. Powstające w trakcie przemian dinukleotydy NADH i FADH₂ są źródłem elektronów przekazywanych na tlen cząsteczkowy przez kolejne przenośniki w łańcuchu oddechowym. W wyniku tych reakcji powstaje woda oraz jest uwalniana energia magazynowana w postaci ATP.

cykl kwasu cytrynowego – patrz cykl Krebsa.

cytochromy – białka złożone zawierające grupę hemową (hemoproteiny). Są elementem łańcucha oddechowego. Przenoszą elektrony dzięki odwracalnej zmianie stopnia utlenienia żelaza (z Fe²⁺ na Fe³⁺) wchodzącego w skład grupy hemowej.

czerwień wzrokowa – patrz rodopsyna.

deaminacja – enzymatyczne usuwanie grupy aminowej (–NH₂) z cząsteczek związków organicznych. Grupa ta może być przeniesiona na inny związek lub uwolniona w postaci amoniaku (NH₃).

dehydrataza – patrz anhydraza.

depolaryzacja – zmniejszenie ujemnego potencjału elektrycznego błony komórkowej spowodowane napływem do komórki

jonów Na^+ lub Ca^{2+} . Prowadzi do pobudzenia komórki nerwowej lub mięśniowej.

dług tlenowy – ilość tlenu potrzebna do utlenienia kwasu mlekowego powstałego w wyniku czasowego przestawienia metabolizmu z tlenowego na beztlenowy i przywrócenia warunków fizjologicznych. Powstaje m.in. w intensywnie pracujących mięśniach.

efektor – w fizjologii narząd wykonujący lub zmieniający swą czynność pod wpływem bodźca nerwowego, np. mięsień, gruczoł.

embriogeneza (rozwój zarodkowy) – proces powstawania oraz rozwoju zarodka roślin i zwierząt, przebiegający w ściśle określony sposób. U zwierząt rozmnażających się płciowo rozpoczyna się podziałem zygoty – pierwszej komórki nowego organizmu – a kończy opuszczeniem osłon jajowych (u jajorodnych) lub organizmu samicy (u żyworodnych).

endometrium – błona śluzowa macicy. Wewnętrzna warstwa macicy u samic ssaków, zmieniająca się w czasie cyklu miesięczkowego pod wpływem hormonów wydzielanych przez przysadkę, jajniki i ciało żółte.

energia aktywacji – najmniejsza ilość energii potrzebna do zapoczątkowania reakcji chemicznej.

enzymy – biologiczne katalizatory (najczęściej białka) przyspieszające reakcje chemiczne przez obniżenie ich energii aktywacji. Biorą udział w większości reakcji zachodzących w organizmach.

eozyofile (leukocyty kwasochłonne) – rodzaj krwinek białych, których cytozol zawiera ziarnistości pochłaniające barwniki kwaśne. Odgrywają istotną rolę w reakcjach alergicznych oraz zwalczaniu pasożytów.

erytrocyty (krwinki czerwone) – komórki krwi kręgowców zawierające hemoglobinę – białko odpowiedzialne za transport tlenu i częściowo dwutlenku węgla.

estrogeny – żeńskie hormony płciowe wytwarzane przez jajniki, a także w niewielkich ilościach przez korę nadnerczy i jądra. Wpływają na rozwój i utrzymanie drugo- i trzeciorzędowych cech płciowych.

fermentacja – beztlenowy proces uzyskiwania energii, w którym donorami i akceptorami elektronów są związki organiczne, a produktami końcowymi – związki organiczne i energia.

fibryna (włóknik) – nierozpuszczalne białko powstające z fibrynogenu podczas procesu krzepnięcia krwi. Stanowi rusztowanie skrzepu.

fibrinogen – rozpuszczalne białko osocza biorące udział w procesie krzepnięcia krwi. Pod wpływem enzymu (trombiny) ulega przemianie w nierozpuszczalną fibrinę.

fosfokreatyna – wysokoenergetyczny związek magazynowany w mięśniach. Służy do syntezy ATP z ADP podczas pracy mięśni.

fosforylacja – reakcja przyłączenia reszty kwasu fosforowego do związku organicznego, wymagająca dostarczenia energii. W fosforylacji fotosyntetycznej jest to energia świetlna, w fosforylacji substratowej – energia wiązań wysokoenergetycznych, a w fosforylacji oksydacyjnej – energia pochodząca z oddychania komórkowego (z łańcucha oddechowego).

fotoliza – reakcja rozkładu cząsteczek związku chemicznego pod wpływem światła widzialnego lub ultrafioletu, np. wody na wodór i tlen podczas fotosyntezy.

fotooddychanie (fotorespiracja) – proces pobierania tlenu i wydzielania dwutlenku węgla przez komórki niektórych roślin fotosyntetyzujących, na innej drodze niż oddychanie komórkowe. Zachodzi przy dużym natężeniu światła i niedoborze wody, ogranicza wydajność fotosyntezy.

fotorespiracja – patrz fotooddychanie.

fotosynteza – proces wytwarzania związków organicznych (przede wszystkim glukozy) z dwutlenku węgla i wody, przy udziale energii świetlnej. Zachodzi u roślin oraz niektórych protistów (brunatnic, okrzemek) i bakterii, m.in. sinic, bakterii zielonych i purpurowych.

fotosystem – kompleks złożony z chlorofilu, barwników pomocniczych, białek i lipidów znajdujący się w błonach tylakoidów, emitujący elektrony w reakcji na pobudzenie światłem.

gastrula – stadium rozwoju zarodka zwierząt. Jest zbudowana z dwóch (ektodermi i endodermi) lub trzech (ektodermi, mezodermi i endodermi) warstw komórek. Ma workowaty kształt.

glikogen – polisacharyd zbudowany z reszt glukozy. Stanowi główny materiał zapasowy w komórkach zwierząt. W organizmie jest gromadzony przede wszystkim w wątrobie i (w mniejszym stopniu) w mięśniach szkieletowych.

glikoliza – pierwszy etap oddychania komórkowego, przebiegający w cytozolu. Polega na beztlenowym rozkładzie glukozy ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) do pirogronianu ($\text{CH}_3\text{-CO-COO-}$), czemu towarzyszy powstanie ATP.

gruczoły dokrewne – patrz gruczoły wydzielania wewnętrznego

gruczoły wydzielania wewnętrznego (gruczoły dokrewne) – gruczoły bezprzewodowe, których wydzielina (hormony) trafia bezpośrednio do krwi lub płynów ustrojowych. U człowieka gruczołami dokrewnymi są: przysadka, szyszynka, tarczyca, przytarczycy, grasicca, nadnercza, trzustka, jajniki oraz jądra.

gruczoły wydzielania zewnętrznego – gruczoły, których wydzieliny są wyprowadzane na zewnątrz przez specjalne przewody uchodzące, np. na skórę lub do światła przewodu pokarmowego. Należą do nich m.in. gruczoły potowe, łojowe, mlekowe i trawienne.

hemoglobina – białko złożone zawierające grupę hemową (hemoproteiną), w której skład wchodzi żelazo, czerwony barwnik

krwi rozpuszczony w osoczu (np. u pijawek) lub znajdujący się w krwinkach czerwonych (np. u kręgowców). Przenosił tlen i częściowo dwutlenku węgla w organizmie dzięki zdolności odwracalnego wiązania z tymi pierwiastkami.

heterotrofy – organizmy cudzożywne, niezdolne do samodzielnego wytwarzania związków organicznych ze związków nieorganicznych. Odżywiają się innymi organizmami lub ich szczątkami.

histamina – substancja uwalniana m.in. przez bazofile (leukocyty zasadochłonne) i komórki tuczne. Bierze udział w reakcjach zapalnych i alergicznych, powoduje m.in. rozszerzenie naczyń krwionośnych i zwiększenie ich przepuszczalności, co objawia się zaczerwienieniem i obrzękiem.

homeostaza – zdolność organizmu do utrzymywania stałych warunków środowiska wewnętrznego ustroju (np. stałej temperatury, stałego ciśnienia osmotycznego). Jest możliwa dzięki mechanizmom dostosowawczym związanym głównie z funkcjonowaniem układów nerwowego i hormonalnego.

hormon antydiuretyczny – patrz wazopresyna.

hormon luteinizujący (LH) – hormon wydzielany przez przedni płat przysadki. U samicy powoduje owulację i rozwój ciała żółtego oraz stymuluje wytwarzanie progesteronu, a u samców pobudza wydzielanie testosteronu.

hormony – związki organiczne wytwarzane i wydzielane bezpośrednio do płynów ustrojowych przez gruczoły dokrewne, komórki wydzielnicze nietworzące gruczołów (hormony tkankowe), neurony (neurohormony) i inne komórki (hormony miejscowe). Regulują i koordynują procesy biochemiczne w komórkach i tkankach, a pośrednio wszelkie procesy fizjologiczne organizmu, dostosowując je do zmieniających się warunków otoczenia.

hormony tropowe – grupa hormonów wydzielanych przez komórki przedniego płata przysadki, których zadaniem jest regulowanie wydzielania innych hormonów, np. hormon tyreotropowy pobudza wydzielanie hormonów przez tarczycę.

immunoglobuliny – patrz przeciwciała.

implantacja – zagnieżdżenie się zarodka ssaków (z wyjątkiem stekowców) w błonie śluzowej macicy. U człowieka następuje ok. siedmiu dni po zapłodnieniu.

inhibicja enzymatyczna – zahamowanie lub obniżenie aktywności enzymów pod wpływem różnych czynników chemicznych.

inhibicja kompetycyjna – rodzaj inhibicji enzymatycznej polegający na zahamowaniu aktywności enzymu przez nietypowy substrat, który konkuruje z normalnym substratem o centrum aktywne enzymu. Zwiększenie stężenia substratu znosi tę inhibicję.

inhibicja niekompetycyjna – rodzaj inhibicji enzymatycznej polegający na zahamowaniu

aktywności enzymów przez substancję, która wiąże się z innym miejscem enzymu niż centrum aktywne. Powoduje tym samym zmianę struktury przestrzennej enzymu, co uniemożliwia wiązanie substratu.

interferony – białka wytwarzane i uwalniane przez leukocyty w odpowiedzi na atak wirusów. Zapewniają komunikację między komórkami w celu zwalczania wirusów, m.in. hamują replikację wirusów w komórkach organizmu.

kalcytonina – hormon wytwarzany przez tarczycę, zmniejszający stężenie wapnia we krwi poprzez hamowanie jego uwalniania z kości. Działa antagonistycznie w stosunku do parathormonu wydzielanego przez przytarczycę.

katabolizm – procesy metaboliczne polegające na rozkładzie wielkocząsteczkowych substancji na prostsze, czemu towarzyszy uwalnianie ciepła i energii gromadzonej w postaci ATP. Energia ta jest następnie wykorzystywana przez organizm do prawidłowego funkcjonowania.

koenzym – organiczny, niebiałkowy składnik niektórych enzymów, niezbędny do ich aktywności. Łuźno związany z enzymem. Bierze udział w reakcji przez oddawanie lub przyłączanie pewnych reagentów. Koenzymami jest większość witamin i ich pochodnych.

koenzym Q – patrz ubiquinon.

kofaktor – niebiałkowy składnik niektórych enzymów niezbędny do ich aktywności. Może nim być jon metalu (np. Zn^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , K^{+}) lub związek organiczny o niewielkich rozmiarach cząsteczki, który wiąże się z enzymem trwale (nazywany jest wtedy grupą prostetyczną) lub nietrwale (nazywany jest koenzymem).

komórki tuczne (mastocyty) – duże komórki tkanki łącznej występujące w obrębie różnych narządów. Zawierają histaminę, biorą udział w reakcjach alergicznych i zapalnych.

kora mózgowa – zewnętrzna warstwa kresomózgowia (półkul mózgowych) zbudowana z istoty szarej, którą tworzą ciała komórek nerwowych (neuronów). U ludzi jest bardzo silnie pofalowana, zawiera nadrzędne ośrodki nerwowe kierujące działalnością organizmu: odbiera i analizuje informacje z narządów zmysłów, odpowiada za poruszanie się i wykonywanie ruchów precyzyjnych oraz czynności charakterystyczne tylko dla ludzi, takie jak: mowa, czytanie, pisanie czy myślenie abstrakcyjne.

krażenie wrotne – układ dwóch sieci naczyń włosowatych połączonych żyłą. U człowieka jednym z przykładów jest krażenie wrotne wątroby: krew zbierana przez naczynia włosowate z układu pokarmowego przepływa do wątroby żyłą wrotną, która w wątrobie rozpada się na sieć naczyń włosowatych. Naczynia te zbierają się w żyły wątrobowe uchodzące do żyły głównej dolnej. W ten sposób krew bogata w substancje odżywcze nie trafia bezpośrednio do serca, lecz do wątroby, gdzie substancje odżywcze są przetwarzane i magazynowane.

krwinki białe – patrz leukocyty.

krwinki czerwone – patrz eryocyty.

kwaz mocowy – bardzo trudno rozpuszczalny w wodzie związek chemiczny powstający w organizmach jako jeden z końcowych produktów przemiany białek i kwasów nukleinowych. Główny produkt wydalania u owadów, ptaków i większości gadów. U ssaków występuje jako końcowy produkt metabolizmu zasad purynowych.

leukocyty (krwinki białe) – bezbarwne komórki krwi i limfy. Dzielą się na kilka rodzajów. Większość z nich jest zdolna do ruchu ameboidalnego (pełzakowatego) i fagocytozy. Chronią organizm przed wirusami i bakteriami.

leukocyty kwasochłonne – patrz eozynofile.

leukocyty obojętnochłonne – patrz neutrofile.

leukocyty zasadochłonne – patrz bazofile.

LH – patrz hormon luteinizujący.

limfocyty – rodzaj krwinek białych niezawierających ziarnistości w cytozolu. Biorą udział w reakcjach immunologicznych.

limfocyty B (limfocyty szpikozależne) – jeden z rodzajów limfocytów. Biorą udział w odpowiedzi immunologicznej typu humoralnego – stymulowane przez kontakt z antygenem przekształcają się w komórki plazmatyczne wytwarzające przeciwciała.

limfocyty T (limfocyty grasiczozależne) – jeden z rodzajów limfocytów. Biorą udział w odpowiedzi immunologicznej typu komórkowego. Zróżnicowane pod względem funkcji na: limfocyty Tc (cytotoksyczne) – rozpoznające i niszczące komórki z obcym antygenem na powierzchni oraz komórki nowotworowe; limfocyty Th (pomocnicze) – wzmacniające odpowiedź immunologiczną, wpływając na limfocyty B i limfocyty Tc; limfocyty Ts (supresorowe) – hamujące nadmierne reakcje obronne organizmu.

listek zarodkowy – jedna z trzech warstw komórek zarodka w stadium gastruli.

łożysko – wspólny narząd organizmu matki i płodu występujący u ssaków łożyskowych. Powstaje przez wrosnięcie kosmków kosmówki (jednej z błon płodowych) w błonę śluzową macicy. Utrzymuje płód w macicy, umożliwia wymianę substancji między organizmem płodu a organizmem matki – płód otrzymuje tlen i substancje odżywcze, a wydalą dwutlenek węgla i inne zbędne produkty przemiany materii.

łuk odruchowy – droga, którą pokonuje impuls nerwowy od receptora do efektora. Składa się z receptora odbierającego bodźce, drogi nerwowej dośrodkowej (czuciowej), ośrodka nerwowego, drogi nerwowej ośrodkowej (ruchowej) i efektora.

makrofagi – komórki tkanki łącznej wywodzące się z monocytów (rodzaj krwinek białych), zdolne do fagocytozy i trawienia pochłoniętych bakterii lub fragmentów uszkodzonych komórek i tkanek. Biorą udział w reakcjach obronnych organizmu.

mastocyty – patrz komórki tuczne.

mechanoreceptor – komórka lub narząd odbierający bodźce mechaniczne, takie jak dotyk lub dźwięk.

melaniny – grupa pigmentów o barwie czarnej, brązowej lub żółtej. Występują u grzybów i zwierząt, a u ludzi znajdują się m.in. w komórkach warstwy rozrodczej naskórka (chronią głębsze warstwy skóry przed szkodliwym działaniem promieniowania UV), we włosach (nadają im kolor) oraz w tęczówce oka, gdzie polepszają właściwości optyczne.

menstruacja – zjawisko fizjologiczne polegające na okresowym (najczęściej co 28 dni) usuwaniu krwi i złuszczonego nabłonka macicy z dróg rodnych dojrziałych płciowo kobiet.

metabolizm (przemiana materii) – ogół reakcji chemicznych i związanych z nimi przemian energetycznych zachodzących w organizmie. Na metabolizm składają się reakcje rozkładu, dostarczające energii (katabolizm), oraz reakcje syntezy, wymagające nakładu energii (anabolizm).

miejsce aktywne enzymu (centrum aktywne enzymu) – obszar enzymu zdolny do wiązania substratu (substratów) oraz do katalizowania reakcji chemicznej.

miejsce allosteryczne (centrum allosteryczne) – obszar cząsteczki enzymu umożliwiający przyłączenie substancji innej niż tradycyjny substrat, w konsekwencji czego zmienia się kształt cząsteczki enzymu i jego aktywność enzymatyczna.

mineralokortykosteroidy – hormony wytwarzane przez korę nadnerczy regulujące gospodarkę wodno-mineralną. Głównym mineralokortykoidem jest aldosteron.

mioglobina – białko złożone zawierające grupę hemową (hemoproteina), w której skład wchodzi żelazo; czerwony barwnik podobny do hemoglobiny występujący w mięśniach. Ma zdolność odwracalnego łączenia się z tlenem. Jej powinowactwo do tlenu jest większe niż hemoglobiny, dlatego przejmuje od niej tlen i stanowi jego magazyn w mięśniach, gdzie jest on wykorzystywany do uzyskiwania energii koniecznej do skurczu.

mocznik – rozpuszczalny w wodzie związek chemiczny powstający w organizmach jako jeden z końcowych produktów przemiany białek. Główny produkt wydalania u dorosłych płazów i ssaków.

monocyty – rodzaj krwinek białych niezawierających ziarnistości w cytozolu. Wykazują one zdolność do fagocytozy i ruchu ameboidalnego (pełzakowatego). Po przedostaniu się z krwiobiegu do tkanek przekształcają się w makrofagi. Biorą udział w reakcjach obronnych organizmu.

morula – stadium rozwoju zarodkowego zwierząt składające się z kilkudziesięciu komórek tworzących kulistą bryłkę.

napiecie mięśniowe (tonus) – fizjologiczny stan ciągłego, lekkiego napięcia mięśni (skurczu), warunkujący m.in. postawę ciała, rysy twarzy i napięcie ścian narządów wewnętrznych, utrzymywany przez serie

słabych impulsów nerwowych z ośrodkowego układu nerwowego.

nerwy – pęczki włókien nerwowych okrytych łącznotkankową otoczką, przewodzące impulsy nerwowe między ośrodkowym układem nerwowym a pozostałymi narządami. Ze względu na kierunek przewodzenia impulsów nerwowych wyróżnia się: nerwy czuciowe – przewodzące impulsy nerwowe z receptorów do ośrodkowego układu nerwowego, nerwy ruchowe – przewodzące impulsy nerwowe do efektorów, nerwy mieszane – przewodzące impulsy nerwowe z receptorów do ośrodkowego układu nerwowego i z ośrodkowego układu nerwowego do efektorów, przy czym impulsy biegnące w przeciwnych stronach przemieszczają się niezależnymi gałęziami.

neuroprzekazniki (neurotransmitery) – związki chemiczne wydzielane przez zakończenia nerwowe w synapsach, przekazujące sygnały przez synapsy do kolejnych neuronów, a także do komórek mięśniowych i gruczołowych. Należą do nich m.in. acetylocholina, noradrenalina, dopamina i serotonina.

neurotransmitery – patrz neuroprzekazniki.

neuryt – patrz akson.

neutrofile – rodzaj krwinek białych, których cytozol zawiera słabo barwiące się ziarnistości. Mają zdolność opuszczania naczyń krwionośnych i przemieszczania się do tkanek. Fagocytują wirusy, bakterie i uszkodzone komórki własnego organizmu.

niedokrwistość – patrz anemia.

obwodowy układ nerwowy – część układu nerwowego znajdująca się poza centralnym układem nerwowym (mózgiem i rdzeniem kręgowym). Obejmuje 12 par nerwów czaszkowych, 31 par nerwów rdzeniowych, zwoje nerwowe i receptory zmysłowe.

oddychanie – wszystkie procesy składające się na wymianę tlenu i dwutlenku węgla między komórkami a otoczeniem. Obejmuje wymianę gazową zewnętrzną (między pęcherzykami płucnymi a krwią), transport gazów przez krew, wymianę gazową wewnętrzną (między krwią a tkankami) i oddychanie komórkowe. Dostarcza organizmowi energii niezbędnej do funkcjonowania.

oddychanie beztlenowe – rodzaj oddychania komórkowego, w którym ostatecznym akceptorem elektronów są związki nieorganiczne (np. azotany, siarczany) albo pierwiastki (np. siarka). Jego substratami są związki organiczne, a produktami ostatecznymi – dwutlenek węgla, związki nieorganiczne i energia w postaci ATP. Oddychanie beztlenowe występuje wyłącznie u niektórych bakterii.

oddychanie komórkowe – zachodzący w komórkach wieloetapowy proces użytkowania energii, polegający na utlenianiu substancji organicznych.

oddychanie tlenowe – rodzaj oddychania komórkowego, w którym ostatecznym

akceptorem elektronów jest tlen. Jego substratami są związki organiczne, a produktami ostatecznymi: dwutlenek węgla, woda i energia w postaci ATP. Występuje u większości organizmów.

odporność – niewrażliwość organizmu na działanie drobnoustrojów chorobotwórczych lub ich toksyn.

odporność bierna – czasowa odporność nabyta przez wprowadzenie przeciwciał pochodzących z innego organizmu. Naturalnie występuje u płodu i noworodka (dzięki przeciwciałom matki przenikającym przez łożysko lub dostarczanym wraz z jej mlekiem). Może być uzyskana sztucznie – po podaniu gotowych przeciwciał w postaci surowicy odpornościowej.

odporność czynna – trwała odporność uzyskana w efekcie kontaktu z antygenem w sposób naturalny (po przebyciu choroby zakaźnej) lub sztuczny (po podaniu szczepionki).

odporność humoralna – odporność wywołana obecnością w płynach ustrojowych przeciwciał wytwarzanych przez limfocyty B.

odpowiedź immunologiczna – reakcje zachodzące w organizmie pod wpływem kontaktu z antygenem, zmierzające do jego unieszkodliwienia. W zależności od mechanizmu wyróżnia się odpowiedź komórkową (z udziałem limfocytów, makrofagów) lub humoralną (z udziałem przeciwciał), najczęściej jednak oba mechanizmy działają łącznie.

odpowiedź immunologiczna pierwotna – reakcja odpornościowa występująca po pierwszym kontakcie z danym antygenem, zwykle w ciągu kilku dni. Jest ona krótkotrwała i po kilku tygodniach wygasa. W organizmie pozostają jednak komórki pamięci immunologicznej, zdolne wywołać szybką odpowiedź przy ponownym kontakcie z tym samym antygenem.

odpowiedź immunologiczna wtórna – reakcja odpornościowa występująca po drugim i kolejnym kontakcie z danym antygenem. Jest szybsza i silniejsza niż odpowiedź immunologiczna pierwotna, ze względu na obecność komórek pamięci immunologicznej (limfocytów B i T).

odruch – automatyczna reakcja organizmu na bodziec wewnętrzny lub zewnętrzny, zachodząca za pośrednictwem układu nerwowego.

okres refrakcji – czas, w którym komórka jest niewrażliwa na bodziec występujący po jej uprzednim pobudzeniu co najmniej bodźcem progowym.

oksytocyna – hormon wytwarzany w podwzgórz, a uwalniany przez tylny płat przysadki. Powoduje skurcze nasieniowodów w trakcie ejakulacji i skurcze macicy w trakcie porodu, stymuluje uwalnianie mleka z gruczołów mlekowych.

onkogeny – geny odpowiedzialne za przemianę zdrowych komórek w komórki nowotworowe (transformacja nowotworowa). Powstają na skutek mutacji protoonkogenów (genów biorących udział w regulacji cyklu komórkowego).

ontogeneza (rozwoj osobniczy) – wszystkie zmiany zachodzące w organizmie od momentu jego powstania aż do śmierci.

oocyt – niedojrzała komórka jajowa zwierząt, w tym człowieka.

oogeneza – proces wytwarzania gamet żeńskich (komórek jajowych).

opony mózgowia i rdzenia kręgowego – trzy błony łącznotkankowe otaczające mózgowie i rdzeń kręgowy, chroniące te struktury przed urazami mechanicznymi. Opona miękka przylega bezpośrednio do mózgowia oraz rdzenia kręgowego, zawiera liczne naczynia krwionośne. Nad oponą mięką znajduje się opona pajęczna (pajęczynówka) oddzielona od niej przestrzenią wypełnioną płynem mózgowo-rdzeniowym. Opona twarda, składająca się z dwóch warstw, jest położona najbardziej na zewnątrz.

organizmy cudzożywne – patrz heterotrofy.

osłonka mielinowa – osłonka aksonu powstająca na skutek wielokrotnego owinięcia się komórki gąlewej obwodowego układu nerwowego (lemocyty) wokół jego fragmentu. Pełni funkcję ochronną i zwiększa szybkość przewodzenia impulsów nerwowych, które przeskakują wzdluz aksonu w przerwach między kolejnymi osłonkami mielinowymi (przewężeniami Ranviera).

osłonka przejrzysta – warstwa przezroczystej, galaretowatej substancji (glikoproteiny) otaczająca oocyty ssaków. Znajduje się między błoną komórkową oocytu a komórkami warstwy ziarnistej.

osmoregulacja – aktywna regulacja ciśnienia osmotycznego płynów ustrojowych, dzięki której ciśnienie to jest względnie stałe.

osmoza – przenikanie rozpuszczalnika przez błonę półprzepuszczalną z roztworu o mniejszym stężeniu substancji do roztworu o większym stężeniu.

ośrodkowy układ nerwowy (OUN) – część układu nerwowego kręgowców obejmująca mózgowie i rdzeń kręgowy.

owulacja – uwolnienie dojrzałej lub dojrzewającej komórki jajowej z jajnika. U kobiet zachodzi ok. 14 dnia cyklu miesięczkowego trwającego 28 dni.

parathormon – hormon wydzielany przez przytarczce, zwiększający stężenie wapnia we krwi przez jego uwalnianie z kości. Działa antagonistycznie w stosunku do kalcytoniny wydzielanej przez tarczycę.

patogen – czynnik chorobotwórczy. Powoduje zaburzenie reakcji metabolicznych. Patogenami człowieka są czynniki: biologiczne (wirusy, bakterie, grzyby, protisty i pasożytnicze zwierzęta), chemiczne (m.in. toksyny wydzielane przez bakterie, niektóre substancje pochodzenia roślinnego), fizyczne (m.in. różne urządzenia, wysoka i niska temperatura, promieniowanie, energia elektryczna) i społeczne (np. ciągłe napięcie nerwowe, konflikty międzyludzkie).

pętla nefronu (pętla Henlego) – odcinek kanalik nerkowego nefronu o kształcie

lity U, znajdujący się między kanalikiem krętym I rzędu a kanalikiem krętym II rzędu, wysłany nabłonkiem jednowarstwowym płaskim. Odpowiada za zagęszczanie moczu.

pH – ujemny logarytm dziesiętny wartości stężenia molowego jonów wodoru w roztworze. Wielkość określająca odczyn roztworu. Mieści się w granicach od 0 (bardzo silne kwasy) do 14 (bardzo silne zasady). Chemicznie czysta woda ma odczyn obojętny, a jej pH wynosi 7.

potencjał czynnościowy – lokalna krótkotrwała zmiana potencjału elektrycznego komórki nerwowej lub mięśniowej w czasie jej aktywności. Potencjał czynnościowy jest równoważnikiem impulsu nerwowego. Wynosi ok. 30 mV.

potencjał spoczynkowy – potencjał elektryczny niepobudzonej komórki, wynikający z różnicy ładunków elektrycznych po obu stronach błony komórkowej. Zewnętrzna strona błony jest naładowana dodatnio, a wewnętrzna strona – ujemnie. Potencjał spoczynkowy neuronu wynosi ok. -70 mV.

progesteron – hormon wytwarzany przez ciało żółte i łożysko. Umożliwia zagnieżdżenie się zarodka w błonie śluzowej macicy (implantacja) i utrzymanie ciąży.

prostaglandyny – pochodne nienasyconych kwasów tłuszczowych syntezowane w komórkach większości zwierząt. Działają miejscowo, powstają wskutek pobudzenia nerwowego. Wykazują dużą aktywność biologiczną, m.in. rozszerzają i zwężają naczynia krwionośne, pobudzają lub hamują skurcze mięśni gładkich, pobudzają ruchliwość plemników, uczestniczą w reakcjach zapalnych.

przeciwciała (immunoglobuliny) – białka wydzielane przez komórki plazmatyczne (czyli pobudzone limfocyty B) w odpowiedzi na kontakt z antygenami, mające zdolność reagowania przeciw nim.

przemiana materii – patrz metabolizm.

przewodzenie nerwowe – przekazywanie impulsu nerwowego wzdłuż neuronu od dendrytów przez ciało komórki i akson do następnego neuronu, mięśnia lub gruczołu.

przywspółczulny układ nerwowy (parasympatyczny układ nerwowy) – jedna z dwóch części autonomicznego układu nerwowego. Dominuje w trakcie odpoczynku organizmu. Pobudza pracę narządów układu pokarmowego (sprzyjając trawieniu pokarmu i magazynowaniu substancji zapasowych) i hamuje pracę innych narządów.

reakcja egzoergiczna – reakcja chemiczna przebiegająca z wydzielaniem energii.

reakcja endoergiczna – reakcja chemiczna przebiegająca z pochłanianiem energii.

renina – hormon i enzym wytwarzany w nerkach. Oddziałuje na jedno z białek osocza, przekształcając je w angiotensynę, która podnosi ciśnienie krwi i tym samym zwiększa intensywność filtracji w nerkach.

resorpcja – wchłanianie różnych substancji do krwi lub limfy m.in. przez powierzchnię skóry, błon śluzowych, ścianę pęcherzyków płucnych i kanalików nerkowych. Może odbywać się przez dyfuzję, osmozę, transport aktywny, fagocytozę oraz pino-cytozę.

resorpcja zwrotna (wchłanianie zwrotne) – wybiórcze usuwanie substancji z moczu pierwotnego i transport tych substancji do krwi. Zachodzi w kanalikach krętych oraz pętli nefronu, powoduje zagęszczenie moczu i zmianę jego składu. W jej wyniku powstaje mocz ostateczny.

rodopsyna (czerwień wzrokowa) – światłoczuły barwnik występujący w pręcikach siatkówki oka kręgowców. W reakcji na światło ulega przemianom, które doprowadzają do powstania impulsu nerwowego.

rozwój osobniczy – patrz ontogeneza.

rozwój zarodkowy – patrz embriogeneza.

samożywne organizmy – patrz autotrofy.

sarkolemma – błona komórkowa komórki lub włókna mięśniowych.

sarkomer – podstawowa jednostka funkcjonalna mięśnia poprzecznie prążkowanego. Odcinek zawarty między dwiema sąsiednimi liniami Z.

sarkoplazma – cytoplazma komórki lub włókna mięśniowego.

serotonina – substancja o charakterze aminokwasowym (pochodna tryptofanu), neuroprzebieżnik w ośrodkowym układzie nerwowym.

somatyczny układ nerwowy – część układu nerwowego odpowiadająca za kontakty organizmu ze środowiskiem zewnętrznym i szybkie reagowanie na zmiany zachodzące w tym środowisku. Unierwia mięśnie szkieletowe, jego działanie w znacznej mierze podlega woli. Wraz z autonomicznym układem nerwowym tworzy obwodowy układ nerwowy.

spermatoцит – komórka powstająca podczas spermatogenezy. Daje początek spermatom, które różnią się w plemnik.

spermatogeneza – proces wytwarzania gamet męskich (plemników).

spermatyda – niedojrzała męska komórka rozrodcza przekształcająca się w plemnik. Powstaje podczas spermatogenezy na skutek podziału mejozytycznego.

spoidło wielkie mózgu (ciało modzelowate) – duże pasmo włókien nerwowych (istota biała) łączących półkule mózgowe. Jest największym spoidłem mózgu, występuje tylko u ssaków łożyskowych.

sympatyczny układ nerwowy – patrz współczulny układ nerwowy.

śródbłonek – nabłonek jednowarstwowo płaski wyściełający jamy serca oraz naczyń krwionośnych i limfatycznych. Syntetyzuje i wydzielą prostaglandyny.

testosteron – męski hormon płciowy wytwarzany przez jądra, a także w niewielkich

ilościach przez korę nadnerczy, jajniki i łożysko. Wpływa na rozwój i utrzymanie drugo- i trzeciorzędowych męskich cech płciowych.

tonus – patrz napięcie mięśniowe.

transformacja nowotworowa – przekształcenie się komórki prawidłowej w komórkę nowotworową. Jej przyczyną są mutacje w obrębie genów biorących udział w regulacji cyklu komórkowego.

trombina – enzym biorący udział w krzepnięciu krwi. Powstaje z zawartej w osoczu krwi protrombiny i powoduje przemianę rozpuszczalnego białka fibrynogenu w nierozpuszczalną fibrynę stanowiącą rusztowanie skrzepu.

tyroksyna – główny hormon wydzielany przez tarczycę. Wpływa na metabolizm, m.in. pobudza procesy utleniania, przyspiesza rozkład tłuszczów do glicerolu i kwasów tłuszczowych, zwiększa wchłanianie glukozy z przewodu pokarmowego i jej wykorzystanie przez komórki. Hormon niezbędny do dojrzewania ośrodkowego układu nerwowego.

ubichinon (koenzym Q, CoQ) – składnik łańcucha oddechowego pobierający i oddający elektrony; występuje u bakterii, roślin i zwierząt.

układ limbiczny – zespół struktur korowych i podkorowych mózgowia tworzących układ czynnościowy odpowiadający za zachowania (w tym seksualne), podejmowanie decyzji, emocje, motywacje i kształtowanie osobowości, a także zapamiętywanie i rytmy biologiczne.

wazopresyna (hormon antydiuretyczny) – hormon wytwarzany w podwzgórzu, a uwalniany przez tylny płat przysadki. Powoduje zagęszczanie moczu przez wzmożoną resorpcję wody w kanalikach nefronu.

wchłanianie zwrotne – patrz resorpcja zwrotna.

węzeł zatokowo-przedsionkowy – nadrzędny ośrodek automatyzmu serca znajdujący się w tylnej ścianie prawego przedsionka. Tworzy go grupa wyspecjalizowanych komórek mięśniowych, które dostarczają bodźców wyzwalających skurcze serca. Fizjologiczny rozrusznik serca.

widmo absorpcji – miara ilości światła o określonej długości, które zostaje pochłonięte podczas jego przechodzenia przez określoną substancję. Każdy związek chemiczny ma charakterystyczne dla siebie widmo absorpcji.

witaminy – organiczne związki chemiczne, których niewielkie ilości są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Najczęściej wchodzi w skład enzymów jako koenzymy. Nie są syntetyzowane w organizmie człowieka, dlatego muszą być dostarczane z pożywieniem.

włókien – patrz fibryna.

współczulny układ nerwowy (sympatyczny układ nerwowy) – jedna z dwóch części autonomicznego układu nerwowego. Dominuje w sytuacjach stresowych, przygotowując organizm do walki lub

ucieczki. Przyspiesza akcję serca, rozszerza oskrzela, pobudza rozkład glikogenu w wątrobie i zwiększa uwalnianie glukozy do krwi, hamuje pracę żołądka i jelit.

wyspy Langerhansa – patrz wyspy trzustki.

wyspy trzustki – gruczoł wydzielania wewnętrznego (gruczoł dokrewny) w postaci skupień komórek rozrzuconych w miąższu trzustki. Produkuje insulinę (komórki B) i glukagon (komórki A) – hormony, które regulują poziom glukozy we krwi.

zakrzep – skrzep krwi utworzony w świetle nieprzerwanego naczynia krwionośnego. Prowadzi do częściowego lub całkowitego zamknięcia światła naczynia, a w konsekwencji do martwicy tkanek pozbawionych dopływu krwi.

zapalenie – reakcja organizmu na czynnik uszkadzający (biologiczny, chemiczny lub fizyczny), objawiająca się miejscowym zaczerwienieniem, wzrostem temperatury, obrzękiem i bólem. Podłożem objawów jest rozszerzenie naczyń krwionośnych i zwiększenie ich przepuszczalności, co umożliwiła przedostanie się komórek układu

odpornościowego do zaatakowanej tkanki. Zmiany związane z zapaleniem zachodzą pod wpływem histaminy.

zastawki – błoniaste fałdy zapewniające jednokierunkowy przepływ krwi w sercu i naczyniach żylnych oraz limfy w naczyniach limfatycznych.

zwój nerwowy – skupisko ciał komórek nerwowych w obwodowym układzie nerwowym.

żółć – płynna wydzielina wątroby niezbędna do trawienia i wchłaniania tłuszczów.

Literatura uzupełniająca

- Agur A.M.R., Lee M.J., Grant. *Atlas anatomii*, Górnicki Wydawnictwo Medyczne, Wrocław 2002.
- Alberts B. i in., *Podstawy biologii komórki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- Bartel H., *Embriologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2010.
- Berg J.M. i in., *Biochemia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
- Brook C.H., Marchall N., *Podstawy endokrynologii*, Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2000.
- Bryszewska M., Leyko W. (red.), *Biofizyka dla biologów*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1997.
- Campbell N.A. i in., *Biologia*, Dom Wydawniczy REBIS, Poznań 2012.
- Cichoński T., Litwin J.A., Mirecka J., *Kompedium histologii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 2002.
- Drewa G., Ferenc T. (red.), *Genetyka medyczna*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2011.
- Epstein R.J., *Biologia molekularna człowieka*, Wydawnictwo Czelej, Lublin 2005.
- Feneis H., *Ilustrowana anatomia człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2007.
- Gołąb J., Jakóbiński M., Lasek W., Stokłosa T. (red.), *Immunologia*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- Górska T., Grabowska A., Zagrodzka J. (red.), *Mózg a zachowanie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
- Hoser P., *Anatomia i fizjologia człowieka*, WSiP, Warszawa 1995.
- Jabłow M.M., *Anoreksja, bulimia, otyłość*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2000.
- Janicki K. (red.), *Domowy poradnik medyczny*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2008.
- Jura C., Krzanowska H., *Leksykon biologiczny*, Wiedza Powszechna, Warszawa 1992.
- Konturek S., *Fizjologia człowieka t. I – IV*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków b.d.
- Krechowiecki A., Czerwiński F., *Zarys anatomii człowieka*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004.
- Lewak S., Kopcewicz J., *Fizjologia roślin. Wprowadzenie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2009.
- McMillan B., *Wielki atlas anatomii człowieka*, BUCHMANN, Warszawa 2009.
- Michajlik A., Bartnikowska E., *Chroń serce przed chorobą wieńcową i zawałem*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001.
- Mindell E., *Biblia witamin*, Muza S.A., Warszawa 1996.
- Murray R.K., Granner D. K., Rodwell V.W., *Biochemia Harpera ilustrowana*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2010.
- Putza R., Pabsta R. (red.), *Atlas anatomii człowieka Sobotta*, Urban & Partner, Wrocław 2001.
- Roberts R., Shettles L.B., *Od poczęcia do narodzin*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 1998.
- Salysers A.A., Whitt D.D., *Mikrobiologia. Różnorodność, chorobotwórczość i środowisko*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- Sawicki W., *Histologia*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, 2009.
- Schmidt-Nielsen K., *Fizjologia zwierząt. Adaptacja do środowiska*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- Sikorski Z., Drozdowski B., Samotus B., Pałasiński M., *Chemia żywności*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998.
- Solomon E.P., Berg L.R., Martin D.W., Vile C.A., *Biologia*, MULTICO Oficyna Wydawnicza, Warszawa 2011.
- Traczyk W.Z., Trzebski A. (red.), *Fizjologia człowieka z elementami fizjologii stosowanej i klinicznej*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2004.
- Ziemlański S. (red.), *Normy żywienia człowieka. Fizjologiczne podstawy*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2001.

Indeks

A

acetylokoenzym A (acetylo-CoA) 11, 37, 38, 40, 41, 49–51, 54, 55, 57, 143, 402
 adenozynodifosforan p. ADP
 adenylozynomonofosforan, p. AMP
 adenylozynotrifosforan, p. ATP
 adrenalina 260, 278, 280, 321, 323, 330, 332, 333, 392, 402
 ADP (adenozynodifosforan) 7, 8, 17, 26–28, 40, 41, 50, 52, 104–106, 117, 403
 aglutynacja 188, 189
 AIDS 174, 224, 225, 229, 362, 377, 379, 387
 akomodacja oka 296–299, 302, 311
 akrosom 343, 344, 352
 akromegalia 322, 402
 akson (neuryt) 107, 108, 254, 255, 257–260, 267, 285, 297, 298, 305, 402
 aktyna 102, 104, 117, 402
 albuminy 184, 186
 aldehyd 3-fosfoglicerynowy 25, 27, 38, 40, 49, 64
 aldosteron 239, 240, 402
 alergia 75, 173, 223, 226, 227, 229, 402
 alkoholizm 377, 390, 395
 aminopeptydazy 139, 153
 amoniak 35, 36, 49–51, 143, 236, 246, 402
 AMP (adenozynomonofosforan) 7, 50, 330
 amylaza 274, 287, 402
 – ślinowa 10, 14, 138, 139, 152, 153
 – jelitowa 139, 153
 – trzustkowa 139, 153
 anabolizm 6, 52, 402
 androgeny 342
 anemia, p. niedokrwistość
 angiogeneza 385, 386
 anoreksja (jadłowstręt psychiczny) 144, 145, 153, 282
 anteny energetyczne 22, 23
 antygeny 188, 189, 213–223, 226, 228, 229, 402, 404–406
 – zgodności tkankowej (MHC) 220, 221, 223, 227
 – prezentacja antygeny 220
 antykoncepcja 362, 392,
 antyokogeny 384, 386,
 antywitamiны 14, 129, 132
 apoenzym 10, 11, 52, 402
 astma oskrzelowa 171–173, 177, 226
 astrocyty 254, 266
 ATP (adenozynotrifosforan) 6–9, 16, 17, 23–27, 35, 37–41, 44–46, 50–55, 104–106, 167, 256, 258, 330, 402
 ATP-aza 106
 autoagresja 216, 223
 autoantygeny 220
 autotrofy 8, 20, 129, 402
 awitaminoza 129–131

B

bakteriochlorofil 21
 bariera łożyskowa 357, 358
 barwniki fotosyntetyczne 8, 21–23
 bazofole 86, 226, 402, 403
 beta-karoten (β-karoten) 129, 130
 beta-oksydacja (β-oksydacja) 6, 49, 62, 66
 białaczka 201, 207, 383
 bilans wodny 133
 błędnik 304–306, 312
 błona(y)

 – bębenkowa 303–306, 312
 – biaława 341,
 – płodowa 356, 357, 359, 368, 404
 błonnik 128, 151, 387
 bruzdkowanie 353, 354, 368
 bulimia 145, 153, 282

C

celiakia 150, 153
 celuloza 127, 142
 chemoreceptory 165, 309, 311, 316
 chemosynteza 6, 20, 35, 36, 52, 53, 402
 chłonka, p. limfa
 cholesterol 69, 127–129, 141, 142, 186, 202, 203, 207, 330, 332, 357
 choroba(y)
 – Addisona 323
 – Alzheimera 282, 287
 – autoimmunizacyjne (z autoagresji) 223, 229, 287, 377, 402
 – cywilizacyjne 146, 201, 377
 – dekompresyjna (kesonowa) 169, 377
 – Gravesa-Basedowa 322
 – kesonowa, p. dekompresyjna
 – Parkinsona 282, 287
 – społeczne 377
 chrząstkozrosty 91, 97, 116
 chylomikrony 141
 chymotrypsyna 18, 139, 153
 ciało
 – nerkowe 237, 240, 247
 – żółte 323, 333, 348, 349, 351, 357, 367, 402, 403, 406
 ciało(a)
 – ketonowe 241, 244
 – modelowate, p. spoidło wielkie
 – mózgu
 – szkliste 294–297
 ciśnienie
 – atmosferyczne 20, 93, 163–165, 168–170, 177, 304, 377
 – cząstkowe, p. parcjalne
 – krwi 66, 68, 100, 115, 117, 134, 148, 184, 187, 188, 190, 196, 197, 207, 227, 238, 240, 243, 247, 274, 278, 283, 286, 300, 323, 333, 391, 402, 406
 – parcjalne (cząstkowe) 165–170, 176
 cukrzyca 49, 114, 146, 174, 202, 223, 229, 241, 242, 244, 323–325, 363, 377, 402
 cykl(e)
 – Calvina 23, 25–29, 53, 402
 – Krebsa 37, 38, 40–42, 49–51, 54, 55, 131, 143, 402
 – miesięczkowy 116, 323, 345, 347–351, 403, 405
 – mocznikowy 50, 55, 236
 – pracy serca 196, 197
 cytokiny 215, 216, 220, 226, 229
 czerniak 75–77, 81

D

deaminacja 49, 50, 55, 143, 236, 402
 dekarboksylacja 28, 38, 46
 denaturacja białek 13, 37
 dendryty 71, 254, 255, 257, 259, 260, 267, 269, 285, 406
 depolaryzacja 256–258, 260, 285, 402
 depresja 114, 131, 277, 280, 281, 287
 diagnostyka prenatalna 356, 358
 dializa 243
 dinukleotyd flawinoadeninowy, p. FAD
 dinukleotyd nikotynamidoadeninowy, p. NAD⁺

dług tlenowy 106, 114, 403
 dopamina 260, 282, 287, 329, 390, 392, 405
 doping 114, 115
 droga nerwowa 261, 264, 269, 286, 404
 dystrofia Duchenne'a 111

E

EEG, p. elektroencefalografia
 efektor 256, 269, 270, 285, 286, 403, 404, 405
 EKG, p. elektrokardiografia
 ektoderma 353, 354, 403
 elektroencefalografia (EEG)
 elektrokardiografia (EKG)
 endoderma 353, 354, 403
 endometrium 345, 348, 349, 403
 energia aktywacji 10, 12, 403
 enzymy
 – hydrolityczne 342
 – proteolityczne 16–18, 139
 – trawienne 14, 18, 64, 137–139, 320, 321
 eozynofile 186, 226, 403
 erytrocyty (krwinki czerwone) 44, 48, 49, 115, 128, 143, 166, 167, 169, 176, 184–186, 188, 189, 198, 201, 205, 207, 240, 241, 244, 246, 403
 erytropoetyna 115, 240, 246, 320
 estrogeny 112, 321, 323, 332, 333, 345, 348–351, 357, 384, 403

F

FAD 9, 10, 38, 40, 52, 54, 130
 FADH₂ 9, 10, 38, 39, 40, 42, 49, 51, 52, 54, 402
 fagocytoza 185, 186, 205, 214, 215, 217, 228, 229, 404, 406
 fermentacja 8, 44, 45–47, 52, 55, 106, 403
 fibryna (włóknik) 187, 403, 406
 fikocyjanina 21
 fikoerytryna 21
 filtracja 238, 240, 247, 406
 fosfokreatyna 105, 106, 403
 fosfolipidy 127, 141, 142
 fosforylacja
 – fotosyntetyczna 8, 23, 24, 25, 52, 403
 – oksydacyjna 8, 39, 52, 403
 – substratowa 8, 38, 52, 403
 fotoliza 24, 25, 53, 403
 fotooddychanie 25, 28, 29, 33, 403
 fotooddech, p. fotooddychanie
 fotosynteza 6, 9, 16, 20–23, 25–34, 52–54, 402, 403
 fotosystem 22–27, 53, 403

G

gąłka oczna 100, 108, 294–296, 299, 301, 311, 312
 gastrulacja 353, 368
 gigantyzm 322
 glicerol 48, 49, 55, 106, 127, 128, 136, 139–141, 143, 153, 406
 glikogen 16, 48, 102, 106, 107, 127, 138, 142–144, 151, 153, 274, 278, 323, 326, 333, 402, 403, 407
 glikoliza 37, 38, 40, 42, 44, 46, 49, 54, 55, 167, 403
 glikokortykosteroidy 323
 glukagon 152, 321, 323, 326, 330, 333
 glukoneogeneza 48, 55
 glukoza 20, 21, 37, 38, 40, 42, 44, 45, 48, 49, 51, 54, 55, 66, 68, 80, 106,

127, 128, 131, 136, 139, 141–143, 163, 186, 238, 239, 241, 244, 247, 265, 266, 274, 278, 279, 282, 284, 287, 322–326, 333, 357, 402, 403, 406, 407

głośnia 160, 176

gonadotropiny 329, 357

gonady, p. gruczoły płciowe

granulocyty 185, 186, 205, 214–217, 220, 228, 229, 344

grasica 198, 199, 205–207, 214, 223, 229, 321, 322, 327, 333, 403

gruczoły(y)

- dokrewne, p. gruczoły wydzielania wewnętrznego
- krokowy (prostata) 115, 342, 366, 367, 385, 388
- łojowe 70–73, 75, 81, 114, 403
- mlekowe (sutkowe) 70, 72, 73, 81, 322, 329, 330, 333, 345, 349, 357, 403, 406
- opuszkowo-cewkowe 342, 367
- płciowe (gonady) 308, 321, 322, 333, 340, 346, 356, 368
- potowe 69–73, 81, 403
- sutkowe p. mlekowe
- ślinowe 138, 145
- wydzielania wewnętrznego (dokrewne, wewnątrzwydzielnicze) 184, 198, 200, 206, 286, 308, 320, 321, 326, 328, 331–333, 340, 345, 357, 402, 403, 407

grupa krwi 188, 189

grupa prostetyczna 10, 11, 52, 404

H

hamowanie nieodwracalne 14

hamowanie odwracalne 14

hematokryt 184, 186

hemoglobina 10, 11, 102, 130, 131, 135, 142, 143, 166–170, 176, 186, 201, 236, 402, 403, 404

hiperpolarizacja 260

hiperwitaminoza 129–132

hipowitaminoza 129

histamina 215, 216, 220, 226, 227, 229, 260, 320, 402–404, 407

HIV 224, 225, 229, 358, 379, 384

hormony(y)

- adrenokortykotropowy 279
- antydiuretyczny, p. wazopresyna
- białkowe 333
- folikulotropowy 348, 351
- gonadotropowe 351
- luteinizujący 348, 351, 403
- melanotropowy, p. melanotropina
- steroidowe 239, 245, 247, 330, 332, 333
- tkankowe 320, 332, 402, 403
- tropowe 322, 328, 331–334, 348, 357, 403
- tyreotropowy, p. tyreotropina
- wzrostu 322, 329

I

immunoglobuliny (Ig) 184, 215, 216, 229, 406

immunologia 223

implantacja 349, 353, 354, 368, 403, 406

inhibitory kompetycyjne 14, 15

inhibitory niekompetycyjne 14, 15

insulina 152, 184, 223, 229, 274, 287, 321, 323–326, 330, 332, 333, 391, 407

interferony 185, 205, 216, 217, 228, 229, 404

istota biała 261–263, 265, 286, 406

istota szara 261–265, 286, 406

izomerazy 16

J

jadłowstręt psychiczny, p. anoreksja

jajniki 65, 321, 323, 328, 330, 333, 345–351, 362, 367, 403, 405, 406

jajowody 342, 345–349, 352, 367, 368, 378, 380, 382, 392, 394, 404, 406

jaskra 300, 301, 312

jelitto

- czcze 138, 139, 152, 153
- kręte 138, 139, 152
- ślepe 142, 152

K

kalcytonina 321, 322, 326, 327, 330, 333, 404, 405

kamica żółciowa 145, 153

kamyczki błędnikowe (otolity)

kanalik(i)

- kręty 237, 238, 247, 406
- nasienne 341, 342

kanały poikoliste 303, 304–306, 311, 312

kapacytacja 352

karbaminohemoglobina 167, 176

karboksypeptydazy 139, 153

karłowatość przysadkowa 322

karotenoidy 21, 22

katabolizm 6, 52, 404

katalizator 10, 12, 403

kifoza 95, 110

koenzym (y) 10, 11, 52, 130, 404

koenzym A 11, 38, 49, 131

kofaktor 10, 11, 52, 404

kolagen 88, 131

komórka(i)

- jajowa 344–347, 349, 352, 353, 367, 368, 406
- Leydiga 323, 342
- NK 215–217, 228, 229
- pamięci 219, 220, 222, 405
- podporowe, p. Sertoliego
- Schwanna 254
- Sertoliego (podporowe) 342
- tuczne (mastocyty) 214–216, 220, 226, 229, 404

konflikt serologiczny 189, 357

kora mózgowa 264, 278, 282, 287, 297, 404

kosmki jelitowe 138, 141, 142, 150

kosmówka 353, 356, 368, 404

kościczki słuchowe 94, 303, 306, 312

kośćciostrosty 91, 94, 116

krążenie wieńcowe 197

krążenie wrotne 404

kresomózgowie 261, 262, 264, 286, 404

krwinki

- białe, p. leukocyty
- czerwone, p. erytrocyty

krwiobieg 142, 143, 193, 198, 206, 227

ksantofil 21

kubki smakowe 309, 311

kwas(y)

- 3-fosfoglicerynowy 25
- mlekowy 45, 46, 48, 55, 73, 106
- moczowy 50, 73, 236, 239, 246, 404
- pirogronowy 45, 48
- żółciowe 128, 139

– jajowa 344–347, 349, 352, 353, 367, 368, 406

– Leydiga 323, 342

– NK 215–217, 228, 229

– pamięci 219, 220, 222, 405

– podporowe, p. Sertoliego

– Schwanna 254

– Sertoliego (podporowe) 342

– tuczne (mastocyty) 214–216, 220, 226, 229, 404

konflikt serologiczny 189, 357

kora mózgowa 264, 278, 282, 287, 297, 404

kosmki jelitowe 138, 141, 142, 150

kosmówka 353, 356, 368, 404

kościczki słuchowe 94, 303, 306, 312

kośćciostrosty 91, 94, 116

krążenie wieńcowe 197

krążenie wrotne 404

kresomózgowie 261, 262, 264, 286, 404

krwinki

- białe, p. leukocyty
- czerwone, p. erytrocyty

krwiobieg 142, 143, 193, 198, 206, 227

ksantofil 21

kubki smakowe 309, 311

kwas(y)

- 3-fosfoglicerynowy 25
- mlekowy 45, 46, 48, 55, 73, 106
- moczowy 50, 73, 236, 239, 246, 404
- pirogronowy 45, 48
- żółciowe 128, 139

L

leukocyty (krwinki białe) 184–186, 205, 207, 216, 220, 228, 229, 241, 244, 402–404

liazy 16

liberyny 263, 328, 331, 332, 351

limfa (chłonka) 65, 102, 117, 133, 136, 139, 141, 143, 198–200, 206, 207, 214, 320, 383, 385

limfocyty 207, 265, 344, 404

- B 185, 186, 198, 199, 205, 206, 214–217, 219, 220, 222–224, 226,

228, 229, 404–406

- T 185, 186, 198, 205, 206, 214–220, 222–224, 226, 228, 229, 322, 333, 404–406

lipazy 138, 139, 153

lordoza 95, 110

Ł

łańcuch oddechowy 8, 37–42, 49, 51, 52, 54, 402, 403, 406

łojotok 75, 114, 130, 131

łożysko 165, 168, 216, 221, 228, 323, 333, 349, 356, 357, 359, 363, 368, 378, 380, 382, 392, 394, 404, 406

łuk odruchowy 269, 286, 404

M

makrofagi 185, 214–219, 224, 226, 228, 229, 404

mastocyty, p. komórki tuczne

mechanoreceptory 303, 311, 404

melaniny 69, 72, 75, 404

melanotropina (hormon melanotropowy) 329, 330

melatonina 321, 322, 330, 332, 333

metabolizm 6, 16, 129, 130, 142, 184, 203, 236, 239, 244, 265, 322, 333, 386, 389, 391, 404

mezoderma 353, 354, 403

miążdżycza 146, 202–204, 207, 277, 279, 392

miedniczka nerkowa 237, 239, 246

międmózgowie 261, 264, 286, 328

mięsień(śnie)

- rzęskowy 296, 297, 302, 311
- szkieletowe 44–46, 48, 49, 55, 67, 88, 100–105, 107–109, 117, 135, 168, 191, 263, 269, 273, 274, 278, 283, 286, 322, 323, 402, 403, 406

mineralokortykosteroidy 323, 333, 404

miofibryle 100, 103, 117

miofilamenty 102, 103, 117

mioglobina 102, 106, 107, 168, 404

miozyna 102–104, 117, 402

mocznicza 242

mocznik 49–51, 55, 65, 69, 73, 143, 236, 238, 239, 246, 404

moczowód 237, 239, 246, 247

model indukowanego dopasowania 12

model klucza i zamka 12

monocyty 185, 186, 205, 206, 215, 217, 229, 265, 404

morula 353, 354, 368, 404

mózg 261, 262, 266, 296, 305, 306, 308, 357, 383, 391–393

mózgowie 65, 66, 94, 95, 165, 254, 255, 256, 261, 263–266, 268, 269, 282, 285, 286, 323, 353, 405

mózdzek 261–263, 286, 306, 321

N

naczyniówka 295, 296, 311

NAD⁺ 9–11, 38, 40, 41, 44, 52, 54, 130

nadciśnienie tętnicze 146, 164, 202, 204, 207, 242, 277, 279, 323

NADH + H⁺ 9, 35, 38–42, 44, 45, 49, 51–54

nadnercza 131, 239, 245, 278, 279, 308, 321–323, 330, 333, 402–404, 406

NADP⁺ 9, 10, 24–27, 53

NADPH + H⁺ 9, 23–28, 35, 52, 53

nagłośnia 138, 161, 176

narząd(y)

- limfatyczne
- równowagi 305, 306, 312
- słuchu 263, 303, 305, 308, 312
- smaku 309, 310
- spiralny (Cortiego) 305, 306, 311, 312

- węchu 310
- wzroku 204, 294, 307, 366
- nasienie (sperma) 237, 247, 340-342, 344-346, 352, 362, 363
- naskórek 65, 69-73, 75, 76, 78-81
- nefron 237-239, 242, 245-247, 405, 406
- nerw(y)
 - czaszkowe 254, 267, 268, 273, 275, 285, 286, 405
 - czuciowe 267, 286, 405
 - mieszane 267, 286, 405
 - rdzeniowe 254, 267, 268, 273, 275, 285, 286, 405
 - ruchowe 267, 286, 405
 - wzrokowy 294-298, 300, 301, 311, 312
- neurofibryle 254
- neurohormony 320
- neuron 229, 254-261, 263, 265-267, 269, 270, 273, 282, 283, 285-287, 320, 328,
- neuroprzekaźnik 257, 259, 260, 266, 280-282, 285, 320, 390, 406
- neuryt, p. akson
- neutrofile 185, 186, 406
- niedoczulica 267
- niedokrwistość (anemia) 130, 131, 149, 201, 207, 242, 402
- niewydolność nerek 241-244
- NNKT (niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe) 127, 128
- noradrenalina 260, 275, 278, 280, 323, 330, 333, 405
- nowotwory złośliwe 146, 175, 383, 384, 387, 388
- nukleazy 139, 153

O

- odbytница 142, 152, 387
- oddychanie 6, 43, 54, 174, 177, 227, 270, 283, 392, 405
 - beztlenowe 44, 55, 106, 342, 405
 - komórkowe 6, 8, 9, 14, 16, 37, 43, 48, 52, 54, 106, 130, 160, 163, 166, 167, 236, 246, 403, 405
 - tlenowe 25, 37-46, 50, 54, 106, 107, 130, 135, 402
- odporność 70, 73, 75, 118, 131, 144, 174, 177, 184, 206, 216-218, 220-223, 228, 323, 333, 361, 368, 378, 380, 381, 385, 395, 405
- odruch(y) 269, 306, 405
 - bezwarunkowy 265, 269, 270, 287
 - obronny 216, 217, 228, 264, 269, 270
 - warunkowy 269-271, 287
 - zachowawczy 270
- okienko owalne 304-306, 312
- okrężnica 44, 142, 152
- oksyhemoglobina 166, 167, 176
- oksytocyyna 263, 328-330, 332, 357, 359, 405
- omocznia 356, 368
- onkogeny 384, 405
- ontogeneza 352, 368, 405, 406
- oogeneza 347, 367, 402, 405
- opłucna 164
- opony mózgowia 265, 266, 405
- opony rdzeniowe 265, 266, 405
- opryszczka wargowa 78, 81
- organogeneza 353, 354, 368
- osłonka(i)
 - przejrzysta 348, 352-354, 405
 - Schwanna 254
 - mielinowa 223, 255, 259, 267, 282, 287, 405
- osocze 92, 143, 152, 165-167, 176, 184, 185, 187, 188, 200, 205, 207, 216, 238, 240, 242, 244, 246, 247, 265

- osteon 90
- osteoporoza 112-114, 118, 130, 135
- osrodek
 - głodu i sytości 261
 - oddechowy 165, 264, 359
- otyłość 114, 128, 144, 146, 147, 202, 324
- owodnia 356, 359, 368
- owulacja 284, 322, 347, 348, 351, 354, 362, 363, 367, 406

P

- padaczka 131, 283, 287
- pajęczynówka 265, 266, 405
- pamięć immunologiczna 222
- parathormon 239, 321, 322, 326, 327, 330, 333, 404, 405
- pepsyna 10, 11, 14, 16, 17, 18, 138, 139, 145, 152, 153
- perykaron 254, 255, 260
- pęcherz moczowy 98, 237, 239, 244, 245, 247, 274, 287, 387, 392
- pęcherzyk(i)
 - Graafa 333, 348, 349, 351, 367
 - płucne 161, 162, 164, 166, 172, 176, 355
 - żółciowy 114, 142, 145
 - żółtkowy 356, 368
- pętla Henlego 237, 238, 246, 405
- pień mózgu 261, 263, 274, 286
- pierwotny akceptor elektronów 21-24
- plamka ślepa 295, 296
- plamka żółta 296
- plazmocyty 219, 226, 228
- pląskostopie 110, 111
- płyn mózgowo-rdzeniowy 265, 266, 405
- płytki krwi 184-186, 204, 205, 207
- pnie współcześnie 273, 274
- pobudliwość 100, 135, 256, 322, 359
- pochwa 342, 345, 346, 359, 363, 366, 367
- podpuszczka, p. rennina
- podwzgórze 66, 134, 239, 240, 261, 263, 264, 276, 278-280, 282, 284, 286, 321, 328-332, 348, 349, 351, 405, 406
- pojemność płuc 110, 164, 165, 173
- polaryzacja 134, 256-260, 285, 352
- pompa sodowo-potasowa 256-259
- potencjał czynnościowy 256, 257, 285, 406
- potencjał spoczynkowy 256, 406
- prezentacja antygenu 220, 228, 229
- progesteron 321, 323, 333, 345, 348-351, 357, 402, 403, 406
- prolaktyna 322, 328, 329, 333, 357
- proliferaacja 383, 385
- prostaglandyny 127, 220, 320, 342, 406
- prostate, p. gruczoł krokowy
- proteasom 18
- protoonkogeny 384, 385, 386, 405
- protrombina 130, 143, 152, 184, 187, 406
- prowitamina 111, 129, 130, 132
- próg nerkowy 244
- przeciwciężła 73, 184, 185, 188, 189, 200, 205, 213-223, 225, 226, 228, 229, 357, 380, 403-406
- przepona 100, 138, 163, 164, 177, 359
- przewężenie Ranviera 255, 405
- przewód
 - pokarmowy 44, 65, 66, 94, 126-130, 132, 134, 136-138, 140, 142, 145, 148-150, 152, 153, 160, 184, 198, 200, 216, 244, 283, 308, 320, 322, 327, 333, 378, 379, 391, 392, 395, 403, 406
 - słuchowy 303-306, 312
- prysadka 65, 239, 240, 261, 263, 278,

- 279, 321, 322, 328-333, 348, 349, 351, 359, 402, 403, 405, 406
- przytarczyce 113, 239, 321, 322, 326, 327, 333, 403, 404, 405
- puls, p. tętno

R

- rak
 - płuc 56, 175, 177, 383, 378, 392, 395
 - prostaty 115, 366, 385
 - szyjki macicy 364, 365, 366, 375, 380, 387, 388
- rdzeń kręgowy 65, 95, 142, 223, 229, 239, 254-256, 261, 264-266, 268, 269, 273-275, 282, 285, 286, 353, 405
- rdzeń przedłużony 165, 261, 262-265, 275, 286
- reakcje egzoergiczne 6, 52, 406
- reakcje endoergiczne 6, 52, 406
- receptory(y)
 - bólu 70, 71, 269
 - dotyku 71, 74
 - skóry 307
 - smaku 309
 - termiczne (termoreceptory) 66, 70, 71
 - węchu 160, 310
- refrakcja oka 297-299
- renina 240, 246, 406
- rennina (podpuszczka) 138
- repolaryzacja 256, 257, 259, 285
- resorpcja zwrotna (wchłanianie zwrotne) 134, 238, 239, 247, 406
- reumatyzm 111
- rogówka 130, 227, 294-297, 299, 311, 312
- rozedma płuc 171, 174, 177, 392, 395
- rozwoj postnatalny 352, 360, 368
- rozwoj prenatalny 352, 354, 368
- różyczka 357, 358, 378-380, 394
- RuBisCO 25
- rytmy biologiczne 284
- rzeźączka 363, 366, 378, 379
- rzesistkowica 363, 366, 382

S

- sarkomer 102, 103, 104, 117, 406
- sekrecja (wyzdzielanie) 238, 239, 247
- sen 148, 155, 201, 207, 245, 275, 277, 281, 283, 284, 325, 393
- serce 49, 64, 65, 68, 97, 100, 111, 114, 115, 117, 130, 134, 135, 142, 162, 169, 171, 183, 188, 190, 192, 194-197, 199-207, 227, 264, 268, 273-275, 278, 283, 286, 287, 307, 308, 322-324, 333, 360, 363, 366, 377, 383, 391, 392, 395, 402, 404, 406, 407
- serotonina 186, 205, 260, 280, 405, 406
- siatkówka 294, 295, 296, 297, 298, 299, 311, 312, 406
- siła asymilacyjna 23-28, 35
- skolioza 110, 114
- skóra właściwa 65, 69-81
- smak 138, 269, 293, 309, 310, 311, 409
- soczewka 295-297, 299, 300, 302, 311, 312
- sok
 - jelitowy 139
 - trzustkowy 139, 152, 402
 - żółdkowy 16, 138, 139, 143, 152, 216, 217, 228, 274, 287, 320, 393
- somatotropina, p. hormon wzrostu
- somatotropina kosmówkowa 357
- spermatogeneza 340, 342, 343, 344, 347, 367, 406
- spoidło wielkie mózgu 261, 262, 286, 406

spojówka 130, 294, 295, 302, 311
 sprzężenie zwrotne 17, 66, 80, 328, 351
 starzenie się 75, 146
 statyny 263, 328, 331, 332, 351
 staw 90, 91, 92, 93, 95, 96, 97, 98, 105,
 109, 110, 111, 116, 118, 131
 steroidy anaboliczne 114
 stres 75, 78, 81, 114, 145, 146, 150,
 153, 204, 225, 275, 276, 277, 278,
 279, 280, 287, 376, 390, 394, 406
 stresory 276, 277, 278, 279
 strzęmiączko 94, 303, 304, 305, 312,
 stwardnienie rozsiane 223, 229, 282, 287
 substancje antyodżywcze 129, 132
 surowica
 – krwi 184, 185, 188, 189
 – odpornościowa 221, 228, 405
 synapsy 107, 257, 259–261, 275, 285,
 405
 syntaza ATP 16, 23, 24, 27, 39
 szczepienia 148, 171, 175, 177, 221,
 222, 358, 379–381
 szkielet 65, 87–89, 91, 94, 95, 97–100,
 111, 112, 116, 118, 303, 355
 szlaki metaboliczne 11, 16, 17, 48, 50
 szyszynka 321–333, 403

Ś
 śledziona 186, 198, 199, 205–207, 214,
 229
 ślimak 303–307, 312
 środki dopingujące 114, 115
 śródmózgowie 261, 263, 264, 273, 275,
 276, 282, 286, 287

T
 tarczycza 65, 113, 135, 308, 321, 322,
 326–328, 333, 357, 403, 404, 406
 tchawica 138, 160–162, 176, 321
 termoregulacja 66, 67, 70, 80, 81, 134,
 200, 261, 286, 391
 termoreceptory, p. receptory termiczne
 tasieniczka 149, 378, 382, 394
 testosteron 321, 323, 332, 333, 342,
 357, 406
 tęczówka 295, 296, 300, 311
 tętnice 68, 70, 71, 96, 141, 142, 165,
 190–197, 199, 200, 202–207, 237,
 246, 267, 356, 357
 tętno (puls) 114, 196, 197, 359
 teżec 378, 379, 381, 394
 toksoplazmoza 357, 378, 382, 394
 torebka Bowmana, p. torebka kłębuszka
 torebka kłębuszka (torebka Bowmana)
 237, 238, 246, 247
 transformacja nowotworowa 128,
 383–385, 405, 406
 transfuzja, p. przetaczanie krwi
 transplantacja, p. przeszczepianie
 trąbka Eustachiusza, p. trąbka słuchowa
 trąbka słuchowa (trąbka Eustachiusza)
 303, 304, 312
 trofoblast 353, 354, 402
 trombina 187, 406
 trypsyna 10, 14, 16, 18, 139, 153
 trzustka 18, 64, 137, 139, 152, 223, 229,
 320, 321, 323, 324, 326, 333, 387,
 391, 392, 395, 403
 twaróg 294, 295
 tyłomózgowie wtórne 261, 263, 286
 tymozyna 321, 322, 333
 tyreotropina (hormon tyreotropowy) 328,
 329, 403
 tyroksyna 321, 322, 328, 330, 333, 406

U
 ubikwityna 18
 uczenie się 263–264, 270–271, 286, 393
 udar mózgu 68, 204, 391–392

układ(y)
 – przewodzący serca 194
 – dopęlniacza 215–217, 228–229
 – nagrody i kary 282, 390, 392, 395
 – autonomiczny 253, 267, 273–275,
 285, 287, 331, 402, 406
 – obwodowy 253–254, 267–268, 273,
 285–286, 402, 405–407
 – ośrodkowy 253–256, 260–261, 265,
 267–269, 283, 285–286, 307, 391,
 402, 405–406
 – somatyczny 273, 285, 402, 406
 – podwzgórzowo-przysadkowy 329
 – przywspółczulny 273, 275, 331, 402
 – wrotny 190, 328
 – wrotny przysadki 328
 – współczulny 273, 275, 278, 331,
 402, 406
 utlenowanie 166, 193
 uzależnienie 115, 282, 375, 389–390,
 392–393, 395
 używki 394

W
 wady wrodzone 201, 358
 wazopresyna 239, 240, 263, 328–330,
 332, 406
 wchłanianie zwrotne, p. resorpcja zwrotna
 węch 94, 160, 176, 293, 309–311
 węglowodany, p. sacharydy
 węzły chłonne 65, 77, 174, 186, 198–
 199, 205–207, 214, 229, 363, 383
 WHO 175, 204, 344, 376
 więzadła 91–92, 98, 109, 111, 116, 357
 więzozrosty 91, 94, 116
 witaminy 10–11, 14, 52, 69, 73, 75, 78,
 88, 111–113, 118, 125–127, 129–130,
 132–133, 137, 142, 144, 151–152,
 184, 187, 201–203, 207, 238–240,
 247, 298, 301, 326, 385, 387, 402,
 404, 406
 włosowate naczynia krwionośne 67, 90,
 141, 161, 162, 200, 296, 311
 włosy 65, 67, 70–73, 78, 80–81, 131,
 404
 włosnica 149, 382
 włókna
 – czuciowe 267
 – nerwowe 137, 254–255, 262–263,
 267, 274–275, 405–406
 – ruchowe 267
 włóknik, p. fibryna
 wole endemiczne 322
 wskaźnik Pearl'a 362–363
 wszawica 78, 81, 379, 394
 wścieklizna 378, 380
 wydzielanie, p. sekrecja
 wymiana gazowa 25, 33, 50, 69,
 159–163, 165–166, 168–171, 174,
 176, 193, 357, 392, 405
 WZW 379, 380

Z
 zabiegi immunosupresyjne 227
 zaćma 302, 312
 zamózgowie, p. rdzeń przedłużony
 zanieczyszczenia powietrza 170–171,
 176, 229
 zaplemnienie 340
 zapłodnienie 339, 341–342, 345, 347–
 349, 351–354, 356, 359, 362–363,
 367–368, 403
 zarodek 323, 333, 345–346, 349,
 353–354, 356, 358, 362, 368, 391,
 402–404, 406
 zatrucie pokarmowe 148
 zawał serca 115, 187, 204, 391–392, 395
 zespół
 – abstynencyjny 389, 395

– Cushinga 323
 – płodowy alkoholowy 391, 395
 – płodowy tytoniowy 392, 395
 złamanie 88, 109, 112–113, 118
 zwłknięcie 109, 118
 zwoj nerwowy 78, 267, 273–275,
 285–286, 405–407

Ż
 żrenica 263, 274–275, 286–287,
 295–296, 311

Ż
 żołądek 17, 45, 64, 100, 125, 137–140,
 143, 145, 147, 152–153, 268, 274,
 277, 287, 320, 330, 379, 383, 387,
 391–392, 395, 407
 żółć 137, 139, 142, 145, 152–153, 157,
 274, 287, 407
 żyły 71, 96, 117, 141–142, 152,
 190–195, 197, 199–200, 205–207,
 237, 246, 267, 356–357

Zdjęcia pochodzą ze zbiorów:

BE&W: AGE FOTOSTOCK – Picture Partners s. 221; **ALAMY** – PBWPX s. 70, PYMCA s. 75, Bruce Coleman Inc./Stuard L. Craig Jr. s. 98, Radarfoto s. 107, Charles O. Cecil s. 128, Nataliya Hora s. 170, Phototake/PDSN s. 202; **CUSTOM MEDICAL STOCK PHOTO** – B&B Photos s. 202, Rawlins, PhD s. 353; **OREDIA** – Iajusticia s. 203; **PHOTO RESEARCHERS** – Scimat s. 45, Biophoto Associates s. 71, Don W. Fawcett s. 108, Science Source/Scott Camazine s. 174, Science Source/Anatomical Travelogue s. 255; **PHOTOTAKE** – MicroScan s. 72, 87, 112, ISM s. 73, 77, 109, Scott Camazine s. 113, Dennis Kunkel Microscopy s. 183, 358, CNRI s. 203, Institut Pasteur s. 215, Dr. Gopal Murti s. 220, ISM s. 263, 284; **PRISMA** – Markus Bolliger s. 31; **DIGITOUCH:** Arkadiusz Belica s. 300; **DIOMEDIA:** SCIENCE PHOTO LIBRARY RM – NOAA s. 36, Ami Images s.44, Custom Medical Stock Photo/Richard Wehr s. 63, 70, Astrid & Hans-Frieder Michler s. 71, Steve Gschmeisner s. 72, 73, 185, 218, 375, CNRI s. 73, 187, AJ Photo/Hop American s. 77, 283, Phil Jude s. 77, Eye Of Science s. 78, Science Photo Library RM s. 88, Du Cane Medical Imaging Ltd. s. 109, Department Of Anatomy/University of Rome/Prof P. Motta s. 112, 342, Susumu Nishinaga s. 125, 185, 235, 293, 305, Professors P. Motta & F. Magliocca s. 150, University "La Sapienza" Rome/Correr & Nottola/Professor P. Motta s. 159, 161, Innerspace Imaging s. 162, Zephyr s. 163, Health Protection Agency/A. Dowsett s. 174, NIBSC s. 185, Peter Arnold Inc./Manfred Kage s. 215, Eye of Science s. 224, Ramon Andrade 3dciencia s. 319, Professor P. Motta & E. Vizza s. 349, Midland Fertility Services/Andy Walker s. 353, Edelmann s. 356, Saturn Stills s. 359, Mauro Fermariello s. 362, Dr E. Walker s. 365, Dr Kari Lounatmaa s. 366; **BSIP** s. 173, 301; Photo Researchers / David M. Phillips s. 339, 353; **EAST NEWS:** Rex Features s. 145; **FLASH PRESS MEDIA/GETTY IMAGES:** Peter Arnold Inc./Ed Reschke s. 71, Stock4B/Isu s. 221; **FOTOCHANNELS.COM/** **CORBIS:** Tim Tadder (okładka), Yann Arthus-Bertrand s. 13, Visuals Unlimited s. 46, Alan Schein Photography s. 76-77, TempSport/Frederic Haslin s. 107, Rolf Bruderer s. 147, Lester V. Bergman s. 262, Visuals Unlimited/Dr. David Phillips s. 353; **MEDIUM:** Visuals Unlimited Inc. s. 366; **SHUTTERSTOCK.COM:** Teresa Smith s. 31, Peter Bernik s. 46, Istvan Csak s. 114, Arthography s. 127, Bienchen-s s. 127, Buhantsov Alexey s. 127, Lasse Kristensen s. 127, Tamara Kulikova s. 127, Tomo Jesenicnik s. 127, LehaKoK s. 169, g215 s. 173, Dagmara Ponikiewska s. 221, Tomasz Trojanowski s. 221, Sebastian Kaulitzki s. 253, 278, Yuri Arcurs s. 297, 307, Edyta Pawlowska s. 297, 360, amrita s. 307, aquatic creature s. 307, Dominique Landau s. 307, Sascha Hahn s. 307, Dmitry Lobanov s. 325, Jiri Hera s. 360, aporokh at gmail dot com s. 360, Olga Sapegina s. 360, matka_Warłalka s. 360, konstantynov s. 360, Minerva Studio s. 361, Radu Razvan s. 361, dream designs s. 364; **THINKSTOCK.COM:** iStockphoto s. 112, 284, Brand X Pictures/Jupiterimages s. 308 oraz Marek Czasnojc s. 45, Joanna Stawarz s. 358, Ewelina i Bogdan Warłkowiczowie s. 298, Witold Ziemiak s. 145.

Matura-ROM

Rozpocznij przygotowanie do matury!

Wejdź na stronę internetową:
www.maturarom.nowaera.pl



Pobierz i zainstaluj aplikację Matura-ROM, zarejestruj się, zaloguj
i odblokuj dostęp kodem zamieszczonym w kopercie

Minimalne wymagania sprzętowe Multimedialnego atlasu anatomicznego:

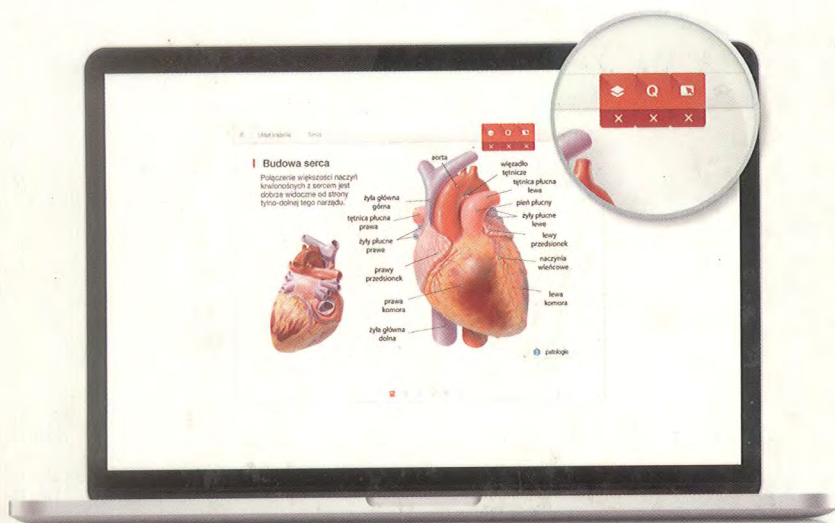
Komputer PC z procesorem 1 GHz lub szybszym, 32- lub 64-bitowy, z 1 GB (32 bity) / 2 GB (64 bity) pamięci RAM oraz z zainstalowanym systemem operacyjnym Windows XP z SP3 lub nowszym, kartą graficzną pracującą w rozdzielczości 1024 x 768, kartą dźwiękową, napędem DVD-ROM, 500 MB wolnego miejsca na dysku.

Komputer Mac z procesorem Intel oraz z zainstalowanym systemem operacyjnym Mac OS X w wersji 10.6 lub nowszej, 1 GB pamięci RAM, monitorem pracującym w rozdzielczości 1024 x 768 lub większej, napędem DVD-ROM, 500 MB wolnego miejsca na dysku.

Biologia na czasie 2

z Multimedialnym atlasem anatomicznym

Ten wyjątkowy atlas stanowi niezastąpione narzędzie w przygotowaniach **do nowej matury z biologii**. Bogactwo interaktywnych zasobów otwiera zupełnie nowe możliwości poznania anatomii i fizjologii człowieka, a także podstaw cytologii, histologii oraz genetyki. Atlas stanowi również pomoc w przygotowaniu **do sprawdzianów** oraz **wsparcie dla uczniów zainteresowanych medycyną**.



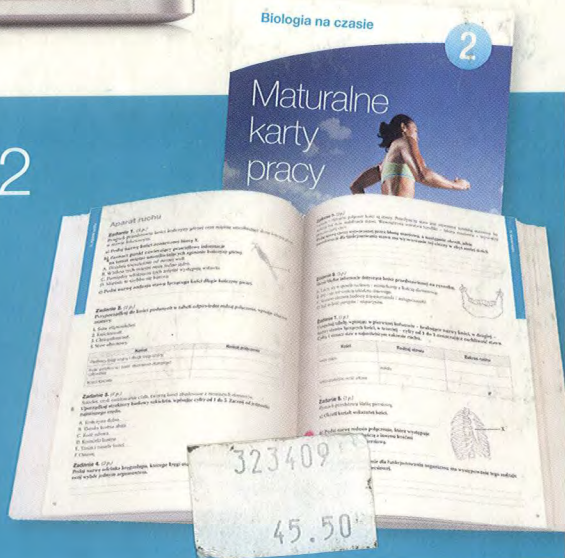
Opcja „zobacz więcej” umożliwia oglądanie budowy wewnętrznej i zewnętrznej wybranych narządów.

Plansze ćwiczeniowe umożliwiają utrwalenie zdobytych wiadomości.

Quizy pozwalają w atrakcyjny sposób sprawdzić zdobytą wiedzę.

Maturalne karty pracy 2

Publikacja skorelowana z podręcznikiem *Biologia na czasie 2*. Zawiera ona ponad 300 zadań, które pomogą Ci oswoić się z formą zadań maturalnych. Dzięki niej usystematyzujesz i utrwalisz wiedzę, a także zdobędziesz najważniejsze umiejętności biologiczne wymagane na egzaminie maturalnym.



**nowa
era**

Kontakt z wydawnictwem:

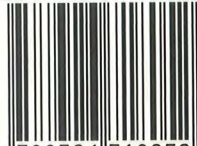
infolinia: **801 88 10 10** (z telefonów stacjonarnych)

58 721 48 00 (z telefonów komórkowych)

strona internetowa: **www.nowaera.pl**

e-mail: **biologia@nowaera.pl**

ISBN 978-83-267-1805-2



9 788326 718052