

W prostocie tkwi siła

Wydanie II

Biologia

DLA BYSTRZAKÓW™

Dowiedz się, jak:

- działa i z czego jest zbudowana komórka
- ludzie wpływają na środowisko
- zbudowany jest człowiek
- odkryć i zrozumieć świat żywych istot

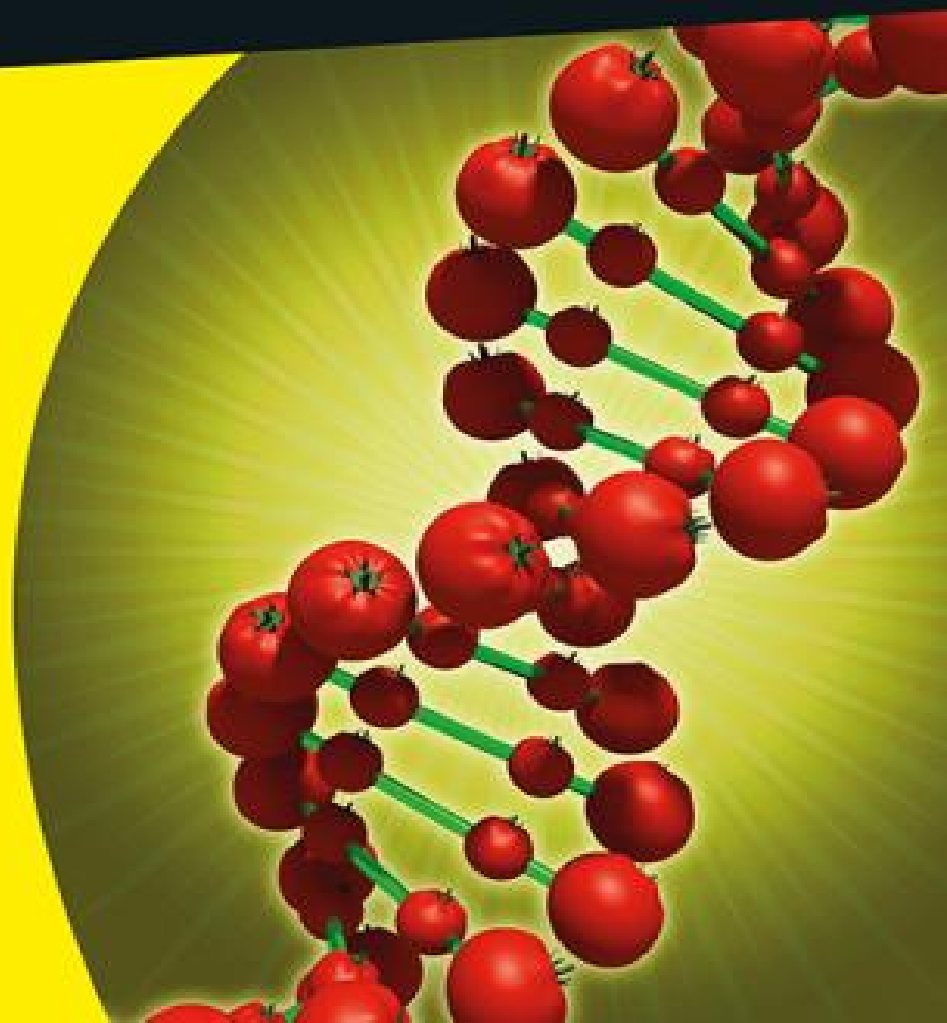
septem
septem.pl

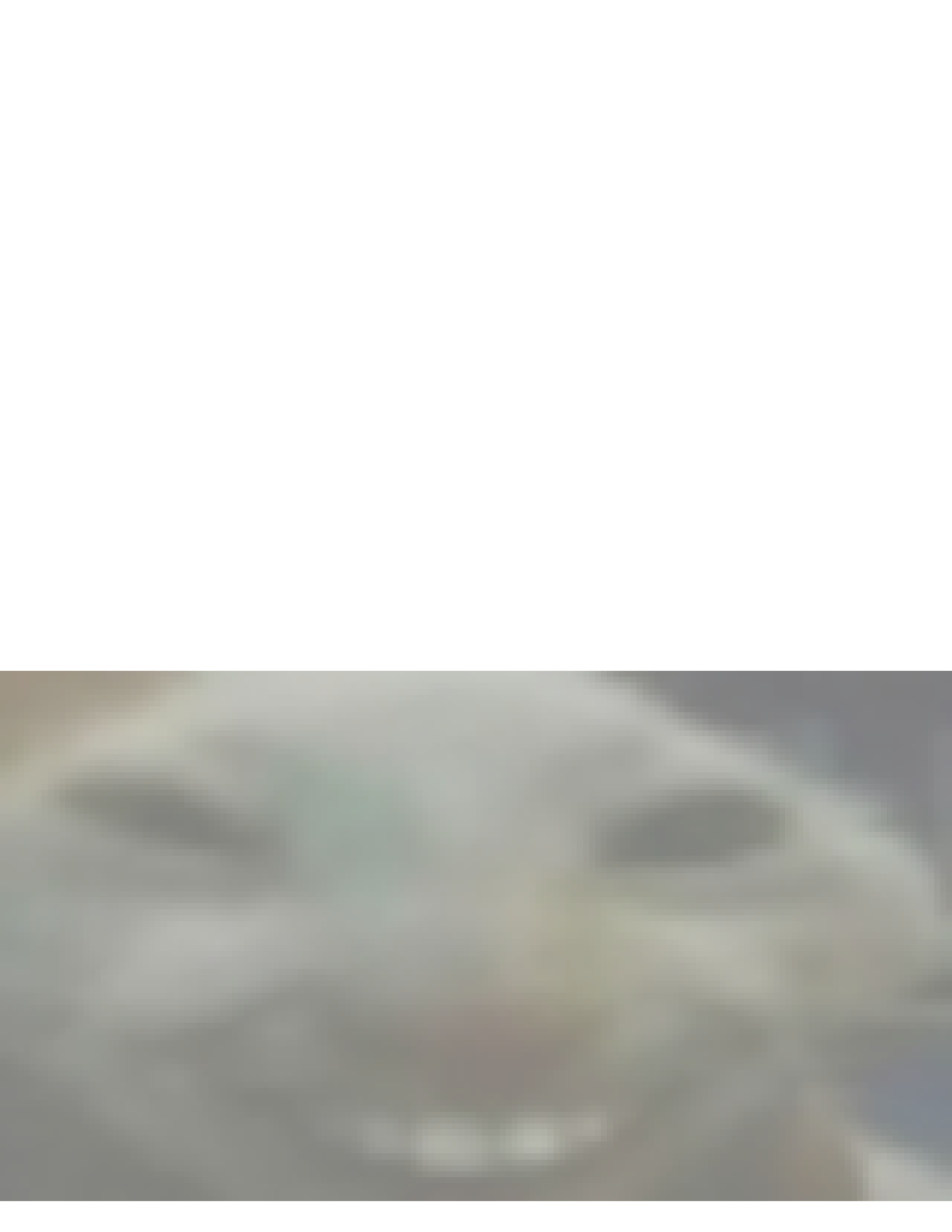
Rene Fester Kratz

doktor botaniki i autorka książki Molecular and Cell Biology for Dummies

Donna Rae Siegfried

pisarka oraz była wykładowczyni anatomii i fizjologii





René Fester Kratz
Donna Rae Siegfried

Biologia dla bystrzaków

Wydanie II

Tytuł oryginału: Biology For Dummies, 2nd Edition

Tłumaczenie: Krzysztof Sawka

Original English language edition Copyright © 2010 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

All rights reserved including the right of reproduction in whole or in part in any form.

This translation published by arrangement with John Wiley & Sons, Inc.

Oryginalne angielskie wydanie Copyright © 2010 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Wszelkie prawa, włączając prawo do reprodukcji całości lub części w jakiegokolwiek formie, zarezerwowane. Tłumaczenie opublikowane na mocy porozumienia z John Wiley & Sons, Inc.

Translation copyright © 2017 by Helion S.A.

Wiley, the Wiley Publishing logo, For Dummies, Dla Bystrzaków, the Dummies Man logo, A Reference for the Rest of Us!, The Dummies Way, Dummies Daily, The Fun and Easy Way, Dummies.com, Making Everything Easier, and related trade dress are trademarks or registered trademarks of John Wiley & Sons, Inc. and/ or its affiliates in the United States and other countries, and may not be used without written permission. All other trademarks are the property of their respective owners. Wiley Publishing, Inc., is not associated with any product or vendor mentioned in this book.

Wiley, the Wiley Publishing logo, For Dummies, Dla Bystrzaków, the Dummies Man logo, A Reference for the Rest of Us!, The Dummies Way, Dummies Daily, The Fun and Easy Way, Dummies.com, Making Everything Easier, i związana z tym szata graficzna są markami handlowymi John Wiley and Sons, Inc. i/lub firm stowarzyszonych w Stanach Zjednoczonych i/lub innych krajach. Wykorzystywane na podstawie licencji.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiejkolwiek postaci jest zabronione. Wykonywanie kopii metodą kserograficzną, fotograficzną, a także kopiowanie książki na nośniku filmowym, magnetycznym lub innym powoduje naruszenie praw autorskich niniejszej publikacji.

Wszystkie znaki występujące w tekście są zastrzeżonymi znakami firmowymi bądź towarowymi ich właścicieli.

Autor oraz Wydawnictwo HELION dołożyli wszelkich starań, by zawarte w tej książce informacje były kompletne i rzetelne. Nie biorą jednak żadnej odpowiedzialności ani za ich wykorzystanie, ani za związane z tym ewentualne naruszenie praw patentowych lub autorskich. Autor oraz Wydawnictwo HELION nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

ISBN: 978-83-283-2813-6

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

http://septem.pl/user/opinie/bioby2_ebook

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Wydawnictwo HELION

ul. Kościuszki 1c, 44-100 GLIWICE

tel. 32 231 22 19, 32 230 98 63

e-mail: septem@septem.pl

WWW: <http://septem.pl> (księgarnia internetowa, katalog książek)

- [Poleć książkę](#)
- [Kup w wersji papierowej](#)
- [Oceń książkę](#)

<>

- [Księgarnia internetowa](#)
- [Lubię to!](#) » [nasza społeczność](#)

*Pamięci dyplomowanej pielęgniarki, Cindy Fuller Kratz
Berdan. Dziękuję za otuchę, jakiej mi dodawałaś przez te
wszystkie lata.*

— Rene Kratz

O autorkach

Dr Rene Fester Kratz wykłada biologię komórki oraz mikrobiologię. Jest członkiem North Cascades and Olympic Science Partnership^[1], gdzie pomogła w opracowaniu opartych na metodzie dociekania kursów nauczania przyszłych nauczycieli. Napisała również takie książki jak *Molecular and Cell Biology for Dummies* oraz *Microbiology The Easy Way*.

Donna Rae Siegfried od 15 lat pisze artykuły o tematyce farmaceutycznej i medycznej dla takich magazynów jak „Prevention”, „Runner’s World”, „Men’s Health” czy „Organic Gardening”. Wykłada anatomię oraz fizjologię na poziomie uczelni wyższej. Ma również na swoim koncie książkę *Anatomia i fizjologia dla bystrzaków*.

Przypisy:

[1] Organizacja zajmująca się między innymi szkoleniem i rozwijaniem umiejętności nauczycieli — *przyp. tłum.*

Podziękowania od autorki

Dziękuję Mattowi Wagnerowi z agencji Fresh Books, Inc. za stworzenie mi (Rene) okazji do pracy nad drugim wydaniem^[1] niniejszej książki. Składam również podziękowania wszystkim wspaniałym osobom z wydawnictwa Wiley, które się do tego przyczyniły: redaktorom Timowi Gallanowi i Jennifer Tebbe, redaktorowi inicjującemu Erin Calligan Mooney, koordynatorowi graficznemu Alicji South, a także recenzentom technicznym Michaelowi Prattowi oraz Medhane'owi Cumbayowi. Wyrazy wdzięczności kieruję również do Sheree Montgomery, koordynatora projektu w firmie Composition, a także Kathryn Born, która pracowała nad szatą graficzną. Nie zapominając o rodzinie, chciałabym podziękować mojemu mężowi, Danowi, a także synom — Huestonowi i Dashielowi — za miłość oraz pełne wsparcie.

— Rene Kratz

Przypisy:

[1] angielskim — *przyp. tłum.*

Podziękowania od wydawcy oryginału

Jesteśmy dumni z tej książki. Prosimy o przesyłanie wszystkich uwag za pomocą formularza internetowego serii Dummies, który znajduje się pod adresem <http://dummies.custhelp.com>.

W wydaniu tej książki pomogli nam między innymi:

Acquisitions, Editorial, and Media Development

Senior Project Editor: Tim Gallan

Acquisitions Editor: Lindsay Lefevere

Copy Editor: Jennifer Tebbe

Senior Editorial Assistant: David Lutton

Technical Editors: Medhane G. Cumbay, Michael W. Pratt

Editorial Manager: Michelle Hacker

Editorial Assistants: Jennette ElNagggar, Rachelle S. Amick

Art Coordinator: Alicia B. South

Cover Photos: © Digital Art/Corbis

Cartoons: Rich Tennant (www.the5thwave.com)

Publishing and Editorial for Consumer Dummies

Kathleen Nebenhaus, Vice President and Executive Publisher

Kristin Ferguson-Wagstaffe, Product Development
Director

Ensley Eikenburg, Associate Publisher, Travel

Kelly Regan, Editorial Director, Travel

Publishing for Technology Dummies

Andy Cummings, Vice President and Publisher

Composition Services

Debbie Stailey, Director of Composition Services

Project Coordinator: Sheree Montgomery

Illustrator: Kathryn Born

Layout and Graphics: Ashley Chamberlain

Proofreaders: Laura Bowman, Lindsay Littrell

Indexer: Potomac Indexing, LLC

Wstęp

Gdziekolwiek spojrzysz, otacza Cię życie, począwszy od drobnoustrojów, poprzez zielone rośliny, aż do innych zwierząt, z którymi współdzielimy miejsce na Ziemi. Co więcej, rola organizmów żywych nie ogranicza się wyłącznie do biernego istnienia — są one ściśle powiązane z Twoim życiem. Rośliny stanowią Twój pokarm oraz dostarczają tlen, mikroorganizmy rozkładają martwą materię i regulują obieg składników niezbędnych do przetrwania wszystkim istotom żywym, z kolei owady zapylają rośliny. Pełny obraz przedstawia skomplikowaną sieć zależności pomiędzy wszystkimi żywymi istotami.

Biologia jest wspaniałą dyscypliną, ponieważ umożliwia nam badanie tych powiązań pomiędzy organizmami oraz pozwala zrozumieć, że każda żywa istota stanowi niezwykle połączenie dzieła sztuki i maszyny. Stworzenia mogą być tak delikatne jak kwiat górski lub groźne niczym dostojny lew. Bez względu na przynależność do świata roślin, zwierząt lub mikroorganizmów wszystkie istoty żywe składają się z mniejszych podzespołów przyczyniających się do działania organizmu jako całości. Zarówno względnie proste jednokomórkowce, jak i znacznie bardziej skomplikowani ludzie poruszają się, przetwarzają energię, korzystają z prostych składników budulcowych oraz wydalają substancje zbędne i toksyczne.

Biologia stanowi klucz do zrozumienia tajemnic życia. Dzięki niej dowiesz się, że nawet jednokomórkowce są skomplikowanymi organizmami, zarówno w kwestii budowy, jak i metabolizmu. Pozwala również uświadomić sobie, jak cudowną maszyną jest Twój organizm zawierający mnóstwo

współpracujących ze sobą układów, służących do transportu substancji, nadawania kształtu Twojemu ciału, przesyłania sygnałów, chronienia Cię przed napastnikami oraz zdobywania energii i materii nieodzownych do Twojego rozwoju.

O książce

Książka *Biologia dla bystrzaków* zajmuje się opisem cech charakteryzujących wszystkie żywe organizmy. Zawiera również przegląd fundamentalnych pojęć i procesów, bez których nie mogłoby istnieć życie na Ziemi. Kładziemy nacisk na strategie życiowe organizmu ludzkiego, ale jednocześnie przyglądamy się różnorodności istot zamieszkujących Błękitną Planetę.

Konwencje zastosowane w książce

Aby ułatwić Ci przyswajanie wiedzy zawartej w książce, wprowadzamy następujące konwencje:

- **Pogrubieniem** zaznaczamy nowe wyrazy lub pojęcia, które zostają zdefiniowane w tekście. Zaznaczamy w ten sposób również wyrazy, na które kładziemy szczególny nacisk.
- **Pogrubiona kursywa** służy do wskazywania kluczowych wyrazów w wypunktowaniach lub najważniejszych czynności w wieloetapowych operacjach.
- **Kursywą** oznaczamy adresy internetowe, dzięki czemu są łatwo rozpoznawalne.
- Ramki oraz akapity oznaczone szarą pionową kreską zawierają interesujące informacje, które jednak nie są

niezbędne do zrozumienia treści rozdziału lub podrozdziału.

Za każdym razem, gdy wprowadzamy nowy termin naukowy, staramy się go dokładnie wytłumaczyć, dzięki czemu łatwiej go zrozumiesz i zapamiętasz.

Czego nie czytać

W trakcie czytania natrafisz na ikony „Sprawy techniczne” oraz na ramki. Tekst oznaczony ikoną **Sprawy techniczne** zawiera szczegółowe objaśnienie omawianego zagadnienia lub pojęcia, z kolei w ramach zostały umieszczone historie lub treści związane w jakiś sposób z głównym tematem. Są to ciekawe informacje, ale w żadnym wypadku nie są konieczne do dokładnego zrozumienia biologii. Jeśli chcesz, możesz je pomijać lub czytać z zapartym tchem — wybór należy do Ciebie!

Naiwne założenia

Podczas pisania tej książki staraliśmy się sobie wyobrazić, kim jesteś i czego wymagasz do zrozumienia biologii. Doszliśmy do następujących wniosków:

- Jesteś uczennicą/uczniem szkoły średniej o profilu biologicznym i być może przygotowujesz się do egzaminów wstępnych na studia. Jeżeli masz problemy ze zrozumieniem tematów omawianych na lekcjach albo szkolny podręcznik jest źle napisany, spróbuj najpierw przeczytać odpowiedni rozdział w tej książce, aby ułożyć sobie wiedzę, a następnie wróć do oficjalnych pomocy naukowych lub notatek.

- Jesteś studentką/studentem kierunku humanistycznego, ale uczęszczasz na zajęcia fakultatywne z biologii, aby na przykład spełnić wymogi specjalizacji. Jeżeli chcesz sobie ułatwić zadanie, to przed pójściem na wykład z danego zagadnienia przejrzyj odpowiednie zagadnienie w niniejszej książce. Jeśli natomiast chcesz sobie poukładać informacje w głowie, zajrzyj do odpowiedniego rozdziału już po zajęciach.
- Jesteś osobą, która po prostu chce dowiedzieć się jak najwięcej o otaczającym ją świecie ożywionym. Dobrze wieści... Ta książka jest stworzona dla Ciebie! Czytaj ją w wolnych chwilach i wybieraj dowolne, interesujące Cię zagadnienia. Aby maksymalnie wzbudzić Twoją ciekawość, zamieściliśmy kilka przykładów wpływu biologii na nasze życie codzienne.

Jak podzielona jest książka

Zawartość książki *Biologia dla bystrzaków* została zorganizowana w sposób odzwierciedlający ramy programowe typowych lekcji biologii. Podobnie jak w przypadku innych książek z serii *Dla bystrzaków* poszczególne rozdziały stanowią odrębną całość, więc możesz w dowolnej chwili zacząć czytać książkę od interesującego Cię tematu.

Uwaga: Po wyjaśnieniu danego zagadnienia korzystamy z niego w dalszej części książki. Jeżeli nie czytasz jej w porządku chronologicznym, od czasu do czasu może pojawić się potrzeba cofnięcia się w celu zapoznania się z dodatkowymi objaśnieniami. W takich przypadkach staramy się podawać odniesienie do właściwego rozdziału.

Część I: Podstawy biologii

Skoro biologia jest nauką o życiu, a ono okazuje się tak skomplikowane, pewnie zastanawiasz się, od jakiego właściwie miejsca rozpocząć jej naukę. Bez strachu. W pierwszej części rozbijamy olbrzymią dyscyplinę biologii na mniejsze, bardziej strawne kawałeczki.

Najpierw przyjrzymy się światowi ożywionemu i dokładnie wyjaśnimy, w jaki sposób dokonywane są odkrycia biologiczne (podpowiedź: olbrzymią rolę odgrywa tu metoda naukowa). Następnie omówimy poszczególne rodzaje cząsteczek koniecznych do prawidłowego funkcjonowania komórki (tak, oznacza to wycieczkę w rejony podstaw chemii. Przepraszamy!). W dalszej kolejności skupimy uwagę na podstawowej jednostce życia — komórce. Każdy organizm — człowieka, psa, kwiatu, paciorkowca czy ameby — składa się przynajmniej z jednej komórki (a mnóstwo istot zawiera ich miliony). Każda komórka potrzebuje energii do działania, dlatego na koniec wyjaśnimy, skąd ta „siła życiowa” jest czerpana.

Część II: Rozmnażanie komórek i genetyka — porozmawiajmy o seksie, skarbie

W jaki sposób z jednokomórkowego zarodka powstaje wielokomórkowy człowiek? Dzięki podziałom komórkowym, a jakże! Komórki potrafią doskonale się powielać w celu naprawy, wzrostu lub stworzenia potomka identycznego genetycznie z rodzicem. W tej części poznasz dokładne mechanizmy pozwalające na dokonywanie takich cudów, a także dowiesz się, co się dzieje w procesie rozmnażania płciowego, gdy potomek otrzymuje kombinację genów rodziców, przez co staje się unikatowym organizmem.

Bez względu na to, czy omawiamy rozmnażanie bezpłciowe lub płciowe, cechy rodziców są widoczne u potomka, ponieważ przekazali mu swoje DNA. Jak się dowiesz w tej części, DNA przechowuje informację o budowie białek wytwarzanych w komórkach, decydujących o cechach danego organizmu.

Część III: To malutki, ściśle zintegrowany świat

Wszystkie te niesamowicie zróżnicowane formy życia w jakiś sposób na siebie oddziałują i współdziałają (gdyby tak nie było, życie na Ziemi przechodziłoby bardzo trudne chwile). W tej części zajmiemy się różnymi rodzajami powiązań pomiędzy istotami żywymi, a także poznamy klasyfikację naukową (systematykę) poszczególnych gatunków. Dowiesz się także, w jaki sposób, poprzez mechanizm ewolucji, organizmy z przeszłości są powiązane z obecnie żyjącymi gatunkami.

Część IV: Obfitość układów. Budowa i funkcje organizmów zwierzęcych

Organizmy reagują na zmiany zachodzące w środowisku i próbują utrzymywać wewnętrzną równowagę w warunkach umożliwiających przetrwanie. Zwierzęta posiadają wiele układów wyspecjalizowanych w takiej walce o przeżycie. W omawianej części zajmujemy się opisem większości układów odpowiedzialnych za strukturę i działanie ludzkiego ciała, a także organizmów innych zwierząt. Układy te koordynują wiele różnorodnych funkcji, takich jak odżywianie, poruszanie się, krążenie krwi, wymiana gazowa oraz reakcje na bodźce.

Część V: Niełatwo być zielonym. Budowa i fizjologia roślin

Rośliny, Twoi zieloni sąsiedzi, są często ignorowane w zgiełku zwierzęcego świata. Nie da się jednak przecenić wpływu roślin na całokształt życia na Ziemi. Bądź co bądź bez nich nie byłoby jedzenia. Jeżeli poświęcisz czas na badanie roślin, w końcu stwierdzisz, że to całkiem interesujące stworzenia. Podobnie jak jest w przypadku zwierząt, posiadają budowę komórkową oraz występują w nich układy umożliwiające transport substancji odżywczych po całym organizmie, a także wymianę materii i energii z otoczeniem; poznasz je, czytając omawianą część.

Część VI: Dekalogi

Dział „Dekalogi”, zawierający zabawne i interesujące fakty, stanowi integralną część serii *Dla bystrzaków*, dlatego nie mogło go tu zabraknąć. Przed jego zgłębieniem przyszykuj się na poznanie dziesięciu najważniejszych odkryć biologicznych oraz dziesięciu sposobów oddziaływania biologii na nasze życie.

Ikony użyte w książce

Stosujemy niektóre z ikon charakterystycznych dla serii *Dla bystrzaków*, aby podać Ci pomocną dłoń oraz pomóc spojrzeć na pewne sprawy z innej perspektywy. Poniżej przedstawiamy przeznaczenie każdej z wykorzystanych ikon.



Informacja oznaczona tą ikoną powinna, naszym zdaniem, zostać przez Ciebie trwale zapisana w ośrodku pamięci. Jeżeli zależy Ci na szybkim przejrzeniu najważniejszych informacji,

przewertuj książkę, czytając jedynie akapity oznaczone ikoną **Zapamiętaj**.



W ten sposób wskazujemy akapity, które zawierają interesujące informacje, ale nie są niezbędne do zrozumienia tematu przewodniego. Jeżeli chcesz zrozumieć biologię na wyższym poziomie lub po prostu poznać ciekawe fakty, nie pomijaj tych akapitów. Ignoruj je, jeśli interesują Cię wyłącznie podstawowe informacje i nie chcesz czytać nadprogramowych faktów.



Ikona reprezentująca strzał w dziesiątkę zawiera informacje ułatwiające zapamiętanie faktów omawianych w danym podrozdziale, dzięki czemu łatwiej posegregujesz je w głowie.

Co dalej

Możesz zacząć czytać książkę od dowolnego miejsca. Mamy jednak dwie sugestie:

- Jeżeli uczęszczasz na zajęcia z biologii i masz problem ze zrozumieniem jakiegoś tematu, przejdź od razu do rozdziału lub podrozdziału omawiającego kłopotliwe zagadnienie.
- Jeśli dopiero zaczynasz przygodę z lekcjami biologii, możesz czytać książkę zgodnie z programem nauczania, z jednym małym wyjątkiem. Najczęściej programy nauczania zajmują się omawianiem struktur biologicznych od najmniejszej do największej, począwszy od cząsteczek i przechodząc do komórek. Sugerujemy, abyś zapoznała/zapoznał się najpierw z

budową komórki, aby lepiej zrozumieć miejsce, w którym zachodzi większość reakcji biochemicznych.

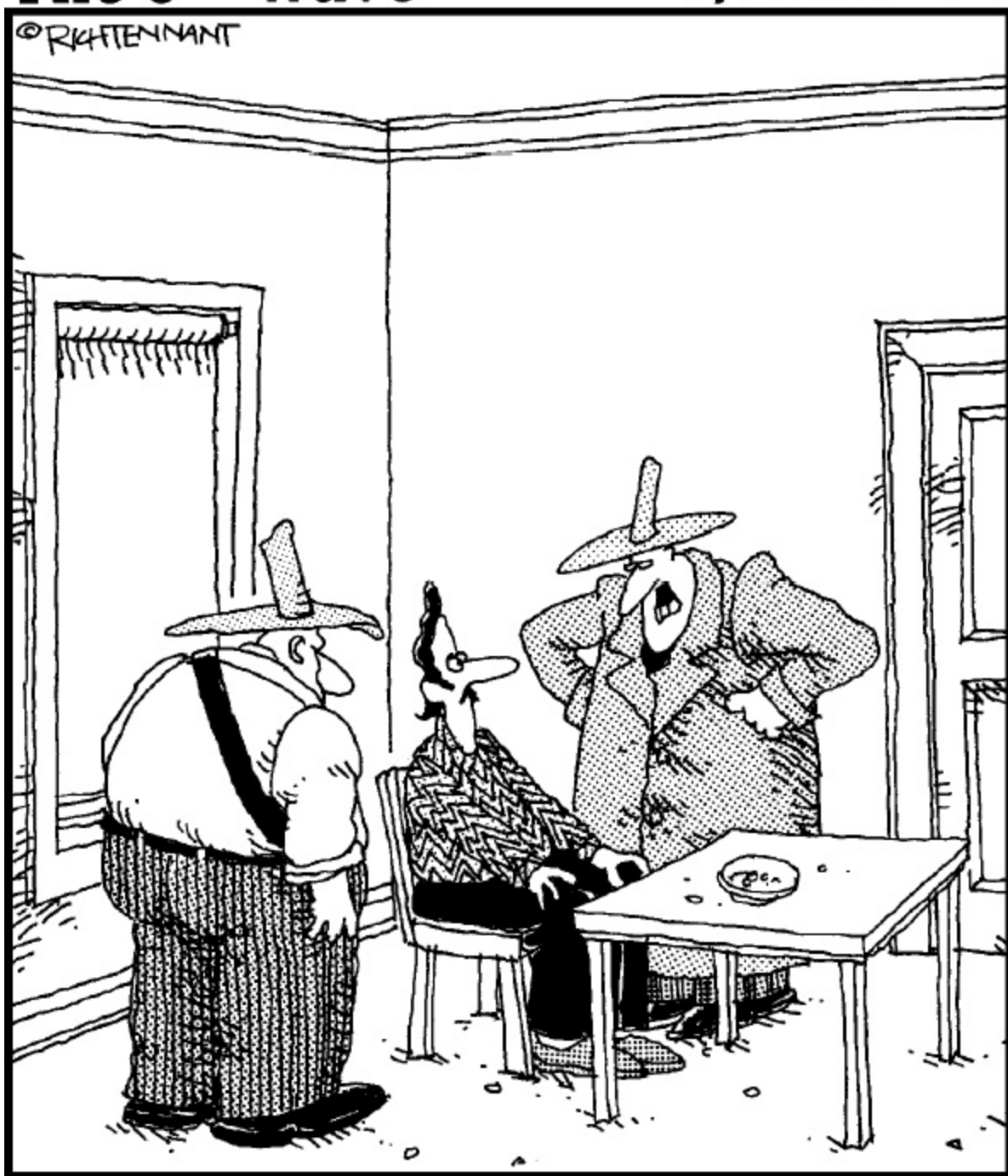
Bez względu na Twoją sytuację wszelkie niezbędne informacje znajdziesz za pomocą spisu treści oraz indeksu.

Część I

Podstawy biologii

The 5th Wave

By Rich Tennant



Frank był w szkole średniej nauczycielem fizjologii, więc jeśli cenisz swoje łęki zębodołowe lub łuk jarzmowy, lepiej zacznij gadać

.....

W tej części...

Biologia jest nauką o żywych organizmach — jej przedmiotem jest rozmnażanie się tych organizmów, ich adaptacja oraz reagowanie przez nie na zmiany środowiska, a także sposoby pozyskiwania przez organizmy materii i energii niezbędnych do wzrostu. Jednym z celów, jakie wyznaczyliśmy sobie w tej części, jest sprawienie, że zagłębisz się w świat biologii, co pozwoli Ci zrozumieć metodykę poznawania procesów biologicznych przez badaczy. Dowiesz się także, jakie związki chemiczne są niezbędne do istnienia życia.

Organizmy wielokomórkowe (na przykład Ty) składają się z układów, narządów, tkanek i komórek. Komórki są najmniejszymi jednostkami wykazującymi wszystkie właściwości definiujące istotę żywą, dlatego zaczniemy od ich omówienia. Kolejnym zadaniem tej części jest zapoznanie Cię z budową komórek oraz mechanizmami przemian, dzięki którym zdobywają one energię niezbędną do funkcjonowania.

Rozdział 1.

Zgłębianie świata ożywionego

.....

W tym rozdziale:

- ▶ przekonasz się, że wszystkie organizmy posiadają budowę komórkową;
 - ▶ dowiesz się, skąd się biorą dzieci oraz dlaczego jesteś, jaka/jaki jesteś;
 - ▶ zrozumiesz, że wszystkie ziemskie ekosystemy są ze sobą wzajemnie powiązane;
 - ▶ przyjrzyysz się anatomii i fizjologii zwierząt;
 - ▶ poznasz podobieństwa i różnice pomiędzy ludźmi a roślinami.
-

Biologia jest nauką o życiu — zjawisku spowijającym powierzchnię Ziemi niczym cudowny koc, wciskającym się w każdy jej zakątek i zajmującym każde dostępne miejsce, od mrocznych jaskiń, poprzez gorące pustynie, błękitne oceany aż po bujne puszcze tropikalne. Istoty żywe oddziałują ze wszystkimi tymi środowiskami oraz wzajemnie pomiędzy sobą i tworzą skomplikowane sieci zależności. Dla wielu osób wycieczka do lasu lub na plażę stanowi szansę na powrót na łono natury oraz podziwianie piękna życia.

W tym rozdziale przyjrzymy się najważniejszym koncepcjom biologicznym. Naszym celem jest ukazanie związków biologii z Twoim życiem oraz nakreślenie zagadnień, które będziemy omawiać w kolejnych rozdziałach.

Wszystko rozpoczyna się od komórki

Odpowiedz bez zastanowienia: jaka najmniejsza jednostka życia przychodzi Ci do głowy? (Podpowiadamy: spróbuj przypomnieć sobie podstawowe cechy życia; jeśli nie wiesz lub ich nie pamiętasz, w rozdziale 2. znajdziesz ich omówienie). W Twojej głowie mogą automatycznie pojawić się obrazy mrówek, mchów czy roztoczy, ale nie będzie to właściwa odpowiedź. Bezwzględnie najmniejszą jednostką życia jest bowiem komórka.



Wszystkie czynności wykonywane przez organizm są możliwe, ponieważ to jego komórki na to pozwalają. Jest to prawda zarówno dla jednokomórkowego organizmu, np. bakterii pałeczki okrężnicy *Escherichia coli*, jak również dla ludzkiego ciała składającego się w przybliżeniu z 10 bilionów komórek.

Oczywiście, liczba komórek nie jest jedyną różnicą pomiędzy Tobą a bakterią *Escherichia coli*. Struktura Twoich komórek jest również nieco odmienna — posiadają one wyspecjalizowane wewnętrzne struktury, jak na przykład jądro przechowujące DNA (budowę komórki zajmiemy się w rozdziale 4.), podczas gdy cząsteczki DNA u bakterii są zanurzone bezpośrednio w cytoplazmie. Możemy jednak znaleźć również wyraźne podobieństwa. Zarówno Ty, jak i *Escherichia coli* jesteście zbudowani z tych samych składników (zajrzyj do rozdziału 3., aby je poznać), a Waszym materiałem genetycznym jest DNA (więcej informacji na ten temat znajdziesz w rozdziale 8.). Korzystacie także w podobny sposób z pokarmu (rozdział 5.), a także identycznie syntetyzujecie białka (rozdział 8.).

Życie rodzi życie — rozmnażanie i genetyka

Twoje życie rozpoczęło się od pojedynczej komórki, która powstała, gdy plemnik taty wniknął do komórki jajowej mamy. Organizmy Twoich rodziców wytworzyły te komórki rozrodcze w specyficznej odmianie podziału komórki zwanej mejozą (zostanie ona szczegółowo omówiona w rozdziale 6.). Po zespoleniu się obydwu typów komórek każde z rodziców przekazało Ci połowę swojego materiału genetycznego — 23 chromosomy od mamy oraz 23 od taty — co daje w sumie 46 chromosomów w każdej komórce Twojego ciała. Geny zawarte w tych chromosomach determinują Twoje cechy, począwszy od wyglądu, aż po większość zachowań. Dział biologii zwany genetyką zajmuje się opisem procesów dziedziczenia genów oraz bada ich wpływ na ujawnianie się cech osobniczych (rozdział 7.). Dzięki genetyce zrozumiesz, dlaczego masz taką, a nie inną karnację, oraz dowiesz się, dlaczego w Twojej rodzinie pojawiają się niektóre cechy.



Geny zapisane są w DNA, który z kolei jest upakowany w chromosomach. Każdy chromosom zawiera setki różnych instrukcji dotyczących budowy peptydów i białek w komórce. Poszczególne rodzaje komórek wykorzystują potrzebne instrukcje do wytwarzania białek, z których każde posiada określoną funkcję: może stanowić budulec lub służyć do prowadzenia przemian biochemicznych. Co to właściwie oznacza? Krótko i zwięźle: DNA determinuje Twoje cechy, ponieważ zawiera instrukcje wytwarzania białek odpowiedzialnych za ekspresję (ujawnianie) tych cech.

Naukowcy z każdym dniem dowiadują się coraz więcej na temat DNA; tworzą również narzędzia pozwalające na odczytywanie kodu genetycznego i modyfikowanie go w komórkach (rozdział 9.). Być może już teraz odczuwasz

wpływ pracy badaczy nad DNA, chociaż jeszcze nawet o tym nie wiesz. Dlaczego? Ponieważ wykorzystują **metodę rekombinacji DNA** do modyfikowania organizmów stanowiących pokarm lub wytwarzających leki. Technologia ta pozwala im na wydobywanie genów z jednego organizmu i umieszczanie ich w komórkach innej istoty, wpływając w ten sposób na jej cechy. Naukowcy modyfikują na przykład komórki bakteryjne za pomocą ludzkich genów, przez co stają się one małymi fabrykami produkującymi ludzkie białka potrzebne do leczenia różnych schorzeń.

Poszukiwanie związku pomiędzy ekosystemem a ewolucją

W rozdziale 10. dowiesz się, że zdumiewająca różnorodność życia na Ziemi umożliwia jego przetrwanie w wiecznie zmieniających się warunkach środowiskowych. Każdy rodzaj organizmu pełni określoną rolę w środowisku i jest w pewien sposób powiązany z innymi istotami. Gatunki fotosyntetyzujące, na przykład rośliny, przetwarzają energię i związki chemiczne w substancje organiczne, które stanowią podstawę przetrwania dla innych gatunków, drapieżniki polują na ofiary, a destruenty takie jak bakterie i grzyby rozkładają materię organiczną, dzięki czemu powraca ona do łańcucha pokarmowego (jeśli interesuje Cię dokładniejszy opis sieci zależności pomiędzy istotami żywymi, przejdź do rozdziału 11.).

Jako gatunek stanowimy część przyrody i podobnie jak wszystkie inne organizmy korzystamy z zasobów środowiska oraz wytwarzamy odpady. Człowiek jest jednak istotą, która niesamowicie skutecznie opanowała technologię i dzięki temu rozszerza zasięg swojego gatunku, przez co w niespotykanym stopniu zużywa zasoby naturalne oraz modyfikuje środowisko wedle własnego

uznania. Nasza populacja zajęła znaczną powierzchnię Ziemi i przez cały czas przejmując coraz większe obszary.

Niestety nasze agresywne wykorzystywanie zasobów naraża inne gatunki na niebezpieczeństwo, a nawet doprowadza je na granicę wyginięcia. Ważną lekcją ewolucji biologicznej (rozdział 12.) jest nie tylko fakt zmieniania się gatunków w czasie, lecz również możliwość ich wyginięcia. Ludzkość stoi obecnie przed wielkim wyzwaniem — jak uzyskiwać potrzebne zasoby przy jednoczesnym zachowaniu równowagi z różnymi ekosystemami.

Zaprzyjaźnienie się z anatomią i fizjologią zwierząt

Wszystkie zwierzęta poświęcają mnóstwo energii na zachowanie **homeostazy**, czyli wewnętrznej równowagi, w otaczającym je zmiennym środowisku (w rozdziale 13. znajdziesz więcej informacji na temat homeostazy). W przypadku złożonego, wielokomórkowego zwierzęcia, jakim jest człowiek, wszystkie układy muszą ze sobą współpracować, aby utrzymać homeostazę.



Poniżej znajdziesz listę wszystkich układów tworzących Twój organizm, wraz z omówieniem ich zadań i wymienieniem głównych elementów składowych.

- **Układ kostny** — zapewnia podporę dla ciała, pomaga w poruszaniu się oraz zawiera elementy krwiotwórcze. Składa się głównie z kości (rozdział 14.).
- **Układ mięśniowy** — umożliwia poruszanie się. Tworzą go mięśnie poprzecznie prążkowane (w tym sercowy) oraz gładkie (rozdział 14.).

- **Układ oddechowy** — pobiera tlen i pozbywa się dwutlenku węgla. Jest zbudowany z płuc oraz dróg oddechowych (rozdział 15.).
- **Układ krążenia** — transportuje niezbędne składniki do wszystkich komórek. Jego główne elementy to serce, krew i naczynia krwionośne (rozdział 15.).
- **Układ pokarmowy** — przygotowuje do przyswojenia składniki odżywcze i wodę, a niestrawione resztki pokarmu przygotowuje do usunięcia. Wyróżnić w nim można żołądek, jelita, wątrobę oraz trzustkę (rozdział 16.).
- **Układ wydalniczy** — usuwa zbędne substancje z organizmu oraz utrzymuje właściwe stężenia elektrolitów. Podstawowymi organami są tu nerki i pęcherz moczowy (rozdział 16.).
- **Powłoki ciała** — ten układ stanowi pierwszą linię obrony przed infekcjami. Zalicza się tu skórę (rozdział 17.).
- **Układ odpornościowy** — chroni organizm przed patogenami i ciałami, które uzna za obce. Można tu wymienić grasnicę, śledzionę oraz węzły chłonne (rozdział 17.).
- **Układ nerwowy** — za pomocą impulsów elektrycznych kontroluje funkcje organizmu. Jego najważniejsze elementy to mózg, rdzeń kręgowy i nerwy (rozdział 18.).
- **Układ dokrewny** — wytwarza hormony sterujące organizmem. Składa się z różnych gruczołów (rozdział 18.).

- **Układ rozrodczy** — jest odpowiedzialny za rozmnażanie. Jeżeli jesteś kobietą, masz jajniki, jajowody, macicę, szyjkę macicy, pochwę i srom, natomiast u mężczyzn wyróżnić można jądra, mosznę, nasieniowody, gruczoł krokowy, pęcherzyki nasienne oraz prącie (rozdział 19.).

Porównanie roślin do ludzi

Na pierwszy rzut oka rośliny znacznie różnią się od ludzi, w rzeczywistości jednak obydwie kategorie organizmów zajmują sąsiadujące gałęzie na drzewie życia. Zarówno ludzie, jak i rośliny rozmnażają się płciowo, co oznacza, że „wytwarzają” nowych potomków w wyniku połączenia się plemnika z komórką jajową, z czego obydwa typy komórek posiadają po połowie informacji genetycznej przekazywanej przez rodziców (więcej informacji na temat rozmnażania się roślin znajdziesz w rozdziale 20.). Podobnie jak Ty rośliny posiadają również układy odpowiedzialne za transportowanie wody i składników odżywczych do odległych części ciała (omówienie tego zagadnienia znajdziesz w rozdziale 21.), a nawet regulują zachowania organizmu za pomocą hormonów.

Możemy oczywiście znaleźć równie wiele różnic pomiędzy ludźmi a roślinami. Największa jest taka, że rośliny wytwarzają sobie same składniki odżywcze, wykorzystując dwutlenek węgla, wodę i energię słoneczną, natomiast ludzie, aby przetrwać, muszą zjadać inne organizmy. Składnikiem ubocznym wytwarzania związków organicznych przez rośliny jest tlen, który wydalają do atmosfery. Ludzie z radością oddychają tlenem i odwdzięczają się, wydychając dwutlenek węgla, dzięki któremu rośliny syntetyzują składniki pokarmowe (rozdział 5. został poświęcony kwestii fotosyntezy, oddychaniu oraz

wspomnianej wymianie gazowej pomiędzy roślinami i zwierzętami).

Rozdział 2.

Metody badania życia

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz podstawowe cechy życia;
 - ▶ nauczysz się wykorzystywać zmysł obserwacji do rozwiązywania tajemnic świata;
 - ▶ przekonasz się, że nauka ulega ciągłym przemianom;
 - ▶ nauczysz się wyszukiwać dane oraz wnioskować w naukowy sposób.
-

Biologia nie byłaby skuteczną dyscypliną naukową, gdyby naukowcy nie dysponowali usystematyzowanymi metodami przeprowadzania badań oraz dzielenia się wynikami z innymi badaczami. Przyjrzymy się w tym rozdziale różnicom pomiędzy istotami żywymi a materią nieożywioną. Opiszemy również metody poznawania świata przez naukowców (zarówno biologów, jak również fizyków oraz chemików), a także narzędzia pozwalające na dzielenie się swoimi odkryciami.

Żywe organizmy — dlaczego naukowcy się nimi zajmują oraz jak są definiowane

Biolodzy starają się poznać istoty żywe na wszelkie możliwe sposoby, w tym również:

- strukturę i funkcjonowanie wszystkich organizmów występujących na Ziemi,

- związki pomiędzy poszczególnymi organizmami,
- mechanizmy odpowiedzialne za wzrost, rozwój oraz rozmnażanie organizmów, w tym regulacyjną rolę DNA, hormonów i sygnałów nerwowych,
- sieci zależności pomiędzy organizmami oraz związki istot żywych ze środowiskiem,
- rozciągnięte w czasie zmiany gatunków,
- mechanizmy zmian DNA, metody jego przekazywania pomiędzy organizmami oraz jego regulacyjny wpływ na strukturę i funkcje istot żywych.

Pojedyncza istota żywa jest nazywana **organizmem (ustrojem)**. Organizm stanowi część przyrody — składa się z tych samych związków chemicznych, które są przedmiotem badań chemii i geologii, oraz obowiązują go prawa Wszechświata odkrywane przez fizyków. Istoty żywe różnią się od materii nieożywionej tym, że... żyją. Co prawda życie jest trudne do zdefiniowania, ale biologom udało się tego dokonać.



Wszystkie organizmy żywe posiadają osiem wspólnych cech definiujących życie.

- ***Istoty żywe składają się z komórek zawierających DNA.*** Komórka stanowi najmniejszy element organizmu posiadający wszystkie cechy żywego organizmu. Innymi słowy, jest to najmniejsza żywa jednostka. **DNA**, czyli **kwas deoksyrybonukleinowy**, przechowuje materiał genetyczny (stanowiący rodzaj instrukcji) zawierający zakodowane informacje na temat struktury i działania komórek (w rozdziale 4. przyjrzymy się budowie komórki, w tym różnicom pomiędzy komórką

roślinną i zwierzęcą, natomiast strukturę DNA poznasz już w rozdziale 3.).

- **Struktura wewnątrz komórek i organizmów jest uporządkowana.** Zgodnie z jednym z podstawowych praw fizycznych wraz z upływem czasu każdy układ staje się coraz bardziej chaotyczny. Na przykład jeżeli zbudujesz zamek z piasku, po pewnym czasie musi się on rozsypać. Żaden zamek nie wyłania się nagle na plaży, nie naprawia ani nie buduje się samoistnie, a jego cząsteczki nie wyszukują własnego miejsca w architekturze budowli. Organizmy, dopóki żyją, nie rozpadają się na kawałeczki. Bez przerwy wykorzystują energię do odbudowy i naprawy ciała (rozdział 5. zawiera informacje na temat mechanizmów pozyskiwania energii przez istoty żywe).

- **Organizmy są wyposażone w mechanizmy regulacyjne.** Istoty żywe utrzymują wewnętrzną równowagę zapewniającą przeżycie. Nawet jeśli warunki na zewnątrz ulegają zmianie, organizmy starają się zachować **homeostazę**. Wyobraź sobie, że wychodzisz w zimny dzień bez płaszcza. Temperatura powierzchni ciała zaczyna spadać, a organizm w odpowiedzi zmniejsza dopływ krwi do skóry i najbardziej peryferyjnych części ciała, aby zminimalizować utratę ciepła. Możesz również zacząć się trząść, co jest wywoływane skurczami mięśni, generującymi ciepło. Dzięki tym reakcjom organizm stara się utrzymać ciepło wymagane do przeżycia pomimo niskiej temperatury wokół Ciebie (więcej informacji na temat homeostazy znajdziesz w rozdziale 13.).

- ***Istoty żywe reagują na bodźce środowiskowe.*** Jeżeli nagle wyskoczysz przed skałę i krzykniesz „bu!”, nic się nie wydarzy. Wywin taki numer koledze albo żabie, a najprawdopodobniej obydwójce podskoczą. Istoty żywe posiadają zmysły oraz mechanizmy umożliwiające reagowanie na bodźce. Wiele zwierząt doświadcza świata za pomocą kilku zmysłów, podobnie jak Ty, ale również inne organizmy, w tym rośliny i bakterie, wyczuwają otoczenie i reagują na sygnały (Czy zwróciłaś/zwróciłeś uwagę na roślinę doniczkową, która wygina się i rośnie w kierunku słońca? W taki sposób reaguje ona na obecność światła). Interesują Cię narządy zmysłów? Przejdź do rozdziału 18., aby poczytać na temat układu nerwowego, a także zajrzyj do rozdziału 21., gdzie znajdziesz informacje o hormonach roślinnych.

- ***Organizmy przekazują energię pomiędzy sobą, a także wymieniają ją ze środowiskiem.*** Istoty żywe wymagają ciągłych dostaw energii do wzrostu oraz utrzymywania uporządkowanej struktury swoich organizmów. Rośliny pochłaniają światło słoneczne i za jego pomocą wytwarzają związki organiczne (składniki odżywcze), dzięki czemu magazynują energię w postaci wiązań chemicznych. Energia ta jest wykorzystywana przez rośliny (a także zjadających ich roślinożerców) do różnych procesów, a znaczna jej część jest rozpraszana w środowisku w formie ciepła (więcej na temat transferu energii pomiędzy istotami żywymi znajdziesz w rozdziale 11.).

- ***Organizmy rosną i rozwijają się.*** Twoje

życie rozpoczęło się od pojedynczej komórki. Podzieliła się ona na kolejne komórki, które z kolei dokonały podziału na jeszcze większą ich liczbę. Teraz Twoje ciało składa się w przybliżeniu z 10 bilionów komórek^[1]. Wraz z rozwojem ciała komórki otrzymywały sygnały wymuszające różnicowanie się: na komórki skóry, serca, wątroby, mózgu i tak dalej. Twoje ciało rozwinęło się zgodnie z planem — głowa znalazła się na jednym końcu, a „ogon” na drugim. Każdy etap rozwoju był dyrygowany przez DNA (zarys zmian zachodzących w komórkach podczas rozwoju organizmu zwierzęcego został umieszczony w rozdziale 19.).

- ***Istoty żywe rozmnażają się.*** Ludzie rodzą dzieci, kury znoszą jajka, z których wykluwają się kurczęta, a wielojądrowe śluzowce wytwarzają wielojądrowe śluzowce. W trakcie rozmnażania potomek otrzymuje DNA swoich rodziców, przez co dziedziczy niektóre ich cechy (pełny opis podziałów komórkowych został przedstawiony w rozdziale 6., z kolei w rozdziale 19. przyglądamy się sposobom „tworzenia” potomków przez różne gatunki zwierząt, w tym człowieka).

- ***Organizmy posiadają cechy, które wyewoluowały w czasie.*** Ptaki latają, ale większość ich najbliższych krewnych — dinozaurów — nie posiadała tej zdolności. Najstarsze ślady piór znaleziono w skamieniałościach opierzonego dinozaura o wdzięcznej nazwie *Archaeopteryx*. Nie odkryto starszych skamieniałości ptaków ani piór. Dzięki tego rodzaju obserwacjom naukowcy doszli do

wniosku, że zwierzęta posiadające pióra nie istniały od początku świata, lecz cecha ta pojawiła się dopiero w którymś momencie historii. Z tego wynika, że cechy współczesnych ptaków pojawiły się w wyniku ewolucji ich przodków (jesteś gotowa/gotów na konkretne informacje o ewolucji? Zapraszamy do rozdziału 12.).

Poznawanie świata za pomocą obserwacji

Sercem nauki nie jest zbiór faktów — lecz metody, jakimi naukowcy je badają. Cała sztuka polega na zwiedzaniu świata przyrody, jego obserwacji za pomocą wszystkich zmysłów oraz próbach wyjaśniania zaobserwowanych zjawisk. Badacze, w tym biolodzy, starają się wyjaśnić mechanizmy rządzące światem za pomocą dwóch podstawowych sposobów:

- **Obserwacji. Obserwacja** ma miejsce, gdy naukowcy poszukują organizmów i uważnie się im przyglądając, badają w ten sposób przyrodę oraz rozpoznają wzorce, które następnie mogą posłużyć do zaproponowania wstępnego wyjaśnienia (czyli **hipotezy**). Jeżeli badacz nie chce zakłócać warunków siedliska, może za pomocą obserwacji dowiedzieć się, jak dany organizm zachowuje się w swoim naturalnym środowisku. Bardzo istotną częścią tej metodyki jest sporządzanie skrupulatnych notatek opisujących rutynowe zachowania zwierzęcia przez dłuższy czas (czasami przez całe lata),

dzięki czemu obserwacja zyskuje na dokładności.



Wiele znanych Ci gatunków roślin i zwierząt zostało po raz pierwszy zidentyfikowanych w czasie wielkiego rozkwitu metodologii obserwacyjnej w XIX wieku. Grupa naukowców zwanych **naturalistami** jeździła po całym świecie. Robili oni rysunki oraz sporządzali notatki na temat każdego nowo napotkanego gatunku. Metoda obserwacji funkcjonuje do dzisiaj, gdyż biolodzy starają się identyfikować najmniejszych mieszkańców Ziemi (bakterie i wirusy), a także zgłębiają dna oceanów w poszukiwaniu dziwnych i przepięknych istot kryjących się przed światłem obecnym na powierzchni.

- **Metody eksperymentalnej.** Gdy badacze próbują wyjaśnić za pomocą doświadczeń mechanizmy rządzące światem, wykorzystują **metodykę eksperymentalną**, co zazwyczaj wiąże się z przestrzeganiem pewnej formy procesu zwanego metodą naukową (więcej informacji na ten temat znajdziesz w następnym podrozdziale). Współcześni biolodzy starają się za pomocą tej metodologii zrozumieć wiele zagadnień, na przykład przyczyny różnych dolegliwości oraz działanie potencjalnych leków albo mechanizm sterowania budową i funkcjonowaniem istot żywych przez DNA.

Metoda eksperymentalna jest nieco bardziej skomplikowana od zwykłej obserwacji, dlatego zapoznamy Cię teraz z dwoma istotnymi, powiązanymi z nią zagadnieniami: metodą naukową oraz przygotowaniem doświadczenia.

Wprowadzenie do metody naukowej

Metoda naukowa to po prostu plan, zgodnie z którym naukowiec przeprowadza doświadczenia oraz zapisuje wyniki. W ten sposób eksperyment może zostać powtórzony przez innych badaczy, a rezultaty otrzymują ujednoliconą postać. Poniżej przedstawiamy ogólny przebieg metody naukowej.

1. Po pierwsze, dokonaj obserwacji i zdefiniuj interesujące Cię pytania.

Metoda naukowa pojawia się wtedy, gdy naukowiec coś zauważy i zacznie zadawać pytania typu „Co to jest?” albo „Jak to działa?”, zupełnie jak dziecko, gdy spotka się z czymś nowym.

2. Teraz nadaj kształt hipotezie.



Naukowcy, podobnie jak Sherlock Holmes, starają się pozbierać dowody po to, aby zaproponować najbardziej prawdopodobną hipotezę (wyjaśnienie) dla danego zbioru obserwacji. Hipoteza taka stanowi odzwierciedlenie odpowiedzi na pytania zadane przez naukowca. Załóżmy, że biolog morski bada skały na plaży i znajduje zupełnie nowy gatunek zwierzęcia przypominającego pierścienicę. Proponuje zatem hipotezę, zgodnie z którą zwierzę to jest jakimś gatunkiem pierścienicy.

Istotną cechą hipotezy jest jej sprawdzalność lub **testowalność**. Innymi słowy, musi ona zostać tak sformułowana, aby można było ją potwierdzić lub podważyć poprzez bardziej wnikliwe badanie określonej sytuacji.

3. Następnie sformułuj założenia i zaprojektuj doświadczenia sprawdzające koncepcję

(koncepcje).

Założenia stanowią trzon eksperymentu służącego do przetestowania hipotezy. Zazwyczaj mają składnię: „jeśli..., to...”. W przykładzie z pierścienicopodobnym zwierzęciem biolog może przewidywać, że jeśli jest ono gatunkiem pierścienicy, to jego budowa wewnętrzna będzie przypominać strukturę innych pierścienic.

4. Sprawdź koncepcję (koncepcje) za pomocą doświadczeń.

Naukowcy muszą ostrożnie projektować doświadczenia w celu sprawdzania tylko pojedynczej hipotezy (w podrozdziale „Planowanie eksperymentu” wyjaśnimy poprawny sposób przygotowywania doświadczeń). Podczas przeprowadzania eksperymentu obserwują jego przebieg za pomocą wszystkich zmysłów, a spostrzeżenia zapisują jako wyniki lub inne dane. W naszym przykładzie pierścienicy eksperymentem byłaby dysekcja zwierzęcia, uważne przyjrzenie się jego wewnętrznej budowie przy użyciu mikroskopu oraz sporządzenie dokładnych rysunków.

5. Teraz wyciągnij wnioski z odkryć.

Naukowcy interpretują wyniki doświadczeń poprzez wnioskowanie dedukcyjne — wykorzystują określone obserwacje do sprawdzenia hipotezy. W przypadku wniosków otrzymywanych na drodze dedukcji badacze rozważają pierwotną hipotezę i sprawdzają, czy nadal jest prawdziwa w świetle danych uzyskanych eksperymentalnie. Jeśli tak, pozostaje ona możliwym wyjaśnieniem zachodzących procesów, w przeciwnym wypadku obecna hipoteza zostaje obalona i naukowcy formułują alternatywne wyjaśnienie (nową hipotezę), która ma tłumaczyć dane zjawisko. Załóżmy, że nasz biolog morski stwierdził wyraźne podobieństwo

pomiędzy budową wewnętrzną odkrytego zwierzęcia i innych pierścienic. W ten sposób może stwierdzić, że istnieje pokrewieństwo pomiędzy tym gatunkiem a pozostałymi pierścienicami.

6. Na koniec udostępnij wnioski innym badaczom.

Komunikacja stanowi istotną część nauki. Bez niej nie byłoby słyhać o nowych odkryciach, a stare wnioski nie mogłyby być sprawdzane za pomocą nowych doświadczeń. Po zakończeniu badań naukowcy przygotowują artykuł, w którym dokładnie wyjaśniają, co zrobili i co zaobserwowali, oraz przelewają swoje wnioski na papier. Kolejnym etapem jest umieszczenie artykułu w czasopiśmie naukowym. Wyniki badań są też prezentowane innym specjalistom na spotkaniach, również sponsorowanych przez stowarzyszenia naukowe. Stowarzyszenia takie zajmują się nie tylko organizacją spotkań, ale też wydawaniem czasopism naukowych oraz wspieraniem nauczycieli i studentów określonej dyscypliny.

Metoda obserwacji w XX wieku

Chociaż rozkwit metody obserwacyjnej roślin i zwierząt przypadł na XIX wiek, do teraz jest ona wykorzystywana do rozpoznawania organizmów zbyt małych do oglądania ich gołym okiem. Jednym z niezwykle istotnych programów badawczych wykorzystujących obserwację jest **Projekt poznania ludzkiego genomu** (ang. *Human Genome Project*), którego celem jest zlokalizowanie cech definiujących człowieka we wszystkich 46 chromosomach.

Naukowcy obecnie nie pokonują już oceanów w celu katalogowania bazy istot żywych (jak miało to miejsce 200 lat temu), tylko zapuszczają się w mikroskopijny, lecz bardzo złożony krajobraz składający się z 46 chromosomów zawierających wszystkie ludzkie geny. Każdy z 25 tysięcy odnalezionych genów dostarcza informację na temat dziedziczonych cech. Cechy te dotyczą zarówno mało istotnych szczegółów (na przykład czy potrafisz zwijać język w rurkę), jak również naprawdę ważnych kwestii, takich jak genetycznie uwarunkowane ryzyko zachorowania na raka piersi lub mukowiscydozę. Poznając rozmieszczenie genów, badacze mogą wykorzystać te informacje do sformułowania hipotezy dotyczącej stworzenia lekarstw lub terapii genowych.

Planowanie eksperymentu



Każde doświadczenie musi zostać tak zaprojektowane, aby można było je odtworzyć, ponieważ „odpowiedź”, jaką dzięki niemu uzyskujemy (potwierdzająca lub obalająca hipotezę), nie będzie uznawana za wiarygodną, dopóki inni naukowcy nie powtórzą eksperymentu i nie uzyskają takich samych wyników.

Podczas planowania doświadczenia naukowiec stara się realizować plan sprawdzający w wyraźny sposób wpływ lub znaczenie każdego testowanego czynnika. Czynniki, którego wartość można zmienić w trakcie eksperymentu, jest określany jako **zmienna**.



Trzy rodzaje zmiennych mają istotny wpływ na proces projektowania eksperymentu.

- **Zmienne niezależne.** Wartość, którą możemy zmieniać, nosi nazwę **zmiennej niezależnej**.
- **Zmienne zależne.** Wartość, którą mierzymy, to **zmienna zależna**.
- **Zmienne sterowane.** Każda wartość, która powinna pozostawać taka sama pomiędzy sesjami doświadczalnymi, jest nazywana **zmienną sterowaną**.

Doświadczenia naukowe pomagają w znalezieniu odpowiedzi na pytania dotyczące przyrody. Aby zaplanować eksperyment:

1. Przeprowadź obserwacje interesującego Cię zjawiska i dokonaj jego generalizacji, aby

zapropionować hipotezę, która będzie je wiarygodnie tłumaczyła lub da logiczną odpowiedź.

Generalizacja polega na stworzeniu ogólnych zasad w oparciu o dane obserwacyjne.

2. Zastanów się, w jaki sposób można sprawdzić hipotezę. Stwórz odpowiednie założenia za pomocą składni „jeśli..., to...”.



3. Wybierz metodę postępowania, badane wartości oraz częstotliwość dokonywania pomiarów.

Wartość, którą będziesz modyfikować w trakcie doświadczenia, to zmienna niezależna, natomiast mierzony czynnik (zmieniający się w wyniku manipulowania zmienną niezależną) to zmienna zależna.

4. Utwórz dwie grupy: doświadczalną i kontrolną.

Grupa doświadczalna zostaje poddana eksperymentowi; innymi słowy, zmieniasz jakąś wartość, która może wpływać na tę grupę. Grupa kontrolna powinna w jak największym stopniu przypominać grupę doświadczalną, ale nie jest badana eksperymentalnie.

5. Przygotuj eksperyment i upewnij się, że kontrolujesz wszystkie wartości oprócz zmiennej niezależnej.



6. Przeprowadź zaplanowane pomiary i zapisz w notatniku dane ilościowe oraz jakościowe.

Dane ilościowe posiadają wartość numeryczną. Przykładami są wzrost, waga oraz liczba

osobników, u których wykryto zmiany. Można je analizować statystycznie oraz prezentować na wykresach. **Dane jakościowe** posiadają charakter opisowy, a ich przykładami są barwa lub stan zdrowia czy samopoczucie. Często przyjmują postać rozbudowanego opisu lub tabeli.



Pamiętaj, aby zapisywać datę każdej obserwacji i pomiaru.

7. Przeanalizuj dane, porównując grupę doświadczalną z grupą kontrolną.

Możesz obliczyć średnią z danych numerycznych oraz stworzyć wykres prezentujący różnice pomiędzy obydwoma grupami, jeśli takie istnieją.

8. Za pomocą dedukcji zdecyduj, czy wyniki eksperymentu potwierdzają, czy obalają hipotezę, i porównaj wyniki z danymi innych naukowców.

9. Stwórz raport ze swoich wyników. Nie zapomnij o opisie pierwotnych pomysłów, sposobu przeprowadzania doświadczenia oraz wnioskach.

W ramach przykładu planowania eksperymentu wyobraź sobie, że jesteś maratończykiem, który trenuje z grupą znajomych. Zastanawiasz się, czy jedzenie makaronu na wieczór przed wyścigiem wpływa na poprawę wyników. Aby odpowiedzieć na to pytanie, postępujesz zgodnie z metodą naukową i projektujesz doświadczenie.

1. Zaproponuj hipotezę.

Podejrzewasz, że spożycie makaronu dostarczy zastrzyku energii wymaganej do szybszego pokonania maratonu. Przekształć to przecucie na poprawną

hipotezę, która może wyglądać następująco: można skrócić czas potrzebny na przebiegnięcie maratonu, spożywając przed wyścigiem dużą ilość węglowodanów.

2. Wystaw jedną z grup na wpływ zmiennej niezależnej.

Aby sprawdzić hipotezę, poproś połowę znajomych o zjedzenie makaronu na kolację przed wyścigiem. Wartością, którą chcesz zmierzyć, jest wpływ, jaki da spożycie makaronu, dlatego jego konsumpcja stanowi Twoją zmienną niezależną.

3. Stwórz grupę kontrolną, która nie znajdzie się pod wpływem zmiennej niezależnej.

Potrzebujesz grupy odniesienia, przekonujesz więc połowę znajomych, żeby zjedli przed wyścigiem posiłek niezawierający makaronu. Aby osiągnąć jak najwierniejsze wyniki eksperymentu, grupa kontrolna powinna jak najbardziej przypominać grupę doświadczalną, dzięki czemu zostanie zminimalizowane oddziaływanie innych czynników wpływających na bieg. Najlepiej by było, gdyby obydwie grupy składały się z osób w zbliżonym wieku, z takiej samej liczby kobiet i mężczyzn i dodatkowo o zbliżonej budowie. Powinni oni spożywać ten sam pokarm — z wyjątkiem, oczywiście, makaronu. Wszystkie te wartości, którymi mogą różnić się obydwie grupy (wiek, płeć, sprawność fizyczna oraz dieta), ale które starasz się uzyskać takie same na potrzeby eksperymentu, to zmienne sterowane.

4. Zmierz zmienną zależną.

W tym przypadku zmienną zależną jest czas pokonania maratonu, ponieważ sprawdzasz wpływ makaronu na szybkość pokonania dystansu przez każdą osobę z grupy doświadczalnej. Naukowcy skrupulatnie notują dane pomiarowe oraz prezentują je na wykresach lub w

tabelach, dlatego uśredniasz wyniki uzyskane przez znajomych i przedstawiasz wyniki w małej tabeli.

5. Porównaj wyniki obydwu grup i sformułuj wniosek.

Jeżeli osoby, które zjadły makaron, pokonały maraton średnio o dwie minuty szybciej od członków grupy kontrolnej, możesz założyć, że hipoteza została potwierdzona i spożywanie makaronu rzeczywiście poprawia wynik.

Błąd jednego człowieka stanowi punkt wyjścia dla innej osoby

Na początku XX wieku rosyjski badacz A.I. Ignatowski karmił króliki wyłącznie mlekiem i jajkami. Zauważył, że w ich aortach powstały takie same płytki jak u osób chorujących na miażdżycę. Nie był ignorantem, ale założył, że za miażdżycę są odpowiedzialne białka zawarte w mleku i jajkach. Mylił się.

Młodszy naukowiec rosyjskiego pochodzenia pracujący w tym samym wydziale patologii, Nikołaj Aniczkow, znał wyniki Ignatowskiego. Aniczkow wraz z kolegami powtórzył doświadczenie, ale z jedną zmianą: podzielił króliki na trzy grupy. Pierwsza była karmiona rozdrobnionym mięsem, druga — samymi białkami jajek, a trzecia jedynie żółtkami jaj. Okazało się, że wyłącznie u królików karmionych żółtkami wystąpiły płytki miażdżycowe. Młodzi badacze przeprowadzili eksperyment jeszcze raz; tym razem przebadali płytki miażdżycowe po to, aby sprawdzić, czy znajdują się tam jakieś związki chemiczne w większych stężeniach. W 1913 roku Aniczkow wraz ze współpracownikami dowiódł, że za powstawanie płytek miażdżycowych jest odpowiedzialny cholesterol będący jednym ze składników żółtka. Odkrycie to nie byłoby możliwe, gdyby Ignatowski nie przeprowadził wcześniej swojego eksperymentu (być może ubiegłby młodych, gdyby wprowadził odpowiednią metodę naukową!).



Zanim uznasz swoje badania za zakończone, musisz wziąć pod uwagę jeszcze kilka czynników.

- **Liczebność próby.** Liczba osobników biorących udział w eksperymencie to Twoja **liczebność próby**. Aby jakiegokolwiek badania naukowe były choć trochę wiarygodne, liczebność próby powinna być duża. Jeżeli w

Twoim eksperymencie bierze udział tylko czwórka znajomych, trzeba będzie go powtórzyć na znacznie większej grupie biegaczy, zanim z dumą ogłosisz, że spożywanie dużej ilości węglowodanów przed wyścigiem wpływa na jego szybsze ukończenie.

- **Replikacja (powtarzalność).** Liczba powtórzeń doświadczenia lub liczba grup biorących udział w eksperymencie nosi nazwę **replikacji**. Powiedzmy, że masz 60 znajomych maratończyków i rozbijasz ich na 6 dziesięcioosobowych grup. Trzy grupy spożywają makaron, a trzy nie, zatem posiadasz trzy replikacje eksperymentu (całkowita liczebność próby wynosi w tym przypadku 30).

- **Istotność statystyczna.** Matematyczny pomiar słuszności eksperymentu jest nazywany **istotnością statystyczną**. Naukowcy wykorzystują analizę statystyczną w celu określenia, czy różnice pomiędzy grupami są istotne. Jeżeli eksperyment jest wielokrotnie powtarzany, a wyniki różnią się od siebie nieznacznie, to mówi się, że wyniki są znaczące. Jeżeli w przykładzie z maratończykami czas przebiegnięcia nie różnił się mocno pomiędzy poszczególnymi uczestnikami doświadczenia, a członkowie grupy spożywającej makaron naprawdę ukończyli wyścig szybciej, to znaczy, że dwuminutowa różnica jest rzeczywiście statystycznie istotna. Ale co w przypadku, gdy niektórzy koneserzy makaronu pobiegli wolniej od członków grupy kontrolnej, a jeden czy dwóch biegaczy z grupy doświadczalnej pobiegło dużo szybciej? Wtedy możesz zacząć się zastanawiać, czy te dwie minuty są naprawdę

znamienne statystycznie, a dwóch najszybszych znajomych znalazło się przypadkiem w grupie doświadczalnej.

- **Błąd.** Nauką zajmują się ludzie, a jak wiadomo, ludzie popełniają błędy, dlatego badacze zawsze zamieszczają w opracowaniu informacje o możliwych źródłach pomyłki. Zastanów się nad możliwymi źródłami błędów w eksperymencie z makaronem. Być może nie wzięłaś/wziąłś pod uwagę ograniczeń dietetycznych, jakie należałoby narzucić grupie kontrolnej? Mogłoby się okazać po wyścigu, że niektóre osoby zjadły dużą ilość innych źródeł węglowodanów, takich jak ryż czy chleb. Hipoteza dotyczyła wpływu spożycia węglowodanów na wyniki biegu maratońskiego, dlatego kilku członków grupy kontrolnej pochłaniających ryż bądź chleb stanowiłoby źródło błędu w doświadczeniu.



Nie jest istotne, czy naukowiec ma rację, czy się myli, lecz czy tak przygotował eksperyment, żeby mógł zostać powtórzony przez innych badaczy spodziewających się otrzymania takich samych wyników.

Nauka jako źródło nieustannej wymiany nowych pomysłów

Wiedza zdobywana przez naukowców cały czas się rozrasta oraz jest aktualizowana. Badacze bez przerwy wypróbowują nowe koncepcje w dążeniu do poznania „prawdy”. Starają się mieć umysły otwarte na nowe pomysły

oraz testować stare teorie za pomocą nowych technologii. Nie unikają również dyskusji na temat koncepcji, ponieważ stanowi to dobry sposób analizowania teorii i ostatecznie pomaga w zdobywaniu wiedzy. Poniżej prezentujemy kilka faktów dotyczących koncepcji naukowych, które mają na celu ukazanie ewolucyjnego charakteru nauki.



- **Współcześni naukowcy są powiązani z historycznymi badaczami, ponieważ nowe koncepcje wyrastają na bazie wcześniejszych odkryć.** Na przykład biolog zajmujący się określonym działem czyta uważnie wszelkie dostępne publikacje z danej gałęzi wiedzy po to, aby dokładnie wiedzieć, jakie postępy zostały dokonane oraz jakie informacje zdobyto na dany temat. W ten sposób może zaplanować badania umożliwiające dalsze zrozumienie danego zagadnienia oraz rozwijające bazę wiedzy.

- **Niektóre koncepcje są bardzo stare, ale do dzisiaj aktualne.** Co jakiś czas rozwój technologii umożliwia sprawdzanie starych hipotez na nowe sposoby, co prowadzi do rozszerzenia perspektywy i modyfikowania koncepcji. Przykład: aż do lat 70. ubiegłego wieku naukowcy (zdani na mikroskopowe metody obserwacyjne) byli przekonani, że istnieją jedynie dwa podstawowe typy komórek tworzących organizmy. W momencie wykorzystania nowej technologii pozwalającej na porównanie kodu genetycznego komórek okazało się, że istoty żywe zbudowane są w istocie z trzech rodzajów komórek — dwa z nich wyglądają tak samo pod mikroskopem. Oczywiście, stare koncepcje nie zawsze są błędne — do dzisiaj naukowcy dzielą komórki

pod względem strukturalnym na dwie główne klasy — ale pod wpływem nowych informacji wielkie koncepcje są nieznacznie modyfikowane.



• ***Gdy wiele badań potwierdza daną hipotezę, staje się ona teorią naukową.*** Teoria naukowa to poparta licznymi dowodami koncepcja, której nie udowodniono fałszywych założeń pomimo przeprowadzenia wielu doświadczeń. Teorie naukowe z powodu obecności dowodów nie są tak często modyfikowane jak hipotezy, ale nawet one mogą zostać zmienione w świetle nowych odkryć. W idealnym przypadku badacze zawsze są otwarci na nowe koncepcje oraz spoglądają obiektywnie na nowe dowody.

Sprzeczne raporty oznaczają, że nauka nie śpi

Jasne, to bardzo irytujące, gdy media donoszą o wykluczających się odkryciach — na przykład że margaryna dobrze wpływa na poziom cholesterolu w organizmie, lecz jednocześnie stanowi źródło niebezpiecznych kwasów tłuszczowych zwiększających ryzyko pojawienia się chorób serca — ale jest to wyraźny znak, że naukowcy aktywnie rozwijają bazę wiedzy. Przykład: po odkryciu, że wysokie stężenie cholesterolu sprzyja chorobom układu krążenia, badacze prawidłowo stwierdzili, że dla osób chcących zminimalizować ilość cholesterolu zdrowszy będzie wybór produktu wykonanego na bazie oleju roślinnego, a nie zwierzęcego tłuszczu — czyli margaryny zamiast masła^[2].

Naukowcy jednak nie spoczywają na laurach. Bez przerwy głowią się i wszystko kwestionują. To są bardzo ciekawskie osoby, dlatego kontynuowali badanie margaryny. Niedawno odkryli, że jeśli w jej składzie znajdują się izomery trans kwasów tłuszczowych, to stanowią one zagrożenie dla serca oraz naczyń krwionośnych. Wynika z tego, że margaryna może mieć wady wpływające na organizm bardziej niż jej zalety. Zakupy w sklepie spożywczym może i są przez to trudniejsze, ale z drugiej strony zyskuje na tym nasze zdrowie. Dowód: po spopularyzowaniu informacji na temat izomerów trans kwasów tłuszczowych producenci margaryny zaczęli pracować nad pozyskaniem pożywienia pozbawionego tych związków.

Wyszukiwanie informacji naukowych

Naukowcy publikują swoje prace po to, aby zapoznali się z nimi badacze mieszkający w innych częściach świata, którzy być może starają się odpowiedzieć na te same pytania, przez co łatwiej będzie im rozwinąć zagadnienie. Drugi powód jest taki, że gdyby taka publikacja — nawet ta zawierająca błędy — nie została wydana, nikt by się nie dowiedział o wysiłku włożonym w jej opracowanie. W poniższych ustępach przyjrzymy się różnym źródłom komunikacji pomiędzy naukowcami (oraz z resztą świata).

Dzienniki — nie tylko do zapisywania snów

Setki periodyków naukowych zawierają artykuły na wszelkie tematy poruszane w dziedzinie biologii, chemii, fizyki, inżynierii i innych. Są one publikowane przez różne organizacje, w tym profesjonalne stowarzyszenia, uniwersytety i ośrodki medyczne, a także wydawnictwa medyczne oraz naukowe. Bez względu na zagadnienia lub wydawcę wszystkie magazyny naukowe posiadają wspólną cechę: są uznawane za **podstawowe źródło** informacji naukowej, co oznacza, że zawierają dokładny opis danego zagadnienia napisany przez naukowców zajmujących się danym tematem.

Każda osoba zajmująca się danym zagadnieniem (student lub naukowiec) najpierw przegląda magazyny naukowe. Są w nich umieszczane oryginalne artykuły, dlatego stanowią źródło bieżących informacji na poszukiwany temat. Ich struktura przypomina naukowe **streszczenie** (podsumowanie, zwane też abstraktem). Najpierw zostaje sformułowana hipoteza. Kolejnymi etapami są: opis wykorzystanych materiałów i metod; charakterystyka

eksperymentu — opis przygotowań oraz przebiegu, w tym również uzyskane dane, wykresy i tabele. Kolejnym etapem jest omówienie wyników, którego istotnym elementem jest odniesienie się do danych z literatury. Na koniec autor prezentuje wnioski oraz błędy napotkane w czasie przeprowadzania doświadczenia (doświadczeń).



Magazyny naukowe są poddawane procesowi wzajemnej weryfikacji w celu zapewnienia rzetelności publikowanego materiału. Oto jak przebiega taka weryfikacja: redaktor magazynu przesyła artykuł do specjalistów zajmujących się danym zagadnieniem, aby go przejrzyli i w razie potrzeby umieścili komentarze. Mają oni za zadanie sprawdzić wartość merytoryczną zawartych informacji oraz ocenić, czy praca wnosi coś nowego. W oparciu o komentarze recenzentów redaktor podejmuje decyzję o publikacji artykułu. Jeżeli nie zostają spełnione rygorystyczne kryteria, artykuł nie jest zamieszczany w periodyku naukowym.



Chociaż w internecie można znaleźć wiele magazynów naukowych, do niektórych artykułów należy wykupić dostęp. Jeśli jednak uczysz się w szkole średniej lub wyższej uczelni, być może wydziałowa biblioteka subskrybuje różne dzienniki. Zapytaj pracowników biblioteki, czy dostępne są płatne abonamenty magazynów naukowych, a jeśli tak, to w jaki sposób można uzyskać do nich dostęp na komputerze bibliotecznym.

Podręczniki — podstawa dla ucznia

Podręczniki. Bez względu na to, czy je kochasz, czy ich nienawidzisz (albo nie interesujesz się nimi), są uznawane za **wtórne źródło** informacji, co oznacza, że stanowią zbiór lub omówienie danych zamieszczonych w podstawowym źródle. Zazwyczaj wtórne źródła nie są pisane przez autorów oryginalnych prac. Zawierają one zakres wiedzy na dany temat lub z określonej dziedziny aktualny w momencie wydania, co oznacza, że warto się z nimi zapoznać, aby poznać historię zagadnienia, podstawowe informacje na jego temat oraz podsumowania ważnych badań rozwijających określoną gałąź wiedzy.

Prasa popularna — nie zawsze rzetelna



Prasa popularna — gazety, magazyny — a także takie media jak programy telewizyjne i radiowe są uznawane za **źródła trzeciego stopnia** (oznacza to, że pochodzą z „trzeciej ręki”). Oczywiście, prasa popularna dostarcza informacji, ale ich wiarygodność nie jest w żaden sposób zapewniona. Istnieje prawdopodobieństwo, że dziennikarz piszący artykuł niewłaściwie zrozumiał wyniki pracy lub wnioski badacza. Przypomina to trochę dziecięcą grę w głuchy telefon, w której informacja przekazana pierwszej osobie zostaje zniekształcona w trakcie podróży do ostatniego gracza.

Lepiej zawsze cytować artykuł zawarty w magazynie naukowym lub podręczniku, niż sugerować się informacjami ze źródła trzeciego stopnia.

Internet — bogactwo informacji, ale nie zawsze dobrych

W internecie znajdziemy mnóstwo informacji, z czego wiele jest dostępnych bezpłatnie. Problemem jest rozróżnienie informacji rzetelnych i nieprawdziwych. Aby wyszukać wiarygodne informacje naukowe:

- ***Odwiedzaj rządowe witryny.*** Są one przechowywane w domenie *.gov*. Na stronach rządowych można natrafić na podstawowe źródła informacji, ale zazwyczaj nawet wtórne źródła cechują się dobrą jakością. Jeżeli korzystasz w przeglądarce z zaawansowanych funkcji wyszukiwania, możesz włączyć filtrowanie wyników pod kątem domen.
- ***Przeglądaj serwisy uniwersyteckie.*** Stanowią część domeny *.edu*. Niektórzy badacze związani z uczelnią wyższą zamieszczają na jej stronie kopie swoich opracowań (źródła podstawowe), inni natomiast udostępniają notatki z wykładów i inne artykuły (najlepiej mają uczniowie szkół średnich i studenci, gdyż z poziomu biblioteki posiadają dostęp do płatnych magazynów naukowych).
- ***Zachowaj ostrożność podczas zwiedzania stron prowadzonych przez organizacje.*** Można je rozpoznać po domenie *.org*. Duże, prestiżowe organizacje, na przykład Polskie Towarzystwo Botaniczne, przeważnie cytują wysokiej jakości wtórne źródła informacji, czasami również dają odnośniki do źródeł podstawowych. Jednak niewielkie organizacje o nieznanej reputacji nie są dobrymi źródłami informacji naukowych.

Podczas szukania informacji naukowych unikaj
stron prowadzonych komercyjnie



(umieszczanych w domenie .com). Osoby oraz organizacje prowadzące komercyjne serwisy zawsze starają się coś sprzedać potencjalnemu klientowi. Mają swoje własne plany, dlatego nie możesz wierzyć w ich bezstronność. Zamieszczane przez nie informacje mogą być subiektywne albo uznawane za nierzetelne przez środowisko naukowe.

Przypisy:

[1] Co ciekawe, według niektórych źródeł w samych jelitach człowieka znajduje się 10 razy więcej (tj. 100 bilionów) bakterii — *przyp. tłum.*

[2] Warto w tym miejscu wspomnieć, że znacząca część cholesterolu krążącego w osoczu krwi została wyprodukowana w wątrobie. Co więcej, unikanie cholesterolu w diecie czy też włączanie do diety określonych produktów nie wpływa na znaczne obniżenie jego poziomu w osoczu. Dyskusyjne też jest przypisywanie tłuszczom wykonanym z uwodornionych olejów roślinnych wartości zdrowotnych; na przykład niebezpiecznym składnikiem takich produktów są izomery *trans* kwasów tłuszczowych. Niestety, obecnie w Polsce produkty pozbawione tych izomerów są rzadko spotykane. Podsumowując, teza o wyższości margaryny nad masłem jest kontrowersyjna. Trzeba też pamiętać, że cholesterol jest niezwykle ważnym związkiem: dzięki niemu błony komórkowe mają odpowiednie właściwości. Mnóstwo ważnych związków, w tym hormonów, powstaje z cholesterolu. Szczęśliwie w przypadku większości ludzi wystarczająca ilość cholesterolu jest syntetyzowana w wątrobie — *przyp. red.*

Rozdział 3.

Chemia życia

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz rolę materii w przyrodzie;
 - ▶ nauczysz się rozróżniać atomy, pierwiastki, izotopy, cząsteczki i związki chemiczne;
 - ▶ dowiesz się co nieco na temat kwasów i zasad;
 - ▶ zrozumiesz budowę i funkcje związków chemicznych niezbędnych do życia.
-

Każdy obiekt (w tym ciało Twoje oraz ciała innych istot żywych) posiadający masę oraz zajmujący miejsce w przestrzeni zbudowany jest z materii. Wszystkie składniki organizmu składają się z cząsteczek, których elementami budulcowymi są z kolei atomy. Czterema głównymi klasami cząsteczek istotnych z biologicznego punktu widzenia są węglowodany, białka, kwasy nukleinowe oraz lipidy (przede wszystkim tłuszcze). W tym rozdziale omówimy podstawy chemii, bez których nie da się zrozumieć biologii.

Co z tą materią?

Materia jest dosłownie podstawą życia. Każda żywa istota jest z niej zbudowana. Organizmy muszą zdobywać coraz więcej materii, aby rosnąć i rozwijać nowe struktury. Gdy umiera roślina lub zwierzę, bakterie rozkładają martwe ciało i wprowadzają tworzące je związki do ponownego obiegu, gdzie są asymilowane przez kolejne pokolenie istot żywych. W rzeczywistości niemal cała materia organiczna występująca na Ziemi powstała wraz z resztą planety około

4,5 miliarda lat temu; od tego czasu bezustannie krąży w przyrodzie. Z tego wynika, że cząsteczki tworzące Twoje ciało mogły kiedyś stanowić fragment tyranozaura, motyla albo nawet jakiejś bakterii.

Niewidzialna materia

Czego nie można zobaczyć, ale naprawdę istnieje? Powietrze! Ziemska atmosfera jest przezroczysta, ale składa się z takich gazów jak azot, dwutlenek węgla czy tlen. Gazy te na różne sposoby reagują z organizmami. Na przykład rośliny pobierają dwutlenek węgla, który przerabiają na związki służące do budowy nowych struktur. Ciężko w to uwierzyć, ale najwyższe drzewo w lesie sekwojowym bez przerwy rośnie, ponieważ pobiera z otoczenia dwutlenek węgla i używa go do rozbudowywania własnego organizmu. Wiadomo (bo widać), że sekwoja zajmuje przestrzeń oraz posiada masę, ale również cząsteczki dwutlenku węgla stanowią materię.



Poniżej prezentujemy kilka faktów dotyczących materii.

- ***Materia zajmuje przestrzeń.*** Ilość przestrzeni zajmowanej przez dany obiekt to **objętość**. Jest ona mierzona w **litrach (l)**.
- ***Materia posiada masę.*** Masa jest pojęciem oznaczającym ilość materii tworzącej określoną substancję. Jej podstawową jednostką jest **gram (g)**. Grawitacja Ziemi przyciąga masę, zatem im więcej posiadasz masy, tym więcej ważysz.
- ***Materia przyjmuje kilka stanów skupienia.*** Najpopularniejszymi są ciała stałe, ciecze i gazy. **Ciała stałe** posiadają określony kształt i rozmiar (na przykład ciało ludzkie lub cegła). **Ciecze** cechują się określoną objętością. Można nimi wypełnić pojemnik, ale przyjmują jego kształt. Z kolei **gazy** są bardzo ściśliwe, przez co można z łatwością je pompować do pojemnika.

Aby zrozumieć różnicę pomiędzy masą a ciężarem (wagą), porównaj swoją wagę na Ziemi



z wagą na Księżycu. Bez względu na miejsce, w którym przebywasz, Twoje ciało składa się z takiej samej ilości materii. Księżyc jest znacznie mniejszy od Ziemi i występuje na nim o wiele słabsze przyciąganie grawitacyjne, zatem mimo że masz na obydwu ciałach niebieskich taką samą masę, na Księżycu będziesz ważyć zaledwie jedną szóstą wagi uzyskiwanej na Błękitnej Planecie!

Różnice pomiędzy atomami, pierwiastkami i izotopami

Materia składa się z pierwiastków chemicznych. Jeśli rozbijesz ją na najmniejsze możliwe składniki, uzyskasz pierwiastki, które same z kolei są zbudowane z atomów; atomy natomiast dzielą się na jeszcze mniejsze cegiełki, zwane cząsteczkami subatomowymi. Do tego dodajmy jeszcze, że czasami liczba cząsteczek subatomowych może się różnić pomiędzy atomami tego samego pierwiastka i mamy wtedy do czynienia z izotopami. Uf... To mnóstwo informacji naraz, dlatego wiedzę na temat atomów, pierwiastków i izotopów rozbijemy na kolejne ustępy.

Wy„Bohr”ne atomy

Atomem nazywamy najmniejszy stabilny element posiadający wszystkie właściwości danego pierwiastka chemicznego. Jest to najmniejszy mierzalny składnik materii. W rzeczywistości każdy atom składa się z jeszcze mniejszych elementów składowych, nazwanych **cząsteczkami subatomowymi (elementarnymi)**. Zaliczamy do nich protony, neutrony i elektrony (a nawet kwarki, mezony oraz neutrino). Nie można usunąć cząsteczki elementarnej z atomu bez jego zniszczenia.

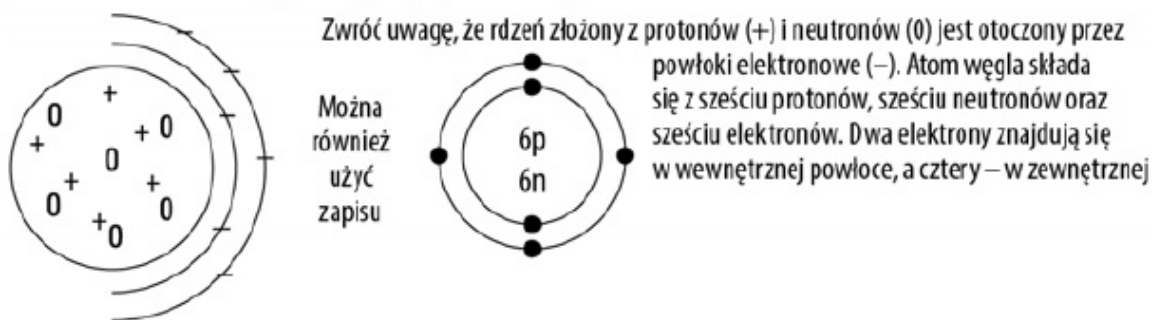


Poniżej opisujemy podstawową strukturę atomu (rysunek 3.1).

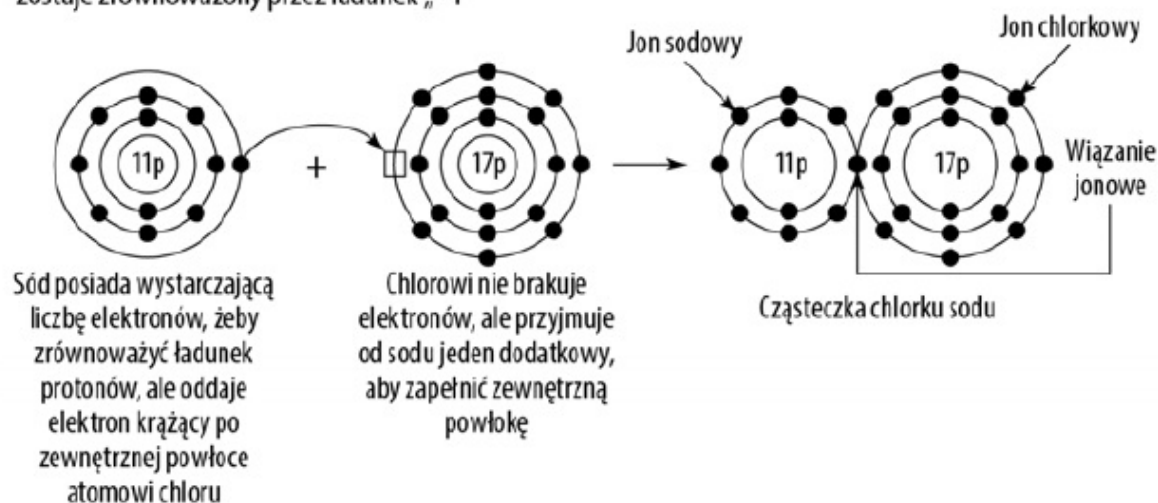
- ***Rdzeń atomu, zwany jądrem (nukleonem), tworzą dwa rodzaje cząstek elementarnych: protony i neutrony.*** Obydwa posiadają masę, ale tylko jeden z nich przenosi ładunek. **Protony** są naładowane dodatnio, a **neutrony** są elektrycznie obojętne (nie mają ładunku elektrycznego). Z tego powodu całkowity ładunek jądra atomowego jest zawsze dodatni.

- ***Jądro otacza chmura elektronów.*** Elektrony posiadają ładunek ujemny oraz znikomo małą masę w porównaniu z protonami czy neutronami.

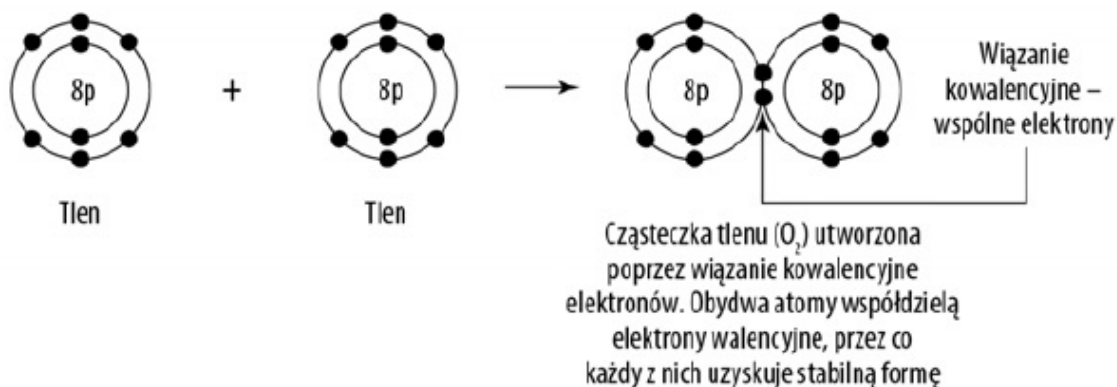
A. Model atomu Bohra wyjaśniony na przykładzie węgla



B. Jony chlorkowy i sodowy wiążą się ze sobą, tworząc cząsteczkę soli kuchennej. Jon sodowy ma ładunek dodatni, ponieważ zawiera więcej protonów (o jeden) niż elektronów. Z kolei jon chlorkowy zawiera ładunek ujemny, ponieważ po przejściu elektronu z atomu sodu ich liczba staje się większa od liczby protonów (18 elektronów i 17 protonów). Cząsteczka NaCl jest jednak elektrycznie obojętna, ponieważ ładunek „+1” zostaje zrównoważony przez ładunek „-1”



C. Dwa atomy tlenu tworzące formę cząsteczkową



Rysunek 3.1. Model atomu Bohra

W wyniku zdobywania lub utraty elektronów



atomy stają się jonami. Innymi słowy, **jony** to nic innego jak naładowane atomy. **Jony dodatnie**, czyli **kationy** (+), posiadają więcej protonów, a w **jonach ujemnych**, zwanych **anionami** (-), przeważają elektrony. Przeciwnie ładunki przyciągają się wzajemnie, co umożliwia powstawanie wiązań międzyatomowych; dokładniej wyjaśniamy to w podrozdziale „Cząsteczki, związki chemiczne i wiązania”.

Elementarność pierwiastków

Pierwiastkiem chemicznym nazywamy materię składającą się z atomów posiadających taką samą liczbę protonów. Można przyjąć, że pierwiastek jest „czystą” substancją wykonaną z jednorodnego materiału. Wszystkie znane człowiekowi pierwiastki są uszeregowane w układzie okresowym Mendelejewa (który został zaprezentowany na rysunku 3.2)^[1]. Oto kilka informacji na temat układu okresowego:

- **Każdy wiersz tabeli nosi nazwę okresu.** Kierując się do jej środka, przechodzimy od metali do niemetalu, w środkowej części zaś znajdują się metale ciężkie.
- **Każda kolumna to grupa (rodzina).** Pierwiastki znajdujące się w tej samej grupie posiadają podobne właściwości. Im niżej w danej kolumnie znajduje się pierwiastek, tym jego atomy są większe.

1 H Wodór 1,00797																	2 He Hel 4,0026				
3 Li Lit 6,939	4 Be Beryl 9,0122															5 B Bor 10,811	6 C Węgiel 12,0115	7 N Azot 14,0067	8 O Tlen 15,9994	9 F Fluor 18,9984	10 Ne Neon 20,183
11 Na Sód 22,9898	12 Mg Magnez 24,312															13 Al Glin 26,9815	14 Si Krzem 28,086	15 P Fosfor 30,9738	16 S Siarka 32,064	17 Cl Chlor 35,453	18 Ar Argon 39,948
19 K Potas 39,102	20 Ca Wapń 40,08	21 Sc Skand 44,956	22 Ti Tytan 47,90	23 V Wanad 50,942	24 Cr Chrom 51,996	25 Mn Mangan 54,9380	26 Fe Żelazo 55,847	27 Co Kobalt 58,9332	28 Ni Nikiel 58,71	29 Cu Miedź 63,546	30 Zn Cynk 65,37	31 Ga Gal 69,72	32 Ge German 72,59	33 As Arsen 74,9216	34 Se Selen 78,96	35 Br Brom 79,904	36 Kr Krypton 83,80				
37 Rb Rubid 85,47	38 Sr Stront 87,62	39 Y Yttr 88,905	40 Zr Cyrkon 91,22	41 Nb Niob 92,906	42 Mo Molibden 95,94	43 Tc Technet (99)	44 Ru Ruten 101,07	45 Rh Ród 102,905	46 Pd Pallad 106,4	47 Ag Srebro 107,868	48 Cd Kadm 112,40	49 In Ind 114,82	50 Sn Cyna 118,61	51 Sb Antymon 121,75	52 Te Telur 127,60	53 I Jod 126,9044	54 Xe Ksenon 131,30				
55 Cs Cez 132,905	56 Ba Bar 137,34	57 La Lantan 138,91	72 Hf Hafn 178,49	73 Ta Tantal 180,948	74 W Wolfram 183,85	75 Re Ren 186,2	76 Os Osm 190,2	77 Ir Iryd 192,2	78 Pt Platyna 195,09	79 Au Złoto 196,967	80 Hg Rtęć 200,59	81 Tl Tal 204,37	82 Pb Ołów 207,19	83 Bi Bizmut 208,980	84 Po Polon (210)	85 At Astat (210)	86 Rn Radon (222)				
87 Fr Franc (223)	88 Ra Radium (226)	89 Ac Aktyn (227)	104 Rf Rutherford (101)	105 Db Dubn (262)	106 Sg Seaborg (266)	107 Bh Bohr (264)	108 Hs Hassium (269)	109 Mt Meitner (268)	110 Ds Darmstadt (281)	111 Rg Roentgen (286)	112 Cn Copernik (285)	113 Nh Niuotrium (284)	114 Fl Flerow (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Lv Livermor (293)	117 Uus Ununseptium (294)	118 Uuo Ununoctinum (294)				
																					
Lantanowce			58 Ce Cer 140,12	59 Pr Praseodym 140,907	60 Nd Neodym 144,24	61 Pm Promet (140)	62 Sm Samar 150,35	63 Eu Europ 151,96	64 Gd Gadolin 157,25	65 Tb Terb 158,924	66 Dy Dyspros 162,50	67 Ho Holm 164,930	68 Er Erb 167,26	69 Tm Tul 168,934	70 Yb Iteb 173,04	71 Lu Luteł 174,967					
Aktynowce			90 Th Tor 232,038	91 Pa Protaktyn (231)	92 U Uran 238,03	93 Np Neptun (237)	94 Pu Pluton (242)	95 Am Ameryk (243)	96 Cm Kuri (247)	97 Bk Berkel (247)	98 Cf Kaliforn (251)	99 Es Einstein (254)	100 Fm Ferm (257)	101 Md Mendelew (258)	102 No Nobel (259)	103 Lr Loens (260)					

Rysunek 3.2. Układ okresowy pierwiastków

Zwróć uwagę, że każdy pierwiastek posiada przyporządkowaną wartość. Jest to **liczba atomowa**, definiująca ilość protonów w jądrze danego pierwiastka. Na jądro węgla (oznaczonego symbolem C w układzie okresowym) składa się sześć protonów, zatem jego liczba atomowa wynosi 6. Zgodnie z prawem okresowości właściwości pierwiastków stanowią funkcję okresową wynikającą z ich liczb atomowych. Innymi słowy, jeżeli poukładamy pierwiastki zgodnie z ich liczbami atomowymi, to okaże się, że otrzymamy grupy cechujące się podobnymi własnościami. Liczba elektronów w danym atomie jest także równa liczbie atomowej, ponieważ pierwiastki są neutralne elektrycznie (cząsteczki naładowane dodatnio są równoważone przez ich ujemne odpowiedniki).

Ze wszystkich pierwiastków wypełniających układ



okresowy organizmy wykorzystują tylko niektóre. Czterema pierwiastkami najczęściej spotykanymi w układach biologicznych są wodór, węgiel, azot i tlen — występują one w powietrzu, glebie i wodzie (w mniejszych ilościach wykorzystywane są również inne pierwiastki, takie jak sód, magnez, fosfor, siarka, chlor, potas i wapń).

Sód, magnez, chlor, potas i wapń najczęściej występują w organizmie jako **elektrolity**, czyli substancje uwalniające jony (opisane w poprzednim podrozdziale) pod wpływem reakcji z wodą. Przykładowo: chlorek sodu (NaCl) pod wpływem wody znajdującej się w organizmie rozpada się na jony Na^+ oraz Cl^- , które następnie są wykorzystywane przez narządy (takie jak serce) w różnorodnych procesach komórkowych.

I zostały izotopy



Wszystkie atomy danego pierwiastka posiadają taką samą liczbę protonów, ale liczba neutronów nie jest stała. Jeżeli liczba neutronów w dwóch atomach tego samego pierwiastka jest różna, to mamy do czynienia z jego **izotopami**.

Na przykład węgiel posiada trzy izotopy: ^{12}C , ^{13}C oraz ^{14}C . Atom ^{12}C zawiera po sześć protonów i neutronów. Liczba masowa tego izotopu wynosi 12, ponieważ taka jest suma protonów i neutronów w jego jądrze. W izotopach ^{13}C i ^{14}C również znajduje się po 6 protonów (ponieważ wartość ta jest niezmienna), ale liczba neutronów wynosi, odpowiednio, 7 i 8, przez co mają one liczby masowe 13 i 14.

Masa atomowa danego pierwiastka wyznacza nam średnią masę wszystkich jego izotopów z uwzględnieniem względnej

częstości ich występowania. Jeżeli przyjrzyś się układowi okresowemu na rysunku 3.2, zauważysz, że liczba atomowa węgla (umieszczona pod symbolem C) wynosi 12,01. Oznacza to, że po zważeniu wszystkich atomów węgla występujących na Ziemi każdy z nich miałby średnią masę atomową równą 12,01. Najbardziej stabilnym izotopem węgla jest ^{12}C , więc występuje on częściej od izotopów ^{13}C i ^{14}C (gdy w próbce węgla znajduje się nieznaczna ilość izotopów ^{13}C i ^{14}C , to jej liczba masowa nieznacznie przekracza wartość 12).

Cząsteczki, związki chemiczne i wiązania

W wyniku łączenia pierwiastków otrzymasz bardziej złożone formy materii, takie jak cząsteczki i związki chemiczne. **Cząsteczkami** nazywamy połączenie co najmniej dwóch atomów (takich samych lub różnych), natomiast **związki chemiczne** tworzą cząsteczki składające się przynajmniej z dwóch różnych pierwiastków.



Aby uświadomić sobie różnice pomiędzy pierwiastkiem, cząsteczką i związkiem chemicznym, wyobraź sobie przepis na pieguski^[2]. Najpierw należy wymieszać składniki „mokre”: masło, jajka i ekstrakt wanilii. Uznajmy, że każdy z tych składników jest osobnym pierwiastkiem. Potrzebujemy dwóch „atomów” masła. Gdy połączysz ze sobą te „atomy” masła, uzyskasz „cząsteczkę” masła. Zanim dodasz jajka, musisz je najpierw ubić, zatem po ich rozbiciu i wrzuceniu do miseczki otrzymasz „cząsteczkę” jajek. Wskutek zmieszania składników „cząsteczka” masła połączy się z „cząsteczką” jajek, otrzymasz związek chemiczny, który nazwiemy „mokrym”. Teraz czas na wymieszanie suchych składników: mąki, cukru, soli i proszku

do pieczenia. Tutaj również każdy składnik symbolizuje oddzielne pierwiastki. Po ich zmieszaniu uzyskasz związek chemiczny o umownej nazwie „suchy”. Dopiero po wymieszaniu związku „mokrego” z „suchym” możemy dodać najważniejszy składnik piegusków — kawałki czekolady.

Co więc uniemożliwia rozpadanie się cząsteczek i związków chemicznych? Oczywiście wiązania. W materii tworzącej istoty żywe dominują dwa rodzaje wiązań.

- **Wiązania jonowe** łączą jony posiadające przeciwne ładunki elektryczne. Reakcje jonowe występują, gdy atomy wiążą się ze sobą i uzyskują lub oddają elektrony. Na przykład w wyniku połączenia atomów sodu (Na) i chloru (Cl) atom pierwszego pierwiastka oddaje jeden elektron atomowi drugiego pierwiastka. Sód przekształca się w dodatnio naładowany jon sodowy (Na^+), natomiast chlor staje się ujemnie naładowanym jonem chlorkowym (Cl^-). Tak naładowane jony przyciągają się wzajemnie i powstaje pomiędzy nimi wiązanie jonowe.
- **Wiązania kowalencyjne** polegają na uwspólnieniu par elektronów pomiędzy atomami. Dwa atomy tlenu tworzące formę cząsteczkową współdzielą dwie pary elektronów. Każda taka para elektronów stanowi jedno wiązanie kowalencyjne, wynika z tego zatem, że cząsteczka tlenu posiada podwójne wiązanie kowalencyjne. Ten typ wiązań jest niezwykle ważny z biologicznego punktu widzenia, ponieważ stanowi on trzon najważniejszych rodzajów związków organicznych.

Kwasy i zasady (to nie nazwa zespołu heavymetalowego)

Pewne substancje, na przykład sok cytrynowy czy ocet, posiadają naprawdę wykrzywiający twarz smak. Inne z kolei, takie jak elektrolit akumulatorowy czy amoniak, są tak żrące, że za wszelką cenę należy unikać ich kontaktu ze skórą. Wymienione związki chemiczne stanowią przykłady kwasów oraz zasad, substancji, które potencjalnie, w większym stężeniu, stanowią zagrożenie dla żywych komórek.

- **Kwasy to cząsteczki, które rozpadają się w wodzie, uwalniając jony wodorowe (H^+).** Klasycznym przykładem jest kwas solny (HCl). Po dodaniu go do wody otrzymujemy jony H^+ oraz Cl^- , co powoduje zwiększenie stężenia jonów wodorowych w roztworze wody i kwasu solnego.

- **Zasady (wodorotlenki) są substancjami rozpadającymi się w wodzie i uwalniającymi tym samym jon wodorotlenowy (OH^-).** Najbardziej znany jest wodorotlenek sodu ($NaOH$). W kontakcie z wodą rozpada się na jony Na^+ i OH^- .

Naładowane cząsteczki, takie jak jony wodorowe i wodorotlenowe, mogą rozrywać wiązania łączące atomy cząsteczek. Istoty żywe mają budowę cząsteczkową, zatem ich organizmy są bardzo narażone na uszkodzenia wywoływane przez jony uwalniane z kwasów i zasad.



Nawet woda posiada tendencję do rozpadania się na jony wodorowe i wodorotlenowe. Z każdej cząsteczki wody (H_2O) może powstać jeden jon H^+ oraz jeden jon OH^- . Jony te z łatwością łączą się ze sobą, tworząc wyjściową cząsteczkę wody, a proces ten powtarza się wielokrotnie (atomy wody bez przerwy zmieniają formę cząsteczkową na jonową i odwrotnie). W czystej wodzie liczba jonów wodorowych równoważy liczbę jonów wodorotlenowych, dlatego nie jest ona szkodliwa dla organizmów.

Względny stosunek jonów wodorowych do wodorotlenowych jest określany przez skalę pH. Poświęcimy jej uwagę w następnym ustępie oraz zastanowimy się, w jaki sposób istoty żywe regulują równowagę kwasowo-zasadową.

„Ph”enomen skali pH

Na początku XX wieku została opracowana **skala pH**, czyli system określający moc stężenia kwasu lub zasady. Symbol **pH** reprezentuje zawartość jonów wodorowych w roztworze^[3] (pozwala na przykład określić, jaką część roztworu zajmują jony H^+). Skala ta osiąga wartości w przedziale od 1 do 14. Roztwór posiadający wartość pH równą 7 jest **obojętny**, to znaczy ilość jonów wodorowych jest taka sama jak jonów wodorotlenowych — zupełnie jak w czystej wodzie.

Roztwór zawierający przewagę jonów wodorowych jest uznawany za **kwaśny**, a jego pH jest mniejsze od 7. Jeżeli cząsteczka uwalnia w wodzie jony H^+ , to mamy do czynienia z kwasem. Im więcej jest uwalnianych jonów wodorowych, tym kwas jest mocniejszy, a pH niższe.

W roztworze **zasadowym** dominuje stężenie jonów wodorotlenowych, przez co wartość pH jest większa od 7. Zasady **dysocjują** (rozpadają się) na aniony OH^- i kationy. Jony OH^- łączą się z jonami H^+ , tworząc cząsteczkę wody. Jony wodorowe są zobojętniane, dlatego ich liczba w roztworze maleje i staje się on coraz bardziej zasadowy. Z tego wniosek, że im więcej jonów wodorotlenowych jest uwalnianych do roztworu (lub im więcej jonów wodorowych jest zobojętnianych), tym mocniejszą zasadę uzyskujemy.

W tabeli 3.1 możesz porównać wartości pH różnych popularnych substancji. Pomoże Ci to zwizualizować skalę pH.

Tabela 3.1. Wartości pH różnych powszechnie występujących składników

--	--

Wartość pH	Substancja
0 (najbardziej kwaśna)	Kwas solny (HCl)
1	Elektrolit akumulatorowy
2	Sok cytrynowy, ocet, sok żołądkowy
3	Napój cola, jabłka
4	Piwo
4,5	Pomidory
5	Czarna kawa, banany
5,5	Deszczówka
6	Mocz
6,5	Ślina, mleko
7 (obojętna)	Czysta woda, łzy
7,5	Ludzka krew
8	Woda morską, jajka
9	Proszek do pieczenia, leki zobojętniające kwas
10	Wielkie Jezioro Słone ^[4]
11	Amoniak
12	Soda oczyszczona, namydlona woda
13	Środek do czyszczenia piekarników, wybielacz
14 (najbardziej zasadowa)	Wodorowęglan sodu (NaOH), środek do udrażniania kanalizacji

Bufoniaste roztwory buforowe

Procesy biochemiczne w organizmach najczęściej zachodzą w „roztworach”, takich jak osocze krwi czy cytoplazma

komórek. Są to roztwory wodne, w których rozpuszczone są niezbędne do życia jony (na przykład elektrolity). Wartość pH większości substancji tworzących ciało oscyluje w granicach 7. Nic nie jest jednak doskonałe, a ewentualne wahania wartości pH mogą mieć tragiczne konsekwencje, dlatego też organizm człowieka posiada mechanizmy naprawcze, uruchamiane na wypadek zbytniego „rozhuśnięcia” równowagi kwasowo-zasadowej. W razie potrzeby wykorzystywane są roztwory buforowe zobojętniające nadmiar jonów wodorowych i wodorotlenowych występujących we krwi.



Roztwory buforowe utrzymują stały poziom pH poprzez łączenie się z nadmiarowym stężeniem jonów H^+ lub OH^- . W pewnym sensie stanowią gąbkę pochłaniającą niepożądane jony. Jeżeli jakaś substancja uwalnia nadmiar jonów do roztworu buforowego, zostają one szybko zneutralizowane.

Najczęściej wykorzystywane roztwory buforowe w ludzkim ciele zawierają jon wodorowęglanowy (HCO_3^-) oraz kwas węglowy (H_2CO_3). Jon wodorowęglanowy transportuje dwutlenek węgla poprzez naczynia krwionośne do płuc (więcej informacji na temat układu oddechowego znajdziesz w rozdziale 15.), ale pełni również funkcję roztworu buforowego. Pochłania on jon wodorowy, na skutek czego powstaje kwas węglowy — w ten sposób zapobiega zbytniemu obniżeniu pH osocza krwi. Jeżeli wystąpi odwrotna sytuacja i pH osocza krwi zacznie wzrastać, kwas węglowy ulega rozpadowi i uwalnia jony wodorowe zobojętniające nadmiar jonów wodorotlenowych. Oczywiście bufor może działać tylko do pewnego momentu. Jeśli do krwi dostanie się zbyt dużo jonów wodorowych albo wodorotlenowych, bufor może ulec tzw. przebiciu.

Jeżeli układ buforowania osocza krwi ulegnie



przebiegu i pH spadnie do niebezpiecznie niskiego poziomu, organizm może popaść w stan zwany **kwasicą** (osocze krwi staje się zbyt kwaśne). Z kolei zbyt duże podwyższenie wartości pH grozi **zasadowicą** (osocze krwi jest zbyt zasadowe).

Cząsteczki organiczne — podstawa życia

Istnienie wszelkich układów biologicznych nie byłoby możliwe bez obecności jednego pierwiastka: węgla. Mały, niepozorny atom węgla, posiadający sześć protonów oraz cztery elektrony w zewnętrznej warstwie, stanowi rdzeń **chemii organicznej**, czyli działu chemii zajmującego się m.in. składem istot żywych. Węgiel, łącząc się z atomem wodoru (co zdarza się bardzo często wewnątrz organizmu), tworzy wiązanie kowalencyjne składające się z pary elektronów. Cząsteczki zawierające wyłącznie wiązania pomiędzy węglem a wodorem są nazywane **węglowodorami**. Często do węglowodorów dołączają również atomy azotu, siarki, a także tlenu, tworząc inne związki.

Skąd zatem pochodzą cząsteczki organiczne — zawierające w sobie węgiel? Odpowiedź jest prosta: z pożywienia. Niektóre organizmy, jak chociażby ludzie, muszą jeść inne organizmy, żeby przetrwać, ale na przykład rośliny same wytwarzają sobie pokarm. Bez względu na źródło pożywienia zawsze stanowi ono paliwo dostarczające ciału węgiel.

Atomy węgla stanowią fundament istot żywych, ponieważ są spotykane w węglowodanach, białkach, lipidach i kwasach nukleinowych — o których wiemy, że pełnią funkcję materiału budulcowego ciał żywych istot. Poniżej zajmiemy się omówieniem wymienionych związków chemicznych.

Dostarczanie energii — węglowodany

Jak sama nazwa wskazuje, węglowodany składają się z węgla, wodoru i tlenu. Podstawowy wzór węglowodanu to CH_2O , co oznacza, że główną jego jednostkę tworzy atom węgla, dwa atomy wodoru oraz jeden atom tlenu. Wzór ten można mnożyć; przykładowo wzór glukozy wygląda następująco: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Jest to podstawowy wzór pomnożony przez 6.



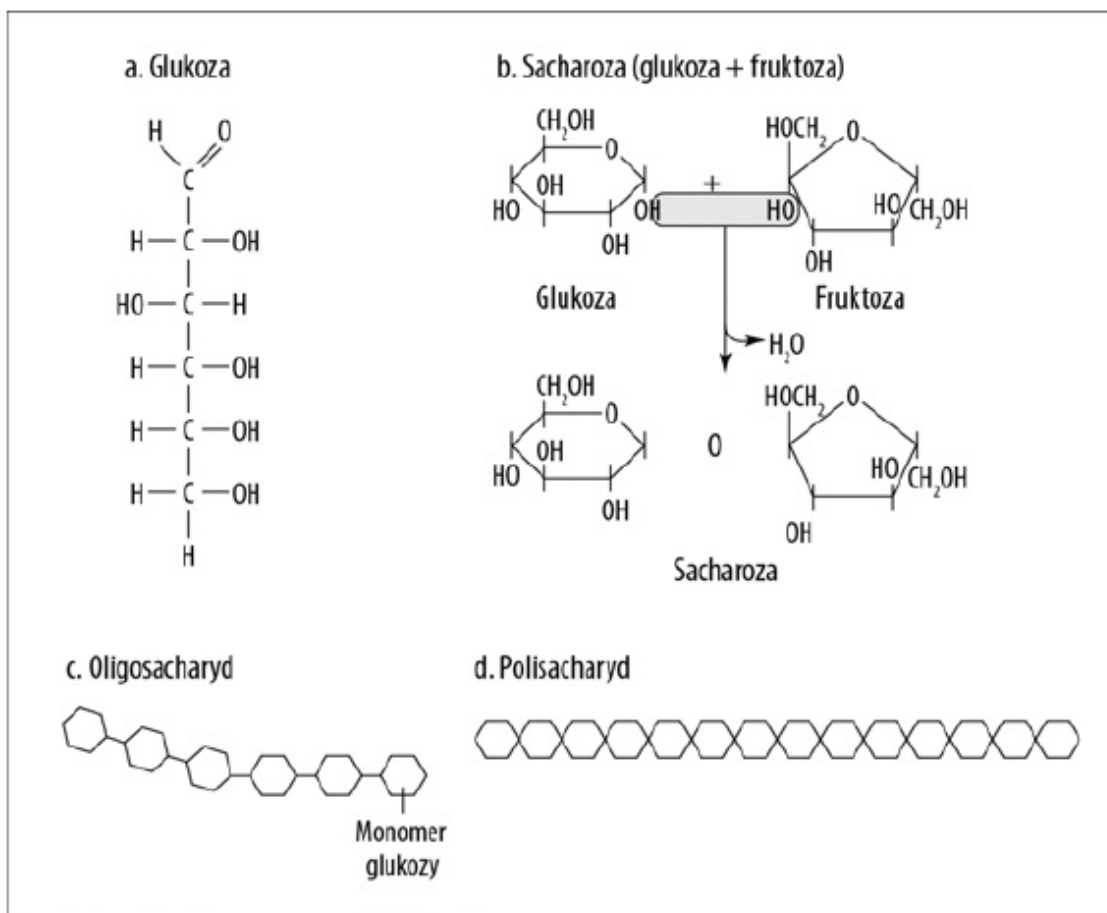
Ale co to właściwie jest? **Węglowodany** stanowią przede wszystkim źródło energii. Istoty żywe potrafią błyskawicznie je rozkładać i uwalniać w ten sposób niemal natychmiast dostępną energię. Energia ta jednak nie wystarczy na długo, z tego powodu zapasy węglowodanów muszą być stale odnawiane, stąd pojawiające się co kilka godzin uczucie głodu. Rola węglowodanów nie ogranicza się jedynie do źródła energii, stanowią one również materiał budulcowy (tworzą chociażby ścianę komórkową w roślinach).

Węglowodany dzielimy następująco:

- **Monosacharydy**. Proste cukry zawierające od trzech do siedmiu atomów węgla to **monosacharydy** (rysunek 3.3 a). W organizmach żywych monosacharydy tworzą pierścieniowe struktury oraz potrafią się ze sobą łączyć, tworząc dłuższe łańcuchy cukrowe. Najczęściej występującym monosacharydem jest glukoza.
- **Disacharydy (dwucukry)**. Z dwóch połączonych cząsteczek monosacharydów otrzymujemy **disacharyd** (rysunek 3.3 b). Typowymi reprezentantami tego typu cukrów są sacharoza (cukier spożywczy) oraz laktoza (cukier występujący w mleku).

- **Oligosacharydy**. Łańcuchy stworzone z kilku monosacharydów tworzą **oligosacharydy** (rysunek 3.3 c). Pełnią one ważną funkcję znaczników w błonie komórkowej (więcej informacji na temat komórki znajdziesz w rozdziale 4.). To właśnie dzięki oligosacharydom istnieje podział krwi na grupy A i B (krew osób posiadających grupę 0 jest pozbawiona tych specyficznych antygenów).

- **Polisacharydy (wielocukry)**. Długie łańcuchy połączonych ze sobą cukrów prostych tworzą **polisacharydy** (rysunek 3.3 d). Niektóre są naprawdę olbrzymie i mogą składać się z tysięcy połączonych ze sobą monosacharydów. Przykładowymi wielocukrami są skrobia i glikogen, związki chemiczne pełniące rolę magazynu węglowodanów odpowiednio: u roślin i zwierząt.



Rysunek 3.3. Różne formy węglowodanów



Zwróć uwagę, że większość nazw węglowodanów posiada końcówkę **-oza**. Glukoza, fruktoza, ryboza, sacharoza, maltoza — są to nazwy cukrów. **Cukrami** nazywamy rozpuszczalne w wodzie węglowodany, które mają słodki smak i krystaliczną budowę. Zupełnie jak cukier spożywczy używany do słodzenia kawy lub herbaty.

O co chodzi z tymi „naturalnymi” cukrami?

Cukry stanowią istotne źródło energii oraz węgla, który może zostać wykorzystany jako materiał budulcowy. Mimo to wiele osób czuje jednocześnie miłość i nienawiść do sacharydów. Nadmierne spożywanie takich cukrów jak sacharoza prowadzi do otyłości, cukrzycy oraz próchnicy zębów, zatem niektórzy uważają ją za substancję szkodliwą dla zdrowia. Takie podejście

sprawiło, że w pewnych gałęziach przemysłu spożywczego rozpoczęto poszukiwanie zamienników sacharozy. Niektóre produkty są reklamowane jako zdrowsze, ponieważ zawierają takie „naturalne” cukry jak fruktoza (występująca w owocach). Prawda jest taka, że fruktoza niewiele różni się od sacharozy — co więcej, stanowi ona jeden z dwóch monosacharydów tworzących cukier spożywczy. Posiada ona sześć atomów węgla, jest metabolizowana nieco wolniej od glukozy i ma słodszy smak. Teoretycznie więc mniejsza ilość fruktozy powinna skutecznie zastępować glukozę lub sacharozę. Pamiętaj jednak, że siła słodząca fruktozy zależy od rodzaju słodzonego pożywienia. Często pomiędzy pokarmami słodzonymi sacharozą oraz fruktozą nie ma wielkiej różnicy w wartości spożywczej. Dodajmy do tego, że spora część tej „naturalnej” fruktozy jest pozyskiwana z rozpadu sacharozy, a nie pobierana z owocu. Zatem chociaż koncepcja „naturalnego” cukru brzmi kusząco, różnica pomiędzy dwoma sacharydami może być nieodczuwalna dla organizmu.

Zajmiemy się teraz mechanizmami oddziaływań pomiędzy cukrami oraz poznamy sposób przechowywania glukozy w ludzkim organizmie.

Łączenie i rozbijanie cukrów

Monosacharydy łączą się ze sobą w procesie zwanym **kondensacją** albo **syntezą odwodnieniową**, w której następuje wiązanie dwóch cząsteczek wraz z wytworzeniem cząsteczki wody. Proces ten jest pokazany na rysunku 3.3 b, gdzie glukoza łączy się z fruktozą i otrzymujemy sacharozę.



Termin **synteza odwodnieniowa** brzmi bardzo technicznie, ale jeżeli zastanowimy się nad znaczeniem poszczególnych wyrazów, stanie się od razu jasny i zrozumiały. Jak zapewne wiesz, **odwodnienie (dehydratacja)** pojawia się zawsze wtedy, gdy Twojemu organizmowi brakuje wody. Doskwiera Ci suchość, ponieważ woda zostaje częściowo usunięta z określonych komórek (np. języka) po to, aby mogły funkcjonować inne, ważniejsze komórki, takie jak neurony czy mięsień sercowy. **Synteza** to nic innego jak proces łączenia. Jeśli nad tym dłużej pomyśleć, wychodzi na to, że podczas syntezy odwodnieniowej coś się musi połączyć w

momencie usunięcia cząsteczki wody. I tak się właśnie dzieje. W momencie wiązania się glukozy z fruktozą jako produkt uboczny otrzymujemy cząsteczkę wody pochodzącą z atomów obydwu monosacharydów.

Procesem stanowiącym przeciwieństwo syntezy odwodnieniowej jest hydroliza. W reakcji **hydrolizy** cukier złożony ulega rozkładowi na tworzące go cukry proste. W hydrolizowanej substancji zostaje rozbita cząsteczka wody (w języku łacińskim przedrostek *hydro* oznacza wodę^[5], a wyraz *lysis* — rozpad). Po dodaniu sacharozy do wody i w obecności odpowiednich substancji cukier ten rozkłada się na glukozę i fruktozę.

Proces magazynowania glukozy

Węglowodany występują niemal w każdym rodzaju pożywienia, nie tylko w chlebie czy makaronie. Owoce, warzywa, a nawet mięso zawierają sacharydy — chociaż to ostatnie w mniejszej ilości. Zasadniczo każde słodzone jedzenie zawiera węglowodany i większość pokarmów jest przetwarzana na cukry w procesie trawienia.

Podczas trawienia pokarmu zawarte w nim węglowodany są rozbijane na cukry proste, na przykład glukozę. Cząsteczki glukozy są następnie wchłaniane z jelit do krwi, a stamtąd rozprowadzane po całym organizmie. Każda komórka jest zaopatrywana w glukozę, gdyż stanowi ona źródło energii i atomów węgla.

Cukier ten wyzwala błyskawiczny zastrzyk energii, dlatego organizm zawsze przechowuje jakiś jego zapas. Istoty żywe magazynują glukozę w postaci polisacharydów, które w razie potrzeby są szybko rozbijane na cukry proste. Poniżej opisujemy dwa główne wielocukry stanowiące zapas glukozy.

- **Glikogen.** Zwierzęta (w tym ludzie) magazynują glukozę w **glikogenie**. Posiada on zwartą strukturę,

dlatego komórki mogą go przechowywać w dużych ilościach. Wybitną fanką glikogenu jest wątroba, w której ukryte są olbrzymie zapasy polisacharydu uwalniane w czasie większego wysiłku.

- **Skrobia**. Substancją przechowującą glukozę w organizmach roślinnych jest **skrobia**. W procesie fotosyntezy liście wytwarzają glukozę, której część jest później magazynowana właśnie w postaci skrobi. Gdy pojawia się zapotrzebowanie na cukry proste, skrobia zostaje rozbita na mniejsze elementy.



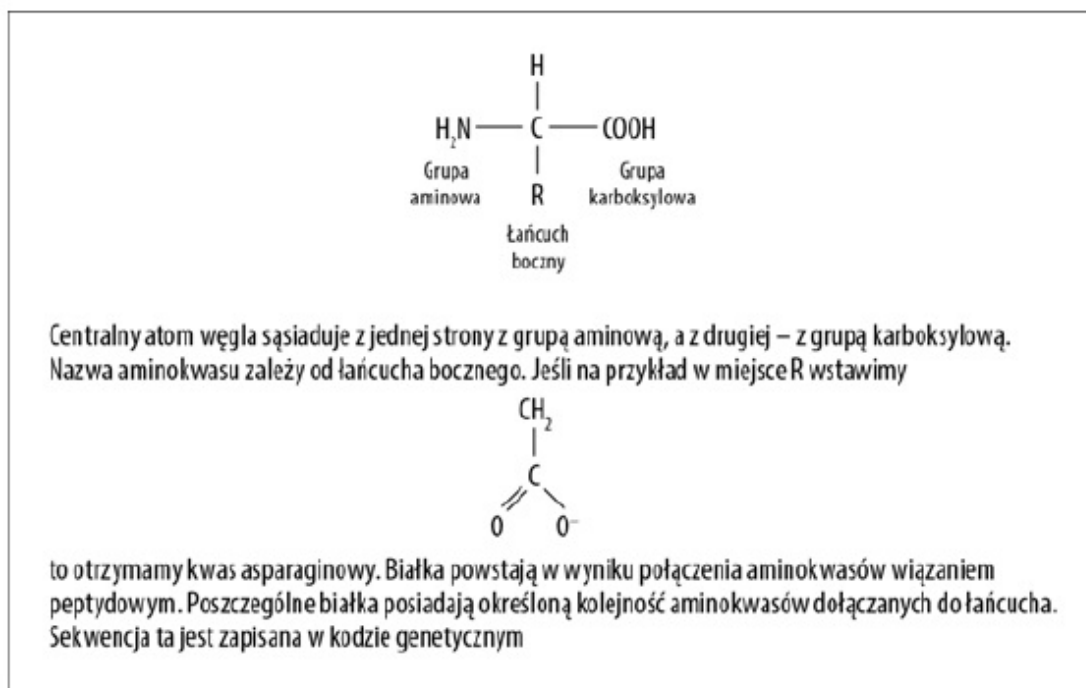
Innym wielocukrem wytwarzanym przez rośliny jest **celuloza (błonnik)**. Pełni ona raczej rolę budulcową niż magazynującą, ponieważ dzięki niej organizmy roślinne zachowują sztywność. Z powodu specyficznych wiązań pomiędzy cząsteczkami glukozy celuloza nie jest trawiona przez większość zwierząt (człowiek też jej nie metabolizuje). Celuloza przechodzi przez układ pokarmowy praktycznie nietknięta, co pomaga w utrzymaniu dobrej kondycji jelit.

Życie staje się faktem — białka

Bez białek życie po prostu by nie istniało. Wiele białek pełni funkcję budulcową komórek, inne wiążą się z określonymi cząsteczkami i transportują je wewnątrz organizmu. Niektóre z nich biorą udział w reakcjach chemicznych jako enzymy (dowiesz się więcej na ich temat w rozdziale 4.). Część białek jest odpowiedzialna za skurcze mięśni lub odpowiedź immunologiczną. Zadania białek są tak różnorodne, że nie ma możliwości, abyśmy je wszystkie omówiły, ale za to pomożemy Ci zrozumieć ich budowę oraz podstawowe właściwości.

Elementy składowe białek

Podstawę wszystkich białek stanowią **aminokwasy**, wśród których wyróżniamy dwadzieścia podstawowych rodzajów. Wyobraź sobie, że są to wagony tworzące pociąg zwany białkiem. Na rysunku 3.4 widzimy przykładowy aminokwas.



Rysunek 3.4. Struktura aminokwasu

Zawarta w komórkach informacja genetyczna stanowi instrukcję opisującą specyficzną kolejność łączenia poszczególnych aminokwasów w **łańcuch polipeptydowy**. Aminokwasy, podobnie jak cukry, wiążą się ze sobą w procesie syntezy odwodnieniowej (omówionej w ustępie „Łączenie i rozbijanie cukrów”). Każdy łańcuch polipeptydowy składa się z określonej liczby ściśle uporządkowanych aminokwasów.

Główne funkcje białek

Na aktywne biologicznie **białko** składa się co najmniej jeden łańcuch polipeptydowy. Po skonstruowaniu białka pełni ono określoną funkcję w komórce lub stanowi jej element budulcowy.

• **Enzymy to białka przyspieszające reakcje chemiczne.** Procesy metaboliczne nie są przeprowadzane samoistnie; do ich aktywacji wymagane są enzymy. Bardziej szczegółowe informacje na ich temat zostały umieszczone w rozdziale 4.

• **Białka strukturalne wzmacniają architekturę komórek i tkanek.** Kolagen występujący w **tkance łącznej** (wiążącej mięśnie z kośćmi) jest najczęściej spotykanym białkiem u kręgowców. Z tkanki łącznej składają się więzadła, ścięgna, chrząstki, tkanka kostna, a nawet rogówka. Służy ona do utrzymania sztywności ciała, a jednocześnie wykazuje niesamowitą elastyczność oraz wytrzymałość na rozciąganie.

• **Białka transportujące przenoszą składniki w obszarze komórki oraz poza nią.** Hemoglobina stanowi przykład białka transportującego — znajduje się w czerwonych krwinkach i rozprowadza tlen po całym organizmie. Cząsteczka hemoglobiny przypomina z kształtu czterolistną koniczynę pozbawioną łodygi. Każdy „listek” hemoglobiny stanowi osobny łańcuch polipeptydowy. W środku tego białka znajduje się grupa hemowa (stykająca się ze wszystkimi łańcuchami polipeptydowymi) z centralnie umieszczonym jodem żelaza. W momencie wymiany gazowej pomiędzy płucami a krwią (układy oddechowy i krwionośny są dokładniej opisane w rozdziale 15.) jon żelaza wiąże się z cząsteczkami tlenu. Kiedy strumień krwi dopływa do tkanek, cząsteczki tlenu odłączają się od hemoglobiny i przechodzą przez błonę komórkową.

Rysowanie mapy komórki — kwasy nukleinowe

Aż do lat czterdziestych ubiegłego wieku naukowcy uważali, że informacja genetyczna jest przenoszona przez białka.

Sądziło się, że odkryte w tamtym czasie kwasy nukleinowe są zbyt małe, aby pełnić jakąś istotną funkcję. Wszystko uległo zmianie w 1953 roku, gdy James Watson i Francis Crick rozwikłali strukturę kwasu nukleinowego i udowodnili coś wręcz przeciwnego: to kwasy nukleinowe są odpowiedzialne za syntezę białek^[6]!

Kwasy nukleinowe są olbrzymimi cząsteczkami przenoszącymi mnóstwo danych, a mianowicie pełną informację genetyczną danego organizmu. Znaleźć je można we wszystkich istotach żywych — roślinach, zwierzętach, bakteriach i grzybach. Pomyśl o tym przez chwilę. Ludzie nie przypominają grzybów, a rośliny zachowują się zupełnie inaczej niż bakterie, ale na najbardziej podstawowym poziomie wszystkie te istoty zawierają te same „składniki” chemiczne tworzące bardzo podobny materiał genetyczny.



Kwasy nukleinowe składają się z sekwencji **nukleotydów**. Każdy nukleotyd zbudowany jest z trzech głównych elementów:

- zasady zawierające azot, zwanej po prostu **zasadą azotową**,
- cukru posiadającego pięć atomów węgla,
- grupy fosforanowej.

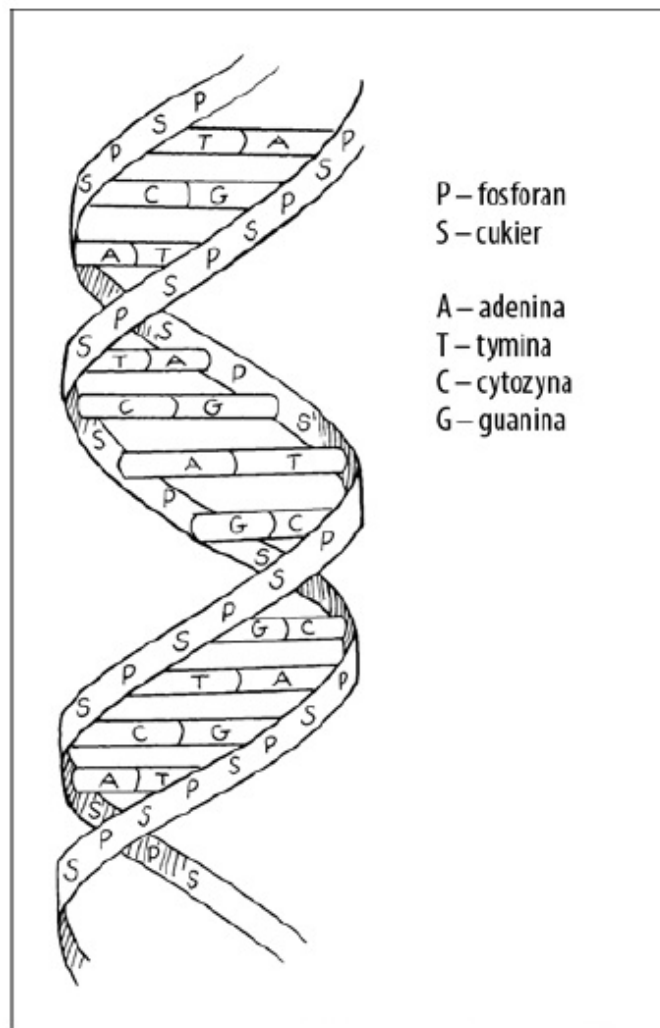
I to wszystko. Wszystkie informacje genetyczne opisujące Twoją budowę, osobowość, a może nawet inteligencję, są zapisane w cząsteczkach zawierających związek azotowy, trochę cukru i fosforan. W kolejnych ustępach przyjrzymy się dwóm rodzajom kwasów nukleinowych.

Kwas deoksyrybonukleinowy (DNA)

Być może w związku z DNA (skrót od nazwy **kwas deoksyrybonukleinowy**^[7]) obito Ci się o uszy określenie „podwójna helisa”. Cząsteczka DNA składa się z dwóch nici nukleotydów ułożonych w taki sposób, że przypominają

poskręcaną drabinę. Przekonaj się na własne oczy i spójrz na rysunek 3.5.

Boki „drabiny” DNA składają z cząsteczek cukru oraz fosforanu, stąd wzięło się pojęcie „szkielet cukrowo-fosforanowy” (cukier w DNA nosi nazwę deoksyryboza). „Szczęble” wykonane są z par zasad azotowych umieszczonych naprzeciwko siebie.



Rysunek 3.5. Model podwójnej helisy DNA

Zasady azotowe tworzące strukturę podwójnej helisy w DNA to adenina (A), guanina (G), cytozyna (C) oraz tymina (T). Kolejność ułożenia zasad na nici DNA stanowi nośnik informacji



genetycznej. Co ciekawe, pary zasad łączą się ze sobą w specyficzny sposób: adenina wiąże się wyłącznie z tyminą (A – T), a guanina — z cytozyną (G – C). Wymienione **pary zasad** posiadają konfigurację umożliwiającą powstanie między nimi wiązań wodorowych.

Określone odcinki nici DNA zawierające szereg zasad azotowych tworzą geny. **Genem** nazywamy jednostkę informacji genetycznej przechowującą instrukcję syntezy określonego białka oraz przekazywaną kolejnym pokoleniom w drodze dziedziczenia. Za każdym razem, gdy powstaje nowa komórka, materiał genetyczny zostaje powielony i umieszczony w jej wnętrzu (szczegóły tego procesu zostały omówione w rozdziale 6.). Nowo powstała komórka może wtedy wytwarzać białka oraz przekazać informację genetyczną następnemu pokoleniu.

Geny nie stanowią domeny wyłącznie komórek rozrodczych. Każda komórka w organizmie zawiera DNA (a zatem również i geny), ponieważ niezbędnym procesem do przetrwania jest biosynteza białek. Białka stanowią materiał budulcowy oraz umożliwiają przeprowadzanie procesów fizjologicznych. Zatem przepis na życie można znaleźć w każdej, najmniejszej nawet komórce^[8].

Rozmieszczenie zasad azotowych w nici DNA (lub części DNA, która stanowi gen) definiuje kolejność dołączania aminokwasów do łańcucha białkowego. W zależności od kształtu budowanego białka będzie ono tworzyć strukturę jakiejś części ciała (na przykład tkanki mięśniowej, skóry lub włosów) albo zostanie przeznaczone do wykonywania określonej czynności (jak chociażby transportowania tlenu do komórek).

Każdy proces wykonywany w komórce oraz każdy element metabolizmu opiera się na informacji genetycznej przechowywanej w DNA — a zatem



również na wytwarzaniu właściwych białek. Błędnie zsyntetyzowane białko jest pierwszym krokiem do choroby (ma to miejsce w przypadku raka).

Kwas rybonukleinowy (RNA)

RNA, czyli **kwas rybonukleinowy**, składa się z łańcucha nukleotydów i pełni istotną rolę w procesach przekazywania informacji. Jest nieodzowny w procesie biosyntezy białek (opisanej w rozdziale 8.). Jego budowa różni się nieznacznie od konstrukcji DNA.

- cząsteczka RNA jest jednoniciowa,
- do zasad białkowych należą adenina, guanina, cytozyna i uracyl (zamiast tyminy),
- cukier tworzący RNA to ryboza (nie deoksyryboza).

Zapas budulca, energii i nie tylko — lipidy

Aby organizm przeżył, wymaga dostarczania jeszcze jednego typu wielkocząsteczkowej substancji. Jednocześnie, jeśli chcesz uniknąć problemów zdrowotnych, starasz się unikać jej nadmiaru. Mamy tu na myśli tłuszcze, które stanowią zarówno błogosławieństwo, jak również przekleństwo, a wszystko z powodu ich **gęstości energetycznej** (upakowania dużej ilości kalorii w niewielkiej masie). Gęstość energetyczna tłuszczów jest tak duża, że stanowią one główny sposób magazynowania energii w ciele każdej istoty żywej — okazują się bardzo przydatne przy niedoborze pożywienia. Z drugiej strony ta sama gęstość energetyczna sprawia, że można szybko przytyć w niekontrolowany sposób!

Tłuszcze należą do grupy substancji chemicznych zwanej lipidami. **Lipidy** są cząsteczkami **hydrofobowymi**, co

znaczy, że nie rozpuszczają się w wodzie. Zapewne słyszałaś/słyszałeś stwierdzenie, że „olej nie miesza się z wodą”. Olej jest ciekłym lipidem, zatem powyższe powiedzenie jest prawdziwe. Masło i smalec stanowią przykłady tłuszczów stałych, podobnie jak woski, których wodoodporne właściwości znalazły zastosowanie w smarowaniu desek snowboardowych, nart i pojazdów samochodowych.



Istnieją trzy podstawowe kategorie lipidów:

- **Fosfolipidy**. Częsteczka fosfolipidu składa się z dwóch łańcuchów kwasów tłuszczowych oraz z grupy fosforanowej. Stanowią one bardzo ważny element budulcowy, ponieważ są włączane do błon komórkowych (więcej informacji na temat błon komórkowych znajdziesz w rozdziale 4.). To nie fosfolipidy powodują zatykanie naczyń krwionośnych.

- **Sterydy**. Związki te, składające się z czterech pierścieni węglowych oraz grupy funkcyjnej (określającej właściwości sterydu), najczęściej występują w roli hormonów. **Cholesterol** jest częsteczką sterydową, z której wytwarzane są m.in. testosteron i estrogeny; stanowi również bardzo ważny element błon komórkowych. Jest on problematyczną substancją, ponieważ transportują go w organizmie inne lipidy. Jeżeli w Twojej krwi znajduje się zbyt wiele cholesterolu, to jednocześnie występuje w niej zbyt wiele tłuszczów. Jest to niebezpieczna sytuacja, ponieważ zarówno te tłuszcze transportujące, jak i cholesterol mogą odkładać się w naczyniach krwionośnych i wywoływać ich niedrożność, a nawet zawał serca lub wylew^[9].

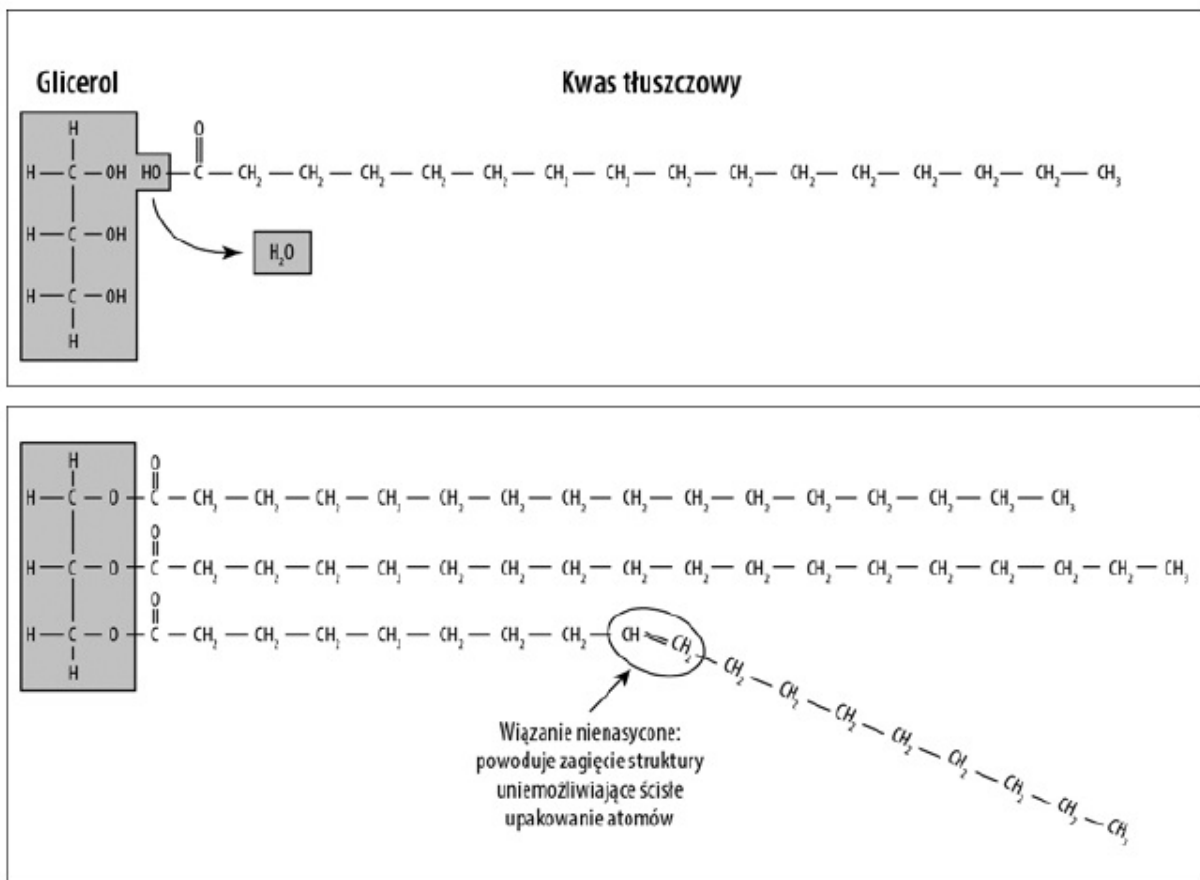
- **Trójglicerydy**. Są to różnorodne tłuszcze i

oleje, posiadające trzy łańcuchy kwasów tłuszczowych oraz cząsteczkę glicerolu. Pełnią ważne funkcje izolacyjne oraz magazynujące. W organizmie człowieka tłuszcze są wytwarzane z nadmiaru glukozy. Po zmagazynowaniu maksymalnego możliwego zapasu glikogenu w wątrobie pozostała ilość glukozy zostaje przetworzona właśnie na trójglicerydy (zarówno cukry, jak i tłuszcze składają się z takich samych atomów węgla, tlenu i wodoru, przez co wystarczy zmienić konfigurację poszczególnych pierwiastków). Trójglicerydy krążą we krwi w oczekiwaniu na pochłonięcie przez **tkankę tłuszczową** — miękki, delikatny tłuszczuk usytuowany pod skórą. Tkanka tłuszczowa zawiera olbrzymią liczbę tłustych kropelek. Im więcej cząsteczek jest odkładanych do tkanki tłuszczowej, tym staje się ona większa (wraz z organizmem).

Stan skupienia trójglicerydu (oleisty lub stały) zależy od liczby wiązań pomiędzy atomami węgla.

- Stałe tłuszcze posiadają wiele pojedynczych wiązań pomiędzy atomami węgla. Takie **wiązania nasycone** sprawiają, że atomy są upakowane blisko siebie (rysunek 3.6), stąd duża gęstość trójglicerydu w temperaturze pokojowej.
- Pomędzy atomami węgla w olejach występuje spora liczba wiązań podwójnych. Z powodu tych **nienasyconych wiązań** struktura cząsteczki jest mniej zwarta (rysunek 3.6), przez co oleje są ciekłe w temperaturze pokojowej.

Tłuszcze stanowią magazyn energii dla całego organizmu. Gdy zużyjesz całą dostępną glukozę (co następuje dość szybko, gdyż glukoza skutecznie „spala się” w warunkach tlenowych), Twój organizm zacznie rozkładać glikogen przechowywany głównie w wątrobie i mięśniach. Zapasy glikogenu w wątrobie zazwyczaj wystarczą na 12 lub więcej godzin. Po upływie tego czasu rozpoczyna się proces zużywania materiałów zebranych w tkance tłuszczowej. Dlatego właśnie najlepszym sposobem na pozbycie się tkanki tłuszczowej jest aerobik — pod warunkiem że spalisz co najmniej tyle samo kalorii, co zjadłeś/zjadłaś w ciągu doby (zwróć uwagę, że nie wspominamy tu o „kilogramach”. Za pomocą kilogramów mierzony jest ciężar całego organizmu — tkanki tłuszczowej, mięśniowej, kostnej, a także wody, narządów, skóry oraz innych elementów, mniej lub bardziej przypadkowych).



Rysunek 3.6. Wiązania nasycone i nienasycone w typowym trójglicerydzie

Przypisy:

[1] Pierwiastki o liczbach atomowych 113 (Ununtrium), 115 (Ununpentium), 117 (Ununseptium) i 118 (Ununoctinum) czekają na zatwierdzenie oficjalnych nazw, odpowiednio: Nihonium, Moscovium, Tennessine oraz Oganesson. Są to angielskie nazwy, ich polskie odpowiedniki nie były jeszcze znane w czasie tłumaczenia książki — *przyp. tłum.*

[2] Kruche ciasteczka z kawałkami czekolady — *przyp. tłum.*

[3] Skala pH jest skalą logarytmiczną. Dokładniej rzecz ujmując, wartość pH jest ujemnym logarytmem ze stężenia jonów wodorowych — *przyp. red.*

[4] Jezioro znajdujące się w zachodniej części Stanów Zjednoczonych — *przyp. tłum.*

[5] Oraz wodór — *przyp. tłum.*

[6] Należy tu wymienić jeszcze dwie osoby, które znacznie przyczyniły się do odkrycia struktury DNA, ale niestety rzadko się o nich wspomina. Bez wyników badań rentgenograficznych DNA uzyskanych przez Rosalind Franklin oraz Maurice'a Wilkinsa określenie budowy podwójnej helisy zajęłoby Watsonowi i Crickowi znacznie więcej czasu, a być może nigdy nie doszliby do swoich wiekopomnych wniosków — *przyp. tłum.*

[7] Spotykana jest również dawniejsza forma: kwas dezoksyrybonukleinowy — *przyp. tłum.*

[8] Nie do końca w każdej komórce. Przykładem są dojrzałe krwinki czerwone (erytrocyty), u których zanika jądro komórkowe — *przyp. tłum.*

[9] Zgodnie ze współczesnymi badaniami nie istnieje jednoznaczny związek pomiędzy nadmiarem cholesterolu a ryzykiem wystąpienia zawału — *przyp. red.*

Rozdział 4.

Żywa komórka

.....

W tym rozdziale:

- ▶ dowiesz się, co czyni z komórki podstawową jednostkę organizmu;
 - ▶ zapoznasz się z budową komórek prokariotycznych i eukariotycznych;
 - ▶ zrozumiesz, w jaki sposób enzymy przyspieszają przebieg reakcji.
-

Każda żywa istota jest zbudowana z komórek. Najmniejsze organizmy posiadają zaledwie jedną komórkę, ale są równie żywe jak Ty. Czym właściwie jest komórka? Najprościej mówiąc, stanowi ona najmniejszy żyjący element organizmu — również Twojego. Bez budowy komórkowej stanowilibyśmy jedynie chaotyczny zbiór związków chemicznych, które szybko rozpląnęłyby się w otoczeniu. Z tego właśnie powodu komórka jest uznawana za podstawową jednostkę życia.

W tym rozdziale zabierzemy Cię w podróż po strukturze i funkcjach komórek. Podstawą działania komórki są reakcje chemiczne, dlatego przyjrzymy się również **enzymom**, czyli białkom przyspieszającym procesy zachodzące w jej wnętrzu.

Podstawowe informacje o komórkach

Komórki przypominają pęcherzyki wypełnione płynem, wzmocnione białkami strukturalnymi oraz otoczone błonami. Zawartością płynu są związki chemiczne oraz **organelle** — wewnątrzkomórkowe struktury przeprowadzające procesy metaboliczne (tak, są to elementy jeszcze mniejsze od samej komórki, ale nie są uznawane za żywe jednostki, ponieważ

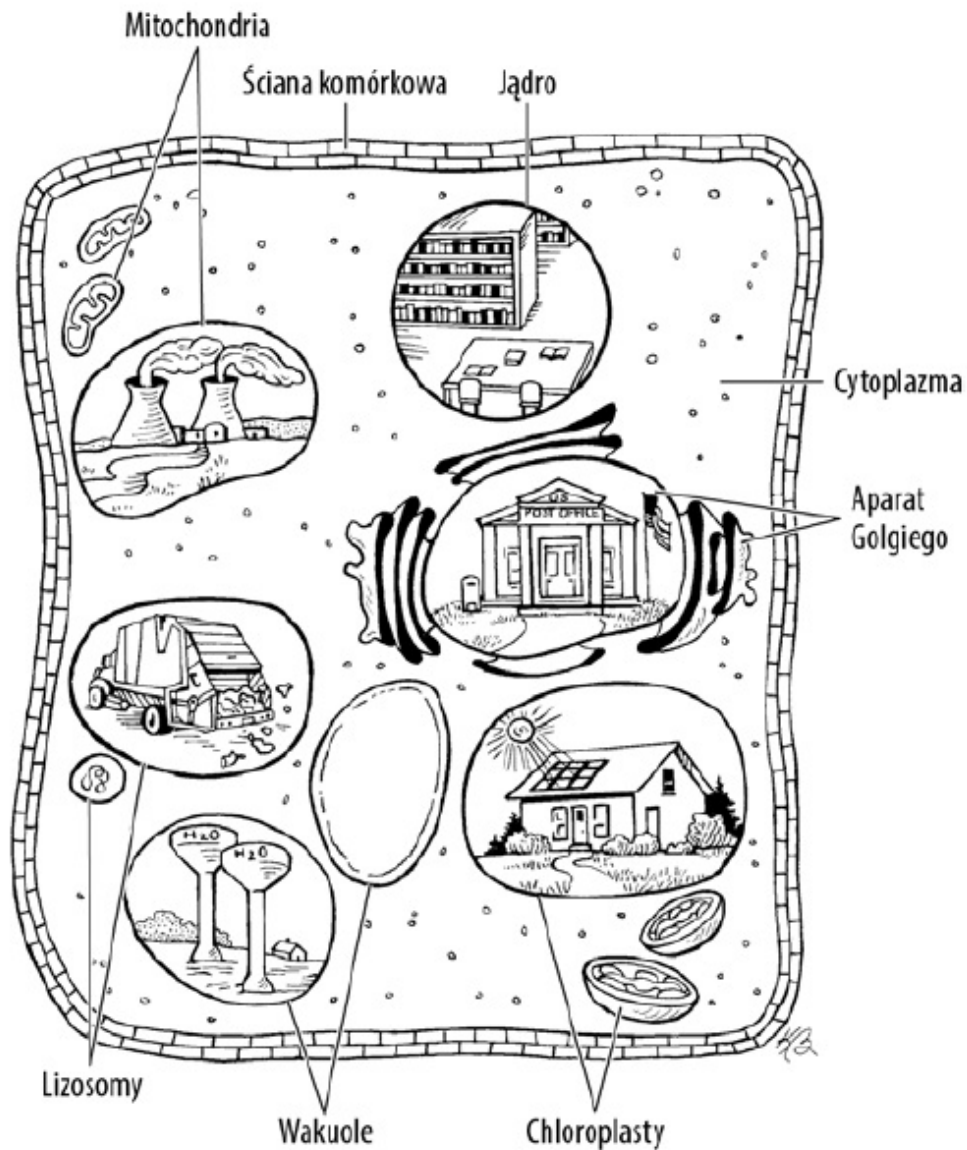
nie wykazują wszystkich cech charakteryzujących istotę żywą).



Komórka jest najmniejszą strukturą wykazującą wszystkie właściwości charakterystyczne dla żywego organizmu. Na przykład może ona pobrać paliwo, przetworzyć je na energię oraz usuwać produkty uboczne, podobnie jak organizm wielokomórkowy. Komórki wykazują wszystkie właściwości istoty żywej (zostało to ukazane na rysunku 4.1), zatem stanowią najmniejsze jednostki życia.

Komórki są klasyfikowane na różne sposoby, w zależności od budowy, funkcji czy też powinowactwa ewolucyjnego. Ze względu na wewnętrzną budowę naukowcy dzielą komórki następująco:

- **Prokarionty (bezządrowce)** — nie posiadają wykształconego jądra (nici DNA są zanurzone w cytoplazmie komórki) oraz większości organelli. Wszystkie bakterie i archeony są prokariontami.
- **Eukarionty (jądrowce)** — zawierają jądro komórkowe, w którym jest przechowywany materiał genetyczny. Posiadają również organelle. Do tej kategorii zaliczamy rośliny, zwierzęta, glony oraz grzyby.



Rysunek 4.1. Komórki wykazują wszystkie cechy istoty żywej

Wirusy a bakterie

Wirusy (np. wywołujące gripę, przeziębienie lub AIDS) nie posiadają budowy komórkowej. Chociaż podobnie jak bakterie są chorobotwórcze, znacznie różnią się od bakterii. Wirusy mają o wiele prostszą budowę i tak naprawdę składają się zaledwie z kilku cząsteczek. Są one tak nieskomplikowane, że nie potrafią samodzielnie rosnąć ani się rozmnażać (nie są więc uznawane za istoty żywe). Mogą się dzielić jedynie wtedy, gdy przejmą komórkę gospodarza i wykorzystają zawarte w niej organelle, substancje oraz energię (więcej informacji na temat mechanizmów infekcji wirusowych znajdziesz w rozdziale 17.).

Rzut okiem na prokarionty

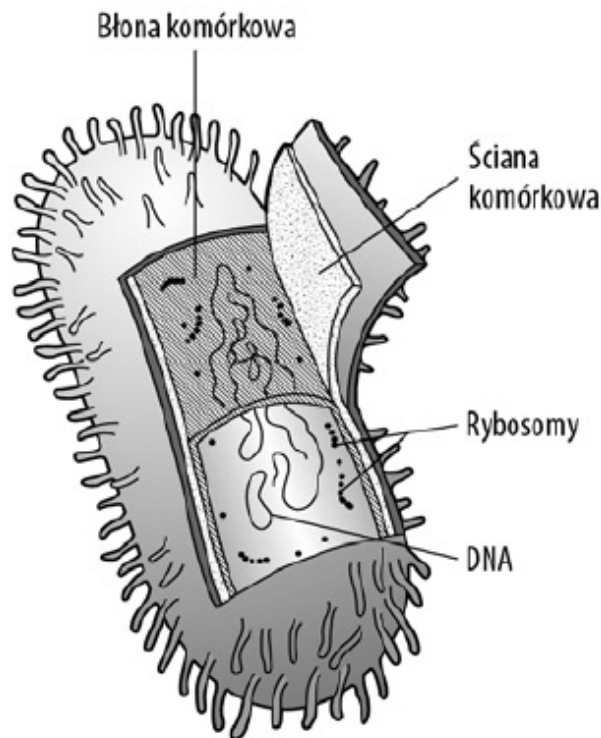
Do prokariontów zaliczają się takie popularne organizmy jak bakterie *E. coli*, *Streptococcus* (wywołuje anginę), niebieskozielone glony zarastające często jeziora czy też kultury bakterii zamieszkujące jogurt naturalny, a także istoty, o których mogłaś/mogłeś jeszcze nie słyszeć — archeony (zdobędziesz wiedzę na ich temat, zapoznając się z informacjami zawartymi w rozdziale 10.).

Bez względu na klasyfikację wszystkie prokarionty posiadają złą sławę medialną. Pojawiają się w mediach tylko wtedy, gdy sprawiają problemy, na przykład wywołują epidemie. Prawda jest jednak taka, że bakterie wykonują po cichu wiele czynności pożytecznych dla człowieka oraz całego świata ożywionego. Gdyby wspomniano również o dobrych uczynkach bakterii, nagłówki gazet mogłyby wyglądać następująco:

- ***Bakterie służą do wytwarzania pożywienia!*** Ludzie uważają, że jogurty i sery są całkiem smaczne.
- ***Bakterie sprzątają po nas!*** Organizmy rozkładające ropę naftową zapewniają czystość plaż, a inne bakterie oczyszczają ścieki.
- ***Żyjące w nas bakterie chronią przed chorobami!*** Bakterie mieszkające w naszych organizmach stanowią poważne utrudnienie dla rozwoju chorobotwórczych drobnoustrojów.
- ***Bakterie są naturalnymi przetwórcami!*** Uwalniają one do otoczenia związki odżywcze w procesie rozkładu i umożliwiają ich ponowne wykorzystanie.
- ***Bakterie pomagają roślinom rosnąć!*** Bakterie nitryfikacyjne pobierają azot z powietrza i przetwarzają go na postać przyswajalną przez rośliny.

Komórki bezjądrowców mają stosunkowo nieskomplikowaną budowę, ponieważ w przeciwieństwie do eukariontów nie wyróżnia się w nich błon wewnętrznych ani złożonych organelli (które zostaną omówione w dalszej części rozdziału). Większość komórek prokariotycznych (rysunek 4.2) posiada pewne wspólne cechy:

- błona komórkowa tworzy wewnętrzną barierę, a sztywna ściana komórkowa odgradza komórkę od zewnątrz, a do tego wzmacnia jej konstrukcję;
- materiał genetyczny prokariotów, czyli DNA, znajduje się bezpośrednio w cytoplazmie i jest zwany nukleoidem;
- rybosomy wytwarzające białka znajdują się w cytoplazmie;
- bezjądrowce rozkładają związki pokarmowe w procesie oddychania komórkowego (zużywającego tlen zgodnie z opisem w rozdziale 5.), a także podczas beztlenowej fermentacji^[1].



Rysunek 4.2. Komórka prokariotyczna

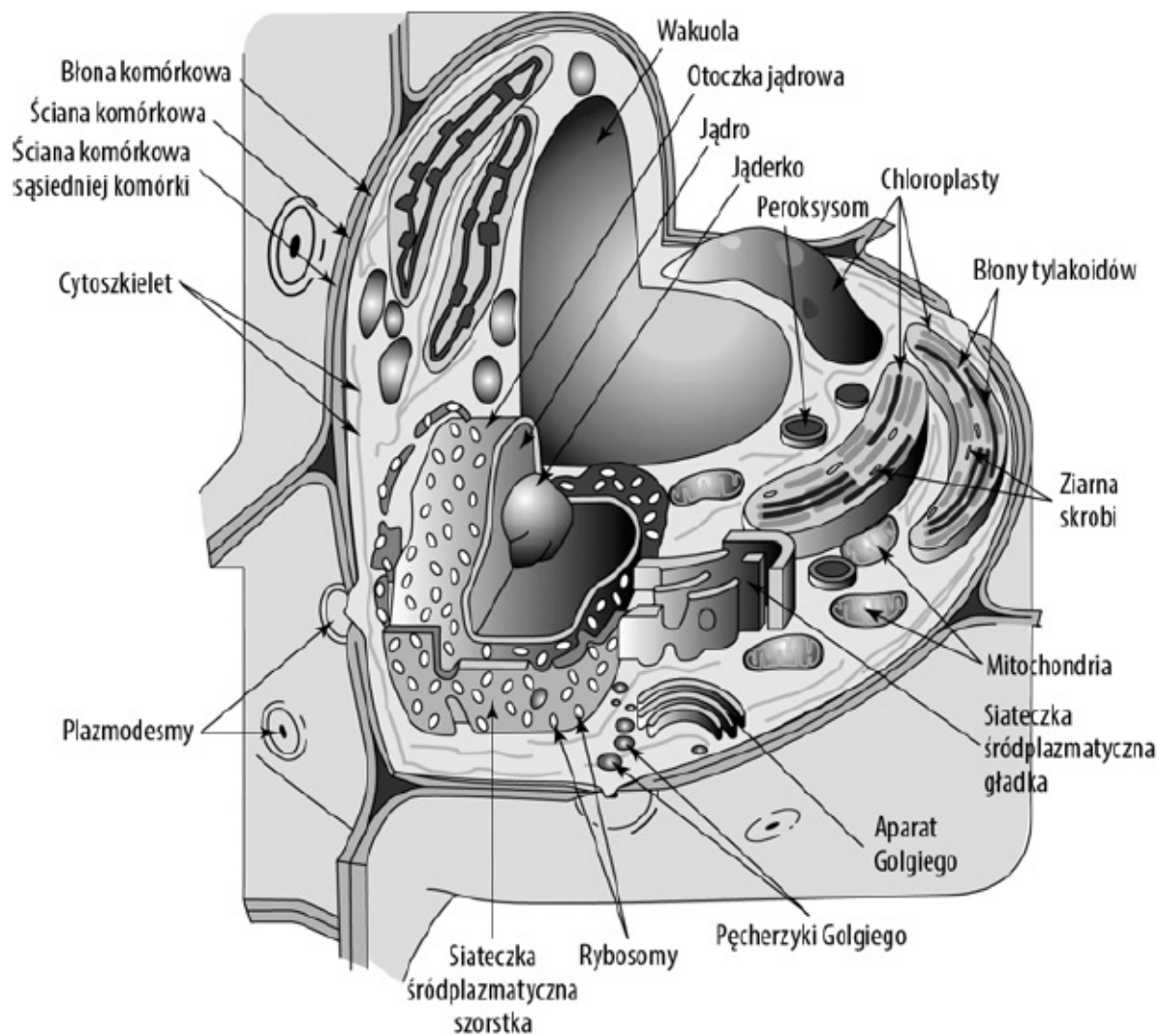
Budowa komórki eukariotycznej

Większość dobrze Ci znanych organizmów — ludzie, zwierzęta, rośliny oraz grzyby — są jądrowcami, ale do tej domeny należą również inne istoty. Do eukariontów zaliczamy również przeróżnych mieszkańców mikroświata, np. glony, ameby czy plankton.

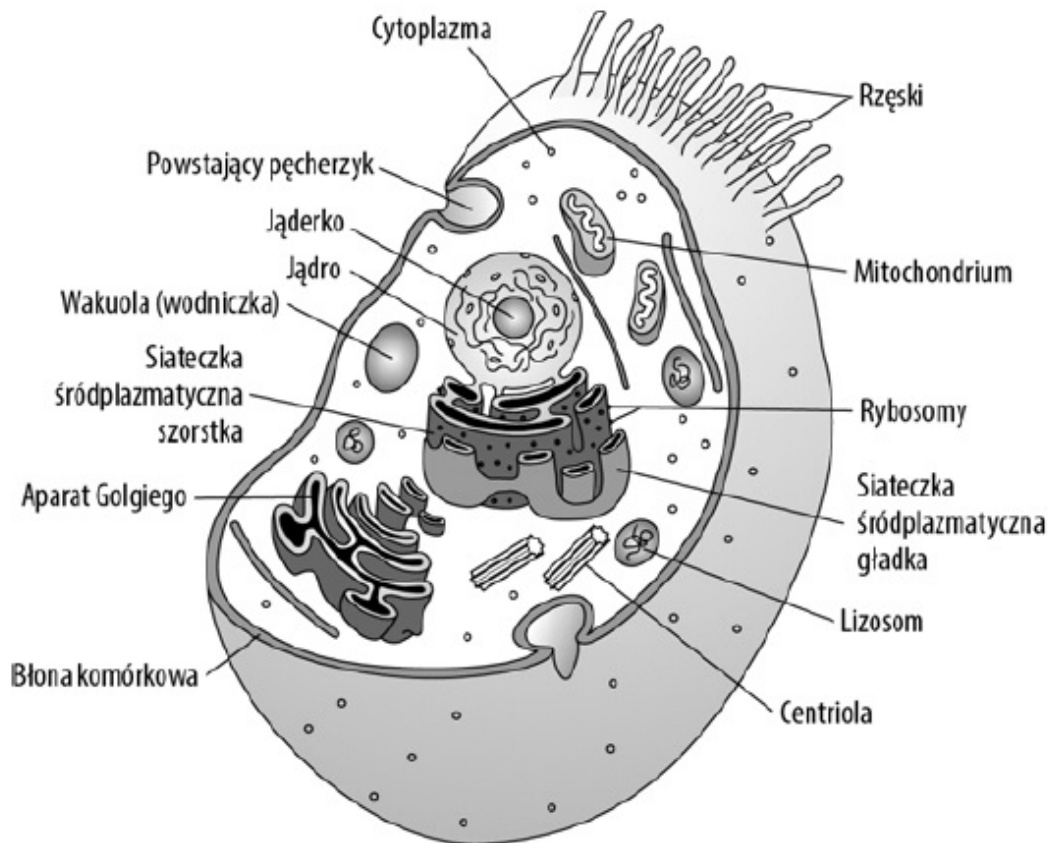
Poniżej przedstawiamy cechy wyróżniające eukarionty (a także pokazujemy schemat ich budowy na rysunkach 4.3 i 4.4); posiadają one:

- jądro, w którym przechowywana jest informacja genetyczna;
- błonę komórkową otaczającą komórkę i oddzielającą ją od środowiska zewnętrznego;

- wewnętrzne błony, takie jak retikulum endoplazmatyczne (siateczka śródplazmatyczna) czy aparat Golgiego — tworzące wyspecjalizowane przedziały (kompartmenty) wewnątrzkomórkowe;
- cytoszkielet białkowy wzmacniający kształt komórki oraz odpowiedzialny za jej ruch;
- mitochondria, w których następuje przetwarzanie tlenu i substancji powstałych w wyniku przetworzenia pokarmu na formę energii wykorzystywaną przez komórki;
- chloroplasty, czyli struktury wytwarzające związki organiczne z energii słonecznej, dwutlenku węgla i wody — występują one jedynie w komórkach roślin i glonów;
- sztywną ścianę komórkową otaczającą błonę, co dotyczy wyłącznie roślin, glonów i grzybów, ponieważ zwierzęta posiadają jedynie miękką błonę komórkową.



Rysunek 4.3. Budowa typowej komórki roślinnej



Rysunek 4.4. Budowa typowej komórki zwierzęcej

Komórki i organelle — to nie jest kolejny zespół gospelowy

Twoje ciało składa się z narządów, które z kolei zbudowane są z tkanek, natomiast ich podstawowe jednostki budulcowe to komórki. Podobnie jak Ty posiadasz narządy spełniające określone funkcje, tak komórka zawiera wyspecjalizowane organelle odpowiedzialne za wykonywanie różnych zadań. Niektóre organelle zajmują się metabolizowaniem pokarmu; inne przygotowują związki chemiczne niezbędne do prawidłowego funkcjonowania komórki.

W kolejnych ustępach zajmiemy się omówieniem organelli spotykanych w komórkach eukariotycznych oraz poznamy

ich funkcje.



Komórki roślinne i zwierzęce są bardzo do siebie podobne, ale występuje pomiędzy nimi kilka zasadniczych różnic związanych z występowaniem określonych organelli. Rośliny mają chloroplasty, duże wakuole znajdujące się w centralnym regionie komórki oraz ściany komórkowe. Komórki zwierzęce natomiast zawierają **centriole** — niewielkie struktury stanowiące część cytoszkieletu oraz pojawiające się w momencie podziału komórki.

Jak zachować spójność — błona komórkowa

Błona otaczająca każdą komórkę oraz oddzielająca ją od środowiska nosi nazwę **błona komórkowa (plazmolemma)**. Jednym z jej zadań jest izolowanie reakcji chemicznych zachodzących wewnątrz komórki od związków chemicznych znajdujących się w otoczeniu.



Dobrym sposobem na zapamiętanie funkcji błony komórkowej jest skojarzenie jej z granicą państwa, na której sprawdzane są wszystkie eksportowane i importowane towary.

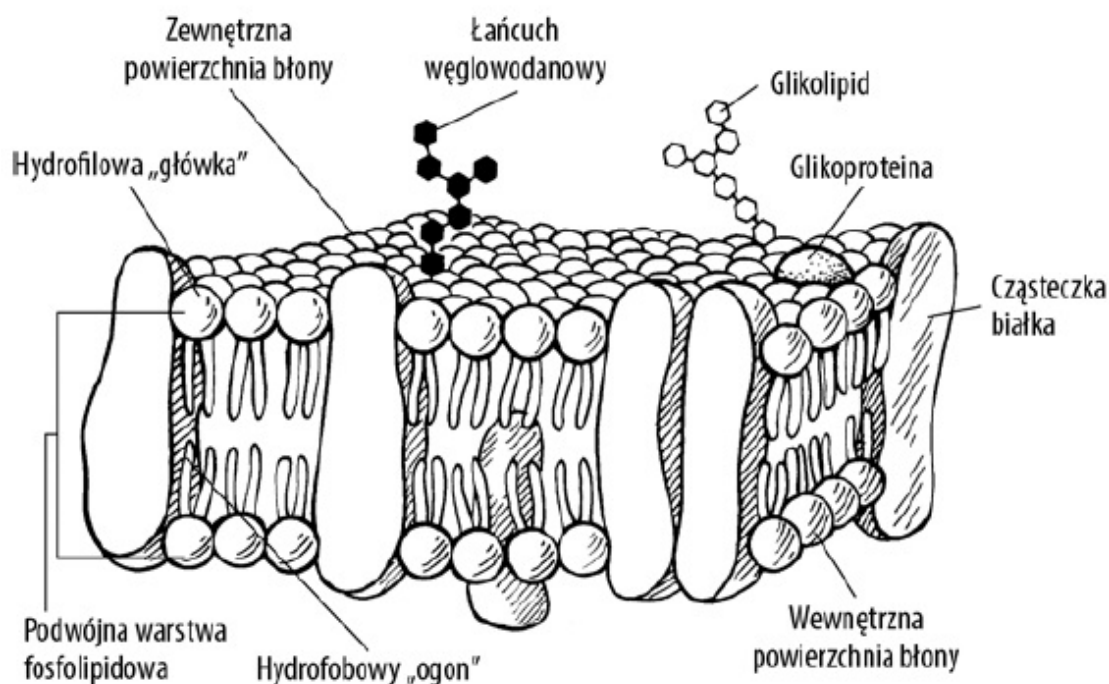
Substancja wypełniająca wnętrze komórki to **cytoplazma**. Zawiera ona organelle komórkowe i bardzo różni się od substancji pozakomórkowej (z języka greckiego *kytos* to „komórka”, a *plasma* oznacza „kształt”, zatem wyraz „**cytoplazma**” można dosłownie przetłumaczyć jako „kształt komórki”. To bardzo trafne określenie, ponieważ błona komórkowa definiuje wygląd komórki).

Komórki zwierzęce są zanurzone w białkowo-węglowodanowej substancji międzykomórkowej, nazwanej **macierzą pozakomórkową**. Komórki roślinne otoczone są bardziej zwartą konstrukcją **ściany komórkowej** zbudowanej z celulozy.

Zapoznamy Cię teraz dokładniej z budową błony komórkowej oraz dowiesz się, w jaki sposób transportowane są do wnętrza komórki substancje niezbędne do życia.

Rozpracowywanie modelu płynnej mozaiki błon biologicznych

Błony występujące w komórkach składają się z kilku różnych związków chemicznych, których układ przypomina nieco mozaikowe, awangardowe dzieło sztuki. Mamy tu do czynienia z ruchliwą strukturą zachowującą się jak ciecz, dlatego naukowcy przedstawiają budowę błony komórkowej jako **model płynnej mozaiki**. Aby lepiej zobrazować elementy składowe błony komórkowej, umieściliśmy jej schemat na rysunku 4.5.



Rysunek 4.5. Model płynnej mozaiki błon biologicznych

Zacznijmy od lewej strony rysunku. Zwróć uwagę na podwójną warstwę fosfolipidową. Pełni ona rolę szkieletu błony komórkowej. **Fosfolipidy** stanowią odmianę lipidów (zostały one opisane w rozdziale 3.), zawierając jednocześnie część łączącą się z cząsteczkami wody oraz część odpychającą wodę. W temperaturze pokojowej fosfolipidy zachowują się jak gęsty olej roślinny, przez co błony biologiczne są elastyczne i płynne. Każda cząsteczka fosfolipidu posiada hydrofilową „główkę” „przyciągającą” wodę oraz hydrofobowy „ogon”, który „unika” cząsteczek wody (jak już wcześniej wspomnieliśmy, wyraz *hydro* oznacza po grecku wodę, natomiast *philos* to „przyjaźń”, z kolei *phobos* oznacza „strach”. Wyraz **hydrofilowy** możemy więc przetłumaczyć jako „lubiący wodę”, **hydrofobowy** z kolei to „bojący się wody”).



W każdej komórce hydrofilowe „główki” fosfolipidów układają się w kierunku środowiska wodnego po zewnętrznej oraz wewnętrznej stronie błony, a hydrofobowe „ogony” zostają umieszczone pomiędzy „główkami”, tym samym powstaje podwójna warstwa fosfolipidowa (rysunek 4.5). Komórka przebywa w środowisku wodnym (w macierzy komórkowej) oraz sama zawiera duże stężenie wody w cytoplazmie, dlatego błona komórkowa przyjmuje kulisty kształt — „główki” fosfolipidów stykają się z cząsteczkami wody, a hydrofobowe „ogony” są bezpiecznie schowane wewnątrz błony.

Drugi obok fosfolipidów kluczowy element budulcowy błon komórkowych stanowią białka. Są one zanurzone w podwójnej warstwie fosfolipidowej, ale mogą się w niej przemieszczać niczym statki po oleistym oceanie.

Cholesterol oraz węglowodany są obecne w mniejszej ilości, ale pełnią w błonie komórkowej bardzo istotne funkcje.

- Cholesterol usztywnia strukturę błony komórkowej i zapobiega jej zamarzaniu w niskiej temperaturze (dosłownie chroni Cię przed zamarznięciem, gdy czujesz, że jest Ci bardzo zimno).
- Łańcuchy węglowodanowe są umieszczane w zewnętrznej warstwie błony fosfolipidowej. Węglowodany w połączeniu z fosfolipidami tworzą glikolipidy (gdyby połączyć cukry z białkami, uzyskalibyśmy glikoproteiny). Rodzaj dołączanych węglowodanów jest definiowany przez DNA — ma to wpływ między innymi na istnienie grup krwi.

Transport substancji przez błony komórkowe

Komórki są bardzo zatłoczonymi miejscami. Wytwarzają substancje, które należy uwolnić do otoczenia, oraz muszą pobierać składniki odżywcze i reagować na sygnały. Całą infrastrukturą transportową zajmuje się błona komórkowa.

To, czy cząsteczka zostanie przetransportowana przez błonę komórkową, zależy od jej budowy oraz od rodzaju komórki. Małe, hydrofobowe cząsteczki, takie jak tlen czy dwutlenek węgla, mają właściwości podobne do „ogonów” fosfolipidowych, dlatego z łatwością przenikają przez błonę komórkową. Cząsteczki hydrofilowe, jak na przykład jony, nie mogą samodzielnie „przebić się” przez warstwę hydrofobową, dlatego ich transport musi być wspomagany. Większe cząsteczki (składniki odżywcze, hormony) także nie przenikają samodzielnie do wnętrza komórki, dlatego pomagają im w tym białka transportujące.

Niektóre białka biorą udział w tworzeniu **kanałów** przechodzących przez błonę komórkową. Niewielkie cząsteczki, takie jak pewne hormony czy jony, są przepuszczane za pomocą takich **białek kanałowych**. Z

kolei tak zwane **białka nośnikowe** przechwytyują związek chemiczny po jednej stronie błony i wypuszczają go po drugiej. Jeszcze inny rodzaj białek pełni funkcję **receptorów** wykrywających obecność cząsteczek wymaganych przez komórkę. Gdy odpowiednia cząsteczka połączy się z receptorem, dany związek chemiczny zostaje przepuszczony do wnętrza komórki za pomocą białek transportujących.



Błona komórkowa umożliwia przenikanie tylko określonych związków chemicznych, dlatego mówi się, że jest selektywnie przepuszczalna (przepuszczalność jest właściwością określającą, jak łatwo jakaś substancja może przedostać się przez daną granicę, na przykład błonę komórkową. Gdy coś jest **przepuszczalne**, większość substancji może przeniknąć na drugą stronę. Zupełnym przeciwieństwem jest **nieprzepuszczalność**, gdyż niemal wszystkie związki chemiczne są zatrzymywane na granicy. Określenia „**selektywnie przepuszczalna**” oraz „**półprzepuszczalna**” mówią nam, że przepuszczane są tylko niektóre substancje).

Transport substancji przez błonę komórkową może odbywać się pasywnie lub aktywnie, co zostało omówione poniżej.

Pasywne poruszanie się

Transport pasywny nie wymaga dostarczania energii przez komórkę. Cząsteczki mogą przechodzić przez błonę na dwa różne sposoby. W obydwu przypadkach przechodzą z roztworu o większym stężeniu do roztworu o stężeniu mniejszym (inaczej mówiąc, rozprzestrzeniają się zgodnie z gradientem stężeń, dopóki w każdym miejscu nie będzie tyle samo cząsteczek danego rodzaju). Oto obydwa sposoby transportu pasywnego:

- **Dyfuzja**. Ruch cząsteczek (ale nie wody) od obszaru ich większego stężenia do obszaru o mniejszym stężeniu

nazywamy **dyfuzją**. Do równomiernego rozprzestrzenienia cząsteczek wystarczy, że dyfundują (rozejdą się) one po powierzchni błony komórkowej.

- **Osmoza**. Rozprzestrzenianie się wody wzdłuż błony stanowi podstawę procesu zwanego **osmozą**. Działa on na podobnej zasadzie co dyfuzja, ale jego przebieg bywa nieprzewidywalny, ponieważ na ruch wody mają wpływ **soluty** (rozpuszczone w niej substancje). Z reguły woda rozchodzi się od obszaru o większym jej stężeniu (jest czystsza) do rejonów o mniejszym stężeniu (przeważają soluty).



Staraj się myśleć o osmozie w kategoriach solutów: woda dąży do obszaru o ich największym stężeniu. Na przykład Twoja krew zawiera pewną ilość soli. Jeżeli stężenie soli w osoczu nagle wzrośnie, woda wydostanie się z krwinek, które skurczą się i odwodnią. Z drugiej strony, jeśli w osoczu krwi znajdzie się zbyt mało soli i okaże się, że w krwinkach jest ona bardziej stężona, krwinki zaczną pęcznieć od wody. Jeżeli przyjmą jej zbyt wiele, mogą w końcu zostać rozerwane.



Względne stężenie substancji rozpuszczonych po obydwu stronach błony jest porównywane za pomocą toniczności roztworu. Jeżeli roztwór jest **izotoniczny**, stężenie rozpuszczonych w nim substancji (**solutów**) jest równe po obydwu stronach błony. Podobnie jest ze stężeniem wody (**rozpuszczalnika**). W przypadku roztworu **hipotonicznego** w roztworze po jednej stronie błony jest mniejsze stężenie solutów (czyli większe stężenie wody) niż w roztworze po drugiej stronie. Przeciwnieństwem roztworu hipotonicznego — większe stężenie substancji rozpuszczonych (mniej wody) — jest roztwór **hipertoniczny**.

Aktywny transport substancji

W **transporcie aktywnym** wymagane jest dostarczenie energii umożliwiającej przeniesienie cząsteczek niezdolnych do samodzielnego przekroczenia błony komórkowej z roztworu o ich mniejszym stężeniu do roztworu o wyższym stężeniu. Białka nośnikowe, zwane w tym przypadku **przenośnikami** oraz **pompami**, wykorzystują zgromadzoną w komórce energię do transportowania substancji chemicznych do lub z komórki.



Transport aktywny przypomina nieco zakup biletu na wyspę Uznam. Prom reprezentuje białko nośnikowe, a Ty jesteś wielką cząsteczką, która chce się dostać z krwiobiegu (port w Świnoujściu) do wnętrza komórki (wyspa). Opłata symbolizuje w tym przypadku cząsteczki paliwa zużywane przez komórkę.

Dyfuzja w płucach

Jedynym miejscem w organizmie, w którym zachodzi dyfuzja, są płuca. Podczas wdechu tlen zawarty w powietrzu dociera do najmniejszych elementów płuc, zwanych **pęcherzykami płucnymi**. Pęcherzyki te są otoczone przez mikroskopijne **naczynia włosowate**. W naczyniach włosowatych pęcherzyków płucnych występuje najmniejsze stężenie tlenu, ponieważ zanim krew do nich dotrze, większość gazu zostaje rozprowadzona do pozostałych narządów i tkanek. Oznacza to, że w pęcherzykach płucnych znajduje się więcej tlenu niż w naczyniach włosowatych. Cząsteczki tlenu dyfundują poprzez błonę komórkową z pęcherzyków płucnych do układu krwionośnego, a stamtąd są transportowane po całym ciele.

Podpora komórki — cytoszkielet



Podobnie jak szkielet wzmacnia konstrukcję Twojego ciała, tak **cytoszkielet** usztywnia strukturę komórki. W tym jednak przypadku elementami nośnymi nie są kości, tylko włókna białkowe. Białka cytoszkieletu usztywniają błonę

komórkową oraz otoczkę jądrową (omówioną w kolejnym ustępie). Przechodzą również wzdłuż komórki niczym tory kolejowe i usprawniają cyrkulację pęcherzyków oraz organelli.

Cytoszkielecik można uznać za rusztowanie komórki oraz tory kolejowe, ponieważ wzmacnia on architekturę komórki oraz umożliwia transport różnych składników i organelli.



Niektóre komórki posiadają biczowate wypustki ułatwiające poruszanie się lub wprawianie w ruch płynu znajdującego się na zewnątrz błony komórkowej. Krótkie wypustki to **rzęski**, a długie — **wici**. Zarówno jedne, jak i drugie zbudowane są z białek cytoszkieletu, które na przemian wyginają się do przodu i do tyłu niczym małe bicze. Komórki zawierające rzęski znajdują się w drogach oddechowych; za ich pomocą przesuwany jest śluz, który można odkaszać. Natrafiamy na nie również w przewodzie pokarmowym niektórych zwierząt, gdzie usprawniają proces przesuwania pożywienia. Plemniki wyposażone są w wici — dzięki nim męska komórka rozrodcza bardzo szybko dociera do komórki jajowej.

Sterowanie przedstawieniem — jądro

Wszystkie komórki zawierają informację genetyczną w postaci DNA (omówionego w rozdziale 3. **kwasu deoksyrybonukleinowego**). W komórkach eukariotycznych jest on umiejscowiony w jądrze komórkowym oddzielnym od cytoplazmy **błoną (otoczką) jądrową**. Wewnątrz jądra komórki, która w danym czasie nie ulega podziałowi, DNA owijają się wokół specyficznych białek i w takiej zwiniętej

postaci spoczywa w środku otoczki jądrowej (kariolemmy). Nośnik informacji genetycznej przyjmuje wtedy formę **chromatyny**. Tuż przed podziałem komórki chromatyna zostaje ściśle upakowana w kształt chromosomów. Ludzkie komórki posiadają **46 chromosomów** — każdy z nich stanowi oddzielną nić DNA.



W DNA zawarta jest sekwencja budowy różnych cząsteczek białka i protein wykonujących w komórce określone zadania. Bez tych białek komórka nie byłaby zdolna do życia, tak samo jak organizm nie może istnieć bez budowy komórkowej. Z tego wynika, że działanie organizmu jest uzależnione od informacji zapisanych w DNA.



Jądro komórkowe można przyrównać do biblioteki komórki, ponieważ w jego wnętrzu zgromadzona jest olbrzymia ilość informacji. Chromosomy są w tym przypadku książkami zawierającymi instrukcje dotyczące struktury komórki.

DNA nie wydostaje się z jądra do cytoplazmy. Zawarte w jądrze białka kopiują zapisane w DNA informacje na inne cząsteczki, które następnie przechodzą przez błonę jądrową do cytoplazmy. Wytworzone na podstawie tej informacji cząsteczki sterują zachowaniem komórki. Na przykład we wnętrzu każdego jądra znajduje się okrągły twór zwany **jaderkiem**. Jego zadaniem jest wytwarzanie rybosomów, które po wydostaniu się w obręb cytoplazmy stają się jednym z ogniw umożliwiających syntezę białek. Naukowcy przeprowadzali eksperymenty polegające na przeszczepieniu jądra z jednej komórki do cytoplazmy innej komórki. Komórka wykonywała instrukcje zapisane we wnętrzu

przeszczepionego jądra, zatem stanowi ono centrum dowodzenia komórki.

Biosynteza białek — rybosomy



Rybosomy są niewielkimi tworami zlokalizowanymi w cytoplazmie. Instrukcje zawierające sekwencję aminokwasów w białku są kopiowane na nową cząsteczkę zwaną **matrycowym (informacyjnym) RNA** — w skrócie **mRNA**. mRNA wydostaje się z jądra i łączy się z rybosomami, które przy udziale innych cząsteczek zajmują się budowaniem łańcucha białkowego (więcej informacji na temat biosyntezy białek znajdziesz w rozdziale 8.).

Łatwiej zapamiętasz rolę rybosomów, jeśli skojarzysz je z warsztatem, w którym składane są białka.

Fabryka we wnętrzu komórki — siateczka śródplazmatyczna

Siateczka śródplazmatyczna (retikulum endoplazmatyczne; ang. *endoplasmic reticulum* — ER) to szereg kanalików łączących jądro z cytoplazmą (z greckiego *endon* znaczy „wnętrze”, a *reticulum* po łacinie to „sieć”, więc w dosłownym tłumaczeniu **retikulum endoplazmatyczne** oznacza „siateczkowaty kształt umieszczony w cytoplazmie”). Jak widać na rysunku 4.4, część ER posiada ziarnistości, którymi w rzeczywistości są rybosomy łączące się z siateczką w czasie biosyntezy określonych białek. Retikulum zawierające rybosomy jest nazywane **szorstką siateczką śródplazmatyczną** (ang. *rough ER* — **RER**). Z kolei ER pozbawione rybosomów to

gładka siateczka śródplazmatyczna (ang. *smooth ER* — **SER**).



Rybosomy zlokalizowane w RER wytwarzają białka, które są albo transportowane poza obręb komórki, albo wbudowywane w błonę komórkową (w syntezie białek pozostających we wnętrzu komórki biorą udział rybosomy niezwiązane z siateczką śródplazmatyczną). SER odpowiada za produkcję **lipidów** (tłuszczów). Białka i lipidy wytwarzane w ER zostają otoczone fragmentem błony zwanym **pęcherzykiem transportującym**, a następnie przeniesione do pobliskiego aparatu Golgiego.

Aby ułatwić sobie zapamiętanie funkcji siateczki śródplazmatycznej, wyobraź sobie, że stanowi ona wewnętrzną fabrykę komórki, ponieważ są w niej wytwarzane białka i lipidy, które następnie zostają wysłane dalej (do aparatu Golgiego).

Przygotowanie produktów do wysyłki — aparat Golgiego

Znajdujący się bardzo blisko siateczki śródplazmatycznej **aparat Golgiego** (widać to na rysunku 4.4) przypomina z wyglądu labirynt, do którego spływają małe kropelki. „Kropelki” te to nic innego jak pęcherzyki transportujące substancje z ER do aparatu Golgiego.



Wewnątrz tej organelli substancje takie jak hormony czy enzymy są chemicznie znakowane i przygotowywane do transportu do innych organelli lub poza obręb komórki. Po przetworzeniu cząsteczek chemicznych są one ponownie zamykane w pęcherzyku transportującym i wysyłane we właściwe miejsce.

Jeżeli mają zostać przetransportowane na zewnątrz komórki, pęcherzyk dociera do błony komórkowej, gdzie zostają otwarte odpowiednie kanały, przez które dana substancja zostaje wypuszczona. Już poza obrębem komórki przetransportowany związek dociera do krwiobiegu, a stamtąd — do docelowego narządu.

Aby zapamiętać powyższe informacje, pomyśl, że aparat Golgiego przypomina urząd pocztowy, ponieważ otrzymuje molekularne przesyłki, które następnie odpowiednio podpisuje i wysyła do adresatów.

Sprzątanie bałaganu — lizosomy



Lizosomy to specjalna odmiana pęcherzyków produkowanych przez aparat Golgiego w celu „sprzątania” komórki. Zawarte są w nich enzymy trawienne, które służą do rozkładania potencjalnie niebezpiecznych lub zbędnych substancji i usuwania ich do macierzy pozakomórkowej (enzymami zajmujemy się w podrozdziale „Przedstawiamy enzymy — rozruszniki reakcji chemicznych”). Dzięki lizosomom niszczone są również martwe organelle — zostają otoczone błoną w celu ich oddzielenia od cytoplazmy, ich struktury białkowe są rozbijane, a pozostałe po nich produkty są wykorzystywane do budowy nowych organelli.

Zasadniczo lizosomy pełnią funkcję śmieciarzy; wchłaniają substancje niepotrzebne lub niepożądane, po czym rozbijają je na części, które mogą się nadać do budowy nowych struktur.

Niszczenie toksyn — peroksysomy

Peroksysomy to małe pęcherzyki wypełnione enzymami rozkładającymi różne typy substancji i chroniącymi komórkę przed toksycznymi cząsteczkami. Wspomagają również rozkład lipidów, w wyniku którego komórka otrzymuje zastrzyk energii.



Produktem pewnych reakcji przeprowadzanych w peroksysomach jest nadtlenek wodoru (związek powstały w wyniku rozpuszczenia nadtlenu wodoru w wodzie to... woda utleniona), który stanowi olbrzymie zagrożenie dla struktury komórki. Peroksysomy zapobiegają uszkodzeniu komórki, przerabiając nadtlenek wodoru na zwykłą wodę oraz cząsteczkę tlenu — obydwie substancje są zawsze chętnie przyjmowane i wykorzystywane przez komórkę.

Peroksysomy przypominają nieco robota kuchennego. Robią papkę z różnych substancji (podobnie jak mieszadła miksera) oraz rozcinają większe cząsteczki.

Zapewnianie energii w stylu ATP — mitochondria



Mitochondria dostarczają komórkom energię niezbędną do wzrostu i poruszania się. W tym celu przetwarzają związki powstałe z przyswojonych substancji odżywczych. W przybliżeniu proces ten polega na przenoszeniu energii na cząsteczkę magazynującą, która umożliwia łatwe wykorzystywanie energii w komórce. Taką energetyczną cząsteczką jest **adenozynotrójfosforan**, zwany w skrócie **ATP**.

Mitochondria stanowią siłownie komórki, ponieważ wytwarzają energię niezbędną do przeżycia.



Proces przekazywania energii z substancji odżywczych na cząsteczkę ATP to **oddychanie komórkowe**. Reakcje tu zachodzące bardzo przypominają ognisko, ale w znacznie mniejszej skali. Płonące drewno zużywa cząsteczki tlenu i przekazuje energię (żar i światło) oraz materię (dwutlenek węgla i wodę) do otoczenia. W mitochondrium są rozbijane substancje odżywcze — w tym procesie również jest zużywany tlen, a energia jest przekazywana do komórek (w postaci ATP) i środowiska (jako ciepło). Zagadnieniu oddychania komórkowego przyjrzymy się uważniej w rozdziale 5.

Przetwarzanie energii — chloroplasty

Chloroplasty są organellami spotykanymi wyłącznie w organizmach roślinnych i u glonów. Ich zadaniem jest przekształcanie energii światła (słonecznej) do energii wiązań chemicznych zawartej w związkach organicznych. Najczęściej charakteryzują się zieloną barwą, ponieważ zawierają **chlorofil** — jeden z barwników pochłaniających światło. W czasie fotosyntezy energia Słońca umożliwia łączenie cząsteczek dwutlenku węgla i wody do postaci cukrów, które stanowią bazę do wytwarzania innych rodzajów związków odżywczych (fotosynteza została szczegółowo omówiona w rozdziale 5.).



Chloroplasty można sobie wyobrazić jako kuchnię napędzaną ogniwami fotowoltaicznymi, ponieważ dzięki energii słonecznej i „składnikom” pozyskiwanym z otoczenia (dwutlenkowi węgla i wodzie) są w stanie produkować związki

organiczne, które mogą służyć jako substancje odżywcze.



Często spotykamy się z błędnym przekonaniem, że rośliny nie posiadają mitochondriów, tylko chloroplasty. Prawda jest taka, że ich komórki zawierają obydwa rodzaje organelli! Zastanówmy się przez chwilę — raczej nie wyszłoby roślinom na zdrowie, gdyby potrafiły tworzyć pożywienie, którego nie mogłyby następnie rozkładać. Gdy organizmy roślinne w procesie fotosyntezy wytwarzają substancje odżywcze, magazynują materię i energię na później. W odpowiednim momencie energia zgromadzona w pożywieniu zostaje uwolniona wewnątrz mitochondriów.

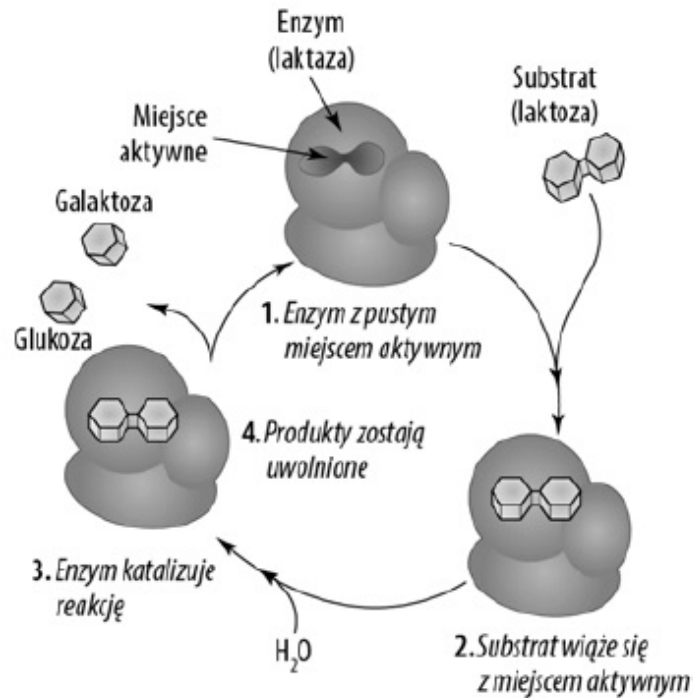
Przedstawiamy enzymy — rozruszniki reakcji chemicznych

Mamy do czynienia z reakcją chemiczną wtedy, gdy dana cząsteczka ulega jakiejś zmianie. Reakcje chemiczne często stanowią część jakiegoś wieloetapowego cyklu albo szlaku. Komórka żyje bardzo szybkim tempem, dlatego nie może czekać, aż reakcje chemiczne łaskawie nastąpią — musi je kontrolować i wymuszać ich przebieg. Na szczęście natura wyposaża komórki w bardzo przydatne narzędzie w postaci białek zwanych enzymami.



Każda reakcja biorąca udział w cyklu lub szlaku chemicznym wymaga określonego enzymu pełniącego funkcję **katalizatora**, czyli substancji przyspieszającej przebieg procesu. Białka tego typu mają kształt idealnie nadający się do pełnienia danego zadania. Można w nich wyróżnić wgłębienia lub szczeliny zwane **centrami aktywnymi**, do których są dołączane określone

cząsteczki. Cząsteczka przyłączana do enzymu nosi nazwę **substratu** (rysunek 4.6).



Rysunek 4.6. Kataliza enzymatyczna

Poszczególne reakcje chemiczne w komórce przebiegają jedna po drugiej, tworząc razem szlaki lub cykle metaboliczne. Bez specyficznego enzymu wymaganego do przeprowadzenia określonej reakcji dany szlak lub cykl metaboliczny nie będzie przebiegał poprawnie. W wyniku tego nie zostaje utworzona substancja końcowa (**produkt**). Bez produktu komórka nie może prawidłowo funkcjonować, co ma negatywny wpływ na cały organizm. W niektórych przypadkach oprócz substratu i enzymu do prawidłowego przebiegu reakcji enzymatycznej potrzebne są inne substancje. Przykładem takiej substancji jest kwas askorbinowy (witamina C). Jeżeli na przykład nie dostarczymy wystarczającej ilości witaminy C, enzymy wytwarzające kolagen nie mogą wykonywać swojej pracy. Dłużej trwający niedobór witaminy C objawia się chorobą zwaną szkorbutem. U osób cierpiących na tę dolegliwość

pękają naczynia krwionośne, krwawią dziąsła, wypadają zęby, a w przypadku dzieci następuje niewłaściwy rozwój kości.

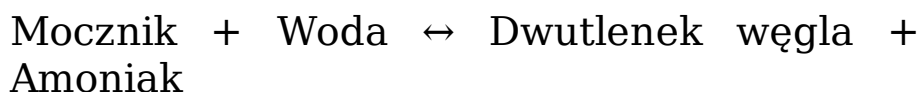
W dalszej części rozdziału przyjrzymy się sposobom działania enzymów, ich wymaganiom oraz metodom ich kontroli przez komórkę.

Pozostają takie same...



Enzymy same w sobie nie są modyfikowane w czasie trwania reakcji. Mają taką samą strukturę na końcu procesu, jaką miały na początku, dzięki czemu są od razu gotowe do powtórzenia reakcji. Pierwszą odkrytą reakcją enzymatyczną był rozkład mocznika na substancje, które łatwo można usunąć z organizmu. Enzym ureaza katalizuje proces pomiędzy substratami (wodą i mocznikiem), w którego wyniku otrzymujemy produkty (dwutlenek węgla i amoniak) bardzo łatwo usuwane z wnętrza ciała. Enzym ten występuje u niektórych bakterii i roślin.

Ureaza



W tej reakcji enzym ureaza pomaga **substratom** (cząsteczkom biorącym udział w procesie chemicznym) — wodzie i mocznikowi — połączyć się ze sobą. Wiązania pomiędzy atomami mocznika oraz wody zostają zerwane, co powoduje powstanie innej kombinacji atomów, mianowicie dwutlenku węgla i amoniaku. Na koniec reakcji ureaza pozostaje niezmienniona i może przystąpić do katalizowania kolejnej reakcji pomiędzy mocznikiem a wodą.

Jeżeli masz problem z identyfikacją enzymów oraz ich funkcji, dajemy przydatną odpowiedź: nazwy



enzymów kończą się na „-aza” i w swojej nazwie najczęściej mają podane pełnione przez nie zadanie. Na przykład lipaza jest enzymem rozkładającym lipidy (tłuszcze), a laktaza wspomaga rozkład laktozy.

...przy jednoczesnym obniżeniu energii aktywacji

Działanie enzymów polega na obniżeniu **energii aktywacji** niezbędnej do rozpoczęcia procesu, dzięki czemu można go o wiele łatwiej przeprowadzić. Substraty mogą samoistnie zderzyć się ze sobą w sposób umożliwiający przebieg danej reakcji, ale następuje to zbyt rzadko, żeby utrzymać ciągłość procesów komórkowych. Bez enzymów Twoje ciało nie byłoby w stanie pozbywać się wystarczająco szybko szkodliwych produktów przemiany materii, przez co nagromadziłyby się w toksycznym stężeniu. Enzymy sprawiają, że zachodzą reakcje, które bez nich zachodziłyby o wiele wolniej. Wiążą substraty w miejscu aktywnym i przybliżają je do siebie, wykorzystując przy tym znacznie mniej energii, niż wymaga jej samoistne zajście reakcji.

Energia aktywacji zostaje obniżona przy udziale enzymów, dlatego reakcje są przeprowadzane z większą częstotliwością. W ten sposób w całym organizmie zwiększa się średnia częstość zachodzących w nim procesów. Być może najłatwiej zrozumieć mechanizm przyspieszania reakcji przez enzymy, patrząc na to przez pryzmat energii. Aby dana reakcja mogła zostać przeprowadzona, substraty muszą się ze sobą zderzyć z wystarczającą energią. W naszym przykładzie z ureazą substraty muszą się ze sobą zetknąć na tyle mocno, aby mogła nastąpić wymiana atomów i utworzenie cząsteczek dwutlenku węgla oraz amoniaku.

Bez względu na wszystko pamiętaj, że enzymy nie



dodają energii do przebiegu reakcji ani nie zmieniają jej bilansu energetycznego. Tak naprawdę one **niczego nie dodają** do samego procesu; jedynie pomagają substratom ułożyć się w odpowiedniej konfiguracji i w ten sposób obniżają „barierę” przeprowadzenia reakcji. Innymi słowy, enzymy nie modyfikują w żaden sposób energii; jedynie pozwalają substratom optymalnie wykorzystać zgromadzone w nich zapasy.

Odrobina pomocy od kofaktorów i koenzymów

Enzymy są białkami, ale często wymagają niebiałkowego składnika do właściwego katalizowania reakcji. Takie nieorganiczne substancje pomocnicze jak jony żelaza, potasu, magnezu czy cynku są zwane **kofaktorami**. Ich organiczne odpowiedniki to **koenzymy**; są to niewielkie cząsteczki, które oddzielają się od enzymu i biorą bezpośredni udział w reakcji. Przykładami koenzymów są różnorodne pochodne witamin. Ważną funkcją koenzymów jest przenoszenie elektronów, atomów lub cząsteczek od jednego enzymu do drugiego.

Regulacja działania enzymów poprzez ujemne sprzężenie zwrotne

Komórki sterują swoją aktywnością poprzez proces **ujemnego sprzężenia zwrotnego**, w którym szlak reakcji jest kontynuowany do momentu osiągnięcia nadmiaru końcowego produktu. Produkt ten następnie wiąże się z miejscem allosterycznym enzymu i go blokuje (termin **miejsce allosteryczne** oznacza dosłownie „miejsce o innym kształcie”. Gdy cząsteczki dołączają się do tego „innego”

miejsca, hamują działanie enzymu). Poprzez regulację działania enzymów komórki sterują reakcjami chemicznymi, a tym samym własną fizjologią.



Mamy tu klasyczny przykład sprzężenia zwrotnego. Od ilości produktu końcowego zależy stan początku szlaku reakcji chemicznych. Jeżeli zostało w komórce wytworzone odpowiednie stężenie danego produktu, cały proces może zostać bezproblemowo zablokowany.

Poprzez zahamowanie aktywności pierwszego enzymu cały szlak zostaje zatrzymany. Dzięki ujemnemu sprzężeniu zwrotnemu komórki nie tylko nie zużywają energii do produkowania nadmiarowych produktów, lecz również nie muszą poświęcać przestrzeni do ich przechowywania. Przypomina to sytuację, gdy nie musisz kupować olbrzymiej ilości jedzenia, którego nie zjesz w całości, więc będzie się ono walało po kątach, dopóki po prostu nie zgnije.



Ujemne sprzężenie zwrotne jest zjawiskiem odwracalnym, ponieważ wiązanie produktu końcowego z enzymem nie jest trwałe. W rzeczywistości produkt ten naprzemiennie odłącza się od enzymu i wiąże się z nim na nowo. Gdy zapas produktu zostanie wyczerpany (na przykład w wyniku następnej reakcji danego szlaku metabolicznego), miejsce allosteryczne pozostanie puste, a enzym znów stanie się aktywny.

Przypisy:

[1] Należy jednak dodać, że pewne prokarioty wymagają tlenu do życia, inne tolerują jego obecność, ale wiele gatunków ginie w kontakcie ze świeżym powietrzem — *przyp. tłum.*

Rozdział 5.

Pozyskiwanie energii

.....

W tym rozdziale:

- ▶ dowiesz się, dlaczego energia jest tak ważna dla organizmu;
 - ▶ poznasz mechanizm wytwarzania składników pokarmowych w procesie fotosyntezy;
 - ▶ zrozumiesz proces pozyskiwania energii z pożywienia podczas oddychania komórkowego;
 - ▶ nauczysz się liczyć kalorie.
-

Aby Twoje ciało mogło funkcjonować, musisz dostarczać mu pożywienia, tak samo jak należy zatankować samochód, żeby mógł jeździć. Nie jesteś w tym osamotniona/ osamotniony. Każda osoba, a szerzej — każda istota żywa — musi „tankować swój bak” materią i energią zmagazynowaną w pokarmie. Cząsteczki pochodzące z żywności są wykorzystywane jako składniki budulcowe komórki oraz rozbijane na jeszcze mniejsze elementy, przez co jest uwalniana energia wykorzystywana przez komórkę do wzrostu i utrzymywania procesów życiowych. Zwierzęta zdobywają pokarm, jedząc rośliny i inne zwierzęta, natomiast rośliny są zdolne do samodzielnej produkcji składników odżywczych. W tym rozdziale zastanowimy się nad różnymi postaciami energii oraz sposobami jej przenoszenia. Dowiesz się także, dlaczego komórki potrzebują energii oraz w jaki sposób pozyskują i przechowują różne jej formy.

Po co nam energia?

Być może nigdy nie przeszło Ci to przez myśl, ale codziennie korzystasz z energii do gotowania obiadów, oświetlania domu czy też zasilania sprzętów użytku domowego. Prawdopodobnie jednak gdyby ktoś Cię zapytał, czym jest energia, ciężko byłoby Ci znaleźć na to odpowiedź. Większość ludzi intuicyjnie wyczuwa, że energia jest potrzebna do wykonywania wszelkich czynności, ale nie potrafi dokładnie zdefiniować jej istoty. Zabawne, ale naukowcy poświęcający mnóstwo czasu na badanie energii definiują ją dokładnie tak jak przeciętny Kowalski: **energia** jest zdolnością do wykonywania pracy.

Pewnie przychodzi Ci teraz do głowy wiele rodzajów energii spotykanych w codziennym życiu: elektryczna, ciepła, świetlna, chemiczna (np. zawarta w benzynie). Chociaż wymienione rodzaje energii znacząco się różnią pomiędzy sobą, w rzeczywistości można je podzielić na dwie podstawowe kategorie.

- **Energia potencjalna.** Jest to energia magazynowana w jakimś układzie spełniającym określone warunki. Ładunek elektryczny w baterii, woda spiętrzona za tamą czy rozciągnięta gumka recepturka to przykłady przedmiotów zawierających energię potencjalną. Pokarm i benzyna również posiadają **energię potencjalną chemiczną** (zmagazynowaną w wiązaniach chemicznych).

- **Energia kinetyczna.** Stanowi energię związaną z ruchem. Jest to energia ciepła, światła oraz poruszających się obiektów.

Przyjrzymy się teraz prawom fizycznym związanym z energią. Dowiemy się także, w jaki sposób komórki wykorzystują oraz przenoszą ją, a także skąd ją pobierają (podpowiedź: to kwestia żywności).

Reguły rządzące energią

Z energią związane są trzy reguły, które znacznie ułatwiają zrozumienie procesów energetycznych zachodzących w organizmach.

- **Energii nie można stworzyć ani zniszczyć.** Prąd uzyskiwany w elektrowniach wodnych (a także węglowych, wiatrowych czy solarnych) nie powstaje z niczego. W rzeczywistości energia elektryczna zostaje przekształcona z innej formy energii. Nie znika też po wykorzystaniu na przykład prądu. Staje się wtedy inną formą energii — ciepłem, światłem itp.



Stwierdzenie, że energii nie można stworzyć ani zniszczyć, stanowi treść **pierwszej zasady termodynamiki**.

- **Energia jest przenoszona, gdy przechodzi z jednego miejsca do innego.** Aby zobrazować tę zasadę, wyobraź sobie płynącą rzekę, która stanowi źródło energii wody. Energia wody zmagazynowana w rzece zostaje najpierw przeniesiona na obracającą się turbinę, następnie na elektrony przepływające przez przewód elektryczny, a na końcu do lamp oświetlających domy.

- **Energia jest przekształcana, gdy zmienia się z jednej formy w inną.** Jeszcze raz skorzystajmy z przykładu

elektrowni wodnej. Energia potencjalna wody znajdującej się za tamą zostaje najpierw przekształcona na energię kinetyczną płynącej rzeki, następnie na energię kinetyczną turbiny obrotowej, dalej na energię kinetyczną poruszających się elektronów, w końcu zaś w domach na energię świetlną i ciepłą.

Metabolizowanie cząsteczek

Organizmy żywe działają zgodnie z prawami fizyki i chemii, a ciało ludzkie nie jest żadnym wyjątkiem. Omówione w poprzednim ustępie pierwsze prawo termodynamiki dotyczy również Twojego **metabolizmu**, czyli wszystkich reakcji chemicznych przeprowadzanych we wszystkich komórkach w danym momencie.

Reakcje metabolizmu można podzielić na dwie kategorie.

- **Reakcje anaboliczne.** Polegają na wytwarzaniu nowych cząsteczek. Dokładniej mówiąc, z niewielkich cząsteczek są tworzone większe w celu naprawy, wzrostu lub gromadzenia zapasów.
- **Reakcje kataboliczne.** Ten typ reakcji służy do rozbijania cząsteczek po to, aby uzyskać z nich energię.



W czasie reakcji chemicznych powstają pomiędzy atomami nowe wiązania, co pozwala na przenoszenie energii (więcej informacji na temat cząsteczek, atomów i wiązań chemicznych znajdziesz w rozdziale 3.).



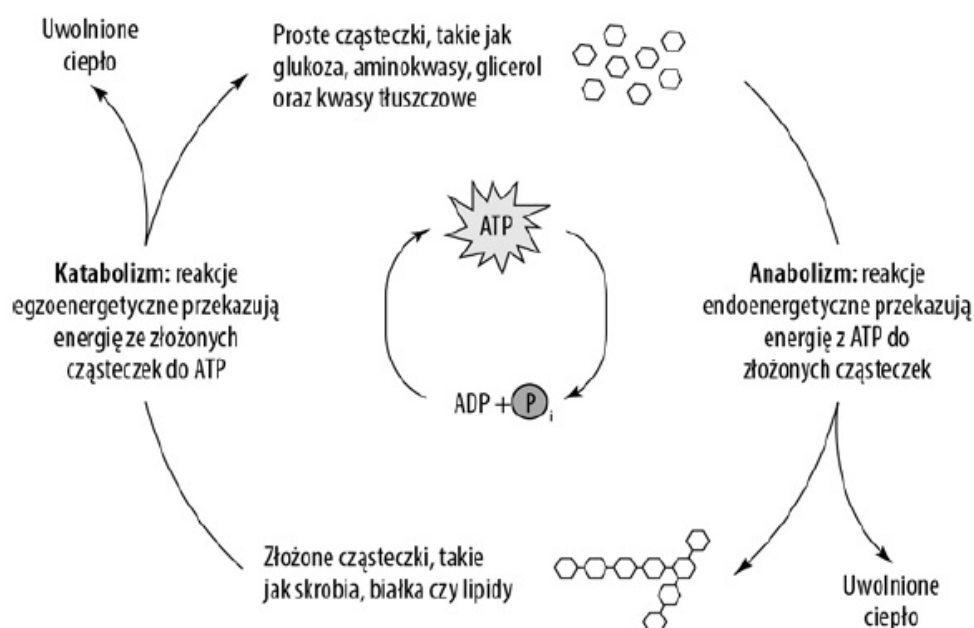
Wszystkie znane nam składniki odżywcze — węglowodany, białka i tłuszcze — są dużymi cząsteczkami, które można rozbić na mniejsze podjednostki. Duże węglowodany, czyli **polisacharydy**, rozkładają się na cukry proste, zwane również **monosacharydami**; białka składają się z **aminokwasów**; z kolei tłuszcze i oleje można rozbić na **glicerol** i **kwasy tłuszczowe**. Po rozłożeniu dużej cząsteczki pokarmowej na elementy składowe komórka może je z łatwością poskładać na potrzebne związki chemiczne.

Przenoszenie energii za pomocą ATP

Komórki przenoszą energię pomiędzy reakcjami anabolicznymi i katabolicznymi za pomocą chemicznego pośrednika — **adenozynotrójfosforanu** (w skrócie **ATP**). Energia z reakcji

katabolicznych jest przenoszona na cząsteczkę ATP, która stanowi następnie źródło energii dla reakcji anabolicznych.

ATP zawiera trzy grupy fosforanowe (stąd w nazwie „-trójfosforan”). W momencie przekazywania energii z cząsteczki ATP jedna grupa fosforanowa zostaje przekazana na inną cząsteczkę, w wyniku czego ATP przekształca się w **adenozynodifosforan (ADP)**. Komórki odtwarzają ATP, wykorzystując energię reakcji katalitycznych do przyłączenia trzeciej grupy fosforanowej do ADP. W komórkach bez przerwy występuje cykl przemian ATP/ADP, zaprezentowany na rysunku 5.1.



Rysunek 5.1. Cykl ATP/ADP

Komórki posiadają zgromadzone zapasy wielkocząsteczkowych związków, ale podczas przeprowadzania wielu reakcji naraz potrzebują podręcznego źródła łatwo dostępnej energii. I tutaj na pierwszy plan wysuwa się ATP. Cząsteczki te stanowią podstawowe paliwo komórki.



Wyobraź sobie, że cząsteczki ATP stanowią Twój podręczny zapas gotówki. Możesz pieniądze umieścić na koncie, ale wtedy nie masz ich w każdej chwili do dyspozycji, dlatego zawsze trzymasz kilka banknotów w portfelu na wypadek szybkich zakupów. Po wydaniu wszystkich podręcznych pieniędzy musisz wybrać z banku lub z bankomatu kolejną porcję. W przypadku komórek energia zgromadzona w dużych cząsteczkach odpowiada Twoim pieniądзом w banku. Cząsteczki ATP są z kolei zużywane podobnie jak gotówka.

Gdy komórce kończy się zapas ATP, musi skorzystać z „banku” dużych cząsteczek i rozbić je na mniejsze składniki, aby odbudować pulę cząsteczek ATP.

Żywność jako źródło materii i energii

Związki odżywcze — białka, węglowodany i tłuszcze — dostarczają wszystkim istotom żywym materię oraz energię niezbędne do przeprowadzania procesów anabolicznych i katabolicznych oraz do produkcji ATP (informacje o materii i cząsteczkach zostały zamieszczone w rozdziale 3.).

• Organizmy potrzebują materii do rozbudowy komórek, dzięki czemu mogą rosnąć, regenerować się i rozmnażać.

Wyobraź sobie, że obtarłaś/obtarłeś sobie kolano i nie ma na nim kawałka skóry. Twój organizm naprawia uszkodzenia, dobudowując nowe komórki pokrywające zdartą powierzchnię. Ciało potrzebuje cząsteczek do budowy nowych komórek, podobnie jak budowniczy potrzebuje drewna lub cegieł do postawienia domu (komórki zostały omówione w rozdziale 4.).

• Organizmy potrzebują energii do poruszania się, wytwarzania nowych składników oraz transportowania substancji wewnątrz komórek. Są to przykłady **procesów komórkowych** wymagających dostarczenia energii. Podczas wchodzenia po schodach kurczą się komórki mięśniowe w udach, a każdy taki skurcz zużywa pewną ilość energii. Czynności, które podejmujesz świadomie, nie są jedynymi, które wymagają zapewnienia energii. Każda komórka Twojego ciała potrzebuje energii do podtrzymania funkcji życiowych.



Pokarm jest podręcznym pakietem zawierającym dwa elementy konieczne do przeżycia organizmu: materię i energię.

Zdobywanie żywności kontra wytwarzanie własnej

Każda istota żywa potrzebuje pożywienia, ale nie wszystkie spełniają to zapotrzebowanie w identyczny sposób: niektóre organizmy (w tym rośliny) same produkują sobie pokarm; inne (na przykład Ty) muszą zjadać inne organizmy, aby uzupełnić zapas substancji pokarmowych.

Biolodzy dokonali podziału sposobów zdobywania pokarmu na dwie główne kategorie.

- **Autotrofy same wytwarzają substancje pokarmowe.** Po grecku *autós* oznacza „sam”, a *trophikós* — „odżywczy”, zatem w dosłownym tłumaczeniu **autotrofy** są organizmami samoodżywiającymi się. Przykładowymi organizmami autotroficznymi są rośliny, glony i bakterie fotosyntetyzujące.

- **Heterotrofy w celu zdobycia związków odżywczych muszą pożerać inne organizmy.** Z języka greckiego *héteros* znaczy „inny”, więc **heterotrofy** odżywiają się innymi istotami. Należą do nich zwierzęta, grzyby oraz większość bakterii.

Być może uważasz, że zdobywanie pożywienia jest tak proste jak wyprawa do sklepu, podjechanie do restauracji dla zmotoryzowanych czy też odebranie pizzy od dostawcy. Przygotowywanie związków odżywczych stanowi jednak metaboliczny wysiłek. Ściślej mówiąc, pożywienie jest wytwarzane w pierwszym z omawianych poniżej procesów, a rozkładane w drugim. Oto te procesy:

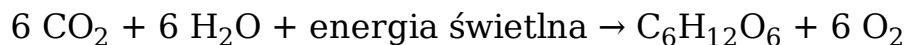
- **Fotosynteza.** Jedynie organizmy autotroficzne posiadają zdolność przeprowadzania **fotosyntezy**. Jest to proces polegający na wykorzystywaniu energii słonecznej, dwutlenku węgla z powietrza oraz wody z gleby do syntetyzowania cukrów (dwutlenek węgla stanowi źródło materii wykorzystywanej do wytwarzania pożywienia). Podczas przenoszenia atomów wodoru z wody na cząsteczki dwutlenku węgla w trakcie syntezy cukrów produktem ubocznym jest tlen, który zostaje wydalony do atmosfery.

- **Oddychanie komórkowe.** Zarówno organizmy autotroficzne, jak i heterotroficzne wykorzystują proces znany jako **oddychanie komórkowe**, w którym cząsteczki tlenu są wykorzystywane do rozkładania związków pokarmowych (na przykład cukrów). Energia zmagazynowana w wiązaniach chemicznych pożywienia zostaje przeniesiona do ATP. W wyniku rozkładu substancji organicznych powstają cząsteczki dwutlenku węgla i wody.

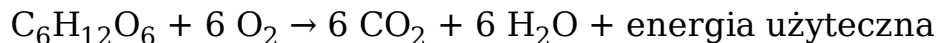


Gdy się nad tym dłużej zastanowić, okazuje się, że fotosynteza jest procesem odwrotnym do oddychania komórkowego. W tym pierwszym procesie substratami są dwutlenek węgla i woda, a produktami substancje odżywcze i tlen. Z kolei podczas oddychania komórkowego są zużywane tlen oraz pokarm, a w jego wyniku powstają dwutlenek węgla i woda. Ogólne wzory obydwu reakcji wyglądają następująco:

Fotosynteza:



Oddychanie komórkowe:



W głowie może pojawić się myśl, że tylko u heterotrofów wykorzystywane jest oddychanie komórkowe. Występuje ono również u autotrofów. Spójrz na to w następujący sposób: fotosynteza jest procesem wytwarzania jedzenia służącego jako magazyn materii i energii. Zatem fotosyntetyzująca roślina przypomina osobę przygotowującą sobie kanapki do pracy. Nie byłoby wielkiego sensu w przygotowywaniu jedzenia, którego później nie miałoby się jak zjeść, prawda? Tak samo wygląda to w przypadku roślin. Fotosynteza służy do magazynowania materii i energii. Aby „rozpakować” utworzone zapasy, roślina korzysta z oddychania komórkowego.

Fotosynteza, czyli jak przyrządzić jedzenie ze światła słonecznego, dwutlenku węgla i wody

Autotrofy posiadają zdolność przekształcania materii nieorganicznej i energii w substancje odżywcze (cukry). Dzięki tym cukrom, a także azotowi i związkom mineralnym pobieranym z gleby, organizmy te mogą wytwarzać wszystkie związki chemiczne potrzebne do budowy komórek. Wzór chemiczny **glukozy**, najczęściej spotykanego cukru w komórkach, to $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$. Do stworzenia cząsteczki glukozy potrzebne są atomy węgla, wodoru i tlenu, a także energia umożliwiająca zrywanie i powstawanie wiązań.

- Węgiel i tlen pobierane są z dwutlenku węgla zawartego w powietrzu.
- Źródłem wodoru jest woda znajdująca się w glebie.
- Energia niezbędna do tworzenia cukrów pochodzi ze światła Słońca (jedynie w przypadku autotrofów fotosyntetyzujących).

Spotkać się można z powszechnym, ale błędnym przekonaniem, że rośliny pobierają materię umożliwiającą ich wzrost wprost z gleby. Wydaje się to całkiem logicznym stwierdzeniem, zważywszy na to, że rośliny nieraz głęboko



wrastają w ziemię korzeniami. Okazuje się jednak, że według precyzyjnych badań przeprowadzonych przez belgijskiego badacza Johanna Baptistę van Helmonta drzewo, które przybrało 76 kilogramów na wadze, pobrało z gleby zaledwie 56 gramów suchej masy (nie licząc oczywiście wody). Dzięki temu doświadczeniu udowodniono, że rośliny nie pobierają wiele substancji z gleby, zamiast tego wchłaniają dwutlenek węgla występujący w atmosferze.



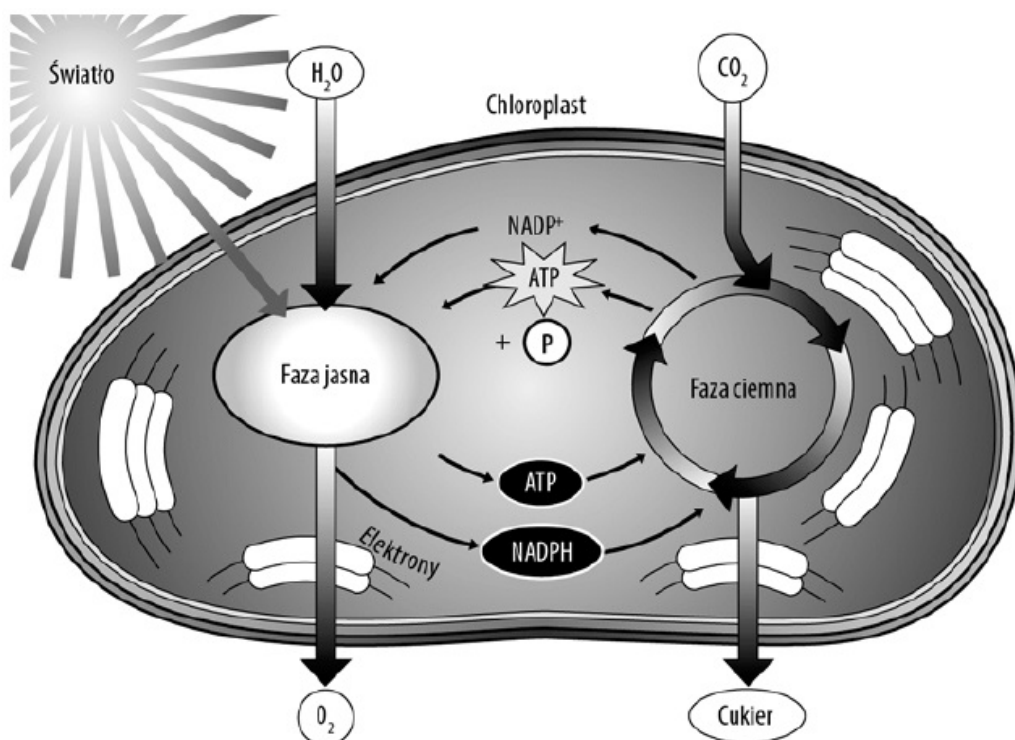
Dość ciężko w to uwierzyć, ponieważ powietrze, w tym dwutlenek węgla, jest niewidoczne i wydaje się, że jest go bardzo niewiele, ale fakty naukowe mówią same za siebie. Rośliny pobierają mnóstwo cząsteczek dwutlenku węgla (CO_2) i łączą je z cząsteczkami wody (H_2O), dzięki czemu uzyskują cząsteczki glukozy ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

Fotosyntezę można podzielić na dwa główne etapy (zostały one ukazane na rysunku 5.2).

- ***W fazie jasnej energia słoneczna jest przekształcana w energię wiązań chemicznych.*** Nośnikiem energii jest ATP.

- ***W fazie ciemnej następuje wytwarzanie cukrów.*** Energia zmagazynowana w ATP (z fazy jasnej) jest wykorzystywana do łączenia cząsteczek dwutlenku węgla (CO_2) i wody (H_2O) w glukozę ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$).

W następnych ustępach przyjrzymy się tajnikom fotosyntezy.



Rysunek 5.2. Obydwa etapy fotosyntezy, faza jasna oraz faza ciemna, są od siebie oddzielone, ale jednocześnie istnieje między nimi związek

Przekształcanie energii pochodzącej z fundamentalnego źródła zasilania

Słońce stanowi idealne źródło energii — jest reaktorem jądrowym usytuowanym w bezpiecznej odległości od Ziemi. Posiada zapas energii zaspokajający wszelkie potrzeby... jeśli tylko można ją w jakiś sposób okiełznać. Cóż, bakterie fotosyntetyzujące rozwiązały ten problem już ponad 2,5 miliarda lat temu, co pokazuje, że organizmy autotroficzne pod tym względem znacznie wyprzedzają gatunek ludzki.

Rośliny, glony i sinice (zaliczone do bakterii fotosyntetyzujących) do wychwytywania energii pochodzącej ze Słońca wykorzystują specjalne barwniki. Prawdopodobnie najbardziej znanym barwnikiem tego typu jest **chlorofil**, dzięki któremu rośliny mieniają się na zielono. Błony chloroplastów zawartych w liściach mają w sobie mnóstwo chlorofilu, dzięki czemu wydajnie pochłaniają fotony światła (chloroplasty zostały dokładniej omówione w rozdziale 4.).

W czasie fazy jasnej fotosyntezy chloroplasty pochłaniają energię pochodzącą ze Słońca i przekształcają ją w energię wiązań chemicznych zmagazynowaną w ATP. Podczas pochłaniania energii cząsteczki wody zostają rozbite. Elektrony pochodzące z wody umożliwiają

przekształcenie energii świetlnej na energię chemiczną. Produktem ubocznym jest cząsteczka tlenu (O_2), która stanowi jeden z głównych substratów potrzebnych w procesie oddychania komórkowego.

Łączenie materii i energii



Rośliny wykorzystują energię zgromadzoną w ATP (w fazie jasnej fotosyntezy) do utworzenia glukozy z cząsteczek dwutlenku węgla i wody podczas fazy ciemnej. W tym celu najpierw musi zostać pobrany dwutlenek węgla z powietrza w procesie zwanym **asymilacją węgla**. Następnie zostaje wykorzystana energia zawarta w ATP oraz elektrony wybite z cząsteczek wody do przetworzenia dwutlenku węgla w glukozę.

Faza ciemna fotosyntezy jest znana pod nazwą cyklu Calvina – Bensona (od nazwisk odkrywców).



Jak sama nazwa wskazuje, w fazie ciemnej fotosyntezy nie jest wykorzystywane światło. Aby jednak móc przeprowadzać reakcje syntezy glukozy, potrzebne są produkty powstałe w fazie jasnej, zatem w rzeczywistości faza ciemna nie może odbywać się bez fazy jasnej.

Gdy rośliny wytworzą zbyt dużą ilość glukozy, magazynują ją w postaci wielkocząsteczkowych cukrów, takich jak skrobia. W razie potrzeby skrobia zostaje rozłożona na cząsteczki glukozy, która następnie zostaje przetworzona w energię lub inne składniki odżywcze, na przykład białka i kwasy nukleinowe (za pomocą azotu pobranego z ziemi) lub tłuszcze (wiele roślin, takich jak oliwki, kukurydza, orzeszki ziemne oraz awokado, przechowuje zapas energii i materii w formie olejów).

Oddychanie komórkowe, czyli jak za pomocą tlenu przekształcić jedzenie w energię

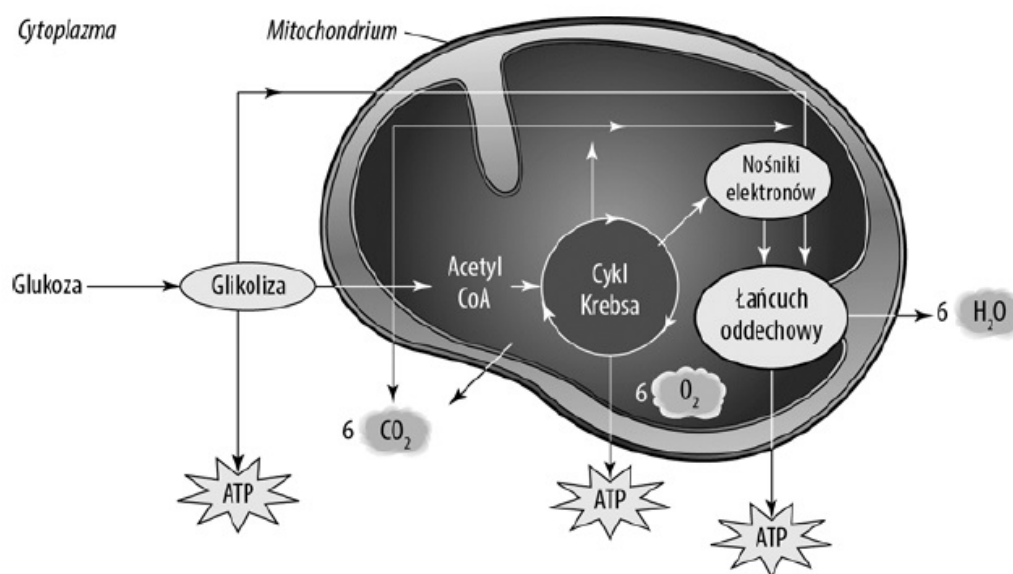
Zarówno organizmy samożywne, jak i cudzożywne wykorzystują oddychanie komórkowe do przekazywania energii z pożywienia na cząsteczkę ATP. Komórki zwierząt, roślin i wielu bakterii wykorzystują w tym procesie cząsteczki tlenu; mówimy wtedy, że w komórce występuje oddychanie tlenowe.

Na oddychanie komórkowe składają się trzy oddzielne etapy (zostały one zaprezentowane na rysunku 5.3). Dwa pierwsze



— glikoliza i cykl kwasów trójkarboksylowych, często zwany cyklem kwasu cytrynowego czy cyklem Krebsa — przeprowadzają rozkład substancji odżywczych. Trzeci szlak, fosforylacja oksydacyjna, służy do przenoszenia energii z cząsteczek nukleotydów, powstałych w wyniku rozpadu substancji pokarmowych na ATP. Ogólnie proces oddychania tlenowego wygląda następująco:

- W trakcie **glikolizy** (przeprowadzanej w cytoplazmie) glukoza zostaje przekształcona w **pirogonian**, cząsteczkę zawierającą trzy atomy węgla. Następnie z pirogonianu zostaje utworzony kompleks acetylokoenzymu A (acetyl-CoA) służący do przenoszenia dwuwęglowych grup acetylowych.
- Po przekształceniu pirogonianu do acetyl-CoA zostaje uruchomiony **cykl Krebsa** (przeprowadzany w macierzy mitochondrialnej), w którym związek ten ulega rozbiciu na cząsteczki dwutlenku węgla, a zawarte w nim elektrony są przenoszone na koenzymy zwane NADH i FAD_2 . Dwutlenek węgla jest w tym procesie produktem ubocznym.
- W czasie **fosforylacji oksydacyjnej** (występującej w grzebieniach mitochondrialnych) następuje przekształcenie energii zawartej w NADH i FAD_2 na energię wiązań w ATP. W procesie tym elektrony są przenoszone na cząsteczkę tlenu, w wyniku czego powstają cząsteczki wody.



Rysunek 5.3. Oddychanie komórkowe

Przyjrzyjmy się teraz uważniej całemu procesowi oddychania komórkowego.



Proces oddychania komórkowego nie jest tożsamy z tradycyjnie rozumianym pojęciem oddychania. **Oddychanie** jest zjawiskiem powszechnie rozumianym jako fizyczny akt wdychania i wydychania powietrza. Z kolei **oddychanie komórkowe** to szereg reakcji zachodzących w komórce, prowadzących do przeniesienia energii z substancji odżywczych na ATP.

Rozkład składników pokarmowych

Po rozbiciu dużych cząsteczek pokarmowych na elementy składowe mogą być one dalej przekształcane w sposób umożliwiający przeniesienie zawartej w nich energii na ATP. Podczas oddychania komórkowego enzymy stopniowo zmieniają konfigurację atomów w związkach odżywczych. W wyniku każdej zmiany konfiguracji otrzymywany jest nowy związek chemiczny, z którego mogą zostać wytworzone inne, przydatne substancje. Niektóre reakcje:

- **Uwalniają energię, którą następnie można przenieść na ATP.** Cząsteczki ATP zostają natychmiast wykorzystane w procesach komórkowych, na przykład do wytwarzania nowych składników.

- **Utleniają składniki pokarmowe i przenoszą elektrony oraz energię do koenzymów. Utlenianie (oksydacja)** to proces polegający na usuwaniu elektronów z cząsteczek; z kolei reakcja przenoszenia elektronów na daną cząsteczkę to **redukcja**. Podczas oddychania komórkowego enzymy „wyciągają” elektrony ze związków odżywczych i przenoszą je na koenzymy: dinukleotyd nikotynoamidoadeninowy (NAD^+) oraz dinukleotyd flawinoadeninowy (FAD). Elektrony są dołączane do cząsteczek NAD^+ i FAD jako część atomów wodoru (H). Obydwa koenzymy zostają tym samym zredukowane do postaci NADH oraz FADH_2 . Elektrony z tych cząsteczek zostają wykorzystane w procesie fosforylacji oksydacyjnej umożliwiającej przeniesienie energii na cząsteczkę ATP.



Koenzymy NAD^+ oraz FAD pełnią rolę elektronowych „autokarów”. Gdy nie zawierają elektronów, zmierzają w stronę reakcji utleniania i zabierają stamtąd „pasażerów”. Po zapełnieniu „autokaru” zostaje wywieszona tabliczka z literą „H” oznaczająca, że koenzym posiada komplet „pasażerów”.

Teraz obydwie „autokary”, NADH i FADH_2 , transportują elektrony we właściwe miejsce (gdzie są przeprowadzane procesy redukcyjne) i pozwalają „wysiąść” elektronom. „Autokary” są ponownie puste i wracają do miejsc, w których można zebrać kolejne elektrony. Podczas oddychania komórkowego koenzymy te poruszają się pomiędzy reakcjami glikolizy i cyklem Krebsa (skąd pobierają elektrony) a łańcuchem oddechowym (do którego przekazują „pasażerów”).

• **Uwalniają dwutlenek węgla (CO_2).** Produktem ubocznym oddychania komórkowego jest dwutlenek węgla, który zostaje wydany do otoczenia organizmu ku wielkiej uciechu autotrofów wykorzystujących ten właśnie związek do wytwarzania substancji pokarmowych zjadanych przez heterotrofy (widzisz, jak to wszystko jest ze sobą powiązane?).

Różne rodzaje składników odżywczych włączają się do procesu oddychania komórkowego w określonych momentach. W pierwszym etapie — glikolizie — rozkładane są proste cukry, na przykład glukoza. Z kolei w cyklu Krebsa zużywane są związki powstałe w wyniku rozkładu kwasów tłuszczowych i aminokwasów.

W poniższej liście przedstawiamy ogólny proces rozkładu substancji odżywczych podczas dwóch pierwszych etapów oddychania komórkowego.

- W trakcie glikolizy glukoza zostaje rozdzielona na dwie cząsteczki pirogronianu. Szkielet glukozy zawiera sześć atomów węgla, natomiast pirogronian jest trójwęglowy. Pod względem energetycznym zysk z glikolizy wynosi dwie cząsteczki ATP oraz dwie zredukowane cząsteczki koenzymu NADH.
- Pirogronian zostaje zmodyfikowany i dołączony do kompleksu acetyl-CoA, którego najważniejsza część posiada dwa atomy węgla. Trzeci atom pirogronianu zostaje uwolniony w postaci CO_2 . Na jedną cząsteczkę glukozy rozłożoną podczas glikolizy i w cyklu Krebsa przypada sześć cząsteczek CO_2 (w wyniku przekształcenia pirogronianu w kompleks acetyl-CoA powstają dwie cząsteczki dwutlenku węgla, a podczas cyklu Krebsa — cztery).
- W czasie cyklu Krebsa z cząsteczki acetyl-CoA powstaje dwutlenek węgla. Dzięki przekształceniu pirogronianu na acetyl-CoA otrzymujemy dwie cząsteczki NADH. Bilans energetyczny cyklu

Krebsa to dodatkowe sześć cząsteczek NADH, dwie cząsteczki FADH_2 oraz dwie cząsteczki ATP.

Przenoszenie energii na cząsteczkę ATP

W wewnętrznych błonach mitochondrialnych przeprowadzane są setki czynności, których zadaniem jest przekazywanie energii pierwotnie zawartej w związkach odżywczych na cząsteczki ATP. Są to reakcje **łańcucha oddechowego** — szeregu operacji przekazywania energii i elektronów, wykonywanych przez umieszczone w błonie białka.



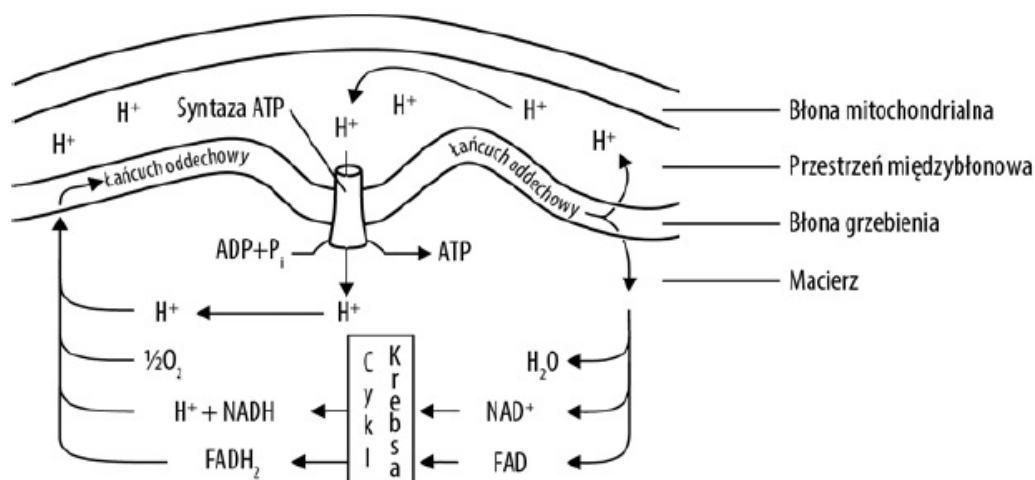
Koenzymy NADH oraz FADH_2 przenoszą elektrony pochodzące z glikolizy i cyklu Krebsa do łańcucha oddechowego. Elektrony zostają przekazane specyficznym białkom, a następnie kaskadowo przechodzą do kolejnych etapów łańcucha. Ostatecznym akceptorem (adresatem) elektronów jest cząsteczka tlenu (gdyby jej nie było na końcu łańcucha, nie nastąpiłoby przeniesienie energii). W momencie przyjęcia elektronów atomy tlenu łączą się również z protonami (H^+) i przekształcają się w cząsteczki wody (H_2O).



Łańcuch oddechowy przypomina pracowników budowy przekazujących sobie z rąk do rąk wiadro wody. Pracownicy reprezentują białka (nośniki elektronów), a woda w wiadrze — elektrony. Elektrony są przekazywane od białka do białka, aż dotrą do końca łańcucha.

Podczas przenoszenia elektronów w łańcuchu oddechowym białka zużywają energię do jednoczesnego przemieszczania protonów (H^+) wzdłuż wewnętrznych błon mitochondrialnych. Protony te są gromadzone niczym woda za tamą, po czym przedostają się na drugą stronę błony poprzez białko o nazwie **syntaza ATP**, które przekształca energię kinetyczną poruszających się cząstek elementarnych w energię wiązań chemicznych — do cząsteczki ADP zostaje dołączona reszta fosforanowa.

Proces wytwarzania ATP w łańcuchu oddechowym nosi nazwę **chemiosmotycznej teorii Mitchella** (lub **chemiosmotycznego modelu syntezy ATP**) i został zaprezentowany na rysunku 5.4.



Rysunek 5.4. Teoria chemiosmotyczna, czyli reakcje zachodzące we wnętrzu mitochondrium



W całym procesie oddychania komórkowego z jednej cząsteczki glukozy komórka potrafi wytworzyć od 36 do 38 cząsteczek ATP, które są wykorzystywane do napędzania innych reakcji (i zostają one błyskawicznie zużyte!).

Energia a Twoje ciało

Twój organizm przyjmuje z pokarmem chemiczną energię potencjalną i przekazuje ją ze związków chemicznych do komórek. W czasie trwania procesów komórkowych zużywana energia jest wydzielana do otoczenia w postaci ciepła.

Energię można mierzyć na różne sposoby, ale wartość odżywcza pokarmu jest mierzona w kaloriach. W potocznym znaczeniu kalorie służą do pomiaru ciepła. Jedna **kaloria** to ilość ciepła potrzebna do podgrzania 1 grama wody o 1°C. Spotykane na etykietach kalorie są w rzeczywistości **kilokaloriami** (grecki przedrostek *chilioi* oznacza „tysiąc”, zatem 1 **kilokaloria** oznacza 1000 kalorii). Kalorie mają skrót **cal**, a kilokalorie — **kcal**, te drugie czasami jednak są nazywane po prostu dużymi kaloriami. W dalszej części książki, jeśli użyjemy skrótu kcal, będziemy miały na myśli kilokalorie.

Możesz wyliczyć przybliżoną wartość zapotrzebowania energetycznego Twojego organizmu i za pomocą prostego wzoru poznać swój **wskaźnik podstawowej przemiany materii** (ang. *basal metabolic rate* — **BMR**). Jest to liczba kcal niezbędna do podtrzymywania podstawowych funkcji życiowych organizmu, takich jak oddychanie, krążenie krwi i tak dalej. Poniżej przedstawiamy wzór na obliczenie wskaźnika BMR^[1].

- 1. Pomnóż swoją wagę (w kilogramach) przez 9,99.**
- 2. Pomnóż swój wzrost (w centymetrach) przez 6,25.**
- 3. Dodaj otrzymane wartości z punktów 1. i 2.**
- 4. Pomnóż swój wiek przez 4,92 i odejmij otrzymaną wartość od wyniku uzyskanego w punkcie 3.**
- 5. Jeżeli jesteś kobietą, od wyniku z punktu 4. odejmij 161, natomiast jeśli jesteś mężczyzną – dodaj 5.**

Jeżeli uprawiasz sport, musisz dostarczać organizmowi więcej kcal w celu zaspokojenia zapotrzebowania energetycznego podczas wzmożonego wysiłku. Aby dowiedzieć się, ile potrzebujesz kcal do prowadzenia dotychczasowego stylu życia, skorzystaj z powyżej omówionego wzoru oraz tabeli 5.1.

W przeszłości zdobycie pożywienia stanowiło nie lada wyzwanie i ludzie często wracali do domu z pustymi rękoma. Organizm ludzki, aby przetrwać, wytworzył mechanizm ułatwiający przeżycie w warunkach zmniejszonej ilości pokarmu. Wysokoenergetyczne substancje tłuszczowe są odkładane w biodrach, udach, brzuchu i pośladkach jako zapas na trudniejsze chwile. Jeżeli będziesz spożywać więcej kcal, niż spalać, nadmiar energii zostanie zmagazynowany w tkance tłuszczowej. Każde 7000 kcal to dodatkowy kilogram masy ciała, a Twoje ciało nie zamierza łatwo oddawać zgromadzonej energii potencjalnej! Jeżeli organizm będzie bez przerwy otrzymywał nadmiar kcal, masa **nie przestanie** rosnać, ponieważ znacznie łatwiej tworzyć tłuszcz, niż go zużywać.

Tabela 5.1. Wyznaczanie zapotrzebowania kalorycznego w oparciu o styl życia

Jeżeli prowadzisz...	Pomnóż wskaźnik BMR przez...
Siedzący tryb życia (brak lub mało ćwiczeń oraz dużo pracy przy biurku)	1,2
Nieznacznie aktywny tryb życia (mało ćwiczeń lub sportu; 1 - 3 dni w tygodniu)	1,375
Średnio aktywny tryb życia (średnio trudne ćwiczenia lub dyscypliny sportowe; 3 - 5 dni w tygodniu)	1,55
Bardzo aktywny tryb życia (ciężkie ćwiczenia lub dyscypliny sportowe; 6 - 7 dni w tygodniu)	1,725
Ekstremalnie aktywny tryb życia (codziennie ćwiczysz, a do tego jesteś pracownikiem fizycznym)	1,9

Przypisy:

[1] A tutaj zapoznasz się z definicją BMR: jest to zapotrzebowanie na energię niezbędną do podtrzymania podstawowych funkcji życiowych organizmu znajdującego się w stanie czuwania w warunkach zupełnego spokoju fizycznego i psychicznego oraz komfortu cieplnego, który na 12 godzin przed badaniem nie spożywał żadnych posiłków; po 3 dniach diety bezbiałkowej i po co najmniej 8 godzinach snu — przyp. red.

Część II

Rozmnażanie komórek i genetyka — porozmawiajmy o seksie, skarbie

The 5th Wave

By Rich Tennant



Możesz przeprowadzać tyle testów
DNA, ile zechcesz, Pinokio,
ale mam nieodparte wrażenie,
że to jednak twoje dziecko

W tej części...

Żywe organizmy rozwijają się i rozmnażają zarówno w sposób płciowy (poprzez komórki powstałe w wyniku podziału mejotycznego), jak i bezpłciowy (poprzez zwykłe mitotyczne podziały komórek). Przekazują również swoje cechy osobnikom potomnym. Schematy opisujące te cechy są zaszyfrowane w strukturze najpopularniejszej cząsteczki życia — w kwasie

deoksyrybonukleinowym, czyli DNA. Naukowcy poznali już mnóstwo tajemnic kryjących się w tej niezwyklej molekuale. Opracowali nawet metody umożliwiające wykorzystanie jej w celach medycznych, rolniczych oraz technologicznych.

W tej części opiszemy poszczególne etapy podziału komórki oraz wyjaśnimy, w jaki sposób DNA decyduje o cechach organizmu.

Rozdział 6.

Dziel, aby rządzić — podziały komórkowe

W tym rozdziale:

- ▶ dowiesz się, dlaczego komórki się rozmnażają oraz w jaki sposób następuje replikacja DNA;
- ▶ odkryjesz, w jaki sposób podczas mitozy powstają doskonałe kopie komórek;
- ▶ poznasz mechanizm powstawania plemników i komórek jajowych w procesie mejozy;
- ▶ docenisz znaczenie genetycznej różnorodności.

Komórki wszystkich żywych organizmów są zdolne do podziałów, dzięki czemu organizm może wzrastać, regenerować się i rozmnażać. W wyniku rozmnażania bezpłciowego (podczas którego komórki dzielą się w procesie mitozy) komórki potomne stanowią dokładnie kopie komórek rodzicielskich. Z kolei rozmnażanie płciowe nie może odbyć się bez specyficznego rodzaju podziału komórki (mejozy), w którego wyniku komórka potomna otrzymuje połowę liczby chromosomów od każdego z rodziców. Dzięki mejozie i rozmnażaniu płciowemu istnieje różnorodność genetyczna potomstwa, a tym samym całych populacji. W tym rozdziale zastanowimy się nad powodami występowania podziałów komórkowych oraz poznamy poszczególne etapy obydwu ich rodzajów. Dowiesz się również, w jaki sposób rozmnażanie płciowe wpływa na występowanie różnorodności biologicznej.

Rozmnażanie — nieprzerwany ciąg istnienia

Biologia jest nauką o życiu. Gdy się nad tym głębiej zastanowić, można wywnioskować, że życie samo w sobie polega na zachowaniu ciągłości — kolejne pokolenia istot żywych tworzą nieprzerwany łańcuch istnienia, przekazując z pokolenia na pokolenie podstawowe informacje genetyczne. Stanowi to podstawową różnicę pomiędzy żywymi organizmami a materią nieożywioną. Czy widziałeś/widziałaś kiedykolwiek, żeby stół albo inny mebel sam się replikował? Jedynie istoty żywe posiadają zdolność do przekazywania informacji genetycznej i rozmnażania się.

W czasie pełnego cyklu życia (zawierającego fazę podziału komórki) następuje powielenie wszystkich organelli oraz utworzenie kopii nici DNA, które zostają następnie rozdzielone pomiędzy komórki potomne. Jeżeli powstanie dokładna kopia komórki rodzicielskiej, takie podziały mogą prowadzić do **rozmnażania bezpłciowego**. U jednokomórkowych prokariontów (np. u bakterii) jest to prosty proces; do jednego podziału wystarczy im 10 - 20 minut. Niektóre jednokomórkowe jądrowce oraz pewne organizmy wielokomórkowe również rozmnażają się bezpłciowo. Odbywa się to jednak u nich w procesie zwanym mitozą (omówimy ją dokładniej w podrozdziale „Mitoza — jedno dla ciebie i jedno dla ciebie”). Gdy komórka potomna otrzymuje jedynie połowę rodzicielskiego materiału genetycznego, to powstaje ona w wyniku **rozmnażania płciowego**. Odpowiedzialny jest za to specyficzny podział komórki, znany jako mejoza (której poświęciliśmy podrozdział „Mejoza — bez niej nie byłoby seksu, skarbie”).

Komórki dzielą się z następujących powodów:

- **Rozwój organizmu.** Twoje życie rozpoczęło się od pojedynczej komórki powstałej z połączenia



plemnika taty i komórki jajowej mamy, dzisiaj natomiast składasz się z ponad 10 bilionów komórek. Wszystkie one wywodzą się z tej pierwotnej komórki i jej potomków powstałych na drodze mitozy. Gdy obserwujesz rosnące rośliny lub dzieci zmieniające się w dorosłych, widzisz skutki podziałów mitotycznych.

- **Regeneracja uszkodzeń.** Komórki zużywają się i muszą być bez przerwy zastępowane nowymi. Żeby daleko nie szukać — Twój naskórek cały czas się łuszczy. Gdyby nie były produkowane nowe komórki naskórka, warstwa Twojej skóry szybko zostałaby starta. Również w przypadku uszkodzenia organizmu ciało wykorzystuje mitozę do naprawy tkanek.

- **Przedłużenie gatunku.** W czasie rozmnażania bezpłciowego organizmy wytwarzają osobniki potomne, które pod względem genetycznym są dokładną kopią rodzica. Z kolei przy rozmnażaniu płciowym **gamety** (komórki — głównie jajowe i plemniki — zawierające połowę informacji genetycznej przekazywanej przez rodziców) łączą się ze sobą, w wyniku czego powstaje zupełnie nowy osobnik. Po złączeniu się gamet nowo powstała komórka zarodkowa posiada komplet informacji genetycznej utworzonej ze zmieszania genów pochodzących od rodziców.

Podstawy replikacji DNA

Jeżeli komórka ma ulec podziałowi, musi najpierw wyprodukować podwójną ilość organelli i składników budulcowych, których połowa zostanie przekazana komórce potomnej. Taka komórka rośnie, wytwarza dodatkowe

organelle (opis organelli znajdziesz w rozdziale 4.) i kopiuje informację genetyczną (upakowaną w nici DNA), dzięki czemu komórce potomnej niczego nie zabraknie. Materiał genetyczny jest powielany w procesie zwanym **replikacją DNA**. Pierwotne nici DNA służą jako szablony do wytworzenia nowych kwasów nukleinowych. Jest niezwykle istotne, aby każda komórka potomna otrzymała wierną kopię informacji genetycznej, gdyż ta skopiowana nić (wierna lub powielona z błędami) steruje budową oraz funkcjami nowej komórki.



Poniżej przedstawiamy podstawowe etapy replikacji DNA.

- Najpierw zostaje rozpleciona podwójna helisa DNA, a jej nici zostają rozdzielone — każda nić posiada po jednym nukleotydzie z pierwotnej pary zasad (cząsteczka DNA została opisana w rozdziale 3.). Cała helisa DNA nie zostaje jednak od razu w całości rozplątana. Miejsca, w których następuje proces replikacji, noszą nazwę **widełek replikacyjnych** (jest to odcinek DNA w kształcie litery Y ukazany na rysunku 6.1).
- Enzym **polimeraza DNA** odczytuje na każdej nici kolejność ułożenia zasad i produkuje nić potomną komplementarną do nici macierzystej. Nici potomne są budowane zgodnie z **regułą komplementarności par zasad**: A łączy się zawsze z T, a C — z G (więcej szczegółów na temat nukleotydów znajdziesz w rozdziale 3.). Jeżeli nić macierzysta posiada w którymś miejscu adeninę (A), polimeraza DNA w analogicznym miejscu nici potomnej wstawi tyminę (T) na zasadzie komplementarności. Po zakończeniu procesu replikacji każda nić pierwotna posiada komplementarną do niej nić potomną.



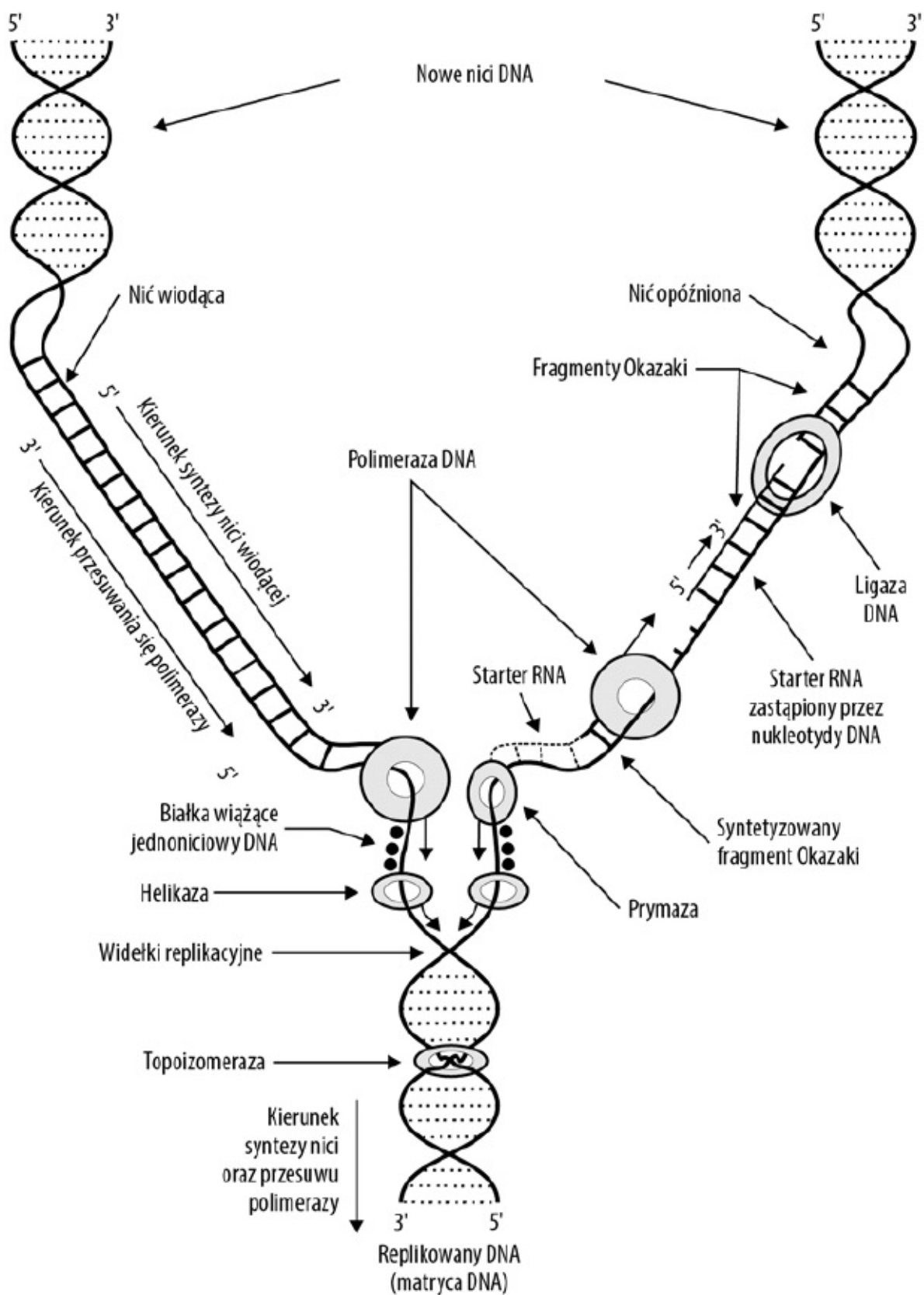
Replikacja DNA jest **semikonserwatywna (półzachowawcza)**, ponieważ każda nowa cząsteczka DNA składa się z jednej nici macierzystej (starej) oraz jednej potomnej (zbudowanej przez polimerazę DNA).

Oprócz polimerazy DNA w replikacji bierze udział również kilka innych enzymów (ich ciężka praca została zilustrowana na rysunku 6.1).

- **Helikaza** rozplata połączone nici i otwiera DNA na proces właściwej replikacji.
- **Prymaza** podłącza krótkie odcinki RNA, zwane **starterami**, które są komplementarne do macierzystej nici DNA. Bez starterów RNA polimeraza DNA nie może rozpocząć procesu replikacji.
- **Polimeraza DNA I** usuwa startery RNA i zastępuje je nicią DNA, więc jej rola jest nieco odmienna od właściwej polimerazy DNA (oficjalnie zwanej **polimerazą DNA III**, ale my będziemy ją nazywać po prostu **polimerazą DNA**) odpowiedzialnej za wytwarzanie większości komplementarnej nici.
- **Ligaza DNA** tworzy wiązanie kowalencyjne ze szkieletem nowej nici DNA, dzięki czemu zachowuje ciągłość budowanej cząsteczki.

Obydwie nici w macierzystej podwójnej helisie są ułożone wobec siebie w przeciwnych kierunkach: końce nici znajdujące się po tej samej stronie różnią się pod względem chemicznym i jedna nić jest odwrócona o 180 stopni w stosunku do drugiej. Zwróć uwagę na oznaczenia 5' („pięć prim”) i 3' („trzy prim”) na rysunku 6.1. Liczby te wskazują na różnice w budowie chemicznej obydwu końców nici. Widzimy, że koniec 5' jednej nici znajduje się tuż przy końcu 3' nici drugiej. Obydwie nici muszą być ułożone wobec siebie w odpowiedni sposób po to, aby mogły powstać wiązania

po między parami zasad tworzącymi szczelki podwójnej helisy. Są one spolaryzowane (ułożone) w przeciwnych kierunkach, dlatego mówi się, że występuje u nich konfiguracja **antyrównoległa**.



Rysunek 6.1. Replikacja DNA



Antyrównoległe ułożenie nici w podwójnej helisie stwarza pewne problemy polimerazie DNA. Jedną z charakterystycznych cech polimerazy jest jej jednokierunkowość — enzym ten może tworzyć nową nić, łącząc się z nukleotydami w ściśle określony sposób. Obydwie macierzyste nici muszą być jednak używane jako szablon, a są skierowane przecież w przeciwnych kierunkach. Okazuje się, że na każdej z obydwu nici polimeraza syntetyzuje nić potomną w nieco inny sposób, co zostało poniżej objaśnione.

- **Jedna z nici, zwana nicią wiodącą, jest syntetyzowana w sposób ciągły.** Spójrz na rysunek 6.1. Czy widzisz, jak nić znajdująca się po lewej stronie widełek replikacyjnych zachowuje ciągłość? Jej koniec 3' jest skierowany w stronę widełek, zatem polimeraza DNA może bez przeszkód dobudowywać nowe nukleotydy do powstającej nici.
- **Druga z nici, zwana nicią opóźnioną, jest syntetyzowana krótkimi odcinkami.** Przyjrzyj się ponownie rysunkowi 6.1. Zwróć uwagę, że po prawej stronie widełek replikacyjnych panuje większy bałagan. Tutaj replikacja nie przebiega w sposób ciągły. Po stronie widełek replikacyjnych znajduje się koniec 5'. Polimeraza DNA zaczyna syntetyzować nić opóźnioną, ale w tym celu musi oddalić się od widełek replikacyjnych (ponieważ jest enzymem działającym jednokierunkowo). Polimeraza nie może oddalić się od pozostałych sprzężonych z nią enzymów, zatem przesuwa się do początku rozwijających się widełek i zaczyna cały proces od nowa. W wyniku tego nić opóźniona składa się z wielu małych odcinków zwanych **fragmentami Okazaki**. Po zszyntetyzowaniu fragmentów Okazaki przesuwa się

wzdłuż nich enzym ligaza DNA, który wytwarza między nimi wiązania kowalencyjne i w ten sposób łączy nić opóźnioną w całość.

Podział komórki — odchodzi stare, przychodzi nowe

Podział komórki to proces, dzięki któremu martwe komórki są zastępowane przez nowe, zostaje wyleczona uszkodzona tkanka; umożliwia on także organizmom rozwój i rozmnażanie. Komórki część czasu spędzają na przeprowadzaniu procesów komórkowych, a część poświęcają na podziały. Taki podział na funkcjonowanie i dzielenie się komórek znany jest jako **cykl komórkowy** i składa się z poszczególnych etapów.

- Okres, w którym komórka nie ulega podziałom, nosi nazwę **interfazy**. W tym czasie komórki zajmują się swoimi „codziennymi” czynnościami. Jednokomórkowy organizm prawdopodobnie jest zajęty wzrostem i poszukiwaniem pożywienia. Komórki stanowiące część wielokomórkowego organizmu, na przykład ludzkiego, wypełniają zaprogramowane działania. Na przykład komórka naskórka chroni przed drobnoustrojami, a komórka tłuszczowa gromadzi zapasy.
- Komórki, które otrzymają odpowiedni sygnał, wchodzą w jeden z dwóch trybów podziału — mitozę albo mejozę:
 - Komórki rozmnażające się bezpłciowo, takie jak komórka skóry zastępująca obtarty fragment ciała, dzielą się w procesie **mitozy**, dzięki któremu powstają komórki potomne identyczne z komórką rodzicielską.
 - Komórki rozmnażające się płciowo ulegają pewnemu specjalnemu procesowi zwanemu **mejozą**,

podczas którego produkowane są specyficzne komórki — **gamety** (u zwierząt) oraz **zarodniki**^[1] (lub **spory**; u roślin, grzybów i protistów^[2]), w których zawarta jest połowa rodzicielskiego kodu genetycznego. W organizmie ludzkim jedynym miejscem wytwarzania komórek mejotycznych są **gruczoły rozrodcze**. W zależności od płci są to jajniki lub jądra. Komórki produkowane przez jądra to **plemniki**, a gamety żeńskie są zwane **komórkami jajowymi (oocytami)**.

Mitozę i mejozę łączy wiele podobieństw, jednak to różnice mają największe znaczenie. Omawiamy obydwa rodzaje podziałów (a także interfazę) w kolejnych ustępach, ale w tabeli 6.1 zamieściliśmy krótkie porównanie omawianych procesów.

Tabela 6.1. Porównanie mitozy i mejozy

Mitoza	Mejoza
Do przeprowadzenia całego procesu wymagany jest jeden podział komórki.	Do przeprowadzenia całego procesu potrzebne są dwa oddzielne podziały komórkowe.
Chromosomy nie łączą się w pary.	Chromosomy homologiczne łączą się ze sobą w profazie I.
Chromosomy homologiczne nie wymieniają się materiałem genetycznym.	Jednym z najważniejszych etapów mejozy jest crossing-over (przekrzyżowanie); między innymi dzięki niemu istnieje różnorodność genetyczna.
Siostrzane chromatydy zostają rozdzielone w anafazie.	Siostrzane chromatydy rozdzielają się wyłącznie w anafazie II, nie w anafazie I (w tej ostatniej zostają rozdzielone chromosomy homologiczne).
Komórki potomne posiadają taki sam garnitur chromosomów jak komórka rodzicielska (są diploidalne).	Komórki potomne posiadają połowę liczby chromosomów w porównaniu z komórką rodzicielską (są haploidalne).

Informacja genetyczna zawarta w komórce potomnej jest identyczna z DNA komórki rodzicielskiej.	Komórki potomne różnią się pod względem genetycznym od komórek rodzicielskich.
W niektórych organizmach mitozą służy do rozmnażania bezpłciowego. U większości istot żywych podziały mitotyczne umożliwiają wzrost, regenerację uszkodzeń oraz zastępowanie martwych komórek.	Podczas mejozy wytwarzane są gamety oraz zarodniki, co stanowi pierwszy etap rozmnażania płciowego.

Interfaza — wprowadzanie porządku

W trakcie interfazy komórki przechodzą w tryb wykonywania specyficznych dla nich czynności. Na przykład komórki nerwowe przesyłają sygnały, komórki gruczołowe wydzielają hormony, a komórki mięśniowe kurczą się. Gdy komórki dostają „rozkaz” do podziału, rozrastają się, wytwarzają podwójną ilość wszystkich organelli i struktur, a także przygotowują mechanizmy pozwalające na przeprowadzenie rozmnażania w uporządkowany sposób (łaciński przedrostek *inter* oznacza „pomiędzy”, zatem **interfaza** jest w dosłownym tłumaczeniu fazą pomiędzy podziałami komórki).



Jak widać na rysunku 6.2, otoczka jądrowa pozostaje nienaruszona w czasie interfazy. Helisa DNA jest luźno zwinięta i nie widać poszczególnych chromosomów. Komórki szykujące się do podziału replikują DNA podczas interfazy.

Interfaza dzieli się na trzy etapy:

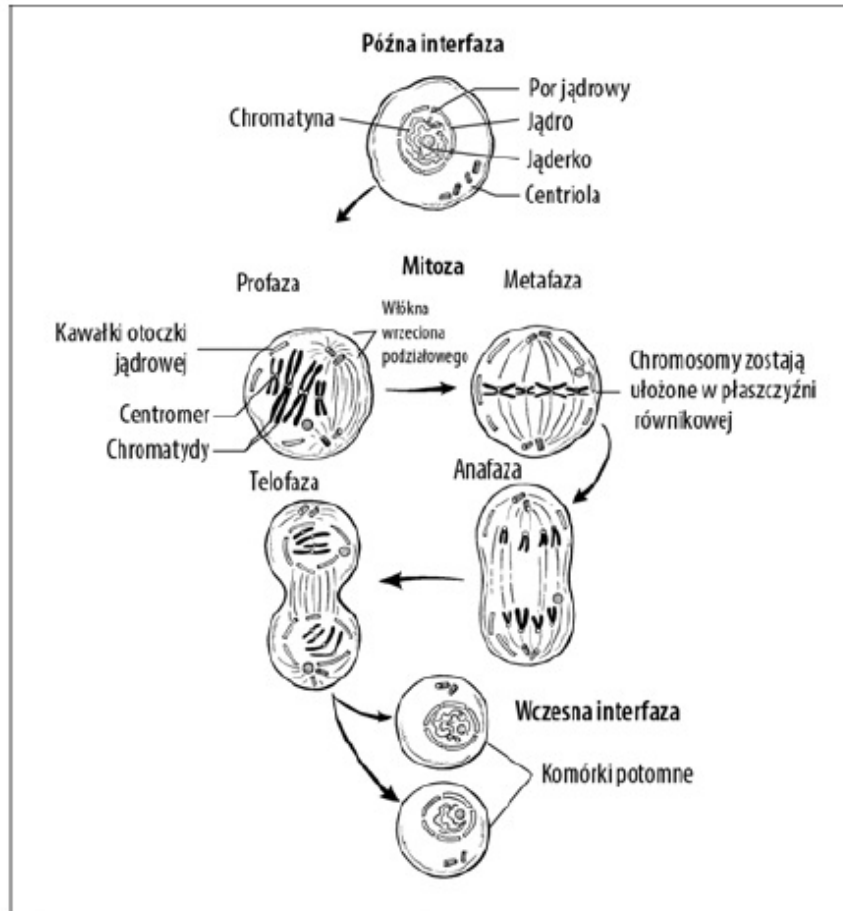
- **Faza G_1** . Na tym etapie, zazwyczaj najdłuższym, komórka rozrasta się i wytwarza potrzebne jej składniki. Każdy chromosom zbudowany jest z pojedynczej dwuniciowej cząsteczki DNA (pisząc **dwuniciowa**, mamy na myśli po prostu podwójną helisę).

Niektóre komórki nie wychodzą poza fazę G_1 .



Nigdy się nie dzielą; po prostu żyją i wykonują swoje zadania. Idealnym przykładem komórek zatrzymanych w fazie G_1 są ludzkie neurony.

- **Faza S.** Komórka wchodzi w tę fazę, gdy jest gotowa do rozpoczęcia podziału i uruchamia proces replikacji DNA. Zostaje utworzona wierna kopia każdej cząstki DNA znajdującej się w jądrze, dzięki czemu powstają dwie siostrzane **chromatydy** (para identycznych cząsteczek DNA), które są ze sobą połączone w przestrzeni replikowanego chromosomu. Chromosomy te są pokazane na rysunku 6.2 na etapie zwanym profazą. Każdy skopiowany chromosom przypomina z wyglądu krzyżyk (X), na który składają się dwie siostrzane chromatydy połączone ze sobą w miejscu nazwanym **centromerem**.
- **Faza G_2 .** Komórka „pakuje manatki” i przygotowuje się do podziału, wytwarzając białka cytoszkieletu, dzięki którym zostaną przetransportowane chromosomy. W dzielącej się komórce białka te przypominają cienkie nici, stąd ich nazwa — **włókna wrzeciona podziałowego**. W trakcie mitozy włókna te układają się wewnątrz komórki, tworząc strukturę zwaną wrzecionem podziałowym (mitotycznym) — na rysunku 6.2 zostało ono ukazane w postaci zakrzywionych, cienkich linii. **Wrzeciono mitotyczne** służy do rozmieszczania chromosomów w czasie mitozy.



Rysunek 6.2. Interfaza i mitoza

Mitoza — jedno dla ciebie i jedno dla ciebie

Po zakończeniu interfazy (omówionej w poprzednim ustępie) komórki dzielące się na identyczne genetycznie komórki potomne wchodzi w mitozę. W jej trakcie komórka przygotowuje się do nieuchronnego podziału. Procesy zachodzące w czasie podziału mitotycznego mają zagwarantować równy podział materiału genetycznego pomiędzy komórkami potomnymi, dzięki czemu będą one bliźniacze (komórka eukariotyczna stanowi idealny przykład rodzica identycznie traktującego obydwójce dzieci).

Podział mitotyczny przebiega w czterech etapach, natomiast w czwartym etapie zostaje uruchomiony ostateczny proces, zwany cytokinezą. Przyjrzyjmy się dokładniej poszczególnym etapom.

Cztery fazy podziału mitotycznego

Cykl komórkowy stanowi ciągły proces, w którym każdy etap następuje płynnie po poprzednim, ale naukowcy umownie podzielili mitozę na cztery fazy w oparciu o zachodzące w nich zdarzenia. Wspomniane etapy to:

- **Profaza.** Chromosomy przygotowują się do transportu i tworzące je cząsteczki DNA zostają ściśle upakowane (w czasie interfazy DNA przebywa w rozluźnionej postaci, w której ciężko byłoby znaleźć jakiś ściśle zdefiniowany kształt). W trakcie ściskania (**kondensacji**) chromosomów stają się one widoczne pod mikroskopem. Podczas profazy:
 - chromosomy zostają zwinięte i można je dostrzec pod mikroskopem,
 - otoczka jądrowa zostaje rozłożona,
 - pojawia się wrzeciono mitotyczne i łączy się z chromosomami,
 - jąderka zostają rozłożone i stają się niewidoczne.
- **Metafaza.** Chromosomy zostają przetransportowane przez włókna wrzeciona podziałowego (kariokinetycznego) na płaszczyznę równikową komórki (przedrostek *meta* wywodzi się z języka greckiego i oznacza między innymi „środek”, zatem można powiedzieć, że komórka znajduje się dosłownie w stanie metafazy, gdy

chromosomy układają się w jej środkowej części; przyjrzyj się temu etapowi na rysunku 6.2).



- **Anafaza.** Powielone chromosomy oddzielają się od siebie i siostrzane chromatydy (identyczne połówki chromosomów) zostają przeciągnięte na przeciwne bieguny komórki (komórka przebywająca w anafazie na rysunku 6.2). W ten sposób obydwie komórki potomne po zakończeniu podziału będą posiadały po jednej kopii cząsteczki DNA pochodzącej od komórki rodzicielskiej.

- **Telofaza.** Komórka przygotowuje się do podziału, otaczając rozdzielone chromatydy błoną jądrową. Jak widać na rysunku 6.2, jądra komórek potomnych zawierają kopie wszystkich chromosomów przechowywanych przez komórkę rodzicielską.



Etapy telofazy stanowią odwróconą kolejność czynności przeprowadzanych w profazie:

- wokół chromosomów powstaje otoczka jądrowa,
- struktura chromosomów ulega rozluźnieniu i wypełniają one przestrzeń jądra,
- znika wrzeciono mitotyczne,
- zostaje odtworzone jąderko.

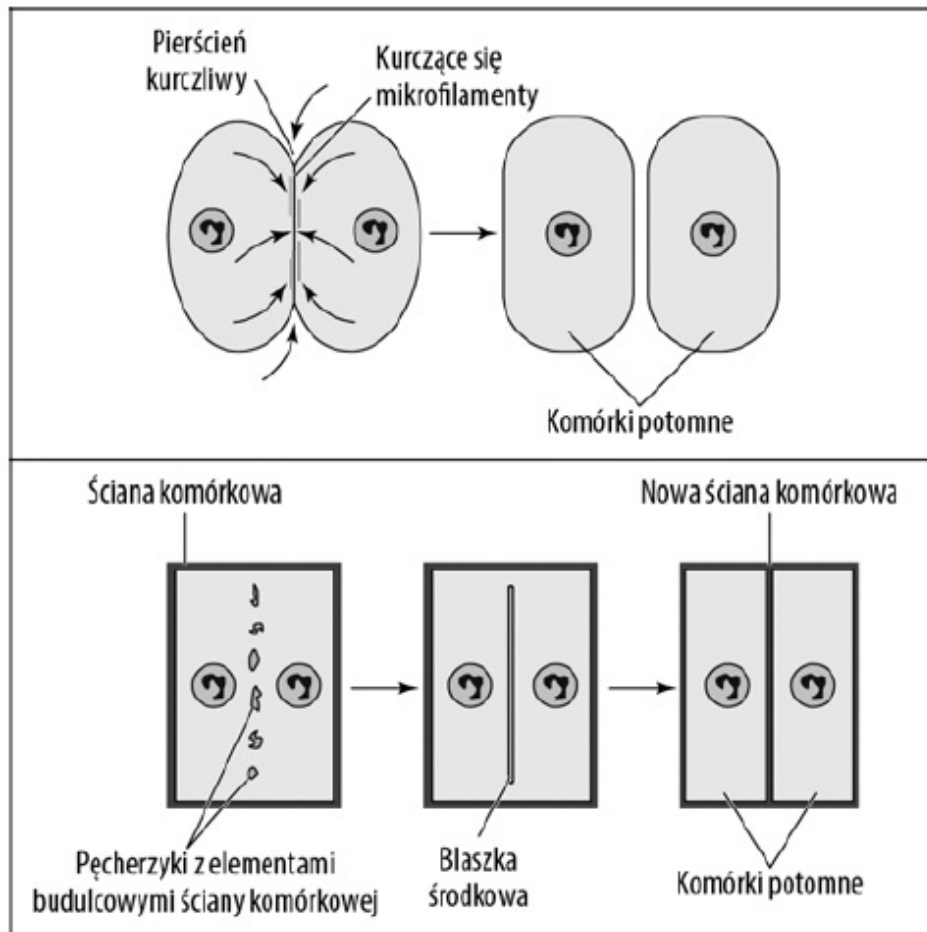
Cytokineza stanowi początek osobnej drogi dla komórek potomnych



Czynnością kończącą mitozę jest przekazanie każdemu jądru potomnemu własnej komórki do zarządzania. Proces ten to **cytokineza** (jak już wcześniej wspomnieliśmy, *kytos* po grecku znaczy „komórka”, a *kinesis* — ruch, zatem **cytokineza** dosłownie oznacza „przenoszenie komórki”).

Proces ten przebiega inaczej u roślin i u zwierząt, co zostało ukazane na rysunku 6.3 oraz opisane na poniższej liście.

- W komórkach zwierzęcych cytokineza rozpoczyna się od powstania wgłębienia w środkowej części komórki, zwanego **pierścieniem kurczliwym**. Białka cytoszkieletu zachowują się jak pas zaciskający się wokół komórki i w końcu przecinający ją na dwie komórki potomne (wyobraź sobie, że ściskasz kulę ciasta do pieczenia w jej środkowej części, dopóki nie otrzymasz dwóch mniejszych kulek).
- We wnętrzu komórki roślinnej zostaje najpierw wytworzona nowa, sztywna ściana komórkowa, z tego powodu komórka nie może zostać przecięta tak, jak ma to miejsce u zwierząt. Zamiast tego pęcherzyki z aparatu Golgiego przenoszą składniki budulcowe do centrum komórki, a następnie jest z nich budowana **blaszka środkowa**. Pęcherzyki transportujące zbudowane są z niewielkich fragmentów błony komórkowej, więc gdy się ze sobą łączą, przyczyniają się również do powstawania nowej błony komórkowej. W ten sposób nowo powstająca ściana komórkowa znajduje się pomiędzy błonami komórek potomnych.



Rysunek 6.3. Cytokineza

Po zakończeniu cytokinezy młode komórki przechodzą od razu do etapu G_1 interfazy. Nie mają one czasu, aby pogratulować sobie wielkiego wyczynu, jakim jest skuteczne przeprowadzenie podziału mitotycznego, a szkoda, ponieważ stanowi on trzon regeneracji i odnowy całego organizmu.

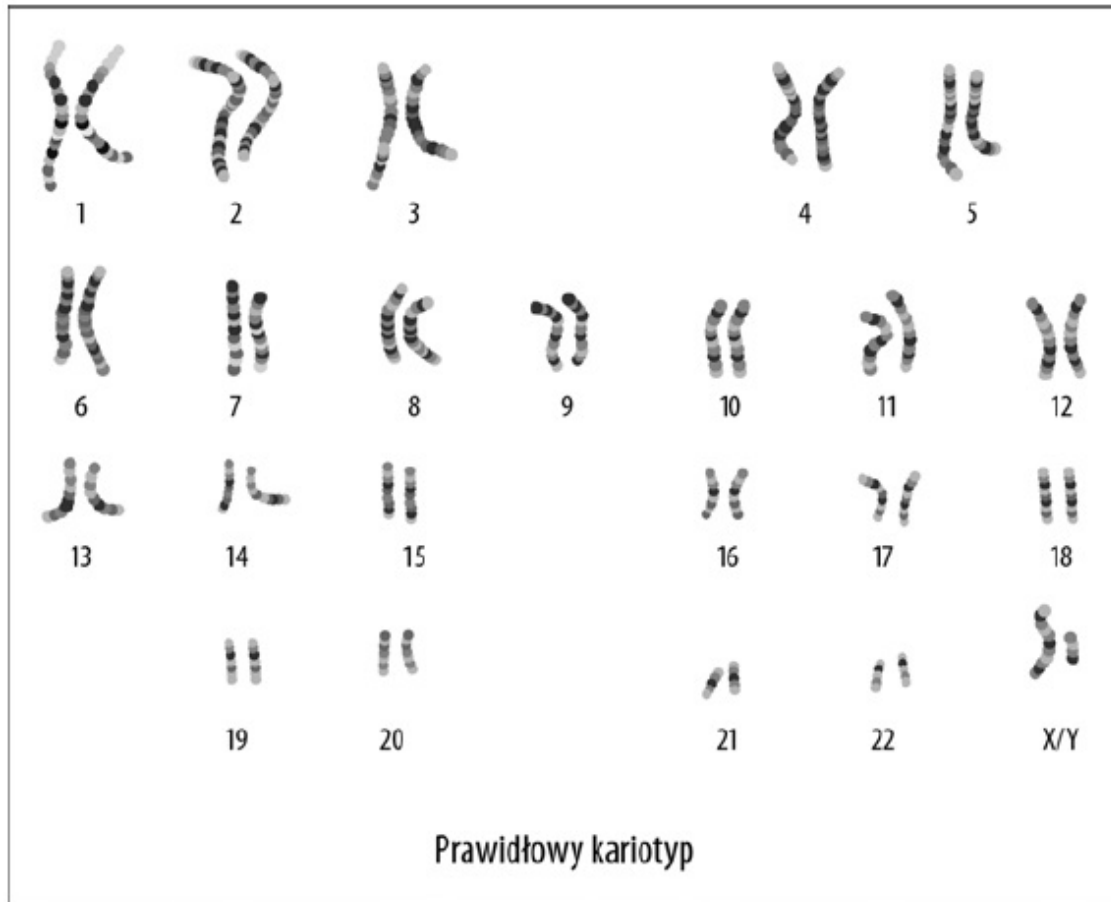
Mejoza — bez niej nie byłoby seksu, skarbie

Mejoza jest wyjątkowym procesem, ponieważ komórka potomna zawiera tylko połowę **chromosomów** pochodzących od rodzica. Komórki ludzkiego ciała posiadają 46 chromosomów — a dokładnie 23 pary chromosomów pochodzących od matki i ojca. Można je uporządkować pod

względem podobieństwa, przez co otrzymujemy mapę chromosomów zwaną **kariotypem** (rysunek 6.4). Jedną parę tworzą dwa **chromosomy homologiczne** (w języku greckim przedrostek *homo* oznacza „taki sam”, zatem tego typu chromosomy przechowują ten sam rodzaj informacji genetycznej). Jeden z chromosomów homologicznych pochodzi od mamy, a drugi od taty. Na każdy gen otrzymany od mamy przypada jeden pochodzący również od taty, zatem Twoje komórki mają po dwie kopie każdego genu (mężczyźni są wyjątkiem — posiadają jeden chromosom płciowy X i jeden Y).

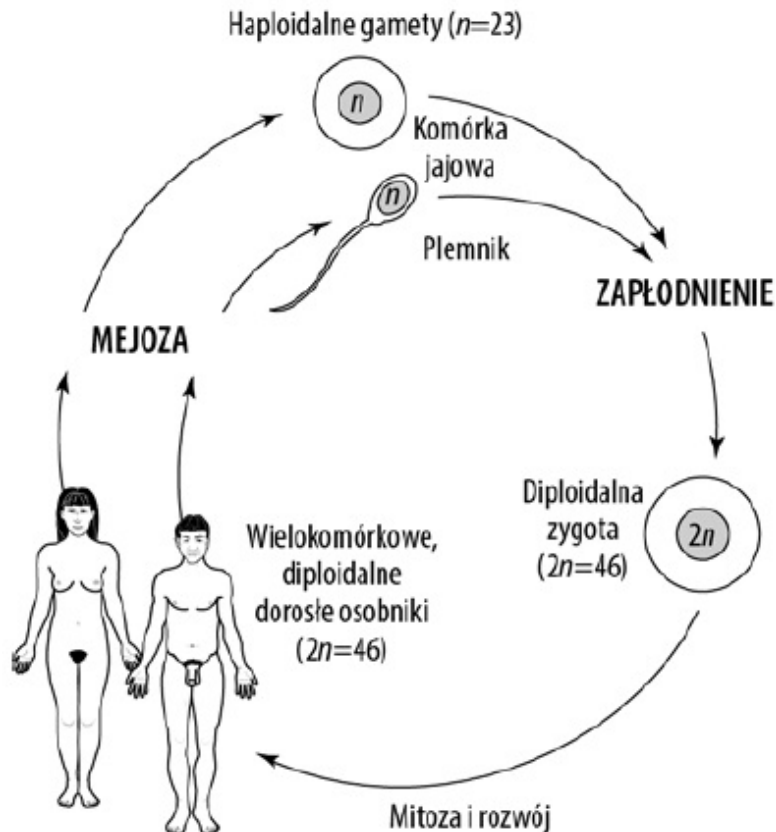


Pary chromosomów homologicznych zawierają taki sam rodzaj informacji genetycznej. Jeżeli w jednym chromosomie homologicznym znajduje się gen odpowiedzialny za kolor oczu, w drugim chromosomie jest on umiejscowiony w analogicznym miejscu. Informacja zapisana w obydwu chromosomach może się różnić pomiędzy nimi — na przykład gen w pierwszym chromosomie homologicznym może definiować jasny kolor oczu, a gen zawarty w drugim chromosomie może uaktywniać ciemny kolor oczu — ale w obydwu chromosomach rozmieszczenie genów jest identyczne.



Rysunek 6.4. Kariotyp człowieka

Ludzkie **gamety** (plemniki i komórki jajowe) posiadają zaledwie po 23 chromosomy. W wyniku rozmnażania płciowego (rysunek 6.5) plemnik łączy się z komórką jajową i powstaje nowa komórka, posiadająca komplet 46 chromosomów. Gdyby gamety nie posiadały połowy garnituru chromosomów, komórka powstająca z ich złączenia, czyli **zygota**, zawierałaby dwa razy więcej informacji genetycznej niż przeciętna ludzka komórka. W procesie wytwarzania gamet dobór 23 chromosomów jest nieprzypadkowy — na ten zbiór składa się po jednym chromosomie homologicznym każdego rodzaju. Gdyby tak nie było, zygota posiadałaby nadmiar jednych chromosomów, a innych całkowicie by brakowało. Powstała z zygoty istota ludzka nie posiadałaby pełnej informacji genetycznej i najprawdopodobniej umarłaby bardzo wcześnie.



Rysunek 6.5. Cykl życiowy człowieka



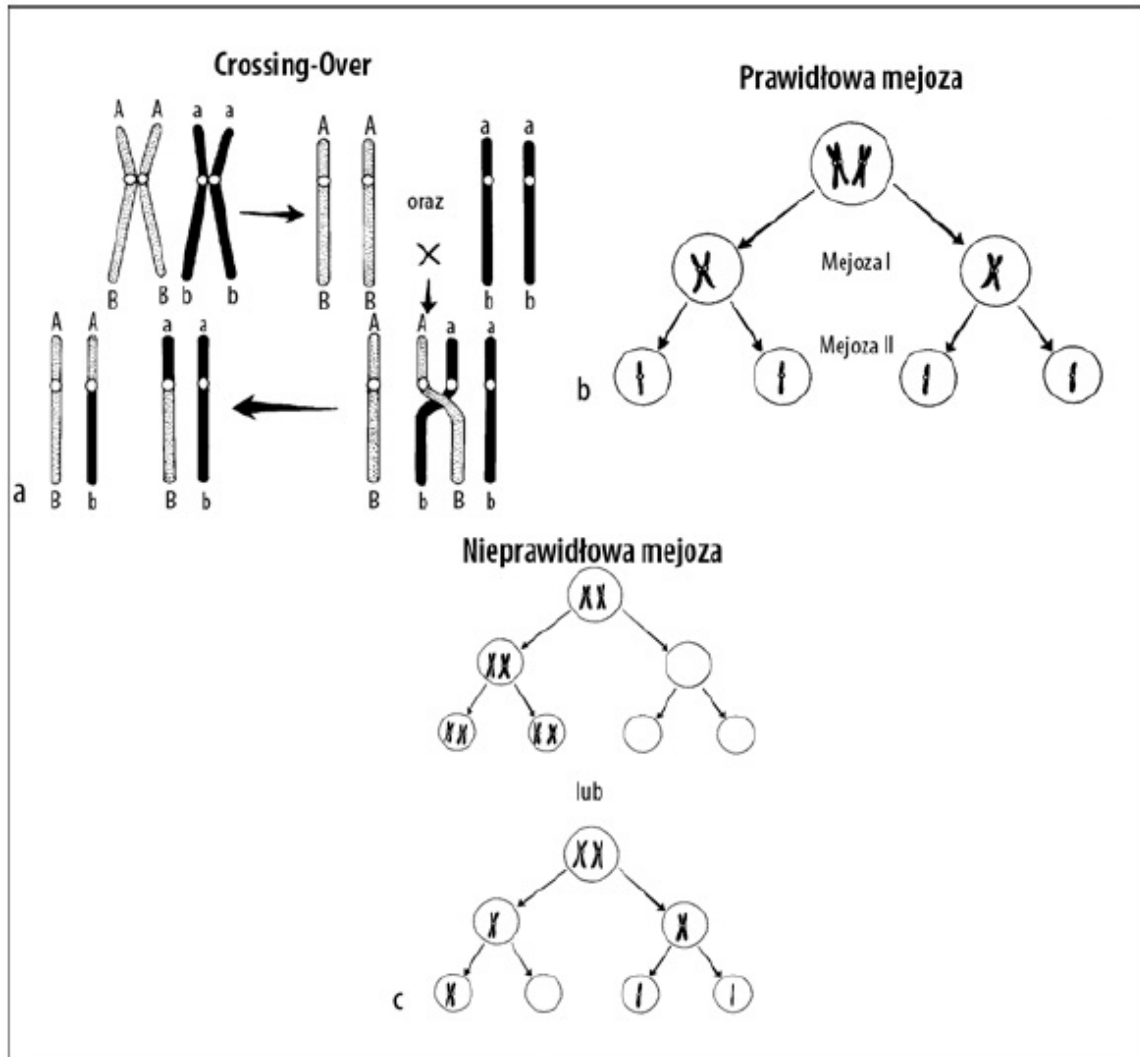
W czasie mejozy gameta otrzymuje po jednym chromosomie każdego rodzaju. W przypadku człowieka zostają rozdzielone 23 pary chromosomów, przez co plemniki i komórki jajowe mają po 23 chromosomy. Gdy komórka posiada pojedynczy zestaw chromosomów, mówi się, że ta liczba (i sama komórka) jest **haploidalna**. Po połączeniu się gamet komórka potomna staje się **diploidalna**, gdyż posiada pełen garnitur chromosomów homologicznych (46, czyli 23 pary).

W trakcie mejozy następują dwa podziały komórkowe, nazywane kolejno: **mejoza I** i **mejoza II**.

- Podczas mejozy I chromosomy homologiczne układają się w pary i zostają rozdzielone pomiędzy komórki

potomne. Każda komórka potomna otrzymuje po jednym chromosomie homologicznym (pamiętaj, że pierwszy podział mejotyczny jest poprzedzony interfazą, zatem komórka rodzicielska zawiera dwa zestawy chromosomów powstałe w wyniku replikacji. Obydwie kopie chromosomów, zwane chromatydami siostrzanymi, są połączone w pary. Na rysunku 6.6 b widzimy, że po pierwszym podziale mejotycznym komórki potomne wciąż posiadają po jednym chromosomie wyglądającym jak X).

- W czasie mejozy II z każdego chromosomu są rozdzielane pojedyncze chromatydy i przekazywane komórkom potomnym. Po drugim podziale mejotycznym każda z czterech komórek potomnych zawiera po zestawie chromatyd, które nie są następnie replikowane (zwróć uwagę na rysunku 6.6 b), przez co każda komórka potomna nie posiada pełnego chromosomu, tylko jego połowę — chromatydę).



Rysunek 6.6. Crossing-over, mejoza oraz nierozdzielność chromosomów

U człowieka w męskim organizmie mejoza zaczyna być przeprowadzana po osiągnięciu dojrzałości płciowej — w jądrach komórki diploidalne są dzielone na haploidalne gamety. U kobiet podziały mejotyczne przeprowadzane są znacznie wcześniej — już w życiu płodowym. Gdy malutka dziewczynka pływa w matczynym łonie, diploidalne komórki przechodzą pierwszy podział mejotyczny i wędrują do jajników, gdzie trwają w zawieszeniu i czekają na wejście przez organizm w okres dojrzewania. Kiedy nastolatka zaczyna dojrzewać, komórki pojedynczo zaczynają wkraczać w drugi podział mejotyczny (tylko jedna na miesiąc; bez przepychanek, proszę!). Przeważnie w cyklu

menstruacyjnym wytwarzana jest tylko jedna komórka jajowa, ale czasami zdarzają się wyjątki, co, w wyniku zapłodnienia, prowadzi do poczęcia dwojaczków, trojaczków, czworaczków i tak dalej... rozumiesz, o co chodzi. Pozostałe komórki mejotyczne zostają po prostu zutylizowane.



Gdy ludzki plemnik połączy się z komórką jajową w procesie zapłodnienia (każde z nich posiada 23 chromosomy), zostaje odtworzony w zygocie diploidalny garnitur chromosomów. Dalsze podziały mitotyczne doprowadzają do powstania organizmu ludzkiego.



Etapy mejozy są podobne do faz podziału mitotycznego na tyle, że nawet nazewnictwo pozostało takie samo, co może czasem sprawić problem w odróżnianiu obydwu procesów. Zapamiętaj przede wszystkim, że różnica pomiędzy mitozą a mejozą polega na odmiennej liczbie chromosomów w komórkach potomnych.

W kolejnych ustępach przyjrzymy się uważniej poszczególnym etapom obydwu podziałów mejotycznych.

Mejoza I

Pierwszy podział mejotyczny stanowi wstęp do rozmnażania płciowego. Składa się z następujących etapów:

- **Profaza I.** W tej fazie znika otoczka jądrowa, chromatyna zostaje zwinięta w postać widocznych chromosomów, zanika jąderko, a także pojawiają się włókna wrzeciona podziałowego i łączą się z chromosomami. To jednak nie wszystko. W profazie I następuje kluczowy moment, bez którego niemożliwe jest rozdzielenie chromosomów homologicznych — ich koniugacja.

Koniugacja chromosomów homologicznych występuje wtedy, gdy każdy chromosom znajdzie



swoją parę i połączy się z nią. Proces ten rozpoczyna się, gdy chromosomy homologiczne wędrują ku sobie i stykają ze sobą. Obydwa chromosomy mogą się teraz wymienić taką samą ilością informacji genetycznej dzięki mechanizmowi znanemu jako **crossing-over** (przekrzyżowanie; ukazany został na rysunku 6.6 a). W wyniku wymiany materiału genetycznego powstaną cztery zupełnie odmienne chromatydy. Takie cztery połączone chromatydy to **tetrada**.



Zjawisko crossing-over zwiększa genetyczną różnorodność gamet produkowanych przez dany organizm. Za każdym razem, gdy zachodzi mejoza, chromosomy przekrzyżowują się w nieco inny sposób, w wyniku czego zostaje przetasowana pula genetyczna przekazywana gametom. Jest to jedna z przyczyn występowania różnic (czasem olbrzymich) pomiędzy rodzeństwem.

- **Metafaza I.** To wtedy pary chromosomów homologicznych układają się w płaszczyźnie równikowej komórki. Na tym etapie różnica pomiędzy mejozą a mitozą polega na tym, że w tej pierwszej rozmieszczane są pary chromosomów homologicznych, a w tej drugiej — pojedyncze chromosomy.
- **Anafaza I.** Na tym etapie pary chromosomów homologicznych zostają rozdzielone i przetransportowane na przeciwległe krańce komórki, a liczba chromosomów oficjalnie zostaje zredukowana z diploidalnej na haploidalną.
- **Telofaza I.** Teraz komórka „wykonuje krok” w tył (lub do przodu, zależnie od perspektywy) i odwraca kolejność operacji wykonywanych w profazie I. Ściślej mówiąc, zostaje odtworzona otoczka jądrowa, chromosomy

zostają rozwinięte we wnętrzu jądra, pojawia się jąderko, a znika wrzeciono podziałowe.

Mejoza II

Podczas drugiego podziału meiotycznego obydwie komórki potomne utworzone podczas mejozy I kontynuują swój „taniec-połamaniec”, w którego wyniku powstaną cztery komórki (z czego najczęściej tylko jedna jest właściwą gametą). Etapy mejozy II bardzo przypominają fazy poznane przez nas w pierwszym podziale meiotycznym, z jednym olbrzymim wyjątkiem: komórki biorące udział w drugim podziale posiadają połowę pierwotnego garnituru chromosomów.



W trakcie mejozy II są rozdzielane i transportowane na przeciwległe krańce komórki nie całe chromosomy, a siostrzane chromatydy. Pomiedzy mejozą I a mejozą II nie występuje interfaza (w tym momencie replikacja materiału genetycznego zniweczyłaby całą ciężką pracę wykonaną w czasie pierwszego podziału meiotycznego).

- **Profaza II.** Podobnie jak w przypadku mitozy i pierwszego podziału meiotycznego zanikają tu otoczka jądrowa oraz jąderko, natomiast powstają włókna wrzeciona podziałowego, które łączą się z chromosomami.
- **Metafaza II.** Nie dzieje się tu nic ciekawego. Tak jak w każdej uprzednio omawianej metafazie chromosomy układają się w płaszczyźnie równikowej komórki. Tym razem jednak mamy tu do czynienia z połową chromosomów, jakie znajdowały się w komórce rodzicielskiej (a także połową chromosomów występujących w podziale mitotycznym).

- **Anafaza II.** Obydwie chromatydy siostrzane każdego chromosomu zostają przetransportowane na przeciwne bieguny komórki.
- **Telofaza II.** Zostają odtworzone otoczka jądrowa i jąderko, chromatydy mogą się w końcu odprężyć, a wrzeciono podziałowe znika.

Po drugim podziale mejotycznym następuje cytokineza, podczas której powstają cztery haploidalne komórki (co stanowi bardzo imponujący wynik, zważywszy na to, że zaczynaliśmy mejozę od pojedynczej komórki diploidalnej).

Rozmnażanie płciowe a różnorodność genetyczna

Dzięki rozmnażaniu płciowemu zwiększa się różnorodność genetyczna u potomstwa, a tym samym zmienność genetyczna całej populacji gatunku. Aby być świadkiem tego procesu, wystarczy spojrzeć na wielodzietną rodzinę — każde dziecko jest inne. Wyobraź sobie wpływ zmienności genetycznej na wszystkie rodziny, jakie znasz (nie wspominamy nawet o rodzinach wszystkich organizmów rozmnażających się płciowo), a dostrzeżesz olbrzymi wpływ rozmnażania płciowego na różnorodność genetyczną życia na Ziemi.

W poniższych ustępach zapoznamy Cię z kilkoma specyficznymi pojęciami związanymi z mejozą i rozmnażaniem płciowym.

Mutacje

Polimeraza DNA sporadycznie popełnia przypadkowe, niekorygowane błędy podczas replikacji DNA (omówionej na początku tego rozdziału). Takie błędy zmieniają informację

genetyczną i są znane jako **spontaniczne mutacje**. Częstotliwość występowania mutacji w komórce zwiększa się po wystawieniu jej na działanie **mutagenów** (czynników środowiskowych, takich jak promieniowanie rentgenowskie, ultrafioletowe czy pewne związki chemiczne, oddziałujące na cząsteczki DNA). Jeżeli mutacje pojawiają się w czasie mejozy, wprowadzone zmiany będą przekazywane następnym pokoleniom (więcej informacji na temat mutacji znajdziesz w rozdziale 8.).

Crossing-over

Gdy chromosomy homologiczne stykają się ze sobą podczas profazy I, wymieniają między sobą fragmenty DNA. To zjawisko rekombinacji genetycznej, znane jako crossing-over (ukazane na rysunku 6.6 a), stwarza możliwość powstania nowych kombinacji genów oraz zwiększenia różnorodności genetycznej. Mechanizm crossing-over pozwala wyjaśnić, w jaki sposób dana osoba może posiadać rude włosy po dziadku (ze strony matki) oraz wysunięty podbródek po babci (ze strony matki). Podczas przekrzyżowania (występującego w komórkach jajowych produkowanych przez matkę) dwa geny odpowiedzialne za wymienione cechy pochodzące od dwóch różnych osób znalazłyby się na jednym chromosomie, który następnie zostałby przekazany potomstwu.

Niezależna segregacja chromosomów

Niezależna segregacja chromosomów występuje podczas rozdzielania chromosomów homologicznych w anafazie I. W metafazie I każda para chromosomów homologicznych układa się wzdłuż płaszczyzny równikowej komórki niezależnie od pozostałych par. Oznacza to, że rozmieszczenie par tych chromosomów w jednej komórce może się różnić diametralnie od ich konfiguracji w innej komórce przechodzącej podział mejotyczny. Z tego wynika,

że na biegunach komórki możliwe jest pojawienie się olbrzymiej liczby kombinacji chromosomów. Jak wiele kombinacji chromosomów homologicznych może powstać podczas mejozy w komórce człowieka? Załedwie 2^{23} — czyli 8 388 608. Teraz już rozumiesz, dlaczego w dużych rodzinach każdy ich członek jest inny.

Zapłodnienie

Zapłodnienie stanowi kolejny etap zwiększający szansę na większe zróżnicowanie genetyczne. Wyobraź sobie miliony plemników płynących w kierunku komórki jajowej. Zapłodnienie jest zdarzeniem losowym, dlatego plemnik, który wygra ten wyścig, posiada inny materiał genetyczny niż plemnik, który połączy się z kolejną komórką jajową. Nie zapominajmy, oczywiście, że również każda komórka jajowa zawiera inną informację genetyczną, zatem podczas zapłodnienia istnieje losowa szansa połączenia unikatowego plemnika z unikatową komórką jajową, co daje nam teoretycznie nieograniczone możliwości zróżnicowania genetycznego. Dlatego właśnie każdy człowiek, który się urodził — i który się dopiero narodzi — będzie jedyny w swoim rodzaju. No, prawie. Bliźnięta jednojajowe posiadają ten sam kod genetyczny, ale nawet pomiędzy nimi pojawiają się subtelne różnice wynikające z różnic w procesach rozwojowych.

Nierozdzielność chromosomów

Nic nie jest doskonałe, nawet w świecie komórkowym, dlatego czasami mejoza nie jest prawidłowo przeprowadzana. Mamy do czynienia z **nierozdzielnością chromosomów** wtedy, gdy zostają w niewłaściwy sposób rozdysponowane do komórek potomnych. Celem podziału mejotycznego jest zmniejszenie liczby chromosomów z diploidalnej do haploidalnej. Dzieje się to podczas

rozdzielania chromosomów homologicznych w anafazie I. Czasami jednak chromosomy homologiczne są ze sobą zbyt mocno związane i cała para łąduje w gamecie (rysunek 6.6 c).

Skutki tego nie są zbyt przyjemne. W dwóch komórkach z czterech powstałych na drodze mejozy brakuje chromosomu (a tym samym części genów). Oznacza to najczęściej, że te komórki po prostu giną. Z kolei dwie pozostałe komórki zawierają po dodatkowym chromosomie wraz z jego materiałem genetycznym. To powinna być wspaniała informacja dla tych komórek, prawda? Teoretycznie zwiększa to ich szansę na różnorodność genetyczną, a o to przecież chodzi, czyż nie?

Właśnie, że nie! Ten dodatkowy chromosom jest jak niepożądany list z urzędu skarbowego. Każdy stara się go unikać, bo może zwiastować kłopoty. Często komórki posiadające taki nadmiarowy materiał genetyczny po prostu giną i taki jest koniec ich historii, czasami jednak udaje im się przetrwać i stają się gametami. Prawdziwy dramat następuje, gdy taka nieprawidłowa komórka połączy się ze zdrową gametą. Jeśli tak się stanie, powstała zygota (oraz cały przyszły organizm) zawiera w komórkach po trzy egzemplarze danego chromosomu zamiast dwóch. Takie zjawisko jest znane jako **trisomia**.

Już wyjaśniamy, na czym polega cały problem: otóż wszystkie komórki, które powstaną z takiej zygoty na drodze mitozy, będą trisomiczne. Jednym ze skutków trisomii jest **zespół Downa** — charakteryzujący się szeregiem zaburzeń rozwojowych oraz przedwczesnym starzeniem się.



Naukowcy odkryli przyczynę zespołu Downa: odpowiedzialna za niego jest trisomia chromosomu 21. Jeżeli komórka jajowa posiadająca dwa egzemplarze chromosomu 21. zostanie zapłodniona przez plemnik posiadający jeden chromosom tego typu, to komórki potomne

będą zawierały 47 chromosomów (24 + 23) i pojawiają się objawy zespołu Downa.



Prawdopodobnie wiesz już, że jednym z czynników wpływających na powstawanie zaburzeń genetycznych (takich jak zespół Downa) jest wiek matki, ale czy zastanawiałaś/zastanawiałeś się kiedyś, dlaczego tak jest? Wyjaśnieniem jest proces mejozy u kobiet: następuje on w wieku płodowym, po czym zostaje wstrzymany i niedojrzałe komórki jajowe muszą czekać w jajnikach aż do etapu dojrzewania płciowego. Wtedy co miesiąc jedna komórka przechodzi drugi podział mejotyczny i staje się gotowa do zapłodnienia. Jeżeli dana komórka jajowa musi czekać 40 - 45 lat na swoją kolej, to mocno się starzeje przez ten czas — przynajmniej z perspektywy czasu życia komórek. Starzenie się gamet nie stanowi problemu u mężczyzn, ponieważ ich komórki rozrodcze wchodzą w mejozę dopiero po zakończeniu dojrzewania organizmu. W ich przypadku mejoza jest procesem ciągłym, wytwarzającym plemniki przez cały czas.

Różowe i niebieskie chromosomy

Marzyło Ci się kiedyś zostanie osobą przeciwnej płci po to, aby nie wydawać fortuny na kosmetyki albo nie musieć codziennie golić zarostu? Przykro nam, ale nie miałaś/miałeś wpływu na wybór płci. Podobnie jak pozostałe cechy genetyczne płeć jest określana na podstawie doboru chromosomów.

W wielu organizmach (na przykład u człowieka i muszki owocowej) płeć jest determinowana przez specyficzne **chromosomy płciowe**, które zostały oznaczone literami X i

Y. Na garnitur chromosomów u człowieka składają się 22 pary **autosomów** (chromosomów niezwiązanych z określeniem płci) oraz jedna para chromosomów płci. Kobiety i mężczyźni posiadają po 22 pary autosomów i jednym chromosomie X (kobiety posiadają parę chromosomów X), ale tylko mężczyźni mają specjalny gen zawarty w chromosomie Y, inicjujący powstawanie jąder w sześciotygodniowych płodach. Wytworzone jądra zaczynają produkować testosteron i zazwyczaj w momencie narodzin na świat przychodzi pełnoprawny chłopiec. Chromosom Y jest jednym z najmniejszych, ale zawiera niewielki, za to jakże istotny gen!

Monokultury, czyli zagrożenie dla różnorodności genetycznej

Aż do lat 60. ubiegłego wieku prowadzono w Stanach Zjednoczonych głównie niewielkie gospodarstwa, nastawione na płodozmiany oraz ręczny zbiór plonów. Wraz ze wzrostem roli mechanizacji w rolnictwie nastąpił ich rozrost oraz rozpoczęto badania nad standaryzacją uprawnych odmian. Bądź co bądź maszyny najwydajniej pracują w powtarzalnych, wyspecjalizowanych zadaniach. Rozpoczęły się masowe uprawy **monokultur** — identycznych pod względem genetycznym gatunków roślin użytkowych. Ta działalność martwi wielu naukowców dostrzegających potencjał i znaczenie różnorodności genetycznej.

Jeżeli jakiś szkodnik lub choroba grzybowa zaatakuje monokulturę, teoretycznie może przetrzebić całą uprawę i w drastyczny sposób zaszkodzić zapasom żywności. Do tego największe gospodarstwa w znacznym stopniu polegają na sztucznych nawozach i pestycydach, przez co mogą zaburzyć równowagę ekologiczną.

Ludzie stają się coraz bardziej świadomi zagrożeń wynikających z uprawy monokultur i starają się je ograniczać. W małych gospodarstwach przywraca się uprawy różnych, często starych odmian, często uprawy te są prowadzone organicznie, a przedsiębiorstwa przetwórcze zaczynają skupować starsze odmiany roślin użytkowych, zwane **odmianami ustalonymi**, i wprowadzać je na rynek spożywczy.

Przypisy:

[1] Z powodów historycznych terminy „zarodnik” oraz „spora” mogą odnosić się zarówno do komórek wytwarzanych w procesie mejozy, jak i mitozy, co może wprowadzać nieco zamieszania — *przyp. tłum.*

[2] Protisty to wszystkie organizmy eukariotyczne, które nie są zaliczane do roślin, zwierząt ani grzybów — *przyp. tłum.*

Rozdział 7.

Mendel byłby dumny — wprowadzenie do genetyki

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz pojęcie dziedziczenia cech oraz dowiesz się, dlaczego organizmy rozmnażające się płciowo są zróżnicowane genetycznie;
- ▶ prześledzisz odkrycia Mendla prowadzące do sformułowania praw dziedziczenia;
- ▶ poznasz żargon genetyków;
- ▶ dowiesz się, w jaki sposób badane są cechy ludzkiego organizmu.

Genetyka jest dziedziną biologii zajmującą się wszelkimi zagadnieniami związanymi z dziedziczeniem cech. Za jej ojca uważa się zakonnika, Grzegorza Mendla, który ponad 150 lat temu prowadził eksperymentalną hodowlę grochu zwyczajnego i na podstawie wyników odkrył podstawowe reguły przekazywania potomstwu cech rodziców. Mendel zajmował się obserwacją różnych cech grochu, ale sformułowane przez niego prawa bardzo dobrze wyjaśniają, dlaczego wyglądasz i funkcjonujesz tak, a nie inaczej.

W tym rozdziale przyjrzymy się jednemu z eksperymentów prowadzonych przez Mendla oraz wyjaśnimy podstawowe reguły dziedziczności.

Kilka słów o Twojej wyjątkowości — dziedziczone cechy oraz czynniki wpływające na dziedziczność

Psy mają szczeniaki, kury kurczaki, a Twoi rodzice — Ciebie. Co łączy wszystkich wymienionych rodziców? Otóż przekazali oni swoje cechy potomstwu. Cechy przekazywane z pokolenia na pokolenie nazywane są **cechami dziedzicznymi**.

W czasie rozmnażania istoty żywe powielają swój DNA i oddają jego część kolejnemu pokoleniu. W DNA zawarty jest kod genetyczny definiujący cechy organizmu (więcej informacji na temat DNA znajdziesz w rozdziale 3.), co oznacza, że wygląd i funkcjonowanie potomstwa oparte są na „schematach” rodziców. Organizmy rozmnażające się płciowo nie są, oczywiście, doskonałymi klonami swoich rodziców, a składa się na to kilka przyczyn:

- ***Potomstwo dziedziczy połowę informacji genetycznej od ojca, a połowę od matki.*** Rodzice przygotowują połowę materiału genetycznego podczas mejozy (opisanej w rozdziale 6.) — w procesie wytwarzającym plemniki i komórki jajowe. Każdy potomek otrzymuje zatem nową kombinację cech pochodzących od obydwójga rodziców. Dodajmy do tego, że każda gameta męska i żeńska różni się od pozostałych przekazywaną informacją genetyczną w wyniku działania mechanizmów crossing-over i niezależnej segregacji chromosomów (wymienione powody zwiększonej różnorodności genetycznej zostały omówione w rozdziale 6.), które powodują „przetasowanie” kodu genetycznego umieszczanego w komórkach płciowych. Oznacza to, że jesteś istotą jedyną w swoim rodzaju — nawet jeśli masz rodzeństwo, każde z Was jest nieco inne.

- ***Nawet dziedziczone cechy ulegają drobnym modyfikacjom.*** W wyniku mutacji informacja przenoszona w DNA może ulec zmianie (jeśli interesuje Cię kwestia mutacji, zajrzyj do rozdziałów 6. i 8.). Jeżeli zmutowany gen zostanie przekazany potomkowi, może

się u niego pojawić nowa cecha. Na przykład królowa Wiktoria Hanowerska miała dzieci i wnuki cierpiące na **hemofilię**, śmiertelnie groźną chorobę objawiającą się nieprawidłową krzepliwością krwi, ale żaden z jej przodków nie chorował na nią. Jednym z możliwych wyjaśnień pojawienia się dolegliwości u potomków królowej jest mutacja powstała u jednego z jej rodziców i przekazana córce. Sama królowa Wiktoria nie chorowała na hemofilię, ale przekazała zmutowany gen kilkorgu ze swoich dzieci. Męska linia wykazywała objawy choroby, a żeńska przekazywała następnym pokoleniom odpowiedzialny za nią gen.

- ***Pewne cechy są nabywane, a nie dziedziczone.***

Przykładami **cech nabytych**, czyli umiejętności zdobywanych wraz z nauką i doświadczeniem, są jazda rowerem, znajomość języka francuskiego czy też pływanie. Nawet jeśli rodzice posiadają wymienione umiejętności, ich potomstwo musi się ich samo nauczyć. Na przykład nie posiadasz, Czytelniczko/Czytelniku, wrodzonej umiejętności pływania (chyba że jesteś rybą).

- ***Na niektóre odziedziczone cechy duży wpływ ma środowisko.*** Podstawowy kolor Twojej skóry lub włosów jest zapisany w DNA. Zakładając, że należysz do rasy białej, Twoją cechą genotypową jest jasny kolor skóry. Jeśli jednak spędzasz dużo czasu na słońcu, na Twoje cechy fenotypowe wpłynie środowisko: Twoja cera pociemnieje, a włosy się rozjaśnią. Nawet takie cechy jak wzrost zależą w pewnej mierze od środowiska — w DNA zawarta jest instrukcja dotycząca Twojego docelowego wzrostu, ale od odżywiania zależy, czy ciało osiągnie pełnię potencjału.

Klasztory i groch — prawa dziedziczenia Mendla

Ludzie prawdopodobnie od zawsze intuicyjnie wyczuwali, że rodzice przekazują swoje cechy dzieciom. Tuż po narodzinach bobasa staramy się stwierdzić, do kogo jest bardziej podobny. Pierwszą osobą, której udało się ustalić podstawowe zasady dziedziczenia cech, był austriacki zakonnik Grzegorz Mendel.

Żył on w XIX wieku. Za jego czasów ludzie wierzyli w teorię **mieszanego^[1] dziedziczenia** — uznawano, że cechy ojca mieszały się z cechami matki, a cechy dzieci stanowiły średnią wypadkową cech rodziców. Zatem potomstwo wysokiego ojca i niskiej matki powinno charakteryzować się przeciętnym wzrostem (gdyby ta teoria była prawdziwa, żadne dziecko nie powinno być wyższe od swoich rodziców).

Mendel, wielki miłośnik nauk ścisłych i matematyki, postanowił sprawdzić teorię mieszanego dziedziczenia na klasztornej uprawie grochu. Analizował wiele dziedziczonych cech rośliny: kolor kwiatów i nasion, wysokość pędów oraz kształt ziaren. Ludzie już wcześniej uprawiali rośliny i hodowali zwierzęta, starając się uzyskać pożądane cechy, ale Mendel podszedł do swoich badań bardzo naukowo i ostrożnie, a dzięki językowi matematyki ukazał dziedziczenie z zupełnie nowej perspektywy i odkrył wzorce, których nikt wcześniej nie potrafił dostrzec. W kolejnych podrozdziałach zapoznamy Cię z eksperymentami prowadzonymi przez Mendla oraz wnioskami sformułowanymi na podstawie wyników tych badań.

Uzyskiwanie czystych linii macierzystych

Mendel, aby móc od początku dokładnie obserwować wybraną cechę grochu, korzystał z **czystych linii genetycznych** roślin (czyli z roślin, które zawsze przekazują potomstwu te same cechy). Innymi słowy, jeżeli wybrał

wysoką roślinę, dążył do tego, aby posiadała ona zakodowane cechy odpowiadające wyłącznie za duże rozmiary grochu.



W celu uzyskania czystych linii Mendel doprowadzał do samozapylenia roślin posiadających pożądaną cechę i usuwał wszelkie inne okazy charakteryzujące się nieodpowiednimi parametrami (kwiat grochu zawiera zarówno męskie, jak i żeńskie organy płciowe, zatem roślina może ulegać samozapyleniu). Przykładowo Mendel dokonywał samozapylenia wysokich roślin i usuwał niskie okazy aż do momentu, gdy potomstwem wysokiego grochu były wyłącznie wysokie osobniki. To samo robił z niskimi roślinami.

Stosowane w krzyżówkach genetycznych linie czyste organizmów nazywane są **pokoleniem rodzicielskim** lub **pokoleniem P1**.

Analiza pokoleń F1 i F2

W jednym z eksperymentów Mendel skrzyżował rośliny wysokie z niskimi. Wedle teorii mieszanego dziedziczenia całe potomstwo powinno osiągać średnie rozmiary. Jednak po skrzyżowaniu czystych linii i wyhodowaniu potomstwa, zwanego **pokoleniem F1**, okazało się, że wszystkie rośliny potomne były wysokie. Wydawało się, że czynnik decydujący o niskim wzroście po prostu zniknął, ale po skrzyżowaniu ze sobą osobników z pokolenia F1 okazało się, że część roślin potomnych jest wysoka, a część niska. „Czynnik niskiego wzrostu” po prostu nie ujawniał się w pokoleniu F1. W drugim pokoleniu, czyli w **pokoleniu F2**, występowało mniej więcej 3 razy więcej wysokich roślin niż ich niskiego rodzeństwa.

Skrót „P1” pochodzi od angielskiego wyraz



parental, czyli „rodzicielski”, natomiast symbole „F1” i „F2” wywodzą się od wyrazu *filial*, co oznacza „potomny”. Dlatego właśnie pokolenie F1 jest pierwszym „pokoleniem córek i synów”, a pokolenie F2 — drugim.

Interpretacja wyników uzyskanych przez Mendla

Wyniki eksperymentów były bardzo ekscytujące, gdyż nie zgadzały się z dotychczasowymi przekonaniem. Innymi słowy, dostarczały nowych informacji na temat dziedziczności.

Opierając się na pozyskanych danych, Mendel zaproponował kilka koncepcji, które obecnie stanowią fundament współczesnej genetyki:

- Cechy zależą od czynników przekazywanych dzieciom przez rodziców. Dzisiaj te czynniki są znane jako geny.
- Wszystkie organizmy posiadają po dwie kopie genu odpowiedzialnego za daną cechę. Każdy z rodziców przekazuje potomstwu po jednej kopii genu. Z tego wynika, że organizm potomny posiada po jednej kopii genu od każdego rodzica.
- Niektóre odmiany danego genu mogą maskować obecność innej jego odmiany. Geny ukryte są **recesywne**, natomiast geny maskujące obecność innych są **dominujące**. W eksperymencie z krzyżowaniem roślin wysokich i niskich geny odpowiedzialne za wysoki wzrost stłumiły działanie genów definiujących niski wzrost, zatem są to geny dominujące.



- Geny odpowiedzialne za różne aspekty danej

cechy nie mieszają się ze sobą ani nie występują naprzemiennie w kolejnych pokoleniach. Mendel to rozumiał, ponieważ niski wzrost, który nie występował w pokoleniu F1, pojawił się w pokoleniu F2.



Organizmy rozmnażające się płciowo posiadają po dwie kopie danego genu, ale przekazują potomstwu tylko po jednym egzemplarzu. Mendel uznał, że jest to skutek segregacji (rozdzielania) genów podczas rozmnażania. Jest to tak zwane **prawo niezależnej segregacji cech**.

Mały słownik terminologii genetycznej

Fundamentalne odkrycia Mendla przetrwały próbę czasu, ale do chwili obecnej dokonał się znaczny postęp w dziedzinie genetyki. Wraz z rozwojem dziedziny poświęconej dziedziczeniu poszedł naprzód również język używany przez genetyków.



Oto kilka najważniejszych pojęć z zakresu genetyki, które przydają się podczas omawiania teorii dziedziczenia:

- **Geny.** W pierwotnym ujęciu uznawane za czynniki wpływające na obecność danej cechy, obecnie **genami** nazywamy odcinki nukleotydów znajdujących się na nici DNA będącej częścią chromosomu (więcej o chromosomach dowiesz się z rozdziału 4.). Niektóre geny składają się z tysięcy nukleotydów, inne zaś liczą mniej niż sto zasad. Komórki Twojego ciała mają zakodowane ponad 25 000 genów łącznie we wszystkich 46 chromosomach. Każdy gen stanowi schemat cząsteczki wykorzystywanej przez komórkę, głównie białkowej. Geny określają kształt i funkcję

białka, z kolei białko ma decydujący wpływ na występowanie danej cechy.

Na przykład kolor skóry, włosów i oczu zależy od ilości odłożonego w nich ciemnego barwnika — melaniny. Enzymy (białkowe) odpowiadają za proces wytwarzania melaniny, a inne białka służą do jej transportowania we właściwe miejsca. Jeżeli w genach zostały zakodowane białka wydajnie produkujące melanicę, Twoja karnacja będzie ciemniejsza, natomiast jeśli wytwarzane białka nie są tak skuteczne lub nie przenoszą melaniny w odpowiednie miejsce, to będziesz mieć jaśniejszą skórę.

• **Allele**. Różne formy danego genu noszą nazwę **alleli**; służą one do wyjaśnienia, dlaczego Mendel miał do czynienia zarówno z wysokimi, jak i niskimi roślinami. Zgodnie z logiką gen odpowiedzialny za rozmiar grochu występuje w dwóch odmianach — jedna odpowiada za duży rozmiar rośliny, a druga za niski. Rośliny posiadające dwa allele dużego wzrostu będą wysokie, a w okazach niskich znajdować się będą dwa allele niskich rozmiarów. Mendel zauważył, że rośliny posiadające po jednym allelu każdego rodzaju są wysokie, co oznacza, że allel dużego rozmiaru przysłania wpływ allela małego rozmiaru. Innymi słowy, allel odpowiadający za wysoką roślinę jest dominujący, a za niską — recesywny.

U człowieka dominujące są zazwyczaj allele determinujące ciemną karnację. Kolor skóry każdej osoby zależy od unikatowej kombinacji alleli odpowiadających za ciemną i jasną pigmentację.

- **Loci.** Tak się mówi na miejsca w chromosomie, w których znajduje się określony gen. Każdy gen ma swoje ściśle określone miejsce w chromosomie, czyli tak zwany **locus**. Każdy przedstawiciel danego gatunku posiada gen odpowiadający za daną cechę zawsze w tym samym locus. Mówiąc bardziej obrazowo, u wszystkich ludzi dany gen znajduje się w tym samym miejscu określonego chromosomu. Gen odpowiedzialny za grupę krwi A, B lub 0 zawsze znajduje się w locus na chromosomie 9., natomiast gen, którego uszkodzenie powoduje mukowiscydozę, zajmuje zawsze locus na chromosomie 7.

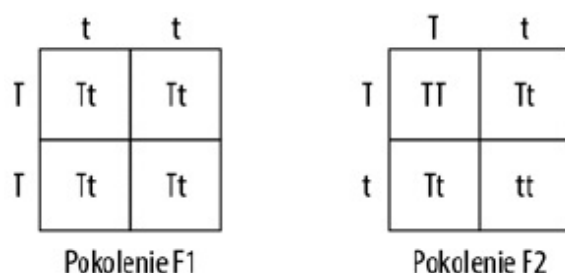
U człowieka wiele cech jest definiowanych przez więcej niż jeden gen. Wzrost, waga, karnacja, kolor włosów czy oczu to przykłady cech wynikających z oddziaływania kilku różnych genów. Takie cechy zależne od wpływu kilku różnych genów nazywane są **cechami poligenicznymi** (grecki przedrostek *poli* oznacza „wiele”, a człon *geniczny* pochodzi od wyrazu „gen”). Zazwyczaj cechy poligeniczne wykazują się olbrzymią różnorodnością w danej populacji. Na przykład rośliny grochu mogą być tylko niskie albo wysokie, podczas gdy w populacji ludzkiej występuje olbrzymi zakres spotykanego wzrostu. Różnica polega na tym, że wzrost u człowieka jest cechą poligeniczną, a w przypadku rośliny grochu jest on kontrolowany tylko przez jeden gen.

Rozwiązywanie genetycznych krzyżówek

Genetycy posiadają własną, skrótową metodę wyznaczania wyników **krzyżówki genetycznej** (łączenia w pary dwóch organizmów wykazujących cechy interesujące badaczy).

Każdy gen jest oznaczany symbolem literowym, a dominujące allele są pisane z dużej litery (definicję allele znajdziesz w poprzednim ustępie). Poszczególne allele mają przyporządkowaną tę samą literę, dzięki czemu widać, że są badane różne odmiany tego samego genu.

W podrozdziale „Klasztory i groch — prawa dziedziczenia Mendla” omawialiśmy krzyżówkę roślin niskich i wysokich. Oznaczmy sobie literą **T** gen odpowiedzialny za rozmiar rośliny. Na rysunku 7.1 allel dominujący jest symbolizowany literą **T**, natomiast allel recesywny (odpowiedzialny za małe rozmiary) — literą **t**.



Rysunek 7.1. Wyniki eksperymentu krzyżowania wysokich i niskich okazów grochu, przeprowadzonego przez Mendla

Genetyka zawiera również dwa specjalne pojęcia opisujące organizmy poddawane krzyżowaniu. Oto one:

- **Genotyp.** Kombinacja wszystkich alleli zawartych w komórkach danego organizmu jest określana mianem **genotypu**. Genotypy obydwu rodziców analizowanych w krzyżówkach z rysunku 7.1 to odpowiednio TT i tt.
- **Fenotyp.** Wszystkie widoczne cechy w danym organizmie składają się na jego **fenotyp**. Fenotyp jednego z rodziców analizowanych w krzyżówce z rysunku 7.1 cechuje się wysokim wzrostem, a drugiego — niskim.

Narzędzie znane jako **szachownica Punnetta** pozwala przewidzieć cechy potomstwa powstałego w wyniku krzyżowania genetycznego. Widoczna na rysunku 7.1

szachownica przedstawia krzyżowanie roślin grochu z pokolenia F1. Poza krawędziami kwadratu zapisywane są allele przekazywane potomkom przez rodziców (czyli oznaczane są w ten sposób plemniki i komórki jajowe). Wewnątrz szachownicy rozpisywane są wszystkie kombinacje alleli (połączenia gamet męskich i żeńskich).

Gdyby Mendel korzystał ze współczesnej notacji i terminologii, mógłby przeanalizować swój eksperyment w następujący sposób (w razie potrzeby korzystaj z rysunku 7.1):

1. Uzyskano czyste linie okazów rodzicielskich, dzięki czemu posiadają one po jednym rodzaju allele, ale każda roślina posiada dwa allele danego genu. Allele wysokich roślin mają postać **TT**, a organizmy niskie są reprezentowane jako **tt**. Obydwa allele w danej roślinie są takie same, jest ona **homozygotą** w odniesieniu do genu wzrostu (jak już wcześniej stwierdziłyśmy, przedrostek *homo* oznacza „taki sam”, a grecki wyraz *zugos* można przetłumaczyć jako „łączenie się”).

2. Każdy rodzic przekazuje swojemu potomstwu po jednym allele danego genu. Rośliny rodzicielskie są wyhodowane w czystej linii, zatem są w stanie przekazywać tylko jeden rodzaj allele. Wysoki rodzic przekazuje wyłącznie allele odpowiadający za duże rozmiary (**T**), a niski zawsze daje tylko kopie allele decydującego o niewielkim wzroście (**t**). Kopie alleli są umieszczane w gametach (w tym przypadku w pyłku i komórce jajowej) podczas podziałów mejotycznych.

3. Pyłek łączy się z zalążkiem, zatem pokolenie F1 zawiera dwa allele odpowiedzialne za rozmiar rośliny. Wszystkie rośliny z pokolenia F1 zawierają po jednym rodzaju każdego allele, więc zapisujemy je w postaci **Tt**. Allele te nie są takie same, dlatego osobniki z pokolenia F1 są **heterozygotyczne** (grecki przedrostek *hetero*

oznacza „inny”). Przedstawiciele pokolenia F1 są heterozygotami, ale cechuje je wysoki wzrost, ponieważ allel odpowiedzialny za duże rozmiary jest dominujący w stosunku do allela definiującego niewielki wzrost. Dokładnie to zauważył Mendel w czasie swojego eksperymentu — wydawało się, że czynnik odpowiedzialny za niewielkie rozmiary rośliny zniknął w pokoleniu F1.

4. Rośliny z pokolenia F1 produkują dwa rodzaje gamet — jedne zawierają allel dominujący, a pozostałe posiadają allel recesywny. Do określania wszystkich kombinacji alleli w potomstwie pokolenia F1 wykorzystuje się szachownicę Punnetta, której przykład został zaprezentowany na rysunku 7.1.

5. Zgodnie z rozrysowaną szachownicą Punnetta (rysunek 7.1) osobniki z pokolenia F2 powinny cechować się trzema odmiennymi genotypami: **TT**, **Tt** i **tt**. Na każdą roślinę posiadającą parę alleli **TT** powinna przypadać dwójka osobników z genotypem **Tt** i jedna homozygota **tt**. Innymi słowy, **współczynnik genotypowy** (stosunek oczekiwanej liczby genotypów w badanym pokoleniu) dla pokolenia F2 wynosi 1:2:1 dla genotypów **TT:Tt:tt**.

6. Allel dużych rozmiarów jest dominujący względem allela niewielkiego wzrostu, zatem rośliny z pokolenia F2 zawierające genotypy **TT** lub **Tt** będą wysokie, a niskim wzrostem będą się charakteryzować jedynie homozygoty **tt**. Wynika z tego, że zgodnie z szachownicą Punnetta na trzy wysokie rośliny przypada jedna niska. Inaczej mówiąc, **współczynnik fenotypowy** (stosunek badanych fenotypów w danym pokoleniu) dla pokolenia F2 wynosi 3:1 dla roślin wysokich:niskich. Zgadza się to z obserwacjami Mendla — na jedną niską roślinę przypadały mniej więcej trzy wysokie.



Łączenie dwóch heterozygot w parę nosi nazwę **krzyżówki monohybrydowej** (przedrostek *mono* wywodzi się z języka greckiego i oznacza „jeden”, a *hybrida* po łacinie to „coś wywodzące się z różnych źródeł”, zatem monohybryda to organizm posiadający dwa różne allele danej cechy). Przykładem krzyżówki monohybrydowej jest zaprezentowane na rysunku 7.1 wzajemne zapładnianie roślin grochu z pokolenia F1.

Analiza cech u człowieka

Rośliny są świetnymi obiektami do prowadzenia badań genetycznych między innymi dlatego, że możemy kierować procesem krzyżowania się poszczególnych osobników. Z punktu widzenia genetyki ludzie nie są nawet w ułamku tak skłonni do współpracy jak rośliny. Poza tym istoty ludzkie nie rodzą takiej liczby potomstwa, jak chociażby groch, do tego dzieci dojrzewają bardzo długo, więc należałoby poświęcić mnóstwo czasu, aby móc analizować występowanie poszczególnych cech. W związku z tym genetycy pragnący badać dziedziczenie cech występujących u człowieka muszą polegać na już istniejących rodzinach.

W kolejnych ustępach wyjaśnimy, w jaki sposób genetycy badają drzewa genealogiczne rodzin oraz jak sprawdzają różne koncepcje dziedziczenia. Dowiesz się również, co naukowcy ustalili w kwestii występowania alleli dominujących i recesywnych u człowieka.

Rysowanie drzewa przodków

Pierwszym etapem w badaniu dziedziczności ludzkich cech jest zebranie informacji o członkach rodziny posiadających odpowiednie allele oraz rozrysowanie zebranych danych na

specjalnej wersji drzewa genealogicznego zwanej **drzewem przodków (tablicą genealogiczną)**. Symbole wykorzystywane w schemacie (ukazane na rysunku 7.2 a) zawierają informację o rodzinie oraz obserwowanej cesze.

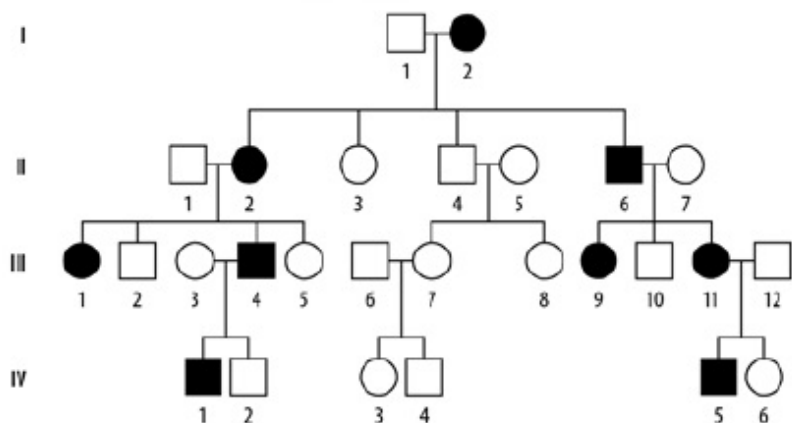
- Kwadraty symbolizują mężczyzn, a kółka kobiety.
- Pozioma linia łącząca dwa symbole oznacza małżeństwo.
- Pionowa linia odchodząca od linii małżeństwa świadczy o tym, że rodzice posiadali dziecko. Symbole dzieci są umieszczane na tablicy w kolejności (patrząc od lewej strony) od najmłodszego do najstarszego.
- Wypełnione symbole reprezentują osoby posiadające badane cechy; z kolei puste symbole to osoby nieposiadające genów interesujących badaczy.
- Ukośna linia przechodząca przez dany symbol oznacza zmarłą osobę.
- Cyfry rzymskie umieszczone przy każdym wierszu tablicy reprezentują poszczególne pokolenia. Każda osoba z danego pokolenia posiada przyporządkowaną cyfrę arabską, dzięki czemu bez problemu można zidentyfikować dowolnego członka rodziny, podając te dwie liczby. Przykładowo zmarły człowiek z rysunku 7.2 c to osoba VI-1.

Korzystając z drzewa przodków, badacze często potrafią określić, czy występująca cecha jest wynikiem dominującego lub recesywnego allele. Okazuje się na przykład, że cecha obserwowana w tablicy z rysunku 7.2 c jest wywoływana przez allel recesywny. Symbol osoby VI-1 jest wyszarzony, co oznacza, że posiadała ona obserwowaną cechę, jednak nie wykazywało jej żadne z rodziców. Musieli oni posiadać odpowiedni allel, ponieważ geny przekazywane są dzieciom przez rodziców, ale nie był on uwidoczniiony. Skoro allel

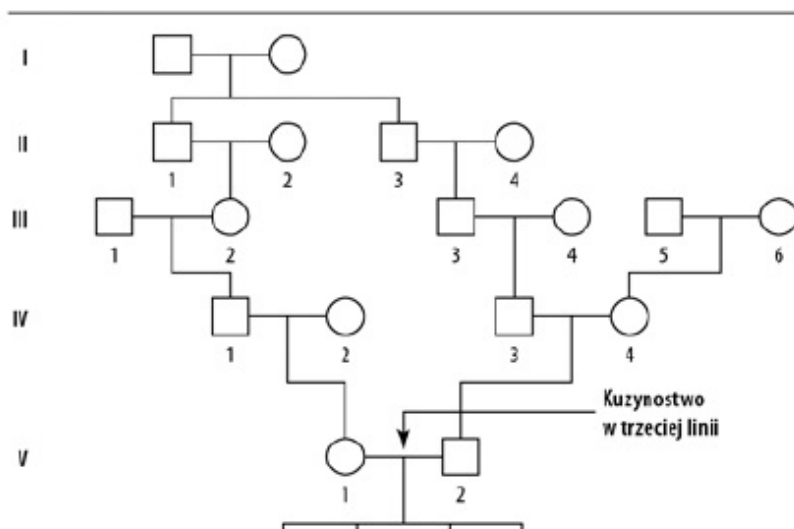
znajduje się w genotypie, ale nie uwidacznia się w fenotypie,
to znaczy, że jest recesywny.

	Mężczyzna	Kobieta	Płeć nieokreślona	
Osoba bez danej cechy				Adepcja: Nawiasy = adoptowane osoby Linia przerywana = przybrani rodzice Linia ciągła = rodzice biologiczni
Osoba wykazująca daną cechę				
Nosiciel: posiada obserwowany gen, ale nie wykazuje badanej cechy				
Zmarła osoba				Bliźnięta Jednojajowe Dwojaczki
Proband				
Nieznana historia rodziny				Przykładowa tablica genealogiczna: Dziadek probanta zmarł na zawał w wieku 51 lat. Wywodzi się on z pokolenia I, a jego identyfikator to I-1; probant, wywodzący się z pokolenia III, jest oznaczany jako osoba III-1
Rodzice i dzieci: jeden chłopiec i dwie dziewczynki (umieszczone w kolejności narodzin)				

a



b





Rysunek 7.2. Przykładowa tablica genealogiczna danego człowieka wraz z legendą

Analiza różnych scenariuszy dziedziczenia

Jedna tablica genealogiczna nie zawsze dostarcza komplet informacji umożliwiających prześledzenie dziedziczenia cechy. Aby sprawdzić, czy w przypadku danego drzewa genealogicznego sprawdza się określony typ dziedziczenia, wykonaj następujące czynności:

1. Wybierz badany typ dziedziczenia.

Postawmy przykładową hipotezę stwierdzającą, że cecha obserwowana na rysunku 7.2 b jest wynikiem działania dominującego allele.

2. Ustanów własną notację alleli.

Jeżeli badasz dziedziczenie dominującego allele, oznacz go na przykład literą **A**, a allel recesywny — literą **a**.

3. Przypisz genotypy osobom posiadającym na sto procent daną cechę.

Skoro zakładasz, że dany allel jest dominujący, osoby nieposiadające danej cechy muszą mieć pary alleli recesywnych (gdyby posiadali chociaż jedną kopię genu dominującego, byłoby to po nich widać, a symbole tych osób byłyby wyszarzone). Wszystkie symbole homozygot recesywnych **aa** z rysunku 7.2 b mają pusty środek. Zapisz ich genotypy pod ich symbolicznymi oznaczeniami.

4. Za pomocą znanych genotypów zacznij określać genotypy pozostałych osób.



Wykorzystaj wskazówki dostarczane przez rodziców i pozostałe rodzeństwo. Przykładowo osoba I-2 na rysunku 7.2 b posiada analizowaną cechę, zatem musi posiadać przynajmniej jedną kopię dominującego allele. Można od razu stwierdzić, że posiada ona genotyp **A-** (myślnik oznacza nieznany drugi allele). Drugi allele poznamy po jej dzieciach. Jeżeli jest ona dominującą homozygotą **AA**, przekazywałaby potomstwu jedynie gen dominujący **A**. Sprawdzamy allele dominujący, dlatego każde dziecko posiadające go wykazywałoby oczekiwaną cechę. Jednak dwoje dzieci osoby I-2 nie posiada danej cechy. Z tego wynika, że matka przekazuje potomstwu również allele recesywny, **a**, dzięki czemu wiemy już, że jej genotyp to **Aa**.

Jeżeli nie potrafisz określić pełnego genotypu danej osoby po przeanalizowaniu znanych genotypów innych osób, to zaznaczaj nieznane allele za pomocą myślnika.

5. Jeżeli w którymś miejscu wykresu znajdziesz sprzeczne informacje dostarczane przez genotypy rodziców i dzieci, musisz porzucić bieżącą hipotezę dotyczącą sposobu dziedziczenia allele.

Gdybyś założyła/założył, że analizowana cecha z rysunku 7.2 c jest zależna od allele dominującego, to osoba VI-1 musiałaby posiadać przynajmniej jeden dominujący gen. Jest to niemożliwe, ponieważ żadne z jej rodziców nie wykazuje obecności dominującego allele, a przynajmniej jedno z nich powinno go posiadać, aby móc go przekazać potomstwu. Zaproponowany sposób dziedziczenia okazuje się niemożliwy, dlatego należy odrzucić hipotezę stwierdzającą ekspresję cechy w wyniku działania dominującego allele.

Cecha obserwowana na rysunku 7.2 b wydaje się być powodowana przez allel dominujący, ponieważ pojawia się ona w każdym pokoleniu. Innymi słowy, cecha ta nie jest maskowana w przeciwieństwie do genów recesywnych. Jednak pojedyncza tablica genealogiczna nie może dawać całkowitej pewności. Jeżeli postawisz hipotezę, że cecha jest recesywna, i przetestujesz ją za pomocą powyżej omówionego algorytmu, również uda Ci się określić genotypy poszczególnych osób bez natrafiania na niemożliwe konflikty. W tego typu sytuacjach, gdy na podstawie określonego drzewa przodków można określić kilka rodzajów dziedziczenia, naukowcy sięgają po informacje pochodzące z innych rodzin. Czasami do określenia rodzaju cechy trzeba przewertować naprawdę wiele tablic genealogicznych.

Wnioski dotyczące cech

Można ogólnie stwierdzić, że u ludzi dziedziczenie cech dominujących i recesywnych następuje zgodnie z jednym z dwóch szablonów:

- ***Cechy przenoszone przez recesywne allele często są maskowane w niektórych pokoleniach.*** Na przykład rude dziecko może mieć rudych dziadków, ale jasnowłosych rodziców. Zawsze gdy rodzice **nie wykazują** danej cechy, którą **posiada** ich potomstwo, oznacza to, że w rodzinie występuje cecha recesywna.

- ***Cechy przenoszone przez dominujące allele niemal zawsze występują w każdym pokoleniu.*** Wśród potomstwa rodziców mających piwne oczy zawsze znajdzie się dziecko również posiadające taki kolor tęczówki. Jednak rodzice posiadający dominujący allel odpowiedzialny za piwne oczy mogą posiadać tylko jedną jego kopię, co oznacza, że mogą również przekazywać dzieciom geny recesywne. Z tego właśnie powodu dwoje rodziców posiadających piwny kolor oczu

może począć niebieskookie dziecko. Za każdym razem, gdy rodzice posiadający daną cechę mają dzieci jej pozbawione, to z pewnością mamy do czynienia z allelem dominującym.

Przypisy:

[1] W owych czasach wierzono, że w potomku „miesza się” krew rodziców; stąd m.in. definiowanie rasowości np. koni jako „czystość krwi” (konie czystej krwi, półkrwi, szlachetne półkrwi itp.) — *przyp. red.*

Rozdział 8.

Czytanie księgi życia — DNA i białka

.....

W tym rozdziale:

- ▶ zrozumiesz, dlaczego DNA i białka są takie istotne;
 - ▶ poznasz proces biosyntezy białek;
 - ▶ przyjrzymy się różnym rodzajom mutacji modyfikujących DNA;
 - ▶ dowiesz się co nieco na temat regulacji ekspresji genów.
-

Komórki żadnej istoty żywej (również Twoje) nie istniałyby bez kwasu deoksyrybonukleinowego, czyli DNA. Wynika to z faktu, że w DNA zapisana jest budowa i funkcjonowanie organizmu, manifestowane głównie przez wytwarzanie białek decydujących o występowaniu określonych cech. Czasami wystarczy zmiana struktury DNA w pojedynczej komórce, aby miało to katastrofalny skutek dla całego osobnika.

Wyjaśnimy w tym rozdziale fundamentalną rolę DNA i białek w codziennym życiu. Przygotuj się na szereg informacji dotyczących: współpracy DNA i RNA (kwasu rybonukleinowego) podczas biosyntezy białek; rodzajów mutacji i ich wpływu na organizm; i wielu innych rzeczy.

Białka definiują cechy, a DNA definiuje białka

Prawdopodobnie wiesz już, że DNA stanowi genetyczną instrukcję budowy i że zawarte są w nim informacje na temat Twoich cech. Być może nie masz jednak pojęcia, w jaki sposób DNA sprawia, że wyglądasz i zachowujesz się w określony sposób. DNA przechowuje dane na temat budowy cząsteczek wypełniających zadania wykonywane przez komórkę. Tymi cząsteczkami są najczęściej białka, a instrukcje ich syntezy są umieszczone w **genach** (fragmentach DNA znajdujących się w chromosomie).

Wyobraź sobie, że Twoje komórki są niewielkimi fabrykami wypełniającymi określone zadania. Każde zadanie zależy od wykonujących go robotów. W DNA znajdują się informacje na temat budowy tych robotów. Jeżeli dana „maszyna” zostanie odpowiednio zbudowana, będzie rzetelnie spełniać swoje obowiązki. W oparciu o pracę robotów fabryka osiąga zamierzone rezultaty. Komórka w rzeczywistości nie posiada wszędobylskich robotów, ale doskonale ich funkcję spełniają cząsteczki robocze. Jeżeli któraś z tych cząsteczek nie będzie właściwie wykonywała swojego zadania, może to wpłynąć na działanie całej komórki, a w konsekwencji na określoną cechę organizmu.



Jeden gen odpowiada schematowi danej cząsteczki. Wiele cząsteczek funkcyjnych jest białkami, dlatego w genach są zawarte informacje dotyczące budowy łańcuchów polipeptydowych (informacje na temat budowy białek znajdziesz w rozdziale 3.). Można zatem stwierdzić, że jeden gen odpowiada jednemu łańcuchowi polipeptydowemu.

Czasami trudno sobie wyobrazić, jak taka malutka cząsteczka białka może odgrywać tak doniosłą rolę. Bądź co bądź, każda Twoja komórka ma do dyspozycji około 25 000 genów, zatem organizm wytwarza mnóstwo różnych białek. W jaki sposób nieprawidłowo zbudowane białko może

sprawiać problemy? Gdyby komórki nabłonkowe nie wytwarzały kolagenu lub kolagen ten nie miałby odpowiednich właściwości, Twoja skóra odrywałaby się od reszty ciała przy najmniejszym dotknięciu. Z kolei gdyby komórki trzustki nie produkowały poprawnie działającej insuliny, czekałaby Cię cukrzyca. Jak więc widać, pozornie oczywiste funkcje ciała — jego budowa, wygląd i działanie — są sterowane przez białka.

Droga od DNA, przez RNA, do białka — główny dogmat biologii molekularnej

Instrukcje zawarte w DNA określają budowę i funkcjonowanie wszystkich istot żywych, co sprawia, że cząsteczka ta jest niezwykle ważna. Podczas każdego podziału komórkowego następuje replikacja materiału genetycznego przekazywanego komórkom potomnym. Natomiast w przypadku potrzeby wytworzenia cząsteczki roboczej (zazwyczaj białka) informacja z genów jest kopiowana na RNA — schemat zawarty w DNA nie jest bezpośrednio wykorzystywany (więcej informacji na temat budowy RNA znajdziesz w rozdziale 3.). Poniżej zarysowujemy przebieg tego procesu.

- Dzięki **transkrypcji** kopiowane są informacje z DNA na cząsteczkę RNA.
- Sekwencja białek jest kopiowana na specjalną cząsteczkę, zwaną **matrycowym (informacyjnym) RNA (mRNA)**, która przenosi informację genetyczną z jądra do cytoplazmy, gdzie przeprowadzana jest biosynteza białka.
- Podczas **translacji** wytwarzane są białka w oparciu o informacje zawarte w mRNA.

Koncepcja informacji przechowywanej w DNA,



kopiuwanej na RNA i wykorzystywanej do wytwarzania białek jest uznawana za jeden z najważniejszych dogmatów **biologii molekularnej**^[1].



Transkrypcja i translacja to dwa podobnie brzmiące wyrazy, opisujące zupełnie różne procesy komórkowe. Jeżeli chcesz zapamiętać, do czego się każdy z nich odnosi, spróbuj zapamiętać ich znaczenie. Transkrypcja w skrócie oznacza przepisywanie. W komórce polega ona na pobieraniu informacji z DNA i przekazywaniu jej na RNA. Obydwie cząsteczki — DNA i RNA — są do siebie podobne, zatem informacja genetyczna tak naprawdę w żaden sposób nie ulega zmianie, a zostaje jedynie skopiowana. Z kolei translacja to nic innego, jak tłumaczenie z jednego języka na inny. W przypadku komórki nazywany jest tak proces wykorzystywania informacji zawartej w RNA do zbudowania cząsteczki białka, która stanowi zupełnie odmienny rodzaj molekuly. Można zatem stwierdzić, że podczas translacji zostaje zmieniony język cząsteczek z kwasów nukleinowych na białka.

W następnych ustępach zamieszczamy dokładne informacje na temat transkrypcji, modyfikowania cząsteczki RNA i translacji.

Przepisywanie informacji zawartej w DNA — transkrypcja

Cząsteczki DNA są długimi łańcuchami zbudowanymi z czterech rodzajów **nukleotydów**, oznaczanych symbolami A, T, C i G (jeśli chcesz poznać strukturę cząsteczki DNA, zajrzyj do rozdziału 3.). Nukleotydy tworzą różnorakie sekwencje, w

których zapisana jest budowa różnych składników komórki, głównie białek.

Gdy komórka potrzebuje określonej cząsteczki białka, enzym polimeraza RNA wyszukuje gen zawierający informację o jej budowie i na jego podstawie tworzy cząsteczkę RNA (polimeraza RNA jest widoczna na rysunku 8.1, na etapie 2.). Cząsteczki RNA i DNA są do siebie pod wieloma względami podobne, łączą się ze sobą w sposób przypominający podwójną helisę DNA. Polimeraza RNA przesuwając się wzdłuż genu i dołącza nukleotydy komplementarne do nukleotydów znajdujących się na nici DNA.



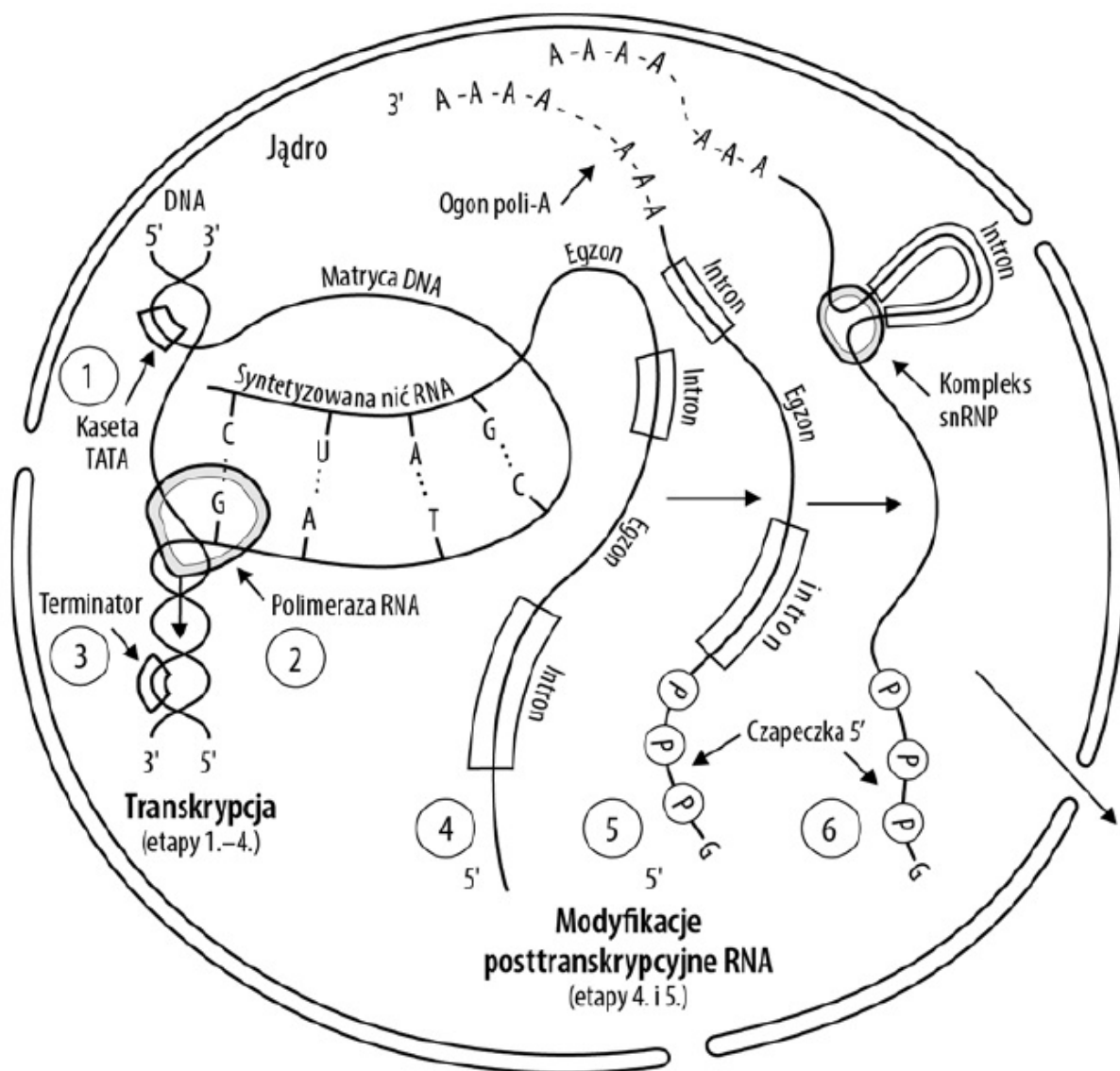
Zasady łączenia nukleotydów w pary pomiędzy niemi DNA i RNA są niemal takie same jak podczas replikacji DNA (opisanej w rozdziale 3.). Jedynym wyjątkiem jest zastąpienie tyminy (T) cząsteczką uracylu (U) w nici RNA. W czasie transkrypcji polimeraza RNA łączy C z G, G z C, A z T i U z A (zostało to zilustrowane na rysunku 8.1. Zwróć uwagę, że sekwencja CUAG na nici RNA łączy się z sekwencją GATC genu).

Może wydawać się dziwne, że komórki kopiuja informację z genów na osobną cząsteczkę, jaką jest RNA, ale istnieje na to bardzo logiczne wytłumaczenie. Geny są niezwykle ważne i muszą być chronione za wszelką cenę, dlatego są przechowywane przez cały czas w jądrze. Wszystkie informacje potrzebne do wytwarzania danego białka są kopiowane na cząsteczkę RNA po to, aby pierwotna cząsteczka DNA nie została w żaden sposób uszkodzona.



Chromosomy przypominają nieco szuflady w szafce na akta. Gdy komórka potrzebuje informacji zawartych w określonych aktach, otwierają szufladę, wyciągają dokumenty (gen) i sporządzają kopię informacji (cząsteczka RNA), którą można wysłać w świat (do cytoplazmy).

Oryginalny schemat (DNA) jest bezpiecznie przechowywany w szafce.



Transkrypcja i obróbka posttranskrypcyjna RNA

Rysunek 8.1. Transkrypcja DNA oraz modyfikacje posttranskrypcyjne RNA w komórce eukariotycznej

Oczywiście DNA i polimeraza RNA nie są jedynymi częściami biorącymi udział w transkrypcji. Przyjrzymy się teraz innym „zawodnikom” oraz krok po kroku opiszemy transkrypcję.

Pozostałe składniki biorące udział w transkrypcji

Polimeraza RNA wyszukuje pożądaną gen, w czym pomagają białka zwane **czynnikami transkrypcyjnymi**. Białka te znajdują określone sekwencje nukleotydów oznaczające początek genu, czyli tak zwane **promotory**.

Czynniki transkrypcyjne wyszukują gen zawierający sekwencję potrzebną białka i wiążą się z promotorem, dzięki czemu polimeraza RNA przyłącza się i rozpoczyna powielanie genu. Wiele promotorów zawiera szczególną sekwencję nukleotydów, zwaną kasetą TATA, ponieważ występują w niej naprzemiennie adenina i tymina. Czynniki transkrypcyjne łączą się najpierw z kasetą TATA, a po nich dołącza polimeraza RNA (na rysunku 8.1 na etapie 1. widzimy promotor genu wraz z kasetą TATA).

Koniec genu jest wyznaczony przez kolejną specyficzną sekwencję nukleotydów, zwaną terminatorem transkrypcji. Działanie poszczególnych **terminatorów transkrypcji** jest oparte na różnych mechanizmach, ale zawsze stanowią one sygnał do przerywania transkrypcji (terminator transkrypcji został zaprezentowany na etapie 3. rysunku 8.1).

Transkrypcja krok po kroku



Jak widać po poniższym opisie, transkrypcja jest dość prostym procesem.

1. Polimeraza RNA przyłącza się do promotora za pomocą czynników transkrypcyjnych.

Łącząc się z promotorem polimeraza RNA zostaje ustawiona na nici DNA we właściwym kierunku kopiowania genu.

2. Polimeraza RNA rozdziela podwójną helisę DNA na niewielkim odcinku.

Poprzez rozłączenie dwuniciowej konfiguracji DNA polimeraza RNA może wykorzystać jedną z nici jako matrycę do budowy cząsteczki RNA (na rysunku 8.1 nić DNA służąca do powielenia genu została oznaczona jako matryca DNA. Widzimy, że nowa cząsteczka RNA jest budowana na podstawie tej właśnie matrycy).

W trakcie przesuwania się polimerazy RNA wzdłuż genu otwiera się przed nią nowy fragment nici DNA, a powielony odcinek zostaje ponownie złożony w podwójną helisę.

3. Polimeraza RNA wykorzystuje zasadę komplementarności podczas budowania nici RNA w oparciu o matrycę DNA.

Zasady łączenia zasad w pary są dokładnie sprecyzowane, dlatego cząsteczka RNA stanowi lustrzane odbicie kodu zawartego na nici DNA.

4. Polimeraza RNA dociera do sekwencji terminacyjnej i odłącza się od DNA.

Niektóre terminatory powodują pojawienie się niewielkiego wybrzuszenia na końcu nici RNA, co powoduje oderwanie polimerazy RNA od matrycy DNA.



Twoje komórki wykorzystują transkrypcję do wytwarzania kilku odmian RNA. Część z nich bierze udział w procesach komórkowych, niektóre stanowią elementy budulcowe, a jeden szczególny rodzaj — mRNA — przenosi do cytoplazmy informację genetyczną zawierającą zakodowaną sekwencję białek.

Ostatnie szlify — modyfikacje posttranskrypcyjne RNA

Tuż po zakończeniu transkrypcji świeżo otrzymana cząsteczka mRNA nie może być jeszcze wykorzystana w procesie translacji. W rzeczywistości taki „surowy”, niezdatny do użycia mRNA jest określany jako **pre-mRNA** lub **pierwotny transkrypt**.



Zanim pre-mRNA będzie gotowy do translacji, musi przejść kilka modyfikacji posttranskrypcyjnych (etapy 5. i 6. na rysunku 8.1).

- ***W początkowym odcinku cząsteczki mRNA zostaje dodana struktura ochronna zwana czapeczką 5'. Czapeczka 5'*** (etap 5. na rysunku 8.1) stanowi informację dla komórki, że dana cząsteczka mRNA ma zostać poddana translacji.

- ***W końcowym odcinku do cząsteczki mRNA zostaje przyłączona dodatkowa sekwencja nukleotydów, tak zwany ogon poli-A. Ogon poli-A*** (etap 5. na rysunku 8.1), jak sama nazwa wskazuje, stanowi łańcuch nukleotydowy zawierający adeninę (A). Jego zadaniem jest ochrona cząsteczki mRNA przed degradacją po opuszczeniu jądra.

- ***Pre-mRNA ulega procesowi zwanemu splicingiem (wycinaniu intronów — sekwencji niekodujących).*** Twoje geny (nasze zresztą też) posiadają taką dziwną właściwość, że informacje o białku są poprzeplatane sekwencjami niekodującymi, zwanymi **intronami**. Zanim cząsteczka mRNA zostanie przetransportowana do cytoplazmy, komórka usuwa te wstawki (etap 6. na rysunku 8.1). Fragmenty mRNA poddawane translacji to **egzony**. Po wycięciu intronów z pierwotnego

transkryptu egzony łączą się w całość, dając kompletny schemat łańcucha białkowego.



Jeżeli masz problemy z rozróżnieniem intronów od egzonów, spróbuj zapamiętać, że introny stanowią **interrupcje** (nieciągłości) genów, a egzony **egzystują** poza jądrem komórkowym.

Tłumaczenie kodu na właściwy język — translacja

Po opuszczeniu jądra przez zmodyfikowaną cząsteczkę mRNA zostaje ona skierowana do rybosomu, gdzie przenoszony przez nią kod będzie przetłumaczony na fizyczną strukturę białka (więcej informacji na temat rybosomów znajdziesz w rozdziale 4.). Podczas przesuwania się mRNA wewnątrz rybosomu odczytywane są trzy nukleotydy naraz.



Sekwencja trzech nukleotydów w łańcuchu mRNA jest nazywana **kodonom**. Jeżeli rozpiszesz wszystkie możliwe trzyliterowe kombinacje czterech nukleotydów — A, G, C i U — otrzymasz 64 różne kodony. Każdy kodon symbolizuje określony aminokwas występujący w łańcuchu polipeptydowym białka.

Aby dowiedzieć się, co oznacza dany kodon, skorzystaj z oznaczeń umieszczonych w tabeli 8.1. Zatem jeśli chcesz się dowiedzieć, jaki aminokwas jest zakodowany w kodonie CGU:

1. Spójrz na pierwszą kolumnę i znajdź wiersz zawierający interesującą Cię literę kodonu (nukleotyd).

Litera C występuje w drugim wierszu, więc właśnie tu znajduje się poszukiwany aminokwas.

2. Spójrz teraz na górną część tabeli i wyszukaj kolumnę zawierającą drugą literę kodonu.

Litera G znajduje się w ostatniej kolumnie, zatem poszukiwany aminokwas (symbolizowany przez kodon CGU) jest umieszczony w komórce na przecięciu drugiego wiersza (litera C) oraz ostatniej kolumny w części *Druga litera*.

Tabela 8.1. Kod genetyczny

Pierwsza litera ↓	Druga litera				Trzecia litera ↓
	U	C	A	G	
U	Fenylalanina	Seryna	Tyrozyna	Cysteina	U
	Fenylalanina	Seryna	Tyrozyna	Cysteina	C
	Leucyna	Seryna	STOP	STOP	A
	Leucyna	Seryna	STOP	Tryptofan	G
C	Leucyna	Prolina	Histydyna	Arginina	U
	Leucyna	Prolina	Histydyna	Arginina	C
	Leucyna	Prolina	Glutamina	Arginina	A
	Leucyna	Prolina	Glutamina	Arginina	G
A	Izoleucyna	Treonina	Asparagina	Seryna	U
	Izoleucyna	Treonina	Asparagina	Seryna	C
	Izoleucyna	Treonina	Lizyna	Arginina	A
	Metionina i START	Treonina	Lizyna	Arginina	G
G	Walina	Alanina	Kwas asparaginowy	Glicyna	U
	Walina	Alanina	Kwas asparaginowy	Glicyna	C
	Walina	Alanina	Kwas	Glicyna	A

			glutaminowy		
	Walina	Alanina	Kwas glutaminowy	Glicyna	G

3. Przyjrzyj się ostatniej kolumnie tabeli i znajdź wiersz zawierający ostatnią literę kodonu (U).

Litera U została umieszczona w pierwszym rzędzie, zatem kodowany aminokwas występuje na samej górze w komórce znajdującej się na przecięciu drugiego wiersza i ostatniej kolumny w części *Druga litera*. Połącz wszystkie te informacje, a dowiesz się, że aminokwasem kodowanym przez kodon CGU jest arginina.



Aby prześledzić translację cząsteczki mRNA, zacznij od kodonu START znajdującego się najbliżej jej końca 5', następnie podziel nukleotydy na poszczególne kodony i poskładaj litery każdego kodonu, korzystając z tabeli 8.1, zawierającej listę wszystkich 20 aminokwasów służących do budowy białek. Na przykład sekwencja 5'CCGCAUGCGAAAAUGA3' koduje peptyd składający się z kolejno: metioniny, argininy i lizyny.

W poniższych ustępach wyjaśnimy zależności pomiędzy kodonami oraz antykodonami, czyli sekwencjami nukleotydów niezbędnych do przeprowadzenia translacji. Pomożemy Ci także zrozumieć ogólny przebieg całego procesu translacji.

Czym są kodony i antykodony?

Kod genetyczny jest zdumiewająco podobny u wszystkich istot żywych, począwszy od *Escherichia coli*, aż do Ciebie. Żeby móc go poprawnie odczytywać, musisz poznać nietypowe właściwości kilku kodonów.

- **Kodon AUG to tak zwany kodon START.** Nazwa „**kodon START**” jest związana z faktem, że od tego kodonu rozpoczyna się proces translacji. Podczas translacji cząsteczki mRNA kodonu AUG znajdujący się najbliżej czapeczki 5' zostaje odczytany jako pierwszy. Triplet AUG koduje również metioninę, zatem jest ona pierwszym aminokwasem tworzonego łańcucha polipeptydowego.

- **Kodony UAA, UAG i UGA są nazywane kodonami STOP.** Proces translacji zostaje zatrzymany w momencie odczytania **kodonu STOP**. Kodon ten służy jedynie do przerywania translacji — nie koduje on żadnego aminokwasu. W momencie odczytania kodonu STOP translacja zostaje zatrzymana bez jednoczesnego dodawania aminokwasu do łańcucha polipeptydowego.

- **Pewne aminokwasy są kodowane przez kilka różnych kodonów.** Na przykład argininę reprezentują kodony CGU, CGC, CGA i CGG. Z tego powodu mówi się, że kod genetyczny jest **zdegenerowany** (kilka kodonów symbolizuje jeden aminokwas).

Aby komórka mogła dokonać translacji mRNA, potrzebna jest bardzo istotna cząsteczka: transportowy RNA (tRNA). **Transportowy RNA** służy do odczytywania kodu zapisanego w mRNA; jednocześnie przenosi do rybosomów odpowiednie aminokwasy stanowiące budulec białek. Podobnie jak wszystkie cząsteczki z rodziny RNA tRNA jest zbudowana z nukleotydów łączących się w pary z innymi nukleotydami na zasadzie komplementarności.

W czasie translacji określona cząsteczka tRNA (każdy rodzaj tRNA wiąże się tylko z określonym typem aminokwasu) łączy się z kodonem mRNA w celu dodania właściwego aminokwasu do rosnącego łańcucha polipeptydowego. Każda cząsteczka tRNA posiada specyficzną sekwencję trzech nukleotydów, zwaną **antykodonem**, łączącą się z kodonem

informacyjnego RNA. Do tego po drugiej stronie cząsteczki tRNA jest przyłączony odpowiedni aminokwas. Jeżeli antykodon tRNA pasuje do kodonu mRNA, do łańcucha polipeptydowego zostaje dołączony aminokwas przenoszony przez transportujący RNA.



Jedynie określony antykodon może połączyć się z danym kodonem, dlatego wyłącznie jeden rodzaj tRNA wiąże się ze specyficznym tripletem nukleotydów zawartym w mRNA. Dzięki takiemu szczególnemu związkowi pomiędzy kodonami mRNA i antykodonami tRNA zawsze jest dostarczany odpowiedni aminokwas do wydłużającego się łańcucha białkowego.

Przebieg translacji

Chociaż cały proces translacji ma dość skomplikowany przebieg, dość łatwo go zrozumieć, jeśli podzielimy go na trzy zasadnicze etapy: wstęp (**inicjację**), rozwinięcie (**elongację**) i zakończenie (**terminację**). Podczas czytania poniższego opisu nie bój się spoglądać również na rysunek 8.2.

Nieokiełznany wzrost — nowotwór a starzenie się

Ryzyko **nowotworu**, choroby charakteryzującej się niekontrolowanymi podziałami komórek, wzrasta wraz z wiekiem, i smutna prawda jest taka, że im dłużej żyjesz, tym zwiększa się prawdopodobieństwo, że nowotwór pojawi się u Ciebie. Dlaczego? Ponieważ w ciągu życia mogą wystąpić u Ciebie bez Twojej świadomości drobne zmiany genetyczne — mutacje pojedynczych genów zachodzące spontanicznie, spowodowane naświetleniem promieniami UV albo oddychaniem zanieczyszczonym powietrzem. Większość mutacji jest naprawiana; inne natomiast pozostają w organizmie, ale nie mają na niego wielkiego wpływu. Każda pojedyncza mutacja może być potencjalnie nieszkodliwa, ale ich nagromadzenie w przeciągu życia zwiększa prawdopodobieństwo pojawienia się zmiany w strukturze białek pełniących kluczową funkcję w procesach komórkowych.

Jeżeli białka nie spełniają zadanych funkcji, komórki mogą znaleźć się w stanie niekontrolowanych podziałów i wzrostu, przez co powstaje grupa komórek nowotworowych. Wraz z narastaniem liczby mutacji w komórkach następuje ich dalsza modyfikacja i nowotwór może stać się **złośliwy** (większe ryzyko

rozprzestrzeniania się i spowodowania śmierci). Komórki nowotworowe rozprzestrzeniają się w procesie zwanym **metastazą**, gdy opuszczają pierwotną tkankę i dostają się do układu krwionośnego lub limfatycznego.

U mieszkańców Stanów Zjednoczonych ryzyko rozwoju nowotworu wynosi 33% [2]. Ta statystyka jest bardzo alarmująca, ale zawsze można zmniejszyć ryzyko zachorowalności prowadząc zdrowy tryb życia — unikając tłuszczów nasyconych, ekspozycji na promieniowanie ultrafioletowe (solaria, opalanie się bez filtrów), papierosów oraz walcząc z otyłością.

1. Podczas inicjacji do mRNA przyłączają się rybosom oraz pierwszy tRNA (etap 1. na rysunku 8.2).

Mała podjednostka rybosomu wiąże się z mRNA, a następnie cząsteczka tRNA przenosząca metioninę łączy się z kodonem START. Kodon START składa się z tripletu AUG, zatem antykodonem jest sekwencja UAC (etap 2. na rysunku 8.2). Po przyłączeniu się pierwszego tRNA do mRNA dołącza się duża podjednostka rybosomu, tworząc pełny kompleks rybosomowy.

2. W trakcie elongacji kolejne cząsteczki docierają do wnętrza rybosomu i przekazują aminokwasy do wydłużającego się łańcucha polipeptydowego.

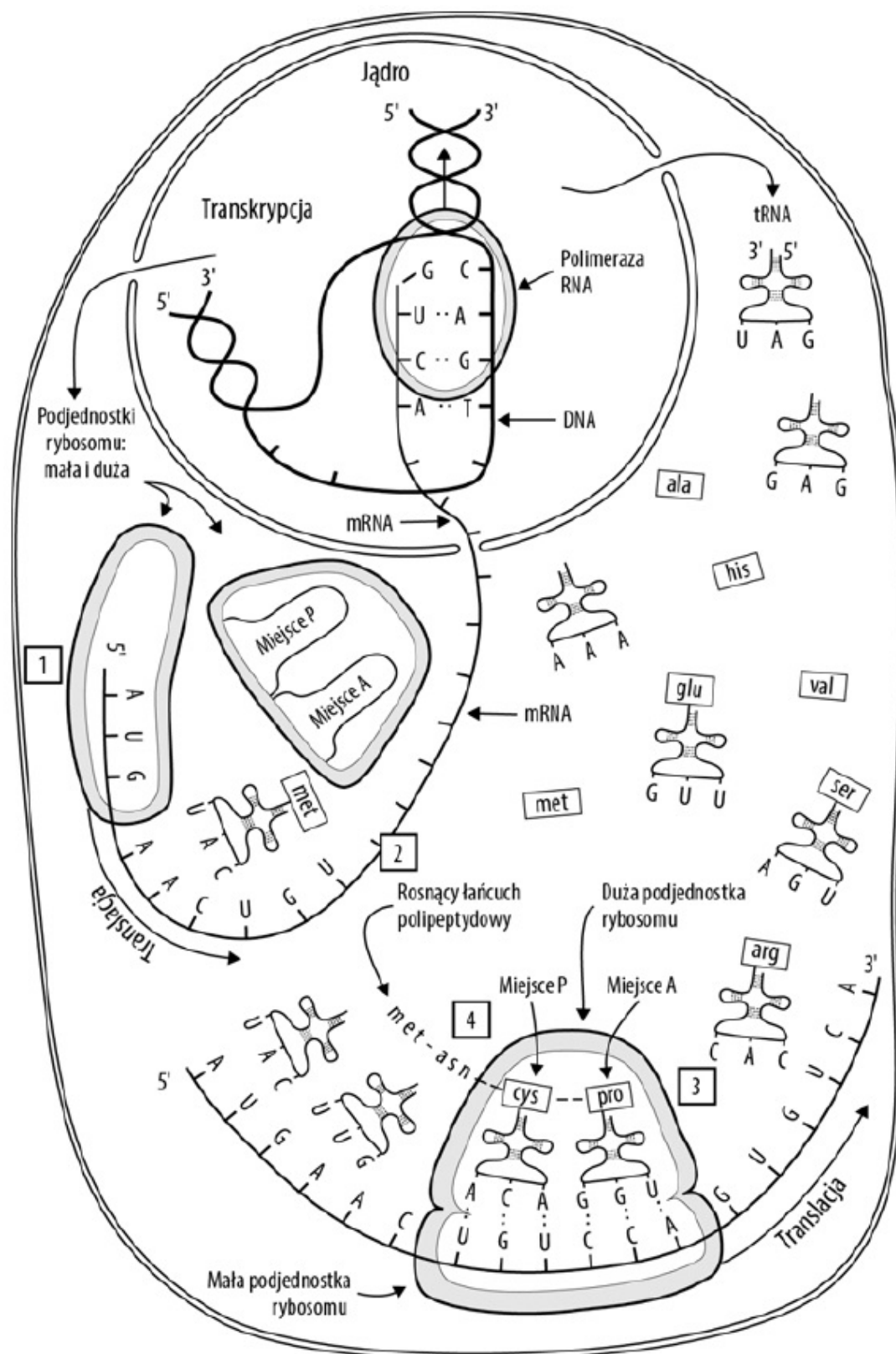
Cząsteczki tRNA docierają do wgłębienia w rybosomie nazwanego **miejscem A** (etap 3. na rysunku 8.2). W sąsiadującym wgłębieniu (**miejsce P**) umieszczony jest tRNA przekazujący aminokwas do rosnącego łańcucha białkowego (etap 4. na rysunku 8.2). Gdy cząsteczki rRNA znajdują się w miejscach A i P, rybosom katalizuje proces utworzenia **wiązania peptydowego** pomiędzy łańcuchem polipeptydowym a dołączanym aminokwasem. Na rysunku 8.2 wiązanie to powstaje pomiędzy cysteiną (cys) i proliną (pro), ponieważ właśnie te aminokwasy sąsiadują ze sobą w rybosomie.

Po dołączeniu nowego aminokwasu do łańcucha rybosom przesuwają cząsteczkę mRNA i wprowadzają nowy kodon do miejsca A. tRNA pozbawiony aminokwasu zostaje

uwolniony do cytoplazmy, a w jego miejsce przechodzi cząsteczka tRNA czekająca w miejscu P. Teraz zostaje wprowadzony kolejny tRNA do miejsca A i proces elongacji jest kontynuowany.

3. W czasie terminacji kodon STOP czekający w miejscu A powoduje przerwanie translacji.

mRNA jest przesuwany w rybosomie aż do momentu natrafienia na kodon STOP w miejscu A. W tym momencie do rybosomu dostaje się enzym zwany **czynnikiem uwalniającym**, który odcina łańcuch polipeptydowy. Proces translacji zostaje zakończony i rybosom oddziela się od mRNA.



Biosynteza białek

Rysunek 8.2. Translacja mRNA na cząsteczkę białka

Zanim łańcuchy polipeptydowe zwiną się w odpowiedni sposób i staną się właściwymi białkami, mogą podlegać jeszcze drobnym modyfikacjom posttranslacyjnym. Często łączonych jest ze sobą kilka łańcuchów polipeptydowych tworzących w sumie pełnoprawną cząsteczkę białka.

Pomyłki się zdarzają — konsekwencje mutacji



Jeżeli na nici DNA pojawi się błędny zapis, który zostanie przeoczony i nienaprawiony, to mamy do czynienia z mutacją. **Mutacjami** nazywamy zmiany materiału genetycznego zapisanego na pierwotnej nici DNA — innymi słowy, sekwencja nukleotydów zostaje w jakiś sposób zaburzona.

Mutacje w DNA powodują powstawanie zmian w cząsteczkach mRNA, przez co struktura białek również ulega modyfikacji. Zmiana struktury białka oznacza zmianę funkcjonowania komórki, a w konsekwencji — danej cechy organizmu.

Mutacje najczęściej następują podczas replikacji DNA (proces replikacji został omówiony w rozdziale 6.). Podstawowe dwa rodzaje mutacji to:

- **Mutacje spontaniczne.** Są to błędy niepoprawiane przez polimerazę DNA, czyli enzym kopiujący nić DNA. **Polimeraza DNA** jest bardzo precyzyjną cząsteczką, ale nawet ona nie jest doskonała. Zasadniczo enzym ten popełnia jeden błąd na miliard replikowanych par zasad. Jeden błąd na miliard to znakomity wynik... ale nie w przypadku DNA. Pamiętaj, że każda wprowadzona zmiana może potencjalnie stanowić problem. Na przykład niektóre nowotwory mogą pojawiać się u

starszych osób, gdyż żyją one wystarczająco długo, aby nastąpiło nagromadzenie się mutacji w genach odpowiedzialnych za podziały komórkowe.

- **Mutacje indukowane.** Wywoływane są przez czynniki środowiskowe zwiększające prawdopodobieństwo popełnienia błędu przez polimerazę DNA. Każdy czynnik wpływający na niewłaściwą replikację DNA jest nazywany **mutagenem**. Najczęściej spotykane mutageny to różne substancje chemiczne (np. formaldehyd lub związki zawarte w dymie papierosowym) oraz promieniowanie (ultrafioletowe czy też rentgenowskie).

Mutacje powstające podczas podziału komórki (mitotycznego lub mejotycznego) lub w dowolnej innej fazie cyklu komórkowego mogą być dziedziczone przez komórki potomne (podziały komórkowe zostały omówione w rozdziale 6.), pod warunkiem że nie zostaną wykryte i naprawione. Pod względem procesów zachodzących w nici DNA mutacje dzielimy na następujące trzy kategorie:

- **Substytucje zasad.** Gdy w dwuniciowej cząsteczce DNA zostaną połączone ze sobą niewłaściwe nukleotydy, mamy do czynienia z **substytucją**. Załóżmy, że replikowana cząsteczka DNA zawiera tyminę (T), do której polimeraza DNA powinna na zasadzie komplementarności dołączyć adeninę (A) podczas replikowania nowej nici. Jeżeli jednak przez pomyłkę zostanie dołączona guanina (G), to występuje właśnie substytucja zasad. Zmianie uległ tylko jeden nukleotyd, dlatego mówimy, że tego typu mutacja jest punktowa. **Mutacje punktowe** mogą być zupełnie nieszkodliwe albo zabójcze.

- **Ciche mutacje** nie mają wpływu na budowę białka lub funkcjonowanie organizmu. Kod genetyczny jest zdegenerowany, dlatego mutacje DNA mogą

wywoływać zmiany w RNA, które nie mają wpływu na sekwencję aminokwasów w białku (pojęcie zdegenerowania kodu genetycznego zostało wyjaśnione w ustępie „Czym są kodony i antykodony?”).

- **Mutacje missensowne (zmiany sensu)**

powodują zmianę aminokwasu w łańcuchu polipeptydowym. Zmiany w nici DNA mogą powodować modyfikacje w kodonach mRNA, w wyniku czego mogą zostać zamienione aminokwasy w łańcuchu białkowym. Zagrożenia płynące z mutacji missensownych zależą od różnicy pomiędzy budową podmienionego aminokwasu i oryginału oraz od miejsca pojawienia się zmiany w strukturze białka.

- **Mutacje nonsensowne** wprowadzają kodon STOP do mRNA, tym samym uniemożliwiając biosyntezę całego białka. Jeżeli zmiana następuje w jakimś środkowym kodonie, zostanie zbudowany niedokończony łańcuch polipeptydowy. Mutacje nonsensowne przeważnie są bardzo groźne dla zdrowia i są powodem występowania wielu chorób dziedzicznych, takich jak dystrofia mięśniowa Duchenne’a, talasemia (dziedziczona niedokrwistość) czy pewne odmiany mukowiscydozy.

- **Delecja. Delecja** występuje, gdy polimeraza DNA pomija replikację fragmentu nici DNA. Jeżeli nukleotydy w macierzy DNA są odczytywane, ale nie są do nich dodawane komplementarne zasady, w nowo utworzonej nici DNA będzie brakowało części materiału genetycznego. W przypadku gdy zabraknie jednego lub dwóch nukleotydów, nastąpi przesunięcie kodonów w mRNA i syntetyzowany łańcuch polipeptydowy będzie się diametralnie różnił od zamierzonej struktury. Mutacje zmieniające liczbę nukleotydów, a tym samym modyfikujące kodony, są nazywane **mutacjami**

przesuwającymi ramkę odczytu. W wyniku delecji trzech sąsiadujących ze sobą nukleotydów zostaje usunięty jeden aminokwas. Skutkiem delecji są takie poważne choroby jak mukowiscydoza oraz dystrofia mięśniowa Duchenne’a.

- **Insercje.** Przypadkowe wstawienie dodatkowych nukleotydów przez polimerazę DNA w replikowanej nici jest nazywane **insercją**. Podobnie jak miało miejsce w przypadku delecji, dodanie jednego lub dwóch nukleotydów stanowi mutację przesuwającą ramkę odczytu, która w znacznym stopniu zmienia strukturę białka. **Pląsawica Huntingtona**, choroba powodująca obumieranie układu nerwowego u osób powyżej 30. roku życia, jest wywołana przez ponadstukrotne powtórzenie sekwencji CAG w genie. Chociaż sekwencja ta stanowi wielokrotność liczby 3 (czyli z technicznego punktu widzenia mutacja ta nie przesuwa ramki odczytu), duża liczba insercji zakłóca odczyt genu, co skutkuje albo nadmierną produkcją białka, albo całkowitym zatrzymaniem jego biosyntezy.

Walka o oddech

Mukowiscydoza (w skrócie CF^[3]) jest chorobą powodującą produkcję nadmiernie lepkiego śluzu, który powoduje dysfunkcję wszystkich narządów posiadających gruczoły śluzowe, przede wszystkim układu oddechowego i pokarmowego. Jest najczęściej występującą dolegliwością genetyczną spotykaną u osób pochodzenia północnoeuropejskiego (w samych Stanach Zjednoczonych cierpi na nią około 30 000 osób^[4]). Śluz zalegający w płucach utrudnia oddychanie oraz stanowi odżywkę dla chorobotwórczych drobnoustrojów wywołujących nawracające infekcje. Osoby chore na CF często umierają wkrótce po osiągnięciu dorosłości, gdyż ich płuca w końcu poddają się uszkodzeniom od ciągłych chorób. Pacjenci oraz ich rodziny walczą każdego dnia z mukowiscydozą, starając się usunąć śluz z dróg oddechowych oraz lecząc infekcje, a także próbują powstrzymać skutki tej przerażającej choroby.

Wszystkie problemy i ból są wywoływane przez mutację jednego białka — CFTR (ang. *cystic fibrosis transmembrane conductance regulator* — błonowego kanału chlorkowego). W normalnych okolicznościach białko CFTR znajduje się w błonie cytoplazmatycznej, gdzie zajmuje się transportem anionów chlorkowych.

Gromadzenie się chlorków wpływa na zawartość wody w wydzielinie, przez co u osób chorych na CF śluz staje się tak gęsty. Najczęstszą mutacją w CFTR jest delecja trzech nukleotydów, której rezultat stanowi utrata **jednego** aminokwasu. Nie wydaje się to być dużą zmianą, ale brak tego jednego aminokwasu zmienia strukturę białka w taki sposób, że nie może ono zwinąć się we właściwy sposób. Inne białka, zajmujące się „kontrolą jakości”, oznaczają takie niewłaściwie zwijające się białko do degradacji. Okazuje się, że u osób cierpiących na najpowszechniejszą odmianę CF białko CFTR nie ma nawet szansy dotrzeć do błony komórkowej.

Naukowcy starają się w jakiś sposób rozwiązać ten problem. Jednym z najnowszych i bardzo obiecujących postępów jest odkrycie leku umożliwiającego zmutowanym białkom CFTR dotarcie do błony komórkowej. W laboratoryjnie wyhodowanych komórkach płuc nieprawidłowo zbudowane białka CFTR transportowały część jonów chlorkowych, co daje nadzieję na złagodzenie objawów choroby. Odkrywczy leku przeprowadzają doświadczenia na kolejnym poziomie, starając się określić dawki medykamentu oraz testując go na chorych pacjentach.

Kto ma geny, ten ma władzę — regulacja ekspresji genów

Chociaż cząsteczka DNA decyduje o biosyntezie białek wykorzystywanych w organizmie, a te białka decydują o cechach wyglądu i funkcjonowaniu istoty żywej, to same komórki też mają coś do powiedzenia w omawianych kwestiach. Poszczególne komórki Twojego ciała bardzo się od siebie różnią, a jednak wszystkie one zawierają pełny garnitur chromosomów, zatem mogą one **regulować ekspresję genów**, czyli decydują o tym, czy i które geny oraz kiedy mają być wykorzystywane.



Gdy komórka wykorzystuje dany gen do stworzenia nowej cząsteczki białka, mówi się, że ulega on **ekspresji**. Regulacja ekspresji genów polega na wybieraniu genów ulegających ekspresji w dowolnej chwili (naukowcy określają to obrazowo jako „włączanie” i „wyłączanie” genów).

Ekspresja genów jest regulowana przez działanie białek wiążących się z DNA, wspomagających polimerazę RNA lub blokujących jej dostęp do określonych genów. W Twoich komórkach białka ułatwiające polimerazie RNA przyłączenie do genów są znane jako **czynniki transkrypcyjne**. Łączą się one ze specyficznymi sekwencjami nukleotydów znajdującymi się w pobliżu promotorów genów, dzięki czemu umożliwiają polimerazie RNA zadokowanie na promotorze. Następnie zostają przeprowadzone transkrypcja i translacja, których produktem jest cząsteczka białka.

Regulacja ekspresji genów ma dla komórek dwojakie znaczenie: w ten sposób przystosowują się one do zmian środowiskowych oraz dzięki niej następuje różnicowanie tkanek. Przyjrzymy się obydwu zagadnieniom w poniższych ustępach.

Dostosowywanie się do zmian środowiskowych

Otaczający nas świat bez przerwy się zmienia, co oznacza, że w celu zachowania wewnętrznej równowagi musimy odpowiadać na sygnały docierające spoza organizmu. Do tego właśnie służy regulacja ekspresji genów. Gdy komórki muszą zareagować na zmianę zachodzącą w środowisku, włączają i wyłączają geny odpowiedzialne za produkcję białek stanowiących odpowiedź na nowe warunki.

Założmy, że dociera do Ciebie zbyt duża ilość światła słonecznego. W celu ochrony skóry komórki naskórka na czubku nosa muszą trochę pociemnieć, a osiągają to, produkując dodatkową ilość melaniny. Promienie słońca docierające do skóry powodują uszkodzenie DNA zawartego

w komórkach naskórka, a w wyniku jego naprawy zostają pobudzone pewne białka, które wiążą się z genami odpowiedzialnymi za produkcję melaniny i ułatwiają polimerazie RNA dostęp do tych genów. Polimeraza RNA odczytuje pożądane geny i syntetyzuje mRNA zawierający sekwencję aminokwasów tworzących białka, które biorą udział w wytwarzaniu melaniny. Częsteczka mRNA ulega translacji i w wyniku pewnych reakcji biochemicznych powstają dodatkowe cząsteczki pigmentu, który spełnia swoje zadania i „przyciemnia” nos. Widzimy na tym przykładzie, w jaki sposób komórki uzyskują dostęp do potrzebnych genów, gdy muszą zareagować na bodźce środowiskowe.

Doskonalenie się poprzez zróżnicowanie

Twoje ciało zbudowane jest z ponad 200 różnych rodzajów komórek, takich jak komórki nabłonkowe, mięśniowe czy tkanek tworzących nerki. Każdy typ komórki spełnia w organizmie określone zadanie, i jak przystało na rzetelnych rzemieślników — potrzebują one odpowiednich narzędzi do pracy. W przypadku komórki takim narzędziem jest zazwyczaj określone białko. Na przykład komórki skóry potrzebują dużych ilości keratyny, komórki mięśniowe wykorzystują białka kurczliwe, natomiast komórki nerek wymagają do pracy białek transportujących różne substancje.



Różnicowanie komórek jest procesem polegającym na wyspecjalizowaniu pewnych komórek do pełnienia określonych funkcji. Zróżnicowane komórki posiadają schematy wszystkich „narzędzi”, ponieważ każda z nich zawiera pełen garnitur chromosomów; różnią się

one od pozostałych asortymentem wykorzystywanych genów.

Komórki macierzyste — wprowadzenie i dylemat moralny

Komórki macierzyste posiadają zdolność specjalizacji do każdego typu komórki organizmu. Gdy się dzielą, komórki potomne mogą zachować właściwości komórki macierzystej albo ulec zróżnicowaniu w określony rodzaj komórki. Cechuje je jeszcze jedna właściwość — w przeciwieństwie do zróżnicowanych komórek, przestających się dzielić po 40 czy 50 podziałach, są nieśmiertelne — mogą produkować nieograniczoną liczbę komórek potomnych. Są więc niezwykle istotne dla organizmu, ponieważ zastępują stare komórki oraz regenerują uszkodzenia niemal każdej tkanki. Mogą również służyć do leczenia różnych chorób oraz ratowania życia.

Przez wiele lat najlepszym źródłem komórek macierzystych (w celach badawczych) były ludzkie zarodki uzyskiwane przez zapłodnienie *in vitro*, ale niechciane przez dawców plemników i komórek jajowych. Niechciane zarodki są zazwyczaj niszczone^[5], jednak niektóre osoby przekazują zamrożone zarodki placówkom badawczym^[6]. Ludzkie komórki zarodkowe są wyjątkowe, ponieważ cechuje je **totipotencjalność**, czyli możliwość przekształcenia się w dowolny rodzaj komórki. Chociaż można pobierać komórki macierzyste również od dorosłych ludzi, zazwyczaj posiadają one ograniczony zakres różnicowania powiązany z ich tkanką macierzystą. Na przykład hematopoetyczne komórki macierzyste pochodzące ze szpiku kostnego dzielą się i różnicują w wiele różnych rodzajów krwinek, ale nie przekształcają się np. w komórki nerwowe.

Z powodu totipotencjalności komórki zarodkowe są bardzo cenne w pewnych rodzajach badań. Niektórzy uważają jednak, że niszczenie ludzkich zarodków jest niemoralne, nawet w bardzo wczesnym stadium rozwoju (zamrożone embriony składają się zazwyczaj z 5 do 8 komórek). Pogląd ten doprowadził nawet do przerwania dotacji programu otrzymywania nowych linii komórek macierzystych pochodzących z ludzkich zarodków w Stanach Zjednoczonych. Zwolennicy wykorzystywania komórek macierzystych twierdzą, że z powodu potencjalnych korzyści wynikających z leczenia chorób i ratowania życia za pomocą komórek macierzystych konieczne jest kontynuowanie badań nad ludzkimi zarodkami.

Czy ten dylemat moralny zostanie kiedykolwiek rozwiązany? Jednym z potencjalnych rozwiązań jest przekształcenie komórek macierzystych pochodzących od dorosłych osób w taki sposób, żeby wykazywały cechy komórek zarodkowych. Grupie naukowców udało się przeprowadzić ten proces, ale należy wykonać jeszcze dodatkowe badania w celu sprawdzenia, czy indukowane komórki macierzyste rzeczywiście posiadają właściwości ludzkich komórek embrionalnych.

Komórki różnicują się wskutek regulacji ekspresji genów. Na przykład po połączeniu plemnika z komórką jajową powstała zygota posiada zdolność do dzielenia się i tworzenia wszystkich typów komórek występujących w dorosłym organizmie. W trakcie kolejnych podziałów odpowiednie sygnały zmieniają ekspresję genów w następnych pokoleniach komórek. Białka zawarte w tych komórkach wiążą się z cząsteczkami DNA, przez co pewne geny są aktywowane, a inne wyłączane. Podczas wzrostu i rozwoju w łonie matki komórki Twojego ciała w coraz większym stopniu ulegały różnicowaniu. Niektóre stały się podwalinami układu nerwowego, inne z kolei stworzyły podstawy przewodu pokarmowego. Każda z tych zmian następowała pod wpływem transkrypcji i translacji kolejnych genów, zawierających informacje o specyficznych białkach wymaganych do pełnienia ściśle określonej funkcji.



Gdy komórka ulegnie zróżnicowaniu, nie może wrócić do pierwotnego stanu^[7]. Staje się wyspecjalizowana w pełnieniu określonej funkcji i ma dostęp wyłącznie do genów i białek mieszczących się w jej zakresie obowiązków.

Przypisy:

[1] Pewne wirusy są zdolne do syntezy nici DNA przy wykorzystaniu matrycy RNA. Jest to proces tak zwanej odwrotnej transkrypcji, zatem ten „jeden z najważniejszych dogmatów” okazuje się dość kruchy — *przyp. tłum.*

[2] Pewne badania sugerują, że w XXI wieku co czwarty Europejczyk umrze na nowotwór, co również nie jest dobrą informacją — *przyp. tłum.*

[3] Od angielskiej nazwy choroby — *cystic fibrosis*, czyli zwłóknienie torbielowate — *przyp. tłum.*

[4] W Polsce leczonych jest na nią ok. 2000 osób (stan z grudnia 2014 roku) — *przyp. tłum.*

[5] W Polsce jest to zakazane — *przyp. red.*

[6] To również jest w Polsce zakazane — *przyp. red.*

[7] Istnieją pewne wyjątki. W niektórych sytuacjach wyspecjalizowane komórki potrafią się „cofnąć w rozwoju” i odzyskać zdolność namnażania się i

różnicowania w inne komórki. Co więcej, naukowcy są w stanie indukować takie procesy i w pewnych sytuacjach umożliwiać również powrót do stanu komórki macierzystej. Badania nad tymi procesami mogą nam przynieść przełom w terapii wielu schorzeń (takich jak stwardnienie rozsiane, niektóre nowotwory), a nawet odbudowę przerwanych nerwów, np. nerwu wzrokowego, czy nawet rdzenia kręgowego. Generalnie wiąże się z nimi ogromne nadzieje — *przyp. red.*

Rozdział 9.

Projektowanie kodu — techniki obróbki DNA



W tym rozdziale:

- ▶ poznasz metody wykorzystywane podczas obróbki DNA;
- ▶ dowiesz się, czym jest Projekt poznania ludzkiego genomu;
- ▶ zastanowimy się nad zaletami organizmów modyfikowanych genetycznie.



Eksperymenty na grochu przeprowadzane w połowie XIX w. przez Grzegorza Mendla (opisywane w rozdziale 7.) były początkiem długiego ciągu trwających do dzisiaj badań nad tajemnicami dziedziczenia. Gdy Mendel udowodnił, że cechy są regulowane przez przekazywane z pokolenia na pokolenie czynniki dziedziczne, naukowcy postanowili odkryć naturę tych elementów oraz mechanizmy ich rozprzestrzeniania. Odkryli obecność DNA w komórkach, obserwowali transport chromosomów w czasie podziałów komórki oraz przeprowadzili eksperymenty dowodzące, że to właśnie DNA jest źródłem dziedziczności.

Niemal sto lat po odkryciach Mendla James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin i Maurice Wilkins poznali strukturę podwójnej helisy DNA i zaproponowali model jej powielania. Kolejnym badaczom udało się rozszyfrować kod genetyczny i wykorzystywać go w pracy laboratoryjnej. W przeciągu ostatnich 40 lat opracowano zdumiewającą liczbę narzędzi umożliwiających odczytywanie kodu zawartego w DNA, jego kopiowanie, przycinanie, porządkowanie oraz łączenie w nowe kombinacje. Techniki obróbki DNA są tak potężne, że umożliwiły wyznaczenie sekwencji nukleotydów we

wszystkich chromosomach człowieka w ramach Projektu poznania ludzkiego genomu. Wraz z odkrywaniem sensu informacji zapisanych w DNA przed badaczami otworzył się zupełnie nowy świat dziedziczności — to, co odkryją, być może diametralnie zmieni sposób postrzegania naszego miejsca na Ziemi i we Wszechświecie.

W tym rozdziale poświęcimy uwagę wszelkim zagadnieniom związanym z technikami obróbki DNA, a także dowiesz się, w jaki sposób badaczom udało się poznać technologie mapowania i modyfikacji genomów człowieka oraz innych gatunków.

Techniki wykorzystywane w obróbce DNA

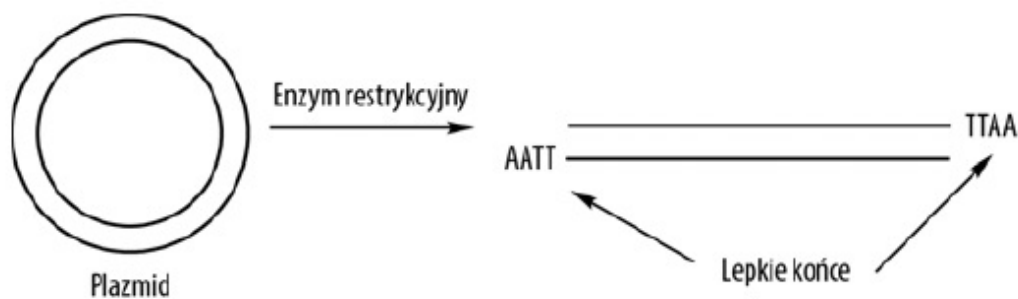
Przez wiele lat badanie cząsteczki DNA stanowiło wyzwanie z powodu jej struktury. Jest ona wszakże niesamowicie długa i cienka. Na szczęście wraz z nastaniem ery **obróbki DNA**, czyli pojawieniem się technologii i narzędzi umożliwiających odczytywanie i modyfikowanie kodu zapisanego w DNA, praca na cząsteczkach kwasu deoksyrybonukleinowego stała się znacznie prostsza. Naukowcy potrafią już nawet łączyć nici DNA pochodzące od różnych organizmów w celu sztucznego wytwarzania takich substancji jak ludzkie białka lub wyhodowania odmian roślin posiadających całkowicie nowe cechy. Istnieje również możliwość porównywania różnych wersji tego samego genu, dzięki czemu rozpoznawane są zmutowane, chorobotwórcze fragmenty kodu.

W poniższych ustępach przyjrzymy się różnym aspektom obróbki DNA, dzięki czemu zrozumiesz, w jaki sposób dawane przez nie możliwości pozwalają zajrzeć w samą istotę naszej egzystencji.

Cięcie DNA za pomocą enzymów restrykcyjnych

Naukowcy wykorzystują **enzymy restrykcyjne**, czyli małe molekularne nożyczki, do rozcinania cząsteczki DNA na mniejsze odcinki w celu swobodniejszego manipulowania nią oraz jej analizowania. Każdy enzym restrykcyjny przyłącza się do określonej sekwencji nukleotydów zwanej **miejscem restrykcyjnym**. Białka te przesuwają się wzdłuż nici DNA i w momencie natrafienia na miejsce restrykcyjne przecinają ją.

Na rysunku 9.1 widzimy, w jaki sposób enzym restrykcyjny przecina kolistą cząsteczkę DNA^[1], przekształcając ją w formę liniową.



Rysunek 9.1. Enzymy restrykcyjne

Łączenie odcinków DNA pochodzących z różnych źródeł

Po pocięciu nici DNA na mniejsze, łatwiejsze w obróbce odcinki (patrz poprzedni ustęp) naukowcy mogą je ze sobą łączyć po to, aby zmienić właściwości komórki. Na przykład dodają geny do komórek roślin hodowlanych, dzięki czemu zyskują one oporność na pestycydy lub zwiększa się ich wartość odżywcza. Manipulacja materiałem genetycznym danej komórki w celu zmiany jej cech nosi nazwę **inżynierii genetycznej**.

Kod genetyczny jest niemal identyczny we wszystkich organizmach, dlatego naukowcy łączą odcinki genów pochodzące nieraz z bardzo różnych źródeł. Przykładowo ludzki DNA można połączyć z DNA bakteryjnym.



Materiał genetyczny pochodzący z co najmniej dwóch różnych źródeł jest nazywany **rekombinowanym DNA**.

Jeżeli rekombinowana cząsteczka DNA zawierająca bakteryjne i ludzkie geny zostanie umieszczona w komórce bakterii, będzie ona odczytywała ludzkie geny jak swoje własne i zacznie wytwarzać ludzkie białka, które znajdą następnie zastosowanie w medycynie lub laboratoriach badawczych. W tabeli 9.1 znajdziesz listę kilku przydatnych białek wytwarzanych na drodze inżynierii genetycznej.

Tabela 9.1. Użyteczne białka produkowane metodą inżynierii genetycznej

Interferon alfa	Służy do redukowania guzów oraz leczenia stanów zapalnych wątroby.
Interferon beta	Używany do leczenia stwardnienia rozsianego.
Insulina człowieka	Wykorzystywana jako bezpieczny zamiennik insuliny pochodzącej od świń.
Tkankowy aktywator plazminogenu (tPA)	Podawany pacjentom tuż po ataku serca lub zawału w celu rozpuszczenia zatoru będącego przyczyną choroby.

Poniżej opisujemy mechanizm umieszczania ludzkiego genu w komórce bakteryjnej.

1. Najpierw zostaje dobrany enzym restrykcyjny, wytwarzający lepkie końce po przecięciu nici DNA.

Lepkie końce to fragmenty DNA komplementarne do fragmentów znajdujących się na badanej nici. Z powodu komplementarności pasujące do siebie fragmenty nici

mogą się ze sobą łączyć za pomocą wiązań wodorowych (zarówno struktura DNA, jak i wiązania wodorowe zostały omówione w rozdziale 3.). Na przykład lepkie końce widoczne na rysunku 9.1 składają się z sekwencji 5'AATT3' oraz 3'TTAA5'. Adenina jest komplementarna z tyminą, zatem pomiędzy tymi sekwencjami pojawią się wiązania wodorowe.

2. Następnie bakteryjne i ludzkie nici DNA są rozcinane za pomocą tego samego enzymu restrykcyjnego.

Jeżeli DNA pochodzące od obydwu typów organizmów zostaną rozcięte za pomocą tego samego enzymu restrykcyjnego, wszystkie uzyskane fragmenty nici będą zawierały identyczne lepkie końce.

3. Teraz ludzkie i bakteryjne odcinki DNA zostają ze sobą połączone.

Z powodu obecności takich samych lepkich końców w obydwu rodzajach DNA niektóre fragmenty połączą się ze sobą.

4. Na koniec zostaje wprowadzona ligaza DNA łącząca szkielety cukrowo-fosforanowe odcinków DNA pochodzących od człowieka z fragmentami DNA bakteryjnego.

Dzięki ligazie DNA pomiędzy poszczególnymi fragmentami DNA powstają wiązania kowalencyjne stabilizujące strukturę całej cząsteczki.

Rozdzielanie cząsteczek za pomocą elektroforezy żelowej

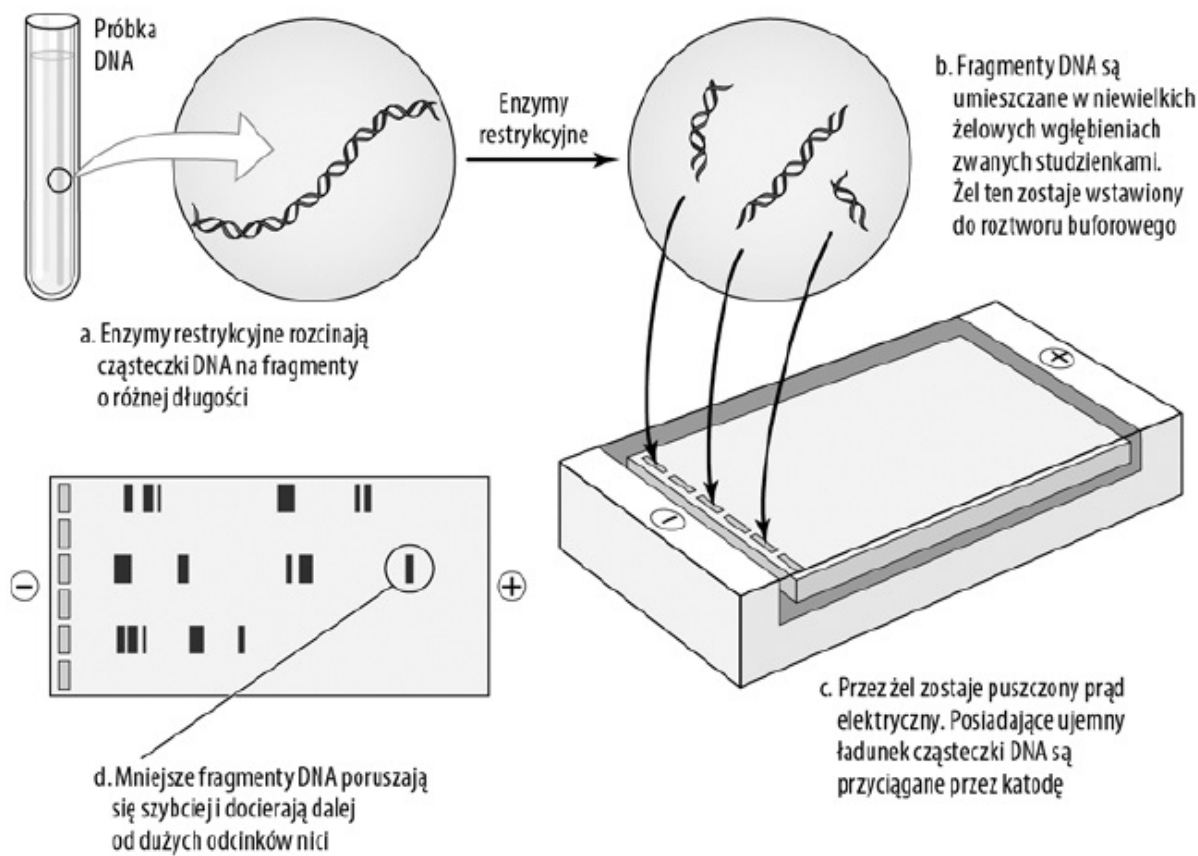
W celu badania poszczególnych rodzajów cząsteczek (np. białek czy kwasów nukleinowych) naukowcy muszą je odseparować od pozostałych substancji chemicznych

tworzących komórkę. W celu przebadania określonego rodzaju białka należy je oddzielić od pozostałych związków chemicznych. Aby uzyskać DNA, który można porównać z nićmi pochodzącymi z innych źródeł, wykorzystywana jest elektroforeza żelowa, dzięki której następuje rozdzielanie cząsteczek ze względu na ich rozmiary oraz **ładunek elektryczny**.

Proces ten jest przeprowadzany poprzez umieszczanie cząsteczek DNA (rysunek 9.2 a) w niewielkim wgłębieniu (**studziencie**) wykonanym z substancji przypominającej żelatynę (rysunek 9.2 b). Następnie płytką z żelą jest umieszczana w pudełku zwanym komorą elektroforetyczną (wypełnioną przewodzącym prąd buforowym roztworem soli).

Cząsteczki DNA zawierające ujemny ładunek elektryczny są przyciągane do dodatniej elektrody. Gdy przez żel zostaje puszczony prąd (rysunek 9.2 c), staje się on dla cząsteczek DNA torem wyścigowym. Nie starają się one jednak dotrzeć do mety, tylko zetknąć się z dodatnią elektrodą komory elektroforetycznej.

Po wyłączeniu zasilania wszystkie cząsteczki DNA zatrzymują się i naukowcy je wybarwiają. Barwnik wiąże się z DNA, tworząc tak zwane prążki (rysunek 9.2 d). Każdy **prążek** reprezentuje grupę cząsteczek DNA posiadających tę samą masę oraz zgromadzonych w tym samym miejscu żelu.



Rysunek 9.2. Elektroforeza żelowa

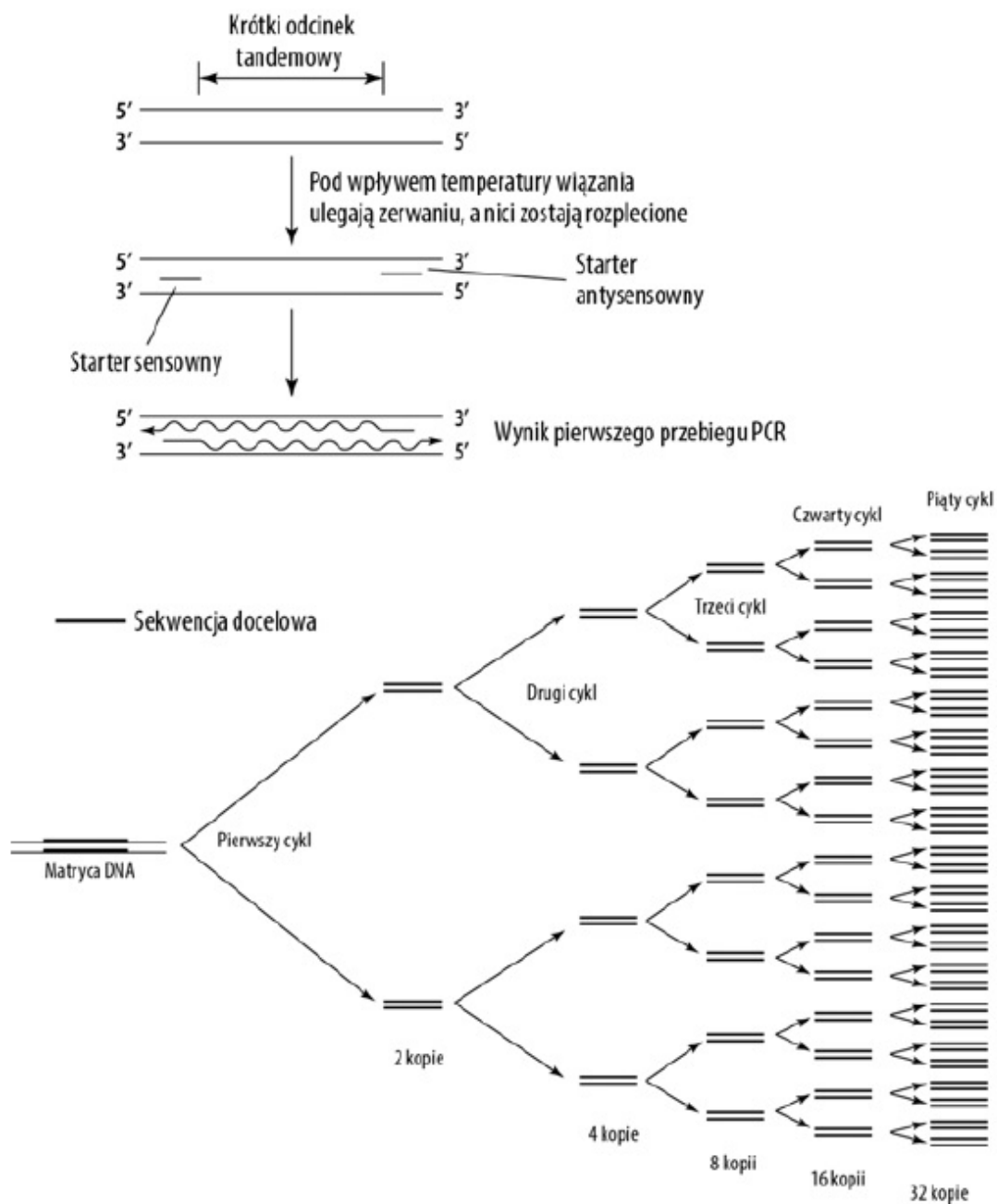
Powielanie genu metodą PCR

Reakcja łańcuchowa polimerazy (ang. **PCR** — *polymerase chain reaction*) jest procesem, dzięki któremu pojedynczy gen może zostać skopiowany ponad miliard razy w ciągu zaledwie kilku godzin. W ten sposób naukowcy mogą uzyskać wiele kopii genu za każdym razem, gdy chcą poddać jakiś organizm modyfikacji genetycznej (zajrzyj do ustępu „Łączenie odcinków DNA pochodzących z różnych źródeł”).



Powielany gen jest wyznaczany za pomocą **starterów**, czyli jednoniciowych odcinków DNA komplementarnych do sekwencji znajdujących się tuż przy tym genie.

W celu rozpoczęcia procesu PCR matryca DNA zawierająca kopiowany gen zostaje zmieszana z tysiącami cząstek starterów otaczających dany gen z obydwu stron (rysunek 9.3). Polimeraza DNA wykorzystuje startery do rozpoczęcia procesu replikacji i skopiowania genu (więcej informacji na temat replikacji znajdziesz w rozdziale 6.). Te podstawowe etapy są bez przerwy powtarzane aż do momentu uzyskania miliardów kopii sekwencji DNA znajdującej się pomiędzy dwoma starterami.



Rysunek 9.3. Reakcja łańcuchowa polimerazy



Zasada działania PCR przypomina nieco łańcuszki internetowe. Jeżeli dostaniesz e-maila i prześlesz go dwóm znajomym, którzy prześlą go swoim znajomym itd., bardzo szybko okaże się, że wszyscy zobaczyli tę wiadomość. W przypadku PCR najpierw jest replikowana jedna cząsteczka

DNA, a następnie jej kopie — aż do uzyskania 30 miliardów podwójnych helis w ciągu kilku godzin.

Odczytywanie genu za pomocą sekwencjonowania DNA



Sekwencjonowanie DNA, czyli określanie kolejności nukleotydów na nici DNA, umożliwia naukowcom badanie kodu genetycznego, dzięki czemu mogą poznać „budowę” prawidłowych genów. Technika ta pozwala również porównywać prawidłowe geny z ich zmutowanymi, chorobotwórczymi odpowiednikami. Po poznaniu sekwencji nukleotydów w obydwu wersjach genów można z łatwością ustalić fragment genu wywołujący objawy chorobowe.

Jak widać na rysunku 9.4, w sekwencjonowaniu DNA wykorzystywany jest specjalny rodzaj nukleotydu, zwany ddNTP (czyli trójfosforan dideoksyrybonukleotydu). Istnieje pewne podobieństwo pomiędzy zwykłymi nukleotydami a ddNTP, ale te drugie są na tyle odmienne, że powodują przerwanie replikacji. Po dodaniu ddNTP do wydłużającej się nici DNA polimeraza DNA przestaje dołączać kolejne nukleotydy. Dzięki powstawaniu takich przerywanych fragmentów DNA możliwe staje się wyznaczenie sekwencji nukleotydów w łańcuchu DNA.

Większość współczesnych metod opiera się na **sekwencjonowaniu cyklicznym**, czyli procesie wytwarzania częściowych kopii nici DNA, których replikacja jest przerywana w różnych momentach. Po utworzeniu fragmentarycznych kopii naukowcy umieszczają je w maszynie przeprowadzającej elektroforezę żelową i sortującej cząsteczki według ich masy. Gdy cząsteczki przechodzą przez maszynę, specjalny laser odczytuje

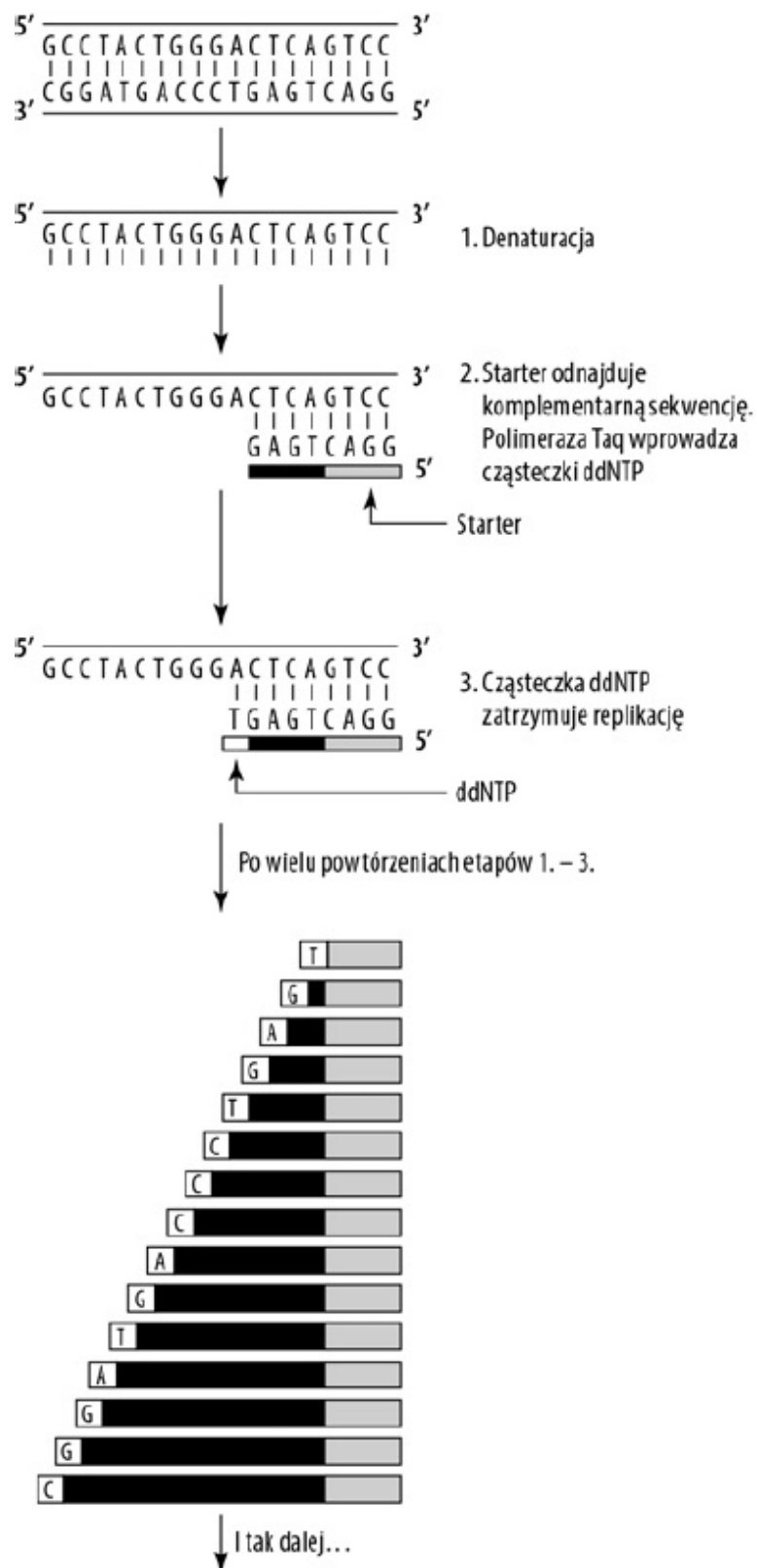
fluorescencyjne znaczniki zawarte w każdej cząsteczce ddNTP, co pozwala na poznanie sekwencji łańcucha.



Chociaż DNA jest kopiowany zarówno w metodzie PCR, jak i w sekwencjonowaniu cyklicznym, obydwa procesy znacznie się od siebie różnią. Sekwencjonowanie cykliczne wykorzystuje zarówno normalne nukleotydy, jak również cząsteczki ddNTP oraz wytwarza częściowe repliki DNA, każdą nieco odmienną od pozostałych. W metodzie PCR używane są wyłącznie normalne nukleotydy i powstają dokładne kopie macierzy DNA.

Tworzenie mapy ludzkich genów

Projekt poznania ludzkiego genomu (ang. HGP — *Human Genome Project*) stanowił niezwykle zaawansowane przedsięwzięcie mające na celu określenie sekwencji wszystkich nukleotydów zawartych w ludzkiej komórce. Aby uświadomić Ci, jak bardzo ambitny był to projekt, wyobraź sobie, że w momencie jego zaproponowania w 1985 roku sekwencjonowanie DNA stanowiło tak powolny proces, że poznanie kolejności nukleotydów w 24 pojedynczych chromosomach (22 autosomach oraz chromosomach X i Y omówionych w rozdziale 6.) zajęłoby tysiąc lat. Na szczęście placówki badawcze współpracowały ze sobą, a technologia poszła naprzód, dzięki czemu większość ludzkiego genomu została rozpracowana już w 2003 roku (**genomem** nazywamy materiał genetyczny znajdujący się w podstawowym — haploidalnym — garniturze chromosomów).



Rysunek 9.4. Sekwencjonowanie DNA



Jeżeli zastanawiasz się, o co ta cała ekscytacja programem HGP, pomyśl o tym w następujący sposób. Wyobraź sobie, że jesteś naukowcem i chcesz przeanalizować określony ludzki gen, najpierw jednak musisz się dowiedzieć, na jakim chromosomie się on znajduje. Mapa sekwencji nukleotydów utworzona w ramach programu HGP stanowi olbrzymi krok naprzód, gdyż zawiera „adresy” każdego genu człowieka. Znając lokalizację każdego genu, naukowcy mogą zająć się wykorzystaniem tej wiedzy, np. w celu wyszukiwania genów odpowiedzialnych za schorzenia genetyczne.

Program HGP wraz z powiązanymi z nim technologiami już ma wpływ na życie społeczne, a wiele dodatkowych korzyści pojawi się z upływem czasu, na przykład:

- leki projektowane indywidualnie dla określonej osoby w celu uzyskania jak największej wydajności leczenia i jak najmniejszych skutków ubocznych,
- wcześniejsze wykrywanie chorób,
- badanie drobnoustrojowych genomów po to, aby identyfikować gatunki służące do produkcji biopaliw lub oczyszczania środowiska,
- porównywanie DNA pochodzącego z miejsc zbrodni z kodem genetycznym podejrzanych, dzięki czemu natychmiastowo stanie się możliwe potwierdzenie winy lub niewinności,
- badanie powiązań ewolucyjnych pomiędzy żyjącymi mieszkańcami Ziemi.

Zabawa w Boga?

Wraz z odkrywaniem kolejnych tajemnic ludzkiego genomu pojawiają się coraz bardziej złożone zagadnienia dotyczące natury człowieczeństwa oraz praw

jednostek, które wywołują coraz większy strach i prowokują do dyskusji. Niektóre z pytań, jakie ludzie zaczynają zadawać, to:

- Skoro możemy odczytywać ludzki genom, to czy towarzystwa ubezpieczeniowe lub pracodawcy powinni posiadać dostęp do informacji na temat ryzyka wystąpienia chorób genetycznych u klientów/pracowników?
- Czy rodzice powinni mieć dostęp do informacji o płodzie po to, aby zapobiegać narodzinom chorych dzieci albo wybierać jedynie potomstwo posiadające pożądane cechy?
- Czy jedynie ludzie posiadający „dobry” genotyp powinni mieć dzieci?

Wydaje się, że te pytania są bardzo naciągane, ale historia pokazuje, że wcale tak nie jest. Gdy prace Grzegorza Mendla stały się powszechnie znane i ludzie zrozumieli, że od genów zależą cechy, grupa osób założyła ruch eugeniczny. Zrzeszeni w nim ludzie wierzyli, że pewne cechy człowieka są bardziej pożądane od innych; chcieli oni kontrolować rozmnażanie się populacji po to, aby uzyskać „lepszą” ludzką rasę. Ekstremalny wyraz tej idei dali naziści podczas II wojny światowej poprzez eksterminację całych grup ludności uważanych za „gorsze rasowo”.

Wiele osób obawia się, że coraz większa wiedza na temat ludzkiego genomu znowu zostanie wykorzystana w okrutny sposób. Prawda jest taka, że w parze z wiedzą idzie władza, a tę można wykorzystać w służbie dobra lub zła. Naukowcy dążą do wiedzy, ale nie zawsze są w stanie kontrolować sposób jej wykorzystania. Mogą oni jednak włączyć się do dialogu dotyczącego owych skomplikowanych moralnie problemów. Jednym z głównych celów Projektu poznania ludzkiego genomu było „skierowanie uwagi na etyczne, prawne i społeczne problemy, które mogą pojawić się w wyniku tego projektu”. Umieszczenie takiego oświadczenia wśród głównych celów to naprawdę poważna sprawa, ponieważ projekty naukowe są przeważnie związane wyłącznie z nauką.

Organizmy modyfikowane genetycznie

Organizmy modyfikowane genetycznie (ang. GMO — *genetically modified organisms*; czasami zwane również **organizmami transgenicznymi**) posiadają geny pochodzące od innych organizmów, wprowadzone metodą rekombinacji DNA (opisanej w ustępie „Łączenie odcinków DNA pochodzących z różnych źródeł”). GMO stanowią obecnie bardzo popularny temat z powodu kontrowersji związanych z uprawą modyfikowanych genetycznie roślin i

hodowlą takich zwierząt. Poniżej analizujemy zalety i wady GMO.

Co zyskujemy dzięki GMO?

Inżyniera genetyczna daje nam wiele korzyści. Umożliwia nie tylko wyższe plonowanie roślin, ale również zwiększa ich plenność. Ma również pozytywny wpływ na ludzkie zdrowie. Oto kilka przykładowych zastosowań dających pogląd na korzystny wpływ GMO:

- ***Rośliny uprawne posiadające geny oporności na działanie herbicydów i pestycydów mogą być przyskane przez rolników środkami niszczącymi wyłącznie chwasty i szkodniki, a nie uprawiany gatunek.*** Jest to znacznie mniej praco- i czasochłonny proces niż tradycyjne mechaniczne plewienie. Ma również wpływ na powiększenie plonu, czyli zysku rolnika.

- ***Jeżeli rośliny i zwierzęta przeznaczone do konsumpcji zawierałyby geny zwiększające ich wartości odżywcze, ludzie byłiby zdrowsi.***

Zwiększenie wartości odżywczych roślin uprawnych może stanowić olbrzymi krok dla ubogich krajów, w których dzieci z powodu niedożywienia są bardziej narażone na choroby. Jednym z najsłynniejszych przykładów zwiększenia wartości odżywczych za pomocą inżynierii genetycznej jest stworzenie „złotego ryżu” — odmiany ryżu zawierającej podwyższoną ilość karotenu, składnika niezbędnego do wytwarzania witaminy A. Według raportów Światowej Organizacji Zdrowia co roku niedobór witaminy A powoduje utratę wzroku u 250 000 – 500 000 dzieci. Firma, która wyhodowała złoty ryż, przekazuje go ubogim krajom za darmo, dzięki czemu mogą same hodować tę roślinę i dostarczać ją potrzebującym.

• ***Gdyby przekazać zwierzętom hodowlanym geny zwiększające ilość mięsa, jajek i mleka, żywność zaspokajałaby potrzeby rozwijającej się populacji, a dzięki większej wydajności produkcji zwierzęcej rolnicy lepiej by zarabiali.*** Obecnie wiele krów mlecznych otrzymuje rekombinowany wołowy hormon wzrostu (ang. rBGH — *recombinant bovine growth hormone*) w celu zwiększenia wytwarzania mleka^[2]. BGH jest naturalnym hormonem wytwarzanym przez krowy; rBGH to nieznacznie zmieniona wersja pierwotnego hormonu, produkowana przez genetycznie modyfikowane bakterie. Po podaniu rBGH krowom produkcja mleka w organizmie zwiększa się od 10 do 15 procent.

Skąd się biorą obawy przed GMO?

Kontrowersje wzbudzane przez GMO dotyczą głównie kwestii etycznych. Lista wątpliwości związanych z modyfikacjami genetycznymi jest tak długa i poważna, że w niektórych krajach Unii Europejskiej zabroniono sprzedaży produktów GMO. Wśród wątpliwości związanych z tą technologią można wymienić następujące:

• ***Stosowanie GMO w rolnictwie zwiększa w nieuczciwy sposób przewagę wielkich gospodarstw i zmusza rolników małopowierzchniowych do zmiany branży.*** Firmy produkujące ziarna używane w inżynierii genetycznej zachowują patenty związane z produktami. Cena takich nasion jest zazwyczaj znacznie wyższa od ceny ich naturalnych odpowiedników, przez co gospodarstwa wielkoobszarowe zdobywają przewagę na rynku. Problem ten staje się coraz poważniejszy wraz z wkraczaniem dużych gospodarstw z bogatych państw do krajów ubogich i konkutowaniem z małymi, lokalnymi rolnikami.

• **Wykorzystywanie GMO w rolnictwie sprzyja stosowaniu ryzykownych rozwiązań potencjalnie szkodliwych dla środowiska i zniechęca do korzystania ze sprawdzonych, bezpiecznych metod.**

Rolnicy posiadający uprawy odporne na herbicydy lub pestycydy korzystają głównie ze środków chemicznych, a nie z mechanicznego pielenia chwastów i naturalnych sposobów pozbywania się szkodników. Te związki chemiczne nie dość, że wpływają na stan zdrowia roślin i zwierząt znajdujących się w okolicy gospodarstw rolnych, ale mogą również dostać się do zasobów wody pitnej i zaszkodzić ludziom. Poza tym duże nasadzenia niewielu odmian roślin zmniejszają różnorodność genetyczną gatunków konsumpcyjnych, zwiększają ryzyko utraty źródła pożywienia w przypadku dużych katastrof, przez które dany gatunek wyginie.

• **Zwierzęta zmodyfikowane pod kątem zwiększenia ilości produkowanego mięsa, jajek lub mleka są narażone na problemy zdrowotne.**

Kanaliki mleczne krów dostających rBGH częściej ulegają infekcjom, dlatego zwierzęta te są leczone antybiotykami. Nadużywanie antybiotyków jest związane z ludzkim zdrowiem, ponieważ bakterie (również chorobotwórcze człowieka) wytwarzają oporność na często stosowane antybiotyki.

• **Zapłodnienie krzyżowe pomiędzy roślinami modyfikowanymi genetycznie a naturalnie występującymi w naturze może powodować przeniesienie genów oporności na dziko rosnące gatunki.**

Rolnicy mogą stawiać ogrodzenia, ale nie powstrzymają tym wiatru. Jeżeli roślina uprawna posiadająca gen oporności na herbicyd zapyli dziko rosnącą kuzynkę, to może powstać odporny gatunek chwastu, którego nie będziemy w stanie kontrolować.

• ***Podwyższona ilość hormonów wołowych zawartych w produktach mlecznych może mieć wpływ na zdrowie spożywających je osób.*** Po

wstrzyknięciu rBGH do organizmu krowy rośnie poziom insulinopodobnego czynnika wzrostu (IGF-1) zarówno w ciele, jak i w mleku. Ludzki organizm również produkuje tę substancję, a jej podwyższone ilości znaleziono u pacjentów chorujących na pewne odmiany raka. Ludzie obawiają się, że zwiększona ilość tego hormonu w mleku modyfikowanych genetycznie krów może zwiększyć ryzyko zapadnięcia na raka, ale nie odkryto bezpośredniego związku pomiędzy stężeniem IGF-1 w mleku a nowotworami.

• ***Genetycznie modyfikowane jedzenie może spowodować powstanie nowych alergenów, o których sami producenci nie będą wiedzieli.*** Osoby cierpiące na alergię pokarmową muszą bardzo uważnie dobierać żywność. Jednak w przypadku produktów GMO istnieje możliwość, że dodane geny zmieniły cechy jedzenia w sposób niespodziewany dla samych producentów i nie zostały opisane na etykiecie.

• ***Strach przed „nienaturalnymi” metodami i nowymi technologiami sprawia, że ludzie obawiają się produktów modyfikowanych genetycznie, co powoduje obniżenie ich wartości rynkowej.***

Niektórzy uważają, że ludzkość zbyt mocno zaburza równowagę z przyrodą — twierdzą, że należy zwolnić tempo i nie wywierać tak wielkiego wpływu na cały świat. Pewne osoby wierzą, że należy przez to odrzucić technologię zmieniającą naturę istniejących gatunków.

Genetyczne odciski palców

Chociaż genomy wszystkich ludzi cechują się niesamowitym podobieństwem — ściślej mówiąc, pokrywają się w 99,9% — każdy człowiek posiada jakieś unikatowe sekwencje, które czynią go wyjątkowym. Każdy człowiek posiada **genetyczny odcisk palca**, czyli własny profil genetyczny. Takie ślady

diametralnie różniące się pomiędzy poszczególnymi osobami znajdują się w 13 miejscach genomu. Analizując wszystkie 13 lokacji (nie jedną czy dwie), naukowcy są w stanie zmniejszyć prawdopodobieństwo przypadkowego trafienia na dwie takie same badane próbki.

Genetyczne odciski palców bardzo przydają się w **technikach śledczych**, czyli dziedzinie polegającej na zbieraniu i analizowaniu dowodów w celu wykrywania przestępców. Rozwiązywanie zbrodni nie jest jednak jedynym przeznaczeniem genetycznych odcisków palców. Inne równie interesujące zastosowania to na przykład:

- identyfikowanie nierozpoznawalnych wzrokowo ofiar katastrof przyrodniczych lub innych,
- sprawdzanie ojcostwa, macierzyństwa oraz innych relacji rodzinnych,
- badanie żywności pod kątem zastosowania modyfikacji genetycznych (GMO),
- wykrywanie szkodliwych drobnoustrojów w pożywieniu i wodzie,
- tworzenie genetycznych drzew genealogicznych różnych gatunków roślin uprawnych i zwierząt hodowlanych,
- wykrywanie obecności gatunków zagrożonych lub chronionych wśród materiałów skonfiskowanych kłusownikom,
- wykrywanie fałszerstw żywności — zamieniania składników, nieprawdziwej deklaracji pochodzenia produktu itp.

Przypisy:

[1] Tak zwany plazmid, pozachromosomowy fragment DNA, występujący głównie w komórkach prokariotycznych, ale spotykany jest również u niektórych eukariontów — *przyp. tłum.*

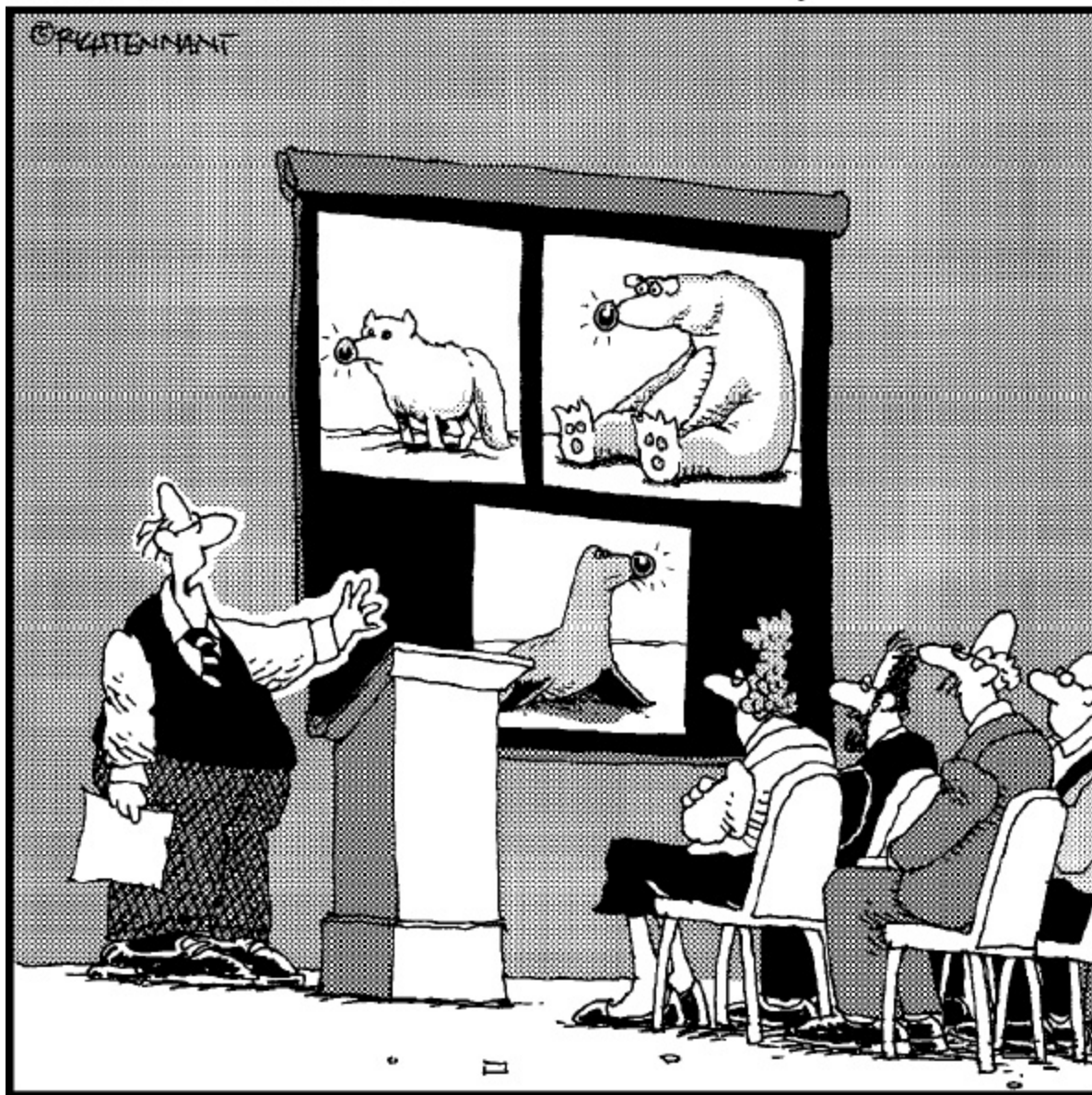
[2] W Unii Europejskiej jego stosowanie jest zakazane od 01.01.2000 r. — *przyp. tłum.*

Część III

To malutki, ściśle zintegrowany świat

The 5th Wave

By Rich Tennant



Jak państwo widzą, mutacja występuje
u wielu gatunków, ale w szczególności
u mieszkańców bieguna północnego

W tej części...

Życie na Ziemi istnieje w najróżniejszych postaciach. Jest spotykane niemal w każdym zwiedzonym przez człowieka środowisku (a nawet w tych jeszcze nieodwiedzonych), począwszy od głębokich, mrocznych jaskiń zatopionych

przez oceany, aż do gorących źródeł Parku Narodowego Yellowstone. Wszystkie te cudowne w swej różnorodności istoty są ze sobą wzajemnie powiązane w odwiecznych cyklach obiegu materii i energii. W tej części przygotuj się na analizę różnorodności (oraz integracji) życia na Ziemi.

Organizmy, które zapewnią sobie przetrwanie, rozmnażają się, wydając na świat potomstwo stworzone na ich podobieństwo. Wraz ze zmianami zachodzącymi w środowisku modyfikowane są wymagania związane z przetrwaniem, przez co populacje organizmów podlegają ciągłym przemianom. W tej części wyjaśnimy również związki pomiędzy żywymi istotami w czasie i przestrzeni.

Rozdział 10.

Różnorodność biologiczna i systematyka organizmów żywych

.....

W tym rozdziale:

- ▶ przyjrzyś się różnorodności biologicznej,
 - ▶ poznasz rozmaite formy życia,
 - ▶ dowiesz się, w jaki sposób wszystkie żywe organizmy tworzą grupy systematyczne.
-

Jako istoty żywe jesteśmy ściśle związani ze światem przyrody. Mimo to przekształcając środowisko wedle własnego uznania i potrzeb, sprawiamy, że jest ono coraz mniej gościnne dla innych gatunków.

Ten rozdział ma za zadanie pomóc Ci w zrozumieniu znaczenia bioróżnorodności dla przyszłości człowieka na Ziemi. Masz okazję, aby zapoznać się z różnorodnością form życia wokół Ciebie oraz dowiedzieć się, w jaki sposób naukowcy tworzą system klasyfikacji wszystkich organizmów mieszczących się na jednym drzewie życia.

Różnorodność biologiczna — dzięki różnicom stajemy się coraz silniejsi

Różnorodność organizmów żywych nazywana jest czasami **bioróżnorodnością**. Naukowcy zajrzeli w niemal każdy zakątek świata — począwszy od ciemnych jaskiń, poprzez bujnie lasy Amazonii, aż po oceaniczną głębię — i w każdym z tych miejsc znajdowali życie. W najmroczniejszych pieczarach, gdzie nie dociera nawet odrobina światła, żyją bakterie pozyskujące energię z minerałów rozpuszczonych w skałach. W puszczy amazońskiej istnieją rośliny czepiające się koron drzew, zbierające wodę i tworzące niewielkie oczka wodne będące domem dla owadów i żab drzewnych. Głębiny oceaniczne zamieszkują ślepe ryby oraz inne zwierzęta żyjące na szczątkach opadających na dno niczym śnieg pochodzący z innego, słonecznego świata. Każde z wymienionych środowisk posiada wyjątkowy zestaw zasobów oraz wyzwań, a z powodu

nieprawdopodobnych metod przystosowania się organizmów do tych warunków okazuje się, że życie na Ziemi cechuje się olbrzymią różnorodnością.

W kolejnych ustępach wyjaśniamy powody olbrzymiego znaczenia bioróżnorodności, ale także przyjrzymy się szkodliwemu wpływowi człowieka na nią i działaniom podjętym w celu jej chronienia.

Szanowanie bioróżnorodności



Większość ludzi postanawia żyć razem z podobnymi istotami — na przykład z innymi ludźmi, psami, kotami czy zwierzętami hodowlanymi. Organizmy znacznie się od nas różniące, takie jak ślimaki, owady czy bakterie, wydają się być denerwujące, obrzydliwe, dziwne, a nawet przerażające. Z drugiej strony niektóre osoby fascynują się różnorodnością życia na Ziemi i codzienną tradycją staje się dla nich oglądanie w telewizji programów przyrodniczych; odwiedzanie zoo, akwariów oraz ogrodów botanicznych; a nawet podróże do różnych miejsc na świecie po to, aby obserwować wyjątkowe organizmy w ich naturalnym środowisku.

Bez względu na to, co sądzisz o bioróżnorodności, jest ona bardzo ważna — i godna szacunku — z następujących powodów:

- **Kondycja naturalnych układów zależy w znacznym stopniu od bioróżnorodności.** Naukowcy, którzy badają poziomy integracji pomiędzy różnymi typami istot żywych a ich środowiskiem (patrz rozdział 11.), uważają, że różnorodność biologiczna odgrywa istotną rolę w utrzymywaniu równowagi pomiędzy różnymi układami. Każdy typ organizmu pełni określoną funkcję w swoim środowisku, a zniknięcie choćby jednego gatunku może prowadzić do bardzo poważnych reperkusji.
- **Wiele rodzajów gospodarki jest zależnych od środowiska naturalnego.** Cały wielki sektor gospodarki zwany **ekoturystyką** opiera się na przygotowywaniu wycieczek po obszarach pozostawionych pod wpływem środowiska naturalnego oraz na omawianiu po drodze lokalnych zjawisk przyrodniczych.
- **Wiele lekarstw pochodzi od innych organizmów.** Na przykład przeciwrakowy lek taksol pierwotnie był pozyskiwany z

kory cisu pacyficznego, a środek nasercowy digitalina jest otrzymywany z naparstnicy.

- ***Bioróżnorodność sprawia, że natura jest piękna.*** Naturalne układy biologiczne posiadają wartość estetyczną, która cieszy oczy i wycisza umysł przebywający we współczesnym, zdominowanym przez technologię świecie.

Przegląd zagrożeń wynikających z działalności człowieka

Bezpośrednim skutkiem rozwoju populacji ludzkiej i wynikającego z tego coraz większego zapotrzebowania na zasoby (w rozdziale 11. przyglądamy się procesowi powiększania się populacji człowieka) jest to, że liczebność osobników różnych gatunków kurczy się coraz bardziej. Poniżej wymieniamy działania człowieka, które stanowią zagrożenie dla bioróżnorodności:

- ***Rozwój człowieka wpływa na zmniejszanie się wielkości i różnorodności naturalnych siedlisk.*** Ludzie potrzebują przestrzeni życiowej i gospodarstw do produkowania żywności. Aby spełnić te potrzeby, wypalamy lasy deszczowe, osuszamy mokradła, wycinamy puszcze, przekształcamy doliny w autostrady i orzemy łąki. W każdym przypadku dostosowywania terenu do naszych potrzeb bezpowrotnie niszczymy siedliska innych gatunków. Nawet jeśli niektóre pozostają, to małe i rozproszone. Taka **fragmentacja siedlisk** ma największy wpływ na duże zwierzęta, takie jak goryle górskie czy tygrysy, które muszą podróżować po rozległych obszarach, aby przeżyć.
- ***Odpady produkowane przez człowieka zanieczyszczają powietrze i wodę.*** Samochody i fabryki generują spaliny zatruwające powietrze. Metale pochodzące z górnictwa oraz związki chemiczne z fabryk, gospodarstw i domów dostają się do wody gruntowej. Zanieczyszczenia, które wnikają do wody i powietrza, obiegają cały świat i krzywdzą wiele gatunków, w tym samego człowieka.
- ***Nadmierna eksploatacja różnych gatunków w celu zapewnienia pożywienia i innych materiałów konsumpcyjnych doprowadza niektóre gatunki do granicy wyginięcia.*** Organizmy żywe, takie jak drzewa czy ryby, są uznawane za zasoby odnawialne, ponieważ się rozmnażają.

Jednak jeżeli będziemy je eksploatować szybciej, niż są w stanie się zregenerować, liczba pojedynczych osobników będzie się zmniejszać. Przetrwanie gatunku przy zbyt małej populacji staje się mało prawdopodobne. Odpowiedni przykład: wiele wielkich łowisk, takich jak Grand Banks na wybrzeżu wyspy Nowa Fundlandia, zostało zamkniętych, co oznacza, że ławice ryb zmalały do takiego stopnia, że nie dało się ich już wyławiać, i nie wiadomo, czy kiedykolwiek się odnowią.

• ***Pewne organizacje od czasu do czasu przenoszą gatunki na nowe tereny. Gatunek wprowadzony*** to obcy gatunek wpuszczony do nowego środowiska. Wprowadzone gatunki wykazujące dużą agresywność i tendencje do przejmowania siedlisk nazywane są **gatunkami inwazyjnymi**. Posiadają one zazwyczaj olbrzymi wpływ na środowisko i powodują zmniejszenie liczebności **gatunków natywnych** (pierwotnych mieszkańców danego siedliska); mogą także niszczyć uprawy rolne i przenosić choroby. Przykładem gatunku inwazyjnego jest eichornia gruboogonkowa (hiacynt wodny), czyli roślina wprowadzona w południowej części Stanów Zjednoczonych w 1884 roku podczas wystawy światowej w Nowym Orleanie. Eichornia rozprzestrzeniła się akweduktami po całych południowych Stanach Zjednoczonych i blokowała przepływ wody w rzekach i jeziorach z powodu nagromadzenia się olbrzymiej masy roślinnej, do tego spowalniała bieg wody, ograniczała dostęp światła organizmom przydatnym, a także zmniejszała całokształt bioróżnorodności. Obecnie na Florydzie ekipy konserwujące starają się bez przerwy plewić eichornię po to, aby jeziora i rzeki mogły stanowić miejsca wypoczynku dla ludzi oraz dom dla innych organizmów.

Wymieranie gatunków

Kumulacja wszystkich wpływów działalności człowieka na ziemski ekosystem powoduje zmniejszenie bioróżnorodności na globalną skalę. Szybkość wymierania gatunków wzrasta wraz z powiększaniem się cywilizacji ludzkiej. Nikt nie wie, jaką skalę osiągnie poziom wymierania z powodu działalności człowieka, ale niewątpliwie takie czynności jak polowanie czy rolnictwo już przyczyniły się do zniknięcia wielu gatunków organizmów.

Wielu naukowców uważa, że Ziemia przechodzi teraz okres szóstej **masowej ekstynkcji (masowego wymierania)**, czyli momentu w historii planety charakteryzującego się utratą znacznej liczby

gatunków (najbardziej znana masowa ekstynkcja wystąpiła 65 milionów lat temu i wiązała się z wymarciem dinozaurów). Zgodnie z teorią większość poprzednich masowych ekstynkcji była skutkiem drastycznych zmian klimatycznych, a obecne wymieranie (takich współczesnych gatunków jak nosorożec czarny, lampart zanzibarski czy ropucha złota) rozpoczęło się w wyniku zasiedlania nowych terenów przez człowieka, ale jego szybkość może wzrastać z powodu globalnego ocieplenia.

Obecnie obserwowana utrata bioróżnorodności może mieć znacznie poważniejsze konsekwencje niż ekstynkcja jednego gatunku. Istoty żywe łączą ze sobą i ze środowiskiem wzajemne zależności związane ze zdobywaniem pożywienia i innych materiałów niezbędnych do przetrwania. Przykład: jeżeli istnienie jednego gatunku jest uzależnione od polowania na inny gatunek, wyginięcie zwierzęcy łownej pociągnie za sobą ekstynkcję populacji drapieżników.

Omówimy teraz dwie kategorie organizmów brane pod uwagę podczas omawiania problemów związanych z wymieraniem.

Gatunek kluczowy



Pewne gatunki są tak ściśle powiązane z innymi organizmami i środowiskiem, że ich wyginięcie powoduje całkowitą zmianę danego ekosystemu. Takie gatunki posiadające olbrzymi wpływ na zachowanie równowagi w przyrodzie nazywane są **gatunkami kluczowymi (zwornikowymi)**. Wraz z zanikiem bioróżnorodności gatunki kluczowe mogą wymierać, co skutkowałoby ekstynkcją znacznie większej liczby innych gatunków. Jeżeli bioróżnorodność spadnie poniżej pewnego poziomu, to zagrożone będzie istnienie życia na całej planecie.

Przykładem gatunku kluczowego jest rozgwiazda z gatunku *Pisaster ochraceus* żyjąca na północno-zachodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych. Organizmy te odżywiają się małżami przebywającymi w strefie międzyżyłkowej. Rozgwiazdy utrzymują liczebność małży na stałym poziomie, dzięki czemu w strefie międzyżyłkowej może żyć duża różnorodność innych organizmów wodnych. Gdyby zwierzęta te wymarły, nastąpiłby gwałtowny rozrost populacji małży i pozostałe organizmy morskie musiałyby ustąpić im miejsca.

Gatunek wskaźnikowy

Jednym ze sposobów badania stanu danego środowiska i



żyjących w nim organizmów jest obserwacja rozwoju **gatunków wskaźnikowych (bioindykatorów)**, czyli organizmów, których obecność lub jej brak w danym otoczeniu mówi nam o poziomie jego zanieczyszczenia^[1].

W północno-zachodnim obszarze Stanów Zjednoczonych poziom zanieczyszczenia starodrzewów jest mierzony obecnością puszczyka stokowego — organizmu, który żyje i znajduje pokarm jedynie w starych lasach liczących sobie setki lat. Z powodu postępującej wycinki lasów zmniejszającej ich liczebność i powierzchnię redukcji uległa również populacja puszczyka, przez co jego obecność jest wyznacznikiem nie tylko kondycji starego lasu, ale nawet jego istnienia. Oczywiście, takie starodrzewy stanowią dom nie tylko dla puszczyków stokowych — są schronieniem również dla wielu gatunków roślin, jak choćby świerka sitkajskiego i choiny zachodniej, oraz zwierząt, np. łosia, bielika amerykańskiego czy polatuchy (latającej wiewiórki). Starodrzewy chronią również środowisko, zapobiegając erozjom, powodziom oraz osunięciom ziemi; oczyszczają wodę; przyczyniają się do tego, że w przepływających przez nie rzekach mogą odbywać się tarła łososi. Jeżeli tego rodzaju starodrzewy zostaną wykarczowane, skutki będą dalekosiężne i bardzo negatywne dla okolicznych mieszkańców (nie tylko ludzkich).

Ochrona bioróżnorodności

Różnorodność biologiczna zwiększa szansę na przetrwanie przynajmniej części gatunków w obliczu gwałtownych zmian zachodzących w środowisku, dlatego jej ochrona powinna stanowić najwyższy priorytet. Jakie działania mogą podjąć ludzie w celu ochrony bioróżnorodności i czystości środowiska w czasach rosnących potrzeb cywilizacyjnych? Nikt nie zna wszystkich odpowiedzi, ale istnieje kilka pomysłów wartych rozpatrzenia.

- Pozostawianie dzikich siedlisk w spokoju oraz łączenie mniejszych habitatów za pomocą **korytarzy ekologicznych** (terenów lądowych i wodnych, takich jak doliny rzek, umożliwiających migrację lub wędrówkę zwierząt w poszukiwaniu pokarmu czy partnerów do rozrodu), dzięki czemu zwierzęta wymagające dużych siedlisk mogą się poruszać pomiędzy kilkoma mniejszymi.
- Wykorzystywanie istniejących technologii oraz wymyślanie nowych w celu zmniejszenia produkowanych

zanieczyszczeń oraz oczyszczania zniszczonych siedlisk. Technologie mające bardzo mały wpływ na zanieczyszczenie środowiska są nazywane **czystymi** lub **zielonymi technologiami**. Niektóre przedsiębiorstwa starają się już wdrożyć tego typu rozwiązania w celu zmniejszenia szkodliwego wpływu na przyrodę^[2].

- Wprowadzenie zrównoważonej działalności, np. w przetwórstwie, rybactwie, leśnictwie czy rolnictwie. Mówimy, że jakaś działalność jest **zrównoważona**, jeśli zapewnia zaspokojenie uzasadnionych potrzeb człowieka bez ryzyka uniemożliwienia zaspokojenia potrzeb przyszłych pokoleń.



Zgodnie z wielkim prawem pokoju (Irokezów) „ludzie muszą przewidywać skutki swoich działań nie tylko w ramach obecnego pokolenia, lecz również przyszłych, nienarodzonych pokoleń”. Często treść tego prawa jest następująco formułowana: „W każdym aspekcie musimy przewidywać wpływ naszych decyzji siedem pokoleń w przód”. Jedno pokolenie istnieje średnio przez 25 lat, zatem zgodnie z cytowanym prawem powinniśmy rozpatrywać wpływ naszych działań na świat za 175 lat.

- Kontrolowanie transportu organizmów w celu zapobieżenia wprowadzaniu nowych gatunków do obcych siedlisk. Oznacza to również pilnowanie „przypadkowych pasażerów”. Przykład: statki pływające pomiędzy portami często opróżniają zbiorniki balastowe na lądzie po to, aby przypadkiem nie wypuścić obcych organizmów w wodach docelowego portu.

Poznaj swoich sąsiadów — omówienie rodzajów organizmów

Życie na Ziemi jest zjawiskiem nieprawdopodobnie wprost zróżnicowanym, pięknym i złożonym. Do diaska, można poświęcić całe życie, poznając jedynie świat mikroorganizmów. Im bardziej zagłębiasz się w otaczający Cię świat istot żywych, tym bardziej zaczynasz doceniać podobieństwa występujące pomiędzy wszystkimi organizmami — a także fascynować się istniejącymi różnicami. W następnych ustępach pokrótce omówimy wszystkie główne rodzaje

istot żywych zamieszkujących naszą planetę; również usilnie zachęcamy, żebyś samodzielnie zgłębiała/zgłębiał ten temat.

Niedocenieni bohaterowie — bakterie



Większość ludzi kojarzy głównie bakterie chorobotwórcze, takie jak *Streptococcus pyogenes*, *Mycobacterium tuberculosis* czy *Staphylococcus aureus*^[3]. Mimo to zdecydowana większość gatunków bakterii jest nieszkodliwa dla człowieka. Odgrywają one natomiast olbrzymią rolę w utrzymaniu równowagi środowiska i zdrowia innych organizmów, w tym także ludzi. Bakterie fotosyntetyzujące mają olbrzymi wkład w światowym wytwarzaniu związków odżywczych i tlenu (w rozdziale 5. znajdziesz opis fotosyntezy), a żyjący w Twoim jelicie grubym gatunek *Escherichia coli* produkuje witaminy niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Jeśli więc się dobrze nad tym zastanowić, rośliny i zwierzęta nie mogłyby przetrwać bez bakterii.

Zasadniczo bakterie osiągają rozmiar od 1 do 10 mikrometrów, przez co są niedostrzegalne dla nieuzbrojonego oka. Nie posiadają jądra, dlatego na ich genom składa się kolistą nić DNA. Rozmnażają się bezpłciowo w procesie zwanym **podziałem poprzecznym**. Pewne gatunki wydzielają śluz spływający po ścianie komórkowej, dzięki czemu mogą „ślizgać się” po podłożu. Inne z kolei posiadają **wici** (biczykowate, białkowe wypustki), których używają do poruszania się w środowisku wodnym.

Bakterie wypracowały wiele różnych metod pozyskiwania energii oraz strategii przetrwania w warunkach ekstremalnych. Dzięki olbrzymiej różnorodności przemian metabolicznych zasiedliły dosłownie każdy rodzaj środowiska.

Bakteryjni imitatorzy — archeony

Archeony, podobnie jak bakterie, są prokariontami. Nie da się ich odróżnić od siebie wzrokowo, nawet jeśli będziesz je porównywać przez mikroskop elektronowy, ponieważ mają te same rozmiary i kształt, podobną budowę oraz rozmnażają się przez podział poprzeczny.

Aż do lat 70. ubiegłego wieku nikt nie zdawał sobie sprawy z istnienia archeonów; wcześniej uznawano wszystkie bezjądrowce za bakterie. W końcu jednak badacz Carl Woese zaczął porównywać kod genetyczny różnych gatunków prokariotów.

Wstrząsnął on światem biologów, prezentując wyniki sekwencji genetycznych, z których wyraźnie wynikało, że bezjądrowce dzielą się na dwie różne grupy — archeony i bakterie.

Pierwsze archeony zostały odkryte w ekstremalnych środowiskach (słonych jeziorach i gorących źródłach), więc są uznawane za **ekstremofile** („miłośników skrajności”), jednak od czasu ich odkrycia znajdują się praktycznie wszędzie. Żyją sobie szczęśliwie w podłożu znajdującym się przed Twoim domem oraz występują obficie w oceanach.

Archeony zostały odkryte względnie niedawno, dlatego naukowcy dopiero poznają ich rolę w środowisku, ale już teraz można powiedzieć, że są równie powszechne i przystosowane do środowiska jak bakterie.

Posmak czegoś znajomego — eukarionty

Zakładając, że nie zgłębiasz tajników biologii toalety, najprawdopodobniej najbliższe są Ci jądrowe formy życia, ponieważ codziennie masz z nimi kontakt. Po wyjściu z domu od razu rzuca się w oczy ogrom roślin i zwierząt (a także jeden czy dwa grzyby, jeśli przyjrzyj się uważniej).

Na poziomie komórkowym wszystkie eukarionty są niemal takie same. Posiadają podobną strukturę komórkową zawierającą jądro i organelle (budowa komórki jądrowca została opisana w rozdziale 4.), wykorzystują te same procesy metaboliczne (objaśnione w rozdziale 5.) oraz dzielą się mitotycznie i mejotycznie (obydwa rodzaje podziałów komórkowych omówiliśmy w rozdziale 6.).

Pomimo wymienionych podobieństw możemy się założyć, że wcale nie czujesz się podobna/podobny do marchwi. Masz do tego całkowite prawo. Różnice pomiędzy Tobą a marchwią decydują o rozdzieleniu Was do dwóch różnych królestw systematycznych. W rzeczywistości pomiędzy eukariontami istnieje tyle różnic, że wydzielono aż cztery odrębne królestwa.

- **Zwierzęta (*Animalia*)**. Zwierzęta to organizmy, których życie rozpoczyna się na poziomie komórki zwanej **zygotą**,

powstałej w wyniku zapłodnienia komórki jajowej przez plemnik. Zygota dzieli się, tworząc wielokomórkową, pustą w środku **blastulę**. Jeżeli zastanawiasz się, w którym momencie pojawiają się łuski, futro czy pazury, to wiedz, że te charakterystyczne zwierzęce elementy pojawiają się znacznie później, w momencie „definiowania” typu, rodziny i rzędu danego organizmu (więcej informacji na temat wspomnianych kategorii systematycznych znajdziesz w ustępie „Systematyzowanie życia na coraz mniejsze grupy”. Do królestwa zwierząt przynależą takie znajome organizmy jak psy, koty, jaszczurki, ptaki i ryby. Cechy charakterystyczne gatunku muszą być takie same u wszystkich jego przedstawicieli — również u ślimaków, robaków i gąbek.

- **Rośliny (*Plantae*)**. Rośliny są organizmami fotosyntetyzującymi rozpoczynającymi życie jako zarodki otoczone macierzystą tkanką. Ta definicja dotyczy wszystkich znanych Ci organizmów roślinnych: sosny, roślin kwiatowych (w tym również marchwi), traw, paproci i mchów. Wszystkie rośliny posiadają komórki otoczone celulozową ścianą komórkową. Rozmnażają się bezpłciowo, ale mogą również rozmnażać się w sposób płciowy (cykl życia i budowa roślin zostały omówione w rozdziale 20.).



Fragment definicji roślin wspominający o zarodku otoczonym przez macierzystą tkankę wyklucza większość glonów (np. wodorosty) z tego królestwa. Glony i rośliny są tak blisko spokrewnione, że większość ludzi nie widzi pomiędzy nimi różnicy, ale biolodzy przeważnie podkreślają odrębność obydwu kategorii organizmów.

- **Grzyby (*Fungi*)**. Grzyby nieco przypominają rośliny z wyglądu, ale nie mają zdolności fotosyntezy. Odżywiają się, rozkładając i trawiąc materię organiczną, najczęściej martwą, choć istnieją grzyby pasożytujące na żywych organizmach. Ich ściana komórkowa jest zbudowana z **chityny** (wytrzymałego wielocukru zawierającego azot), co sprawia, że ich otoczka komórkowa jest bardzo „sztywna”. Do tego królestwa zaliczamy klasyczne grzyby, pleśnie spotykane na chlebie czy serze, a także chorobotwórcze rdze. Przedstawicielami królestwa grzybów są również drożdże, chociaż rozwijają się w odmienny sposób

(większość grzybów tworzy włókniste struktury, a drożdże przyjmują kształt małych kuleczek).

- **Protisty (Protista).** W królestwie Protista są umieszczane wszystkie pozostałe organizmy jądrowe. Poważnie. Biolodzy badali rośliny, zwierzęta oraz grzyby przez bardzo długi czas i już dawno temu zdefiniowali te trzy królestwa, ale istnieje jeszcze mnóstwo organizmów nieklasyfikujących się do żadnej ze wspomnianych grup. W małej kropli wody istnieje cały świat mikroskopijnych protistów. Jest to tak liczna grupa, że niektórzy naukowcy sugerują podzielenie ich na jedenaście osobnych królestw. Do tej pory jednak nikt tego nie dokonał i całe szczęście, bo ciężko byłoby Ci zapamiętać nazwy piętnastu różnych królestw eukariontów.

A co z wirusami?

Czas na zagadkę. Co to jest: zawiera materiał genetyczny, istnieje w miliardach egzemplarzy, zachowuje się jak pasożyt, ale nie jest istotą żywą? Odpowiedź brzmi: wirus! Zgadza się, te małe, wredne byty wywołujące najróżniejsze choroby, począwszy od zespołu nabytego niedoboru odporności (ang. AIDS — *Acquired Immunodeficiency Syndrome*), poprzez zatrucia pokarmowe i klasyczne przeziębienie, aż do pewnych odmian raka, mogą być najskuteczniejszymi pasożytami na świecie. Jednak korzystając z definicji życia, można stwierdzić, że wirusy nie są żywymi organizmami, ponieważ nie rozmnażają się poza komórką gospodarza.

W przeciwieństwie do istot żywych wirusy nie mają budowy komórkowej. Składają się na nie jedynie małe odcinki DNA lub RNA zabezpieczone otoczką białkową. Z powodu naprawdę niewielkich rozmiarów — są znacznie mniejsze od bakterii — nie można ich zobaczyć nawet za pomocą mikroskopu optycznego.

Nikt nie wie, w jaki sposób wyewoluowały wirusy. Niektórzy badacze sądzą, że pierwotnie mogły to być wewnątrzkomórkowe pasożyty, które tak się wydoskoniły w pasożytowaniu, że do przetrwania zaczęły im wystarczać jedynie kwas nukleinowy. Inni uważają, że są to komórkowi „uciekinierzy” — geny, które wydostały się z komórki, ale nie mogą się replikować poza nią. Zgodnie z kolejną teorią wirusy mogą reprezentować alternatywną formę organizmu powstałą u samego źródła życia, jeszcze przed ewolucją komórki. Więcej informacji na temat infekcji wirusowej znajdziesz w rozdziale 17.

Wspinaczka po drzewie życia — systematyka organizmów

Biolodzy, podobnie jak osoba rozrysowująca drzewo genealogiczne rodziny w celu ustalenia sieci pokrewieństw między rodzicami, dziadkami i innymi członkami rodziny, wykorzystują **drzewo filogenetyczne** (schemat ukazujący relacje pomiędzy różnymi

grupami organizmów) do ukazania zależności pomiędzy różnymi organizmami. Dzięki takiemu „drzewu życia” możliwe jest uporządkowanie różnych gatunków istot żywych zamieszkujących Ziemię i pogrupowanie ich w logiczne kategorie systematyczne.

Prawdopodobnie znasz relacje pomiędzy poszczególnymi członkami swojej rodziny, biolodzy natomiast korzystają z różnych tropów w celu wyśledzenia powiązań pomiędzy poszczególnymi grupami organizmów. Wśród tych tropów najczęściej napotykane są następujące:

- **Budowa anatomiczna.** Struktury porównywane przez naukowców mogą być bardzo duże (np. pióra) albo tak małe jak ściana komórkowa (budowa ściany komórkowej i innych elementów komórki została opisana w rozdziale 4.). Na przykład organizmy posiadające pióra są ze sobą wzajemnie spowinowacane i zaliczane do grupy zwanej ptakami.



W określaniu powinowactwa szczególnie ważną rolę odgrywają elementy rozrodcze.

- **Składniki chemiczne.** Pewne organizmy wytwarzają unikatowe związki chemiczne. Na przykład jedynie komórki bakteryjne produkują hybrydową cząsteczkę białkowo-cukrową, zwaną peptydoglikanem. Jeżeli biolodzy natrafią na organizm wytwarzający tę substancję, to z łatwością zaklasyfikują go jako bakterię.

- **Informacja genetyczna.** Kod genetyczny danego organizmu definiuje jego cechy, zatem odczytując sekwencję DNA, badacze mogą od razu odnaleźć źródło różnicy pomiędzy różnymi gatunkami. Nawet tak pozornie odmienne organizmy jak Ty i *Escherichia coli* posiadają pewne cechy wspólne. Na przykład wszystkie organizmy żywe wykorzystują rybosomy w biosyntezie białek, co oznacza, że biolodzy mogą odczytać gen kodujący jedno z ludzkich białek rybosomalnych i porównać go z analogicznym genem wykorzystywanym przez *E. coli*.



Im więcej **cech wspólnych** posiadają dwa organizmy, tym bliżej są ze sobą spokrewnione.

W oparciu o podobieństwa anatomiczne, komórkowe, biochemiczne i genetyczne naukowcy klasyfikują organizmy w grupy odzwierciedlające ewolucję życia na Ziemi. Zgodnie z dotychczas uzyskanymi dowodami

wszystkie współczesne organizmy pochodzą od wspólnego przodka, który powstał około 4 miliardów lat temu. Cała różnorodność obecnego życia jest ze sobą spowinowacana właśnie z powodu genezy od wspólnego przodka.



W poniższych ustępach przyjrzymy się systematyce organizmów oraz wyjaśnimy, w jaki sposób każdemu gatunkowi jest nadawana nazwa systematyczna.

Spacer po domenach

Stopień pokrewieństwa pomiędzy dwoma gatunkami można określić po ich pozycjach na drzewie filogenetycznym.

- **Każdy porównywany organizm lub grupa znajduje się na określonej gałęzi drzewa.** Jedna gałąź jest zarezerwowana dla zwierząt, a inna dla roślin.
- **Im mniejsza odległość występuje pomiędzy porównywanymi grupami, tym są one ze sobą bardziej spokrewnione.** Na drzewie filogenetycznym dystans dzielący zwierzęta od bakterii jest o niebo większy niż w przypadku odległości pomiędzy zwierzętami a roślinami, z tego więc wynika, że zwierzęta są znacznie bardziej spokrewnione z roślinami niż z bakteriami.
- **Jeżeli dwa odgałęzienia łączą się ze sobą, to organizmy reprezentowane przez obydwie odnogi pochodzą od wspólnego przodka.** Grupy posiadające znacznie oddalony wspólny punkt rozdzieliły się wcześniej niż grupy, których wspólny punkt jest położony w niewielkiej odległości.

Po porównaniu kodu genetycznego różnych grup organizmów naukowcy odkryli, że istoty żywe należą do jednej z trzech głównych grup, zwanych **domenami**. Te trzy domeny życia to:

- **Bakterie (Bacteria).** Są to organizmy bezjądrowe (czyli nieposiadające otoczki jądrowej wokół nici DNA; więcej informacji na temat komórek prokariotycznych znajdziesz w rozdziale 4.), najczęściej jednokomórkowe. Większość bakterii posiada ścianę komórkową zbudowaną z peptydoglikanów.
- **Archeony (Archaea).** Należą do nich jednokomórkowe prokaryoty. Archeony wykazują różnice na poziomie

genetycznym, a także produkują nieco inne substancje chemiczne — między innymi ich ściana komórkowa nie zawiera peptydoglikanów.

- **Jądownce (*Eucarya*)**. Organizmy zaliczane do eukariontów mogą być jedno- lub wielokomórkowe; w obydwu przypadkach ich komórka zawiera jądro (DNA jest oddzielone błoną od cytoplazmy; budowa komórki eukariotycznej została omówiona w rozdziale 4.). Zaliczamy do nich dobrze wszystkim znane grupy, takie jak zwierzęta, rośliny, grzyby czy glony.

Systematyzowanie życia na coraz mniejsze grupy

Wspaniałą jest możliwość posegregowania trzech największych i najmniej ze sobą spowinowaconych grup organizmów w domeny (które zostały omówione w poprzednim ustępie), ale w celu dokładniejszej analizy różnic pomiędzy poszczególnymi grupami organizmów biolodzy potrzebowali jakichś mniejszych jednostek systematyki. Dlatego właśnie powstały **rangi taksonomiczne** — system nazewnictwa pozwalający na grupowanie organizmów pod kątem ich związków ewolucyjnych. Zgodnie z klasyfikacją systematyczną istoty żywe zostały przydzielone do największych i najobszerniejszych grup, a następnie ich przynależność jest uściślana do coraz bardziej szczegółowych oraz mniejszych rang.



Poniżej opisujemy rangi taksonomiczne w kolejności malejącej (pamiętaj, że organizmy są umieszczane w danej randze w oparciu o podobieństwa występujące pomiędzy wszystkimi członkami danej rangi. Cecha opisująca daną kategorię taksonomiczną musi być wspólna dla wszystkich opisywanych przez nią organizmów.

- **Domena (*Dominium*)**. Domena opisuje organizmy posiadające podobieństwa w wielu fundamentalnych cechach, na przykład w składzie chemicznym czy budowie komórki. Na przykład organizmy zaklasyfikowane do domeny *Eucarya* różnią się od przedstawicieli domen *Bacteria* i *Archaea* obecnością jądra komórkowego, rodzajem cząsteczek spotykanych w ścianie i błonie komórkowej, a także mechanizmami biosyntezy białek.

- **Królestwo (*Regnum*)**. W królestwach są zebrane organizmy posiadające podobne etapy rozwoju oraz strategie odżywiania się.

Na przykład organizmy z królestwa zwierząt (*Animalia*) różnią się od przedstawicieli królestwa roślin (*Plantae*) rozwojem młodych osobników, a także możliwością wytwarzania pokarmu na drodze fotosyntezy przez rośliny oraz koniecznością pobierania pokarmu ze środowiska zewnętrznego przez zwierzęta (ranga królestwa najbardziej się przydaje w przypadku eukariontów, gdyż organizmy prokariotyczne nie zostały jeszcze wystarczająco dobrze poznane).

- **Typ (*Phylum* — stosowany w zoologii)/gromada (*Divisio* — stosowany w botanice).** Rangi te dzielą organizmy pod względem kluczowych cech rozróżniających główne grupy w królestwie. Na przykład w królestwie roślin (*Plantae*) rośliny okrytozalążkowe (*Magnoliophyta/Angiospermae*) stanowią inną gromadę niż rośliny nagozalążkowe (*Gymnospermae*).

- **Gromada (*Classis* — stosowany w zoologii)/klasa (*Classis* — stosowany w botanice).** Rangi te dzielą organizmy pod względem kluczowych cech rozróżniających główne grupy w typie/gromadzie. Na przykład w gromadzie okrytozalążkowych (*Magnoliophyta*) część roślin posiada dwa listki zarodkowe (dwuliścienne — *Magnoliopsida*), a część tylko jeden (jednuliścienne — *Liliopsida*).

- **Rząd (*Ordo*).** Ranga ta dzieli organizmy pod względem kluczowych cech odróżniających główne grupy w gromadzie/klasie. Na przykład w klasie dwuliściennych (*Magnoliopsida*) magnoliowce (*Magnoliales*) należą do innego rzędu niż pieprzowce (*Piperales*) z powodu różnic w budowie kwiatu i pyłku.

- **Rodzina (*Familia*).** Ranga ta dzieli organizmy pod względem kluczowych cech rozróżniających główne grupy w rzędzie. Przykładowo w rzędzie magnoliowce (*Magnoliales*) rodzina muszkatolowcowatych (*Myristicaceae*) różni się od magnoliowatych (*Magnoliaceae*) budową kwiatu.

- **Rodzaj (*Genus*).** Ranga ta dzieli organizmy pod względem kluczowych cech rozróżniających główne grupy w rodzinie. Na przykład w rodzinie magnoliowatych (*Magnoliaceae*) tulipanowce (*Liliodendron*) należą do innego rodzaju niż magnolie (*Magnolia*), gdyż mają inaczej zbudowane kwiaty.

- **Gatunek (*Species*).** Gatunek jest rangą rozróżniającą organizmy eukariotyczne w oparciu o ich zdolność krzyżowania

się, z zastrzeżeniem, że powstałe potomstwo jest płodne. Przechadzając się po ogrodzie botanicznym, możesz zaobserwować różne kolory kwiatów magnolii pośredniej (*Magnolia soulangelana*), które są uznawane za jeden gatunek, ponieważ mogą się ze sobą krzyżować, a ich potomstwo może się również rozmnażać.



Naukowcy „układają” organizmy żywe podobnie jak Ty możesz układać ubranie. Na początku dzielisz odzież na kupki spodni, koszul, skarpet i butów. Następnie porządkujesz te kupki nieco dokładniej, na przykład koszule z krótkim rękawem oddzielasz od tych z długim rękawem. Następnie możesz je segregować pod kątem materiału, koloru i tak dalej. W pewnym momencie otrzymasz bardzo wiele niewielkich stosików zawierających podobne ubrania — na przykład dwie niebieskie koszulki z krótkimi rękawami i zapinane na guziki. Wszystkie Twoje ubrania byłyby w takim przypadku posegregowane hierarchicznie, od głównej kategorii ubrań aż do niebieskich koszul mających krótkie rękawy i guziki.



Ludzie układają różne zabawne zdania w celu zapamiętania hierarchii taksonomicznej. Oto jedno z nich (dla hierarchii zoologicznej): **Do Którego Teatru Gna Rodzina Radosnego Rolnika Gwizdać?** Z kolei dla roślin może to być: **Do Której Godziny Krawiec Robi Różowe Rajstopy Gosi?** Pierwsza litera każdego wyrazu symbolizuje pierwszą literę danej rangi taksonomicznej.

Wszystkie organizmy żywe są ze sobą powiązane, ale stopień pokrewieństwa jest wyznaczony przez względną pozycję w hierarchii taksonomicznej. Na przykład Ty i marchew znajdujecie się w domenie jądrowców, więc zdecydowanie macie ze sobą jakieś cechy wspólne, ale jeszcze więcej łączy Cię z organizmami przynależącymi do królestwa zwierząt.

W tabeli 10.1 znajdziesz klasyfikację systematyczną (**taksonomię**) Ciebie, czyli człowieka, psa, marchwi i pałeczki okrężnicy, czyli *Escherichii coli*.

Tabela 10.1. Porównanie taksonomii kilku wybranych gatunków

Grupa taksonomiczna	Człowiek	Pies	Marchew	E. coli
Domena	Jądrowce	Jądrowce	Jądrowce	Bakterie (<i>Bacteria</i>)

	(Eukarya)	(Eukarya)	(Eukarya)	
Królestwo	Zwierzęta (<i>Animalia</i>)	Zwierzęta (<i>Animalia</i>)	Rośliny (<i>Plantae</i>)	Eubakterie (<i>Eubacteria</i>)
Typ/Gromada	Strunowce (<i>Chordata</i>)	Strunowce (<i>Chordata</i>)	Okrytozalążkowe (<i>Magnoliophyta</i>)	Proteobakterie (<i>Proteobacteria</i>)
Gromada/Klasa	Ssaki (<i>Mammalia</i>)	Ssaki (<i>Mammalia</i>)	Dwuliścienne (<i>Magnoliopsida</i>)	Gammaproteobakterie (<i>Gammaproteobacteria</i>)
Rząd	Naczelne (<i>Primates</i>)	Drapieżne (<i>Carnivora</i>)	Selerowce (<i>Apiales</i>)	<i>Enterobacteriales</i>
Rodzina	Człowiekowate (<i>Hominidae</i>)	Psowate (<i>Canidae</i>)	Selerowate (<i>Apiaceae</i> albo <i>Umbelliferae</i>)	<i>Enterobacteriaceae</i>
Rodzaj	<i>Homo</i>	Wilk (<i>Canis</i>)	Marchew (<i>Daucus</i>)	<i>Escherichia</i>
Gatunek	Człowiek rozumny (<i>H. sapiens</i>)	Pies domowy (<i>C. familiaris</i>)	Marchew zwyczajna (<i>D. carota</i>)	Pałeczka okrężnicy (<i>E. coli</i>)

Ze wszystkich organizmów wymienionych w tabeli 10.1 najwięcej Cię łączy z psem (nie licząc innych ludzi). Obydwoje posiadacie rdzeń kręgowy (typ *Chordata*) oraz jesteście ssakami (gromada *Mammalia*), co oznacza, że ciała okrywa owłosienie, a samice wytwarzają mleko. Różni Was jednak wiele cech, jak chociażby uzębienie klasyfikujące Ciebie do rzędu *Primates*, a psa — do *Carnivora*. Jeżeli porównasz siebie do marchwi, zauważysz pewne podobieństwa w budowie komórkowej, sprawiające, że należycie do domeny *Eukarya*, ale poza tym niewiele Was łączy.



Najwięcej podobieństw łączy dwa organizmy należące do tego samego gatunku. W przypadku większości eukariontów przedstawiciele tego samego gatunku mogą się skutecznie krzyżować i wydawać na świat zdolne do rozmnażania potomstwo. Bakterie i archeony nie rozmnażają się płciowo^[4], a więc w ich przypadku pokrewieństwo ustala się za pomocą podobieństw chemicznych i genetycznych.

Zabawa w nomenklaturę

Po odkryciu nowego organizmu naukowcy nadają mu nazwę systematyczną. Jest to metodyka opracowana w latach 50. XVIII wieku

przez szwedzkiego naturalistę — Karola Linneusza. Stworzył on klasyfikację organizmów żywych zawierającą niektóre z do dzisiaj używanych rang systematycznych, np. królestwo czy gromada/klasa. Zaproponował również **nazewnictwo binominalne**, które jest współcześnie używane przez biologów do nadawania dwuczłonowych nazw nowo odkrywanym gatunkom.

Zgodnie z tą nomenklaturą pierwszym członem nazwy organizmu jest rodzaj, do jakiego przynależy, a drugim nazwa gatunku, czyli tak zwana **nazwa rodzajowa**. Podczas nadawania nazwy systematycznej naukowcy przestrzegają następujących reguł^[5]:

- Nazwa rodzaju jest zawsze pisana dużą literą.
- Nazwa rodzaju zawsze musi poprzedzać nazwę gatunku, chociaż można ją skracać do pierwszej litery.
- Zarówno nazwa rodzaju, jak również nazwa gatunku powinny być zaznaczone kursywą lub podkreśleniem w celu wskazania, że jest to oficjalna nazwa naukowa.

Zgodnie z tymi zasadami nazwę systematyczną człowieka rozumnego można zapisać jako *Homo sapiens* lub *H. sapiens*.

Przypisy:

[1] W naszych warunkach przykładami bioindykatorów mogą być porosty, które giną w zanieczyszczonym powietrzu, oraz niektóre gatunki małży słodkowodnych będących wskaźnikami czystości wody — *przyp. red.*

[2] W Polsce na przedsiębiorstwa jest nałożony obowiązek minimalizowania szkodliwego oddziaływania na środowisko — *przyp. red.*

[3] Odpowiednio: paciorkowiec anginy, prątek gruźlicy oraz gronkowiec złocisty — *przyp. tłum.*

[4] Nie do końca. U wielu bakterii występują pewne procesy umożliwiające wymienianie materiału genetycznego nawet pomiędzy osobnikami zaliczonymi do różnych gatunków — *przyp. tłum.*

[5] Dotyczy to nomenklatury łacińskiej, nasza rodzima jest nieco mniej rygorystyczna — *przyp. red.*

Rozdział 11.

Obserwacja współzależności występujących pomiędzy organizmami

.....

W tym rozdziale:

- ▶ dowiesz się, w jaki sposób organizmy oddziałują ze sobą i ze środowiskiem;
 - ▶ nauczysz się analizować populacje oraz mierzyć ich rozrost (lub kurczenie się);
 - ▶ poznasz obieg materii i energii w przyrodzie.
-

Jedną z najbardziej zdumiewających cech naszego globu jest fakt, że pomimo istnienia odmiennych stref klimatycznych organizmy je zamieszkujące potrafią pozyskiwać z innych istot żywych i otoczenia materiały umożliwiające przetrwanie. W tym rozdziale przyjrzymy się różnorodnym ekosystemom występującym na Ziemi oraz zastanowimy się, jakie oddziaływania pomiędzy organizmami pozwalają na zachowanie równowagi w przyrodzie. Dowiesz się również, za pomocą jakich metod naukowcy mierzą wartości wzrastania (lub redukcji) liczebności populacji.

Ekosystemy spajają wszystko

Życie radzi sobie w każdym środowisku występującym na Ziemi, a każde takie środowisko stanowi odrębny **ekosystem**, czyli układ składający się z zespołu organizmów powiązanych relacjami troficznymi i ze środowiska, który ten

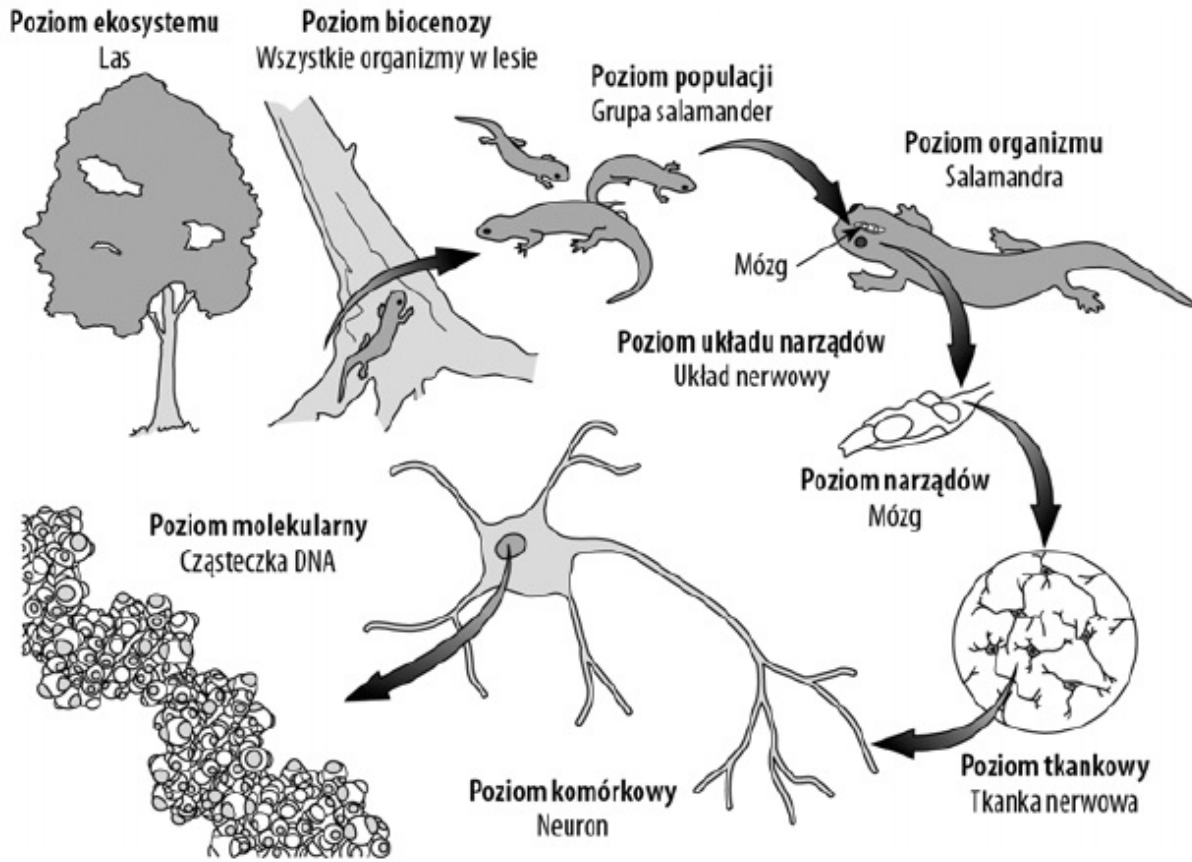
zespół zajmuje. W ekosystemie zachodzi obieg materii i przepływ energii. Można powiedzieć, że ekosystem jest wielką maszyną składającą się z żywych i nieożywionych „trybików”. Żywe „trybiki”, zwane **czynnikami biotycznymi**, to wszystkie organizmy zamieszkujące określony teren. Z kolei „trybiki” nieożywione, czyli **czynniki abiotyczne**, stanowią pozostałą część środowiska (np. powietrze, światło słoneczne i gleba).

Ekosystemy występują w oceanach, rzekach, lasach — nawet na Twoim podwórku i w miejskim parku. Mogą przybierać olbrzymie rozmiary puszczy amazońskiej albo być tak małe jak gnijąca kłoda. Musisz sobie uświadomić, że większe ekosystemy składają się z większej liczby małych ekosystemów. Na przykład ekosystem amazońskiej puszczy zwanej lasem mglistym tworzą między innymi ekosystemy gleby oraz koron drzew.



Badaniem ekosystemów zajmuje się odrębna dziedzina biologii nazwana **ekologią** — szczególną uwagę poświęca się w niej interakcjom zachodzącym pomiędzy organizmami oraz organizmami a otoczeniem. Osoby zajmujące się tymi zagadnieniami to **ekolodzy**. Przyglądają się oni wymienionym współzależnościom na wielu różnych poziomach.

W kolejnych ustępach omówimy sposoby klasyfikacji różnych ekosystemów oraz przyjrzymy się interakcjom międzygatunkowym zachodzącym w poszczególnych ekosystemach. Zanim jednak do tego przejdziemy, przyjrzyj się rysunkowi 11.1, aby zrozumieć wielopoziomową organizację świata istot żywych.



Rysunek 11.1. Organizacja świata istot żywych

Biomy — wspólnoty życia

Wszystkie organizmy zamieszkujące dany ekosystem tworzą jego **biocenozę**. Na przykład w lesie żyją drzewa, krzewy, rośliny zielne, wiewiórki, ptaki, nietoperze, owady, grzyby, bakterie i wiele innych istot. Różne typy spotykanych biocenoz są nazywane **biomami**. Wyróżniamy sześć głównych typów biomów.

- **Biomy słodkowodne** tworzą stawy, rzeki, strumienie, jeziora oraz tereny podmokłe. Obszary słodkowodne pokrywają zaledwie 3% powierzchni Ziemi, ale występujące tam biomy charakteryzują się dużą różnorodnością roślin, glonów, ryb i owadów. W szczególności biomy terenów podmokłych posiadają największe zróżnicowanie organizmów.

- **Biomy morskie** występują w środowisku zawierającym dużą ilość słonej wody, czyli w oceanach, rafach koralowych i estuariach. Omawiane obszary zajmują 75% powierzchni planety, a żyjące w nich organizmy odgrywają olbrzymią rolę w globalnej produkcji tlenu i związków odżywczych — ponad połowa procesów fotosyntezy jest przeprowadzana w oceanach (fotosynteza została omówiona w rozdziale 5.). Biomy morskie stanowią dom dla wielu organizmów, takich jak glony, ryby, ośmiornice, delfiny czy wieloryby.



Estuariami nazywamy obszary, w których woda morska miesza się ze słodką wodą. Zjawisko to występuje w takich miejscach jak zatoki, cieśniny, laguny, słone błota czy plaże. Stanowią one ważne siedliska dla różnych gatunków ptaków, ryb i małży. Estuaria pełnią również rolę habitatu dla narybku, dlatego ich obecność jest niezbędna dla utrzymania dobrej kondycji łowisk. Niestety, są one najczęściej umiejscowione na wybrzeżach, które są przejmowane przez człowieka. Z tego powodu estuaria mocno odczuwają wpływ cywilizacji.

- **Biomy pustynne** to tereny zajmujące około 20% lądowej powierzchni Ziemi, na których występują minimalne opady deszczu. Żyjące tu rośliny i zwierzęta są specjalnie przystosowane do panujących warunków; aby przetrwać w tym niegościnnym, suchym świecie, magazynują wodę albo rozwijają się jedynie w porze opadów. Z bardziej znanych organizmów pustynnych można wymienić kaktusy, jaszczurki, niektóre ptaki, wielbłądy, skoczki pustynne i psy dingo.

- W **biomach leśnych** rośnie wiele drzew oraz innych roślin drzewiastych; lasy pokrywają mniej więcej 30% lądowej powierzchni planety i stanowią dom dla wielu

rozmaitych istot żywych, na przykład wspomnianych już drzew, skunksów, wiewiórek, wilków, niedźwiedzi, ptaków czy żbików. W środowisku leśnym zachodzi intensywna fotosynteza, przez co pełnią one ważną funkcję w obiegu węgla. Tereny leśne są w dużej mierze niszczone przez człowieka, ponieważ poszukujemy nowych terenów do zamieszkania i uprawy roli, a drzewa stanowią źródło cennych surowców.



Lasy deszczowe to wiecznie zielone obszary, w których występuje niespotykana obfitość opadów oraz różnorodność organizmów. Żyje tu mniej więcej połowa wszystkich gatunków znanych człowiekowi, w tym takie jak goryle, żaby drzewne, motyle, tygrysy, papugi czy dusieciele boa.

- **Biomy stepowe** są zdominowane przez różne gatunki traw, ale występują tu również takie organizmy jak ptaki, zebry, żyrafy, lwy, bawoły, termity oraz hieny. Step pokrywa około 30% powierzchni lądów Ziemi i cechuje go najczęściej równy, płaski teren, niewielka ilość zadrzewień oraz żyzna gleba. Z tych powodów człowiek przekształcił wiele terenów stepowych w obszary rolnicze.

- **Biomy tundrowe** występują na obszarach o bardzo niskiej temperaturze, w których nie ma zbyt wiele ciekłej wody. Obejmują one mniej więcej 15% lądowej powierzchni globu i spotykane są zarówno w rejonach biegunowych, jak również na dużych wysokościach. Tundry arktyczne zamieszkują lisy arktyczne, renifery karibu oraz niedźwiedzie polarne, z kolei w tundrach górskich przebywają kozice, łosie i ptaki. W obydwu rodzajach terenów tundrowych trudno zdobyć pokarm, a pory roku sprzyjające wegetacji bywają zazwyczaj bardzo krótkie.

Dlaczego nie możemy być przyjaciółmi — interakcje międzygatunkowe

Nie wszystkie organizmy w danej biocenozie są takie same. W rzeczywistości są to często reprezentanci różnych gatunków (co oznacza, że nie mogą się ze sobą krzyżować, a nawet jeśli do tego dojdzie, potomstwo takie byłoby bezpłodne). Mimo to organizmy te oddziałują ze sobą podczas wykonywania rutynowych czynności lub poszukiwania materiałów potrzebnych do przetrwania. Podobnie jak w związkach międzyludzkich relacje pomiędzy gatunkami mogą być przyjazne, wrogie albo neutralne.



Ekolodzy ukuli kilka przydatnych pojęć opisujących międzygatunkowe współzależności:

- **Mutualizm** — obydwa organizmy czerpią korzyści z relacji mutualistycznej. Klasyczny przykład: zapewniasz bakteriom wygodne, pełne pożywienia miejsce wewnątrz jelita cienkiego, a one odwdzięczają się, wytwarzając witaminy. Innym związkiem mutualistycznym jest mikoryza: pewne gatunki grzybów rosną wśród korzeni roślin, gdzie pomagają we wchłanianiu wody i substancji odżywczych. W zamian rośliny udostępniają grzybom zapasy cukrów.
- **Konkurencja** — obydwa organizmy ponoszą straty w wyniku konkurowania ze sobą. Jeżeli zasoby pożywienia, wody lub przestrzeni są ograniczone, poszczególne gatunki walczą ze sobą o zapewnienie minimum potrzebnego do przetrwania. Wyobraź sobie ogródek warzywny porośnięty chwastami. W tym przypadku warzywa nie radzą sobie zbyt dobrze, ponieważ muszą walczyć z chwastami o wodę, związki mineralne i przestrzeń (światło słoneczne). Przez to wszystkie rośliny rosnące w zatłoczonym miejscu rozwijają

się gorzej, niż gdyby miały więcej miejsca dla siebie.

- **Drapieżnictwo i pasożytnictwo** — drapieżniki i pasożyty czerpią korzyści kosztem ofiar. Tylko lew ma korzyść z pożerania gazeli. Podobnie w przypadku zarobaczonego psa — pasożyty te przebywają w przytulnym domu wypełnionym jedzeniem, a psu ciągle brakuje związków odżywczych. Jedyną różnicą pomiędzy obydwoima typami interakcji jest zakres czasu szkodenia ofierze. W przypadku drapieżnictwa łowca zabija ofiarę i od razu ją zjada, natomiast pasożyt żywi się kosztem gospodarza przez dłuższy czas, najczęściej nie zabijając go.

Badanie populacji jest popularne w ekologii

Każda grupa przedstawicieli danego gatunku, która żyje na tym samym obszarze i może wydawać płodne potomstwo, tworzy **populację**. Na przykład na drzewa porastające północno-zachodnią część Stanów Zjednoczonych składają się daglezie i żywotniki olbrzymie. Są to dwa różne gatunki drzew, dlatego ekolodzy uznają, że las przez nie utworzony składa się z tych dwóch różnych populacji.



Badaniem struktur populacji oraz zmian w nich zachodzących zajmuje się gałąź ekologii zwana **ekologią populacji** (bardzo podobną dziedziną jest **biologia populacji**, w której kręgu zainteresowań mieści się również badanie genetyki populacji).

W następnych ustępach przybliżymy Ci podstawowe pojęcia z zakresu ekologii populacji. Dzięki nim zrozumiesz również

procesy sterujące rozwojem i zmianami w populacjach, a także poznasz techniki pomiarowe liczebności i tempa rozrostu populacji. Przy okazji zastanowimy się również nad olbrzymim tempem rozwoju populacji człowieka.

Podstawowe pojęcia stosowane w ekologii populacji

Podobnie jak jest w przypadku innych gałęzi ekologii, ekolodzy populacji również interesują się wzajemnymi oddziaływaniami pomiędzy organizmami oraz pomiędzy organizmami i środowiskiem. Odróżnia ich jednak fakt, że obserwują te związki przez pryzmat całych populacji, a nie pojedynczych osobników.

Zastanówmy się teraz, jakimi podstawowymi cechami można opisać populację oraz dlaczego te parametry są tak ważne.

Gęstość populacji



Jednym ze sposobów zbadania struktury populacji jest określenie jej **gęstości** (liczby osobników żyjących na danym obszarze).

Powiedzmy, że chcesz się dowiedzieć, jaka jest gęstość zaludnienia województwa mazowieckiego. 5 324 519 osób (dane z 2014 roku) żyje na obszarze 35 558 kilometrów kwadratowych. Jeżeli podzielimy liczbę mieszkańców przez daną powierzchnię, otrzymamy gęstość populacji nieprzekraczającą 150 osób na kilometr kwadratowy. Pamiętaj jednak, że ludność w województwie mazowieckim nie jest równomiernie rozmieszczona. Aby naprawdę zrozumieć rozkład zaludnienia, musimy porównać jego gęstość populacji z gęstością populacji jego największego miasta, czyli Warszawy.

W samym obszarze miejskim (zaledwie 517 kilometrów kwadratowych) mieszka 1 744 351 osób, co daje nam gęstość populacji rzędu 3373 mieszkańców na kilometr kwadratowy. Gdyby rozmieszczenie ludzi w Warszawie było równomierne, każdemu mieszkańcowi przypadłoby 296 metrów kwadratowych własnej przestrzeni życiowej. W rzeczywistości jednak średnio wypada im zaledwie 27 metrów kwadratowych na osobę.

Liczby te mają na celu jedynie pokazanie, że populacja ludzka województwa mazowieckiego jest silnie zagęszczona w Warszawie, a w całym województwie mazowieckim występuje w znacznym rozproszeniu.

Struktura przestrzenna



Ekolodzy populacyjni poprzez **strukturę przestrzenną** populacji opisują rozprzestrzeniania się jej osobników na danym obszarze. Istnieją trzy rodzaje rozmieszczenia populacji.

- **Rozmieszczenie skupiskowe.** W tym przypadku populacja jest skupiona na małej przestrzeni, a na obrzeżach mogą występować pojedyncze osobniki. Przykładami takich populacji są mieszkańcy Warszawy, pszczoły w pasiekach oraz mrówki we wnętrzu pagórka.
- **Rozmieszczenie równomierne.** Równomiernie rozmieszczone organizmy znajdują się w równych odstępach od siebie. Tego typu populacje reprezentują winorośla w winnicach czy też pole kukurydzy.
- **Rozmieszczenie przypadkowe.** W rozmieszczeniu przypadkowym istnieje taka sama szansa znalezienia osobnika w dowolnie wybranym miejscu na danym obszarze. Uwaga: taki rodzaj struktury populacji jest rzadko

spotykany w przyrodzie, ale występuje wtedy, gdy nasiona lub larwy są rozrzucone po okolicy przez wodę lub wiatr. Populacjami poddającymi się przypadkowemu rozmieszczeniu są pąkle osadzające się na skałach oraz wszelkie rośliny, których nasiona są transportowane przez wiatr.

Dynamika populacji



Za pomocą **dynamiki populacji** opisujemy zmiany gęstości populacji w określonym czasie i na danym obszarze. Ekolodzy populacyjni najczęściej wykorzystują piramidy płci i wieku do analizowania i określania trendów.

Piramidy płci i wieku to wykresy słupkowe ukazujące liczbę osobników w różnych grupach wiekowych zamieszkujących w danym momencie określony obszar. Kształt piramidy pozwala ustalić szybkość wzrostu populacji.

- ***Piramidowy kształt wykresu (zweźający się u góry, rozszerzający się na dole) oznacza, że badana populacja się rozwija.*** Spójrz na rysunek 11.2 a. W Meksyku występuje więcej osób w wieku przedrodzicznym niż porodczym — przeważa liczba osób w bardzo młodym wieku, natomiast ludzie w wieku podeszłym stanowią mniejszość. Inaczej mówiąc, więcej mieszkańców pochodzi z nowego pokolenia niż z poprzedniego, zatem populacja się rozwija.

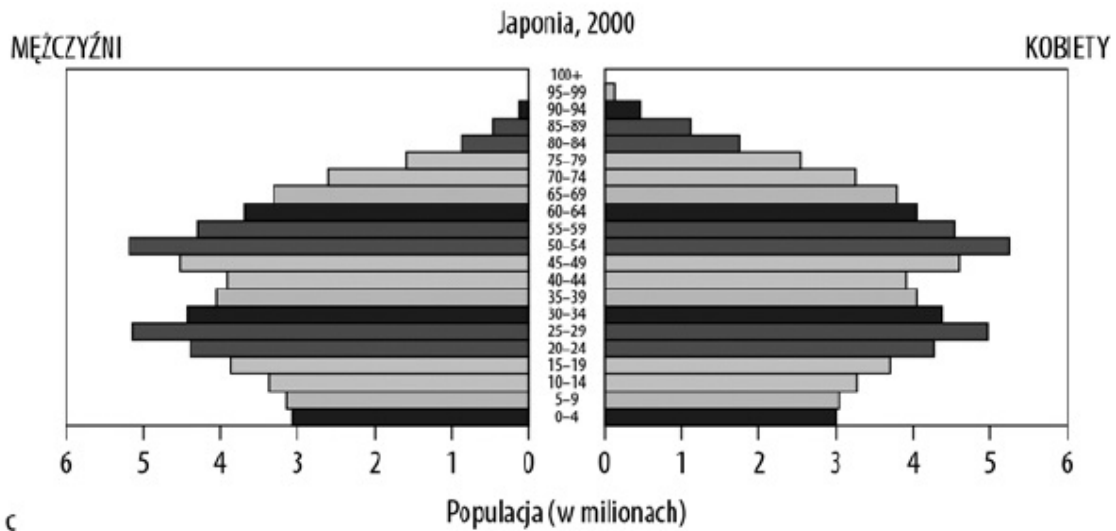
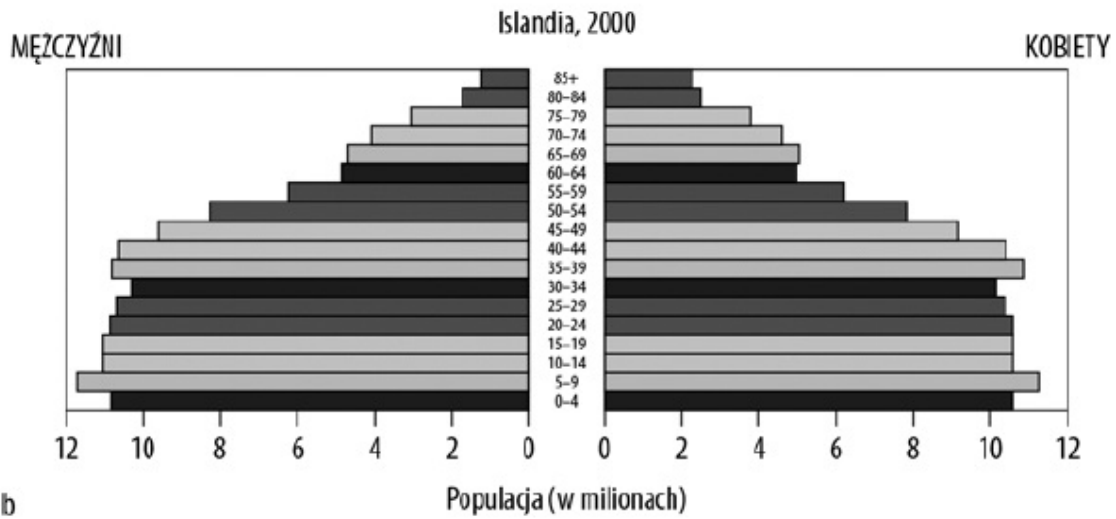
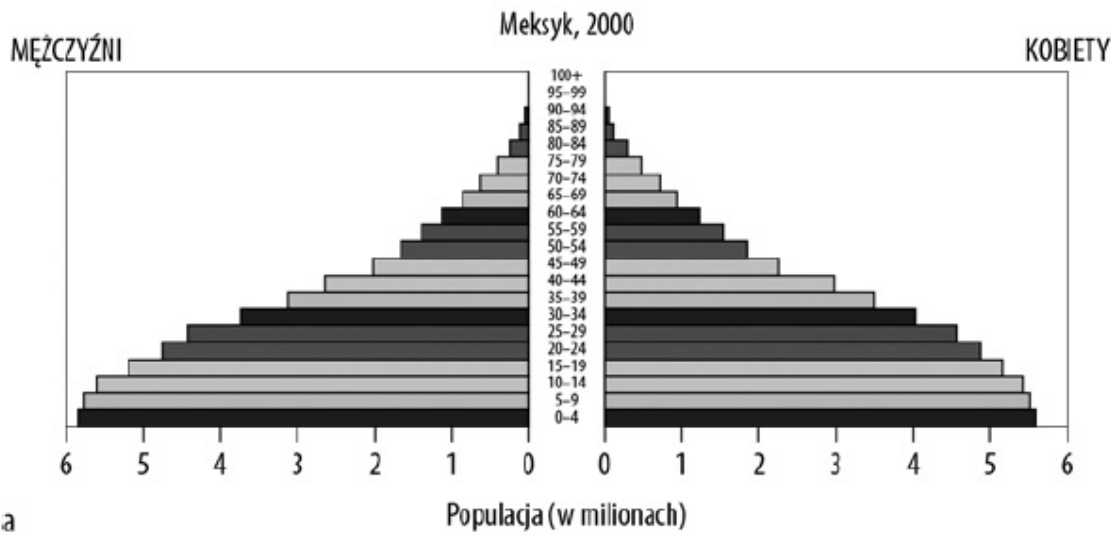
- ***Równomiernie rozłożone słupki wskazują na populację ustabilizowaną.*** Zgodnie z rysunkiem 11.2 b w populacji Islandii występuje mniej więcej taka sama liczba osób w wieku przedrodzicznym, jak i porodczym, z tendencją malejącą wśród przedstawicieli starszego pokolenia. Młode pokolenia w Islandii

mają w przybliżeniu tyle samo przedstawicieli co pokolenia starsze, zatem liczebność populacji nie ulega większym zmianom.

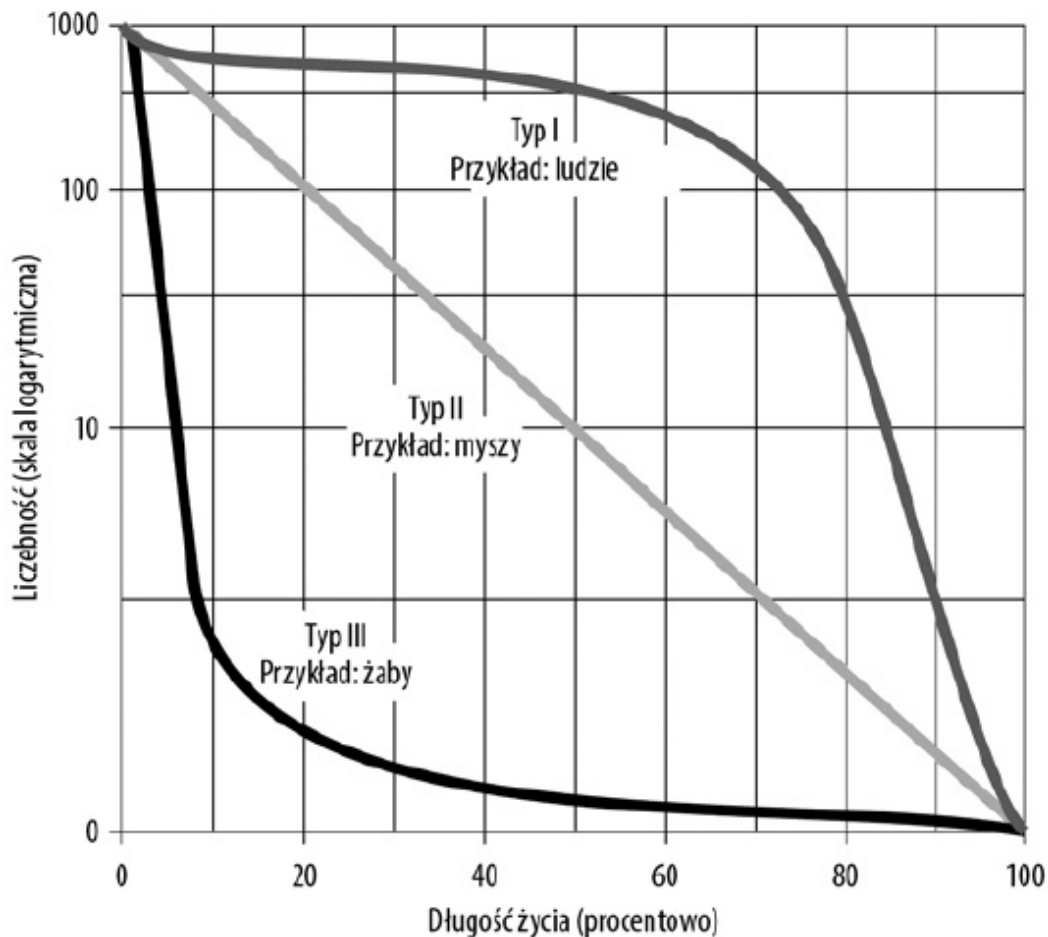
• **Wykresy posiadające podstawę mniejszą od środka są interpretowane jako populacje wymierające.** Jeżeli przyjrzyj się rysunkowi 11.2 c, zauważysz, że w Japonii mieszka więcej osób w wieku porozrodowym niż przedrodzonym. Przedstawiceli najmłodszych pokoleń jest mniej niż starszych, zatem liczebność danej populacji ulega zmniejszeniu.

Przeżywalność

Naukowcy zajmujący się **demografią** — nauką analizującą zmiany liczby narodzin, śmierci oraz ruchy migracyjne, stanowiące przyczynę zmian populacyjnych — zauważyli, że u różnych gatunków organizmów istnieją różne wzorce czasu życia potomstwa tuż po narodzinach. Badacze śledzili grupy wielodzietnych organizmów i obserwowali **przeżywalność** potomstwa, czyli liczbę osobników, które ciągle żyją po upływie pewnego czasu. Następnie rozrysowali oni **krzywe przeżywalności** — wykresy ukazujące przeżywalność osobników danego gatunku w różnych okresach czasu od narodzin (przykład został ukazany na rysunku 11.3), dzięki czemu mniej więcej wiadomo, jak długo żyją organizmy w danej populacji.



Rysunek 11.2. Piramida wieku i płci ukazuje rozkład grup wiekowych w populacji



Rysunek 11.3. Krzywe przeżywalności

Wyróżniono trzy typy przeżywalności.

- **Przeżywalność typu I** — większość potomstwa przeżywa, a osobniki żyją długo i umierają ze starości. Przedstawicielami tego typu przeżywalności są ludzie, ponieważ większość dożywa co najmniej do wieku średniego (około 40 lat).
- **Przeżywalność typu II** — śmierć następuje w losowym momencie życia, najczęściej z powodu drapieżnictwa lub choroby. Reprezentantami są myszy — nigdy nie mogą być pewne, kiedy dorwie je kot albo zatrzaśnie się pułapka.

- **Przeżywalność typu III** — przeważająca liczba młodych osobników ginie, a tylko niektóre dożywają do wieku rozrodczego, jednak te, którym się uda, umierają dopiero ze starości. Innymi słowy, przedstawiciele typu III przeżywalności umierają młodo. Takie organizmy jak żaby wydające na świat pływające kijanki stanowią dobry przykład. Większość kijanek zostaje pożarta, zanim zdążą wejść w etap dorosłości (dojrzałości płciowej).

Analiza rozwoju populacji

Potencjalnie populacje mogą rozwijać się w postępie wykładniczym w przypadku, gdy rodzic posiada więcej niż jednego potomka. Dlaczego? Ponieważ potomstwo będzie miało własne potomstwo, przez co populacja jeszcze bardziej się powiększy.

Założmy, że jeden osobnik posiada troje potomków, co daje nam populację 4 organizmów. Powiedzmy, że każdy potomek wyda na świat troje przedstawicieli kolejnego pokolenia, co da nam 9 kolejnych potomków i łącznie 13 osobników w populacji. Jeżeli każde z tej dziewiątki „wnucząt” wyda na świat znowu po 3 potomków, to pojawi się 27 nowych osobników, a w sumie cała populacja będzie liczyć już 40 organizmów. Chociaż siła rozrodcza pojedynczego osobnika (nazywana **przyrostem per capita**) pozostaje taka sama, liczebność populacji za każdym razem zwiększa się coraz bardziej.

W kolejnych ustępach zastanowimy się nad czynnikami wpływającymi na szybkość rozwoju populacji, a także metodami obserwowania zmian jej liczebności.

Czym jest potencjał biotyczny?

Maksymalna siła rozrodcza populacji w idealnych warunkach jest nazywana **potencjałem biotycznym**. Warunki te występują, gdy gatunek nie musi konkurować o zasoby takie

jak woda czy pokarm, a także gdy na liczebność populacji nie mają wpływu ani drapieżniki, ani choroby. Innymi czynnikami wpływającymi na potencjał biotyczny są:

- wiek, w którym organizmy danego gatunku osiągają dojrzałość rozrodczą,
- liczba potomków spłodzonych podczas pojedynczej kopulacji,
- częstość rozmnażania się osobników,
- czas, jaki musi upłynąć między kolejnymi aktami reprodukcji,
- liczba potomstwa dożywającego do czasu osiągnięcia dojrzałości płciowej.

Na przykład bakterie posiadają bardzo wysoki potencjał biotyczny. Wiele ich gatunków rozmnaża się krócej niż godzinę, a komórki potomne są natychmiast gotowe do reprodukcji. Gdyby jedna bakteria *Escherichia coli* mogła się rozmnażać bez ograniczeń przez 48 godzin, populacja komórek potomnych ważyłaby tyle co cała Błękitna Planeta!

Analiza czynników wpływających na rozwój populacji



Rozwój populacji jest ograniczany przez różnorakie czynniki środowiskowe, które są klasyfikowane na dwie główne grupy.

- **Czynniki zależne od zagęszczenia** najczęściej ograniczają rozwój populacji wraz ze zwiększaniem się jej gęstości. Na przykład duże populacje mogą cierpieć na niedobór wody, pożywienia lub miejsca na gniazda, przez co zmniejsza się przeżywalność i rozrodczość poszczególnych organizmów. Mniejszy przyrost naturalny wraz ze zwiększoną śmiertelnością spowalniają rozwój populacji.

- **Czynniki niezależne od zagęszczenia** również ograniczają rozwój populacji, ale nie mają związku z jej gęstością. Zmiany klimatyczne wywołujące susze lub naturalne kataklizmy takie jak trzęsienia ziemi zabijają pojedyncze osobniki bez względu na liczebność populacji.

Niektóre populacje pozostają bardzo stabilne w obliczu tych czynników, podczas gdy u innych występują drobne wahania liczebności.

- **Populacje posiadające ograniczony dostęp do zasobów ulegają silniejszym wahanom niż populacje mające obfite zasoby.** Przykład: jeżeli dana populacja polega głównie na jednym rodzaju pożywienia, które w pewnym momencie stanie się niedostępne, śmiertelność osobników gwałtownie wzrośnie.

- **Mniej płodne populacje są stabilniejsze od populacji bardzo płodnych.** Płodne osobniki w wyniku zmian warunków mogą powodować nagły przyrost liczebności populacji. Gatunki wykazujące się mniejszą płodnością nie wywołują eksplozji demograficznych; w ich przypadku przyrost naturalny jest dość stabilny.

- **Liczebność populacji może wzrastać i maleć pod wpływem interakcji pomiędzy drapieżnikami a ofiarami.** Gdy na danym obszarze występuje duża obfitość zwierzyny łownej, populacja drapieżników wzrasta aż do momentu upolowania większości ofiar. Gdy nastąpi taka sytuacja, liczebność populacji ofiar ulega załamaniu, a chwilę po niej populacja drapieżników gwałtownie maleje z powodu głodu. Po zmniejszeniu populacji drapieżników populacja ofiar może się odbudować i jej liczebność rośnie, a cały cykl się powtarza.

Pojemność środowiska



Gdy w danej populacji pojawia się maksymalna liczba osobników zdolnych przetrwać w danym habitacie (siedlisku; naukowe określenie domu), to populacja ta osiąga szczyt **pojemności środowiska**.

Wraz ze zbliżaniem się do maksymalnej pojemności środowiska coraz większą rolę zaczynają odgrywać czynniki zależne od zagęszczenia, a rozwój populacji zostaje zahamowany. Jeżeli chociaż na krótki czas zostanie przekroczona dopuszczalna wartość pojemności środowiska, spowoduje to uszkodzenie habitatu, a tym samym ilość dostępnych zasobów ulegnie zmniejszeniu i zwiększy się śmiertelność osobników. Liczebność populacji zostanie zmniejszona, przez co zostanie zachowany właściwy poziom pojemności środowiska. Jednak w przypadku uszkodzenia siedliska wartość pojemności środowiska może się obniżyć, przez co jeszcze więcej osobników z danej populacji zginie, aby została zachowana równowaga.

Wykresy wzrostu populacji

Naukowcy często tworzą wykresy ułatwiające analizę populacji. Widoczna na rysunku 11.4 a **krzywa J-kształtna** ukazuje **wykładniczy przyrost** populacji. Innymi słowy, widzimy na niej populację rozwijającą się z jednakową szybkością (liczba narodzin jest taka sama jak liczba zgonów). W przyrodzie dana populacja może rozwijać się wykładniczo przez krótki czas, ale taki przyrost naturalny jest zazwyczaj równoważony przez czynniki środowiskowe.

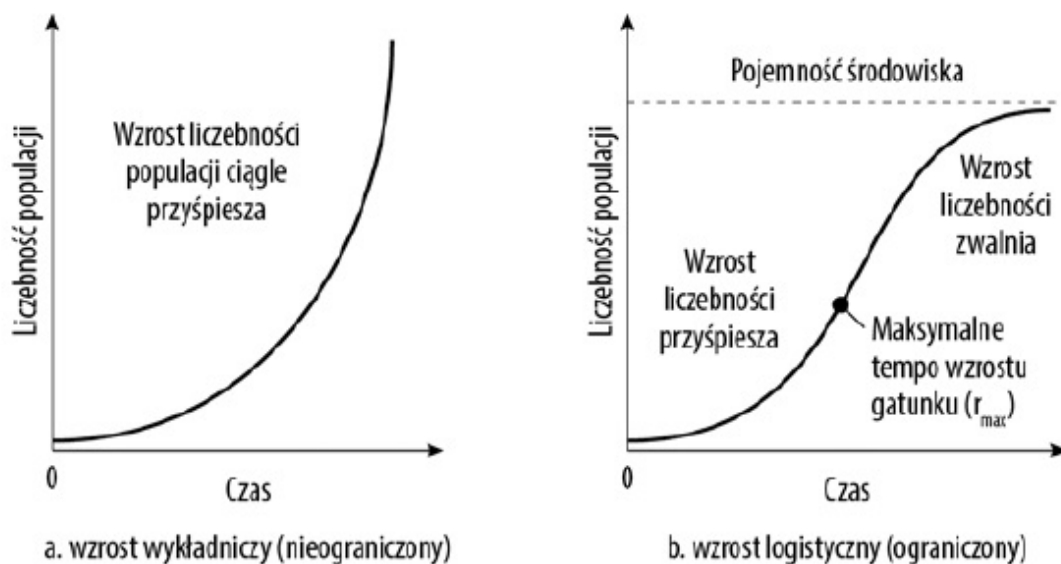
Malowanie liczbami – statystyka jako narzędzie do określania współczynnika wzrostu populacji

Ekolodzy populacyjni używają statystyki do modelowania liczebności populacji. Współczynnik wzrostu populacji (r) jest równy różnicy płodności per capita (b) i śmiertelności per capita (d). Innymi słowy: $r = b - d$.

W przypadku **ruchów migracyjnych**, czyli wędrówki organizmów z miejsca na miejsce, imigracja przyczynia się do wzrostu płodności populacji, a emigracja — do wzrostu śmiertelności. Jeżeli warunki są optymalne, populacja osiąga **maksymalne tempo wzrostu** ($r_{\max}$). Wartość $r_{\max}$ jest różna dla każdego gatunku. Na przykład nawet w idealnych warunkach $r_{\max}$ słoni nigdy nie osiągnie zbliżonej wartości do $r_{\max}$ *Escherichia coli*.

Współczynnik wzrostu dowolnej populacji w określonym momencie można obliczyć, mnożąc maksymalne tempo wzrostu gatunku ($r_{\max}$) przez liczebność populacji (N). Zapisujemy to następującym wzorem: $\Delta N/\Delta t = Nr_{\max}$.

Z kolei krzywe **S-kształtne** (jak na przykład ukazana na rysunku 11.4 b) pokazują **przyrost logistyczny**, co oznacza, że na daną populację wpływ mają czynniki środowiskowe. W takim przypadku odsetek urodzeń jest wysoki przy małej gęstości populacji i stopniowo się zmniejsza w coraz większych zbiorowiskach organizmów.



Rysunek 11.4. Krzywe wzrostu populacji

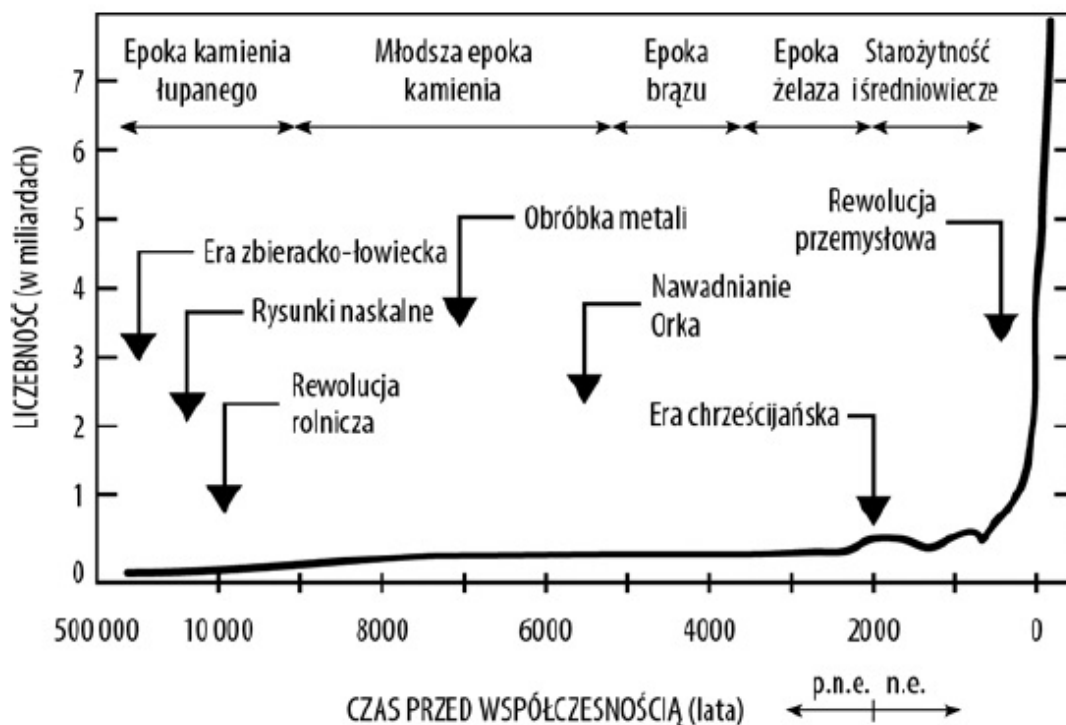
Analiza populacji człowieka

Nie ma wątpliwości: człowiek stał się dominującym gatunkiem na Ziemi i jego populacja bez przerwy się rozwija. Bardzo ważne jest zrozumienie mechanizmów rządzących naszą populacją, ponieważ ma to wpływ na stan planety oraz wszystkich gatunków ją zamieszkujących. W kolejnych ustępach przyjrzymy się temu zagadnieniu oraz poznasz narzędzie zaprojektowane specjalnie w celu badania tempa wzrostu ludzkiej populacji.

Eksplozja demograficzna

Jeszcze tysiąc lat temu tempo wzrostu populacji człowieka było bardzo równomierne. Żywność nie była wtedy tak powszechnie dostępna, ówcześni ludzie nie znali również antybiotyków zwalczających drobnoustroje, szczepionek zabezpieczających przed śmiertelnie niebezpiecznymi wirusami ani oczyszczalni ścieków czy metod uzdatniania wody do picia. Ludzie nie kąpali się i nie myli rąk tak często jak teraz, zatem choroby rozprzestrzeniały się znacznie łatwiej. Wszystkie te (i jeszcze inne) czynniki zwiększały śmiertelność i zmniejszały przyrost naturalny populacji człowieka.

Mimo to w ciągu ostatnich 100 - 200 lat nastąpiło znaczne powiększenie zapasów żywności, a higiena osobista oraz lekarstwa w olbrzymim stopniu zredukowały śmiertelność wywoływaną przez popularne choroby i dolegliwości. Okazało się więc, że nie tylko coraz więcej ludzi przychodzi na świat, ale również coraz więcej dożywa średniego wieku. Jak widać na rysunku 11.5, nastąpił wykładniczy wzrost populacji w dość krótkim okresie historii gatunku ludzkiego.



Rysunek 11.5. Wzrost liczebności populacji człowieka

Jeżeli wykres na rysunku 11.5 nie robi na Tobie wrażenia, oto garść statystyk:

- Liczebność populacji ludzkiej uległa podwojeniu w ciągu 40 lat (w latach 1950 – 1990).
- W każdej sekundzie rodzi się troje dzieci.
- Pod koniec XX wieku liczebność gatunku ludzkiego przekroczyła wartość 6 miliardów osób.

Przy obecnym tempie wzrostu populacja człowieka będzie liczyła od 8 do 12 miliardów ludzi pod koniec XXI wieku. Wyobraź to sobie. Jak wyglądałoby Twoje życie, gdyby Ziemię zamieszkiwało dwa razy tyle osób co teraz? Dwa razy więcej osób jadłoby obiady w restauracjach, jeździłoby samochodami, chodziłoby do kina, wędrowałoby po lasach... wiesz, o co chodzi.

Przerażające są wątpliwości naukowców, czy Ziemia wyżywi tylu ludzi. Dokładna wartość pojemności środowiska w

przypadku człowieka jest nieznana, ponieważ w przeciwieństwie do pozostałych gatunków potrafimy ją zwiększyć za pomocą technologii. Badacze szacują, że obecnie wykorzystujemy około 19% **pierwotnej produktywności** ekosystemu, co oznacza zdolność organizmów żywych (np. roślin) do wytwarzania pożywienia. Ponadto ludzie wykorzystują mniej więcej połowę globalnych zasobów wody pitnej. Jeżeli będziemy zawłaszczać coraz więcej zasobów, stanimy się znaczną konkurencją dla wielu gatunków, które w końcu wyginą (już teraz jest widoczna presja wywierana przez człowieka na inne gatunki, uznawane za zagrożone — np. goryle, gepardy, lwy, tygrysy, rekiny czy orki).

Model przejścia demograficznego

Zrozumienie mechanizmów rządzących wzrostem populacji człowieka jest nieco trudniejsze od analizy wzrostu populacji innych gatunków. Technologia, edukacja oraz inne czynniki wpływają na odmienną rolę rozwoju ludzkiej populacji. Bogatsze, uprzemysłowione państwa (takie jak Stany Zjednoczone czy kraje europejskie) osiągnęły etap **zerowego wzrostu populacji**, co oznacza, że występuje w nich równowaga pomiędzy liczbą narodzin i zgonów. Z drugiej strony biedniejsze, mniej uprzemysłowione kraje (choćby wiele państw afrykańskich) mają bardzo wysoki przyrost naturalny i niską śmiertelność, przez co ich populacje szybko się powiększają.



Główną różnicą pomiędzy tymi państwami jest płodność. W mniej uprzemysłowionych krajach rodziny wielodzietne znajdują się w lepszej sytuacji, gdyż dzieci są zatrudniane i muszą wykonywać ciężkie prace na rzecz rodziny. W bogatszych krajach natomiast mniej dzieci musi zarabiać na rodzinę, a ich wychowywanie staje się coraz droższe, dlatego dominują rodziny posiadające mniej potomstwa.

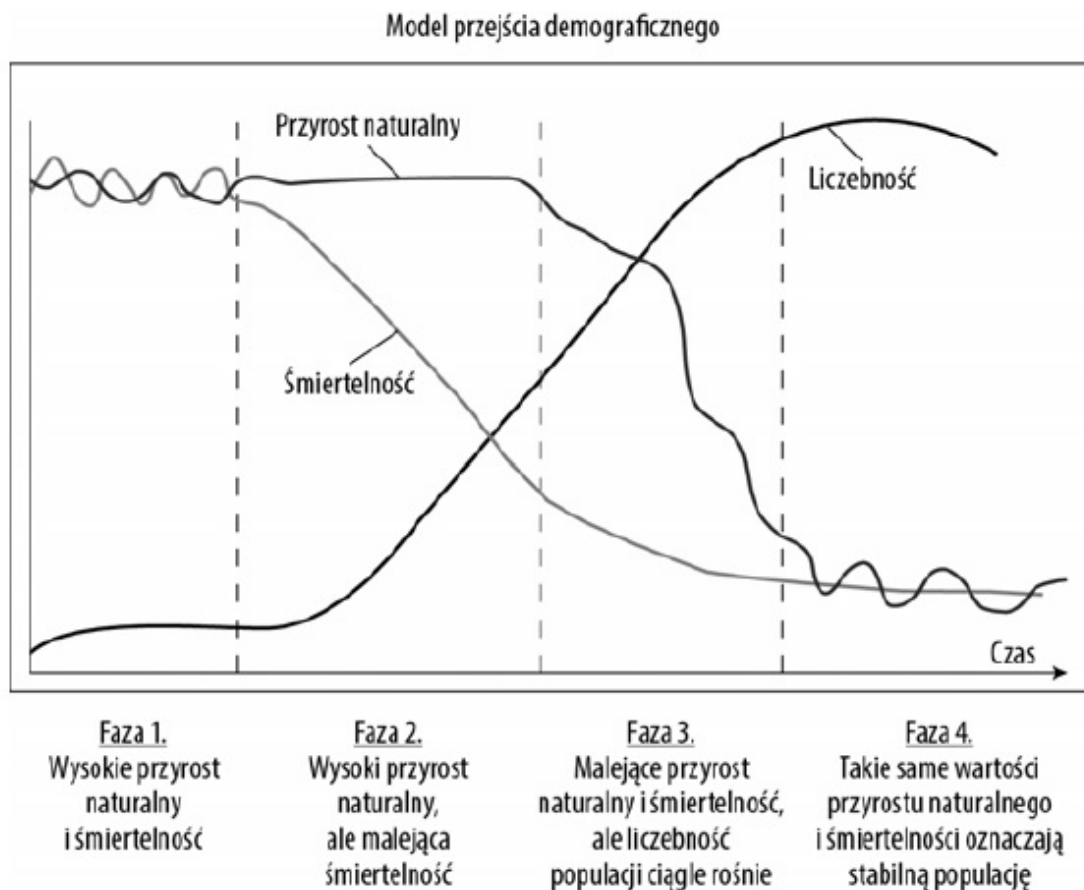
Ekolodzy populacyjni opracowali specjalny **model przejścia demograficznego** opisujący etapy ewolucji populacji w dowolnym rozwijającym się kraju. Na podstawie współczesnej (mniej więcej stuletniej) historii okazuje się, że do osiągnięcia pełnego przejścia demograficznego potrzebne są cztery stadia (zilustrowane na rysunku 11.6).

- **Faza 1.** Zarówno przyrost naturalny, jak i śmiertelność mają wysoki poziom. Nie są dostępne podstawowe elementy higieny i nowoczesne leki obniżające śmiertelność i przedłużające długość życia. W takiej populacji przejście demograficzne jeszcze nie nastąpiło.

- **Faza 2.** Elementy higieniczne i lekarstwa obniżają śmiertelność, ale sytuacja ekonomiczna mobilizuje do wielodzietności. Na przykład dużą rolę w Meksyku pełni rolnictwo wymagające sporej siły roboczej, przez co mieszkańcy tworzą duże rodziny.

- **Faza 3.** Rozwój urbanizacji redukuje potrzebę wielodzietności, a koszty wychowania i kształcenia dzieci sprawiają, że przyrost naturalny zostaje zmniejszony. Liczba narodzin zbliża się do poziomu śmiertelności. Populacja jednak ciągle się rozrasta, ponieważ wcześniejsze pokolenia osiągają wiek reprodukcyjny. Kraje osiągające fazę 3. dokonują częściowego przejścia demograficznego.

- **Faza 4.** Populacja staje się stabilna, a przyrost naturalny zrównuje się ze śmiertelnością. Państwa wchodzące w fazę 4. dokonują całkowitego przejścia demograficznego.^[1]



Rysunek 11.6. Model przejścia demograficznego

Obieg materii i energii w ekosystemie

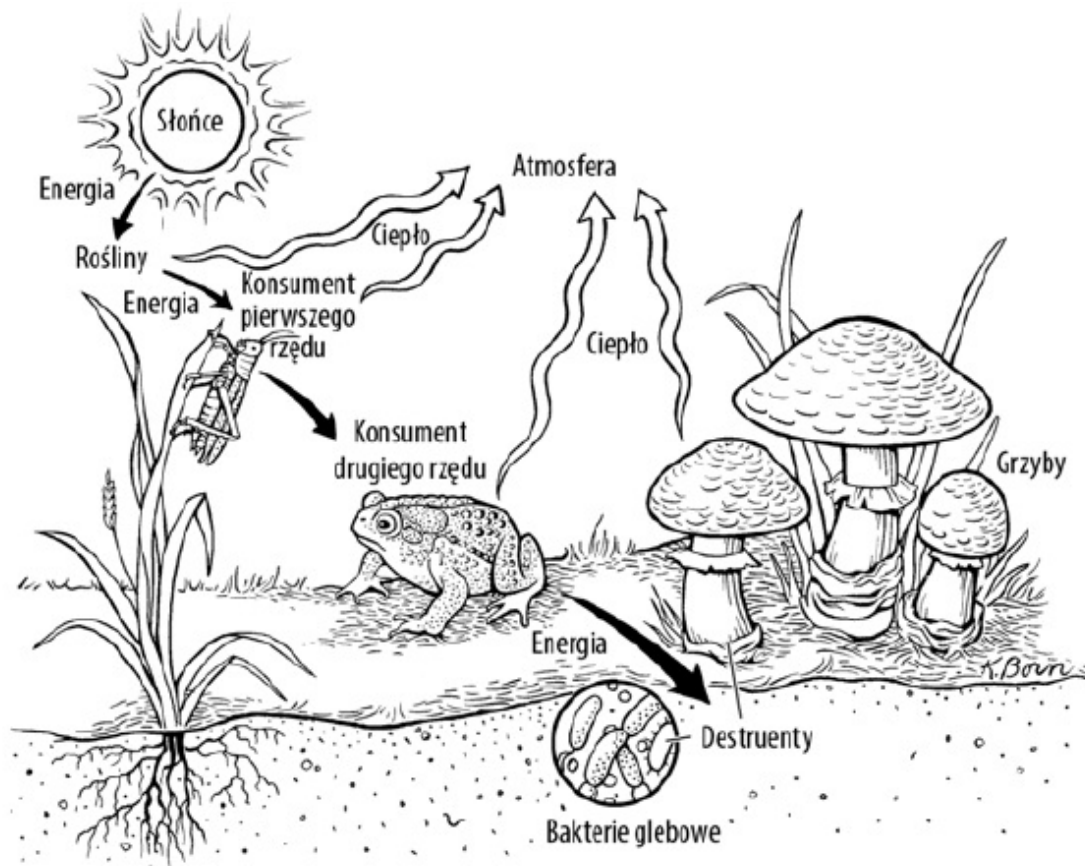
Organizmy oddziałują wzajemnie ze sobą oraz ze środowiskiem w celu pozyskania energii i materii niezbędnych do wzrostu i innych funkcji życiowych. Interakcje pomiędzy organizmami mają wpływ na ich zachowanie. Nieraz tworzą pomiędzy nimi skomplikowane relacje.



Jednym z kluczowych oddziaływań pomiędzy organizmami jest pożeranie. W rzeczywistości wszystkie organizmy w danym ekosystemie można zaklasyfikować do jednej z czterech kategorii zwanych **poziomami troficznymi** w oparciu o sposób zdobywania pokarmu.

- **Producenci** sami wytwarzają sobie żywność. Rośliny, glony i bakterie fotosyntetyzujące są typowymi producentami wykorzystującymi energię pochodzącą ze Słońca do łączenia dwutlenku węgla z wodą i otrzymywania węglowodanów w procesie zwanym fotosyntezą. Inna nazwa producentów to **autotrofy** (więcej informacji na temat autotrofów i fotosyntezy znajdziesz w rozdziale 5.).
- **Konsumenci pierwszego rzędu** zjadają producentów. Ponieważ do producentów zaliczają się między innymi rośliny, konsumenci pierwszego rzędu są nazywani również **roślinożercami**.
- **Konsumenci drugiego rzędu** polują na roślinożerców. Roślinożercy są zwierzętami, dlatego o konsumentach drugiego rzędu mówi się, że są **mięsożercami** (albo **drapieżnikami**).
- **Konsumenci trzeciego rzędu** pożerają mięsożerców, dlatego są również uznawani za drapieżniki.

Współzależności pomiędzy różnymi poziomami troficznymi tworzą **łańcuch pokarmowy** (troficzny) — organizmy znajdujące się na niższym poziomie troficznym są pożerane przez organizmy zaklasyfikowane na wyższym poziomie. Taki prosty łańcuch pokarmowy został zaprezentowany na rysunku 11.7.



Rysunek 11.7. Przepływ energii w ekosystemie ukazany przez pryzmat łańcucha pokarmowego



Interakcje w ekosystemach są znacznie bardziej skomplikowane niż w zaprezentowanym przykładzie, ponieważ:

- **Niektóre gatunki odżywiają się organizmami pochodzącymi z różnych poziomów troficznych.** Zdarza Ci się pewnie czasami zjeść pizzę pepperoni. Mąka użyta do wypieku ciasta pochodzi od rośliny, zatem jedząc je, zachowujesz się jak konsument pierwszego rzędu. Pamiętaj jednak, że kielbasa pepperoni jest robiona ze zwierzęcia, zatem spożywając ją, stajesz się konsumentem drugiego rzędu.
- **Pewne organizmy spożywają kilka różnych rodzajów pożywienia.** Gdy jesz pizzę pepperoni,

odżywiają się zarówno pokarmem roślinnym, jak i zwierzęcym. Gatunki posilające się roślinami oraz zwierzętami są **wszystkożerne**, a do tego przynależą do kilku osobnych łańcuchów pokarmowych. Jeśli rozrysujesz wszystkie łańcuchy troficzne spotykane w danym ekosystemie, otrzymasz przeplatającą się **sieć troficzną**.

• ***Istnieją organizmy odżywiające się martwą materią organiczną.*** Destruenty takie jak grzyby czy niektóre bakterie wydzielają enzymy do tkanek martwych organizmów, które rozkładane są na podstawowe substancje pokarmowe. Nieżywe organizmy stanowią również pożywienie dla **padlinożerców**, takich jak niektóre owady, raki, hieny czy sępy.

Przyjrzymy się teraz szczegółom obiegu energii i materii pomiędzy organizmami w odwiecznym cyklu, niezbędnym do przetrwania życia na Ziemi.

Podążanie nurtem energii

Energia wymagana przez wszystkie istoty żywe do rozwoju przepływa pomiędzy organizmami wraz z pożywieniem. Wiemy, że zabrzmi to banalnie, ale energia zachowuje się zgodnie z kilkoma fundamentalnymi prawami, z których prawdopodobnie najważniejsze jest to mówiące nam, że organizm nigdy nie wykorzystuje całej energii zawartej w pokarmie.

W kolejnych ustępach omówimy prawa rządzące energią, jak również metody pomiaru energii przepływającej pomiędzy poszczególnymi poziomami troficznymi.

Prawa dotyczące energii

Reguły rządzące energią stanowią podstawę interakcji pomiędzy organizmami w ekosystemach.

- ***Energii nie można stworzyć ani zniszczyć.*** Jest to fundamentalne prawo przyrody znane pod nazwą **pierwszej zasady termodynamiki**. Jego konsekwencją jest konieczność pozyskiwania energii przez wszystkie istoty żywe. Żaden organizm nie potrafi stworzyć energii z niczego. Nawet producenci — organizmy wytwarzające związki odżywcze — muszą pochłaniać energię z otoczenia i magazynować ją w pożywieniu.

- ***Energia może być przekazywana z miejsca na miejsce.*** Gdy konsument pierwszego rzędu zjada producenta, energia zmagazynowana w organizmie tego drugiego zostaje przeniesiona do roślinożercy.



Podczas omawiania transferu (przenoszenia) energii nie zapomnij wskazać jej źródła i adresata.

- ***Energia może zostać przekształcona z jednej formy w inną.*** W czasie fotosyntezy rośliny pochłaniają energię pochodzącą ze Słońca i przekształcają ją w energię wiązań chemicznych zawartych w węglowodanach. Zatem podczas fotosyntezy energia świetlna zostaje przekształcona w energię chemiczną.



Podczas omawiania transformacji (przekształcania) energii nie zapomnij wymienić formy energii przed przemianą i po przemianie.

- ***Podczas przenoszenia energii w żywych organizmach jej część jest tracona w postaci ciepła.*** To twierdzenie stanowi treść kolejnego fundamentalnego prawa przyrody, które znamy

jako **drugą zasadę termodynamiki**. Oznacza ono, że w ekosystemie żaden transfer energii nie jest stuprocentowo wydajny. Energia cieplna nie jest w żaden sposób wykorzystywana przez układy biologiczne^[2]. W rzeczywistości jedynie około 10% energii zmagazynowanej na niższym poziomie troficznym jest wykorzystywane przez wyższy poziom.



Drugie prawo termodynamiki ma różnoraki wpływ na zachowanie energii i można je zdefiniować na kilka różnych sposobów. Na przykład w biologii jest ono interpretowane następująco: „Wszystkie reakcje chemiczne są spontanicznie przeprowadzane w kierunku zwiększenia stopnia nieuporządkowania (czyli **entropii**) we Wszechświecie”. Oznacza to, że wszystkie losowo zachodzące procesy — na przykład rozpad cząsteczek lub ich losowa dyfuzja na danym obszarze — mogą następować bez wkładu energii. Tendencja Wszechświata w dążeniu do chaosu odnosi się również do rozprzestrzeniania się energii. Cząsteczki pożywienia stanowią bardzo skoncentrowaną formę energii — dlatego organizmy tak bardzo lubią jeść. Z drugiej strony ciepło jest znacznie bardziej rozproszoną (losowo dystrybuowaną) postacią energii. Zatem zgodnie z drugą zasadą termodynamiki: jeżeli energia z pożywienia będzie przenoszona, jej część ulegnie losowemu rozproszeniu, czyli przekształci się w ciepło.



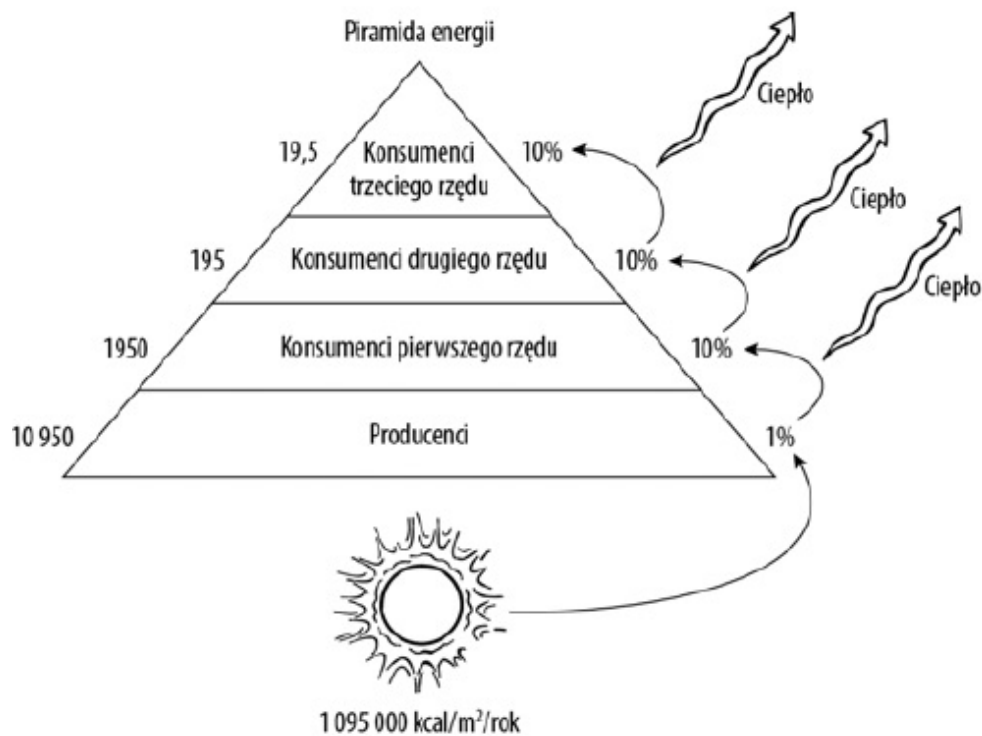
Często ludzie (nawet naukowcy) przy opisie energii stwierdzają, że „została utracona” lub „została rozproszona w postaci ciepła”. Tego typu stwierdzenia mogą wprowadzać w błąd, ponieważ

brzmia tak, jakby energia w jakiś sposób mogła zniknąć. Wiesz jednak z pierwszej zasady termodynamiki, że energii nie można zniszczyć ani nie może ona zniknąć. Właściwa interpretacja wspomnianych zwrotów jest taka, że energia użyteczna wydostała się z układu i uległa przekształceniu w ciepło. Innymi słowy, po przekształceniu energii w ciepło organizmy w danym ekosystemie nie mogą jej już wykorzystać do dalszego rozwoju.

Nigdy nie używaj w odniesieniu do energii takich wyrazów jak: **utracona**, **zniknęła**, **zniszczona** albo **utworzona**. Stosuj zamiast tego słowa **przeniesiona** i **przekształcona**, a unikniesz wielu nieporozumień.

Piramida energii

Naukowcy wykorzystują piramidę energii (zwaną również **piramidą** pokarmową; patrz rysunek 11.8) do ukazania przepływu energii pomiędzy poszczególnymi poziomami troficznymi. Piramidy energii służą do ukazywania proporcji energii przekazywanej do coraz wyższych poziomów troficznych — ekolodzy nazywają to **efektywnością ekologiczną**. Aby ją oszacować, naukowcy stosują nieformalną **regułę dziesięciu procent**, zgodnie z którą zaledwie 10% energii dostępnej na danym szczeblu troficznym jest przekazywane na wyższy poziom.



Rysunek 11.8. Piramida energii

Zgodnie z rysunkiem 11.8 energia dociera ze Słońca na Ziemię. Mniej więcej 1% tej energii jest przechwytywany i magazynowany przez producentów w substancjach pokarmowych. Producenci rosną i przenoszą dużą część zmagazynowanej energii na cząsteczki ATP, stanowiące paliwo komórki (co zostało wyjaśnione w rozdziale 5.), a także zużywają ją do budowy struktur komórkowych i całego organizmu. Podczas wspomnianych transferów energii jej część ulega przekształceniu w ciepło i zostaje rozproszona w otoczeniu.

Mniej więcej 10% pierwotnie zmagazynowanej przez producentów energii zostaje przekazane roślinożercom. Podobnie jak w przypadku producentów konsumenci pierwszego rzędu rozwijają się, przenosząc energię na wiązania cząsteczek ATP oraz elementy budulcowe organizmu. Również w tym przypadku ułamek energii zostaje rozproszony w postaci ciepła. Proces ten powtarza się w czasie zjadania roślinożerców przez mięsożerców oraz

pożerania tych drugich przez konsumentów trzeciego stopnia. Każdy poziom konsumenta wchłania mniej więcej 10% energii zmagazynowanej przez zjadany organizm, a w czasie użytkowania tej energii jej część wraca do otoczenia jako ciepło.

To jednak nie wszystko. Wraz ze śmiercią ciała organizmów stają się częścią środowiska, zatem pokarmem dla destruentów i padlinożerców, które wykorzystują pozyskiwaną energię do tworzenia cząsteczek ATP i składników budulcowych oraz oddają jej część w postaci ciepła.

Uwaga: Łańcuchy pokarmowe i piramidy energii nie wykraczają zazwyczaj poza poziom konsumentów trzeciego rzędu, ponieważ wraz z każdym wyższym poziomem troficznym zmniejsza się ilość dostępnej energii. Powyżej poziomu konsumenta trzeciego rzędu po prostu zbyt wiele energii wraca do otoczenia.

Obieg materii w ekosystemie

Pożywienie stanowi źródło nie tylko energii dla istot żywych (co zostało omówione powyżej), lecz również dostarcza materię niezbędną do wzrostu, regeneracji i rozmnażania. Spożywasz pokarmy zawierające białka, węglowodany i tłuszcze, gdyż Twoje ciało jest zbudowane właśnie z tych związków (wspomniane składniki pokarmowe zostały opisane w rozdziale 3.). Gdy zjadasz pokarm, układ trawienny rozkłada go na części pierwsze (patrz rozdział 16.), a następnie poprzez układ krążenia zostają one rozprowadzone po całym organizmie (więcej informacji na ten temat znajdziesz w rozdziale 15.). Komórki mogą wykorzystać substancje odżywcze na dwa sposoby.

- Mogą przekształcić pokarm w energię, rozbijając go na cząsteczki dwutlenku węgla i wody w procesie oddychania komórkowego (patrz rozdział 5.).

- Mogą z podstawowych składników zbudować większe cząsteczki wbudowywane w strukturę komórki.

Tak, to drugie oznacza, że jesteś tym, co jesz — no, prawie. Nie wbudowujesz bezpośrednio związków odżywczych w struktury komórki; najpierw je trawisz po to, aby poskładać je w potrzebne cząsteczki. Innymi słowy, Twoje komórki składają się z cząsteczek wyprodukowanych przez człowieka, ale których elementy składowe pochodzą od zjedzonych roślin i zwierząt. W rzeczywistości jesteś tym, co Twój organizm przekształci z innych organizmów (w ten sam zresztą sposób zasada ta odnosi się do organizmów przez Ciebie zjadanych — również przekształcają składniki odżywcze pozyskane z innych źródeł).



Zastanówmy się, czym są składniki pizzy pepperoni. Ciasto jest wypiekane z mąki, która pochodzi z nasion roślin, a kielbasa (dla potrzeb tego omówienia) stanowi mięso wieprzowe. Rośliny produkują związki odżywcze z dwutlenku węgla i wody, a następnie wykorzystują je do wzrostu, co oznacza, że mąka składa się z komórek roślinnych zbudowanych z dwutlenku węgla pobranego z powietrza oraz wody pochodzącej z gleby. Świnie rozwijają się, trawiąc pokarm dostarczany przez rolnika, najprawdopodobniej pochodzenia roślinnego. Gdyby prześledzić historię cząsteczek tworzących kawałek pizzy pepperoni, część z nich byłaby dwutlenkiem węgla pochodzącym z powietrza, część wodą pobraną z gleby, a jeszcze część pochodziłaby z roślin strawionych przez świnie.



Jedną z najbardziej fascynujących cech materii organicznej jest fakt, że niemal wszystkie jej współcześnie wykorzystywane zasoby istnieją od zarania Ziemi. Oznacza to, że te same pierwiastki stanowiące budulec istot żywych — czyli węgiel,

wodór, tlen, azot i inne — są wykorzystywane przez organizmy od początków istnienia życia. Z tego powodu ekologowie mówią, że materia krąży w ekosystemie.

Naukowcy śledzą obieg atomów w tak zwanych **cyklach biogeochemicznych** (*bios* z języka greckiego oznacza „życie”, *ge* — „Ziemia”, a końcówka **-chemiczny** — ponieważ opisuje reakcje chemiczne). Cztery najważniejsze cykle biogeochemiczne z punktu widzenia organizmów to cykl hydrologiczny, węglowy, fosforowy i azotowy.

Cykl hydrologiczny

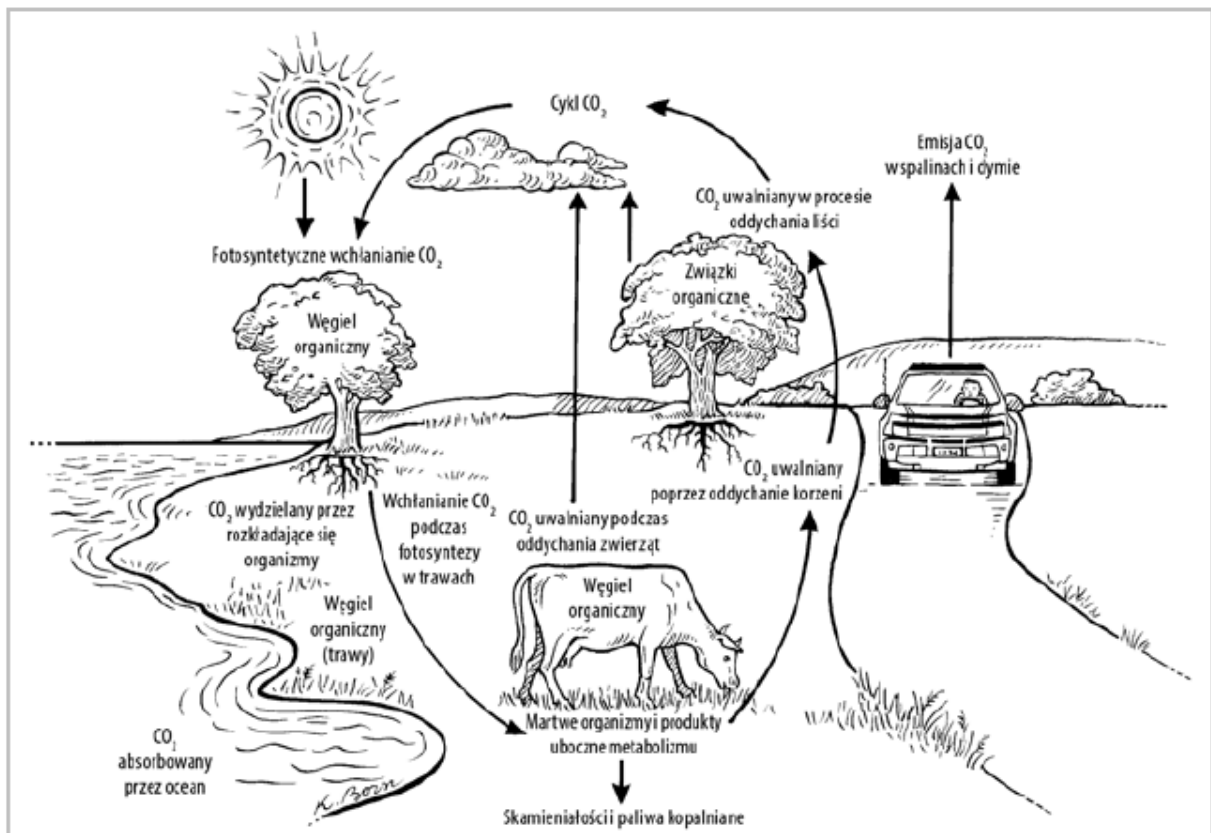
Cykl hydrologiczny (zwany również **cyklem wodnym**) opisuje metody wchłaniania wody przez korzenie rośliny oraz uzupełniania zapasów wody przez zwierzęta w postaci picia z akwenów lub pożerania organizmów zawierających jej duże ilości. Woda wraca do otoczenia w procesie transpiracji u roślin (patrz rozdział 21.) oraz pocenia się i wydalania u zwierząt. Substancja ta paruje do atmosfery i jest rozpraszana wokół całej planety przez wiatr. Z powodu zwiększenia temperatury i wysokości wilgotnego powietrza zawarta w nim para wodna skrapla się i wraca na powierzchnię w postaci opadów atmosferycznych (deszczu, śniegu, gołoledzi czy gradu). Następnie gromadzi się ona w akwenach: rzekach, jeziorach, oceanach, a nawet lodowcach; płynie również w podziemnych ciekach.

Cykl węglowy

Cykl węglowy (ukazany na rysunku 11.9) prawdopodobnie jest najważniejszym cyklem biogeochemicznym dla układów biologicznych, ponieważ wszystkie białka, węglowodany i tłuszcze posiadają szkielet węglowy (więcej informacji na temat tych cząsteczek znajdziesz w rozdziale 3.). W cyklu węglowym rośliny wchłaniają dwutlenek węgla z atmosfery i podczas fotosyntezy (omówionej w rozdziale 5.) wbudowują

go w łańcuchy cukrowe. Zwierzęta zjadają rośliny lub inne zwierzęta i przejmują zawarty w nich węgiel, wykorzystując go do budowy własnego organizmu. Destruenty rozkładają martwą materię organiczną i również wykorzystują zawarty w niej węgiel do własnych celów.

Wszystkie organizmy — producenci, konsumenci i destruenty — wykorzystują związki odżywcze również jako źródło energii, przy czym ulegają one rozłożeniu na cząsteczki dwutlenku węgla i wody w procesie oddychania komórkowego (patrz rozdział 5.). Atomy węgla wracają wtedy jako dwutlenek węgla do środowiska, gdzie jest znów wychwytywany przez organizmy fotosyntetyzujące.



Rysunek 11.9. Cykl węglowy

Zapas węgla w istotach żywych (w postaci białek, węglowodanów i tłuszczów) jest zawsze



krótkotrwały. Przyjmuje on znacznie trwalszą postać w środowisku nieożywionym.

- Olbrzymie zapasy węgla występują w lasach. Mogą one zostać natychmiast uwolnione do środowiska jako dwutlenek węgla podczas wycinki i palenia drzew.
- Paliwa kopalniane zawierają węgiel występujący niegdyś w istotach żywych, a następnie „uwięziony” w taki sposób, że białka, węglowodany i tłuszcze przekształciły się w złoża węgla kopalnego, ropy naftowej i gazu ziemnego. W czasie spalania paliw kopalnianych ludzie w gwałtowny sposób uwalniają do atmosfery olbrzymie ilości dwutlenku węgla, przez co osiąga on najwyższą koncentrację w znanej nam historii.
- Dwutlenek węgla jest również rozpuszczony w wodzie morskiej. Ciepła woda przechowuje mniej dwutlenku węgla od wody zimnej, zatem część tych zapasów może zostać uwolniona do atmosfery w wyniku globalnego ocieplenia.

Cykl fosforowy

Fosfor jest bardzo ważnym składnikiem cząsteczek tworzących organizmy. Stanowi kluczowy element adenozynotrójfosforanu (ATP, wysokoenergetycznej cząsteczki stanowiącej paliwo komórki), a także szkieletów nici DNA i RNA. Na cykl fosforowy składa się absorpcja nieorganicznego fosforu (wraz z wodą) z gleby przez rośliny oraz wchłanianie przez zwierzęta fosforu stanowiącego część pożeranych roślin lub innych zwierząt. Fosfor jest wydalany przez zwierzęta wraz z innymi produktami ubocznymi przemiany materii i ulega uwolnieniu do środowiska przez destruentów. Gdy taka uwolniona cząsteczka fosforu wraca do gleby, zostaje albo ponownie wchłonięta przez roślinę,

albo odkłada się w warstwach sedymentacyjnych tworzących skały. W wyniku erozji skał fosfor ostatecznie trafia z powrotem do wody i gleby.

Cykl azotowy

Azot jest nie tylko częścią aminokwasów stanowiących budulec białek, lecz również pełni istotną rolę w cząsteczkach DNA i RNA (zostały one omówione w rozdziale 3.). Poza tym azot występuje w środowisku również w kilku nieorganicznych postaciach, takich jak azot cząsteczkowy (w powietrzu), amoniak czy azotany (w glebie).

Z powodu istnienia różnych form azotu cykl jego obiegu w przyrodzie jest dość złożony (rysunek 11.10).

• **Wiązanie wolnego azotu to proces, w którym azot cząsteczkowy jest przekształcany w formę przyswajalną dla organizmów żywych.** Występujący w powietrzu azot cząsteczkowy nie może być wykorzystywany przez układy biologiczne, dlatego wszystkie istoty żywe są zależne od bakterii występujących w glebie i wśród korzeni niektórych roślin. Te bakterie azotowe przekształcają azot atmosferyczny (N_2) w formę amonową lub azotanową (odpowiednio NH_4^+ i NO_3^-), które są przyswajalne dla innych organizmów. Rośliny pozyskują azot, wchłaniając jony amonowe i azotanowe rozpuszczone w wodzie; z kolei zwierzęta uzupełniają jego zapas, zjadając rośliny bądź inne zwierzęta.

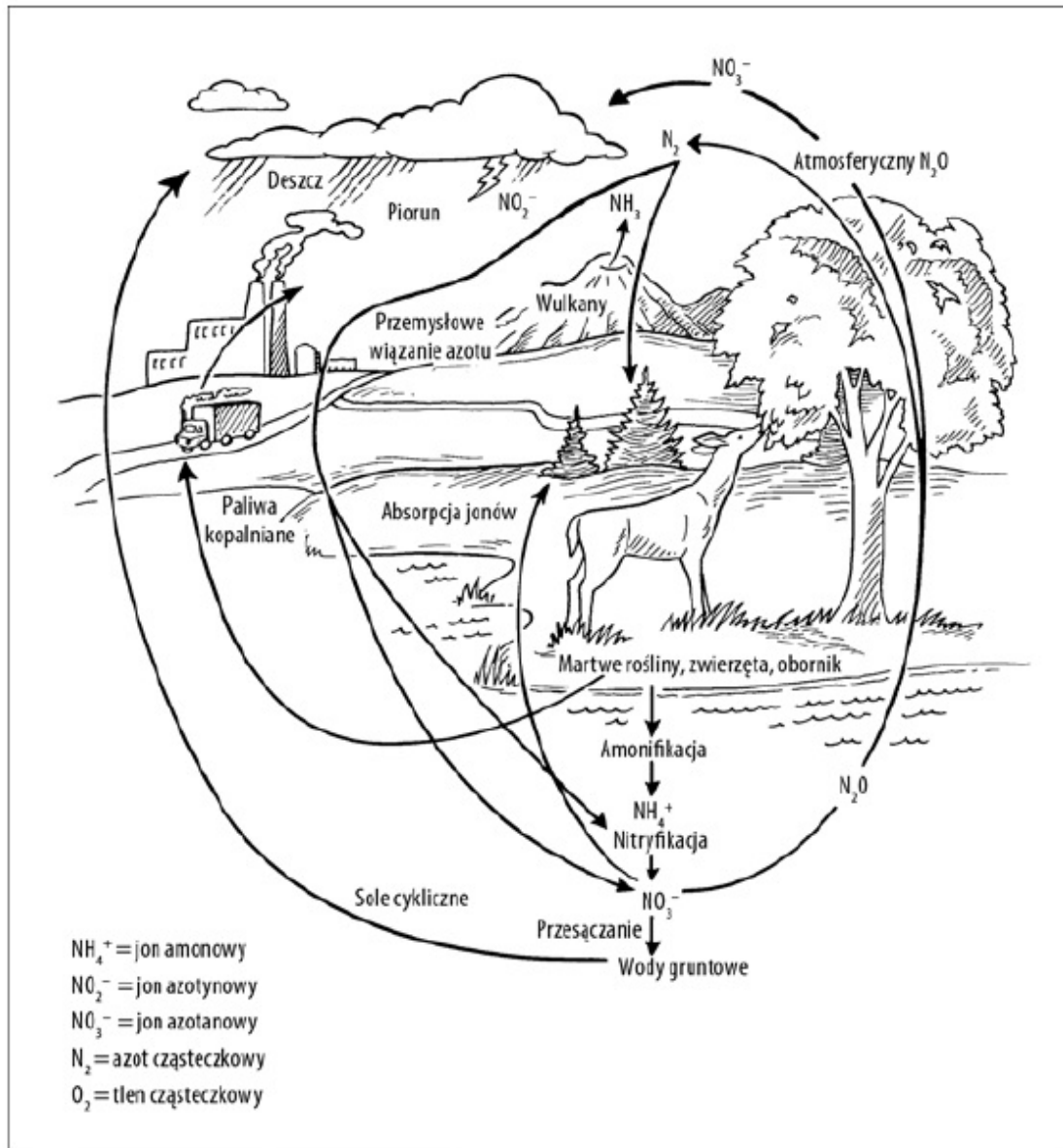


Wiązanie azotu występuje również podczas uderzenia pioruna, a także w reakcjach syntezy nawozów roślinnych. Jednak w wyniku burz powstaje bardzo mała ilość form organicznych azotu, a przemysłowe wiązanie azotu wymaga olbrzymich nakładów energii.

• ***W wyniku amonifikacji amoniak zostaje uwolniony do gleby.*** Rozkładające materię organiczną destruenty nie zawsze potrzebują azotu występującego w aminokwasach. Jeżeli posiadają nadmiar azotu, uwalniają jego część do gleby w postaci amoniaku (NH_3). Tam zostaje on przekształcony w jon amonowy (NH_4^+). Wśród związków wydalanych przez zwierzęta również znajduje się azot w formie mocznika lub kwasu moczowego, które są przekształcane w amoniak przez bakterie glebowe.

• ***Poprzez nitryfikację amoniak jest przekształcany w azotyny lub azotany.*** Pewne bakterie pozyskują energię w wyniku transformacji amoniaku (NH_3) w jon azotynowy (NO_2^-). Z kolei inne gatunki bakterii przekształcają azotyny (NO_2^-) w azotany (NO_3^-).

• ***Denitryfikacja to proces przemiany azotanów w azotyny i azot cząsteczkowy.*** Niektóre bakterie w procesie oddychania komórkowego wykorzystują azotany (NO_3^-) zamiast tlenu (więcej informacji na temat oddychania komórkowego znajdziesz w rozdziale 5.). W procesie tym zostają uwalniane do gleby jony azotynowe, a do atmosfery — azot cząsteczkowy.



Rysunek 11.10. Cykl azotowy

Przypisy:

[1] Niektóre państwa Europy weszły w kolejną fazę przejścia demograficznego, w której przyrost naturalny jest mniejszy od śmiertelności — nie zapewnia zastępowalności pokoleń. Taka sytuacja w dłuższym czasie może doprowadzić do stopniowego kurczenia się populacji — *przyp. red.*

[2] Niezupełnie. Wiele szlaków metabolicznych przebiega w ściśle określonym zakresie temperatur, dlatego organizmy zmiennocieplne znaczną część czasu spędzają na słońcu, a stałocieplne wykształciły wewnętrzny mechanizm wydzielania ciepła — *przyp. tłum.*

Rozdział 12.

Ewolucja gatunków w zmieniającym się świecie

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz koncepcje naszych przodków dotyczące początków i różnorodności życia;
 - ▶ zagłębisz się w kontrowersyjne teorie Darwina o ewolucji biologicznej i doborze naturalnym;
 - ▶ przyjrzyysz się dowodom na prawdziwość teorii ewolucji;
 - ▶ zapoznasz się z argumentami kreacjonistów i ewolucjonistów;
 - ▶ dowiesz się, jakie gatunki były przodkami człowieka.
-

Jeżeli byłeś/byłaś kiedykolwiek w muzeum, na pewno rzuciły Ci się w oczy starodawne kości lub narzędzia przodków człowieka rozumnego. Przedmioty te stanowią dowód na to, że człowiek przez tysiące lat zmieniał się i stawał się coraz mądrzejszy. Innymi słowy, ukazują nam przebieg ewolucji gatunku ludzkiego. W którym jednak momencie rozpoczęła się ta ewolucja oraz z jakich istot wyewoluowali najwcześniejsi ludzie?

W tym rozdziale poznasz wierzenia naszych przodków związane z ewolucją, historię sformułowania teorii ewolucji przez Karola Darwina, a także współczesne poglądy na temat pochodzenia gatunków, ewolucji człowieka i początków życia na Ziemi. Zaprezentujemy Ci zdumiewające dowody potwierdzające teorię ewolucji oraz przytoczymy fascynujące fakty na temat historii życia oraz zmian w nim zachodzących.

W co dawniej wierzyli ludzie?

Od czasów starożytnych, gdy Grecja stanowiła centrum cywilizacji europejskiej, aż do początków XIX w. filozofowie, naukowcy i zwykli ludzie wierzyli, że wszystkie rośliny i zwierzęta zostały stworzone w pewnym momencie i od tamtego czasu nie pojawiały się nowe gatunki (taki sposób myślenia można nazwać **fundamentalizmem**). Zgodnie z tymi przekonaniemiami każda żywa istota została ukształtowana przez Boga w określonym celu. Arystoteles pojmował organizmy żywe jako „wielki łańcuch bytu”, od istot prostych do złożonych, a człowieka umieszczał na jego szczycie tuż poniżej aniołów i bardzo blisko Boga.

Ludzie uważali również, że Ziemia i otaczający ją kosmos są niezmiennie w czasie, czyli **statyczne**. Wierzyli, że Bóg stworzył Ziemię, gwiazdy i pozostałe planety w tym samym momencie i że od początku stworzenia nic nie uległo zmianie. Przekonania te towarzyszyły ludzkości przez bardzo długi czas — praktycznie przez całe średniowiecze, czyli okres, w którym ludzie uznawali, że ich pozycja społeczna jest niezmienna i dziedziczna.

Począwszy od XV w. aż do XVIII w. podróżnicy, badacze i naturaliści dokonywali coraz to nowych odkryć podważających koncepcję statycznego wszechświata.

- Wielu podróżników dotarło do Nowego Świata (na półkulę zachodnią). Natrafili tam na odmienne gatunki istot żywych, w tym na niespotykane nigdzie indziej rasy ludzi. Ani Nowy Świat, ani jego mieszkańcy nie zostali opisani w Biblii, co sprawiło, że Europejczycy zaczęli się zastanawiać, czy Nowy Świat został stworzony w tym samym czasie co Stary Świat oraz czy jego mieszkańcy są potomkami Adama. Te zagadnienia zasiały ziarno wątpliwości na temat dosłownej interpretacji dzieła stworzenia opisanego w Księdze Rodzaju.

- Brytyjski geolog William Smith podjął się klasyfikowania rodzajów podłoża w Wielkiej Brytanii w trakcie przygotowań do przekopywania sieci kanałów na całej wyspie. Smith odkrył, że ziemia składa się z różnych warstw skalnych oraz że w każdej z tych warstw znajdują się odmienne skamieniałości. Zauważył również, że wraz z głębokością odnajdywane skamieliny różnią się coraz bardziej od ówczesnie żyjących w Wielkiej Brytanii gatunków roślin i zwierząt. Za pomocą skamieniałości Smith był w stanie rozróżniać poszczególne warstwy osadowe, ale również próbował oszacować wiek każdej z warstw na podstawie szybkości erozji oraz poziomu wypiętrzenia gór.

- Georges Cuvier, francuski anatom, udowodnił, że znajdowane na terenie Europy szczątki kostne, należące na przykład do mamuta właściwego, są bardzo podobne do szkieletów innych zwierząt (w tym przypadku słoni), ale nie należą do żadnego współcześnie żyjącego gatunku.

- Z kolei James Hutton, szkocki geolog, zaproponował hipotezę, zgodnie z którą Ziemia jest bardzo starą planetą, a jej powierzchnia ciągle się zmienia pod wpływem erozji, odkładania się osadów, wypiętrzania się masywów górskich oraz powodzi. Zgodnie z tą koncepcją (zwaną **uniformitaryzmem** lub **aktualizmem geologicznym**) procesy obserwowane na osiemnastowiecznej Ziemi są takie same jak u zarania dziejów.

W jaki sposób Karol Darwin podważył dawne wierzenia na temat istot żywych?

Karol Darwin był dżentelmenem pochodzącym z angielskiej prowincji, który w 1831 roku wyruszył w podróż na statku *HMS Beagle* jako „nadworny” przyrodnik. Był równie religijny jak wszyscy w owym czasie, ale cechował go bardzo aktywny, dociekliwy umysł i znał większość jemu współczesnych teorii naukowych. Połączenie ciekawskiego umysłu oraz wiedzy naukowej zdobytej podczas 22 lat badań sprawiło, że Darwin odkrył coś niezwykłego u populacji zięb zamieszkujących wyspy Galapagos. Obserwacje te doprowadziły do powstania dwóch niesamowicie doniosłych teorii biologicznych: teorii ewolucji oraz doboru naturalnego. W poniższych ustępach wyjaśnimy ich znaczenie oraz historię ich odkrycia.

Zawdzięczamy to ptakom

Podczas podróży na pokładzie *HMS Beagle* Darwin odwiedził archipelag Galapagos, znajdujący się niemal 1000 kilometrów od zachodniego wybrzeża Ameryki Południowej. Zdumiała go wielka różnorodność gatunków podobnych do występujących na kontynencie południowoamerykańskim, ale jednocześnie wystarczająco odmiennych, żeby być doskonale przystosowanymi do życia na odosobnionych wyspach.



Cechy organizmów pozwalające na dostosowanie się do warunków środowiska nazywane są **adaptacjami**.

Na Galapagos Darwin zajął się obserwacją zięb. Każdą z wysp archipelagu zamieszkiwał odmienny gatunek zięby, różniący się zarówno od innych odmian wyspowych, jak również od kontynentalnej. W Ameryce Południowej zięby odżywiają się wyłącznie nasionami. Na wyspach z kolei niektóre odmiany jedzą nasiona, inne delektują się owadami, a jeszcze inne — kaktusami. Dziób każdego gatunku zięby jest

doskonale przystosowany do rodzaju spożywanego pokarmu.

Darwin uznał, że wszystkie wyspiarskie gatunki zięb pochodziły od wspólnego przodka, pochodzącego z części kontynentalnej, który albo przyleciał na wyspy, albo trafił tam w wyniku dryfowania, być może podczas burzy. Wyspy archipelagu są od siebie wystarczająco oddalone, żeby zięby nie mogły się pomiędzy nimi przemieszczać, a więc poszczególne populacje są geograficznie odizolowane od pozostałych. Oznacza to również, że przedstawiciele różnych populacji nie mają możliwości krzyżowania się i wymieniać **genów** (sekwencji kodu genetycznego opisującego poszczególne cechy; patrz rozdział 8.) między sobą.

Darwin wysnuł hipotezę, że na każdej z wysp występują odmienne warunki, które uprzywilejowują określone cechy ponad inne. Ptaki posiadające cechy ułatwiające im zdobycie pokarmu mają większą szansę na przetrwanie i spłodzenie potomstwa, a zatem przekazanie genów i korzystnych cech kolejnemu pokoleniu. Wraz z upływem czasu cechy wyspiarskich gatunków zięb zaczęły odbiegać od cech ich lądowego przodka, a bardziej dopasowały się do nowego środowiska. W końcu każda populacja wykształciła na tyle odmienne cechy od pozostałych populacji, że stała się nowym gatunkiem.



Zaobserwowany przez Darwina na wyspach Galapagos typ ewolucji nosi nazwę **radiacji adaptacyjnej**. Występuje ona wtedy, gdy przedstawiciele danego gatunku trafiają do niszy środowiskowej i na początku mają bardzo małą konkurencję. Brak konkurencji pozwala danemu gatunkowi się zadomowić i powiększyć swoją populację. Wraz z rozwojem populacji pojawia się coraz większa konkurencja o zasoby, a pierwotny gatunek przekształca się w kilka nowych

gatunków przystosowujących się do różnych warunków środowiskowych.

Ewolucja biologiczna według teorii Darwina

Termin **ewolucja biologiczna** dotyczy zmian zachodzących w istotach żywych wraz z upływem czasu (nie jest to tożsame ze zwykłym pojęciem **ewolucji**, oznaczającym po prostu proces zmian zachodzących w czasie). Karol Darwin ukuł to pojęcie w swoim dziele *O powstawaniu gatunków*, wydanym w 1854 roku. We wspomnianej książce Darwin postawił teorię, że organizmy żywe pochodzą od przodków, ale mogą się zmieniać po pewnym czasie. Innymi słowy, Darwin wierzył w **pochođenje z modyfikacjami**.



Gatunki, które nie przystosowują się do zmieniających się warunków środowiska, ulegają **ekstynkcji** (wymierają). Z kolei populacje, w których gromadzi się tyle różnic w stosunku do pierwotnego gatunku, że nie mogą się już z nim krzyżować, stają się nowymi gatunkami; zjawisko to jest znane jako **specjacja**.



Jeżeli masz ochotę na lekturę *O powstawaniu gatunków* (oraz innych dzieł Darwina), zajrzyj pod adres darwin-online.org.uk^[1].

Koncepcja doboru naturalnego

Darwin stwierdził, że ewolucja biologiczna występuje wskutek **doboru naturalnego**, czyli procesu, zgodnie z którym w każdym pokoleniu część osobników jest lepiej przygotowana do przetrwania i rozmnażania od innych. Gdy określona cecha zwiększa szanse na przetrwanie organizmu,

to mówi się, że środowisko ją faworyzuje lub że działa dobór naturalny. Zatem zgodnie z tym twierdzeniem dobór naturalny przeciwdziała występowaniu niekorzystnych cech.



Często mówi się o doborze naturalnym jako o „przetrwaniu najsilniejszego”. W ujęciu biologicznym bycie najsilniejszym nie ma związku z masą ciała ani z częstotliwością wizyt na siłowni. Przez to pojęcie biolodzy mają na myśli zdolność do rozmnażania. Zatem aby „przetrwał najsilniejszy”, musi on być zdolny do przekazania potomstwu tych cech, które umożliwią przedstawicielowi nowego pokolenia skuteczne przeżycie i dalsze rozmnażanie.

W kolejnych ustępach pomożemy Ci zrozumieć różnice pomiędzy doborem naturalnym a sztucznym, wyjaśnimy, dlaczego dobór naturalny ma pierwszeństwo oraz jakie istnieją jego odmiany.

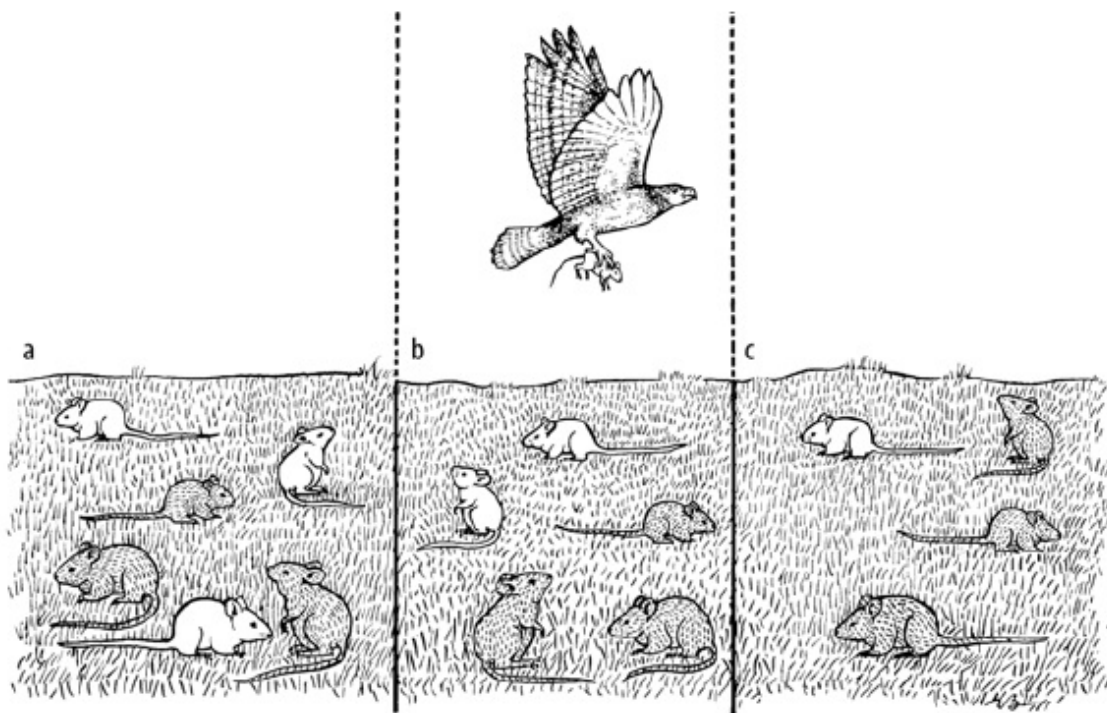
Porównanie doboru naturalnego z doborem sztucznym

Darwin porównał teorię doboru naturalnego z doborem sztucznym występującym w rolnictwie.

- **Dobór sztuczny** występuje wtedy, gdy człowiek wybiera rośliny lub zwierzęta, kojarzy je z sobą i rozmnaża je w celu uzyskania korzystnych cech. W czasach Darwina rolnicy starali się uzyskiwać krowy dające jak najwięcej mleka, kury znoszące jak najwięcej jaj oraz prosięta o jak największą wadze, w związku z czym tworzyli wiele różnych odmian danego gatunku. Upodobania ludzi w dramatyczny sposób i w bardzo krótkim czasie ukształtowały znane dzisiaj rasy udomowionych gatunków zwierząt i roślin.
- **Z doborem naturalnym** mamy do czynienia wtedy, gdy czynniki środowiskowe „wybierają”, które rośliny i

zwierzęta mają przetrwać i się rozmnażać. Jeżeli wyraźnie rozpoznawalny drapieżnik, na przykład orzeł, pikuje po posiłek, osobniki najłatwiej dostrzegalne zostaną najprawdopodobniej zjedzone jako pierwsze. Jeżeli ofiarą orła są myszy, jedna jasno, a druga ciemno umaszczona (patrz rysunek 12.1 a), które żyją w lesie o ciemnym poszyciu, to mysz o jasnym futrze jest znacznie łatwiej dostrzegalna. Po jakimś czasie, gdy orły upolują więcej myszy o jasnym umaszczeniu niż o ciemnym (rysunek 12.1 b), więcej tych drugich będzie w stanie się rozmnażać. Myszy o ciemnym futerku posiadają geny określające jego specyficzny kolor, zatem potomstwo również będzie ciemno umaszczone. Jeżeli orły będą ciągle polować na myszy w danym obszarze, populacja ofiar o ciemnym umaszczeniu będzie się stopniowo rozrastała i w końcu będzie ich więcej niż jasno umaszczonych osobników (rysunek 12.1 c).

W tym przykładzie orzeł stanowi **presję selekcyjną** — czynnik środowiskowy, dzięki któremu część organizmów może przeżyć (ciemno umaszczone myszy), a część nie przetrwa (jasno umaszczone myszy). Nazwa wzięła się od wywierania presji (stresu) na poszczególnych osobników w danej populacji.



Rysunek 12.1. Dobór naturalny w akcji

Warunki niezbędne do występowania doboru naturalnego

Aby dobór naturalny pojawił się w danej populacji, musi zostać spełnionych kilka warunków.

- ***Poszczególne osobniki muszą wydawać na świat więcej potomstwa, niż jest w stanie przetrwać.*** Ludzie w obecnych czasach w pewnym sensie stanowią pod tym względem wyjątek, ponieważ dokonujemy świadomych decyzji dotyczących liczby dzieci, które chcemy mieć. Jednak większość organizmów stara się „wyprodukować” jak najwięcej potomków.
- ***Osobniki w danej populacji muszą różnić się pomiędzy sobą.*** W czasach Darwina nikt nie wiedział, skąd się biorą różnice pomiędzy osobnikami. Obecnie wiemy, że stoją za nimi mutacje genetyczne oraz wymiana informacji genetycznej podczas procesów związanych z

rozmnażaniem płciowym (więcej informacji na temat powstawania różnorodności genetycznej podczas rozmnażania znajdziesz w rozdziale 6.).

- ***Potomstwo musi dziedziczyć po rodzicach niektóre cechy.*** W XIX wieku opis praw dziedziczenia dopiero zaczynał raczkować, zatem Darwin nie mógł dokładnie wiedzieć, w jaki sposób rodzice przekazują swoje cechy dzieciom. Obecnie mamy świadomość, że są one dziedziczone wraz z przekazywaniem genów przez rodziców (jeśli chcesz się dowiedzieć więcej na temat dziedziczenia, zajrzyj do rozdziału 7., z kolei w rozdziale 8. zawarłyśmy informacje o genach).



- ***Organizmy posiadające najkorzystniejsze cechy pod kątem danego środowiska mają większe szanse na przeżycie i spłodzenie potomstwa.*** Oto cała istota doboru naturalnego. Skoro istnieje konkurencyjność i walka o przetrwanie, a każdy organizm różni się od pozostałych, to osobniki posiadające cechy dające przewagę mają większe szanse na przeżycie. Skoro cechy są dziedziczone, to w kolejnym pokoleniu korzystny gen będzie się częściej pojawiał.

Jeżeli te cztery warunki zostaną spełnione, przedstawiciele nowego pokolenia będą się różnić od osobników ze starego pokolenia częstością występowania oraz rozmieszczeniem cech, co idealnie wpisuje się w definicję ewolucji biologicznej.

Cztery rodzaje doboru naturalnego

Dobór naturalny może wyrzucić zmiany w populacji na kilka różnych sposobów. Rodzaj zmiany zależy od presji selekcyjnej wywieranej na populację oraz na cechy przez nią

faworyzowane. W zależności od zaistniałych okoliczności oraz presji selekcyjnej przedstawiciele populacji mogą pod wpływem ewolucji upodabniać się do siebie lub różnicować się coraz bardziej.



Poniżej omawiamy trzy typy doboru naturalnego oraz wprowadzamy pojęcie strategii rozrodczej.

- ***Dobór stabilizujący.*** Ten rodzaj doboru eliminuje skrajne lub nietypowe cechy. Osobniki posiadające najpowszechniej występujące cechy są uznawane za najlepiej dostosowane, przez co w populacji zostaje utrzymana częstość pojawiania się odpowiadających za nie genów. Wraz z upływem czasu natura pozbywa się skrajności. Na przykład masa ciała niemowląt mieści się w określonym zakresie wyznaczonym właśnie przez dobór stabilizujący. Karłowate lub olbrzymie dzieci mają mniejszą szansę na przetrwanie, dlatego allele odpowiedzialne za te skrajności są usuwane z populacji.

- ***Dobór kierunkowy.*** W tym przypadku cechy z jednego krańca zakresu są faworyzowane, a występujące na drugim skraju — eliminowane. Po wielu pokoleniach faworyzowane cechy upowszechniają się w populacji, a pozostałe allele stają się coraz bardziej ekstremalne, aż w końcu zanikają. Dobrym przykładem doboru kierunkowego jest ewolucja biologiczna koni. Przodkowie współczesnych koni byli dostosowani do poruszania się po zadrzewionych terenach i byli znacznie mniejsi od dzisiejszych potomków. Wraz z upływem czasu konie zmieniły siedliska na otwarte stepy, przez co wyewoluowały na znacznie większe, długonogie istoty.

- **Dobór różnicujący.** Czynniki środowiskowe faworyzują tu skrajne lub nietypowe cechy, a eliminują geny występujące powszechnie. Jednym z przykładów są rozmiary chwastów rosnących na koszonej łące w porównaniu z wysokością osiąganą przez nie w dziczy. W dzikim, naturalnym stanie wysokie chwasty znacznie skuteczniej konkurują o dostęp do światła niż niskie rośliny. Jednak na trawniku ich szanse zwiększają się, jeśli będą małe, ponieważ trawa jest regularnie koszona.

Aby zwiększyć szanse na przetrwanie, poszczególne gatunki opracowały różne **strategie rozrodcze** — metody pozwalające na spłodzenie i wychowanie potomstwa. Jedną z częściej spotykanych strategii jest tak zwany **dobór płciowy**. Samice zwiększają szansę na przeżycie potomstwa, jeżeli na ojca wybiorą najlepiej przystosowanego samca; z tego powodu samice są nastawione na jakość (strategia rozrodcza typu k — jakościowa). Z kolei samce zwiększają szansę na przetrwanie gatunku, płodząc jak największą liczbę potomków (strategia rozrodcza typu r — ilościowa). Ponieważ samce są nastawione na ilość, konkurencja pomiędzy samcami o względy samicy ma charakter siłowy. Zatem u samców wyewoluowały wszelkie cechy dające przewagę siłową, na przykład poroża, rogi czy masa mięśniowa. Samice wybierają samców, dlatego wykształcili oni również cechy zwracające uwagę samic, takie jak specyficzne zachowania godowe lub jasne umaszczenie.



Ewolucja biologiczna występuje u populacji, a nie u pojedynczych osobników. W zależności od okoliczności poszczególne organizmy żyją lub umierają, rozmnażają się bądź nie, ale same w sobie nie ewoluują pod wpływem presji selekcyjnej. Wyobraź sobie żyrafę, która ma zbyt krótką szyję, aby dosięgnąć najsmaczniejszych

liści na czubku drzewa. Przecież ta żyrafa nie wydłuży nagle szyi. Jeżeli jednak inna żyrafa w tym samym stadzie ma dłuższą szyję, zjada więcej liści, rośnie szybciej i przekazuje cielakom gen dłuższej szyi, to przyszłe pokolenia żyraf w tej populacji mogą być zdominowane przez osobniki o długich szyjach.

Dowody na istnienie ewolucji biologicznej

Od czasu przedstawienia świata przez Darwina teorii ewolucji biologicznej i doboru naturalnego odkrycia dokonane na wielu różnych płaszczyznach nauki dają dowód na potwierdzenie jego tezy, że ewolucja biologiczna dokonuje się częściowo w wyniku doboru naturalnego.



Mnóstwo danych potwierdza koncepcję ewolucji biologicznej poprzez dobór naturalny, a do tego nie znaleziono żadnego dowodu podważającego słuszność tego twierdzenia, dlatego jest ona uznawana za teorię naukową (o znaczeniu teorii naukowych dowiesz się z rozdziału 2.).

W następnych ustępach skupimy się na opisie dowodów (starych i nowych) potwierdzających darwinowską teorię ewolucji oraz dowiesz się, w jaki sposób te dowody były odkrywane.

Biochemia



Podstawowe procesy **biochemiczne**, czyli reakcje chemiczne zachodzące w komórkach, są zdumiewająco podobne u wszystkich istot żywych,

co stanowi dowód na pochodzenie wszystkich organizmów żywych od wspólnego przodka.

Klasyczny przykład: U wszystkich ustrojów biologicznych materiał genetyczny jest przechowywany w nici DNA, a białka składają się z 20 podstawowych aminokwasów. Bez względu na to, czy danym organizmem jest roślina kwiatowa pobierająca dwutlenek węgla z atmosfery, wodę z gleby i energię ze Słońca, czy lew pożerający antylopę gnu, czy też człowiek delektujący się wykwintną potrawą ugotowaną przez samego Wolfganga Pucka^[2], wszystkie istoty żywe przekształcają składniki odżywcze na energię, którą magazynują w cząsteczkach ATP. Są one następnie wykorzystywane do zasilania procesów komórkowych, takich jak biosynteza białek, które z kolei są regulowane przez geny zakodowane w nici DNA.

Anatomia porównawcza

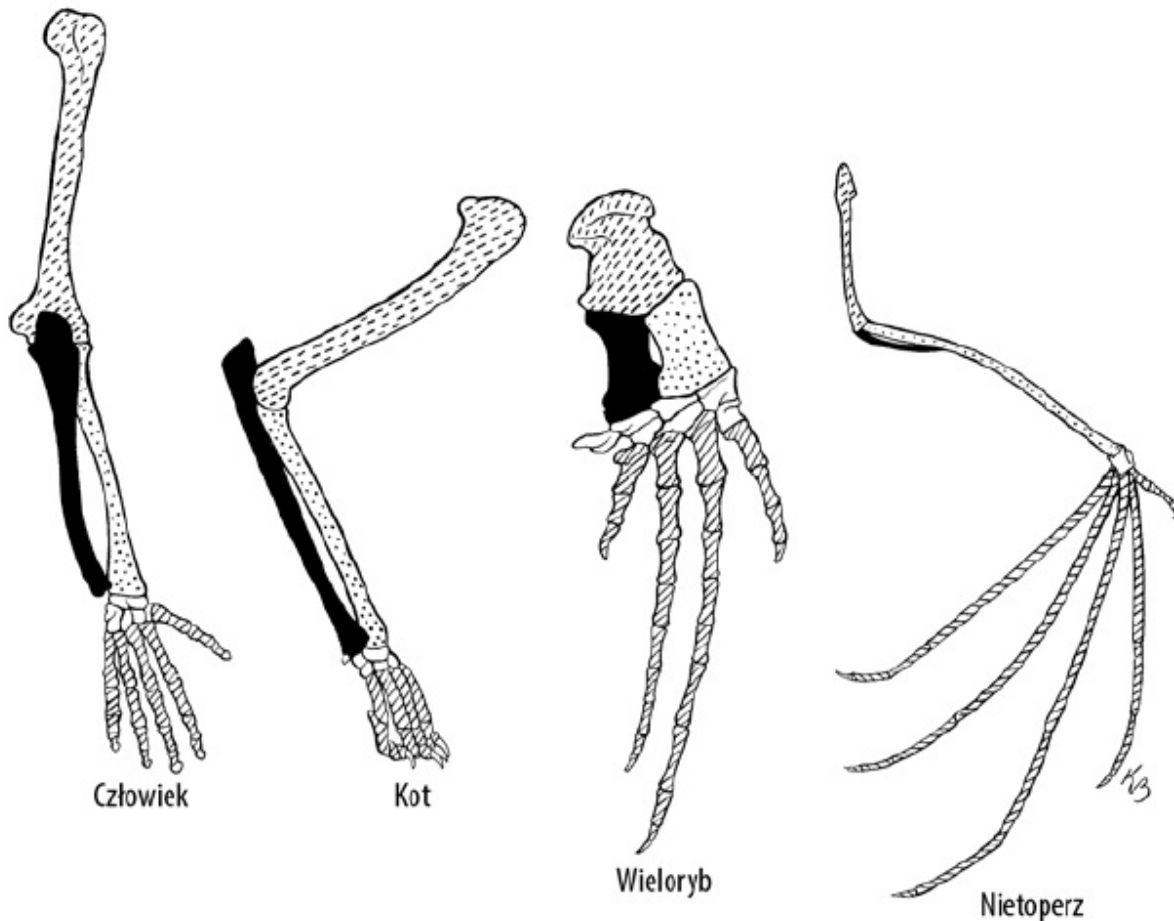
Dzięki **anatomii porównawczej** — dziedzinie anatomii, w której analizowane są elementy budowy różnych organizmów w celu ustalenia pokrewieństwa między nimi — wiemy, że podobne gatunki organizmów wyewoluowały od wspólnego przodka. Tak samo jak Ty posiadasz jakieś cechy wspólne z pozostałymi członkami rodziny (małe uszy, duży nos itp.), takie podobieństwa występują również pomiędzy mniej spowinowaconymi grupami.

Jak widać na rysunku 12.2, szkielety ludzi, kotów, wielorybów i nietoperzy są do siebie niezwykle podobne, chociaż gatunki te prowadzą różne style życia i mieszkają w zupełnie odmiennych środowiskach. Na zewnątrz ramię człowieka, przednia łapa kota, płetwa wieloryba i skrzydło nietoperza wydają się być zupełnie do siebie niepodobne, ale jeżeli

spojrzysz na ich budowę kostną, zauważysz, że zbudowane są z takich samych elementów składowych — „ramienia”, łokcia, „przedramienia” i pięciu „palców”. Jedyne, co je tak naprawdę różni, to rozmiary i kształty. Takie podobne do siebie narządy spotykane u różnych gatunków nazywane są **narządami homologicznymi**. Najlepszym wyjaśnieniem występowania takich narządów homologicznych u wszystkich czterech ssaków jest ich pochodzenie od wspólnego przodka — jest to koncepcja poparta dowodami kopalnymi.



Występowanie narządów homologicznych u ssaków jest szczególnie interesujące w przypadku wieloryba, gdyż wskazuje na bliskie związki tych olbrzymów ze zwierzętami lądowymi. W rzeczywistości wspomniany dowód dostarczony przez anatomię porównawczą jest dobrym potwierdzeniem hipotezy o powrocie organizmów lądowych do morza.



Rysunek 12.2. Anatomia porównawcza szkieletu przedniej kończyny człowieka, kota, wieloryba i nietoperza

Rozkład geograficzny gatunków



Rozmieszczenie różnych gatunków na naszej planecie tylko umacnia teorię ewolucji biologicznej. **Biogeografia**, czyli nauka poświęcona badaniu rozkładu geograficznego organizmów żywych, pozwala naukowcom w praktyczny sposób przewidywać postępy ewolucji biologicznej. Zasadniczo, jeżeli teoria ewolucji jest prawdziwa, to można oczekiwać, że grupy spokrewnionych ze sobą organizmów będą żyć „po sąsiedzku”, ponieważ pochodzą od wspólnego przodka (wyjątkiem są gatunki wędrowne, które

mogą pokonywać olbrzymie odległości). Z drugiej strony, gdyby Darwin się pomylił co do teorii ewolucji, nie byłoby powodu, aby podobne gatunki żyły w pobliżu siebie. Stwórca mógłby na przykład umieścić różne gatunki losowo na całej powierzchni planety lub jedne grupy organizmów mogłyby powstawać niezależnie od innych grup w najbardziej korzystnych dla nich środowiskach. Biogeografowie porównujący rozkład geograficzny współcześnie żyjących organizmów zauważyli wzorzec, zgodnie z którym spokrewnione ze sobą gatunki żyją blisko siebie.

Gdy Darwin porównywał zięby zamieszkujące wyspy Galapagos z ich kontynentalnymi kuzynkami, na podstawie obserwacji doszedł do wniosku, że archipelag został skolonizowany przez ptaki pochodzące z wybrzeża Ameryki Południowej. Hipoteza ta została potwierdzona przez współczesną naukę, gdy naukowcy przeprowadzili analizę genetyczną zięb z wysp Galapagos i ukazali ich powinowactwo zarówno z wyspiarskimi kuzynkami, jak i kontynentalnym przodkiem.

Od czasów Darwina odkryto wiele innych przykładów udowadniających wpływ rozkładu geograficznego na ewolucję biologiczną gatunków. Na przykład rozmieszczenie organizmów na Hawajach bardzo przypomina zjawisko odkryte na Galapagos. Na Hawajach żyją gatunki niespotykane nigdzie indziej, ale wykazujące podobieństwa do organizmów mieszkających na kontynentach północno- i południowoamerykańskim. Najtrafniejsze wydaje się wyjaśnienie, że organizmy te trafiły na Hawaje na skutek splotu okoliczności (na przykład burzy), a następnie wyewoluowały inaczej niż ich kontynentalna populacja.

W analogiczny sposób obydwie kontynenty amerykańskie były od siebie odseparowane, zanim pojawił się Przesmyk

Panamski. Na obydwu obszarach żyły różne gatunki ssaków. Pancerniki, jeżozwierze i oposy zamieszkiwały Amerykę Południową, natomiast Ameryka Północna stanowiła dom dla pum, szopów oraz leniwców. Dzięki zapisom kopalnym wiemy, że gatunki te ewoluowały niezależnie od siebie aż do momentu uformowania Przesmyku Panamskiego, który połączył obydwa kontynenty i umożliwił wędrówki z jednego kontynentu na drugi.

Biologia molekularna

Biologia molekularna jest dziedziną zajmującą się budową i funkcjonowaniem cząsteczek występujących w komórkach. Dzięki niej naukowcy byli w stanie porównać struktury białek występujących u różnych gatunków i stworzyć w ten sposób **drzewa filogenetyczne** (swoiste drzewa genealogiczne opisane w rozdziale 10.), przedstawiające teoretyczne pokrewieństwo pomiędzy organizmami w oparciu o podobieństwo sekwencji łańcuchów polipeptydowych.

Wraz z rozwojem technologii umożliwiającej odczytywanie sekwencji genów na nici DNA (więcej informacji na temat DNA znajdziesz w rozdziale 8.) naukowcy zyskali również możliwość porównywania tych sekwencji pomiędzy gatunkami. Pewne sekwencje białek i genów są bardzo podobne u daleko spokrewnionych gatunków, co oznacza, że nie uległy one zmianom przez miliony lat — są to tak zwane **sekwencje konserwatywne**.

Jeden z takich konserwatywnych genów odpowiada za produkcję **cytochromu c** — białka stanowiącego część łańcucha oddechowego występującego w mitochondriach. Sekwencja aminokwasów tworzących to białko jest identyczna zarówno u człowieka, jak i szympansa, co oznacza, że obydwa gatunki rozdzieliły się na osobne gałęzie drzewa filogenetycznego bardzo niedawno (w kategoriach ewolucji „niedawno” to i tak długi okres czasu; w tym

przypadku jakieś 6 milionów lat). Sekwencja aminokwasów w cytochromie c u rezusa różni się jedynie 1 aminokwasem w stosunku do białka występującego u ludzi i szympanów (na łączną liczbę 104 aminokwasów). Wynika z tego, że rezusy są nieco mniej spokrewnione z ludźmi.

Zapis kopalny

Zapis kopalny (czyli wszystkie znalezione skamieniałości wraz z dostarczonymi przez nie informacjami) dokładnie ukazuje zmiany dokonujące się w gatunkach wraz z upływem czasu. W czasach Darwina **paleontologia** (nauka zajmująca się badaniem prehistorycznego życia przez pryzmat skamielin) dopiero raczkowała. Od tamtego czasu paleontolodzy byli bardzo zajęci wypełnianiem luk w zapisie kopalnym po to, aby wyjaśnić historię ewolucji życia.



Znaleziono setki tysięcy skamieniałości ukazujących różne stadia ewolucji gatunków. Dla niektórych grup, na przykład ryb, płazów, gadów czy ssaków naczelnych, zapis kopalny przedstawiający zmiany ewolucyjne jest tak bogaty, że ciężko określić moment przekształcenia się jednego gatunku w inny — poszczególne stadia różnią się szczegółami.

W oparciu o zapis kopalny paleontolodzy stworzyli rzetelną linię czasu prezentującą etapy pojawiania się kolejnych grup organizmów, poczynając od prokariotów (patrz rozdział 4.), aż do współczesnego człowieka.

Dane obserwacyjne

Ewolucja biologiczna może być mierzona poprzez interpretację wyników badań sprawdzających szybkość zmian w populacjach współcześnie żyjących organizmów. Tak

naprawdę wystarczy zajrzeć do gazety lub internetu, aby przeczytać artykuł o kolejnych szczepach bakterii opornych na antybiotyki, co stanowi doskonały dowód na istnienie ewolucji życia.

W latach 40. ubiegłego wieku — w czasach, gdy ludzie dopiero zaczynali przygodę z antybiotykami — większość szczepów gronkowca złocistego (*Staphylococcus aureus* lub *S. aureus*) była wrażliwa na penicylinę. Korzystając z antybiotyków, ludzie narzucili na populacje gronkowca znaczną presję selekcyjną. Najlepiej dostosowane były te komórki bakteryjne, które potrafiły przetrwać wpływ penicyliny. Bakterie podatne na antybiotyk ginęły, a posiadające odporność na jego działanie — rozmnażały się. Obecnie większość szczepów *S. aureus* jest odporna na naturalną penicylinę. Pewien szczep gronkowca, znany pod nazwą *MRSA*, wyewoluował do tego stopnia, że zyskał odporność nie tylko na penicylinę, lecz również na półsyntetyczną metycylinę, która stanowiła znakomitą broń na podorzędziu lekarza zwalczającego zakażenia gronkowcowe. Ostatnim skutecznym środkiem na zwalczenie szczepów *MRSA* jest wankomycyna, ale już teraz i ona zaczyna zawodzić w przypadku niektórych szczególnie zjadliwych odmian. Pod koniec lat 90. zaobserwowano występowanie pierwszych szczepów *VRSA* — **gronkowca złocistego opornego na wankomycynę**. Nie znamy obecnie żadnego środka niszczącego *VRSA*; jeżeli ktoś zarazi się tym szczepem, to może umrzeć.



Antybiotyki stanowią miecz obosieczny. Stosowane w czasie infekcji pomagają wyzdrowieć ludziom, ale jednocześnie przyspieszają dobór naturalny. Teoretycznie dobre wieści są takie, że coraz więcej lekarzy i naukowców rozumie zasady rządzące ewolucją biologiczną i może powziąć odpowiednie środki

redukujące możliwe szkodliwe działania (np. przepisując mniej antybiotyków).

Datowanie izotopowe

Dzięki datowaniu izotopowemu (radiodatowaniu) wiemy, że Ziemia powstała mniej więcej 4,5 miliarda lat temu — wystarczająco dawno, aby pojawiło się mnóstwo gatunków na drodze ewolucji. **Izotopami** nazywamy odmienne formy pierwiastków powszechnie występujących we Wszechświecie (więcej informacji na ich temat znajdziesz w rozdziale 3.). Niektóre z nich, zwane **izotopami radioaktywnymi (promieniotwórczymi)** rozpadają się po pewnym czasie, tworząc nowe pierwiastki. Naukowcy znają szybkość takiego radioaktywnego rozpadu, więc mogą badać pierwiastki znajdujące się wewnątrz skał. Korzystając ze znanych wartości szybkości rozpadu oraz składu chemicznego skały, mogą obliczyć, przez jaki czas pierwiastki znajdujące się w badanej próbce rozpadały się na inne pierwiastki — innymi słowy, mogą określić wiek skał (również tych zawierających skamieniałości).

Skąd tyle kontrowersji? Ewolucja a kreacjonizm

Obecnie właściwie wszyscy naukowcy zgadzają się z istnieniem ewolucji biologicznej oraz że za jej pomocą można wyjaśnić wiele istotnych obserwacji dokonanych na organizmach żywych, jednak wielu zwykłych ludzi nie wierzy w tę teorię i brutalnie się jej sprzeciwia. Wolą oni dosłownie interpretować biblijną historię stworzenia. Ta różnica poglądów doprowadziła to pojawienia się jednej z najważniejszych dyskusji w dziejach: która filozofia jest właściwa — teoria ewolucji czy kreacjonizm (**kreacjonizm** to

koncepcja, zgodnie z którą Bóg stworzył z niczego świat i wszystkie żywe istoty. Większość kreacjonistów wierzy w historię stworzenia opisaną w Księdze Rodzaju).



Teoria ewolucji wywołuje tak wiele kontrowersji częściowo dlatego, ponieważ wielu ludzi uważa, że stoi ona w sprzeczności z miejscem człowieka w boskim planie. Arystoteles uważał, nic się nie dzieje w przyrodzie bez przyczyny, dlatego każdy byt ma swój cel. William Paley, XVII-wieczny myśliciel, na tej podstawie rozwinął koncepcję **inteligentnego projektu**: piękne projekty nie mogą powstawać przypadkowo; jeżeli powstaje coś pięknego, to musi istnieć również twórca tego projektu.

Wydaje się, że u podstaw kontrowersyjności teorii ewolucji mieści się pytanie: Skoro cudowna złożoność wszelkich istot żywych pojawiła się w wyniku naturalnych procesów oraz bez bezpośredniej ingerencji Boga, to jakie jest miejsce człowieka na świecie? Czy ludzkość nie jest „wyjątkowym” dziełem Boga?

Jeżeli uważasz siebie za wierzącą osobę i sądzisz, że zaakceptowanie faktu istnienia ewolucji biologicznej może zmniejszyć Twoje znaczenie dla Boga, to łatwo zauważysz, że wiara w teorię ewolucji stwarza wewnętrzny konflikt. Jednak czy ewolucja biologiczna i wiara religijna naprawdę stoją ze sobą w sprzeczności? Wiele osób duchownych i naukowców tak nie uważa. W rzeczywistości wielu badaczy jest bardzo religijnymi osobami, a niejeden przywódca duchowy odważył się przyznać, że wierzy w teorię ewolucji.

Ostatecznie każdy z nas decyduje o swoich przekonaniach. Naukowcy jednak usilnie starają się wykazać różnicę pomiędzy przekonaniami (wiarą) a nauką.

- Nauka próbuje opisać przyrodę za pomocą obserwacji dokonywanych narządami zmysłów. Koncepcje naukowe

(hipotezy) muszą być sprawdzalne — czyli można podważyć ich prawdziwość — poprzez obserwacje i doświadczenia (w rozdziale 2. przyglądamy się uważniej naturze nauki).

- Istnienie Boga wykracza poza dziedzinę nauki. Ludzie wierzą, że Bóg jest nadnaturalnym bytem, wykraczającym poza prawa przyrody. Z tego powodu istnienie Boga jest kwestią wiary.
- Zarówno teoria inteligentnego projektu, jak również kreacjonizm opierają się na koncepcji istnienia metafizycznego stwórcy lub projektanta, dlatego nie są uznawane za hipotezy ani teorie naukowe oraz nie można ich sprawdzić lub obserwować metodami naukowymi. Zwolennicy inteligentnego projektu często podpierają się obserwacjami przyrodniczymi, ale wnioski pochodzące z tych obserwacji wykraczają poza zakres natury; również nie można przeprowadzić eksperymentów dotyczących tych koncepcji w oparciu o istniejące prawa naturalne.

Zarówno kreacjonizm, jak i teoria inteligentnego projektu nie przestrzegają fundamentalnych zasad nauki, dlatego nie są uznawane za teorie naukowe.



W tabeli 12.1 porównujemy argumenty naukowe oraz kreacjonistyczne dotyczące teorii ewolucji, dzięki czemu możesz się z nimi zapoznać oraz stwierdzić, która wersja bardziej do Ciebie przemawia.

Tabela 12.1. Poglądy oparte na wierze oraz dowody naukowe dotyczące teorii ewolucji

Co twierdzą kreacjoniści oraz zwolennicy teorii inteligentnego projektu?	Co twierdzą naukowcy?

Natura jest piękna i złożona. Wiele istot żywych jest doskonale przystosowanych do swojej roli w przyrodzie. Te cudowne projekty nie mogły powstać przypadkowo; musi istnieć jakiś inteligentny projektant.	Ewolucja biologiczna nie jest przypadkowa. Zmiana jest przypadkowa, ale działanie ewolucji opiera się na zmianach i doborze naturalnym. Poprzez dobór naturalny populacje zmierzają w określonych kierunkach, zwłaszcza te najlepiej dostosowane do warunków środowiska. Jeżeli określone organizmy i elementy budowy wydają się doskonale przystosowane do środowiska, to tylko dlatego, że doprowadził do tego dobór naturalny.
Złożoność organizmów, począwszy od wielu komórkowych reakcji metabolicznych, aż do monumentalnej budowy oka kręgowców, nie mogła tak nagle powstać w wyniku nagromadzenia się przypadkowych zmian.	Złożone procesy i struktury nie powstają nagle z niczego. Ewolucja biologiczna polega na przystosowywaniu istniejących struktur. Nowe procesy i elementy budowy powstają z powodu wprowadzenia kilku zmian w starych strukturach.
Zapis kopalny nie stanowi dowodu istnienia ewolucji — istnieje zbyt wiele luk pomiędzy poszczególnymi gatunkami. Poza tym nigdy nie odnaleziono brakującego ogniwa pomiędzy człowiekiem a małpami.	Zapis kopalny za czasów Darwina był niekompletny, obecnie jednak istnieje wiele dobrze udokumentowanych linii ewolucyjnych, w tym również linii ewolucyjnej naczelnych. Dwie niezwykle ważne skamieniałości wskazujące etap przejściowy pomiędzy gatunkami należą do archeopteryksa (<i>Archeopteryx</i>) — upierzonego gada stanowiącego etap pośredni pomiędzy dinozaurami i ptakami — oraz tiktaalika (<i>Tiktaalik</i>) — zwierzęcia posiadającego cechy zarówno ryby, jak i zwierzęcia czworonożnego. Tiktaalik posiadał jednocześnie płuka i skrzela, a do tego potrafił poruszać się na czterech kończynach.
Teoria ewolucji stanowi kontrowersyjny	Zasadniczo wszyscy naukowcy wierzą w teorię ewolucji oraz rozumieją jej znaczenie w wyjaśnieniu różnorodności życia na Ziemi. Badacze często sprzeczą się co do

temat również
pośród
naukowców, a
niektórzy z nich
podważyli jej
wiarygodność.

szczegółów samej ewolucji oraz przeprowadzają
różnorodne doświadczenia — jest to przecież meritum
dociekliwości naukowej — ale nie podważają oni samego
faktu istnienia ewolucji biologicznej. Główna koncepcja
ewolucji poprzez dobór naturalny (zaproponowana przez
samego Darwina) jest ciągle akceptowana i popierana
obserwacjami z różnych dziedzin nauki.

Ewolucja człowieka

Jesteś przedstawicielką/przedstawicielem gatunku *Homo sapiens*. Ludzie są jedynymi żyjącymi reprezentantami rodzaju **człowiekowatych (hominidów;** do którego zaliczają się człowiek rozumny oraz jego wymarli krewni) na Ziemi, ale naukowcy odkryli szczątki innych człowiekowatych, które stanowią wskazówki dotyczące naszych początków.



Najbliższymi krewniakami ludzi są inni przedstawiciele rzędu naczelnych — mały człekokształtne i szympansy. Na rząd **naczelnych** składają się lemurowce i małpy właściwe, w tym ludzie. Posiadają duże mózgi, chwytne dłonie oraz widzą świat w trzech wymiarach (w rozdziale 10. opisałyśmy podział świata biologicznego na kategorie taksonomiczne).

W poniższych ustępach omówimy techniki wykorzystywane przez naukowców do wypełniania luk w poszczególnych ogniwach ewolucji człowieka oraz zaprezentujemy najważniejsze odkrycia dokonane przez lata w dziedzinie paleoantropologii (historii ewolucji człowieka).

Odkrycia kopalne

Prawdopodobnie najlepszą wskazówką do zrozumienia naszej współczesnej budowy anatomicznej jest przyjrzenie

się zapisowi kopalnych szczątków hominidów. Za pomocą skamieniałości naukowcy łączą elementy układanki pozwalającej wyjaśnić nasze pochodzenie oraz pokrewieństwo z innymi naczelnymi. Szczątki człowiekowatych występują rzadko i najczęściej są niekompletne, ale każdy nowy egzemplarz stanowi kolejną nitkę w mozaice naszej historii.



Teorie naukowe podtrzymywane przez dowody z różnych dziedzin wiedzy (na przykład teoria ewolucji), zazwyczaj nie upadają w wyniku odkrycia nowych znalezisk. Znaleziska te pozwalają raczej dopracować szczegóły teorii i wskazać istotne elementy przebiegu całego procesu.

Koncepcje dotyczące ewolucji człowieka były rozwijane przez lata. Przedstawiamy przegląd najważniejszych odkryć szczątków człowiekowatych dokonanych od końca XIX wieku.

- W 1891 roku badacz Eugene Dubois odkrył kilka kości na wyspie Jawa w Indonezji, znajdującej się nieopodal południowo-wschodniego wybrzeża Azji. Dubois uznał, że znalazł brakujące ogniwo pomiędzy człowiekiem a małpami człekokształtnymi i nazwał swoje znalezisko człowiekiem jawańskim. Z pewnością odkrycie było szczątkami przodka współczesnego człowieka rozumnego, nie wykazywał on jednak małpich cech. W rzeczywistości Dubois natrafił na przedstawiciela gatunku *Homo erectus* (człowieka wyprostowanego) — jednego z pierwszych dwunożnych hominidów. Pozostałości innych reprezentantów *Homo erectus* zostały znalezione także w Chinach i Afryce.
- W latach 30. ubiegłego wieku Raymond Dart zbadał niewielką czaszkę znaną z południowoafrykańskiego miasteczka Taung. Po przeanalizowaniu kształtu czaszki oraz zauważeniu, że znajduje się w niej skamieniały

mózg, Dart doszedł do wniosku, że należała ona do mniej więcej sześciolatniego dziecka pochodzącego z wymarłego gatunku człowieka. Szczątki zostały ochrzczone mianem dziecka z Taung. Dart uważał, że to **on** znalazł brakujące ogniwo pomiędzy człowiekiem a małpą, ale inni się z nim nie zgadzali. Wyśmiewano jego koncepcję afrykańskich korzeni człowieka, gdyż w tamtych czasach sądzono, że pierwotne gatunki ludzi wywodziły się z Azji (z powodu sławy człowieka jawajskiego). Dart mimo to nie zmienił swojego zdania. Zaklasyfikował czaszkę do gatunku *Homo habilis*, czyli człowieka zręcznego, gdyż w pobliżu kości znaleziono proste narzędzia.

- Również w latach 30. zeszłego wieku małżonkowie Louis i Mary Leakey rozpoczęli wykopaliska w tanzańskim wąwozie Olduvai. Trzydzieści lat później ich syn Richard zauważył na terenie stanowiska archeologicznego wystającą żuchwę tygrysa szabłozębnego. Po pewnym czasie odkryto trzy szkielety. Zaklasyfikowano je do gatunku *Homo habilis* i oszacowano ich wiek na mniej więcej 2 miliony lat. Rodzina Leakeyów kontynuowała badania wąwozu aż do lat 80., a w 1984 roku dokonali niezwykłego odkrycia — pierwszego (i do tej pory jedyne) w pełni zachowanego szkieletu *Homo erectus*, liczącego sobie 1,6 miliona lat.

- W 1994 roku żona Richarda Leakeya, Meave, podążyła z wąwozu Olduvai w górę rzeki do stanowiska Kanapoi (północna Kenia), gdzie znalazła szczątki kolejnego przedstawiciela człowiekowatych, datowane na 4,2 miliona lat. Żuchwa była znakomicie zachowana, a zęby w zdumiewającym stopniu przypominały uzębienie człowieka współczesnego. Sam jednak kształt żuchwy podobny był do dolnej szczęki szympansa. Znaleziono również dolną kość kończyny tylnej, która wskazywała

na dwunożny tryb życia istoty. Meave nazwała odkryty gatunek *Australopithecus anamensis*.

- Po odkryciach Darta i Leakeyów znaleziono więcej skamieniałości na południowo-wschodnim wybrzeżu Afryki, przez co kontynent ten został nazwany „kolebką cywilizacji”. Szczególnie istotny okazał się znaleziony w 1974 roku przez Dona Johansona w Etiopii szkielet przedstawicielki *Australopithecus afarensis*, nazwanej Lucy.
- Obecnie jest badany liczący sobie 4,4 miliona lat szkielet znaleziony w Etiopii. Został on zaklasyfikowany do gatunku *Ardipithecus ramidis* — są to dotychczas najstarsze znane szczątki człowiekowatych, dlatego naukowcy starają się stwierdzić, czy ten organizm może rzeczywiście być najstarszym przodkiem człowieka współczesnego.

Szczątki kostne należące do takich wczesnych hominidów jak Lucy pozwalają nam zrozumieć, w jaki sposób cechy charakterystyczne dla małp wyewoluowały w elementy anatomiczne człowieka rozumnego. W tabeli 12.2 zawarto przegląd modyfikacji powstałych na skutek ewolucji człowieka z małp.

Tabela 12.2. Ewolucja małpy w człowieka

Cechy anatomiczne	Zmiany
Ramiona	Małpy są zwierzętami czworonożnymi, dlatego nie mogą całkowicie wyprostować przednich kończyn (w przeciwnym wypadku często dręczyłyby je zwichnięcia). W związku z tym małpy nie posiadają tak ukształtowanych łokci, jakie występują u ludzi.
Mózgi	Ludzie współcześni mają silnie rozwinięte czoło. Wraz ze zmianą rozmiaru mózgu zmieniał się również kształt i rozmiar czaszki. Mózg człowieka jest większy i bardziej pofałdowany od mózgów gatunków kopalnych. Z kolei u człowieka

	współczesnego łuki brwiowe są znacznie mniejsze niż u jego przodków.
Stopy	W wyniku pionowej postawy ciała kształt pięty u <i>Homo sapiens</i> wyewoluował tak, aby stopa mogła amortyzować kontakt z podłożem.
Dłonie	Dłonie człowieka i szympansa są do siebie bardzo podobne. Ich struktura anatomiczna jest identyczna; różni je struktura linii papilarnych. Ludzie i inne naczelne posiadają przeciwstawne (chwytny) kciuki, dzięki którym mogą stabilnie trzymać różne przedmioty. Kciuki przeciwstawne pojawiły się u przodków człowieka mniej więcej 18 milionów lat temu.
Szczęki	Ludzka szczęka i uzębienie uległy zmniejszeniu. Obecnie nie musimy żuć surowego mięsa, dlatego nasze zęby nie są tak ostre, a szczęki tak mocne. Zamiast tego wykształciliśmy podbródek wzmacniający delikatniejszą żuchwę. Dzięki zmianom w kształcie szczęki oraz spłaszczeniu twarzoczaszki możliwa stała się komunikacja werbalna.
Kolana	Dzięki kolanom ludzie są istotami dwunożnymi. Na wyprostowanych nogach łatwiej utrzymywać równowagę i rozlokować środek ciężkości, a wskutek umieszczenia kolan pod biodrami (a nie przed nimi) nie człapiemy jak kaczki. Takie człapanie spowalnia, a ludzie czasami muszą biegać.
Ogony	Ani ludzie, ani małpy człekokształtne nie posiadają widocznych ogonów. Ta cecha anatomiczna została zredukowana jakieś 25 milionów lat temu. Jednak pozostałość ogona występuje u człowieka w postaci szczątkowej jako kość ogonowa umiejscowiona na końcu kręgosłupa.

Dane z DNA

Opracowanie technologii odczytu DNA w olbrzymim stopniu ułatwiło naukowcom poznanie części historii gatunku ludzkiego zapisanej w ludzkim DNA (złożoność cząsteczki DNA została omówiona w rozdziale 8.). Poprzez porównanie sekwencji genów u różnych gatunków hominidów badacze odkryli takie informacje jak:

- ***Które hominidy są ze sobą najbliżej spokrewnione.*** Blisko spokrewnione gatunki posiadają

więcej podobieństw genetycznych niż odległe filogenetycznie grupy. Ludzi najczęściej łączy z szympanсами; podobieństwo sekwencji DNA wynosi 97%. Obecnie uważa się, że mniej więcej 10 – 20 milionów lat temu istniał gatunek małpy człekokształtnej, z której mniej więcej 7 milionów lat temu powstała linia goryli. Z kolei z linii goryli jakieś 5 – 6 milionów lat temu wykształciły się dwa kolejne odłamy. Jedna z nich jest reprezentowana przez współczesne szympansy, a druga — przez ludzi.

- ***W jaki sposób rozprzestrzeniły się człowiekowate.*** Poprzez porównanie pokrewieństwa genetycznego pomiędzy hominidami, określenie wieku pewnych szczątków oraz ich położenia geograficznego wyłania się obraz „miejsca narodzin” danego gatunku oraz miejsc, do których podróżował.

- ***Kiedy powstawały nowe gatunki.*** U zwierząt dany gatunek tworzą osobniki, które mogą się ze sobą rozmnażać. Zazwyczaj dwa organizmy, które mogą spłodzić płodne potomstwo, uznawane są za członków tego samego gatunku, natomiast przedstawiciele osobnych gatunków, nawet jeśli mają możliwość krzyżowania się, nie mogą wydać potomstwa na świat lub jest ono niepłodne. W przypadku wymarłych gatunków nie możemy sprawdzać tego obserwacyjnie. Jednak dzięki zachowanym sekwencjom DNA ze szczątków naukowcy mogą zbadać, czyje geny były ze sobą wymieniane. Zostały porównane informacje genetyczne pochodzące od człowieka i innych współcześnie żyjących naczelnych, a także od wymarłych gatunków, na przykład neandertalczyków.

Wyjątkowy, wielki mózg człowieka rozumnego

Zrozumienie procesu ewolucyjnego prowadzącego do powstania *Homo sapiens* to jedno, ale zupełnie inny problem stanowi zrozumienie, dlaczego nastąpiły te zmiany. Na przykład dlaczego ludzki mózg stał się znacznie większy od mózgów innych człowiekowatych? Wskazówki są dość niewyraźne, ale istnieją w postaci narzędzi znajdowanych przy szkieletach, miejsc pochówku zmarłych oraz dowodów na korzystanie z ognia. Zgodnie z tymi wskazówkami naukowcy opracowali różne hipotezy wyjaśniające ścieżkę ewolucyjną współczesnego człowieka. Poniżej przedstawiamy niektóre z nich.

- Gdy tylko przodkowie ludzi stanęli na dwóch nogach, zaczęli polować. Przeszli więc z roślinożernego na drapieżny tryb życia. Jedną z przyczyn była zapewne zmiana klimatu. TemperatURY stawały się coraz wyższe i część lasów zniknęła, ustępując miejsca rozległym sawannom. Na tak otwartej przestrzeni znacznie łatwiej dostrzec zwierzynę łowną (zwłaszcza z pozycji stojącej). Z tego więc powodu przodkowie człowieka stali się skutecznymi myśliwymi i zaczęli jeść mięso.
- Posiłki składające się z mięsa zawierającego dużą ilość tłuszczów i białek spowodowały rozrost mózgu u człowiekowatych, a ewolucja faworyzowała osobniki posiadające większe mózgi (choć do tej pory nie wiadomo, jaka jest tego przyczyna).
- Z powodu zmiany kształtu i rozmiaru mózgowia, a przede wszystkim z powodu jego intensywnego rozwoju podczas życia płodowego samice musiały wcześniej rodzić dzieci, aby główka mogła przejść przez kostny kanał rodny. Noworodki stały się znacznie dłużej zależne od matek. Zmiana ta oznaczała, że samica nie mogła już uczestniczyć w łowach, ale potrzebowała ciągle wielu składników odżywczych do produkcji mleka. Ojciec dziecka wraz z innymi członkami grupy musieli dostarczać pożywienie matce. Zależność matki i dziecka

od innych spowodowała utworzenie ścisłych więzi z innymi członkami klanu.

Tabela 12.3 zawiera porównanie mózgów różnych gatunków człowiekowatych.

Tabela 12.3. Ewolucja mózgów hominidów

Nazwa rodzajowa	Rozwój mózgu
<i>Australopithecines anamensis</i> , <i>Australopithecines afarensis</i>	Objętość mózgu wynosiła około 400 cm ³ , mniej więcej tyle samo co u szympanśów czy goryli. Obydwa gatunki były dwunożne, ale inteligencją dorównywały małpom człekokształtnym.
<i>Homo habilis</i>	Mózg o rozmiarach ok. 650 cm ³ . Osobniki korzystały z kamiennych narzędzi.
<i>Homo erectus</i>	Objętość mózgu w przedziale pomiędzy 850 a 900 cm ³ . Przedstawiciele tworzyli między sobą pierwsze więzi społeczne.
<i>Homo neanderthalensis</i>	Mózg w granicach 1300 cm ³ . Gatunek ten cechowało ciało o mocniejszej budowie.
<i>Homo sapiens</i>	Rozmiar mózgu w zakresie od 1200 do 1600 cm ³ . Z powodu większego mózgu gatunek ten posiada większe płaty czołowe oraz szersze czoło.

Przypisy:

[1] Dostępny jest tam również polski przekład wspomnianej książki — *przyp. tłum.*

[2] Amerykański kucharz telewizyjny austriackiego pochodzenia — *przyp. tłum.*

Część IV

Obfitość układów. Budowa i funkcje organizmów zwierzęcych

The 5th Wave

By Rich Tennant



Czuję się naprawdę podekscytowany
tą klasówką. Normalnie czuję,
jak te kuleczki przepływają
przez długie rurki w moim ciele

W tej części...

Czy ktoś powiedział Ci kiedyś, że jesteś zwierzęciem? No więc jesteś zwierzęciem — dosłownie — gdyż należysz do królestwa zwierząt. Układ

· ciał zwierząt bywa bardzo zróżnicowany, posiadają one jednak pewne ·
· wspólne cechy, takie jak konieczność oddychania i odżywiania się. Niektóre ·
· zwierzęta, takie jak ludzie, składają się ze skomplikowanych układów ·
· narządów koordynujących budowę i działanie organizmu. ·

· W tej części opiszemy podstawy budowy i funkcjonowania wielu układów ·
· narządów tworzących ciało człowieka. Przyjrzymy się również różnorodnym ·
· mechanizmom wykorzystywanym przez inne zwierzęta, między innymi ·
· sposobom pozyskiwania związków odżywczych oraz ich transportowania po ·
· całym organizmie. ·

······

Rozdział 13.

Refleksje nad podstawami fizjologii

.....

W tym rozdziale:

- poznasz związki pomiędzy budową anatomiczną a funkcjami organów;
 - zrozumiesz istotne pojęcia z zakresu fizjologii, takie jak ewolucja i homeostaza.
-

Fizjologia jest dziedziną biologii zajmującą się badaniem funkcjonowania zdrowego organizmu. Działanie organizmu jest ściśle powiązane z jego budową, a jego podstawę stanowią procesy zachodzące na poziomie komórkowym. Aby przetrwać, istoty żywe muszą być w stanie sterować procesami fizjologicznymi oraz reagować na zmiany zachodzące w środowisku. W tym rozdziale udowodnimy, że procesy fizjologiczne występują na każdym poziomie życia, oraz opiszemy podstawowe prawa fizjologii dotyczące wszystkich układów narządów tworzących ciało człowieka.

Badanie procesów fizjologicznych na wszystkich poziomach życia

Aby móc zrozumieć fenomen istoty żywej, należy zapoznać się rzetelnie z budową i działaniem jej organizmu, również na poziomie komórkowym. W tym momencie przychodzą nam z pomocą anatomia i fizjologia. **Anatomia** zajmuje się analizą budowy organizmu, natomiast **fizjologia** opisuje

funkcjonowanie tych elementów składowych ciała. Obydwie dziedziny są ze sobą nierozzerwalnie powiązane, ponieważ działanie organizmu jest ściśle zależne od jego budowy.

Na przykład zadaniem serca jest wymuszanie krążenia krwi w całym układzie krwionośnym. Mięsień sercowy, kurcząc się, wywiera ciśnienie na krew, co powoduje wypchnięcie jej z serca do tętnic. Aby cały mechanizm właściwie funkcjonował, znajdujące się we wnętrzu serca blaszki tkankowe zwane **zastawkami** odcinają w pewnym momencie krwi drogę powrotną do komór serca, dzięki czemu się do niego nie cofa. Niektórzy ludzie jednak rodzą się z nieprawidłowo wykształconymi zastawkami, przez co blokada nie jest całkowita. U takich ludzi krew jest pompowana mało wydajnie, ponieważ zamiast krążyć w tętnicach, częściowo wraca do serca. Osoba z taką wadą serca zazwyczaj męczy się znacznie szybciej od zdrowego człowieka. Wady zastawek to tylko jeden z przykładów zależności występujących między budową a działaniem danego organizmu.

Anatomię i fizjologię można badać na każdym poziomie organizacji organizmu — od najmniejszych cegiełek (komórek) aż po całe ciało. Niektórzy naukowcy zajmują się nawet **fizjologią ekologiczną**, czyli obserwacją związków pomiędzy fizjologią zwierząt a środowiskiem zewnętrznym. Złożoność budowy anatomicznej i procesów fizjologicznych wzrasta wraz z przechodzeniem na coraz wyższe etapy organizacji organizmu, co zostało zaprezentowane poniżej.

- ***Tkanki zbudowane są z komórek, które z kolei składają się z cząsteczek.*** Fizjologia opiera się na funkcjonowaniu komórek, ale żeby można było je zrozumieć (oraz szczegóły procesów fizjologicznych), musisz znać oddziaływania występujące pomiędzy cząsteczkami w komórce (więcej informacji na temat budowy komórki znajdziesz w rozdziale 4.; z kolei

rozdział 3. został poświęcony opisowi podstawowych rodzajów związków organicznych).

• ***Organizmy składają się z układów narządów, które tworzą z kolei narządy zbudowane z tkanek.***

Aby zrozumieć działanie organizmu, najpierw trzeba poznać zasadę funkcjonowania układów narządów oraz pojedynczych organów. Funkcje narządów zależą od zadań pełnionych przez tkanki składające się z podobnych rodzajów komórek.

• ***Organizmy mnożą się, tworząc populacje, które oddziałują z innymi populacjami, formują biocenozy.***

Z kolei biocenozy, wpływając na środowisko, stanowią trzon ekosystemu. Jeśli na organizm oddziałują inne istoty żywe lub nieożywione elementy środowiska, może to wpływać na jego fizjologię. Na przykład takie toksyny jak polichlorowane bifenyle (PCB) posiadają właściwości zbliżone do estrogenów, przez co zaburzają funkcje rozrodcze organizmów. W analogiczny sposób narażenie się na różne patogeny może spowodować wystąpienie choroby mającej negatywny wpływ na procesy fizjologiczne (w rozdziale 11. zostały pokrótce opisane rodzaje ekosystemów, a informacje o patogenach znajdziesz w rozdziale 17.).

Aby zrozumieć działanie jakiegoś elementu na dowolnym poziomie organizacji, często trzeba znać zadania pełnione przez struktury niższego rzędu. Pamiętaj jednak, że znając działanie podstawowych składników, nie zawsze da się przewidzieć funkcjonowanie struktur wyższego rzędu. Czasami suma poszczególnych części jest czymś więcej, niż się na pozór wydaje. Na przykład nikt nie przewidziałby intelektualnych i emocjonalnych właściwości mózgu w oparciu o badanie pojedynczego neuronu.

Cechy większego układu, które różnią się od



funkcji jego pojedynczych składników, mają swoją nazwę — są to **właściwości emergentne**.

Być za pan brat z podstawowymi pojęciami fizjologicznymi

W samym organizmie człowieka współpracuje ze sobą dziesięć różnych układów narządów (zostaną one opisane w kolejnych rozdziałach). Każdy z tych układów posiada odrębną budowę i właściwości wpływające na funkcjonowanie całego ciała.

Poniższe ustępy zawierają informacje o pewnych pojęciach, kluczowych dla zrozumienia mechanizmów działania wszystkich tworzących Cię układów narządów. Znając te koncepcje, łatwiej dostrzeżesz podobieństwa pomiędzy poszczególnymi układami oraz pojmiesz niektóre fundamentalne procesy pozwalające na sterowanie działaniem tych układów.

Ewolucowanie ku doskonałości

Wyjaśnienia związków pomiędzy budową a funkcją badanych elementów dostarcza **teoria ewolucji**, czyli dziedzina zajmująca się badaniem przemian populacji w czasie. Naukowcy porównują budowę i działanie różnych organizmów, dzięki czemu mogą obserwować mechanizmy powstawania różnych odmian danej części organizmu (na przykład tkanki, narządu bądź całego układu narządów), często udoskonalanych przez miliony lat w celu lepszego dostosowania zwierzęcia do środowiska.

Współcześni naukowcy wiedzą na przykład, że nerka służy do wychwytywania wody (budowa i działanie nerki zostały dokładniej opisane w rozdziale 16.). Organ ten składa się z nefronów, w skład których wchodzi malutkie kanaliki, zwane pętlami Henlego, umożliwiające ssakom wychwytywanie wody z moczu pierwotnego, zagęszczanie moczu oraz zabezpieczanie organizmu przed odwodnieniem. Ssaki pustynne podlegają silnej presji selekcyjnej związanej z oszczędzaniem wody (rozdział 12. omawia teorię ewolucji oraz pojęcie presji selekcyjnej). Wiele z nich posiada bardzo długie pętle Henlego, dzięki czemu odzyskują większość wody. Gatunki te wytwarzają mocno zagęszczony mocz, a zatrzymana woda pozwala przetrwać srogie, pustynne warunki. Porównując ssaki pustynne z ich kuzynami zamieszkującymi inne obszary, naukowcy odkryli dowód na ewolucję nerki, przejawiającą się udoskonalonym działaniem pętli Henlego.

Sterowanie procesami fizjologicznymi w celu utrzymania homeostazy

Ponad sto lat temu francuski fizjolog Claude Bernard zauważył, że istnieją dwa rodzaje środowiska mające wyraźny wpływ na fizjologię zwierząt.

- **Środowisko zewnętrzne** — zalicza się do niego Słońce oraz atmosferę otaczającą organizm. Cechuje je dość duży zakres zmian, np. temperatur związany z cyklem dobowym.
- **Środowisko wewnętrzne** — do środowiska wewnętrznego zaliczamy płyny otaczające komórki w tkankach. Wpływają na nie pokarmy spożywane przez zwierzę oraz ilość wypijanej przez nie wody.

Jeżeli warunki środowiska wewnętrznego ulegną zbyt drastycznej zmianie, może to spowodować



obumieranie komórek. Z tego powodu zwierzęta opracowały układy regulacyjne reagujące na zmiany środowiska zewnętrznego i przeciwdziałające im w celu utrzymania warunków środowiska wewnętrznego umożliwiających przeżycie. Innymi słowy, zwierzęta (także Ty) starają się utrzymać **homeostazę** (równowagę) w swoich organizmach.

Wiele procesów homeostatycznych reguluje takie parametry organizmu jak jego zakwaszenie, poziom glukozy oraz temperatura ciała. Aby utrzymać homeostazę określonego parametru, zwierzę musi:

- mierzyć zmiany wartości tego parametru;
- reagować na zmiany, modyfikując czynniki regulujące ten parametr.

Większość procesów regulujących homeostazę opiera się na **ujemnym sprzężeniu zwrotnym** — zmiana zachodząca w wyniku danego procesu wywołuje szereg reakcji prowadzących do zminimalizowania tej zmiany. Na przykład po jedzeniu wzrasta stężenie glukozy we krwi. W odpowiedzi na to organizm uwalnia do krwiobiegu insulinę, która „powiadamia” organizm, że należy przetransportować glukozę do komórek i tym samym zmniejszyć poziom glukozy we krwi.



Zakres zmian danego parametru tolerowany przez organizm pełni rolę **punktu nastawczego** w utrzymaniu homeostazy. Jeżeli pojawią się jakieś zmiany w środowisku wewnętrznym, są one mierzone i porównywane z punktem nastawczym. Różnica pomiędzy wartością danej zmiennej a docelowym punktem nastawczym służy do generowania sygnałów

uruchamiających procesy (np. ujemne sprzężenie zwrotne) przywracające homeostazę do pierwotnego poziomu. Na przykład stężenie glukozy nie może przekraczać pewnego poziomu, w przeciwnym razie dana osoba będzie doznawać objawów cukrzycy. Gdy poziom glukozy podnosi się po posiłku, insulina wywołuje ujemne sprzężenie zwrotne przywracające właściwe stężenie cukru.



Aby zrozumieć mechanizm homeostazy, wyobraź sobie organizm jako układ grzewczo-chłodzący. Definiujesz punkt nastawczy za pomocą termostatu, który mierzy temperaturę pomieszczenia. Jeżeli temperatura w pokoju jest wyższa od zadanej, to termostat wysyła sygnał do włączenia układu chłodniczego. Gdy temperatura osiągnie wartość punktu nastawczego, termostat ponownie wysyła sygnał, tym razem do wyłączenia chłodzenia. Układ grzewczy, podobnie jak Twoje ciało, posiada mechanizmy pomiaru danej wartości (w tym przypadku temperatury) oraz odpowiedzi na zmianę (włączanie układu grzewczego/chłodzącego).

Podczas poznawania anatomii i fizjologii człowieka natkniesz się na wiele przykładów regulacji homeostatycznej oraz ujemnego sprzężenia zwrotnego. Choć mechanizmy te mogą różnić się szczegółami, składają się na nie trzy podstawowe elementy.

- **Receptor. Receptor** mierzy zmianę wartości danego parametru, np. ciśnienia krwi, temperatury ciała czy pulsu, i wysyła informacje do centrum kontrolującego.

- **Centrum kontrolujące.** Centrum kontrolującym może być określony neuron lub gruczoł — musi przetworzyć otrzymaną informację, zapoczątkować odpowiedź pozwalającą na utrzymanie wartości w prawidłowym przedziale oraz wysłać odpowiedź do efektora.
- **Efektor.** Efektorem jest często jakiś mięsień lub gruczoł reagujący na odpowiedź organizmu.



Homeostaza nie utrzymuje sztywno parametrów ciała przez cały czas. Wartość punktu nastawczego może ulec zmianie w zależności od sytuacji, w jakiej znajduje się organizm. Na przykład temperatura ciała zmienia się w ciągu doby. Jej wartość spada podczas snu, a wzrasta podczas wysiłku fizycznego. Jak więc widać, homeostaza utrzymuje optymalne warunki środowiska wewnętrznego, ale nie dąży za wszelką cenę do zachowania stałej wartości.

Przesyłanie informacji przez błony komórkowe

Komórki komunikują się z innymi komórkami, tkankami i narządami. Łączność ta jest niezbędna do utrzymania integralności wszystkich układów narządów oraz zachowania homeostazy (opisanej w poprzednim ustępie). Błony komórkowe izolują komórkę od środowiska zewnętrznego i pozwalają zachować delikatną równowagę pomiędzy cytoplazmą i macierzą międzykomórkową (więcej informacji na temat błon komórkowych znajdziesz w rozdziale 4.). W skomplikowanych, wielokomórkowych organizmach (np. u człowieka) każda komórka pełni wyspecjalizowaną funkcję (szczegóły opisujące różnicowanie się komórek zostały omówione w rozdziale

19.). Funkcjonowanie organizmu jako całości jest ściśle uzależnione od skoordynowanego działania tworzących go komórek.

Sygnały docierają do błony komórkowej, a następnie są przenoszone przez nią w procesie zwanym **przewodnictwem sygnału**. Jest to dość złożony proces.



1. Sygnał (cząsteczka chemiczna) dociera do błony komórkowej i łączy się z zakotwiczonym w niej białkiem receptorowym.

Cząsteczki sygnałowe łączące się z receptorami są nazywane **ligandami**. Każdy ligand łączy się wyłącznie ze specyficznym receptorem, zatem odpowiedzi komórkowe na różne sygnały mogą być bardzo różne.

2. Receptor umieszczony w błonie komórkowej ulega modyfikacji w wyniku połączenia się z cząsteczką sygnałową.

Na przykład białko receptorowe może zmienić swój kształt.

3. Białko receptorowe oddziałuje z cząsteczką przekaźnikową znajdującą się po wewnętrznej stronie błony komórkowej. Cząsteczka ta odbiera dany sygnał i również ulega modyfikacji.

4. Cząsteczka przekaźnikowa łączy się z docelowym białkiem, które powoduje zmianę funkcjonowania komórki.

Modyfikacja procesów komórkowych wynika często ze zmian w ekspresji genów (więcej informacji na ten temat znajdziesz w rozdziale 8.).

Co się dostaje do środka, musi wydostać się na zewnątrz

Organizmy muszą zdobywać materię i energię ze środowiska, żeby przetrwać, ale same nie mogą ani wytwarzać, ani niszczyć tych podstawowych składników życia. Zamiast tego są w stanie przekształcać je z jednej formy na inną. Procesy to umożliwiające składają się na metabolizm organizmu (opisałyśmy go w rozdziale 5.).



Zgodnie z **prawem zachowania masy**, jeśli ilość substancji w organizmie ma pozostawać niezmienna, wszystkie elementy dostające się do środka muszą być równoważone przez taką samą masę składników wydostających się z niego. Krótko mówiąc, tyle samo musi wychodzić z organizmu, ile do niego wchodzi.

Prawo zachowania masy stanowi podstawę regulacji niektórych układów w ludzkim ciele, między innymi:

- stężenia tlenu i dwutlenku węgla w układzie oddechowym,
- przepływu krwi przez serce,
- usuwania składników ubocznych przez nerki,
- równowagi wodno-elektrolitycznej krwi.

W każdym z wymienionych przypadków mechanizmy regulujące przywracają homeostazę po zaburzeniu bilansu mas.

Rozdział 14.

Podpora i ruch – układy kostny i mięśniowy

W tym rozdziale:

- ▶ dowiesz się, w jaki sposób zwierzęta przemieszczają się z miejsca na miejsce;
- ▶ poznasz różne rodzaje szkieletów;
- ▶ zrozumiesz, dlaczego włókna mięśniowe są bezcenne.

Skoordynowane działania mięśni i kości umożliwiają wykonywanie różnorodnych ruchów przez zwierzęta. Poprzez skurcze mięśnie mogą przyciągać lub odpychać dany obiekt, a kości stanowią punkt zaczepienia dla pracujących włókien mięśniowych. Dzięki omówionym w tym rozdziale rodzajom układów szkieletowych oraz podstawom działania mięśni poznasz mechanizmy pozwalające zwierzętom na poruszanie się.

Iść, ciągle iść w zwierzęcym stylu

Ryby pływają, psy biegają, żaby skaczą, robaki pełzają, a ptaki latają. Każdy z wymienionych rodzajów **lokomocji**, czyli poruszania się z miejsca na miejsce, wymaga nakładu energii potrzebnego do pokonania sił tarcia i grawitacji, które w przeciwnym razie uniemożliwiałyby jakiegokolwiek przemieszczanie się.

Każde zwierzę jest w inny sposób dostosowane do środowiska oraz wykształciło inne mechanizmy lokomocji.

- Pływające zwierzęta, na przykład ryby i wieloryby, mają kształt ciała minimalizujący opór stawiany przez wodę. Często są dodatkowo otoczone wodoodpornym śluzem oraz posiadają elementy zwiększające wyporność ciała.
- Kości ptaków są wypełnione powietrzem (kości pneumatyczne), a aerodynamiczny kształt ciała ułatwia lot.
- Duże zwierzęta lądowe (np. słonie lub lwy) mają mocne szkielety oraz mięśnie przeciwstawiające się sile ciężenia.
- Króliki, kangury i inne skaczące zwierzęta posiadają niezwykle rozwinięte mięśnie nóg oraz mocne ścięgna działające jak sprężyny.
- Zwierzęta pełzające (pierścienice, węże) posiadają gładkie, obłe ciała, redukujące tarcia powstające w kontakcie z podłożem.

Rodzaje układów szkieletowych

Szkielet stanowi podporę organizmu, nadaje ciału kształt oraz chroni organy wewnętrzne, ale u różnych zwierząt przybiera różne formy. Poniżej prezentujemy trzy rodzaje szkieletów, z jakimi się zetkniesz podczas poznawania tajników biologii.

- ***Szkielet hydrostatyczny (hydroszkielet)*** — spotykany jest na przykład u pierścienic i meduz. **Szkielet hydrostatyczny** to po prostu komora wypełniona wodą. Zwierzęta posiadające hydroszkielet poruszają się i zmieniają kształt, ściskając te komory — przypomina to efekt, jaki uzyskamy podczas ściskania balonu wodnego.

- **Szkielet zewnętrzny (egzoszkielet)** — jest to dokładnie to, na co wskazuje nazwa — szkielet stanowiący zewnętrzną powłokę ciała. Prawdopodobnie ta twarda, zewnętrzna konstrukcja nie jest Ci obca, ponieważ posiadają ją kraby, homary oraz wiele gatunków owadów. **Szkielety zewnętrzne** są sztywne i nie rosną wraz z tkankami miękkimi, dlatego osobniki je posiadające od czasu do czasu **linieją**, czyli zrzucają egzoszkielet. Po wylince nowy szkielet zewnętrzny jest miękki, jak u krabów miękkoskorupowych^[2].

- **Szkielet wewnętrzny (endoszkielet)** — najbardziej rozpoznawalnym rodzajem szkieletu jest **szkielet wewnętrzny**. Jesteś jego posiadaczka/posiadaczem. Endoszkielet znajduje się we wnętrzu organizmu. Układ kostny człowieka jest twardy, ponieważ częściowo tworzą go zmineralizowane związki wapnia. Szkielety wewnętrzne innych zwierząt mogą być elastyczniejsze — przykładowo u rekina szkielet tworzą chrząstki, czyli ten sam materiał, z jakiego wykonane są miękkie części Twojego nosa.



Zwierzęta posiadające szkielety hydrostatyczne i zewnętrzne są zaliczane do grupy **bezkregowców** — organizmów nieposiadających rdzenia kręgowego. Organizmy posiadające szkielet wewnętrzny są uznawane za **kręgowce**, ponieważ występuje u nich kręgosłup.

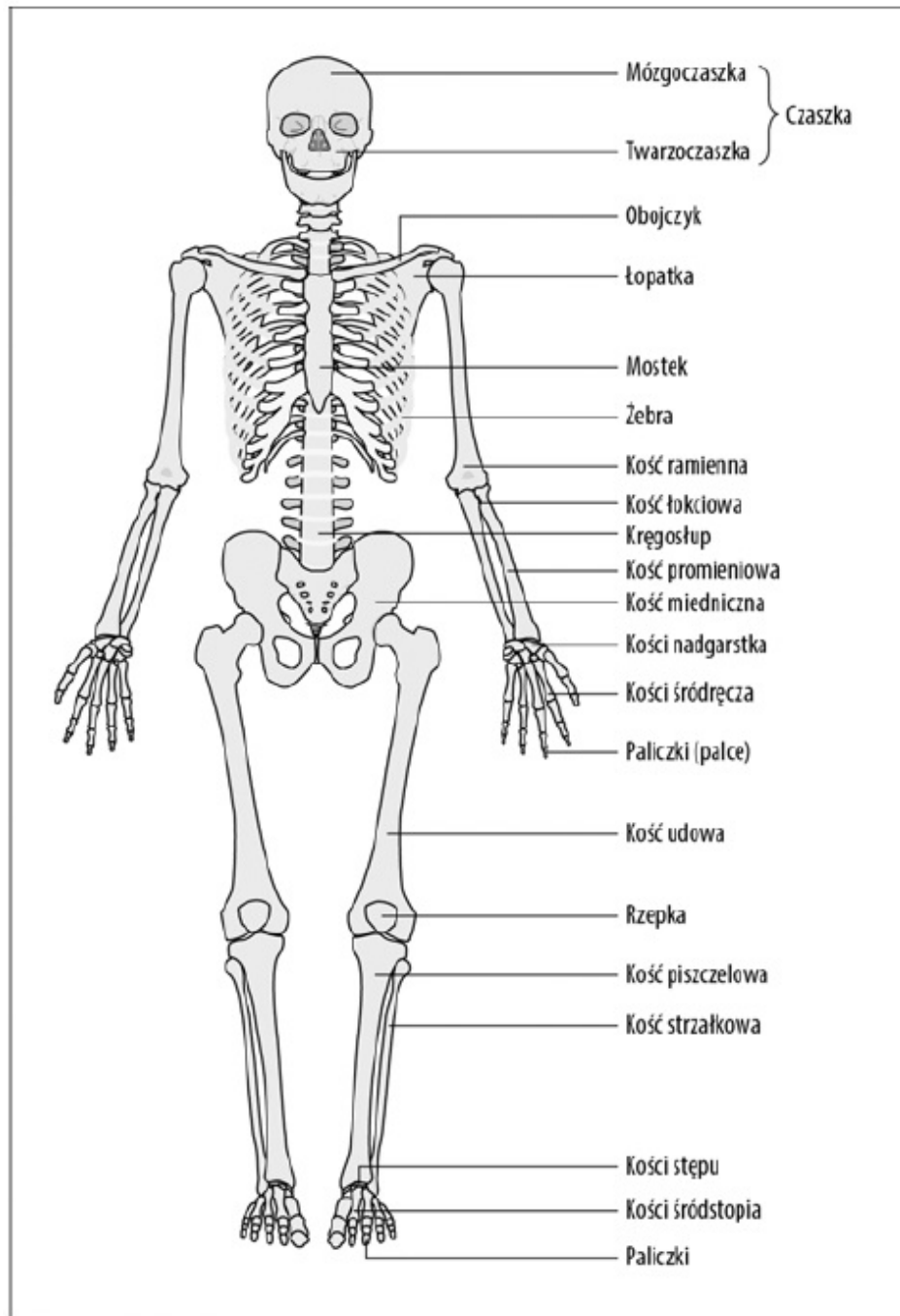
W kolejnych ustępach przyjrzymy się nie tylko budowie układu kostnego kręgowca, lecz również zapoznasz się z ważnymi elementami składowymi Twojego szkieletu — kośćmi i stawami.

Analiza szkieletu kręgowców

Wszystkie kręgowce pochodzą od wspólnego przodka. Dlatego też szkielety kręgowców — bez znaczenia, czy mamy na myśli ludzi, węże, nietoperze, psy lub wieloryby — są do siebie bardzo podobne. Część z obecnie obserwowanych podobieństw wynika z istnienia **narządów homologicznych** — struktur zbudowanych w podobny sposób i znajdujących się w tym samym miejscu organizmu (w rozdziale 12. znajdziesz więcej informacji na temat narządów homologicznych i ich roli w badaniu pokrewieństwa ewolucyjnego).

Układy kostne wszystkich kręgowców — czy to Twój (ukazany na rysunku 14.1), czy wieloryb lub kota — składają się z dwóch podstawowych części. Są to:

- **Szkielet osiowy** — tworzące go kości stanowią strukturę **osi** zwierzęcia. Należą do niego czaszka, kręgosłup oraz klatka piersiowa. Czaszka osłania mózg, kręgosłup chroni rdzeń kręgowy, a klatka piersiowa zabezpiecza płuca i serce.
- **Szkielet obwodowy** — stanowi rozszerzenie szkieletu osiowego na ręce i nogi (zwane również **kończynami**). Składają się nań obręcz barkowa (obojczyki i łopatki), obręcz miedniczna (kości miedniczne) oraz kości kończyn górnych i dolnych.



Rysunek 14.1. Szkielet człowieka

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

U niektórych kręgowców (np. węży) szkielet obwodowy został znacznie zredukowany lub całkowicie zaniknął.



Kości, kostki i kosteczki

Jeżeli kiedykolwiek oglądałaś/oglądałeś stary western, prawdopodobnie rzuciły Ci się w oczy sceny z bielejącymi kośćmi na pustyni, rozrzuconymi wzdłuż pionierskich torów kolejowych. Ukazane w filmach wysuszone, białe szkielety bardzo różnią się od żywej tkanki tworzącej Twój kościec. Kość jest w rzeczywistości wilgotną, żywą tkanką składającą się z wielu różnych warstw i typów komórek.

- Tkanka łączna włóknista otacza kości od zewnątrz, tworząc okostną, która pomaga regenerować złamane kości, wytwarzając nową tkankę kostną.
- Komórki kostne zatopione w macierzy kostnej odpowiadają za wyjątkową wytrzymałość i elastyczność kości. W rzeczywistości to właśnie te komórki wytwarzają otaczającą je macierz, zawierającą włókna kolagenowe wzmocnione dodatkami kryształów fosforanowo-wapniowych.
- Tkanka chrzęstna pokrywa niektóre krawędzie kości, zwłaszcza te tworzące powierzchnie stawowe, i chroni je przed uszkodzeniem w wyniku wzajemnego tarcia podczas ruchu.



Na żywą kość składają się dwa typy tkanek.

- **Tkanka kostna gąbczasta** jest bardzo porowata i przypomina nieco skały wulkaniczne. Pory wypełnione są **czerwonym szpikiem kostnym**, czyli tkanką wytwarzającą różne rodzaje krwinek.

- **Tkanka kostna zbita** posiada twardą i gęstą strukturę. Wszelkie jamy w obrębie tej tkanki zawierają **żółty szpik kostny**, służący przede wszystkim do magazynowania tłuszczów. Jeżeli organizm straci wiele krwi, żółta tkanka szpikowa zostaje przekształcona w czerwony szpik kostny, co powoduje przyspieszenie produkcji krwinek.

Złamana kość?

Od pewnego czasu wzrasta liczba złamań kości u amerykańskich dzieci; lekarze uważają, że ma to związek z mniejszą ilością ćwiczeń fizycznych i spożywanego mleka. Ćwiczenia są bardzo ważne, ponieważ obciążają kości, co stymuluje je do wzrostu i zagęszczenia. Z kolei witamina D i wapń zawarte w mleku są niezbędnym elementem rozwoju zdrowych, mocnych kości. Lekarze zalecają picie mleka, gdyż stanowi ono doskonałe źródło łatwo przyswajalnej formy wapnia. Wypicie szklanki mleka zaspokaja dzienne zapotrzebowanie na wapń (ewentualnie — za pozwoleniem lekarza — wystarczy zażyć suplement diety zawierający wapń). **Uwaga:** Masa kości przestaje wzrastać po dwudziestym roku życia, zatem pij do tego czasu dużo mleka^[1]!

Nastaw staw

Stawy są strukturami anatomicznymi, w których występuje ruchome połączenie pomiędzy kośćmi. Kości są połączone ze stawem za pomocą **więzadeł** — mocnych włókien łącznotkankowych.



Trzy rodzaje stawów umożliwiają zwierzętom ruch.

- **Stawy kuliste** składają się z jednej kości o kulistej końcówce, wpuszczonej w gładkie zagłębienie w drugiej kości. Twoje ręce i nogi łączą się z resztą szkieletu właśnie za pomocą stawu kulistego, dzięki czemu możesz nimi poruszać w dowolnym kierunku.

- **Stawy obrotowe** umożliwiają obracanie kości. Gdy obracasz przedramieniem w taki sposób, że

wewnętrzna strona dłoni znajduje się raz na górze, raz na dole, to korzystasz ze stawu obrotowego.

- **Stawy zawiasowe** pozwalają na przybliżanie lub oddalanie połączonych kości; przypomina to nieco otwieranie i zamykanie książki. Przykładami takich stawów są kolana i łokcie — pozwalają na zginanie i prostowanie kończyn.

Dlaczego mięśnie są tak ważne?

Włókna mięśniowe odgrywają olbrzymią rolę w organizmie — i to nie tylko dlatego, że wytrenowane poprawiają Twój wygląd oraz stają się silniejsze. Bez mięśni nie moglibyśmy chodzić, biegać ani uprawiać sportu. Nie bylibyśmy nawet w stanie zdobywać związków odżywczych, oddychać ani wprawiać krwi w ruch po całym ciele.



Poniżej przedstawiamy najważniejsze funkcje mięśni w Twoim organizmie.

- **Umożliwiają pionową postawę ciała.** Grawitacja jest potężną siłą; bez mięśni niemożliwe byłoby oderwanie się od podłoża. Włókna mięśniowe, kurcząc się, pozwalają na odpychanie się od powierzchni ziemi, stanie na dwóch nogach oraz przyjmowanie różnych pozycji.
- **Dzięki mięśniom możesz się ruszać.** Każdy, najmniejszy nawet ruch (mrugnięcie powieką, uśmiechanie się lub marszczenie brwi) jest kontrolowany przez mięśnie.
- **Biorą udział w procesie trawienia.** Komórki mięśniowe ulokowane wzdłuż przewodu pokarmowego przesuwają pokarm w dół oraz na

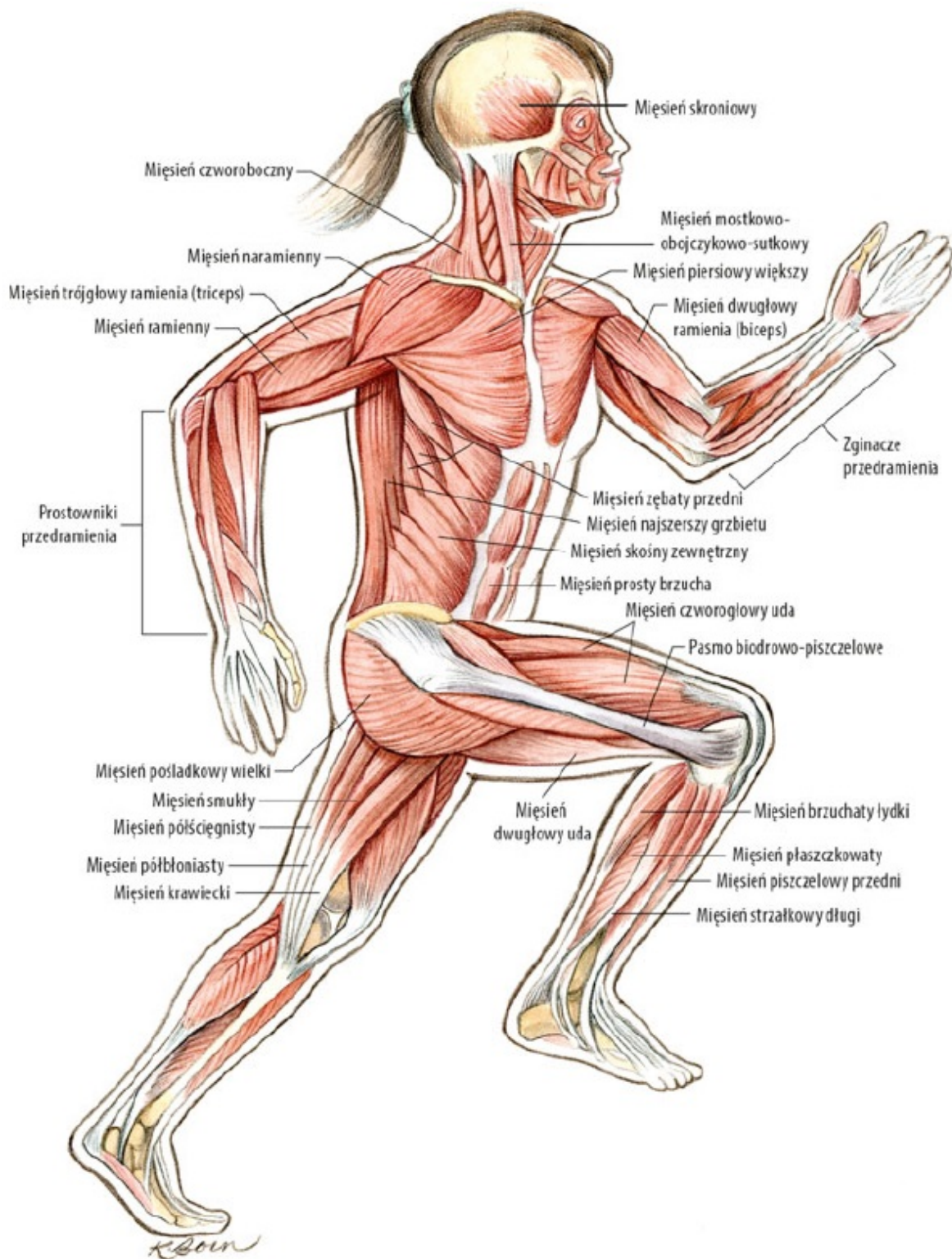
zewnątrz. **Ruch perystaltyczny (robaczkowy)**, czyli przesuwanie jedzenia wzdłuż przełyku, żołądka i jelit wynika z kurczenia się tych mięśni. Gdyby nie one, Twoje ciało nigdy nie uzyskałoby wystarczającej ilości składników odżywczych do przetrwania.

- ***Mają wpływ na krążenie krwi.*** W tętnicze naczynia krwionośne wbudowana jest tkanka mięśniowa, która rozkurczając się, przyspiesza przepływ krwi, a kurcząc — zmniejsza szybkość krążenia. Skurcze mięśni nadają również kierunek przepływu krwi w żyłach (nie wspominając o tym, że serce jest jednym wielkim mięśniem; bez niego krew w ogóle by nie krążyła).

- ***Pomagają utrzymać prawidłową temperaturę ciała.*** Mięśnie podczas skurczu wytwarzają ciepło, które jest wykorzystywane przez organizm, ponieważ część energii cieplnej bez przerwy wydostaje się przez skórę. Z tego właśnie powodu trzęsiemy się, gdy jest nam zimno; drżenie jest jednym ze sposobów wytworzenia dodatkowego ciepła.

- ***Spajają szkielet.*** Występujące na końcach mięśni ścięgna i więzadła otaczają stawy i cementują połączenia międzykostne — dzięki czemu wszystkie kości pozostają na swoich miejscach.

Na rysunku 14.2 widzimy dość dokładne odwzorowanie układu mięśniowego człowieka. W poniższych ustępach zostały omówione poszczególne rodzaje tkanki mięśniowej oraz mechanizm skurczu włókna mięśniowego.



Rysunek 14.2. Układ mięśniowy człowieka

Typy tkanki mięśniowej

Tkanka mięśniowa składa się z włókien mięśniowych, które z kolei zawierają mnóstwo **miofibryli** — elementów kurczliwych mięśnia. Miofibryle są idealnie ułożone względem siebie, przez co włókno mięśniowe pod mikroskopem wygląda, jakby było **prążkowane**. Powtarzająca się sekwencja takich prążków — jasnych i ciemnych — nosi nazwę **sarkomeru**.



W Twoim ciele występują trzy rodzaje tkanki mięśniowej:

- **Mięsień sercowy**, jak sama nazwa wskazuje, jest zlokalizowany w sercu. Włókna mięśnia sercowego posiadają pojedyncze jądro (są więc **jednojądrowe**), cechuje je poprzeczne prążkowanie (zatem posiadają jasne i ciemne prążki), mają walcowaty kształt i są widlasto rozgałęzione. Pomiedzy poszczególnymi włóknami występują połączenia, przez co skurcze włókien są ze sobą skoordynowane, a impulsy wywołujące skurcze szybko rozchodzą się po całym sercu. Włókna pomiędzy skurczami ulegają całkowitemu rozluźnieniu, przez co się nie męczą. Skurcze mięśnia sercowego cechuje **automatyzm**, co znaczy, że są niezależne od naszej woli — nie wymagają świadomej kontroli.

- **Tkanka mięśniowa gładka** wyścieła ściany przewodów oraz narządów jamistych, takich jak żołądek, pęcherz moczowy, jelita czy płuca. Włókna mięśniowe są w tym przypadku jednojądrowe, wrzecionowate oraz ułożone równolegle wobec siebie; tworzą kilkuwarstwową powłokę. Skurcze włókien są mimowolne i nieco wolniejsze niż w przypadku mięśni poprzecznie prążkowanych, co oznacza, że włókna mogą

dłużej pozostawać napięte i nie męczą się tak szybko.

- **Tkanka mięśniowa poprzecznie prążkowana (szkieletowa)** tworzy mięśnie — klasyczne mięśnie kojarzone przez każdego. Włókna są **wielojądrowe**, prążkowane i walcowate; każde włókno przebiega przez całą długość danego mięśnia. Działanie mięśni poprzecznie prążkowanych jest zarządzane przez układ nerwowy (omówiony w rozdziale 18.). Ruch i skurcze włókien mięśniowych są świadomie wywoływane, co oznacza, że to Ty decydujesz, kiedy wstać i przejść się po pokoju. Inaczej mówiąc, skurcz mięśnia poprzecznie prążkowanego jest **zależny od woli**.

Skurcz mięśnia

Skurcze mięśni polegają na ruchu filamentów tworzących miofibryle. W ogólnym zarysie mięsień kurczy się, gdy filamenty różnych typów nachodzą na siebie — stanowi to podstawę **teorii ślizgowej skurczu**.

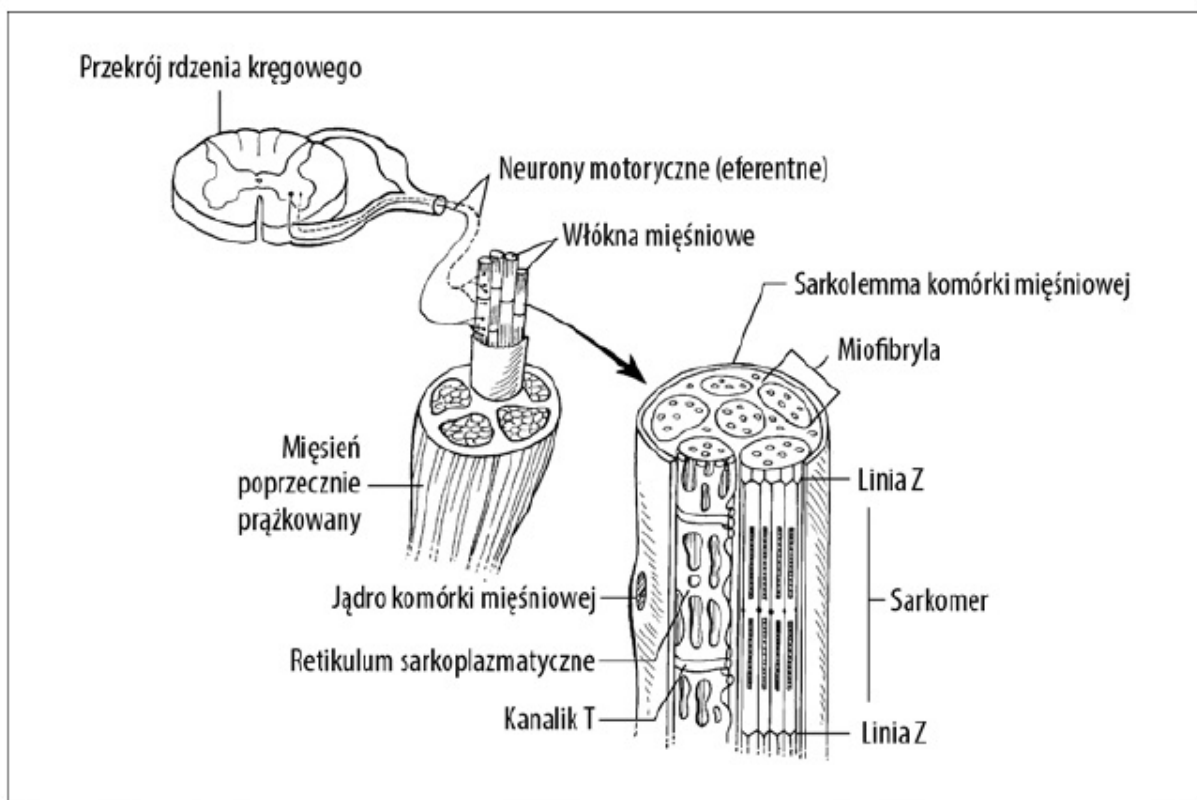
Miofibryla składa się z dwóch typów filamentów:

- **Filamentów aktynowych (cienkich). Filament aktynowy (mikrofilament)** składa się z dwóch łańcuchów **aktyny** — białka tworzącego strukturę podwójnej helisy (podobnie jak w przypadku DNA). Wzdłuż łańcucha aktynowego przyłączane są cząsteczki troponiny i tropomiozyny.

- **Filamentów miozynowych (grubych). Filament miozynowy** tworzą pęczki **miozyny** — białka składającego się z głowy i ogona. W tkance mięśniowej wiele łańcuchów miozyny jest połączonych ze sobą i skierowanych w przeciwne strony, dlatego filament

miozynywy wygląda, jakby miał wiele główek na każdym końcu.

Filamenty aktynowe są przyłączone do miejsc zwanych liniami Z, pomiędzy którymi znajdują się niepołączone filamenty miozynywy. Odcinek pomiędzy dwiema liniami Z określa granicę **sarkomeru**, czyli podstawowej jednostki kurczliwej włókna mięśniowego. Zostało to zilustrowane na rysunku 14.3, na którym widać połączenie mięśnia poprzecznie prążkowanego z układem nerwowym.



Rysunek 14.3. Budowa i działanie mięśnia poprzecznie prążkowanego

Niezbędnym elementem do wykonania skurczu mięśnia jest adenozynotrójfosforan (czyli omówiona w rozdziale 5. cząsteczka ATP przechowująca energię). Włókno mięśniowe zawiera ilość ATP pozwalającą jedynie na jednosekundowe utrzymanie napięcia. Po wykorzystaniu dostępnych zapasów

ATP włókno nerwowe zdobywa energię na następujące sposoby:

- **Wykorzystanie zmagazynowanych zapasów fosfokreatyny.** Składająca się z cząstek ATP i kreatyny fosfokreatyna jest wytwarzana w czasie spoczynku mięśnia. Stanowi ona dobre źródło ATP w przypadku wykorzystania pierwszego zapasu adenozynotrójfosforanu.

- **Przyspieszenie oddychania komórkowego.** Komórki mięśniowe są wypełnione **mitochondriami**, organellami zajmującymi się oddychaniem komórkowym. W procesie tym tlen zostaje wykorzystany do rozkładania substancji pokarmowych, z których energia zostaje przeniesiona na ATP (patrz rozdział 5.). Im więcej ATP zostaje wykorzystanego przez komórki mięśniowe, tym głębiej oddychasz, starając się dostarczyć tlen do procesu oddychania komórkowego.

- **Przetwarzanie cząsteczek ADP na ATP.** Za każdym razem, gdy cząsteczka ATP jest użyta, zostaje od niej odłączona grupa fosforanowa, w wyniku czego powstaje ADP, czyli adenozynodifosforan. Komórki mięśniowe potrafią z dwóch cząsteczek ADP stworzyć jedną cząsteczkę ATP oraz jedną AMP (adenozynomonofosforan).

- **Uruchomienie fermentacji mlekowej.** **Fermentacja mlekowa**, pozwalająca uzyskać niewielką ilość ATP poprzez częściowy rozkład glukozy, stanowi najmniej korzystne energetycznie rozwiązanie dla intensywnie pracujących komórek mięśniowych. Komórki wytwarzają z glukozy znacznie więcej cząsteczek ATP w procesie oddychania tlenowego. Z tego właśnie powodu w komórkach mięśniowych szlak fermentacji mlekowej zostaje uruchomiony jedynie wtedy, gdy nie można uzyskać więcej ATP podczas oddychania

komórkowego, ponieważ układ krążenia nie nadąża z dostarczaniem tlenu.



Zgodnie ze ślizgową teorią skurczu napinanie mięśnia przebiega następująco:

1. Częsteczka ATP wiąże się z głową filamentu miozynowego i rozpada się na częsteczkę ADP oraz resztę fosforanową (P_i).

Zarówno ADP, jak i P_i pozostają przyłączone do filamentu.

2. Wapń dołącza do troponiny związanej z filamentem aktynowym, co powoduje przesunięcie tropomiozyny (również związanej z filamentem aktynowym) i odblokowanie miejsc wiązania w łańcuchach aktynowych.

3. Po odsłonięciu miejsc wiązania miozyna łączy się z aktyną, a zostają uwolnione częsteczki ADP i P_i przyłączone w punkcie 1.

4. W tym momencie konfiguracja przestrzenna głowy w filamencie miozynowym ulega przekształceniu, a filament aktynowy „ślizga” się przez środek sarkomeru, przyciągając linie Z na jego obydwu końcach.

Rezultat? Skrócenie (skurcz) włókna mięśniowego.

5. W momencie przyłączenia kolejnej częsteczki ATP do głowy filamentu miozynowego następuje zerwanie wiązań pomiędzy aktyną a miozyną.

[1] Mleko jest dobrym źródłem witaminy D, pod warunkiem że nie jest to mleko 0%. Wapń ze zwykłego mleka jest przyswajany dość przeciętnie, za to warto dość często spożywać żółty ser (ale również bez przesady — sery są kaloryczne i zawierają dużą ilość soli). Świetnym źródłem łatwo przyswajalnego wapnia jest jogurt lub kefir — *przyp. red.*

[2] Dzięki temu możliwy jest wzrost takich zwierząt; po wylince zwierzę rośnie, dopóki nowy egzoszkielet nie stwardnieje. Warto też zaznaczyć, że nie wszystkie zwierzęta posiadające egzoszkielet linieją — *przyp. red.*

Rozdział 15.

Płyniemy z prądem — układy oddechowy i krążenia

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz cztery mechanizmy wymiany gazowej występujące u zwierząt;
 - ▶ zrozumiesz, jaką rolę odgrywa układ krążenia w odżywianiu organizmu i usuwaniu zbędnych metabolitów;
 - ▶ przyjrzyj się sercu i układowi krążenia prostych organizmów;
 - ▶ prześledzisz trasę pokonywaną przez krew w sercu i naczyniach krwionośnych;
 - ▶ poznasz szczegóły dotyczące płynnej tkanki gwarantującej życie — krwi.
-

Każda żywa istota musi być zdolna do wymiany składników (np. pożywienia, tlenu czy produktów przemiany materii) z otoczeniem oraz transportowania ich po całym ciele. Zwierzęta wielokomórkowe wykorzystują układy oddechowe do wymiany gazów, takich jak tlen czy dwutlenek węgla, a dzięki układom krążenia (zwanym również układami **sercowo-naczyniowymi** u kręgowców) związki odżywcze i substancje gazowe są rozprowadzane do każdej komórki.

W tym rozdziale omawiamy różnorodne procesy wykorzystywane przez zwierzęta do wymiany i transportu ważnych składników. Szczególną uwagę poświęcamy ludzkim układom oddechowemu i krążenia.

Wymiana gazowa — mechanizmy „oddychania” zwierząt



Wszystkie zwierzęta, począwszy od pierścienic i ryb, poprzez owady, aż do ludzi, muszą bez przerwy wymieniać substancje gazowe z otoczeniem przez całe swoje życie. Proste organizmy przeprowadzają wymianę gazową na całej powierzchni ciała, z kolei zwierzęta o bardziej skomplikowanej budowie posiadają układy oddechowe wychwytyjące tlen z powietrza. Właśnie ta druga grupa musiała opracować mechanizmy przenoszące cząsteczki tlenu ze środowiska do wnętrza ciała przy jednoczesnym pozbywaniu się dwutlenku węgla powstającego w wyniku oddychania komórkowego. Ostatecznie właściwy proces wymiany gazowej pomiędzy każdym gatunkiem zwierzęcia a otoczeniem jest przeprowadzany przy udziale wilgotnej powierzchni.

Mechanizm oddychania obejmuje całokształt procesów obejmujących wdech, wymianę cząsteczek gazowych, wykorzystanie tych gazów oraz wydychanie bezużytecznych substancji.

Zwierzęta wypracowały cztery różne metody wymiany gazowej, które zostały szczegółowo omówione w kolejnych ustępach.

- **Dyfuzja przez powłoki ciała** następuje na całej powierzchni zwierzęcia. W ten sposób oddychają np. pierścienice i płazy.
- **Skrzela** stanowią wyspecjalizowane organy pozwalające na wymianę gazową w środowisku wodnym. Są one powszechnie spotykane u większości wodnych zwierząt.
- **Układ tchawkowy** składa się z sieci rurek umożliwiających transport tlenu i dwutlenku węgla w

ciągach niektórych owadów.

- **Płuca** są wewnętrznymi organami wykorzystującymi proces dyfuzji do wymiany gazów. Posiadają je zwierzęta lądowe, w tym ludzie, a także ssaki morskie, takie jak delfiny i wieloryby.

Dyfuzja przez powłoki ciała

Żeby zrozumieć proces dyfuzji przez powłoki ciała, musimy najpierw wyjaśnić, czym, do diaska, są te powłoki. **Powłoka ciała** to nic innego jak zewnętrzna warstwa okrywająca zwierzę. U zwierząt wykorzystujących ten rodzaj wymiany oddechowej — pierścienic, żab czy salamander — powłoka ciała nie stanowi wyłącznie błony pokrywającej ciało, gdyż ma dość złożoną budowę; z kolei Twoją powłoką ciała jest skóra.

Niewielkie zwierzęta przebywające ciągle w wilgotnym środowisku „oddychają” bezpośrednio przez powłoki skórne. Zawarty w powietrzu tlen rozpuszcza się w pokrywającej powłokę ciała warstewce płynu. Rozpuszczony tlen dyfunduje przez nawilżone powłoki ciała i trafia do wnętrza, a jednocześnie dwutlenek węgla dyfunduje na zewnątrz (proces dyfuzji został omówiony w rozdziale 4.). Tlen i dwutlenek węgla „mijają się” na poziomie powłok skórnych, dlatego mechanizm ten nosi nazwę **dyfuzji przez powłoki ciała**.

Znakomitym przykładem organizmu wykorzystującego dyfuzję przez powłoki ciała jest dżdżownica. Posiada ona tuż pod „skórą” niewielkie naczynia krwionośne (kapilary). Przemieszczając się przez glebę, dżdżownica wzrusza ziemię i powoduje powstawanie kieszonek wypełnionych powietrzem. Pobiera z nich tlen całym ciałem i jednocześnie wypuszcza dwutlenek węgla.

Pewnie nieraz widziałaś/widziałeś dziesiątki dżdżownic wychodzących na powierzchnię w czasie ulewy. Muszą wracać pod ziemię, gdy tylko mogą (i to nie tylko dlatego, że stanowią wtedy łatwy kąsek dla ptaków). Jeżeli zbyt długo będą przebywać na chodniku czy drodze, ich zewnętrzne powłoki wyschną, uniemożliwiając pobieranie tlenu i wydalenie dwutlenku węgla. W takim przypadku po prostu giną. Z tego samego powodu ślimak przestaje się poruszać po posypaniu go solą. Sól wysusza zewnętrzne powłoki, przez co zwierzę nie może oddychać.

Skrzela

Zwierzęta wodne, również homary i rozgwiazdy, oddychają **skrzelami**, czyli organami stanowiącymi rozwinięcie powłok skórnych. Błony tworzące skrzela są zazwyczaj bardzo cienkie (często składają się tylko z jednej warstwy komórek), dzięki czemu proces wymiany gazowej jest bardzo ułatwiony. Z komórkami skrzelowymi są połączone naczynia włosowate, przez co tlen jest pobierany bezpośrednio z wody i rozprowadzany po organizmie zwierzęcia wodnego. W ten sam sposób organizmy te pozbywają się dwutlenku węgla — dyfunduje z naczyń włosowatych do komórek nabłonka skrzeli, a stamtąd przedostaje się do środowiska wodnego.



Prawdopodobnie najlepiej kojarzysz rybie skrzela. U ryb skrzela przyjmują listkowaty, błoniasty kształt i są okryte przez **pokrywę skrzelową** — sztywny płat zakrywający i odsłaniający skrzela podczas otwierania i zamykania jamy gębowej ryby. Woda, dostając się przez otwarty otwór gębowy, opłukuje skrzela i wypływa od strony pokrywy skrzelowej. Porusza się ona w skrzelach w jednym kierunku, a krew odbierająca tlen krąży do niej w przeciwnym kierunku^[1]. Cząsteczki tlenu zawarte w wodzie dyfundują do naczyń włosowatych, natomiast dwutlenek węgla

wydostaje się z naczyń włosowatych do komórek skrzelowych, a następnie poza organizm. Tlen znajdujący się w naczyniach włosowatych zostaje rozproszony do wszystkich komórek ciała.

Woda opłukująca skrzela porusza się w kierunku przeciwnym do krwi krążącej w ich wnętrzu — jest to tak zwany **system wymiany przeciwprądowej** gazów. Mechanizm ten znacznie usprawnia wydajność wymiany gazowej.

Układ tchawkowy

Układy tchawkowe składają się z sieci rurek zwanych **tchawkami**. Otwory na zewnętrznym końcu tchawki noszą nazwę **przetchlinek**. Tego typu mechanizm wymiany gazowej wykształcił się u owadów.

W układzie tchawkowym tlen dyfunduje wprost do tchawki, a dwutlenek węgla wydostaje się przetchlinkami. Wymiana gazów następuje bezpośrednio pomiędzy komórkami ciała a tchawkami, zatem tlen i dwutlenek węgla nie muszą być transportowane przez wyspecjalizowany układ krążenia — sieć tchawek zapewnia natlenienie całego organizmu.

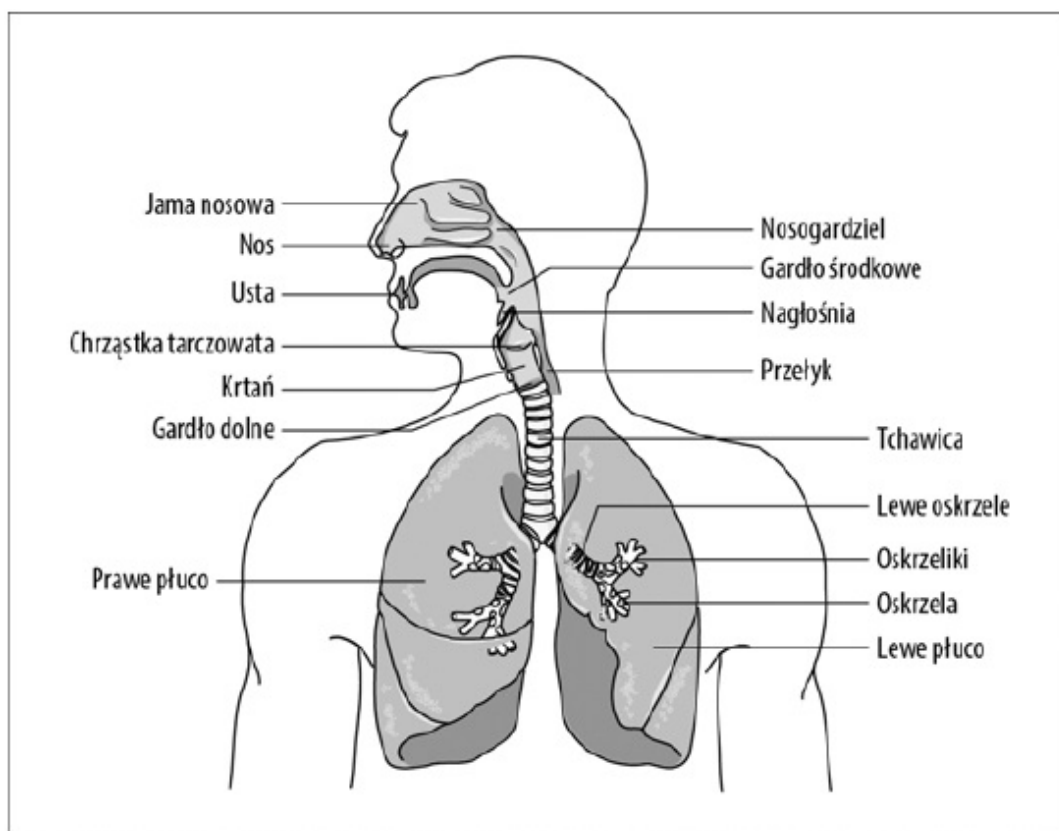


Niektóre owady, takie jak pszczoły czy pasikoniki, łączą proces oddychania z tchawkową wymianą gazów. Posiadają specjalne mięśnie umożliwiające wtłaczanie i wytłaczanie powietrza do tchawek. Tchawki pasikoników zawierają nawet pęcherzyki płucne na niektórych tchawkach. Umożliwiają one „wciskanie” powietrza pod wpływem pracy mięśni niczym miech kowalski.

Płuca

Płuca stanowią przeciwieństwo wcześniej omówionych skrzeli. Skrzela mają bezpośredni kontakt ze środowiskiem zewnętrznym, natomiast płuca znajdują się wewnątrz organizmu. Wynika to z faktu, że wewnątrz ciała znacznie łatwiej jest utrzymać wysoką wilgotność powierzchni oddechowej. Ich zasada działania polega na zapewnianiu dużej, nawilżonej powierzchni umożliwiającej dyfuzję tlenu oraz dwutlenku węgla. Różnią się one rozmiarami i kształtami u poszczególnych gatunków zwierząt lądowych, jednak mechanizm ich pracy pozostaje praktycznie taki sam jak u Ciebie. Wyjaśnimy ich budowę i funkcjonowanie na przykładzie człowieka, dzięki czemu lepiej zrozumiesz, w jaki sposób Twój organizm działa.

Ludzie posiadają dwa płuca usytuowane w jamie klatki piersiowej (ukazane to zostało na rysunku 15.1); jedno znajduje się po lewej stronie **tchawicy** (przewodu łączącego jamę nosową i usta z płucami), a drugie — po stronie prawej. Wewnątrz płuca tchawica rozdziela się na **oskrzela** (niewielkie kanaliki przewodzące powietrze), które z kolei rozgałęziają się na **oskrzeliki** (oskrzela o jeszcze mniejszym przekroju). Na końcu oskrzelików znajdują się „grona” woreczków, zwane **pęcherzykami płucnymi** (małe, wilgotne baloniki, w których następuje wymiana gazowa) — z wyglądu przypominają one nieco maliny. Każdy pęcherzyk płucny jest otoczony siecią naczyń włosowatych, co pozwala na przeprowadzanie wymiany gazowej pomiędzy płucami a krwią. Głównym mięśniem oddechowym, znajdującym się pod płucami, jest **przepona** — jej skurcze powodują powstawanie podciśnienia w płucach. Klatkę piersiową otaczają pary żeber, pełniące funkcję ochronną (płuc i serca) oraz wspomagającą proces oddychania.



Rysunek 15.1. Narządy anatomiczne ludzkiego układu oddechowego

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Płuca stanowią najbardziej złożony aparat wymiany gazowej u znanych nam zwierząt, dlatego krok po kroku omówimy mechanizm ich funkcjonowania.

Procesy zachodzące w trakcie oddychania

Podczas **wdechu** przepona napina się (czyli kurczy się i obniża), równocześnie klatka piersiowa kieruje się w górę i rozchodzi na zewnątrz. W rozprężonej klatce piersiowej panuje podciśnienie, przy czym płuca mają więcej miejsca, więc zapełniają dostępną przestrzeń, podobnie jak balon napełniany powietrzem. Wraz z rozszerzaniem się płuc zostaje do nich zassane powietrze na zasadzie podciśnienia. W momencie **wydechu** następuje rozluźnienie przepony, klatka piersiowa cofa się w dół i do środka, co powoduje wypchnięcie powietrza ze ściskanych płuc.

Poniżej przedstawiamy etapy wędrówki tlenu przez poszczególne elementy dróg oddechowych podczas wdychania powietrza.

1. Tlen dostaje się do organizmu przez nozdrza i przedostaje się do górnej części gardła.

Wewnątrz jamy nosowej wszelkie niepożądane cząsteczki (kurz, pyłki) zostają zatrzymane przez włoski, rzęski oraz śluz — jest to proces wstępnego oczyszczania powietrza transportowanego do płuc. Każdy z nas musi od czasu do czasu kaszlnąć i albo odpluć, albo połknąć wydzielinę zawierającą drobiny wychwycone z wdychanego powietrza (nie martw się, jeśli ją połkniesz; trafia do żołądka, gdzie zostanie strawiona albo wydalona).



2. Tlen dostaje się teraz do środkowej części gardła i przepływa przez przestrzeń wokół strun głosowych.

W czasie jedzenia połykany pokarm przechodzi przez **gardziel** do żołądka. Z kolei wdychane powietrze również przez gardziel dociera do płuc. Zatem zarówno jama ustna, jak i jama nosowa łączą się z gardzielą. Miejsce, w którym jama ustna łączy się z gardzielą, to **gardło środkowe**, natomiast **nosogardziel** stanowi punkt styku jamy nosowej z gardłem.



3. Kolejnymi etapami podróży tlenu są tchawica, oskrzela, oskrzeliki, a na końcu pęcherzyki płucne.

Pęcherzyki płucne otoczone są siatką naczyń krwionośnych, w których krew jest gotowa do oddania dwutlenku węgla i przyjęcia tlenu (patrz rysunek 15.2). Tlen i dwutlenek węgla dyfundują przez cienką warstwę płynu pokrywającego błony

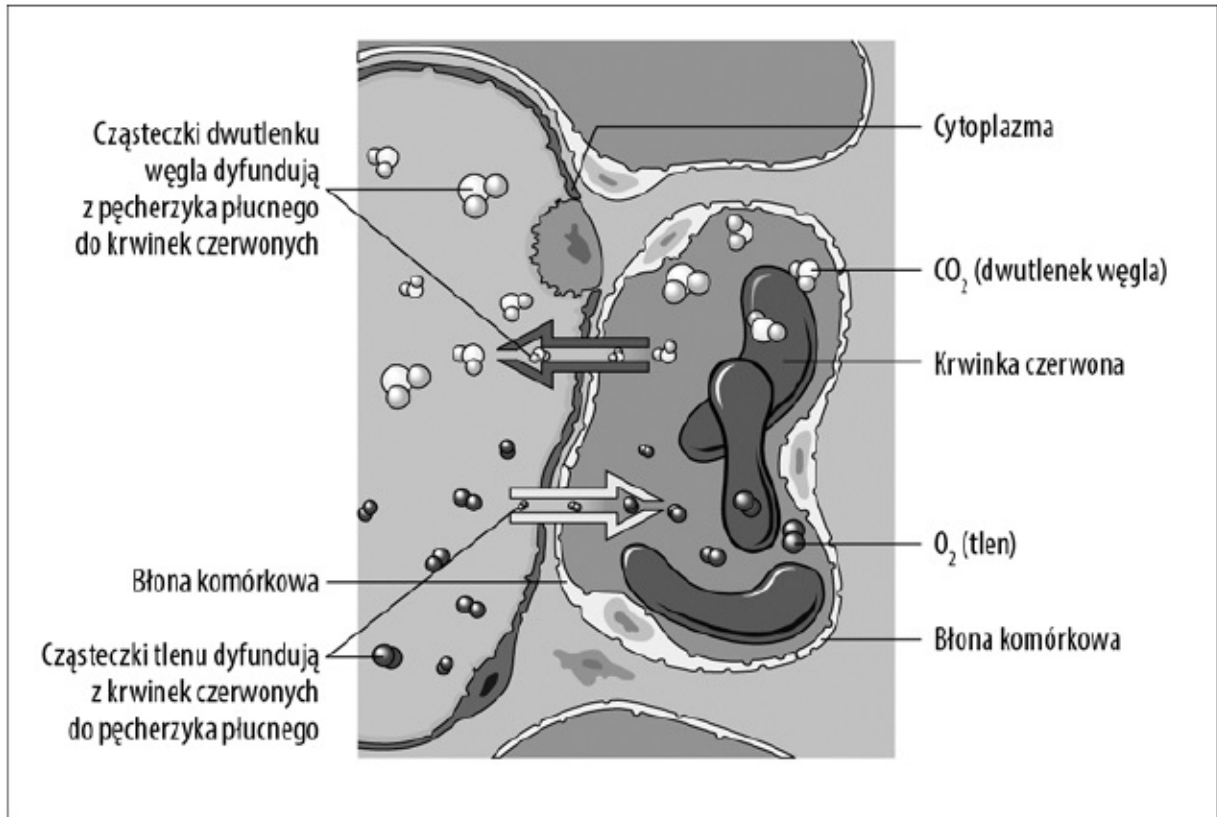
pęcherzyka płucnego. W ten sposób świeżo natlenowana krew przepływa naczyniami włosowatymi do większych arterii.

Wymiana gazowa u ssaków następuje wyłącznie w pęcherzykach płucnych.

Kilka słów o dyfuzji

Jak zostało wyjaśnione w rozdziale 4., **dyfuzja** jest procesem przechodzenia substancji ze środowiska o jej wyższym stężeniu do środowiska o jej mniejszej koncentracji. Klasyczny przykład dyfuzji stanowi wymiana gazowa w płucach.

W 300 milionach pęcherzyków płucnych składających się na Twój aparat oddechowy stężenie tlenu jest wyższe niż w otaczających je naczyniach włosowatych. Z kolei kapilary te zawierają więcej cząsteczek dwutlenku węgla niż tlenu. Tlen dostarczony do pęcherzyków płucnych dyfunduje przez ich błony do światła naczyń włosowatych. W tym samym czasie podróż w przeciwnym kierunku pokonuje dwutlenek węgla. Wewnątrz naczyń włosowatych czerwona krwinka przechwytuje cząsteczkę tlenu i transportuje ją do komórki znajdującej się w innej części ciała. Teraz przepona się rozluźnia, co umożliwia wydostanie się dwutlenku węgla z płuc do środowiska zewnętrznego.



Rysunek 15.2. Natlenowanie krwi w nabłonku oddechowym

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Krążenie — wejście dla składników odżywczych, wyjście dla śmieci

Każde większe zwierzę posiada układ krążenia. Dzięki niemu wszystkie komórki organizmu mają zapewnione dostawy niezbędnych do życia związków odżywczych oraz pozbywają się doń zbędnych produktów przemiany materii, dzięki czemu nie gromadzą się w ciele i nie wywołują zatrucia (ani tym bardziej śmierci). Układ krążenia pełni ponadto następujące funkcje:

- dostarczanie tlenu do komórek i odbieranie z nich dwutlenku węgla,

- przenoszenie hormonów do komórek,
- utrzymywanie ciepłoty ciała poprzez transport energii cieplnej,
- transportowanie komórek zwalczających infekcje (więcej informacji na ten temat znajdziesz w rozdziale 17.).

Istnieją dwa rodzaje układów krążenia: otwarty i zamknięty. Omówimy je dokładnie w następnych ustępach.

Otwarte układy krążenia

W otwartym układzie krążenia serce zwierzęcia pompuje krwiopodobną substancję zwaną **hemolimfą** do jamy ciała (**hemocelu**) poprzez otwory w sercu (**ostia**; l. poj. **ostium**). Gdy hemolimfa wpływa do hemocelu, bezpośrednio dostarcza tkankom składniki odżywcze — bez udziału naczyń krwionośnych. Poprzez skurcze mięśni hemolimfa jest kierowana ku sercu, skąd ponownie trafia do hemocelu, i tak w kółko. Owady i niektóre mięczaki (mianowicie ślimaki i małże) posiadają otwarty układ krążenia.



U owadów hemolimfa dostarcza do komórek składniki odżywcze, lecz nie tlen. Rozprowadzaniem tlenu zajmuje się układ tchawkowy (omówiony na początku rozdziału).

Zamknięte układy krążenia

Zamknięty układ krążenia jest znacznie „sławniejszy” od otwartego układu. Składa się z sieci naczyń (przypominających autostrady łączące poszczególne narządy) umożliwiających transport krwi oraz uniemożliwiających jej wyciek do środowiska. U zwierząt każde naczynie krwionośne odpowiedzialne jest za dostarczanie komórkom tlenu i związków odżywczych oraz

odbieranie dwutlenku węgla wraz ze zbędnymi produktami metabolizmu.



Wyróżniamy trzy rodzaje naczyń krwionośnych:

- tętnice,
- żyły,
- naczynia włosowate.



Zwierzęta posiadające kręgosłup (czyli **kręgowce**) charakteryzują się zamkniętym układem krwionośnym. Mają go również niektóre **bezkęrowce** (zwierzęta bez kręgosłupa) — pierścienice, ośmiornice i kałamarnice.

Zamknięte układy krążenia (zamknięte, gdyż krew krąży w naczyniach krwionośnych) są wydajniejsze od ich otwartych odpowiedników, ponieważ spełniają więcej funkcji: dostarczają tlen i składniki odżywcze.

Docieramy do serca prostych zwierząt

Istnieją różnorodne rodzaje serc, ale we wszystkich organizmach ich rola jest taka sama i sprowadza się do jednego: pompowania płynu w układzie krążenia. W zależności od typu układu krwionośnego płynem tym może być zarówno hemolimfa, jak i krew, a jego zadaniem jest transport albo samych składników odżywczych, albo substancji pokarmowych wraz z tlenem.

U wszystkich zwierząt posiadających otwarty układ krwionośny proces ten przebiega tak samo, natomiast w organizmach o zamkniętym układzie sercowo-naczyniowym mechanizm ten zależy od jego „konfiguracji”. Dwa następne

ustępy poświęcamy omówieniu krążenia krwi u dwóch prostszych organizmów — pierścienic i ryb.

Układ krążenia i serce pierścienic

Być może uważasz dżdżownice za zwierzaki posiadające otwarty układ krążenia, ale wcale tak nie jest (należą one do typu **pierścienic**). Te maluchy posiadają zamknięty układ krążenia, nieco prostszy w budowie od układu krążenia człowieka.

Dżdżownice posiadają tylko po jednym **grzbietowym** i **brzusznym** naczyniu krwionośnym, od których odchodzi sieć naczyń włosowatych. „Serce” zbudowane jest z szeregu pierścieniowych, kurczliwych naczyń krwionośnych znajdujących się w pobliżu grubszego końca zwierzęcia. Krew jest pompowana od tych elementów tętniących brzuszным naczyniem krwionośnym. Rozprowadzana jest ona naczyniami włosowatymi do wszystkich komórek ciała, po czym wraca do „serca” naczyniem grzbietowym.

Układ krążenia i serce ryby

Serce ryby składa się z przedsionka i komory: do przedsionka dociera krew wracająca z tkanek, a z komory krew wypływa do skrzel. W organizmie ryby występuje tylko jeden obieg krwi. Cały cykl krążenia jest w tym przypadku dość prosty.

1. Najpierw krew opuszcza serce przez aortę brzuszną umiejscowioną u spodu ryby.

2. Krew dociera do skrzel, gdzie zostaje natlenowana w naczyniach włosowatych.

3. Natlenowana krew natychmiast zostaje skierowana do aorty grzbietowej, znajdującej się w górnej części organizmu.

4. Z aorty grzbietowej krew trafia do pozostałych naczyń włosowatych.

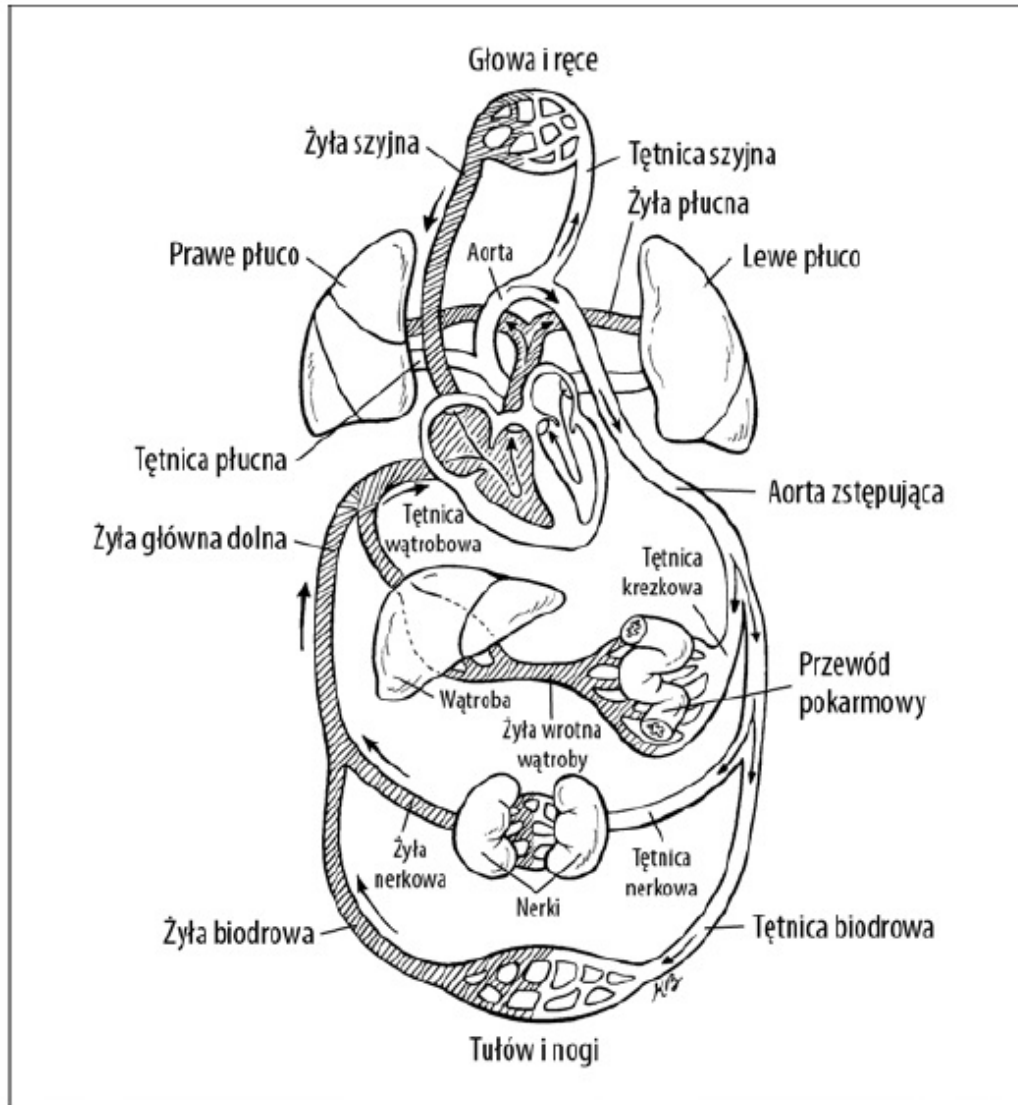
5. Po dostarczeniu tlenu do wszystkich komórek krew wraca do przedsionka serca.

Układ krążenia ryby jest prosty i bardzo wydajny, jednak z powodu występowania tylko jednego obiegu ciśnienie krwi jest dość niskie (**ciśnieniem krwi** nazywamy siłę zmuszającą krew do przemieszczania się w naczyniach krwionośnych).

Budowa układu krążenia i serca człowieka

Zarówno serce, jak i układ krążenia człowieka (i innych ssaków) ma skomplikowaną budowę. Zwierzęta te mają szybszą przemianę materii, dlatego ciśnienie krwi musi być wystarczająco wysokie, aby zapewnić jej przepływ po całym organizmie. Problem ten został rozwiązany wraz z pojawieniem się **dwuobiegowego układu krwionośnego** — układu składającego się z dwóch osobnych ścieżek (ukazanych na rysunku 15.3).

- **Obieg mały (płucny)** rozpoczyna się od dostarczenia odtlenowanej krwi do płuc, gdzie zostaje natlenowana i przetransportowana z powrotem do serca.
- Z kolei w **obiegu dużym (obwodowym)** natlenowana krew zostaje rozprowadzona z serca do wszystkich tkanek ciała.



Rysunek 15.3. Współpraca obiegu płucnego i obwodowego w organizmie człowieka



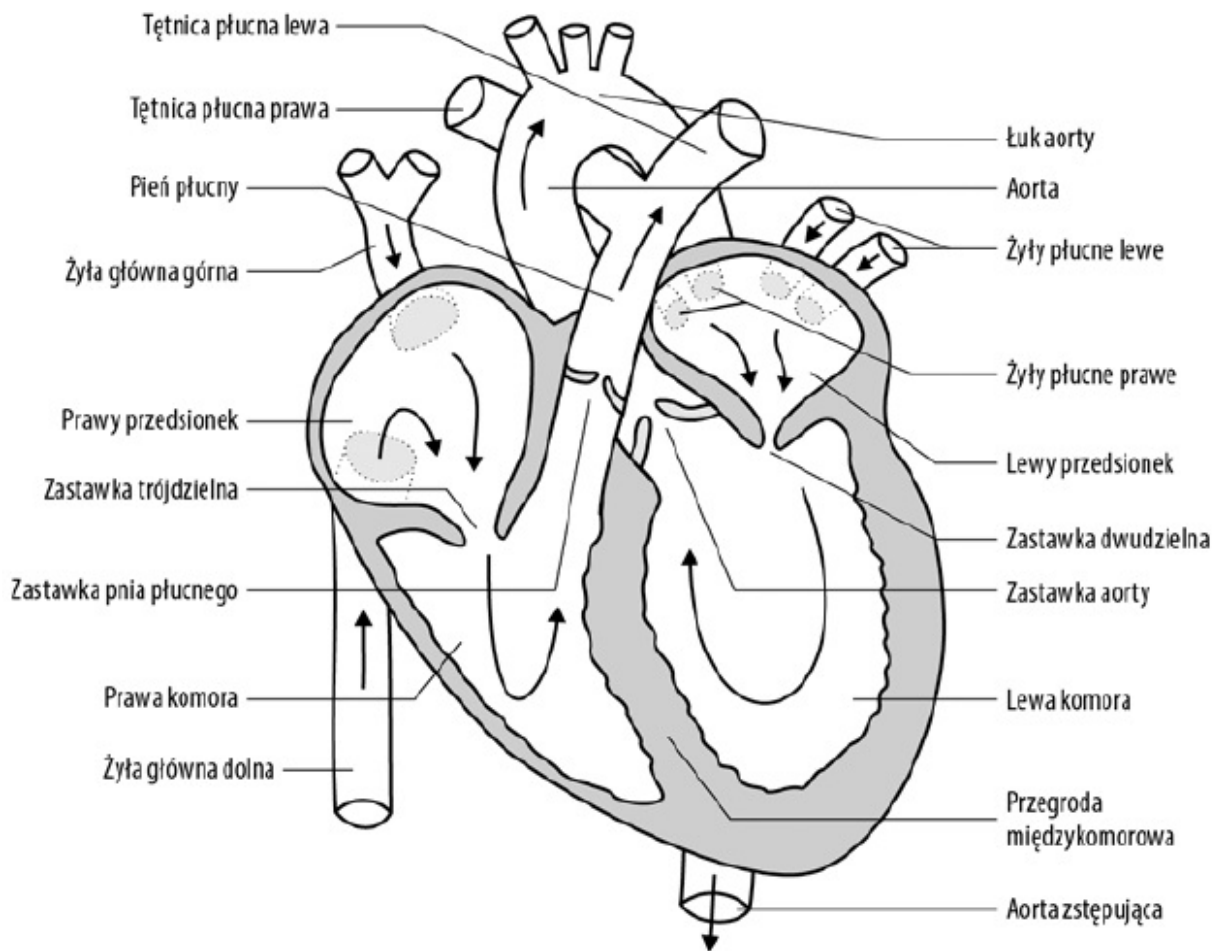
Serce człowieka (ukazane na rysunku 15.4) składa się z dwóch **komór** (umięśnionych jam, z których krew jest wypychana do krwioobiegu) oraz dwóch **przedsionków** (mniejszych jamek, które zasysają krew z uchodzących do nich żył oraz transportują ją do komór). Narząd ten dzieli się na cztery części, więc mamy podział na lewą komorę i lewy przedsionek oraz prawą komorę i prawy przedsionek. Przedsionki zlokalizowane są w górnej części serca, a komory — pod spodem.

Uwaga: Jeżeli ilustracja zaprezentowana na rysunku 15.4 nie podoba Ci się, ponieważ prawy przedsionek umieszczony jest po lewej stronie, wyobraź sobie, że spoglądasz na serce osoby stojącej naprzeciwko Ciebie. Jej prawy przedsionek znajduje się po jej prawej stronie, dlatego właśnie w taki sposób narysowaliśmy serce.



Twoje serce podzielone jest na strony prawą i lewą z powodu istnienia dwóch obiegów krwi. Prawa strona jest odpowiedzialna za krążenie płucne, a lewa — za krążenie obwodowe. Krew przechodzi przez obydwa obiegi.

Zastawki rozdzielają poszczególne jamy serca. Składają się one z par fałdów mięśniowych, zwanych **płatkami**. W prawidłowo zbudowanym sercu zastawki całkowicie otwierają się i zamykają, dzięki czemu krew porusza się tylko w jednym kierunku.



Rysunek 15.4. Budowa ludzkiego serca oraz przepływ krwi przez jego struktury

Cztery zastawki oddzielają poszczególne jamy serca od siebie oraz od głównych naczyń krwionośnych łączących się z sercem (widać to na rysunku 15.4).

- **Zastawka trójdzielna (przedsionkowo-komorowa prawa)** znajduje się pomiędzy prawym przedsionkiem a prawą komorą. Nazwa „**trójdzielna**” wzięła się od obecności trzech płatków.
- **Zastawka pnia płucnego** oddziela prawą komorę od tętnicy płucnej. Płatki tej zastawki mają sierpowaty kształt, dlatego czasami można natrafić na nazwę **zastawka półksiężycowata**.
- **Zastawka dwudzielna (przedsionkowo-komorowa lewa)** rozgranicza lewy przedsionek i lewą komorę. Jak

łatwo się domyślić, nazwa pochodzi od obecności dwóch płatków.

- **Zastawka aorty** mieści się pomiędzy lewą komorą a aortą. Podobnie jak jest w przypadku zastawki pnia płucnego, posiada ona półksiężycowate płatki.

W kolejnych ustępach zabierzemy Cię w podróż po ludzkim układzie krążenia. Dowiesz się, w jaki sposób krew przepływa przez serce i pozostałe naczynia krwionośne, a także co sprawia, że serce bije. Bon voyage!

Choroby serca mają wiele obliczy

Choroby serca stanowią główną przyczynę zgonów w Stanach Zjednoczonych. Najczęściej wymieniany jest zawał serca, ale mogą go wywoływać różnorodne czynniki, w tym takie jak:

- **Miażdżyca** — zatory tętnicze pojawiają się, gdy tłuszcze (w tym cholesterol) odkładają się na nabłonku wyściełającym światło naczyń krwionośnych. Cholesterol pełni bardzo ważne funkcje w organizmie, jednak jego nadmiar — powodowany złą dietą lub czynnikami genetycznymi — zaczyna przyczepiać się do naczyń krwionośnych, zamiast nimi przepływać^[2]. Takie złogi tłuszczowe są nazywane **płytkami**. Wraz z powiększaniem się rozmiaru płytek blokowana jest coraz większa powierzchnia światła tętnicy, co w końcu przekłada się na przepływność krwi.
- **Nadciśnienie** — znacznie obciąża ono naczynia krwionośne łączące się z sercem, przez co narażone są one na uszkodzenia oraz powstawanie złągów cholesterolu.
- **Choroba niedokrwienna serca** — **niedokrwienie** jest stanem niedotlenienia — choroba ta pojawia się najczęściej z powodu częściowego zablokowania przepływności naczyń krwionośnych. Cierpiący na nią ludzie mają problemy z oddychaniem w czasie wysiłku fizycznego lub w stresującej sytuacji, ponieważ zatkane naczynia krwionośne spowalniają przepływ krwi i dostarczenie tlenu do mięśnia sercowego. Niedobór tlenu wywołuje ból w klatce piersiowej promieniujący do lewego ramienia; jest to tak zwana **dławica piersiowa (dusznica bolesna)**.
- **Zakrzep z zatorami** — jeżeli tętnica zostanie zablokowana złągami cholesterolowymi, komórki krwi mogą zacząć przyczepiać się do płytki i tworzyć **zakrzep (skrzep)**, który porusza się wraz z krwią i zatyka mniejsze naczynia krwionośne. Zakrzep płynący wraz z krwią i tamujący jej przepływ wywołuje **zator (embolię)**.

Cykl sercowy

Twoje serce jest niewielkim, ale zdumiewającym narządem. Choć nie jest większe od zaciśniętej pięści, przepompowuje 5 litrów krwi (ponad 3 półtoralitrowe butelki wody) przez organizm, bijąc (kurcząc się i rozkurczając) średnio 70 razy na minutę. Czy wspomnieliśmy, że jest ono pracoholikiem? Nie robi sobie dłuższej przerwy przez całe Twoje życie, od pierwszego uderzenia (gdy byłeś/byłaś bardzo malutkim embrionem w łonie mamy) aż do śmierci. Na odpoczynek przeznacza sobie ułamek sekundy. Regularnie bije co 0,8 sekundy; jest to tak zwany **cykl sercowy**.



Podczas cyklu sercowego narząd ten wpompowuje krew do naczyń krwionośnych i robi sobie krótką przerwę. W skrócie wygląda to następująco:

- kurczą się lewy i prawy przedsionek,
- kurczą się lewa i prawa komora,
- przedsionki i komory odpoczywają (zaledwie przez 0,4 sekundy).

Gdy jamy serca odpoczywają, tworzące je włókna mięśniowe są rozluźnione. Oznacza to, że krew może swobodnie przepływać z przedsionków do znajdujących się pod nimi komór. Gdy już większość krwi znajduje się w komorach, przedsionki kurczą się, wypompowując resztę znajdującego się w nich płynu. Niemal natychmiast komory również kurczą się, wstrzykując krew do naczyń krwionośnych.



Moment odpoczynku mięśnia sercowego nazywany jest **rozkurczem**, a pracę wykonuje w czasie **skurczu**. Jeżeli te pojęcia wydają Ci się znajome, to prawdopodobnie dlatego, że są często stosowane w odniesieniu do ciśnienia krwi.

Zgodnie z odczytem ciśnienia krwi, np. normalnej wartości 120/80 mmHg, człon 120 oznacza **ciśnienie skurczowe**, czyli ciśnienie, z jakim krew jest wpompowywana do tętnic podczas skurczu komór, natomiast człon 80 informuje nas o **ciśnieniu rozkurczowym** krwi, gdy serce odpoczywa. Jednostka **mmHg** to wysokość słupka rtęci w milimetrach (rtęć posiada symbol chemiczny Hg).



Jeżeli Twoje ciśnienie wynosi 140/90 mmHg, co jest graniczną wartością pomiędzy ciśnieniem normalnym a wysokim, to serce wykonuje większy wysiłek, żeby przepompować krew. Dzięki temu nie odpoczywa tak dobrze w czasie rozkurczu. Wynik ten wskazuje, że coś zmusza serce do ciągłej pracy na podwyższonych „obrotach”, co przyspiesza jego wycieńczenie. Winę może ponosić brak równowagi hormonalnej, nieprawidłowe odżywianie (zbyt dużo sodu lub kofeiny), jakiś problem anatomiczny serca, efekt uboczny zażywanych leków lub zmiany miażdżycowe w naczyniach krwionośnych.

Żeglowanie z prądem krwiobiegu

Omówiony w poprzednim ustępie **cykl sercowy**, czyli rytmiczne skurcze i rozkurcze mięśnia sercowego, jest związany z trasą pokonywaną przez krew w Twoim organizmie. Wraz ze skurczem każdego przedsionka i komory krew zostaje wtłoczona do głównych naczyń krwionośnych połączonych z sercem, z których trafia do pozostałej części układu krążenia. Innymi słowy, dopiero teraz następuje rozróżnienie na dwa obiegi krwi.

Przyjrzymy się teraz obydwu obiegom — płucnemu i obwodowemu, a także mechanizmowi wymiany substancji (składników odżywczych i zbędnych metabolitów) na poziomie naczyń włosowatych.

Natlenowanie krwi — obieg płucny

Obieg płucny (mały) stanowi pierwszy etap krążenia krwi w organizmie, gdyż krew zostaje przetransportowana do płuc w celu jej natlenowania. Poniżej rozpisaliśmy trasę pokonywaną przez krew w małym obiegu (aby sobie to zobrazować, posilkuj się rysunkiem 15.4 podczas czytania).

1. Pozbawiona tlenu krew wpływa z naczyń obwodowych do prawego przedsionka żyłami główną górną i główną dolną.

Żyła główna górna łączy się z górną częścią prawego przedsionka, natomiast **żyła główna dolna** znajduje się u spodu tegoż przedsionka.

2. Krew zostaje przepuszczona przez zastawkę trójdzielną z prawego przedsionka do prawej komory.

W momencie skurczu komory zastawka blokuje przepływ krwi, przez co nie cofa się ona do przedsionka.

3. Następuje skurcz komory powodujący wtłoczenie pozbawionej tlenu krwi (poprzez zastawkę pnia płucnego) do tętnicy płucnej.

Zastawka półksiężycowata pnia płucnego uniemożliwia cofnięcie się krwi z tętnicy do komory.

4. Tętnicą płucną krew zostaje doprowadzona do płuc, gdzie następuje jej natlenowanie.

Rozprowadzanie natlenowanej krwi — obieg obwodowy

Obieg obwodowy (duży) służy do dostarczania natlenowanej krwi do każdej komórki ciała. Szlak dużego obiegu wygląda następująco (tak jak powyżej, dużą pomocą może okazać się rysunek 15.4):



1. Natlenowana krew wraca z płuc do serca żyłami płucnymi.

Żyły płucne są jedynymi żyłami, którymi płynie natlenowana krew; we wszystkich pozostałych żyłach krąży krew pozbawiona tlenu.

2. Krew z żył płucnych trafia do lewego przedsionka, który się rozkurcza i pozwala jej przepłynąć do lewej komory pomimo zastawki dwudzielnej.

3. Skurcz lewej komory powoduje wstrzyknięcie krwi do głównej tętnicy organizmu – aorty.

Aby tam trafić, krew musi pokonać zastawkę aorty, blokującą powrót do komory.

4. Aorta rozgałęzia się na mniejsze tętnice, które z kolei dzielą się na tętniczki rozprowadzające natlenowaną krew po całym organizmie.

Tętniczki przechodzą w naczynia włosowate, które uczestniczą w wymianie gazowej i transporcie składników odżywczych.



Prezentujemy kolejność naczyń krwionośnych pod kątem stężenia tlenu we krwi:

- tętnice,
- tętniczki,
- naczynia włosowate,
- żyłki,

- żyły.

Zabieraj złe, dawaj dobre — wymiana kapilarna

Naczynia włosowate (kapilary) stanowią najmniejsze naczynia krwionośne, które płynnie przechodzą z formy tętniczej w żylną. Mają bardzo ważne zadanie: ułatwiać dyfuzję składników odżywczych i zbędnych produktów przemiany materii przez błonę komórkową i błonę naczynia włosowatego — jest to podstawa procesu zwanego **wymianą kapilarną**.

Ściana naczyń włosowatych składa się zaledwie z jednej warstwy komórek, zatem przenoszone w nich składniki mogą z łatwością dyfundować przez błonę komórkową (więcej informacji na temat dyfuzji znajdziesz w rozdziale 4.). Błony kapilar stykają się z błonami innych komórek, dlatego odpowiednie substancje nie mają problemu z przenikaniem do i z wnętrza komórek.



W wyniku wymiany kapilarnej tlen opuszcza krwinki czerwone i przedostaje się do komórek ciała. W podobny sposób z krwi przedostają się związki odżywcze do tkanek. W tym samym czasie komórki pozbywają się zbędnych produktów przemiany materii (w tym dwutlenku węgla), które są wchłaniane do krwiobiegu.

Po odebraniu „śmieci” z komórek są one transportowane w pozbawionej tlenu krwi poprzez najmniejsze naczynia żyłne, zwane **żyłkami**. Żyłki przechodzą następnie w większe naczynia, czyli **żyły**, które prowadzą do **żyły głównej**. Obydwa rozgałęzienia żyły głównej dochodzą do prawego przedsionka, od którego zaczyna się obieg płucny.

Ciśnienie powstałe podczas skurczy komór wymusza ruch krwi w tętnicach, jednak maleje ono wraz z oddalaniem się od serca. Z tego powodu ciśnienie krwi żyłnej nie jest tak wysokie



jak w przypadku tętnic. Bardzo ważnym czynnikiem wywołującym krążenie krwi w żyłach są skurcze mięśni poprzecznie prążkowanych. Ruszając kończynami i tułowiem, sprawiasz, że krew jest przepychana przez żyły, aż w końcu trafia do serca^[3]. Bez ruchu krew zwalnia w żyłach, co bardzo źle wpływa na ogólne krążenie krwi w organizmie.

Co sprawia, że serce bije?

Serce bije pod wpływem impulsów elektrycznych generowanych przez mięsień sercowy. Impulsy te powstają w specjalnych obszarach zawierających komórki nerwowe, zwanych **węzłami**. Z węzłów przesyłane są impulsy wywołujące skurcz komórek mięśnia sercowego, dzięki czemu powstaje jego charakterystyczne pulsowanie. Cały proces pobudzania serca wygląda następująco:

1. Każde uderzenie serca rozpoczyna się od impulsu wygenerowanego przez węzeł zatokowo-przedsionkowy zlokalizowany w prawym przedsionku.

Węzeł zatokowo-przedsionkowy jest również nazywany **naturalnym rozrusznikiem** serca, ponieważ to od niego zależy częstotliwość pulsu (tak, Twoje serce również zawiera taki rozrusznik. Osoby posiadające chirurgicznie „wmontowane” rozruszniki korzystają z nich, ponieważ ten naturalny uległ u nich uszkodzeniu).

2. Sygnał pochodzący z węzła zatokowo-przedsionkowego rozprzestrzenia się po obydwu przedsionkach, powodując ich skurcz i przepompowanie krwi do komór.

3. Impuls, przechodząc przez przedsionki, dociera do węzła przedsionkowo-komorowego i pobudza go

do działania.

Węzeł przedsionkowo-komorowy znajduje się w dolnej części prawego przedsionka. Sygnał w tym miejscu zostaje przyhamowany, dzięki czemu komory mają czas napęlić się krwią.

4. Sygnał pochodzący z węzła przedsionkowo-komorowego pobudza fragment tkanki zwany pęczkiem Hisa.

Pęczek Hisa umiejscowiony jest pomiędzy obydwoma komorami i łączy się z tkanką zwaną włóknami Purkiniego.

5. Gdy sygnał dochodzi do włókien Purkiniego, wywołuje skurcz komór, co stanowi dopełnienie cyklu pracy serca.



Odgłos wydawany przez serce — opisywany jako lub-dub, lub-dub — pochodzi od dźwięku zamykających się zastawek. Pierwszy dźwięk (lub) wywoływany jest przez uderzenie krwi o skurczone zastawki przedsionkowo-komorowe. Ten skurcz uniemożliwia cofnięcie się krwi z komór do przedsionków. Drugi, głośniejszy odgłos (dub) pojawia się w wyniku uderzenia krwi o zamknięte zastawki półksiężycowate, dzięki którym krew wpompowana do aorty nie wraca do lewej komory.

Krew — szkarłatne złoto

Krew jest płynną tkanką utrzymującą przy życiu organizmy posiadające zamknięty układ krążenia — w tym również Ciebie. Pewne komórki krwi służą do transportowania tlenu, czyli substancji niezbędnej do podtrzymywania metabolizmu, inne zwalczają niebezpieczne organizmy i substancje

mogące niszczyć komórki ciała; a jeszcze inny rodzaj tworzy zakrzepy blokujące nadmierną ucieczkę tej drogocennej substancji oraz przyspiesza proces gojenia się ran. W kolejnych ustępach zajmiemy się opisem poszczególnych składników tworzących krew oraz poznasz szczegóły wyjątkowego mechanizmu powodującego zablokowanie krwawienia z niemal dowolnego skaleczenia.

Elementy stałe spotykane w szkarłatnym płynie

Wierz lub nie, ale pomimo płynnej struktury krew zawiera cząstki stałe, zwane **elementami morfotycznymi**. Zaliczamy do nich krwinki czerwone, białe oraz płytki krwi. Każdy z tych elementów został omówiony poniżej.

Uwaga: Pojęcie „element stały” zostało wykorzystane tu jedynie w celu odróżnienia elementów morfotycznych od płynnej części krwi. Gdyby krwinki i płytki krwi były rzeczywiście stałe i sztywne, nie byłyby w stanie przecisnąć się przez naczynia włosowate.

Krwinki czerwone

Czerwone krwinki, zwane **erytrocytami**, pełnią bardzo odpowiedzialną funkcję transportowania cząsteczek tlenu do wszystkich komórek organizmu. Wewnątrz tych krwinek występuje **hemoglobina** — zawierający jony żelaza czerwony barwnik wiążący się z tlenem. Czerwone krwinki z jednej strony przenoszą tlen do naczyń włosowatych i przekazują go komórkom, a z drugiej — wchłaniają część wydalanego dwutlenku węgla (większość jest transportowana rozpuszczona w formie jonowej w osoczu) i transportują go do płuc. Jako nośniki tlenu i hemoglobiny erytrocyty pełnią jedną z najważniejszych ról w utrzymywaniu **homeostazy** — naturalnej równowagi wewnętrznej organizmu.

Jeżeli człowiek posiada zbyt mało czerwonych krwinek (co można sprawdzić laboratoryjnie) lub hemoglobiny, to choruje na **anemię (niedokrwistość)**, czyli chorobę objawiającą się między innymi ciągłym uczuciem zmęczenia. Może pojawiać się w wyniku nieprawidłowego żywienia, zaburzeń metabolicznych, uwarunkowań genetycznych lub uszkodzenia szpiku kostnego.



Erytrocyty powstają w czerwonym szpiku kostnym. W ciągu ich 120-dniowego życia przenoszą w tę i z powrotem tlen oraz dwutlenek węgla, a po upływie tego czasu wyspecjalizowane białe krwinki niszczą je w wątrobie, a także śledzionie. Jony żelaza odzyskane ze zużytych krwinek zostają przeniesione do szpiku kostnego, gdzie są wbudowywane w nowe erytrocyty. Pozostałe elementy budulcowe są transportowane do układu pokarmowego, gdzie ulegają strawieniu i najczęściej są usuwane razem z odchodami.

Krwinki białe

Białe krwinki, zwane **leukocytami**, stanowią część układu immunologicznego, zajmującego się zwalczaniem infekcji (więcej informacji na jego temat znajdziesz w rozdziale 17.). U osoby posiadającej zbyt małą liczbę leukocytów występują problemy z odpornością. Z kolei zbyt duża liczba białych krwinek oznacza jakiś stan zapalny lub infekcję.



Prezentujemy pięć najważniejszych rodzajów leukocytów, które każdy powinien znać.

- **Bazofile** uwalniają substancje zwane **histaminami**, czyli te małe, wredne cząsteczki, od których dostajesz wysypki, puchniesz, drapiesz się jak opętana/opętany, smarkasz, kichasz i łzawisz w obecności alergenów. Są to efekty uboczne **stanu zapalnego** — bardzo istotnego

mechanizmu odpornościowego, ułatwiającego usuwanie niechcianych elementów z organizmu.

- **Eozynofile** chronią przed wrogimi organizmami, zwłaszcza pasożytami.

- **Limfocyty** pełnią podstawową rolę w **swoistej odpowiedzi immunologicznej**, czyli reakcjach organizmu na wykrycie chorobotwórczych drobnoustrojów. Dwie najważniejsze funkcje limfocytów to niszczenie zainfekowanych komórek i wytwarzanie obronnych białek zwanych **przeciwciałami**.

- **Monocyty** są prekursorami makrofagów. **Makrofagi** pochłaniają bakterie i wirusy (grecki przedrostek *macro* oznacza coś dużego, a *phagein* — „jeść”, czyli w wolnym tłumaczeniu „makrofag” to „duży żarłok”).

- **Neutrofile** występują najliczniej spośród wszystkich leukocytów. Komórki te trawia bakterie; dzięki temu chronią organizm przed napływem wszelkich szczepów bakteryjnych, z jakimi Twoje ciało ma kontakt.

Płytki krwi

Płytki krwi, spotykane również pod nazwą **trombocyty**, są współpracującymi ze sobą fragmentami komórek, tworzącymi skrzepy krwi (proces tworzenia skrzepu został opisany na końcu rozdziału). Trombocyty powstają w wyniku odrywania się malutkich kawałków z komórek zwanych megakariocytami. Jako fragmenty komórek płytki krwi są mniejsze od czerwonych oraz białych krwinek. Ich czas życia wynosi mniej więcej 10 dni.

Liczba trombocytów często jest przedstawiana jako pewna część pełnego składu krwi. Niski poziom płytek krwi może wskazywać pewne formy raka lub zaburzenia krzepnięcia

krwi, z kolei ich zbyt wysoka liczba może wynikać z przewlekłej infekcji lub niektórych chorób krwi.

„Strumień” osocza w Twojej krwi

Płynna część krwi jest nazywana **osoczem**. Krwinki oraz płytki krwi pływają w osoczu niczym liście w strumieniu. Jeżeli nad tym pomyśleć, to właśnie osocze dodaje człon „bieg” w wyrazie „krwiobieg”.

W osoczu rozpuszczonych jest wiele niezbędnych do życia białek. Dwa najczęściej spotykane rodzaje to:

- **Gamma-globuliny**. Nazywane również **immunoglobulinami**, stanowią dużą grupę białek zaliczanych do przeciwciał. Wytwarzaniem przeciwciał wspomagających reakcję odpornościową zajmuje się układ immunologiczny (opisany w rozdziale 17.).
- **Fibrynogen**. Jest to białko biorące udział w krzepnięciu krwi.

Proces krzepnięcia krwi

Gdy skaleczysz się w palec podczas obierania cebuli lub zbierając zbite szkło, Twoje ciało otrzymuje misję stworzenia **skrzepu krwi** (półstałej zatyczki składającej się z elementów morfotycznych otoczonych przez białkową warstwę) zapobiegającego wykrwawieniu się na śmierć. Najpierw uszkodzone naczynie krwionośne zwęża się i ogranicza przepływ krwi, co hamuje jej utratę (na podobnej zasadzie działają opaski uciskowe redukujące krwawienie z większych arterii). Płytki krwi przepływające przez otwarte naczynie krwionośne zaczynają przyłączać się do włókien kolagenowych wyściełających światło przewodu. W końcu powstaje trombocytowa zatyczka wypełniająca pęknięcia w ścianie naczynia krwionośnego.

Po uformowaniu zatyczki specjalne enzymy, zwane **czynnikami krzepnięcia** (organizm ludzki zawiera 12 takich enzymów), wyzwalają kaskadę reakcji prowadzących do powstania skrzepu. Cały proces jest skomplikowany, ale nie musisz znać wszystkich szczegółów; wystarczą główne etapy:

- Po utworzeniu trombocytowej zatyczki następuje faza koagulacji, polegająca na kaskadowej aktywacji enzymów prowadzącej do przekształcenia protrombiny w aktywną formę trombiny (do przeprowadzenia tego etapu niezbędny jest wapń).
- Trombina sama wykazuje właściwości enzymatyczne i sprawia, że fibrynogen — jedno z dwóch podstawowych białek osocza — wiąże się w długie łańcuchy fibryny.
- Włókna fibryny oplatają zatyczkę trombocytową, tworząc siatkowatą otoczkę.
- Siatka fibrynowa wyłapuje i wiąże przepływające krwinki czerwone (**Uwaga:** Z powodu uczestnictwa erytrocytów w procesie krzepnięcia kolor skrzepu jest czerwony. W miarę wysychania czerwonych krwinek zabarwienie otoczki brunatnieje i powstaje strup).

Przypisy:

[1] Ten prosty mechanizm (przeciwprąd) pozwala na maksymalne wysycenie krwi tlenem, gdyż korzystny gradient stężeń utrzymuje się na dłuższym odcinku naczynia włosowatego — *przyp. red.*

[2] W rzeczywistości proces ten jest bardziej złożony. Aby utworzyła się blaszka miażdżycowa, najpierw musi dojść do uszkodzenia śródbłonna naczynia i rozwoju stanu zapalnego. Sama blaszka miażdżycowa jest zbudowana z różnych elementów, w tym włókien łącznotkankowych, i warstwy lipidów, w tym cholesterolu. Z pewnością twierdzenie, że „nadmiar cholesterolu” przyczepia się do naczyń, jest bardzo daleko idącym uproszczeniem — *przyp. red.*

[3] Ważnymi elementami występującymi w żyłach są również specjalne zastawki uniemożliwiające cofanie się krwi — *przyp. tłum.*

Rozdział 16.

Sprawdzanie kanalizacji — układy pokarmowy i wydalniczy

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz różne mechanizmy spożywania pokarmu i usuwania resztek po nim;
 - ▶ poznasz dokładną budowę ludzkiego układu pokarmowego;
 - ▶ dowiesz się, jak dobierać zdrową żywność;
 - ▶ odkryjesz mechanizm pozbywania się zbędnych produktów przemiany materii z organizmu.
-

Po połknięciu lub wchłonięciu pożywienia przez zwierzę jego układ trawienny od razu przystępuje do trawienia i uwalniania niezbędnych do życia związków odżywczych. Gdy już te składniki zostaną dostarczone do krwiobiegu, następuje etap usuwania stałych substancji zalegających w jelicie grubym oraz związków azotowych gromadzonych przez układ moczowy.

Chcesz poznać szczegóły budowy i działania układów pokarmowego i wydalniczego? Jeśli tak, to znajdujesz się we właściwym miejscu. W tym rozdziale przekażemy najważniejsze informacje na temat różnych sposobów pozyskiwania pokarmu przez zwierzęta oraz usuwania zbędnych metabolitów. Następnie omówimy działanie ludzkiego układu pokarmowego i poznasz losy poszczególnych produktów trawienia. Wszak każdy z nas od czasu do czasu musi „skupić się na kupie”.

Zdobywanie żywności i rozkładanie jej na czynniki pierwsze

Jak zostało wyjaśnione w rozdziale 5., wszystkie zwierzęta potrzebują pożywienia będącego źródłem energii i materiałów budulcowych organizmu, jednak w wyniku ewolucji poszczególne gatunki opracowały różne strategie pozyskiwania pokarmu.

- **Połykacze odrywają duże kawałki pożywienia.**

Korzystają z zębów, pazurów, macek lub kleszczy do odrywania płatów jedzenia i połykania. Przykładami połykaczy są orły, ludzie, żaby i węże.

- **Filtratory przesączają płyny i wychwytyują z nich cząsteczki pożywienia.**

Dzięki takim narządom jak skrzela czy specjalnie przekształcone odnóża wydobywają drobne cząsteczki z wody. Na przykład małże przepuszczają przez organizm wodę, która obmywa otoczone śluzem skrzela. Na tym śluzie zatrzymują się pływające drobne organizmy i materia organiczna. Do filtratorów należą również takie zwierzęta jak gąbki, rekiny wielorybie czy wale szare.

- **Płynożercy wysysają bogate w związki odżywcze płyny z innych organizmów.**

Ich reprezentantami są często pasożyty przebywające w lub na ciele gospodarza, wchłaniające płyny produkowane przez żywiciela. Przykładowo mszyce i komary przebijają się przez tkankę okrywającą i wysysają znajdujące się pod nią substancje — mszyce żywią się sokiem roślinnym, a komary zwierzęcą krwią. Do płynożerców zaliczamy również pchły, pijawki czy minogi.

- **Glebożercy żyją na swoim pokarmie i zjadają go podczas poruszania się po nim.**

Mimo groźnie brzmiącej nazwy zwierzęta te zdobywają żywność w bardzo prosty sposób. Wyobraź sobie dżdżownice lub

larwy owadów. Podczas przebijania się przez glebę dżdżownica ją połyka, trawi zawarte w niej małe organizmy i materię organiczną, a nieprzetrawione pozostałości są wydalone w postaci wermikompostu. Podobnie w przypadku much — po złożeniu jaj na padlinie wykluwają się larwy przegryzające się przez pokarm (rozkładające się ciało) aż do momentu wydostania się na zewnątrz.



Od momentu trafienia do organizmu zwierzęcia aż do wydalenia w postaci odchodów pokarm przechodzi przez cztery etapy.

- **Połykanie** jest procesem transportowania pokarmu do układu pokarmowego.
- W czasie **trawienia** organizm zwierzęcia zajmuje się rozkładaniem pożywienia na podstawowe składniki odżywcze. Wyróżniamy dwa rodzaje trawienia:
 - Podczas **przetwarzania mechanicznego** kawałki jedzenia zostają rozdrobnione. Proces ten rozpoczyna się w momencie gryzienia i kończy po dotarciu do żołądka.
 - **Trawienie chemiczne** polega na enzymatycznym rozkładzie przeżutego lub w inny sposób wstępnie rozdrobnionego pożywienia na jeszcze mniejsze elementy. Mechanizm ten zostaje uruchomiony już w jamie ustnej, gdyż w ślinie znajdują się pierwsze enzymy trawienne. W żołądku występują enzymy trawienne i kwasy, a w jelicie cienkim spotykane są tylko te pierwsze związki.
- **Absorpcja (wchłanianie)** następuje w momencie, gdy związki odżywcze ze strawionego

jedzenia trafiają do układu krwionośnego, a następnie do poszczególnych komórek.

- **Usuwanie** stanowi etap, podczas którego niestrawione substancje zostają przeniesione z układu pokarmowego do układu wydalniczego oraz bezpośrednio do środowiska jako odchody.

Rodzaje układów pokarmowych

Mechanizm działania układu pokarmowego w głównej mierze zależy od tego, czy zwierzę może sobie pozwolić na kilka godzin przerwy pomiędzy posiłkami, czy też musi cały czas pochłaniać żywność, aby przeżyć. W kolejnych ustępach zajmiemy się opisem dwóch rodzajów układów pokarmowych oraz pomożemy Ci nauczyć się rozróżniać gatunki wymagające ciągłego dostarczania pożywienia od tych, które mogą sobie pozwolić na przerwę.

Różnice pomiędzy niedrożnym a drożnym przewodem pokarmowym

Najprostsze wielokomórkowe zwierzęta posiadają **niedrożny przewód pokarmowy**, co oznacza, że stanowi go tylko jeden otwór będący zarówno jamą gębową, jak i odbytnicę (dla nas też to jest obrzydliwe). Klasycznym przykładem zwierzęcia posiadającego niedrożny przewód pokarmowy jest meduza.

Wraz ze wzrostem skomplikowania organizmu pojawiają się jamy pokarmowe (miejsca, w których pokarm jest trawiony, a składniki odżywcze absorbowane) posiadające z jednej strony otwór gębowy, a z drugiej — odbytowy. Jest to **drożny przewód pokarmowy**. Dobrze znanym przykładem zwierzęcia posiadającego ten typ układu pokarmowego jesteś Ty.



Zaletą posiadania drożnego przewodu pokarmowego jest możliwość całkowitego strawienia pokarmu przed jego wydaleniem. Organizmy posiadające niedrożny przewód pokarmowy pozbywają się niestrawionego pokarmu wraz z odchodami. Oznacza to, że posiadacze drożnego przewodu pokarmowego nie muszą bez przerwy uzupełniać zapasów pożywienia w celu zastępowania usuniętego pokarmu.

Jak często sięgać po posiłek?

Pewne zwierzęta muszą bez przerwy wchłaniać pokarm, ponieważ szybko jest trawiony, a jego wydalenie następuje wkrótce po połyknięciu. Zwierzęta te najczęściej prowadzą osiadły tryb życia (np. małże czy omułki) lub poruszają się bardzo powoli. Z kolei bardziej zaawansowane gatunki spożywają większe porcje pożywienia, które są przechowywane na później. Zwierzęta te wykazują się większą ruchliwością.



Metoda typu „najedz się i później biegnij” bardzo dobrze sprawdza się u drapieżników. Gdyby lew musiał odżywiać się w ciągły sposób, szybko by się męczył w wyniku konieczności nieprzerwanego zdobywania pożywienia i spędzałby więcej czasu na otwartym terenie, co narażałoby go na ataki ze strony innych mięsożerców.

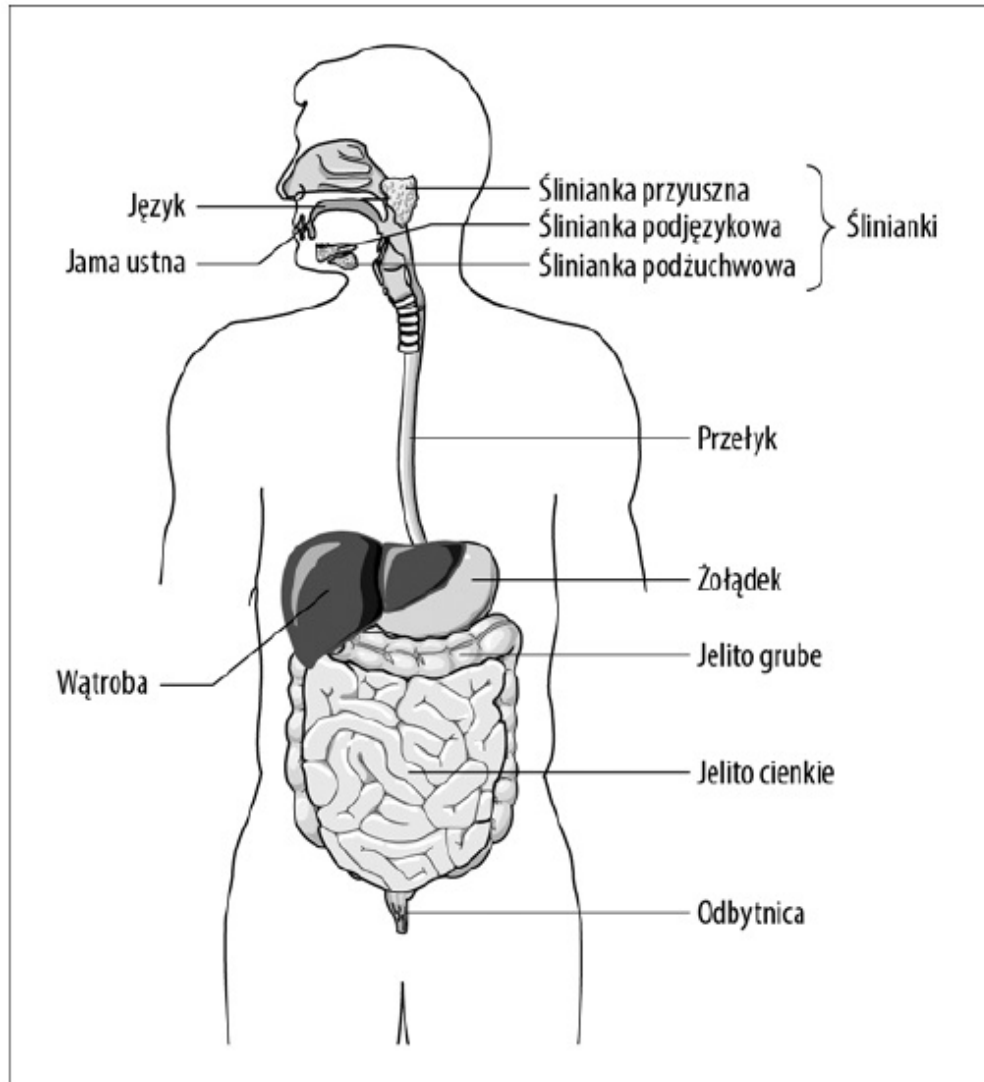


Chociaż możesz przez cały dzień coś podjadać, to należysz to kategorii organizmów odżywiających się w sposób nieciągły. Możesz szybko połykać^[1] pożywienie, ale będzie ono stopniowo trawione, przez co nie poczujesz głodu przez kilka następnych godzin.

Zarówno Ty, jak i inne zwierzęta odżywiające się w sposób nieciągły potrzebujecie w organizmie miejsca służącego do przechowywania pobranego pokarmu. W przypadku człowieka funkcję tę pełni **żołądek**.

Podróż po ludzkim układzie pokarmowym

Miejszem, do którego trafia pokarm w pierwszej kolejności, jest jama ustna, ale czy wiesz, że stanowi ona również część układu pokarmowego (rysunek 16.1)? Teraz już wiesz. Proces żucia (naukowa nazwa to **przeżuwanie**) stanowi u człowieka pierwszy etap trawienia. Przeżute jedzenie trafia z jamy ustnej do gardła i przełyku, a następnie do żołądka. Dalej poprzez dwunastnicę wędruje do jelita cienkiego. Substancje niestrawione lub takie, których nie można wchłonąć, przechodzą do jelita grubego, a stamtąd zostają usunięte z organizmu przez odbytnicę. W kolejnych ustępach zajmiemy się omówieniem poszczególnych elementów przewodu pokarmowego.



Rysunek 16.1. Budowa układu pokarmowego

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Najbardziej pracowity przystanek — jama ustna

Twoje usta nie służą wyłącznie do kibicowania podczas turniejów sportowych ani do zagadywania tego przystojniaka/ślicznotki siedzących z Tobą w jednej ławce na lekcji biologii. To tutaj zaczyna się cały proces trawienia. Zęby rozgniatające jedzenie na coraz mniejsze kawałeczki

stanowią tylko jeden z elementów biorących udział we wstępnym rozdrabnianiu pokarmu. Cała jama ustna ma w tym swój wkład. W Twoich ustach:

- kubki smakowe rozpoznają składniki odżywcze znajdujące się w pokarmie — takie jak węglowodany, białka czy tłuszcze — dzięki czemu zostają przygotowane właściwe enzymy trawienne w dalszych częściach układu pokarmowego;
- ślina rozpoczyna proces chemicznego trawienia dzięki obecności **amylazy** — enzymu rozkładającego łańcuchy skrobi na monomery glukozy.



Znasz to uczucie ślinienia się tuż przed rozpoczęciem jedzenia posiłku? Taka jest reakcja organizmu na widok i zapach czegoś smacznego — mózg dostaje informację, że zaraz otworzysz usta i weźmiesz kęs jedzenia. W ten sposób również jama ustna przygotowuje się do wstępnego trawienia za pomocą amylazy ślinowej.



Po przeżuciu pokarmu, wysłaniu informacji przez narządy zmysłów na temat jego składu chemicznego oraz wstępnym rozkładzie enzymatycznym skrobi pokarm zostaje połknięty. Jest to proces, w którym język przepycha jedzenie w stronę gardła, gdzie zostaje przecięte przez przełyk aż do żołądka (**przełyk** jest przewodem łączącym jamę ustną z żołądkiem).

Przeciskanie się pokarmu przez umięśniony przewód jest możliwe dzięki **ruchom perystaltycznym (robaczkowym)** — występujące one w przełyku oraz w jelitach, dzięki czemu drobiny jedzenia przesuwają się wzdłuż przewodu pokarmowego.



Pokarm trafiający do żołądka jest często określany jako **bolus**. Na tym etapie amylaza ślinowa zaprzestaje rozkładania skrobi, a dowodzenie przejmują soki żołądkowe składające się z mieszaniny enzymów i kwasu solnego (HCl).

Jeżeli zjesz za dużo, żołądek wytworzy zbyt wiele soków, a jego przepełniona zawartość cofnie się do przełyku. Jaki jest tego nieprzyjemny skutek? Zgaga.

Co się dzieje we wnętrzu żołądka?

Gdy cząsteczki pożywienia trafiają do żołądka, pływają w nim swobodnie, a do pracy przystępuje enzym pepsyna rozbijający łańcuchy białkowe na mniejsze cząsteczki peptydowe (więcej informacji na temat enzymów znajdziesz w rozdziale 4.). Teraz cała mazista treść żołądka zostaje przecisnięta do górnej części jelita cienkiego za pomocą **zwieracza odźwiernika**. Mięsień ten rozluźnia się od czasu do czasu, pozwalając zawartości żołądka przejść do jelita cienkiego.



Być może zastanawiasz się, dlaczego pepsyna nie trawi białek wchodzących w skład tkanek przewodu pokarmowego. Już śpieszymy z wyjaśnieniem: do żołądka wydzielana jest nieaktywna forma enzymu nosząca nazwę **pepsynogenu**, która nie uszkadza komórek. Dopiero w żołądku od cząsteczki pepsynogenu odłącza się kilkanaście aminokwasów, co powoduje przejście do aktywnej postaci, czyli pepsyny. Wnętrze żołądka jest pokryte śluzem (substancją zbudowaną z polisacharydów), dlatego pepsyna nie działa na komórki ściany żołądkowej. Problem pojawia się u osób

cierpiących na wrzody żołądka (przyglądamy się kwestii wrzodów w poniższej ramce).

Długa i wietrzna wędrówka po jelicie cienkim

Cząsteczki pożywienia trafiające do jelita cienkiego zostają podzielone na jeszcze mniejsze drobinki (zdolne do przenikania przez błonę komórkową) z małą pomocą wątroby i trzustki.

Wątroba wydziela **żółć** (żółtobrunatny lub zielonkawy płyn) do jelita cienkiego. Sole zawarte w żółci **emulgują** tłuszcze (rozbijają je na mniejsze kropelki), przez co łatwiej rozpuszczają się i są trawione w płynie jelitowym. Jednocześnie trzustka wydziela sok trzustkowy zawierający następujące enzymy ułatwiające trawienie tłuszczów i węglowodanów:

- **Lipaza** rozbija cząsteczki tłuszczów na kwasy tłuszczowe i glicerol.
- **Amylaza trzustkowa** rozkłada długie łańcuchy węglowodanowe na **disacharydy**, czyli krótkie cząsteczki składające się z dwóch cukrów. Dwucukry te następnie zostają podzielone na monosacharydy wchłaniane przez ściany jelita cienkiego.
- **Trypsyna i chymotrypsyna** kontynuują proces trawienia łańcuchów białkowych. Po rozbiciu białek na mniejsze łańcuchy peptydowe **aminopeptydazy** dokończają dzieła, rozkładając je na poszczególne, łatwo przyswajalne aminokwasy.

Prawdziwa przyczyna powstawania wrzodów żołądka

Uszkodzenie śluzówki żołądka przez enzymy trawienne i sok żołądkowy jest znane jako **wrzody żołądka**. Przez wiele lat lekarze uważali, że za wrzody odpowiadają stresy, zmartwienia, frustracje i inne negatywne emocje. Pogląd

ten zmienił się w 1982 roku, gdy dwaj australijscy lekarze, Barry Marshall i Robin Warren, wykryli szczep bakterii *Helicobacter pylori* (lub *H. pylori*) w żołądkach osób cierpiących na wrzody. Postawili hipotezę, zgodnie z którą to właśnie *H. pylori* byłaby odpowiedzialna za powstawanie wrzodów, ale nikt im nie wierzył. Aby udowodnić postawioną tezę, doktor Marshall, nieposiadający żadnych wrzodów, dokonał czegoś niewyobrażalnego — wypił płyn zawierający żywe kultury *H. pylori*! Po pewnym czasie pojawiły się wrzody w żołądku lekarza, co stanowi dowód, że zakażenie bakteryjne może wywoływać tę bolesną dolegliwość.

W jaki więc sposób powstają wrzody? *H. pylori* wywołuje stan zapalny śluzówki żołądka, co powoduje zanik ochronnej warstwy śluzu na powierzchni komórek, przez co enzymy trawienne zaczynają trawić odsłoniętą tkankę. Wrzody żołądka bywają bardzo bolesne, a jeżeli dojdzie do krwawienia lub przedziurawienia (**perforacji**) ściany żołądkowej, konieczna okazuje się pomoc medyczna. Na szczęście wrzody można dość łatwo wyleczyć, podając antybiotyki zabijające bakterie *H. pylori* przebywające w żołądku.



Podobnie jak jest w przypadku pepsyny, trypsyna oraz chymotrypsyna są wydzielane w nieaktywnej postaci, jako odpowiednio: **trypsynogen** i **chymotrypsynogen**. W celu ochrony komórek przewodu pokarmowego enzymy te przechodzą do aktywnej postaci dopiero w świetle jelita cienkiego.



Nie daj się zmylić określeniu **cienkie**. Jelito cienkie jest znacznie dłuższe od jelita grubego (to pierwsze osiąga do 6 m długości, a drugie — do 2 m). Nazwa **jelito cienkie** wywodzi się od mniejszej średnicy (światła) przewodu; jelito grube ma większe światło, ale jest krótsze.

Po kilku godzinach w przewodzie pokarmowym wszystkie węglowodany, tłuszcze i białka zawarte w jedzeniu zostają sprowadzone do najprostszej postaci: monosacharydów (np. glukozy), kwasów tłuszczowych, glicerolu i aminokwasów (związki te zostały opisane w rozdziale 3.). Substancje te mogą teraz opuścić układ pokarmowy i zostać rozprowadzone do wszystkich komórek organizmu (mechanizm ten jest opisany w następnym podrozdziale).

Wchłanianie potrzebnych składników

W czasie trawienia niezbędne do życia składniki odżywcze zostają pobrane przez wyściółkę jelita cienkiego. Niestrawione lub bezużyteczne resztki przechodzą do jelita grubego. Kolejne ustępy zostały poświęcone wyjaśnieniu sposobu rozprowadzania związków pokarmowych po organizmie oraz mechanizmu utrzymania właściwego **stężenia glukozy (cukru) we krwi** przez wątrobę.

Transport związków odżywczych do komórek

Skoro zadaniem trawienia jest uzyskanie związków przyswajalnych przez organizm, to w jaki sposób są one rozprowadzane po całym ciele?

Pierwszym etapem jest ich wchłonięcie przez wyściółkę jelita cienkiego poprzez mechanizm aktywnego transportu. Innymi słowy, energia pozyskiwana z cząsteczek **adenozynotrójfosforanu** (ATP) jest wykorzystywana do przenoszenia cukrów (pochodzących ze strawionych węglowodanów) oraz aminokwasów (produktów trawienia białek) do wnętrza komórek jelitowych (transport aktywny został dokładniej omówiony w rozdziale 4.). Znajdujące się w komórkach jelitowych substancje odżywcze biorą udział w **wymianie kapilarnej**, procesie polegającym na przekazywaniu związków odżywczych oraz niepotrzebnych metabolitów do układu krwionośnego.

Do przeprowadzenia wymiany kapilarnej potrzebne są dwa elementy: **naczynia włosowate**, czyli mikroskopijne naczynia krwionośne posiadające jednowarstwowe ścianki, oraz **płyn tkankowy** — substancja wypełniająca przestrzeń międzykomórkową, amortyzująca i nawadniająca komórki.



Czy wiesz, że 60% wagi człowieka stanowią płyny? Dwadzieścia procent z tych sześćdziesięciu występuje w postaci **płynu pozakomórkowego**. Na tę ciecz składają się głównie wspomniany płyn tkankowy (16%) i osocze (4%; skład plazmy został omówiony w rozdziale 15.). Pozostałe 40% płynów występuje jako **płyn wewnątrzkomórkowy**, znany lepiej jako cytoplazma.

Związki odżywcze pochodzące ze strawionego pokarmu dyfundują przez ściany jelita cienkiego do naczyń włosowatych, przenikają przez płyn tkankowy aż do komórek docelowych. Jednocześnie zbędne produkty przemiany materii są usuwane przez komórki do płynu tkankowego i naczyń włosowatych, skąd są przenoszone do nerek (mechanizm usuwania metabolitów przez nerki został opisany pod koniec niniejszego rozdziału).



Cukry i aminokwasy są transportowane przez układ krwionośny do wątroby, natomiast produkty rozkładu tłuszczów czeka inny los. Zostają one otoczone warstwą białek i zyskują nową nazwę: **chylomikrony**. Nie są one transportowane przez układ krwionośny, lecz przez układ limfatyczny, skąd są doprowadzane do żył w pobliżu serca.

Kontrola stężeń glukozy



Prawdopodobnie najważniejszym przystankiem dla strawionych cukrów transportowanych w układzie krwionośnym jest wątroba. Narząd ten wykrywa nieprawidłowe stężenia różnych składników rozpuszczonych we krwi (np. glukozy) i doprowadza je do normy.

- Jeżeli stężenie glukozy jest zbyt duże (stan zwany **hiperglikemią**), wątroba usuwa jej część

z krwi i magazynuje w postaci **glikogenu**. Jeżeli we krwi ciągle znajduje się zbyt wiele glukozy, wątroba uruchamia proces metaboliczny przekształcający ten cukier prosty w tłuszcz. Utworzony zapas tłuszczów zostaje następnie przeniesiony do **tkanki tłuszczowej**.

- Z kolei w przypadku zbyt niskiego stężenia glukozy (**hipoglikemia**) wątroba rozkłada część glikogenu na cukry proste i wprowadza je do krwi. Jeżeli zostaje zużyty cały zapas glikogenu, następuje rozkład zmagazynowanych tłuszczów.

Utrzymanie prawidłowego stężenia glukozy we krwi jest warunkiem niezbędnym do życia, gdyż związek ten stanowi główne paliwo dla neuronów. W rzeczywistości cukier jest tak istotny, że organizm w celu jego dostarczenia do mózgu będzie sam siebie trawił. W skrajnych przypadkach, takich jak długotrwały głód, gdy rozkład tłuszczów nie wystarczy już do utrzymania prawidłowego poziomu glukozy we krwi, organizm zaczyna trawić tworzące go białka po to, aby dostarczyć tak potrzebną energię. Białka mięśniowe zostają rozbite na aminokwasy, z których można wyprodukować glukozę. Nie brzmi to tak strasznie, dopóki nie uświadomisz sobie, że Twoje serce jest jednym wielkim mięśniem. Gdy ciało zaczyna „demontować” mięsień sercowy, śmierć staje się coraz bardziej prawdopodobną możliwością.

Co na obiad? Podejmowanie mądrych decyzji żywieniowych

Szkoda, że ludzie posiadają tak czułe kubki smakowe. Gdyby nie wyewoluował u nas tak finezyjny zmysł smaku, być może zachowywalibyśmy się jak inne zwierzęta i zjadalibyśmy pokarm stanowiący naszą naturalną dietę tylko wtedy, gdybyśmy byli naprawdę głodni. Niestety, jedzenie jest

pyszne, a ludziom ciężko się oprzeć przed „zatankowaniem baku” bardzo tanim paliwem. Czy tak samo postępujesz ze swoim samochodem? A może wolisz wlewać do baku paliwo jak najlepszej jakości, żeby utrzymać wysoką sprawność silnika?

Jeżeli chcesz utrzymać swoje ciało w jak najlepszym stanie, bardzo polecamy stosowanie się do zaleceń żywnościowych Instytutu Żywności i Żywienia (IŻŻ). Dostępna na stronie IŻŻ **Piramida zdrowego żywienia i aktywności fizycznej** stanowi wizualizację właściwych proporcji różnych substancji odżywczych, na które składać się powinna prawidłowa dieta. Więcej informacji dotyczących prawidłowego żywienia znajdziesz pod adresem www.izz.waw.pl.

Na razie jednak wystarczy, że zapoznasz się z kolejnymi ustępami. Zamieściliśmy w nich podstawowe informacje dotyczące podstawowych grup żywności: węglowodanów, białek, tłuszczów, związków mineralnych oraz witamin.

Węglowodany — winne łakomstwa

Węglowodany zbudowane są z węgla, wodoru oraz tlenu i stanowią cząsteczki dostarczające krótkotrwałą energię (dokładniejszy opis ich struktury chemicznej znajdziesz w rozdziale 3.). Większość węglowodanów, np. cukry, szybko ulega rozkładowi. Każda osoba „smażąca” cukier na patelni w celu uzyskania karmelu rozumie, co mamy na myśli.



Najważniejszym węglowodanem jest **glukoza**. Występuje ona bezpośrednio w różnych produktach spożywczych (np. w chlebie, makaronach, słodyczach czy owocach), ale organizm również potrafi syntetyzować ten cukier w wyniku rozkładu białek i tłuszczów.

W przypadku różnych rodzajów pokarmów węglowodany węglowodanom nie są równe.

- Produkty **pełnoziarniste** zawierają mnóstwo błonnika i witamin. Zmniejszają ryzyko wystąpienia chorób serca i zaparc. Spożywanie pieczywa i produktów pełnoziarnistych, a także samych zbóż (takich jak niełuskany ryż, komosa ryżowa czy kasza bulgur) dostarcza Twojemu organizmowi zdrowe węglowodany.



Wiele produktów jest reklamowanych jako „pełnoziarniste”, ale informacja ta nie mówi nam, jaki ułamek pożywienia w rzeczywistości stanowią pełne ziarna. Jeżeli masz wątpliwości, sprawdź zawartość błonnika. Produkty bogate w błonnik zazwyczaj są wyprodukowane z dużej ilości pełnych ziaren.

- Pożywienie składające się z **ziaren oczyszczonych** (rafinowanych) jest ubogie w błonnik i witaminy. Zawarte w nim węglowodany szybko się rozkładają i błyskawicznie podnoszą stężenie glukozy we krwi. Ten typ ziaren służy do wyrobu białego pieczywa, mąki i makaronów — a także ciast i ciastek. Najlepiej w miarę możliwości unikać tego typu wypieków.

Białka — Ty je niszczysz, one Cię tworzą

Każdy mięsień, błona i enzym znajdujące się w Twoim organizmie zbudowane są z białek. Wynika więc z tego, że aby stworzyć kolejne włókna mięśniowe, komórki lub wszelkie inne elementy niezbędne do życia, musisz zaopatrywać się w białka (ogólna struktura chemiczna białek została omówiona w rozdziale 3.).



Łańcuchy białkowe zbudowane są z sekwencji aminokwasów. Twój organizm wymaga dostarczania dziewięciu aminokwasów, których nie może sam zsyntetyzować, dlatego są to tak

zwane **aminokwasy egzogenne**. Pozostałe 11 aminokwasów jest wytwarzanych w komórkach z różnych składników, niekoniecznie innych aminokwasów. Te produkowane w ciele cząsteczki noszą nazwę **aminokwasów endogennych**; nie musisz ich pobierać z pożywienia, ponieważ Twój organizm wytworzy ich wystarczającą ilość. Obydwa typy aminokwasów zostały wymienione w tabeli 16.1.

Tabela 16.1. Podział aminokwasów ze względu na źródło otrzymywania

Aminokwasy egzogenne	Aminokwasy endogenne^[2]
Histydyna	Alanina
Izoleucyna	Arginina
Leucyna	Asparagina
Lizyna	Cysteina
Metionina	Glicyna
Fenylalanina	Glutamina
Treonina	Kwas asparaginowy
Tryptofan	Kwas glutaminowy
Walina	Prolina
	Seryna
	Tyrozyna

Pewnie jako pokarm bogaty w białka pierwsze do głowy przychodzi mięso. Masz rację. Zarówno mięśnie Twoje, jak i innych zwierząt zbudowane są z łańcuchów białkowych. Gdy spożywasz jakiekolwiek mięsiwo — wołowe, kurczące, indycze, wieprzowe, rybne itd. — zjadasz w istocie bogatą w białka tkankę mięśniową.



Dodatkowymi źródłami białka są rośliny strączkowe, orzechy i soja, ale pamiętaj, że są to białka pochodzenia roślinnego, nie zwierzęcego. Uważa się, że dieta zawierająca wyłącznie białka roślinne jest niekompletna, ponieważ może wystąpić niedobór jakiegoś aminokwasu niezbędnego dla człowieka. Zwierzęta wraz z jedzeniem wchłaniają aminokwasy egzogenne oraz wytwarzają aminokwasy endogenne, dlatego białka zwierzęce uznawane są za spełniające wymogi ludzkiego organizmu — zawierają komplet wykorzystywanych przez nas aminokwasów.

Wegetarianie muszą łączyć różne rodzaje pożywienia w celu zapewnienia diety zawierającej wszystkie potrzebne aminokwasy.

Tłuszcze — niezbędne, ale w ograniczonej ilości

Tłuszcze są potrzebne do produkcji tkanek i hormonów oraz do wytwarzania warstwy izolującej włókna nerwowe (analogicznie do izolowania przewodu elektrycznego). Ponadto stanowią one dobre źródło energii. Nadają kształt ciału, ograniczają straty ciepłe otaczając narządy wewnętrzne i mięśnie (trochę jak amortyzatory).



Tłuszcz stanowi bogate źródło energii, dlatego zaczynasz go „spalać” dopiero po mniej więcej dwudziestu minutach aerobiku. Najpierw komórki wykorzystują znajdujący się w nich zapas cukrów, dopiero po jego zużyciu przystępują do przekształcania tłuszczu na glukozę.

Lipoproteiny a ryzyko chorób serca

Lipoproteiny to cząsteczki składające się z białek i tłuszczów. Ich zadaniem jest transportowanie cholesterolu w krwiobiegu. Organizm wytwarza cztery rodzaje lipoprotein:

- lipoproteiny wysokiej gęstości (ang. *High-density lipoproteins* — HDL),
- lipoproteiny niskiej gęstości (ang. *Low-density lipoproteins* — LDL),
- lipoproteiny bardzo niskiej gęstości (ang. *Very low-density lipoproteins* — VLDL),
- chylomikrony.

Czasami można przeczytać albo usłyszeć informacje o lipoproteinach HDL jako o „dobrym” cholesterolu, a o lipoproteinach LDL w roli „złego” cholesterolu. Zarówno jedno, jak i drugie cząsteczki są lipoproteinami, nie cholesterolom. Służą one jedynie do transportowania cholesterolu. Dlaczego mówi się, że jedno lipoproteiny są „dobre”, a inne „złe”?

Chylomikrony są bardzo małutkimi, świeżo utworzonymi cząsteczkami klasyfikowanymi jako lipoproteiny VLDL. Ten rodzaj cząsteczek zawiera bardzo małą frakcję białkową, a bardzo dużą tłuszczową. W krwiobiegu część tłuszczów zostaje zastąpiona cząsteczkami cholesterolu, dzięki czemu lipoproteiny

VLDL przekształcają się w LDL. Ten typ cząsteczek dostarcza cholesterol komórkom, w których występuje zapotrzebowanie na ten składnik, przez co zarówno lipoproteiny VLDL, jak i LDL przeciskają się przez światło naczyń krwionośnych. Czasami w takim przypadku cząsteczka cholesterolu odrywa się od lipoproteiny i przylega do ściany naczynia krwionośnego, tworząc zaczątek blaszki cholesterolowej^[3]. Jeżeli nagromadzi się zbyt wiele cholesterolu, powoduje on zaciśnięcie światła naczynia krwionośnego, przez co krew nie może przez nie przepływać. Sytuacja ta stanowi główny powód występowania ataków serca i zawałów. Z tego wynika, że chociaż lipoproteiny LDL wspomagają transport cholesterolu, przy zbyt dużej ich ilości cholesterol zaczyna odkładać się w naczyniach krwionośnych, zwiększając ryzyko chorób serca, ataku serca i zawału.

Z drugiej strony lipoproteiny HDL składają się w większości z białek, przez co, jak sama nazwa wskazuje, są gęstsze. Z powodu gęstości cząsteczki te nie przeciskają się przez naczynia krwionośne, zamiast tego usuwają zalegające złogi (z tkanek, światła naczyń itd.) i transportują je do wątroby. Nie zwiększają ryzyka wystąpienia dolegliwości sercowych. **Zapamiętaj:** zawsze należy dążyć do większego stężenia frakcji HDL niż LDL czy VLDL.

Tłuszcze są bardzo ważnymi składnikami odżywczymi, ale istnieją w dobrej i złej postaci:

- **Tłuszcze nienasycone** stanowią użyteczną postać lipidów. Doskonałymi źródłami tłuszczów nienasyconych

są oleje roślinne, takie jak olej oliwkowy czy lniany, a także oleje rybne.

- **Tłuszcze nasycone** są niezdrowe. Tłuszcze zwierzęce, np. sadło na mięsie oraz masło, zawierają mnóstwo tłuszczów nasyconych.



Wbrew obiegowej opinii ludzie nie tyją wyłącznie z powodu jedzenia tłustych potraw. Spożywanie większej ilości paliwa, niż jest zużywane, prowadzi do odkładania zapasu tkanki tłuszczowej bez względu na to, czy paliwem tym są tłuszcze, węglowodany, czy białka.

Związki mineralne i witaminy — paliwo dla enzymów

Oprócz podstawowych substancji odżywczych (tłuszczów, białek i węglowodanów) Twój organizm wymaga dostarczania pewnych związków mineralnych i witamin umożliwiających prawidłowe działanie enzymów (więcej informacji na temat enzymów znajdziesz w rozdziale 4.).

Do **związków mineralnych** zaliczają się nieorganiczne cząsteczki występujące na Ziemi (np. związki żelaza, cynku czy wapnia). Twoje ciało nie potrzebuje olbrzymich ilości tych substancji, ale niektóre z nich są wymagane do prawidłowego działania poszczególnych układów. Pierwiastki mineralne, na które występuje największe zapotrzebowanie, są nazywane **makroelementami**, natomiast wykorzystywane w znacznie mniejszych ilościach są **mikroelementy** (zwane również **pierwiastkami śladowymi**). W tabeli 16.2 zostały wymienione wszystkie makro- i mikroelementy potrzebne do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka.

Tabela 16.2. Związki mineralne wykorzystywane przez człowieka

--	--

Makroelementy	Mikroelementy
Wapń	Chrom
Chlor	Miedź
Magnez	Fluor
Fosfor	Jod
Potas	Żelazo
Sód	Mangan
Siarka	Molibden
	Selen
	Cynk

Witaminy to organiczne związki chemiczne produkowane przez wszystkie istoty żywe. Tworzą je atomy węgla, tlenu, azotu i wodoru, czyli te same substancje budulcowe, które tworzą węglowodany, tłuszcze i białka. Możemy podzielić witaminy na dwie kategorie.

- **Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach.** Zaliczamy do nich witaminy A, D, E i K. Aby mogły być wykorzystywane przez komórki, muszą zostać „rozpuszczone” w cząsteczkach tłuszczu (**fosfolipidach**). Fosfolipidy „transportują” te witaminy w krwiobiegu i dostarczają je do komórek.
- **Witaminy rozpuszczalne w wodzie.** Te witaminy (C oraz wszystkie z grupy B) często przyspieszają przebieg reakcji we współpracy z enzymami.

Układ wydalniczy człowieka

Organizm człowieka stara się wykorzystywać jak najwięcej związków odżywczych do napędzania procesów

komórkowych. Oczywiście nie da się wykorzystać wszystkiego. Bezżyteczne resztki zostają usunięte z organizmu przez jelito grube oraz **układ wydalniczy** składający się przede wszystkim z nerek. W kolejnych ustępach objaśnimy budowę tych narządów, a także przyjrzymy się mechanizmowi usuwania produktów ubocznych w celu zachowania dobrego zdrowia.

Anatomia i fizjologia jelita grubego

Po wchłonięciu potrzebnych składników odżywczych przez ściany jelita cienkiego pozostałe substancje zostają przetransportowane do jelita grubego (czyli **okreźnicy**). To tutaj powstają odchody (**kał**). Przesuwają się one w stronę odbytnicy pełniącej rolę zbiornika na fekalia. W momencie jej wypełnienia pojawia się potrzeba **defekacji** (pozbycia się odchodów z organizmu). Jest to zjawisko wieńczące proces trawienia — kał wydostaje się przez **odbyt**.

Podczas przekształcania produktów ubocznych w kał jelito grube wchłania z nich część wody oraz elektrolitów; woda jest zawsze wykorzystywana przez organizm. W przypadku wchłonięcia zbyt dużej ilości wody człowiek cierpi na zatwardzenie, a w przypadku pozostawienia jej nadmiaru pojawia się rozwolnienie.



Jelito grube wchłania jony (np. sodowe) z przechodzącej przez nie substancji. Jony sodowe są niezbędne do przeprowadzania wielu procesów komórkowych, jak choćby aktywnego transportu substancji przez błonę komórkową (zjawisko transportu aktywnego zostało opisane w rozdziale 4.). Do jelita grubego trafia z krwiobiegu również nadmiar innych jonów, co pozwala na regulowanie ich stężeń w organizmie. Jeżeli stężenia jonów w organizmie są nieprawidłowe, może mieć to bardzo poważne

konsekwencje zdrowotne. Na przykład przy niewłaściwym stężeniu jonów sodowych i potasowych (zwanym również **elektrolitami**) zostają zaburzone odpowiednio: skurcze mięśniowe oraz przesyłanie sygnałów nerwowych, co może wpłynąć na pracę mięśnia sercowego i w najgorszym przypadku doprowadzić do zawału.

Dlaczego należy bezwzględnie myć ręce?

Bakterie zamieszkujące jelita i produkujące witaminę K wpływają bardzo korzystnie na nasze zdrowie, ale stanowią zagrożenie dla zdrowia, jeśli dostaną się do innej części ciała. Jednym z gatunków żyjących w okrężnicy jest *Escherichia coli* (*E. coli*). Każdy ze szczepów *E. coli* wywołuje rozwolnienie oraz wymioty; poważne zakażenie tymi bakteriami może również wywoływać sepsę (posocznicę; bakterie dostają się do krwiobiegu i infekują cały organizm), która w skrajnych przypadkach prowadzi do śpiączki i śmierci.

E. coli najczęściej dostają się do pożywienia z powodu nieumytych rąk. Podczas podcierania się po defekacji część bakterii może dostać się na skórę dłoni. Jeżeli nie umyjesz dłoni i nie pozbędziesz się tych bakterii, a następnie weźmiesz w ręce jakiś pokarm, możesz wraz z nim połknąć drobnoustroje i poważnie zachorować. Idealny powód, żeby nigdy nie zapominać o umyciu rąk po wizycie w toalecie!

Dociekanie sposobu, w jaki nerki pozbywają się azotowych produktów przemiany materii

Azotowe produkty przemiany materii — czyli niepotrzebne, nadmiarowe substancje chemiczne zawierające azot, powstające w wyniku degradacji białek i kwasów nukleinowych — są usuwane z organizmu człowieka w postaci moczu. Narządami za to odpowiedzialnymi są nerki.

Każdy człowiek posiada dwie nerki zlokalizowane po bokach od strony pleców, tuż pod żebrami. Podobnie jak jest w przypadku większości ludzkich narządów, budowa nerki (ukazana na rysunku 16.2) jest ściśle powiązana z jej funkcją.

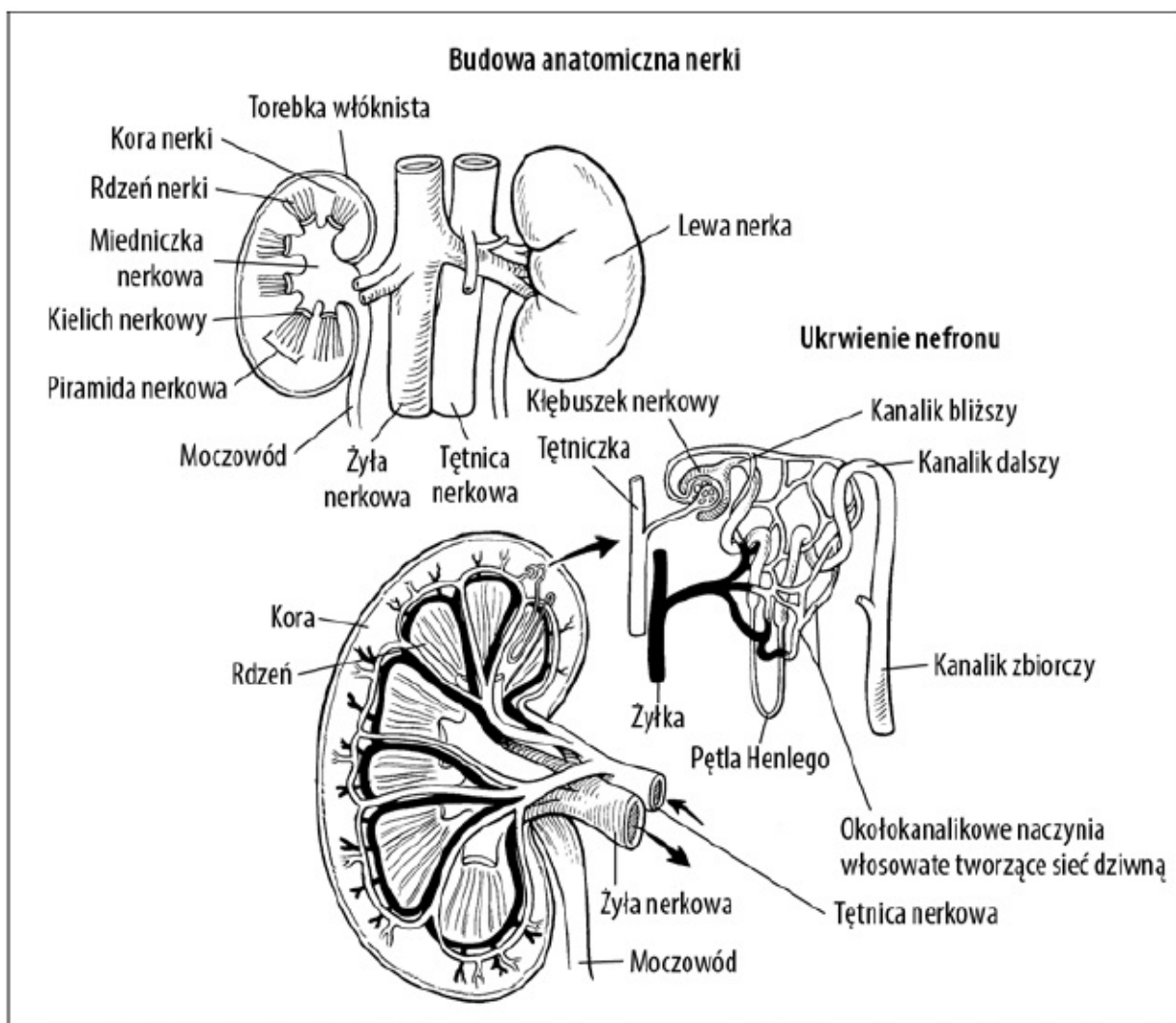
Jak widać, każda nerka posiada trzy wyraźnie różniące się obszary:

- korę nerki, czyli zewnętrzną warstwę,
- rdzeń nerki, stanowiący środkową warstwę,
- miedniczkę nerkową przechodzącą w moczowód.



Każda nerka zawiera ponad milion **nefronów**, mikroskopijnych kanalików produkujących mocz. Nefrony łączą się ze zbiorczym przewodem, z którego mocz jest odprowadzany do miedniczki nerkowej. Stamtąd usuwany płyn przepływa **moczowodem** do **pęcherza moczowego**.

Mocz bez przerwy napływa moczowodem do pęcherza moczowego. Maksymalna pojemność pęcherza wynosi około pół litra, ale konieczność oddania moczu pojawia się już przy jednej trzeciej tej wartości. Wypełnienie pęcherza moczowego w dwóch trzecich prowadzi do bardzo nieprzyjemnych doznań.



Rysunek 16.2. Budowa nerki i nefronu

Problemy z oddawaniem moczu

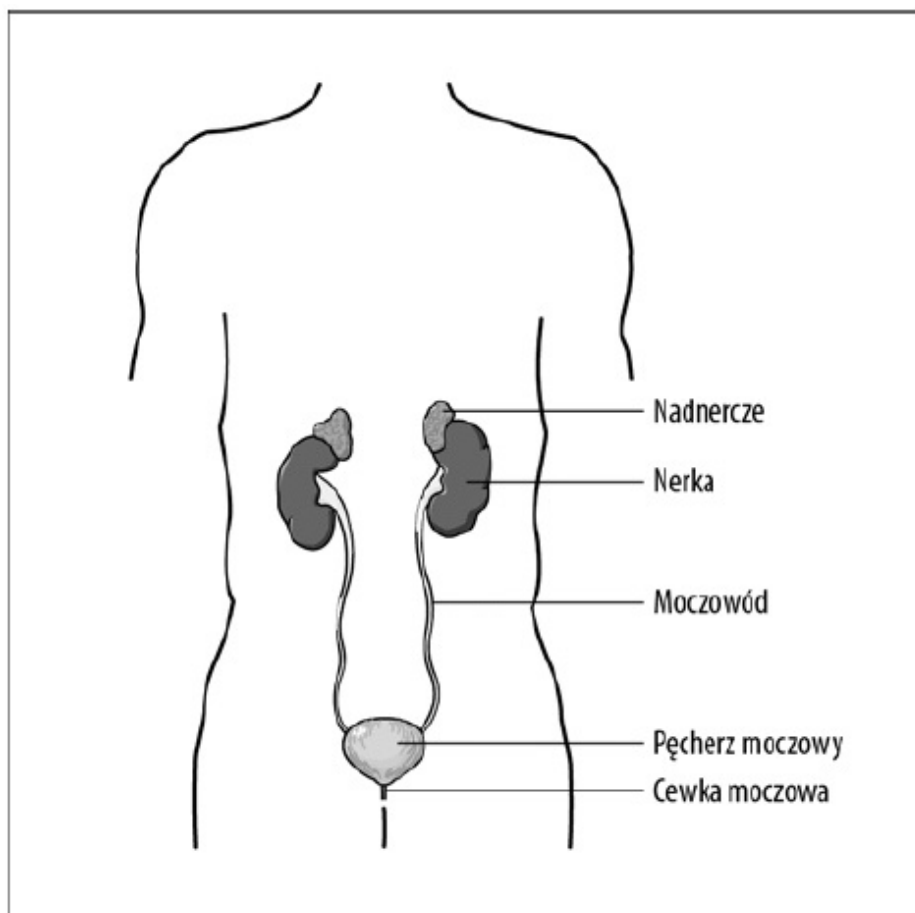
Nietrzymanie moczu, czyli niezdolność do magazynowania moczu w pęcherzu moczowym często staje się kłopotliwą dolegliwością u osób w podeszłym wieku. Człowiek coraz mocniej i coraz częściej czuje potrzebę oddania moczu, a czasami mocz sam opuszcza pęcherz bez udziału woli. Problem ten spotyka częściej kobiety z powodu naprężeń oddziałujących na zwieracze pęcherza moczowego w czasie ciąży i porodu. Mężczyźni jednak mają dodatkowy problem w postaci przerostu prostaty.

Prostata (gruczoł krokowy) znajduje się tuż poniżej pęcherza moczowego i otacza cewkę moczową.

Jej zadaniem jest produkcja płynu, w którym pływają plemniki. W sytuacji przerostu gruczołu krokowego (co zdarza się powyżej 50. roku życia) zaczyna on ścisnąć cewkę moczową, w wyniku czego następuje cofanie się płynu do pęcherza i pojawia się uczucie palącego bólu podczas oddawania moczu.

Skrajne przypadki przerostu prostaty powodują cofanie się moczu aż do nerek, co może spowodować ich uszkodzenie. Wraz z wiekiem liczba **nefronów** (mikroskopijnych kanalików wytwarzających mocz) maleje, a także cała nerka się kurczy, co może wywoływać upośledzenie jej działania i poważne dolegliwości u starszych osób.

Mocz opuszcza organizm przez **cewkę moczową** (rysunek 16.3) — przewód znajdujący się u spodu pęcherza moczowego, mający ujście do środowiska zewnętrznego. Oddawanie moczu jest kontrolowane przez zwieracze cewki moczowej. Aby móc tego dokonać, mięśnie te rozluźniają się, co powoduje otwarcie światła cewki moczowej i wypuszczenie zbędnego płynu.



Rysunek 16.3. Układ moczowy

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Przypisy:

[1] Jest to jednak niezalecane i zdecydowanie lepiej starannie przeżuć każdy kęs — *przyp. red.*

[2] Arginina i histydyna są zaliczane do **aminokwasów względnie egzogennych** — dorosły organizm produkuje je w wystarczającej ilości, natomiast należy dostarczać ich dodatkowy zapas rozwijającym się dzieciom i młodzieży — *przyp. tłum.*

[3] Proces jest bardziej złożony: blaszka miażdżycowa rozwija się w miejscu uszkodzenia śródbłonna naczynia i jest związana z rozwijającym się stanem zapalnym — *przyp. red.*

Rozdział 17.

Szybka kontra — układ odpornościowy

.....

W tym rozdziale:

- ▶ nauczysz się odróżniać pożyteczne drobnoustroje od szkodliwych;
 - ▶ poznasz elementy składowe wrodzonej i nabytej odporności;
 - ▶ dowiesz się, w jaki sposób wspierać układ immunologiczny;
 - ▶ zrozumiesz wpływ wieku na działanie układu odpornościowego.
-

Twój organizm w każdej chwili ma kontakt z bakteriami i wirusami, z których niektóre mogą wywoływać bardzo groźne choroby (dla równowagi niektóre drobnoustroje wpływają niezwykle korzystnie na zdrowie). Szkodliwość tych potencjalnych patogenów w olbrzymiej mierze zależy od skomplikowanych procesów występujących pomiędzy armiami mikroorganizmów a Twoimi mechanizmami obronnymi. Wychodzisz zwycięsko z przeważającej liczby „potyczek” dzięki połączonym siłom **odporności wrodzonej (nieswoistej)**; układowi odpornościowemu posiadanemu przez każdego człowieka w momencie przyjścia na świat) i **nabytej (swoistej)**; części układu odpornościowego rozwijającej się wraz z natrafianiem na nowe gatunki mikroorganizmów).

W tym rozdziale opisujemy narządy i komórki biorące czynny udział w obronie przed drobnoustrojami oraz sugerujemy rozwiązania usprawniające działanie układu odpornościowego w czasie infekcji. Przyjrzymy się również

zmianom zachodzącym w układzie immunologicznym w czasie starzenia się.

Mikrobiologiczne spotkania najlepszego i najgorszego rodzaju

Drobnoustroje (**mikroorganizmy**; bakterie, ale i niezaliczane do świata istot żywych wirusy) przebywają dosłownie na każdej powierzchni. Znaleźć je można w powietrzu, w wodzie, w glebie — a nawet w Twoim ciele. Jak można więc rozpoznać, który mikroorganizm jest dobry, a który zły? Już za chwilę rozwiążemy tę zagadkę.

Dobre bakterie wzmacniają kondycję

Bakterie żyjące na Twojej powierzchni oraz wewnątrz organizmu stanowią Twoją **mikroflorę bakteryjną**, która odgrywa ważną rolę w utrzymaniu dobrego stanu zdrowia, w dużej mierze dlatego, że zapobiega infekcjom pochodzącym od bakterii chorobotwórczych, zwanych **patogenami**.



Mikroflora bakteryjna jest przydatna, ponieważ składające się na nią organizmy:

- wspomagają procesy trawienia oraz krzepnięcia krwi poprzez produkcję witaminy K (nie znajdziesz jej w jedzeniu, wytwarzają ją jedynie bakterie znajdujące się w przewodzie pokarmowym — możemy więc uznać witaminę K za opłatę czynszową za zamieszkiwanie w jelitach);
- pilnują swojego miejsca i związków odżywczych, przez co patogeny nie mogą zamieszkać w Twoim organizmie niezaproszone;

- wytwarzają związki chemiczne zwane **bakteriocynami**, które hamują rozwój innych drobnoustrojów.

Złe bakterie — szkodliwe dla zdrowia

Pewne gatunki bakterii naprawdę zasługują na złą opinię, jaką sobie wyrobiły przez setki lat. Mamy na myśli oczywiście patogeny, czyli bakterie chorobotwórcze.

Aby wywołać chorobę, bakterie muszą być zdolne do trzech czynności. Są to:

- ***Przedostanie się do wnętrza organizmu i skolonizowanie go.*** Złe bakterie mogą dostać się do organizmu, gdy oddychasz, jesz albo pijesz. Niestraszna jest im również wędrówka przez otwarte rany lub w czasie stosunku seksualnego. Jednym z patogenów owianych złą sławą jest pałeczka dżumy (*Yersinia pestis*), bakteria odpowiedzialna za czarną śmierć — epidemię dżumy dymieniczej, która zebrała w XIII wieku krwawe żniwo w postaci dwóch trzecich populacji Europy. Patogen ten w normalnych warunkach żyje i rozmnaża się w organizmach gryzoni, jeśli jednak przebywają one w pobliżu ludzi, bakterie mogą zostać przeniesione na człowieka poprzez pchły.

- ***Pokonanie mechanizmów obronnych.*** Twój układ odpornościowy jest naprawdę skuteczny, ale niektóre bakterie nauczyły się go oszukiwać. Z kolei pewne gatunki wykorzystują chwile jego osłabienia. Na przykład dwoinka zapalenia płuc (*Streptococcus pneumoniae*) żyje w śluzówce gardła zdrowych osób. Przez większość czasu drobnoustroje te są bardzo grzeczne i po prostu sobie mieszkają w ciepłych, mrocznych szczelinach Twojego gardła. Jednak jeśli gospodarz przeziębí się lub zachoruje na grypę, diabeł

wstępuje w dwoinki. Ogarnia je nagle żądza władzy i zaczynają rozmnażać się jak szalone, co może prowadzić do zapalenia zatok, ucha, a nawet płuc.

- **Uszkodzenie ciała.** Patogeny produkują enzymy i toksyny niszczące tkanki Twojego organizmu. Jeśli na przykład pożywienie zostanie przygotowane w niewłaściwy sposób, toksyny bakteryjne staną się jego tajnym składnikiem. Doskonałym przykładem jest botulizm, czyli zatrucie jadem kiełbasianym. Choroba ta najczęściej występuje w wyniku niewłaściwego puszkowania przetworów mięsnych, często również można się zatruć, spożywając mięso wystawione zbyt długo na promienie słoneczne. Co prawda w wyniku sterylizacji laseczka jadu kiełbasianego (*Clostridium botulinum*) ginie, ale wytworzona przez nią toksyna pozostaje w pokarmie. Sprawcą choroby są w tym przypadku nie tyle drobnoustroje, co substancje chemiczne.

Wirusy — zło wcielone

Wirusy są korsarzami mikroświata. Ich główną część stanowi niewielka cząsteczka zawierająca informacje genetyczne, która przejmując kontrolę nad komórką i zmusza ją do produkowania kolejnych wirusów. Znacznie się różnią budową od bakterii, co bynajmniej nie sprawia, że są mniej niebezpieczne.



Wirusy atakują komórki w następujący sposób (zostało to zwizualizowane na rysunku 17.1):

1. Wirus przyłącza swoje białka do receptorów komórki.

Zasada działania przypomina mechanizm zamka i klucza. Jeżeli klucz nie pasuje, nie otworzysz drzwi. Na rysunku 17.1 (etap 2.) wirus HIV łączy

się z receptorem CD4 występującym na powierzchni specyficznych krwinek białych.

2. Wirus wstrzykuje kwas nukleinowy do wnętrza komórki i przejmuje nad nią kontrolę.

Materiał genetyczny wirusa przeprogramowuje komórkę, która staje się fabryką wirusów. Wszelkie procesy komórkowe zostają przekierowane tylko na ten jeden cel — wytwarzanie kwasów nukleinowych i białkowych otoczek (**kapsydów**) wirusa. Komórka zużywa na to własne składniki budulcowe i paliwo (ATP). Na rysunku 17.1 (etap 3.) widzimy materiał genetyczny wirusa HIV dostający się do wnętrza komórki, a w etapie 6. komórka ta wytwarza kolejne kopie elementów budulcowych wirusa.

3. Składniki wirusa zostają złożone i tworzą dojrzały wirion.

Z powodu postępującej replikacji wirusa zaczyna brakować miejsca w komórce, która w pewnym momencie po prostu pęka, uwalniając patogeny do przestrzeni międzykomórkowej, skąd mogą siać spustoszenie w innych komórkach. Liczba uwalnianych wirusów z komórki waha się od dziesięciu do dziesięciu tysięcy, w zależności od rodzaju patogenu. Na rysunku 17.1 (etap 8.) zostały ukazane niedojrzałe **wiriony** (pojedyncze „osobniki” wirusa) opuszczające komórkę ludzkiego ciała.



Wirusy nie są zdolne do replikacji poza komórkami gospodarza, dlatego są nazywane **obligatoryjnymi pasożytami wewnątrzkomórkowymi** (**obligatoryjnymi**, ponieważ bezwzględnie muszą znajdować się we

wnętrzu komórki; **pasożytami**, gdyż wykorzystują zasoby gospodarza do swych własnych celów i po jego całkowitej eksploatacji niszczą go; termin „**wewnątrzkomórkowe**” mówi sam za siebie).

1. Niezwiązany wirion.

2. Wiązanie i fuzja. Wirus łączy się z receptorem CD4 i koreceptorem komórki gospodarza, po czym następuje fuzja błony komórkowej z otoczką wirusa.

3. Penetracja. Kapsyd wirusa przebija się do wnętrza komórki i uwalnia zawartość do cytoplazmy.

4. Odwrotna transkrypcja. Enzym odwrotna transkryptaza przepisuje pojedyncze nici wirusowego RNA na podwójną helisę DNA, tworząc wirusowe DNA.

5. Rekombinacja. Enzym integraza dołącza cząsteczkę wirusowego DNA do nici DNA gospodarza.

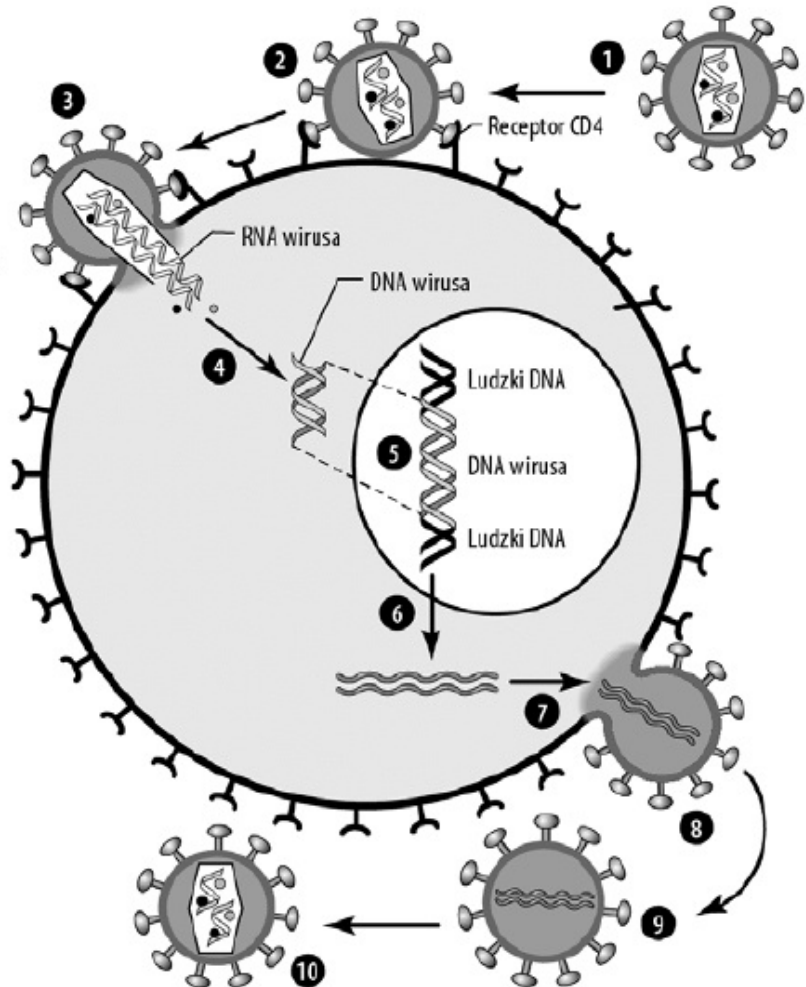
6. Transkrypcja. Wirusowy fragment DNA ulega transkrypcji, co powoduje wytwarzanie długich łańcuchów wirusowego białka.

7. Składanie. Elementy budulcowe wirusa są ze sobą wiązane.

8. Pączkowanie. Uwalnianie niedojrzałego wirusa następuje poprzez wypychanie białek wirusowych z komórki gospodarza i owijanie ich w otoczkę białkową. Wirusowy enzym proteaza rozpoczyna rozcinanie łańcuchów białkowych.

9. Uwalnianie. Niedojrzały wirion opuszcza komórkę gospodarza.

10. Dojrzewanie. Proteaza kończy rozcinanie łańcuchów białkowych, które następnie odpowiednio się ze sobą łączą, kończąc proces tworzenia wirusa.



Rysunek 17.1. Mechanizm przejmowania kontroli nad komórką przez wirusa

**Stworzona, by Cię chronić —
odporność wrodzona**



Zazwyczaj nie poświęcasz najmniejszej myśli drobnoustrojom wędrującym po świecie, ponieważ a) nie widać ich gołym okiem i b) chroni Cię przed nimi wrodzona odporność. **Odporność wrodzona (nieswoista)** stanowi naturalne zabezpieczenie ludzkiego organizmu z racji swojej konstrukcji. Mechanizmy wrodzonej odporności niczym mury fortecy odpierają wszelkie wraże ataki (oznacza to, że nie jest ona nakierowana na określony rodzaj patogenów).

Drobnoustroje dają o sobie znać dopiero po pokonaniu odporności nieswoistej. Gdy tak się dzieje, na pomoc przychodzi odporność nabyta (opisana dokładniej w ustępie „Nauka nie poszła w las — odporność nabyta”).

Odporność wrodzona radzi sobie z napotykanymi patogenami na kilka sposobów:

- **Bariery fizyczne.** Skóra oraz błony śluzowe stanowią bariery blokujące dostęp do tkanek i organów. Można je porównać do murów otaczających zamek.
- **Bariery chemiczne.** Kwaśne środowisko żołądka i powierzchni skóry jest barierą chemiczną uniemożliwiającą rozwój patogenów. Innymi słowy, wewnątrz żołądka przypomina rozgrzany olej spuszcany przez obrońców zamku na głowy napastników.
- **Komórki dendrytyczne.** Wędrują one po organizmie w poszukiwaniu mikroorganizmów i ostrzegają układ odpornościowy o potencjalnych infekcjach. I gdy tylko coś zauważą, to podobnie jak strażnicy patrolujący blanki pędzą do głównodowodzącego armią obrońców (w tym przypadku do limfocytu T) i opisują najeźdźców.
- **Fagocyty.** Jest to odmiana białych krwinek, które wyszukują i niszczą wszelkie drobnoustroje, którym

udało się wnikać do wnętrza organizmu. Komórki te otaczają wrogów i pożerają ich żywcem. Fagocyty zachowują się niczym doborowi szermierze.

- **Stan zapalny.** Seria sygnałów ostrzegawczych zwołujących białe krwinki do miejsca infekcji oraz wspierających ich unieszkodliwienie. Odpowiednikiem stanu zapalnego w naszym przykładzie z zamkiem są okrzyki bojowe obrońców.

- **Filtry.** Śluz wyściełający jamę nosową i gardło, a także włosy w nosie pełnią rolę filtrów wyłapujących mikroorganizmy, przez co zapobiegają ich dalszemu wnikanu do wnętrza organizmu. Nie jest to jednak jedyny system filtracji, jaki można napotkać we wnętrzu ciała. Układ limfatyczny sprawdza wszystkie płyny krążące w organizmie pod kątem obecności drobnoustrojów i wyłapuje je w razie potrzeby. Wszystkie te filtry zachowują się jak fosa otaczająca zamek i spowalniająca wrogów.

W kolejnych ustępach przyjrzymy się uważniej wymienionym mechanizmom wrodzonej odporności.

Twoje najlepsze tamy — skóra i błona śluzowa

Zarówno skóra, jak i błona śluzowa pełnią bardzo ważną funkcję: stanowią pierwszą linię obrony przed patogenami. Obydwa rodzaje pokryw zaliczane są do **nabłonków**, czyli ściśle upakowanych, wielowarstwowych tkanek uniemożliwiających prześlizgnięcie się niechcianych mikroorganizmów do wnętrza ciała.

Skóra jest największym narządem w organizmie, ale jej rozmiar i wielowarstwowe upakowanie nie stanowią jedynych właściwości definiujących ją jako dobre zabezpieczenie przed



drobnoustrojami. Spełnia ona swoje zadanie dzięki następującym cechom:

- **Jest sucha.** Mikroorganizmy wymagają wody do rozwoju, dlatego wiele istot nie może przetrwać na suchej skórze.
- **Łuszczy się.** Komórki naskórka są regularnie zrzucane wraz ze znajdującymi się na nich drobnoustrojami.
- **Jest wytrzymała.** Komórki skóry zawierają białko wzmacniające — **keratynę** — to samo, które odpowiada za właściwości mechaniczne włosów i paznokci.
- **Ma kwaśny charakter.** Kwasy tłuszczowe zawarte w **łoju** (tłustej substancji wydzielanej przez gruczoły skórne) nadają skórze lekko kwaśny odczyn, uniemożliwiający rozwój różnych mikroorganizmów.

Odpowiednikiem skóry wyściełającym i chroniącym wnętrze organizmu jest błona śluzowa (śluzówka). Otacza ona światła przewodów oddechowego, pokarmowego, moczowego i rozrodczego. Błony śluzowe nie są tak wytrzymałe jak skóra, posiadają jednak pewne specyficzne własności.

- **Są lepkie.** Osiadające na błonie drobnoustroje zostają uwięzione w śluzie.
- **Posiadają zdolność do usuwania niepożądanych obiektów.** Odpowiedzialne jest za to zjawisko **mechanicznego usuwania** mikroorganizmów. Na przykład łzy oczyszczają powierzchnię oczu, mocz przeczyszcza drogi moczowe, a różne substancje są przesuwane w jelitach dzięki ruchom perystaltycznym.



Światło dróg oddechowych pokrywa **nabłonek rzęskowy**, po którym śluz transportowany jest w górę gardła niczym pasażerowie w windzie. Śluz dociera do miejsca, w którym możesz go odkasłać, co stanowi jeden z mechanizmów obronnych dolnych dróg oddechowych (więcej informacji na temat rzęsek znajdziesz w rozdziale 4.).

Malutkie, lecz potężne cząsteczki obronne

Płyny krążące w Twoim ciele zawierają różnorodne substancje chemiczne zapobiegające rozwojowi infekcji. Ci mali, niewidzialni obrońcy wiążą się z organizmem mikroba, wyniszczają go i generalnie starają się jak najbardziej utrudnić mu życie wewnątrz Ciebie.

Omawiane związki chemiczne znajdują się we łzach, w ślinie, śluzie, krwi i płynach tkankowych. Oto kilka z nich:

- **Lizozym** to białko niszczące jeden ze składników budulcowych bakteryjnej ściany komórkowej (grecki wyraz *lysis* oznacza „rozpuszczanie”, a człon *zym* pochodzi od słowa „enzym”, zatem „**lizozym**” jest enzymem rozpuszczającym bakterie). Jest to jedna z najpowszechniej występujących cząsteczek obronnych w Twoim ciele; zasadniczo bakterie osiadające na Twoim ciele mają pierwszy kontakt właśnie z lizozymem.
- **Transferryna** zawarta we krwi wiąże się żelazem, przez co bakterie nie mogą używać go do własnych celów.
- **Białka dopełniacza** znajdują się we krwi i w płynach tkankowych. Wiążą się z mikroorganizmami, które zostają w ten sposób oznaczone do zniszczenia.

- **Interferony** są białkami uwalnianymi przez komórki zainfekowane wirusami. Informują wszystkie sąsiadujące komórki o zagrożeniu. Komórki, które dostaną ostrzeżenie, zaczynają wytwarzać białka wspomagające obronę przed wirusem.

Poszukiwacze drobnoustrojów — komórki dendrytyczne

W każdej chwili Twój organizm przeczesują krwinki białe zwane **komórkami dendrytycznymi**. Szukają one potencjalnie niebezpiecznych mikroorganizmów. Wykorzystują w tym celu specjalne receptory rozpoznające elementy budowy komórki patogenu. Dzięki tym **receptorom TLR** (ang. *toll-like receptor*) komórki dendrytyczne bardzo skutecznie rozpoznają obce komórki. Częsteczki pochodzące od wirusów i bakterii wiążą się z receptorami TLR, co powoduje aktywację komórki dendrytycznej.



Rola komórek dendrytycznych w zwalczaniu infekcji jest dwójaka.

- **Uwalniają cząsteczki sygnałowe zwane cytokinami.** Cytokiny rozprzestrzeniają się po całym organizmie i wiążą się z innymi komórkami układu immunologicznego (grecki wyraz *kytos* oznacza „komórka, pojemnik”, a *kinesis* — „ruch”, więc w wolnym tłumaczeniu „**cytokiny**” są substancjami pobudzającymi komórki). Informują one układ odpornościowy o wykryciu ciał obcych i pomagają aktywować komórki zwalczające infekcję.
- **Rozkładają patogeny, pozyskując z nich niewielkie fragmenty zwane antygenami, a następnie prezentują je limfocytom T.** Limfocyty T odgrywają niebagatelną rolę w

odpowiedzi immunologicznej, ponieważ rozpoznają one obce antygeny i przesyłają do układu odpornościowego sygnały informujące o wyborze odpowiednich komórek do walki.

Duzi i mali pożeracze najeźdźców — fagocyty

Fagocyty wędrują po całym organizmie w poszukiwaniu drobnoustrojów. W przypadku znalezienia mikroorganizmy zostają po prostu pożarte (grecki wyraz *phágos* oznacza „żarłok”, a jak już wiemy, *kytos* to komórka, zatem „fagocyt” jest „pożeraczem komórek”). Podobnie jak komórki dendrytyczne (omówione w poprzednim ustępie) fagocyty aktywują limfocyty T poprzez zaprezentowanie antygenów pochodzących ze zniszczonych patogenów.

Istnieją dwa rodzaje fagocytów.

- **Neutrofile**. Rozmnażają się szybko w czasie infekcji i jako pierwsze docierają do miejsca ogarniętego stanem zapalnym.
- **Makrofagi**. Fagocyty tego typu przebywają w określonych tkankach (grecki przedrostek *macrós* oznacza „wielki”, a *phágos* — „żarłok”, co powoduje, że **makrofag** jest „dużym pożeraczem”).

Ograniczanie strat — stan zapalny

Gdy drobnoustrojom w końcu uda się wnikać do organizmu, stara się on jak najszybciej opanować sytuację. Zarówno patogeny, jak i uszkodzone komórki wywołują kaskadę reakcji prowadzących do wystąpienia **stanu zapalnego** — lokalnej odpowiedzi na uszkodzenie tkanek, charakteryzującej się zaczerwienieniem, bólem, podwyższoną temperaturą i opuchlizną. W takich warunkach

następuje niszczenie mikroorganizmów, ograniczanie rozprzestrzeniania się infekcji oraz naprawa uszkodzonych komórek.

Podczas stanu zapalnego uwalniane są pewne cząsteczki, takie jak histamina, wywołujące rozszerzanie się i zwiększanie przepuszczalności naczyń krwionośnych.

- ***Dzięki rozszerzaniu się naczyń krwionośnych do zainfekowanego obszaru dociera więcej krwi.*** Wraz z nią dostarczane są czynniki krzepnięcia, które pomagają tworzyć skrzepy ograniczające rozprzestrzenianie się patogenów. Zostaje również przetransportowana większa liczba białych krwinek, w tym fagocytów, zwalczających źródło infekcji. Z powodu rozszerzenia się naczyń krwionośnych i zwiększonego przepływu krwi ognisko zapalne staje się rozgrzane i zaczerwienione.

- ***Zwiększenie przepuszczalności naczyń krwionośnych oznacza rozluźnienie struktury ścian żylnych i tętniczych.*** Organizm ułatwia w ten sposób substancjom chemicznym i komórkom przedostawanie się do tkanek objętych stanem zapalnym. Fagocyty przeciskają się przez szczeliny w ścianie naczyń krwionośnych, pełzną w kierunku infekcji i zaczynają pożerać drobnoustroje. Płyn wyciekający do tkanek powoduje wystąpienie opuchlizny.

Filtr płynów — układ limfatyczny



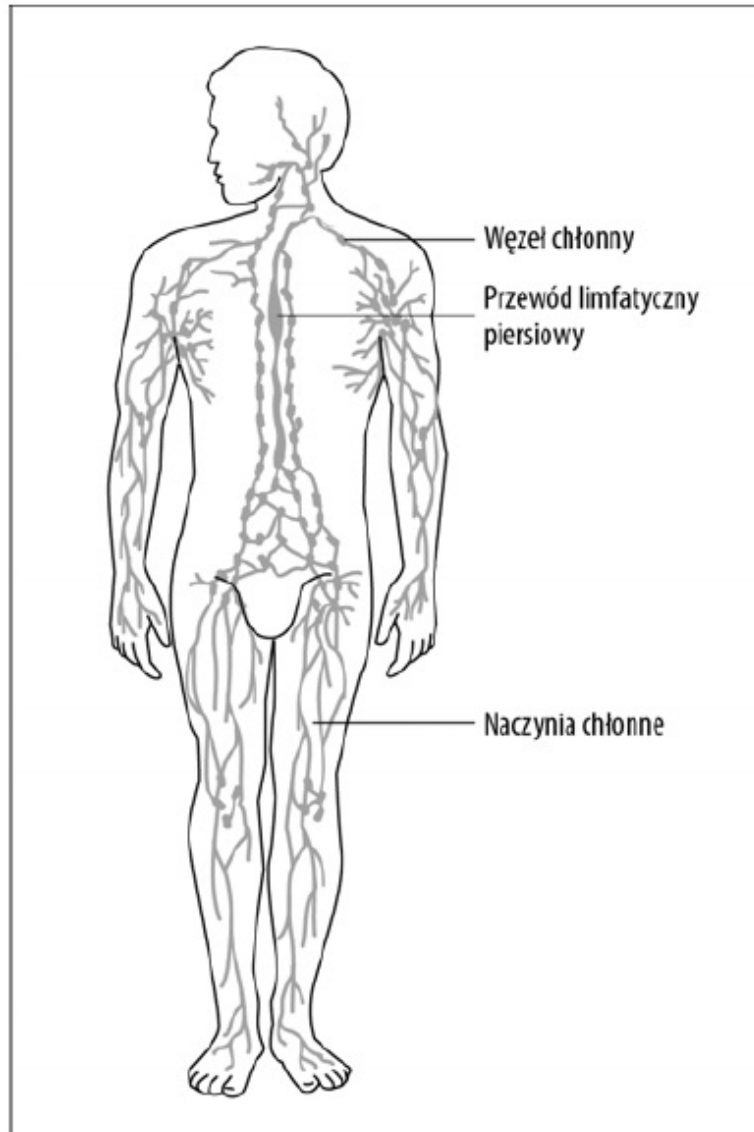
Krew bez przerwy dostarcza do wszystkich tkanek takie składniki jak pożywienie. Podczas tego procesu część osocza przesącza się do przestrzeni międzykomórkowej. Później płyn ten jako limfa dostaje się do naczyń chłonnych i następnie do krwi żyłnej. Płyn powracający z tkanek do krwioobiegu musi zostać oczyszczony

przed dostaniem się do światła naczyń krwionośnych. Zadanie sprawdzania płynów ustrojowych pod kątem obecności ciał obcych (np. drobnoustrojów) i ich usuwania spada na **układ limfatyczny**, ukazany na rysunku 17.2.

Twój układ limfatyczny składa się z dwóch podstawowych składników.

- **Naczynia limfatyczne (chłonne)**. W sieci tej krąży substancja zwana **limfą**, która dociera do **węzłów chłonnych** (narządów układu limfatycznego), a następnie wraca do układu krążenia limfy (**Uwaga**: Naczynia limfatyczne tworzą układ krążenia, który jest podobny, ale nie tożsamy z układem krwionośnym). Płyn z tkanek przesącza się do naczyń limfatycznych, a następnie płynie w stronę serca (zawsze w jednym kierunku). Limfa przechodząca przez węzły chłonne zostaje oczyszczona przez specjalne białka i krwinki białe z wszelkich ciał obcych, w tym również mikroorganizmów. Oczyszczony płyn zostaje wpuszczony do krwiobiegu w pobliżu serca.

- **Narządy limfatyczne**. Należą do nich węzły limfatyczne (chłonne), śledziona, migdałki oraz grasica. Znajdują się w nich liczne krwinki białe pomagające zwalczać infekcje poprzez niszczenie ciał obcych. Elementy tkanki limfatycznej są również rozmieszczone w różnych narządach ciała.



Rysunek 17.2. Układ limfatyczny

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins



Śledziona różni się od pozostałych narządów limfatycznych, ponieważ jest połączona z układem krwionośnym i filtruje krew, a nie limfę. Zaliczamy ją jednak do układu limfatycznego, ponieważ zawiera mnóstwo białych krwinek i jej zadaniem jest usuwanie niepożądanych substancji i organizmów.

Nauka nie poszła w las — odporność nabyta

Twoje wrodzone mechanizmy obronne są niesamowicie skuteczne i zapobiegają większości infekcji bakteryjnych, na jakie każde z nas jest narażone. Od czasu do czasu jednak trafiają się drobnoustroje zdolne do przełamania wrodzonej odporności i wniknięcia do organizmu. W takim przypadku sprawy w swoje ręce przejmują żołnierze będący częścią odporności nabytej.

Odporność nabyta (swoista) zawdzięcza swoją nazwę zdolności do adaptacji i modyfikacji nabywanej w ciągu życia, gdy Twój organizm narażony jest na kontakt z nowymi gatunkami patogenów. Jeśli na przykład za infekcję odpowiedzialny jest szczep *Escherichia coli*, to zostaną aktywowane jedynie te białe krwinki, które rozpoznają ten gatunek bakterii. Gdy z kolei zostaniesz zaatakowany przez gronkowca złocistego, do walki wyruszą specjalnie ukierunkowane komórki, rozpoznające określony patogen poprzez cząsteczki umieszczone na jego powierzchni, które Twoje białe krwinki potrafią „odczytać”. Innymi słowy, mechanizmy odporności nabytej polegają na wysyłaniu wyspecjalizowanych krwinek białych, dokładnie dostosowanych do walki z danym antygenem. Oznacza to, że w odporności swoistej dane patogeny zostają rozpoznawane dzięki temu, że wcześniej układ immunologiczny się z nimi spotkał i zdołał je „zapamiętać”.

Jedną z najbardziej zdumiewających cech odporności nabytej jest zdolność do zapamiętywania raz napotkanego patogenu. Dzięki tej **pamięci immunologicznej** układ odpornościowy znacznie lepiej sobie radzi z drobnoustrojami, z którymi już wcześniej walczył.

Pewne komórki układu odpornościowego, zwane



limfocytami (komórkami) pamięci, pozostają częściowo aktywne po pierwszym kontakcie z danym patogenem. Wraz z komórkami potomnymi przebywają w takim stanie jeszcze długi czas po infekcji. W przypadku ponownego pojawienia się danego typu drobnoustroju komórki pamięci mnożą się bardzo szybko i niszczą go tak skutecznie, że nawet nie wiesz o niedoszłej infekcji. To właśnie dzięki nim niektóre choroby przechodzisz tylko raz, gdyż później komórki te chronią Cię przed kolejnymi infekcjami tego samego rodzaju.

W kolejnych ustępach przyjrzymy się poszczególnym składnikom odporności swoistej.

Głównodowodzący — limfocyty T



Limfocytami T nazywamy białe krwinki koordynujące całą swoistą odpowiedź immunologiczną organizmu (ich nazwa związana jest z miejscem ich dojrzewania — **grasicą**, z łac. *thymus* — jednym z narządów limfatycznych). Limfocyty T otrzymują sygnały wysyłane przez komórki stanowiące część odporności wrodzonej, między innymi komórki dendrytyczne i fagocyty, a następnie przesyłają je do mikroskopijnych żołnierzy układu immunologicznego: limfocytów B i limfocytów T cytotoksycznych (są one omówione w dalszej części rozdziału).

Limfocyty T są również nazywane **komórkami CD4**, ponieważ mają wbudowane w błonę komórkową białko receptorowe CD4.

Komórki dendrytyczne i fagocyty (obydwa typy są uznawane za **komórki prezentujące antygen**) aktywują limfocyty T

poprzez ukazanie antygenów pochodzących z napotkanych patogenów. Przebieg tego procesu wygląda następująco:

1. Komórki prezentujące antygen przyłączają do swoich białek powierzchniowych fragmenty antygeny zdobyte na pokonanych drobnoustrojach.

Antygeny związane z błoną komórkową komórek prezentujących antygen zostają przetransportowane do limfocytów T. Można w skrócie powiedzieć, że wspomniane komórki biegną do limfocytów T i prezentując antygen, wołają „Zobacz, co znalazłyśmy!”.

2. Komórki prezentujące antygen uwalniają również cytokiny oznaczające wykrycie obcego antygeny.

W ten sposób komórki te informują limfocyty T, że „to może być groźne!”.

3. Limfocyty T łączą się z prezentowanym antygenem za pomocą tzw. receptora limfocytów T.

Jedynie limfocyty T posiadające receptor o odpowiednim kształcie mogą związać się z danym antygenem, dzięki czemu zostają aktywowane jedynie komórki zdolne do walki z określonym patogenem.

Limfocyty T otrzymują również sygnały generowane przez same komórki prezentujące antygen. Receptory na powierzchni komórki CD4 wychwytyują odpowiednie związki chemiczne, tym samym pełnią funkcję „uszu” nasłuchujących alarmu wzbudzanego przez fagocyty i komórki dendrytyczne.

Po przyłączeniu antygeny i wychwyceniu sygnałów chemicznych limfocyty T zostają uaktywnione i rozpoczynają wysyłanie sygnałów do pozostałych komórek odporności nabytej.

Maszerujący żołnierze — limfocyty B i przeciwciała

Limfocyty B to białe krwinki uaktywniające się pod wpływem wykrycia obcych antygenów lub otrzymania sygnału od limfocytów T. Uaktywnione limfocyty B różnicują się na dwie frakcje komórek: komórki plazmatyczne (plazmocyty) oraz komórki pamięci (te drugie zostały już wspomniane na początku podrozdziału „Nauka nie poszła w las — odporność nabyta”).



Plazmocyty wytwarzają **przeciwciała (immunoglobuliny)** — białka obronne wiążące się z określonymi antygenami. Są one uwalniane do krwiobiegu i krążą po całym organizmie. Wszelkie obiekty oznakowane przeciwciałami zostają skazane na zagładę ze strony układu odpornościowego.

Poniżej wyjaśniamy, dlaczego przeciwciała ułatwiają zwalczanie infekcji.

- Fagocyty wiążą się z przeciwciałami, dlatego wszelkie patogeny połączone z immunoglobulinami stanowią łatwiejszy cel dla tych komórek żernych.
- Przeciwciała „przyklejają” się do patogenów i sklejają je ze sobą, dzięki czemu fagocyty skuteczniej pożerają ciała obce, gdyż nie muszą ich ścigać i mogą brać większe „kęsy”.
- Immunoglobuliny wiążą się z powierzchnią wirusów i uniemożliwiają im wnikanie do wnętrza komórek.

Każdy plazmocytyt produkuje przeciwciała pasujące do określonego antygeny, zatem możemy uznać te komórki za łucznyków układu immunologicznego. Każdy łucznyk jest trenowany do tego, aby trafiać jeden wyznaczony cel. Po wykryciu infekcji limfocyty T wywołują jedynie tych

łuczników, którzy są przygotowani do walki z danym patogenem.



Każda swoista odpowiedź immunologiczna jest dostosowana do walki z rozpoznanym patogenem. Ta specyficzność wynika z faktu, że limfocyty B (oraz T) zostają uaktywnione jedynie w przypadku rozpoznania obcego antygeny. Zatem z populacji tysięcy różnorodnych limfocytów T i B jedynie jej niewielki ułamek reaguje na określony typ drobnoustrojów.

Komórkowi zabójcy — limfocyty T cytotoksyczne



Jeżeli mikroorganizmy starają się ukryć wewnątrz komórek przed przeciwciałami, przychodzi czas na **cytotoksyczne limfocyty T**. Są to krwinki białe wyspecjalizowane w wykrywaniu zainfekowanych komórek gospodarza. Po znalezieniu obcych antygenów na powierzchni komórki gospodarza limfocyty te zmuszają ją do popełnienia samobójstwa — jest to konieczna ofiara pozwalająca na zniszczenie ukrytych drobnoustrojów.

Cytotoksyczne limfocyty T bywają również nazywane **komórkami CD8**, ponieważ zawierają na swojej powierzchni białko receptorowe CD8.

Jak wesprzeć układ odpornościowy?

Pomimo olbrzymich możliwości ludzkiego układu immunologicznego mikroorganizmy wykazują się niesamowitym sprytem i olbrzymią różnorodnością, co

oznacza, że czasami natrafiamy na patogeny zdolne do ominięcia wszystkich Twoich zabezpieczeń. W tym momencie przydają się nauki ścisłe i medyczne. Naukowcy analizują budowę i działanie drobnoustrojów w celu zapobieżenia infekcjom i uszkodzeniom organizmu. Lekarze z kolei poznają anatomię i fizjologię ludzkiego ciała oraz uczą się rozpoznawać objawy towarzyszące różnym chorobom, przez co mogą wybrać odpowiednie narzędzia do zwalczania schorzeń. Badacze i lekarze wspólnie opracowali metody wspomagania układu odpornościowego w razie pojawienia się takiej konieczności. Przyjrzymy się tym metodom w kolejnych ustępach.

Zabijanie bakterii za pomocą antybiotyków



Antybiotykami nazywamy grupę substancji wytwarzanych przez drobnoustroje do zabijania bakterii. Pierwszy, a jednocześnie najślawniejszy antybiotyk, czyli penicylina, jest produkowany przez gatunek pleśni przypominający popularny, zielony nalot wyrastający na czerstwym chlebie. Inne antybiotyki są wytwarzane przez bakterie glebowe.

Antybiotyki niszczą organelle i enzymy występujące jedynie w komórkach bakteryjnych, dlatego mają one niewielki wpływ na organizm człowieka (w rozdziale 4. zostały wymienione różnice pomiędzy komórką ludzką a bakteryjną).

Antybiotyki okazały się na początku tak skuteczne, że ludzie uznali wojnę z drobnoustrojami za wygraną. Coraz bardziej zmniejszano finansowanie badań nad nowymi antybiotykami, gdyż ludzie stwierdzili, że posiadają już wystarczający arsenał środków do walki z mikroorganizmami. Jednak gdy

ludzie świętowali swoje zwycięstwo, bakterie nieprzerwanie ewoluowały i wykształcały mechanizmy uodparniania się przeciw antybiotykowi. Problem jest tym poważniejszy, że geny kodujące białka lekooporności są bez problemów przenoszone między bakteriami, nawet jeśli należą one do różnych gatunków. Dzisiaj ludzkość mierzy się z nowym zagrożeniem mikrobiologicznym: **opornością bakterii na działanie antybiotyków**. Pewnych szczepów bakterii nie można już pokonać jakimkolwiek znanym antybiotykiem.

Problemem spędzającym sen z powiek współczesnym lekarzom jest zjawisko pojawiania się opornych szczepów bakterii z powodu wzmożonego stosowania antybiotyków. Mamy tu do czynienia z klasycznym przypadkiem doboru naturalnego (pojęcie to zostało wyjaśnione w rozdziale 12.). Krótko mówiąc, podczas stosowania antybiotyków pierwsze giną najwrażliwsze komórki bakteryjne, a przeżywają najbardziej odporne na ich działanie. Te odporne gatunki rozmnażają się, tworząc szczepy bardziej odporne na wpływ antybiotyków niż poprzednie pokolenia. Wystarczy powtórzyć ten cykl kilka razy, aby dany szczep bakterii stał się całkowicie odporny na działanie antybiotyków.

Co roku niemal sto tysięcy Amerykanów umiera od infekcji nabytych w szpitalach (zwanych **zakażeniami wewnątrzszpitalnymi**), które są wywoływane przez bakterie odporne na działanie antybiotyków. A to tylko jeden z aspektów większego problemu. Pozornie kontrolowane przez człowieka choroby, takie jak gruźlica czy dżuma dymienicza, znowu „pokazują kły” w rozwijających się krajach.

Ponownie naukowcy wraz z lekarzami łączą siły po to, aby powstrzymać zagrożenie w postaci bakterii opornych na działanie antybiotyków. Badacze wynajdują nowe antybiotyki oraz strategie walki z patogenami, podczas gdy lekarze starają się wypisywać antybiotyki z większą ostrożnością. Poprzez podawanie antybiotyków wyłącznie w sytuacjach naprawdę tego wymagających zostaje spowolniony proces

doboru naturalnego, a antybiotyki przez dłuższy czas mogą być skuteczne.

Wykorzystywanie wirusów do walki z bakteriami chorobotwórczymi

Koncepcja pożytecznego wirusa może wydawać się co najmniej dziwna, ale takie dokładnie są **bakteriofagi** (w skrócie **fagi**), czyli wirusy atakujące wyłącznie komórki bakteryjne.

Wirusy atakujące bakterie zostały pierwotnie odkryte na początku ubiegłego wieku w paryskim Instytucie Pasteura. Kanadyjski mikrobiolog Félix d'Hérelle natrafił na te malutkie istoty w czasie poszukiwania leku na czerwonkę. Obserwował, jak fagi atakują i zupełnie niszczą kolonię znacznie większych bakterii. Logicznym skutkiem było pojawienie się nadziei na wykorzystanie wirusów do zwalczania większości najgroźniejszych chorób bakteryjnych.

Mniej więcej do 1940 roku te malutkie wirusy (są czterdziestokrotnie mniejsze od przeciętnej bakterii) stanowiły cudowny lek na wiele zakażeń bakteryjnych. Później nastąpiła era antybiotyków, przez które te małe stworzenia poszły w niepamięć. Fagi atakują jedynie te bakterie, które im „smakują”, zatem wprowadzenie antybiotyków — mających znacznie szerszy zakres działania — wydawało się znacznie lepszym sposobem na leczenie infekcji.

A jednak pojawienie się szczepów bakterii opornych na działanie antybiotyków (problem poruszony w poprzednim ustępie) spowodowało, że naukowcy i lekarze ponownie spojrzeli przychylniejszym okiem na zalety bakteriofagów. Oto najważniejsze z nich:

- Fagi stanowią jedną z najliczniejszych grup występujących na Ziemi.

- Bakteriofagi są zdolne do przetrwania i rozmnażania się w tym samym środowisku, które stanowi dom dla bakterii. Pływają sobie błogo w ściekach i kryją się w przytulnych zakątkach Twojego organizmu.
- Wirusy te rozmnażają się bardzo szybko. Po wnikięciu w komórkę bakteryjną jest ona zdolna do wytwarzania dwustu wirionów na godzinę. Przy takiej „płodności” niesforne fagi w krótkim czasie rozrywają ścianę komórkową gospodarza. Oznacza to jedno: pożegnanie bakterii ze światem istot żywych. Na tym się jednak nie kończy. Młodziutkie fagi docierają do wszystkich bakterii stojących im na drodze i po kilku chwilach cała kolonia bakteryjna staje się historią.

Naukowcy starają się obecnie rozwiązać różne problemy związane z terapią bakteriofagową, między innymi czas wymagany do odkrycia gatunków wirusów zdolnych do walki z określonym szczepem bakterii. Wielu znawców tematu zaleca ograniczone stosowanie fagów, aby zapobiec rozwojowi oporności bakterii na wirusy. Jednocześnie twierdzą oni, że ten typ terapii może stanowić doskonałą ostatnią deskę ratunku w przypadku, gdy nie pomaga żaden antybiotyk.

Zwalczanie wirusów za pomocą leków przeciwwirusowych

Kontrolowanie wirusów jest jeszcze trudniejsze od pilnowania bakterii. Wirusy nie mają budowy komórkowej i posiadają bardzo mało cząsteczek, które mogłyby stać się celem leków. Ich obserwacja i izolowanie stanowią olbrzymie wyzwanie, poza tym bardzo ciężko je klasyfikować w ujęciu taksonomicznym. Do tego dochodzi jeszcze problem następującej natury: wirusy stają się bardzo zintegrowane z komórką gospodarza, dlatego trudność sprawia zniszczenie patogenu bez jednoczesnego zniszczenia lub uszkodzenia

zainfekowanej komórki. Z tego powodu w wielu przypadkach lekarze ograniczają się do leczenia objawów choroby wirusowej, zamiast jej przyczyny.

Istnieją jednak dwa sposoby pozwalające na walkę z wirusami.

- Można wykorzystywać interferony i inne cytokiny do wzmacniania odpowiedzi immunologicznej organizmu na infekcję wirusową. Obecnie potrafimy wytwarzać laboratoryjnie ludzkie białka w oparciu o inżynierię genetyczną komórek bakteryjnych (więcej informacji na ten temat znajdziesz w rozdziale 9.).
- Do walki z różnymi chorobami wirusowymi (np. grypą, opryszczką czy AIDS) wykorzystywane są specjalne leki atakujące białka wirusowe.



Pojęcie **antybiotyk** dotyczy wyłącznie leków niszczących komórki bakteryjne. Jeżeli masz na myśli substancje zwalczające infekcje wirusowe, korzystaj z terminu **leki przeciwwirusowe**.

Wyprzedzanie infekcji za pomocą szczepionek



Szczepionki, czyli roztwory zawierające fragmenty martwych (unieczynnionych) patogenów, które są wprowadzane do organizmu, zapobiegają infekcjom dzięki wytwarzaniu pamięci immunologicznej. Po wstrzyknięciu szczepionki antygeny pochodzące z drobnoustrojów wnikają do organizmu i są analizowane przez układ odpornościowy. Komórki prezentujące antygen wyłapują te fragmenty i pokazują je limfocytom T. Z kolei komórki te aktywują limfocyty B i cytotoksyczne limfocyty T.

W czasie takiego wzbudzenia nabytej odporności powstają komórki pamięci typu B i T. Zapamiętują one dostarczony antygen i są gotowe do obrony organizmu w przypadku natrafienia na żywe patogeny tego samego rodzaju. Jeżeli Twój organizm naprawdę zostanie zaatakowany, odpowiedź układu immunologicznego jest tak szybka i miazdząca, że zagrożenie zniknie, zanim zorientujesz się, że jakieś w ogóle było.

Szczepienia są jedynym znanym sposobem walki z niektórymi rodzajami wirusów. Wyróżniamy następujące rodzaje szczepionek:

- W **szczepionkach zabitych** stosowane są nieżywe patogeny. Komórki mikroorganizmów są całe, ale nie mogą się rozmnażać.
- **Szczepionki atenuowane (żywe)** zawierają osłabione patogeny. Zostają one laboratoryjnie pozbawione elementów wywołujących stan chorobowy, ale zachowują swój pierwotny kształt.
- **Szczepionki podjednostkowe** zawierają wyłącznie fragmenty patogenów, na przykład antygeny rozpoznawane przez układ immunologiczny.

Czarna ospa została całkowicie usunięta z powierzchni ziemi praktycznie dzięki szczepieniom. Światowa Organizacja Zdrowia (ang. *World Health Organization* — WHO) starająca się kontrolować ogniska chorób zakaźnych pracuje obecnie nad likwidacją choroby Heinego-Medina za pomocą szczepionek, a w planach ma również wyeliminowanie odry. Jest to możliwe, ponieważ żywicielami wszystkich trzech wymienionych rodzajów wirusów są wyłącznie ludzie, co oznacza, że nie mogą się one rozmnażać i mutować w organizmach innych zwierząt. Zatem po zaszczepieniu się na te choroby wytwarza się w Twoim organizmie pamięć

immunologiczna wobec odpowiedzialnych za nie wirusów, która będzie Cię chronić przed nimi już do końca życia.

Wirus grypy jest nieco inny. Mutuje on tak szybko, że co roku są potrzebne nowe szczepionki. Mutujące wirusy w sposób ciągły dostosowują się do zmieniających się warunków wewnątrzkomórkowych oraz udaje im się unikać odpowiedzi immunologicznej ze strony gospodarza. Mutacje wirusowe mogą zmodyfikować dowolną cechę wirusa, począwszy od jego zjadliwości, poprzez zdolność infekowania nowych rodzajów komórek, aż po możliwość atakowania nowych gatunków organizmów. Dobry przykład: występująca w 2009 roku pandemia świńskiej grypy została wywołana przez szczep H1N1 zawierający unikatową mieszaną genów pochodzących z trzech odmian wirusa, z których niektóre po raz pierwszy infekowały człowieka. Z powodu takiej mieszaniny genów wirus posiadał niespotykany garnitur antygenów nierozpoznawany przez pamięć immunologiczną. To właśnie było przyczyną tak skutecznego rozprzestrzenienia się wirusa świńskiej grypy, że wywołał on ogólnoswiatową pandemię.

Bezpieczeństwo szczepień

Od lat toczy się spór na temat bezpieczeństwa stosowania szczepionek, zwłaszcza u dzieci. Niektórzy ludzie boją się szczepień i nie ufają im, dlatego decydują się nie szczepić dzieci, co często naraża na szwank zdrowie pociech.

Rozpatrzmy kilka argumentów dotyczących bezpieczeństwa stosowania szczepień.

- ***Ryzyko skutków ubocznych wynikających z używania szczepionek jest znacznie mniejsze od powikłań chorobowych.*** Stosowanie każdej szczepionki zawsze niesie ze sobą pewne niebezpieczeństwo i może wywoływać niepożądane objawy. Pamiętajmy jednak, że szczepionki zatwierdzone przez Ministerstwo Zdrowia muszą wywoływać znacznie słabsze powikłania niż choroba, a także prawdopodobieństwo ich wystąpienia powinno być znacznie mniejsze.

- ***Wiele powszechnie bagatelizowanych chorób może prowadzić do niezwykle groźnych powikłań.*** Przykładowo odra, uznawana przez wiele osób za względnie łagodną chorobę, zajmuje szóste miejsce na liście powodów umierania dzieci na całym świecie. Powikłania po odrze mogą prowadzić do **zapalenia mózgu** oraz płuc. Zgodnie z danymi Światowej

Organizacji Zdrowia sama odra zabiła niemal 550 000 dzieci w 2000 roku^[1]. Te statystyki nabierają dodatkowego, tragicznego wymiaru, zważywszy na to, że odra jest chorobą, której można zapobiegać poprzez szczepienie dzieci.

- **Wiele osób w krajach rozwiniętych nie posiada wiedzy na temat wszystkich skutków chorób zakaźnych.** Większość młodych ludzi mieszkających w bogatych krajach, takich jak Stany Zjednoczone czy państwa europejskie, dorastała w czasach powszechnego dostępu do szczepień. Można było wtedy jeszcze natrafić na osoby cierpiące na polio (chorobę Heinego-Medina), ale obecnie niewiele osób pamięta „żelazne płuco” — urządzenie pozwalające chorym oddychać, gdy zakażenie sparaliżowało mięśnie oddechowe. Z powodu niewiedzy znikł strach przed tymi chorobami, a ludzie zaczęli kwestionować konieczność stosowania szczepień.

- **W internecie pogłoski rozprzestrzeniają się jak szalone.** Dzięki internetowi świat informacji dociera do Twojego domu. Problem z tymi informacjami jest taki, że nie zawsze są one rzetelne i wiarygodne. Książki są sprawdzane przez redaktorów i korektorów, a przed publikacją artykułów naukowych oraz medycznych zasiada nad nimi grupa specjalistów. Z kolei żeby umieścić jakieś informacje w internecie, wystarczy opłacić domenę i serwer. Profesjonalnie wyglądająca witryna sieciowa może oszukać iluzją rzetelnych informacji, dlatego zawsze należy sprawdzać źródła, z jakich pochodzą.

Wskazówka: Znakomitym źródłem informacji na temat szczepień oraz bezpieczeństwa ich stosowania jest portal szczepienia.info — <http://szczepienia.pzh.gov.pl>.

Starzenie się i choroby — zmiany w układzie odpornościowym

Wraz z rozwojem, a następnie starzeniem się Twojego organizmu pojawiają się zmiany w układzie immunologicznym. W burzliwym, pracowitym okresie dojrzewania grasica staje się coraz mniejsza, aż w końcu zupełnie zanika, gdy osiągasz już dojrzałość. Bez niej limfocyty T różnicują się znacznie wolniej i znacznie mniej skutecznie. Podobnie ma się sprawa z limfocytami B. Ponieważ komórki prekursorowe, z których powstają limfocyty T i B, różnicują się coraz rzadziej, to w szpiku kostnym zachodzi coraz mniej podziałów komórkowych.



Osłabienie układu odpornościowego może stanowić powód, dla którego ludzie w podeszłym wieku stają się coraz bardziej podatni na infekcje.

Paradoksalnie u starszych ludzi zwiększa się również ryzyko wystąpienia **chorób autoimmunologicznych**, w których całkowicie zdrowe komórki organizmu są atakowane przez własny układ odpornościowy. Jedną z takich chorób autoimmunologicznych występujących częściej u osób w podeszłym wieku jest **artretyzm (zapalenie stawów)**. U ludzi cierpiących na artretyzm komórki układu odpornościowego atakują tkanki wyściełające powierzchnie stawów, co wywołuje stan zapalny i ogólne pogorszenie stanu zdrowia (nie wspominając o bólu i opuchliznie).

Przypisy:

[1] Dla porównania w 2014 roku liczba ofiar odry spadła do 115 000 — *przyp. tłum.*

Rozdział 18.

Układ nerwowo-hormonalny — nadzwyczajni kurierzy

.....

W tym rozdziale:

- ▶ zagłębisz się w szczegóły dotyczące układu nerwowego;
 - ▶ dowiesz się, w jaki sposób działają mózg i narządy zmysłów;
 - ▶ zobaczysz, jak są przekazywane sygnały w układzie nerwowym;
 - ▶ odkryjesz mechanizm regulowania funkcji organizmu za pomocą hormonów.
-

Przy natłoku procesów metabolicznych i reakcji chemicznych zachodzących w każdej komórce organizm musi posiadać jakiś system sterujący, gdyż w przeciwnym wypadku zapanowałby chaos. Przedstawiamy zatem układy nerwowy i hormonalny. Układ nerwowy, składający się z mózgu i nerwów, jest odpowiedzialny za zbieranie informacji przesyłanych przez narządy receptorowe, a następnie ich analizowanie i koordynowanie odpowiedzi na bodźce. Z kolei układ hormonalny (dokrewny) uwalnia hormony, które krążą wewnątrz organizmu i sterują cyklami metabolicznymi. W tym rozdziale zajmiemy się omówieniem obydwu układów oraz prześledzimy proces reakcji organizmu na różne bodźce i sygnały.

Zawiłości układu nerwowego

Zwierzęta są jedynymi organizmami posiadającymi skomplikowany układ nerwowy, którego zadaniem jest

odbieranie i przetwarzanie bodźców środowiskowych, a następnie wysyłanie sygnałów stanowiących reakcję na bodziec. Złożoność układu nerwowego zależy od stylu życia zwierzęcia oraz budowy ciała.

- Zwierzęta nieposiadające wyróżnionej głowy ani ogona posiadają **sieć nerwową**, czyli pojedyncze nerwy połączone ze sobą wypustkami i otaczające cały organizm. Typowym przykładem zwierzęcia posiadającego taką prostą sieć nerwową jest rozgwiazda.
- Zwierzęta, u których występuje głowa (czyli np. pierścienice, owady, gady, ptaki czy ssaki), posiadają dwuczęściowy układ nerwowy:
 - **Ośrodkowy układ nerwowy (OUN)** lub **centralny układ nerwowy (CUN)** składa się z mózgu i nerwów ośrodkowych. Jego najważniejsza część mieści się w głowie, ale zaliczamy do niego również rdzeń kręgowy.
 - Na **obwodowy układ nerwowy** składają się wszystkie nerwy oplatające organizm zwierzęcia.



Proces wyodrębniania się części głowowej nazywany jest **cefalizacją**. Z kolei zjawisko ewolucyjnego powstawania ośrodkowego układu nerwowego nosi miano **centralizacji**.

W kolejnych ustępach przyjrzymy się uważniej budowie ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego, dzięki czemu nauczysz się je rozróżniać. Zapoznasz się również z robotnikami układu nerwowego, czyli komórkami nerwowymi (neuronami) oraz dowiesz się, w jaki sposób komórki te mogą czasami działać poza jurysdykcją mózgu.

Różnica pomiędzy ośrodkowym a obwodowym układem nerwowym

U wszystkich kręgowców (również u Ciebie) ukazany na rysunku 18.1 OUN składa się z mózgu i rdzenia kręgowego. W **mózgu** znajdują się ośrodki przetwarzające sygnały docierające z receptorów, ośrodki odpowiadające za emocje i inteligencję, a także ośrodki regulujące homeostazę organizmu (więcej informacji na temat homeostazy znajdziesz w rozdziale 13.). **Rdzeń kręgowy** z kolei stanowi magistralę sterującą przepływem informacji pomiędzy mózgiem a resztą ciała, a także zawiera ośrodki sterujące pracą wielu narządów; zanurzony jest on w **płynie mózgowo-rdzeniowym** amortyzującym wszelkie wstrząsy podczas ruchu oraz ułatwiającym dostarczanie związków odżywczych i usuwanie zbędnych substancji.



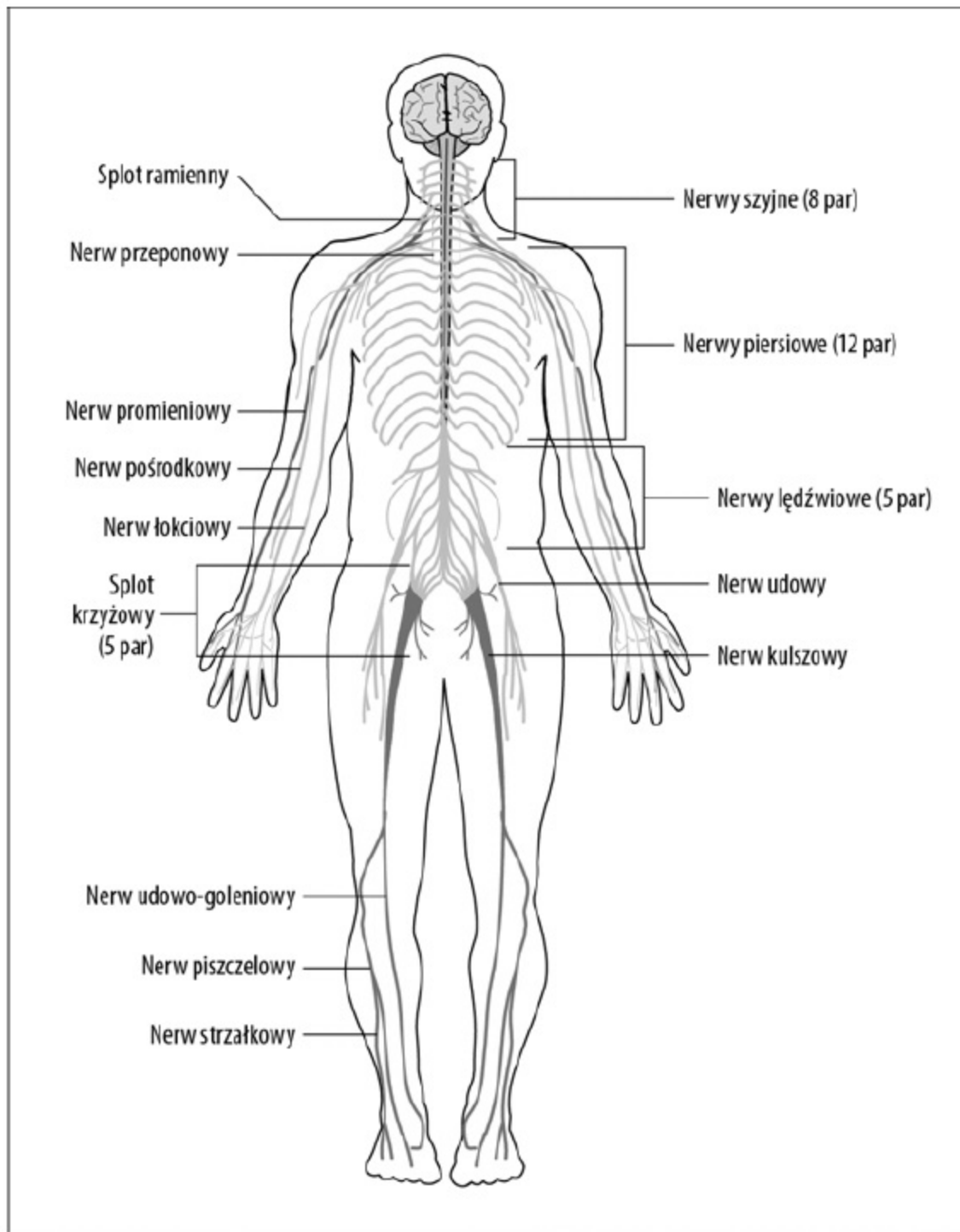
Zarówno mózg, jak i rdzeń kręgowy są chronione ze szczególną pieczołowitością. Jedną z form ochrony jest bariera krew-mózg, tworzona przez sieć naczyń włosowatych otaczających mózg. Tylko określone substancje są przepuszczane przez tę sieć do mózgu lub płynu mózgowo-rdzeniowego. Drugą formą ochrony są opony mózgowo-rdzeniowe, czyli trzy warstwy tkanki łącznej otaczające mózg i rdzeń kręgowy.

Nerwy odchodzące od rdzenia kręgowego tworzą obwodowy układ nerwowy (również ukazany na rysunku 18.1), który dzieli się na dwa elementy składowe.

- **Układ nerwowy somatyczny.** Wchodzące w jego zakres nerwy przekazują sygnały pomiędzy mózgiem a mięśniami szkieletowymi. Odpowiedzialny jest on za sterowanie wieloma świadomymi reakcjami na bodźce

zewewnętrzne. W Twoim przypadku takie czynności jak chodzenie, kopanie piłki lub kierowanie samochodem są możliwe właśnie dzięki somatycznemu układowi nerwowemu.

- ***Układ nerwowy autonomiczny.*** Ta część obwodowego układu nerwowego reguluje (najczęściej niezależnie od naszej woli) wewnętrzne procesy zachodzące w organizmie, takie jak bicie serca czy trawienie pokarmów. W celu utrzymania homeostazy istnieje on w postaci dwóch przeciwnych podukładów:



Rysunek 18.1. Układ nerwowy człowieka

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

- **Układ nerwowy sympatyczny** automatycznie pobudza ciało do działania w odpowiednich okolicznościach. To właśnie on jest odpowiedzialny za **instynkt walki/ucieczki**, wywoływany uwolnieniem adrenaliny w sytuacji stresowej, dzięki czemu organizm otrzymuje zastrzyk energii niezbędny do obrony lub szybkiej ucieczki. Układ sympatyczny reguluje również częstotliwość pulsu (od którego zależy szybkość krążenia krwi), a także inicjuje uwalnianie glukozy ze zmagazynowanego glikogenu, co prowadzi do uzupełnienia zapasów paliwa we krwi.

- **Układ nerwowy parasympatyczny** reguluje przebieg naturalnych procesów, takich jak wydzielanie enzymów trawiennych czy śliny. W przeciwieństwie do układu sympatycznego układ parasympatyczny spowalnia bicie serca po ustąpieniu sytuacji stresowej.

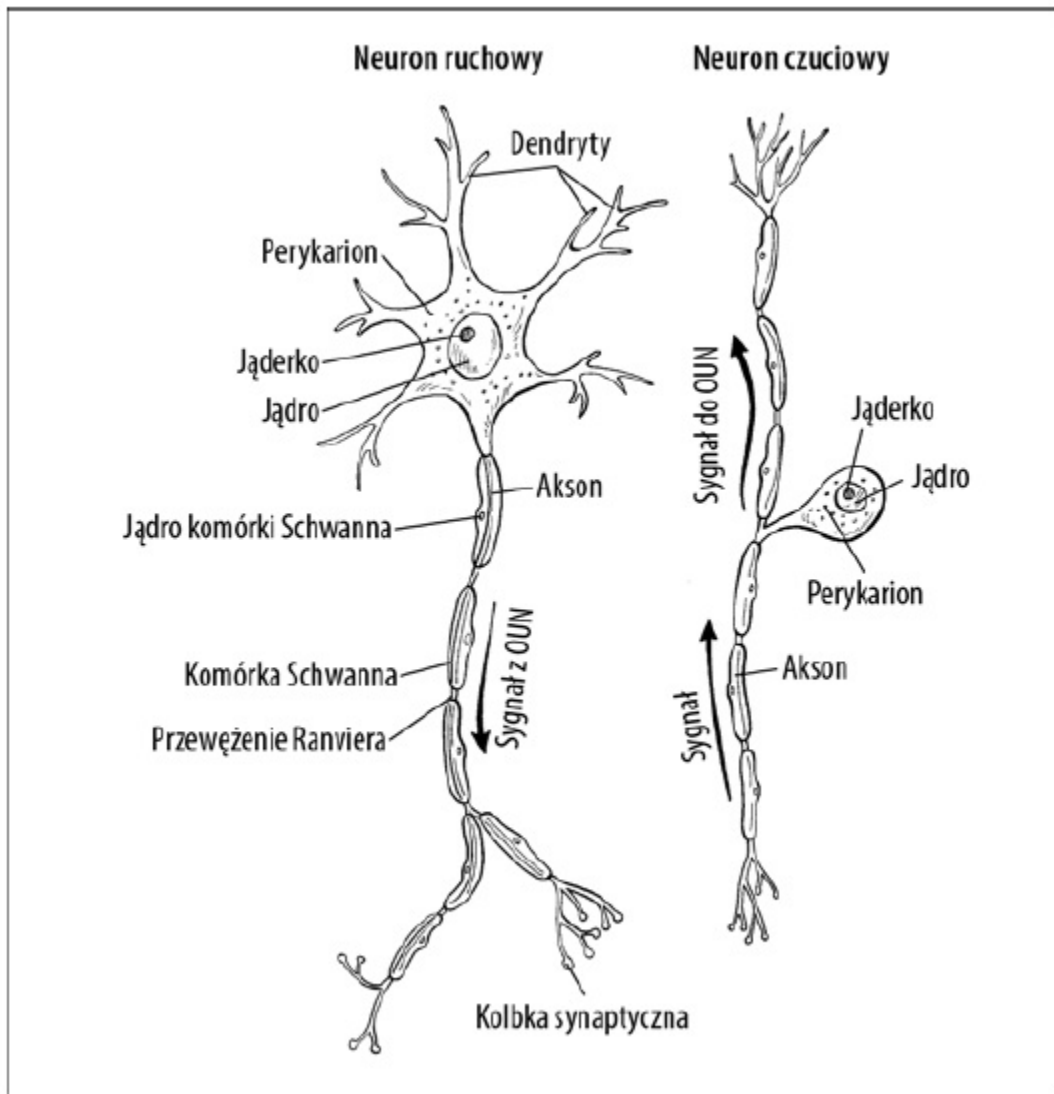
Wszystkie drogi prowadzą do neuronu

Układ nerwowy tworzą dwa typy komórek: neurony oraz komórki glejowe. **Neurony** odpowiedzialne są za otrzymywanie i wysyłanie sygnałów, natomiast rolę **komórek glejowych** jest wspieranie neuronów (innymi słowy, pełnią funkcje ochronną i odżywczą).

Jak widać na rysunku 18.2, neurony mają wydłużony kształt.

- Każdy neuron posiada **ciało komórki nerwowej (perykarion)**, w którym zawarte są jądro oraz organelle, takie jak mitochondria, ER oraz aparaty Golgiego (struktury te zostały opisane w rozdziale 4.).
- Od perykarionu odchodzą krótkie wypustki zwane **dendrytami**. Pełnią one funkcje anten i odbierają sygnały pochodzące z innych komórek.

- Po przeciwnej stronie ciała komórki nerwowej przechodzi w długą, cienką, rozgałęziającą się wypustkę — **akson (neuryt)**. Aksony są izolowane warstwą mieliny wytwarzaną przez wyspecjalizowane komórki Schwanna.



Rysunek 18.2. Podstawowa budowa neuronu ruchowego (po lewej) oraz czuciowego (po prawej) wraz z przedstawionym kierunkiem przesyłania sygnału

Impulsy nerwowe docierają do neuronu poprzez dendryty. Przechodzą następnie przez błonę, wzdłuż ciała komórki nerwowej i są przekazywane dalej za pomocą aksonu. Po



dotarciu do kolebki synaptycznej zostają przeniesione do następnego neuronu — są w ten sposób przewodzone aż do osiągnięcia punktu docelowego.

Przetwarzanie sygnału przez trzy rodzaje komórek nerwowych



Trzema podstawowymi funkcjami układu nerwowego są: odbieranie bodźców, ich interpretacja i reagowanie na nie. Za każde z tych zadań odpowiedzialny jest oddzielny typ neuronów.

- ***Neurony czuciowe odbierają informacje z otoczenia i przekazują je do OUN.*** Ich inna nazwa to **neurony aferentne**. Są one głównie przystosowane do odbierania pierwotnych bodźców wychwytywanych przez nasze narządy zmysłów (oczy, uszy, język, skórę i nos). Zbierają również sygnały generowane przez sam organizm w celu wprowadzania modyfikacji pozwalających na utrzymanie homeostazy. Jeżeli na przykład dotkniesz czubka noża, to znajdujące się w palcu neurony czuciowe będą przesyłać sygnały do innych neuronów aferentnych aż do momentu dotarcia do interneuronów.

- ***Zlokalizowane w OUN interneurony przetwarzają docierające sygnały i wysyłają impulsy stanowiące odpowiedź na bodziec.*** Znane są również pod nazwami **neurony kojarzeniowe** i **przełącznikowe**. „Odczytują” one informacje przekazywane przez neurony czuciowe. Po dotarciu impulsu interneuron

decyduje, czy i jaki sygnał wygenerować. Jeżeli konieczna jest reakcja organizmu, wysyła on odpowiedni sygnał do neuronów ruchowych. Skorzystajmy z powyższego przykładu z nożem: po dotarciu impulsu do interneuronów tworzących korę mózgową zostaje wygenerowana odpowiedź, która następnie jest przesłana do neuronów ruchowych.

- **Neurony ruchowe przewodzą sygnały z OUN do komórek odpowiedzialnych za reakcję organizmu.** Nazywane są inaczej **neuronami eferentnymi**; stymulują komórki efektorowe do odpowiedzi na bodziec. W naszym przykładzie impulsy wysłane przez mózg przechodzą neuronami ruchowymi aż do mięśni, które zostają zmuszone do skurczu i cofnięcia palca od noża.

Nieświadome działanie



Czasami układ nerwowy może działać bez udziału mózgu, na przykład w mechanizmie łuku odruchowego. **Łuk odruchowy** stanowi bezpośrednie połączenie nerwów czuciowych z ruchowymi, co pozwala na znaczne skrócenie czasu reakcji.

W momencie dotknięcia gorącego garnka Twoje neurony czuciowe rejestrują niebezpieczną temperaturę i natychmiast przesyłają informację do neuronów ruchowych oznaczającą „Cofnij rękę!”. Neurony eferentne pobudzają właściwe mięśnie do działania i „uciekasz” ręką, zanim zdążysz o tym „pomyśleć”. Mózg wkracza do akcji dopiero w chwili, gdy poczujesz ból

poparzonej dłoni lub pomyślisz, jakim głupim posunięciem było dotknięcie rozgrzanego garnka.

Cóż za doznanie! Mózg i pięć zmysłów

Mózg jest najważniejszym narządem u kręgowców, ponieważ dostarczane są do niego wszystkie informacje rejestrowane przez narządy zmysłów i na ich podstawie steruje zachowaniem organizmu. Składa się on z trzech podstawowych elementów: przodomózgowia (górna część), śródmózgowia (środkowa część) i tyłomózgowia (dolna część). Te trzy składniki dzielą się dalej na cztery główne rejony.

- **Kresomózgowie**. To największa część mózgu, w której znajdują się ośrodki naszej świadomości. Mieści się w szczytowym obszarze mózgowia i dzieli się na dwie **półkule mózgu** — lewą i prawą. Każda z półkul zawiera cztery płaty nazwane od kości czaszki, pod którymi są umiejscowione — wyróżniamy zatem płaty czołowy, skroniowy, ciemieniowy i potyliczny. Poszczególne obszary we wspomnianych płatach odpowiedzialne są za różne funkcje, np. koncentrację, rozpoznawanie mowy, pamięć i tak dalej.

- **Międzymózgowie**. Zlokalizowane w środkowej części mózgu **międzymózgowie** zawiera takie struktury jak wzgórze i podwzgórze. Zadaniem **wzgórza** jest przetwarzanie informacji docierających z rdzenia kręgowego oraz do niego wysyłanych, natomiast **podwzgórze** odpowiedzialne jest za utrzymywanie homeostazy poprzez regulację poczucia łaknienia, pragnienia, senności oraz temperatury ciała, równowagi wodno-elektrolitycznej czy ciśnienia krwi. W

sąsiedztwie podwzgórza, w okolicy zagłębienia kostnego zwanego siodłem tureckim, znajduje się **przysadka mózgowa** pomagająca w utrzymaniu homeostazy poprzez wydzielanie wielu ważnych hormonów.

- **Móźdżek**. Umieszczony w dolnej tylnej części mózgowia **móźdżek** steruje koordynacją mięśniową, a także utrzymywaniem właściwego napięcia mięśniowego i postawy ciała.

- **Rdzeniomózgowie**. Umieszczone pod móźdżkiem **rdzeniomózgowie** zbudowane jest z trzech struktur: śródmózgowia, mostu i rdzenia przedłużonego. To tutaj znajdują się ośrodki zarządzające podstawowymi dla życia procesami, takimi jak oddychanie czy praca układu krążenia.



Pewnie nie wiedziałas/wiedziałeś, że rdzeń kręgowy stanowi przedłużenie rdzeniomózgowia. Podziękujesz nam później, gdy popiszesz się tą dodatkową wiedzą na sprawdzianie z biologii.

Narządy zmysłów człowieka — oczy, uszy, język, nos i skóra — pomagają ochraniać organizm. Są one naszpikowane receptorami, które poprzez neurony czuciowe przewodzą sygnały do odpowiednich regionów w mózgu. Każdy narząd zmysłu posiada odmienne rodzaje receptorów.

- **Telereceptory** wykrywają bodźce działające z pewnej odległości (np. węch, wzrok, słuch).

- **Eksteroreceptory** odbierają bodźce z powierzchni skóry (wrażenie dotyku, bólu, temperatury).

- **Proprioreceptory** zbierają informacje o ułożeniu układu kostno-szkieletowego (występują w mięśniach, stawach oraz ścięgnach).
- **Interoreceptory** odpowiedzialne są za tak zwane czucie trzewne (głębokie) — regulują napięcie naczyń krwionośnych oraz mierzą bodźce działające na narządy znajdujące się wewnątrz ciała.

W tabeli 18.1 porównujemy różne typy receptorów spotykanych w organizmach zwierzęcych.

Tabela 18.1. Rodzaje i funkcje receptorów. Podział uwzględniający mechanizm działania

Receptor	Lokalizacja	Funkcja
Chemoreceptor	Kubki smakowe, rzęski nabłonka węchowego	Wykrywa związki chemiczne znajdujące się w pożywieniu i powietrzu
Mechanoreceptor	Rzęski słuchowe w uchu	Wykrywa ruch błony bębenkowej i kosteczek słuchowych
Osmoreceptor	Podwzgórze	Wykrywa stężenie substancji rozpuszczonych we krwi
Fotoreceptor	Siatkówka oka	Wykrywa promieniowanie widzialne
Proprioceptor	Mięśnie	Wykrywa ułożenie i ruch kończyn
Receptor rozciągowy	Płuca, ścięgna, więzadła	Wykrywa rozciąganie się tkanki mięśniowej

Omówimy teraz dokładniej wszystkie pięć narządów zmysłów ze szczególnym uwzględnieniem ich funkcjonowania w organizmie człowieka.

Och, ten zapach — zmysł węchu

Gdy wchodzisz do domu i czujesz zapach pieczonego jabłecznika oraz podsmażanej cebuli z papryką, to skąd wiesz, że czujesz właśnie jabłecznik lub cebulę z papryką, a nie na przykład jajecznicę z cukinią? Odpowiedź kryje się w **komórkach nabłonka węchowego**; to one są odpowiedzialne za zmysł powonienia.

Nabłonek węchowy wyściela górną powierzchnię jamy nosowej. Znajdujące się tam komórki posiadają rzęski wychodzące do wnętrza tejże jamy (więcej informacji na temat rzęsek znajdziesz w rozdziale 4.). Po przeciwnej stronie komórki łączą się z włóknami nerwu węchowego, które przechodzą przez kość sitową i docierają do opuszki węchowej łączącej się bezpośrednio z korą mózgową.



Podczas oddychania wszystkie elementy znajdujące się w powietrzu dostają się do jamy nosowej. Nie wyczuwasz zapachu powietrza, kurzu czy pyłków, tylko różnych związków chemicznych. Komórki nabłonka węchowego należą do klasy chemoreceptorów, co oznacza, że zawierają one białka receptorowe wykrywające drobne różnice w składzie chemicznym substancji.

Gdy wchodzisz do kuchni, do Twojego nosa dostają się związki chemiczne pochodzące z jabłecznika, cebuli i papryki. Wiążą się one z rzęskami nabłonka węchowego, co powoduje wygenerowanie sygnału przechodzącego przez komórki nabłonka i włókna nerwu węchowego, trafiającego do opuszki węchowej, a stąd już bezpośrednio do mózgu. Mózg analizuje informacje i identyfikuje skład substancji chemicznych. Jeżeli czułaś/czułeś wcześniej ten zapach, mózg go pamięta i wydobywa odpowiednią informację z ośrodków pamięci. Jeżeli wyniuchasz coś nieznanego, musisz wykorzystać któryś z pozostałych zmysłów, np. smak lub wzrok, aby zapamiętać nową woń.

Mmm, mmm, pyszne — zmysł smaku

Zmysły węchu i smaku ściśle ze sobą współpracują. Jeżeli nie możesz wyczuć zapachu jakiejś substancji, to nie poczujesz również jej smaku. Wynika to z faktu, że zarówno kubki smakowe, jak i nabłonek węchowy (opisany w poprzednim ustępie) są receptorami stworzonymi do wykrywania związków chemicznych. Powierzchnia Twojego języka jest pokryta **kubkami smakowymi**, czyli zespołami komórek wyspecjalizowanych w rozpoznawaniu smaków. Znajdujące się w kubkach smakowych **receptory smaku** rozpoznają pięć kategorii smaków: słodki, gorzki, kwaśny, słony i umami („mięsny”).



Wiele osób uważa, że kubki smakowe to małe wybrzuszenia widoczne na języku, ale tak nie jest. Te wypustki to w rzeczywistości brodawki; kubki smakowe spoczywają we wgłębieniach pomiędzy każdą brodawką.

Każdy pokarm składa się ze związków chemicznych i po włożeniu go do jamy ustnej receptory smaku rozpoznają składniki, jakie dostarczasz do organizmu. Każdy kubek smakowy zawiera na jednym końcu otwór umożliwiający wnikięcie do środka substancji chemicznej i jej przyłączenie do receptora smaku. Po przeciwnej stronie receptor jest połączony z włóknami nerwowymi, które przekazują informacje o smaku do mózgu.



Dzięki zmysłowi smaku jedzenie sprawia nam olbrzymią przyjemność, ale to tylko jedno z zadań, jakie on spełnia. Po rozpoznaniu związków chemicznych zawartych w pożywieniu kubki smakowe przesyłają do mózgu informacje, które aktywują wytwarzanie i wydzielanie

odpowiednich enzymów trawiennych. W ten sposób układ pokarmowy może funkcjonować optymalnie i pozyskiwać maksymalną ilość substancji odżywczych zawartych w jedzeniu. Nie możemy również zapominać o funkcji ostrzegawczej smaku — gorzki lub nieprzyjemny smak oznacza, że składniki pokarmu mogą być trujące.

Posłuchaj tego — zmysł słuchu

Narządami odpowiedzialnymi za zmysł słuchu są uszy — fale dźwiękowe wpadają do przewodu słuchowego, a stąd do ucha środkowego, w którym znajduje się błona bębenkowa. Dźwięk natrafiający na tę błonę wywołuje drgania kosteczek słuchowych (młoteczka, kowadełko i strzemiączko). Są one wykrywane przez umiejscowione w uchu wewnętrznym mechanoreceptory — zawierające rzęski komórki znajdujące się pomiędzy zakończeniami kanałów półkolistych a przedsionkiem ucha wewnętrznego. Ruch rzęsek wytwarza sygnał nerwowy przechodzący przez ślimaka do ósmego nerwu czaszkowego, skąd jest przewodzony do mózgu, w którym zostaje przetworzony na wrażenie dźwięku.



Wnętrze ucha pełni również funkcję zupełnie niezwiązaną ze zmysłem słuchu: znajduje się tam mechanizm odpowiedzialny za utrzymywanie **równowagi**. Innymi słowy, dzięki płynowi umieszczonemu w kanałach półkolistych nie przewracasz się po każdym wykonanym kroku.

Ruch płynu jest zawsze rejestrowany przez rzęski, które wysyłają do mózgu informacje o ruchu kątowym i obrotowym, a także o



poruszaniu się w płaszczyznach poziomej i pionowej, co pozwala utrzymać równowagę.

Ciągły ruch płynu w uszach może być jedną z przyczyn choroby lokomocyjnej.

Widzieć znaczy wierzyć — zmysł wzroku

Wzrok jest prawdopodobnie najbardziej skomplikowanym ze zmysłów, ponieważ jego właściwe działanie bezpośrednio zależy od budowy anatomicznej oraz funkcjonowania wszystkich elementów oka.

- Barwna część oka to **tęczówka**, czyli zawierające dużo pigmentów mięśnie regulujące rozmiar źrenicy. **Źrenicą** z kolei nazywamy „czarną dziurę” znajdującą się w samym środku tęczówki; rozszerza się, aby do oka wpadało więcej światła, a zwęża się w celu ograniczenia liczby fotonów docierających do siatkówki.
- **Rogówka** okrywa i chroni tęczówkę oraz źrenicę.
- Tuż za źrenicą zlokalizowana jest **soczewka**. Łączy się ona z tęczówką za pomocą niewielkiego **mięśnia rzęskowego** służącego do zmiany kształtu soczewki w zależności od odległości od obserwowanego obiektu. Im dalej patrzysz, tym soczewka staje się coraz bardziej spłaszczona, a wraz ze zbliżaniem się przedmiotu narząd ten wypukla się. Proces zmiany kształtu soczewki jest nazywany **akomodacją** (wraz z wiekiem tracimy stopniowo zdolność akomodacji, co zmusza nas do noszenia okularów).
- **Ciało szkliste** znajduje się za soczewką i wypełnione jest żelowatym **płynem ciała szklistego**. Substancja

ta nadaje kształt oku oraz przepuszcza światło do tylnej ściany oka, w której zlokalizowana jest siatkówka.

- **Siatkówka** zawiera dwa rodzaje fotoreceptorów wykrywających światło:

- **Pręciki** są wrażliwe na ruch i działają w słabym oświetleniu, jednak nie umożliwiają barwnego widzenia.

- **Czopki** odpowiedzialne są za szczegółowy, barwny obraz i najlepiej spełniają swoją funkcję w silnym świetle. Istnieją trzy rodzaje czopków reagujących na światło o różnej barwie — czerwone, niebieskie lub zielone (daltonizm występuje przy braku jednego z rodzajów czopków. Przykład: jeżeli ktoś nie ma czopków wychytujących czerwoną składową światła, to nie będzie rozpoznawał czerwonego koloru).

Światło dociera do pręcików i czopków na siatkówce, co powoduje wytworzenie impulsów płynących do dwóch rodzajów neuronów: najpierw do komórek dwubiegunowych, a następnie do zwojowych. Aksony nerwów zwojowych tworzą **nerw wzrokowy**, przez który sygnały docierają bezpośrednio do mózgu.



W siatkówce znajduje się około 150 milionów pręcików, ale sygnały są zbierane jedynie przez mniej więcej milion neuronów zwojowych i włókien nerwowych, co oznacza, że jest znacznie więcej fotoreceptorów niż komórek przewodzących sygnały wzrokowe. Z tego powodu oko musi łączyć ze sobą „informacje”, zanim zostaną one przesłane do mózgu.

Boleśnie gorący temat — zmysł dotyku



Twoje oczy, uszy, nos i język zawierają wyspecjalizowane receptory, z kolei w skórze znajdziemy jedynie receptory ogólne, ale są one podzielone na kilka klas, z których każda odpowiada za inne wrażenie dotyku, od delikatnych muśnięć, poprzez uczucie nacisku i drgań, aż po bolesne doznania.

- Dzięki receptorom bólu odczuwamy ból, na przykład z powodu przytrzaśnięcia palca drzwiami samochodu.
- Mechanoreceptory odpowiedzialne są za odczuwanie nacisku i delikatnych dotknięć, na przykład przytulania, uścisku dłoni lub głaskania.
- Za pomocą termoreceptorów odczuwamy temperaturę, na przykład upał w gorący, letni dzień.

Wymienione trzy rodzaje receptorów ogólnych są rozmieszczone na całej powierzchni skóry, ale nierównomiernie. Z jednej strony pewnych rodzajów komórek receptorowych jest więcej niż innych (jak choćby występuje znaczna przewaga receptorów bólu nad termoreceptorami), a z drugiej pewne fragmenty ciała posiadają większe zagęszczenie receptorów niż inne. Typowy przykład: w czubkach palców znajduje się znacznie więcej receptorów niż na powierzchni pleców.

Sygnały wychwycone przez receptory ogólne są przekazywane do rdzenia kręgowego, a następnie do mózgu.

Wędrowka trasą impulsów nerwowych

Impuls nerwowy przebiega wzdłuż neuronu w ciągu około 7 milisekund — szybciej niż błyskawica! W poniższych ustępach wyjaśnimy proces przewodzenia sygnału przez neuron oraz przekazywania go dalej pomiędzy kolejnymi komórkami nerwowymi.

Podróż od jednego końca do drugiego

Zanim impuls nerwowy dotrze do mózgu, musi najpierw przedostać się z jednego krańca neuronu na drugi. W przypadku nieaktywnego (oczekującego na sygnał) neuronu różnica ładunków elektrycznych po dwóch stronach błony komórkowej nosi nazwę **potencjału spoczynkowego**. W tym stanie neuron jest tak spolaryzowany, że po zewnętrznej stronie błony komórkowej zostają zgromadzone jony sodowe, a po wewnętrznej — potasowe (**polaryzacja** komórki nerwowej występuje wtedy, gdy ładunek elektryczny po jej zewnętrznej stronie jest dodatni, a w środku występuje ładunek ujemny).



Na zewnątrz spolaryzowanego neuronu występuje znaczna liczba jonów sodowych (Na^+); we wnętrzu zaś zostaje nagromadzony duży zapas jonów potasowych (K^+). Zastanawiasz się pewnie, jak to możliwe, że po obydwu stronach występują ładunki o przeciwnych znakach, skoro nagromadzone są jony o tym samym znaku? Otóż komórka wyrzuca na zewnątrz więcej kationów sodowych, niż zostaje wpuszczonych do środka potasowych, przez co komórka ma bardziej dodatni ładunek na zewnątrz, a mniej dodatni (lub bardziej ujemny) w środku.

Opiszemy teraz proces umożliwiający przesyłanie sygnału przez uprzednio nieaktywny neuron oraz przywracający potencjał spoczynkowy po przekazaniu impulsu; został on zilustrowany na rysunku 18.3.

1. Jony sodowe przenikają do wnętrza neuronu, generując potencjał czynnościowy.

Potencjał czynnościowy to nic innego jak fala aktywności elektrycznej stanowiąca nasz impuls nerwowy. Po dotarciu bodźca do neuronu oczekującego na sygnał zostają otwarte poblokowane kanały jonowe na jego powierzchni, dzięki czemu zgromadzone na zewnątrz jony sodowe napływają do wnętrza komórki. Jest to proces zwany **depolaryzacją** błony komórkowej (do wnętrza neuronu dociera znaczna ilość ładunków dodatnich), dzięki czemu wewnątrz komórki staje się również dodatnio naładowane.



Każda komórka nerwowa posiada **próg pobudliwości**. Po jego przekroczeniu następuje reakcja neuronu. Jeżeli wartość bodźca przekroczy próg pobudliwości, zostaje otwartych więcej kanałów sodowych, przez co dodatkowe jony Na^+ wnikają na drugą stronę błony. Powoduje to całkowitą depolaryzację neuronu i pojawienie się potencjału czynnościowego. W takiej sytuacji neuron będzie otwierał kolejne kanały sodowe wzdłuż drogi przewodzenia impulsu, co jest podstawą zjawiska „**wszystko albo nic**”. Zgodnie z nim nie wystąpi potencjał czynnościowy, jeżeli bodziec nie przekroczy progu pobudliwości i nie spowoduje otwarcia wszystkich bramek; z kolei po przekroczeniu wartości progu pobudliwości nie da się już zatrzymać tego procesu — następuje całkowita

depolaryzacja, a impuls wędruje dalej wzdłuż komórki nerwowej.



Gdy impuls wędruje po aksonie pokrytym osłoną mielinową, musi przeskakiwać pomiędzy nieizolowanymi szczelinami występującymi pomiędzy komórkami Schwanna. Szczeliny te są nazywane **przewężeniami Ranviera**. Podczas występowania potencjału czynnościowego sygnał porusza się w postaci **przewodnictwa skokowego**, gdyż przeskakuje pomiędzy kolejnymi przewężeniami Ranviera, co znacząco przyspiesza przekazywanie impulsu.

2. Jony potasowe wydostają się na zewnątrz neuronu, a jony sodowe pozostają w środku, co prowadzi do repolaryzacji komórki.

Gdy do środka komórki nerwowej dostają się jony Na^+ , zostają otwarte kanały potasowe po wewnętrznej stronie błony, przez co zostają wypuszczone na zewnątrz jony K^+ . W ten sposób następuje repolaryzacja, czyli przywrócenie równowagi elektrycznej komórki (następuje tu odwrócenie pierwotnej polaryzacji, gdzie na początku na zewnątrz znajdowały się jony sodowe, a wewnątrz komórki — jony potasowe). Tuż po otwarciu kanałów potasowych zostają zamknięte kanały sodowe; gdyby nie to, neuron nie mógłby ulec repolaryzacji.

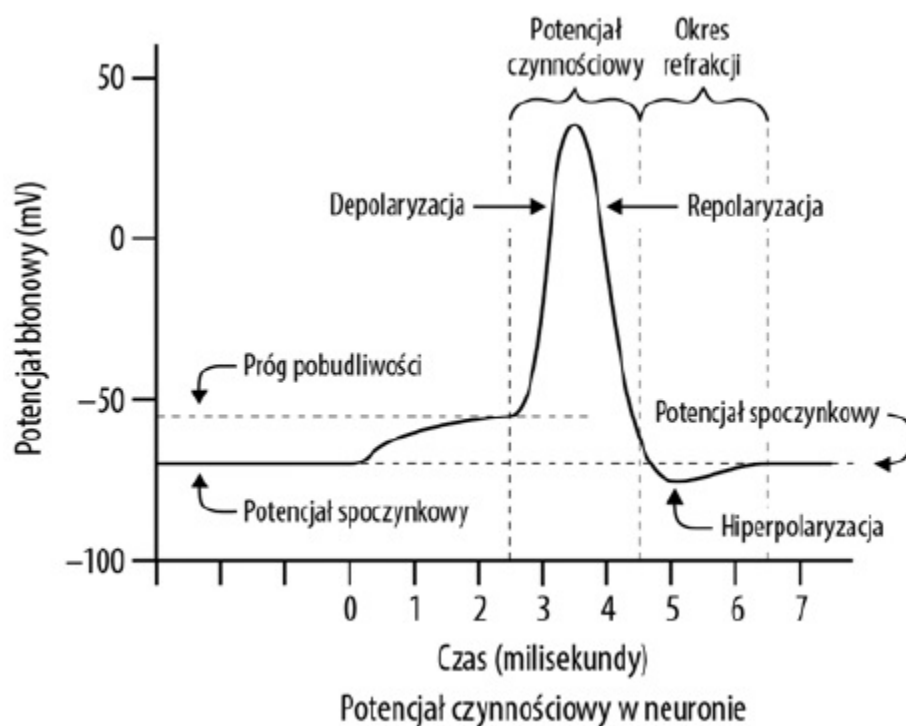
3. W wyniku przewagi stężenia jonów potasowych na zewnątrz w porównaniu ze stężeniem jonów sodowych wewnątrz komórki nerwowej następuje jej hiperpolaryzacja.

Po zamknięciu kanałów potasowych neuron posiada nieco więcej jonów K^+ na zewnątrz błony niż jonów Na^+ po jej drugiej stronie. Sprawia to, że komórka nerwowa

ulega hiperpolaryzacji — polaryzacja błony komórkowej ma nieco mniejszą wartość niż w komórce nieaktywnej. Ten stan jest jednak krótkotrwały. Po przesłaniu impulsu dalej kończy się potencjał czynnościowy neuronu, a polaryzacja błony komórkowej wraca do normy.

4. Neuron wkracza w okres refrakcji, w którym następuje przeniesienie jonów sodowych na zewnątrz błony oraz jonów potasowych do środka komórki.

W **okresie refrakcji** obydwa rodzaje jonów wracają na swoje pierwotne miejsca po obydwu stronach błony komórkowej. Białko zwane **pompą sodowo-potasową** transportuje jony odpowiednio na zewnątrz i do wnętrza komórki. W ten sposób neuron powraca do potencjału spoczynkowego aż do momentu przesłania następnego impulsu.



Rysunek 18.3. Przewodzenie impulsu nerwowego

Przekazywanie impulsu pomiędzy dwoma neuronami



Impulsy nerwowe nie mogą przechodzić bezpośrednio pomiędzy neuronami, ponieważ komórki te nie stykają się ze sobą. Akson jednego neuronu jest oddzielony od dendrytu kolejnego. Zatem sygnał musi jakoś pokonać tę przeszkodę, aby kontynuować podróż wzdłuż układu nerwowego.

Obszar pomiędzy dwoma neuronami nazywany jest **szczeliną synaptyczną** albo po prostu **synapsą**.

W organizmach wielu bezkręgowców oraz w mózgach kręgowców sygnały są przewodzone przez synapsy w postaci impulsów elektrycznych. Z kolei w obwodowym układzie nerwowym, na przykład w sytuacji wysyłania informacji do włókien mięśniowych, impulsy nerwowe są przekazywane pomiędzy neuronami za pomocą szeregu reakcji chemicznych:

1. Następuje otwarcie kanałów wapniowych.

Na końcu aksonu, z którego dociera impuls (czyli z **komórki presynaptycznej**, ponieważ akson ten znajduje się przed synapsą), następuje depolaryzacja błony komórkowej, dzięki czemu zostają otwarte kanały jonowe, przez które wnikają do wnętrza komórki jony wapniowe (Ca^{2+}).

2. Z pęcherzyków synaptycznych zostaje uwolniony neuroprzebieżnik.

Po wniknięciu jonów wapnia do aksonu presynaptycznego pęcherzyki synaptyczne znajdujące się na jego końcu łączą się z błoną komórkową. W ten

sposób do synapsy zostaje wypuszczony związek chemiczny zwany **neuroprzekaźnikiem (neurotransmitterem)**.

3. Neuroprzekaźnik wiąże się z receptorami znajdującymi się po stronie neuronu postsynaptycznego.

Pełniący rolę neurotransmitera związek chemiczny dyfunduje po obszarze synapsy i łączy się z białkami błonowymi docelowego neuronu. Białka te pełnią rolę receptorów i występują one w różnych odmianach, rozpoznających odmienne neuroprzekaźniki — oznacza to, że każdy neurotransmitter jest identyfikowany przez specyficzny receptor.

4. Następuje pobudzenie lub zahamowanie przesyłu sygnału na błonie postsynaptycznej.

Rodzaj reakcji wpływającej na sygnał zależy od użytego neuroprzekaźnika oraz jego wpływu na błonę postsynaptyczną. Jeżeli na przykład neuroprzekaźnik powoduje otwieranie kanałów sodowych, następuje depolaryzacja błony komórkowej po stronie postsynaptycznej i impuls jest przewodzony przez komórkę nerwową. Z kolei w wyniku otwarcia kanałów potasowych błona komórkowa ulega hiperpolaryzacji, przez co sygnał zostaje stłumiony.



Być może zastanawiasz się, co się dzieje z neuroprzekaźnikiem po przyłączeniu do białka receptorowego. Po wywołaniu pożądanego efektu (depolaryzacji lub hiperpolaryzacji) jest on odłączany od receptora i wraca do synapsy. Tam zostaje rozłożony na mniejsze cząsteczki chemiczne, po czym następuje ich wchłonięcie i ponowne wykorzystanie przez komórkę presynaptyczną. Dzięki temu neuron jest gotowy

do przekazania lub wytłumienia kolejnego impulsu nerwowego.

Tabela 18.2 zawiera listę najpowszechniej występujących neuroprzekaźników wraz z opisem pełnionych przez nie funkcji.

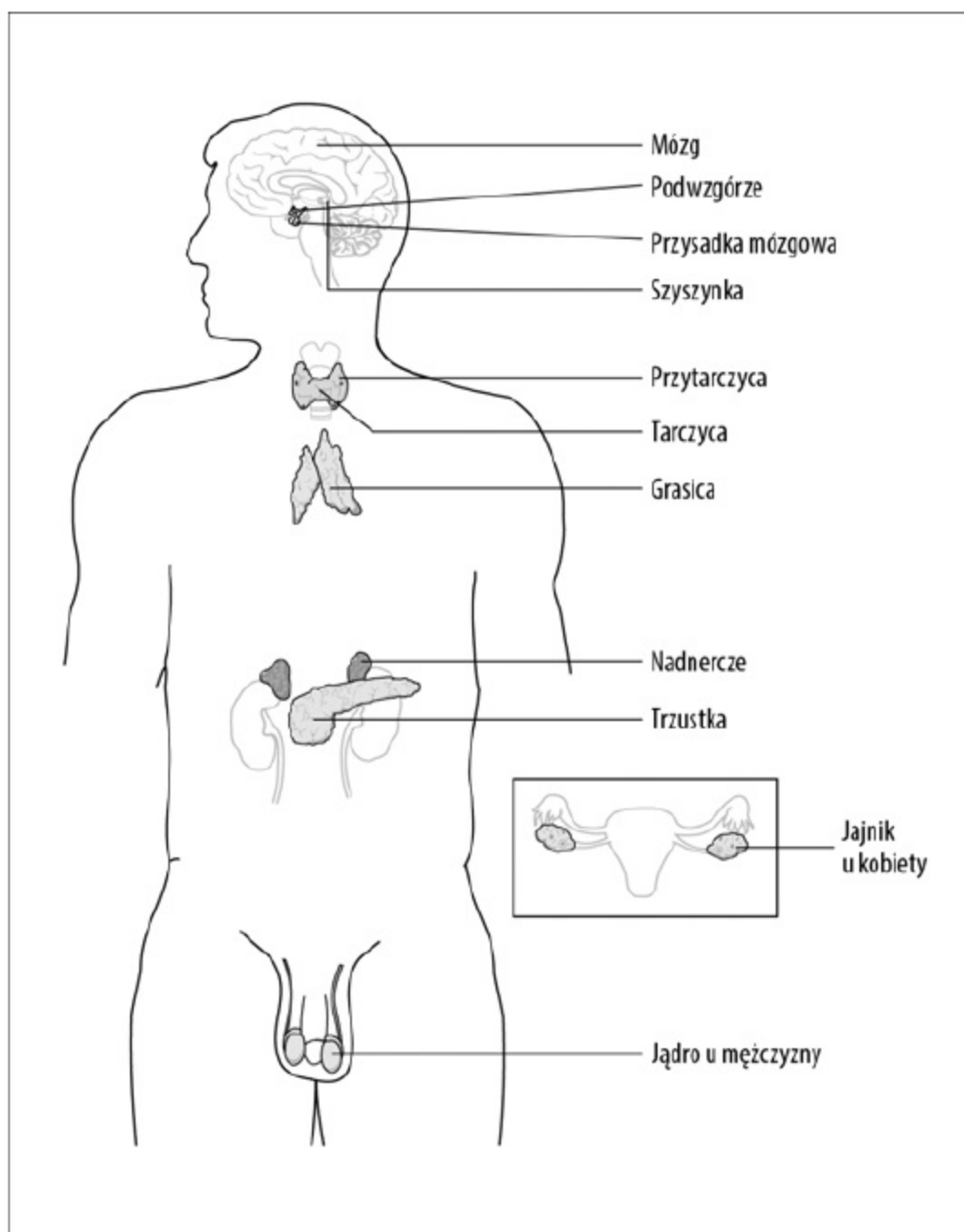
Tabela 18.2. Najpowszechniej występujące neuroprzekaźniki

Neuroprzekaźnik	Źródło	Funkcja
Acetylocholina	Wydzielana w synapsach pomiędzy neuronami a komórkami mięśniowymi	W zależności od receptora pobudza lub hamuje skurcz włókna mięśniowego
Dopamina	Wytwarzana z aminokwasów	Wpływa na sposób poruszania się, emocje oraz poczucie przyjemności; odgrywa również istotną rolę w powstawaniu uzależnienia od narkotyków
Epinefryna (adrenalina)	Wytwarzana z aminokwasów	Odpowiedzialna za mechanizm „walka lub ucieczka”
Norepinefryna (noradrenalina)	Uwalniana przez pozazwojowe aksony	Podnosi ciśnienie krwi
Serotonina	Produkowana w reakcji enzymatycznej przy udziale tryptofanu	Kontroluje fazy snu, ma działanie uspokajające oraz wpływa na zachowanie seksualne

Układ dokrewny – nie wszystkie hormony szaleją

Ukazany na rysunku 18.4 **układ dokrewny (hormonalny, wewnątrzwydzielniczy)** zajmuje się produkcją i

wydzielaniem hormonów w obrębie całego organizmu. Ma pod kontrolą procesy komórkowe oraz skład chemiczny krwi oraz w razie potrzeby wprowadza odpowiednie modyfikacje parametrów życiowych.



Rysunek 18.4. Układ dokrewny



Układ dokrewny składa się z narządów zwanych **gruczołami wewnątrzwydzielniczymi (hormonalnymi, dokrewnymi)**, które wytwarzają **hormony** — chemiczne przekaźniki koordynujące działanie określonych grup komórek w wyznaczonych obszarach ciała. Są one transportowane wraz z krwią do docelowej tkanki, przez którą muszą zostać wchłonięte.

Jak sama nazwa wskazuje, gruczoły dokrewne wydzielają hormony do krwi, więc wraz z nią krążą one po całym organizmie. Istnieją również **gruczoły zewnątrzwydzielnicze** wydzielające substancje poza środowisko wewnętrzne ciała. Przykładami takich wydzielin zewnętrznych są pot i ślina.

W kolejnych ustępach przyjrzymy się mechanizmom działania hormonów oraz zaznajomisz się z najważniejszymi pełnionymi przez nie funkcjami.

Mechanizm działania hormonów

Hormony są długodystansowymi posłańcami przenoszącymi poprzez krwiobieg informacje do **komórek docelowych** reagujących na działanie tychże hormonów. Żeby komórka mogła zareagować na dany hormon, musi posiadać odpowiednie **receptory** (czyli cząsteczki zdolne do wiązania cząstek sygnalizacyjnych oraz wywołujące zmiany w działaniu komórki) rozpoznające daną substancję (komórki nieposiadające receptorów rozpoznających dany hormon nie reagują na jego obecność). Po przyłączeniu hormonu do białka błonowego receptor zostaje uaktywniony i wpływa na zmianę zachowania komórki.

Hormony u kręgowców dzielą się na dwie grupy.



- **Hormony peptydowe (białkowe)**, takie jak insulina, to krótkie łańcuchy aminokwasowe; można je uznać za bardzo małe białka. Są to cząsteczki **hydrofilowe** (wodolubne), zatem nie przenikają samodzielnie przez błony komórkowe.

Receptory hormonów peptydowych są osadzone w błonie komórek docelowych. Hormony te wiążą się z białkami receptorowymi na powierzchni komórki i aktywują je, zmieniając konfigurację cząsteczki znajdującej się po wewnętrznej stronie błony komórkowej. Ta wewnętrzna część wpływa na cząsteczki regulujące zachowanie komórki. Taki proces nazywamy **przekazywaniem (transdukcją) sygnału**, ponieważ informacja zostaje przekazana poprzez błonę komórkową.

- **Hormony sterydowe**, na przykład testosteron czy estrogen, są hydrofobowe (nie lubią wody), dzięki czemu z łatwością przenikają przez błonę komórkową i docierają do wnętrza komórki. Z tego powodu receptory hormonów sterydowych również znajdują się w środku komórki.

Po wnikięciu do komórki hormony sterydowe kierują się ku jądro i dyfundują przez jego otoczkę. W środku wiążą się z białkami receptorowymi, tworząc aktywny kompleks, który bezpośrednio wpływa na funkcjonowanie komórki, często stanowiąc czynniki transkrypcyjne uruchamiające ekspresję określonych genów. Nowo utworzone białka w wyniku wspomnianej ekspresji genów pełnią funkcje odzwierciedlające odpowiedź komórki na wpływ hormonu (więcej informacji na temat

transkrypcji i translacji białek znajdziesz w rozdziale 8.).

Omówienie głównych funkcji hormonów

Hormony zawsze pełnią bardzo istotne funkcje, bez względu na to, czy występują u roślin, bezkręgowców lub kręgowców. Poniżej prezentujemy jedynie kilka z wielu zadań spełnianych przez hormony w organizmie.

- ***Regulacja prawidłowego wzrostu osobniczego.*** U ludzi hormony wzrostu muszą być wydzielane w normalnych ilościach przez całe dzieciństwo i okres dojrzewania. Można się domyślić, jakie skutki mają skrajne przypadki ich niedoboru lub nadmiaru — odpowiednio karłowatość i gigantyzm. W przypadku bezkręgowców, na przykład owadów, hormony wzrostu są odpowiedzialne za **linienie** — zrzucanie powłoki zewnętrznej (szkieletu zewnętrznego). Hormony regulują również wzrost roślin, co zostało omówione w rozdziale 21.

- ***Regulowanie oraz synchronizacja prawidłowego przebiegu rozwoju i dojrzewania organizmu.*** U owadów **metamorfoza** — przekształcanie ciała w kolejnych stadiach rozwoju — jest kontrolowana przez tak zwany hormon juwenilny (to właśnie dzięki metamorfozie larwa lub gąsienica przeobrażają się w poczwarkę, a następnie w ćmę lub motyla). W przypadku kręgowców hormony wywołują wejście w stadium dojrzewania i dorosłości, również w sferze płciowej. Hormony roślinne regulują takie etapy rozwoju jak kiełkowanie nasion czy kwitnienie.

• **Doprowadzanie do rozmnażania w najbardziej dogodnym momencie.** Dzięki całorocznemu zapasowi pożywienia oraz dachowi nad głową ludzie mogą rozmnażać się praktycznie w dowolnej chwili (rozmnażanie człowieka zostało omówione w rozdziale 19.). Jednak wiele zwierząt oraz roślin może rozmnażać się wyłącznie o określonej porze roku, gdy panuje optymalna pogoda oraz zapasy pożywienia są wystarczające do utrzymania potomstwa przy życiu. W wyniku tego hormony u tych gatunków stymulują popęd płciowy jedynie w odpowiednich warunkach klimatycznych i żywnościowych.

Istnieje tyle różnorodnych hormonów roślinnych i zwierzęcych, że nie sposób wymienić ich wszystkich w tej książce. Chcemy jednak pokazać rozmaite funkcje spełniane przez hormony, dlatego wymieniliśmy w tabeli 18.3 najważniejsze z nich, spotykane w organizmach ssaków, np. u Ciebie. Do tego dołączamy opis ich funkcji oraz miejsce ich wytwarzania.

Tabela 18.3. Najważniejsze hormony występujące u ssaków

Hormon	Gruzoł	Funkcja
Adrenalina (epinefryna)	Nadnercza	Przyśpiesza metabolizm i zwiększa stężenie glukozy we krwi; zwęża niektóre naczynia krwionośne
Aldosteron (mineralokortykoidy)	Nadnercza	Reguluje równowagę wodno-mineralną poprzez wchłanianie sodu w nerkach i usuwanie potasu
Hormon antydiuretyczny (wazopresyna)	Przysadka mózgowa	Stymuluje nerki do zatrzymywania wody w organizmie
Estrogen	Jajniki	Stymuluje rozrost błony śluzowej macicy; uruchamia wykształcanie i utrzymywanie drugorzędowych cech płciowych u kobiet
Hormon	Przysadka	Stymuluje wytwarzanie komórek jajowych

folikulotropowy (folikulotropina)	mózgowa	i plemników
Glukagon	Trzustka	Podnosi stężenie glukozy (cukru) we krwi
Hormon wzrostu (somatotropina)	Przysadka mózgowa	Stymuluje wzrost kości; reguluje różne procesy metaboliczne
Insulina	Trzustka	Obniża stężenie glukozy (cukru) we krwi
Hormon luteinizujący (luteotropina)	Przysadka mózgowa	Stymuluje rozwój jajników i jąder
Melatonina	Szyszynka	Reguluje cykl dobowy zwierzęcia
Oksytocyna	Przysadka mózgowa	Wywołuje skurcze macicy oraz gruczołów mlecznych (podczas karmienia piersią)
Progesteron	Jajniki	Reguluje wzrost błony śluzowej macicy
Prolaktyna	Przysadka mózgowa	Stymuluje wytwarzanie mleka
Testosteron	Jądra	Pobudza dojrzewanie plemników; uruchamia wykształcanie i utrzymywanie drugorzędowych cech płciowych u mężczyzn
Hormon tyreotropowy (tyreotropina)	Przysadka mózgowa	Pobudza tarczycę do pracy
Tyroksyna (T ₄)	Tarczyca	Pobudza i utrzymuje metabolizm

Rozdział 19.

Podstawy rozmnażania — „produkcja” zwierząt

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz tajniki rozmnażania bezpłciowego u zwierząt;
 - ▶ przyjrzyś się intymnym zawiłościom rozmnażania płciowego;
 - ▶ dowiesz się, jak „to” robią ptaszki i pszczołki (oraz inne zwierzęta);
 - ▶ zrozumiesz, w jaki sposób komórki płciowe „wiedzą”, gdzie mają się znaleźć oraz co robić;
 - ▶ poznasz zagadnienia rozwoju osobniczego i starzenia się.
-

Dzięki informacjom zawartym w tym rozdziale dowiesz się, jak powstają dzieci. Poznasz podstawowe mechanizmy rozmnażania się zwierząt (o rozmnażaniu roślin opowiemy w rozdziale 20.). Przygotuj się na zastrzyk informacji dotyczących reakcji zachodzących wewnątrz organizmu kobiety przygotowującej się do wydania potomstwa na świat, mechanizmów dobierania się w pary (również u człowieka), rozwoju płodowego, a także sposobu determinacji płci u *Homo sapiens*.

Rośnie jak na drożdżach — rozmnażanie bezpłciowe

Rozmnażanie bezpłciowe pozwala na reprodukcję w krótkim czasie bez udziału partnera, co oznacza, że organizmy potomne stanowią świeższą, młodszą wersję swojego rodzica. Poza



tym organizmy rozmnażające się bezpłciowo tak naprawdę nie umierają; po prostu dzielą się na młode klony i żyją dalej.

Podstawowym podziałem komórkowym umożliwiającym rozmnażanie bezpłciowe jest **mitoza**, czyli proces polegający na utworzeniu dokładnych kopii komórki rodzicielskiej (szczegóły zostały omówione w rozdziale 6.).

Zwierzęta wykształciły różne sposoby rozmnażania bezpłciowego.

- **Pączkowanie** rozpoczyna się od pojawienia się niewielkiej narośli na organizmie rodzicielskim. Wybrzuszenie to rośnie z upływem czasu i w końcu odrywa się od rodzica, tworząc nowy organizm. W ten sposób rozmnażają się niektóre bezkręgowce, na przykład stułbie.
- **Podział podłużny/poprzeczny** występuje wtedy, gdy organizm rodzicielski rośnie, a następnie dzieli na dwa młodsze osobniki. Przykładem organizmów rozmnażających się przez podział są ukwiały.
- **Fragmentacja** polega na odrywaniu się malutkich strzępków od organizmu rodzicielskiego, które następnie przekształcają się w samodzielne organizmy. Do zwierząt rozmnażających się poprzez fragmentację zaliczamy między innymi rozgwiazdy.



W przypadku organizmów oddzielonych nieprzekraczalną barierą od innych przedstawicieli swojego gatunku oraz gatunków dobrze przystosowanych do swojego środowiska życia rozmnażanie bezpłciowe stanowi nie lada zaletę. Jednak to, co sprawia, że rozmnażanie bezpłciowe jest bardzo przydatne pewnym gatunkom — chodzi tu o zapobieganie zmianom

genetycznym populacji — stanowi również jego największą wadę. Jeżeli identyczne organizmy zostaną zaatakowane przez jakąś chorobę lub pojawią się zmiany środowiska, w równym stopniu odczuje to cała populacja. Jeśli więc choroba jest bardzo śmiertelna, cała populacja wyginie. Innymi słowy, gdyby wszystkie organizmy danego gatunku były takie same, to prawdopodobnie nastąpiłaby jego błyskawiczna ekstynkcja. Ostatecznie każdy gatunek ma większą szansę na przetrwanie, jeżeli tworzące go osobniki nieznacznie różnią się między sobą.

Co się kryje za rozmnażaniem płciowym?

Do rozmnażania bezpłciowego wystarczy jeden organizm (dzieli się on na organizmy potomne), natomiast rozmnażanie płciowe wymaga udziału dwojga rodziców. Potomstwo powstałe w wyniku rozmnażania płciowego rozwija się i rośnie przez pewien czas.

U zwierząt proces rozmnażania płciowego rozpoczyna się od dwóch pojedynczych komórek — plemnika i komórki jajowej. W trakcie zapłodnienia te dwie komórki łączą się ze sobą, tworząc zupełnie nowy organizm zdolny do produkcji komórek jajowych lub plemników^[1]. Z tego wynika, że organizm potomny może kontynuować cykl życiowy i przekazać materiał genetyczny kolejnemu pokoleniu.

W kolejnych ustępach zagłębimy się w szczegóły rozmnażania płciowego, począwszy od budowy komórek płciowych i rytuałów godowych, aż do procesu umożliwiającego poczęcie nowego ludzkiego życia (skupimy się głównie na rozmnażaniu człowieka, gdyż jest to temat dotyczący nas wszystkich).

Kilka słów na temat gamet

Gametami nazywamy komórki płciowe występujące u rozmnażających się płciowo organizmów. W przypadku organizmów na nieco wyższym poziomie rozwoju istnieją dwa rodzaje gamet: plemniki i komórki jajowe. W każdej gamecie znajduje się połowa chromosomów występujących w komórkach dorosłego organizmu. Po połączeniu się plemnika z komórką jajową organizm potomny posiada pełen garnitur chromosomów wymagany do życia.

Gamety powstają w procesie zwanym **gametogenezą**. W jego trakcie komórki przechodzą podział mejotyczny w celu zredukowania liczby chromosomów o połowę (mejoza została szczegółowo opisana w rozdziale 6.). Na przykład ludzkie komórki zawierają 46 chromosomów, zatem gamety posiadają jedynie po 23 chromosomy. Gametogeneza jest w całości regulowana przez **hormony**, cząsteczki białkowe uruchamiające, zatrzymujące oraz modyfikujące wiele procesów metabolicznych (więcej informacji na temat hormonów znajdziesz w rozdziale 18.). Gametogenezę omówimy dokładniej w dalszej części rozdziału.

Uwaga: Skupiamy się głównie na ludziach, ale mechanizm gametogenezy wygląda bardzo podobnie u niemal wszystkich zwierząt rozmnażających się płciowo. Różnice polegają na dobieraniu się w pary oraz na sposobach przekazywania gamet.

Spermatogeneza — produkcja małych pływaków

Plemniki są gametami męskimi, natomiast proces ich wytwarzania to **spermatogeneza**. Począwszy od wieku dojrzewania, młodzi mężczyźni produkują miliony plemników dziennie. Komórki te żyją bardzo krótko w organizmie męczyzny, dlatego muszą być ciągle wytwarzane.

Proces spermatogenezy rozpoczyna się w **spermatogoniach**, komórkach zawierających pełen garnitur (46) chromosomów. Przylegają one do ścianek kanalików nasiennych. Gdy męskie hormony dają sygnał do rozpoczęcia spermatogenezy, spermatogonia ulegają podziałowi mitotycznemu, tworząc komórki zwane **spermatocytami pierwszego rzędu**, które ciągle zawierają 46 chromosomów. Od tego momentu spermatogeneza przebiega następująco:

1. Każdy spermatocyt pierwszego rzędu przechodzi pierwszy podział mejotyczny, dzięki któremu powstają dwa spermatocyty drugiego rzędu.

Spermatocyty drugiego rzędu zawierają już tylko po 23 zreplikowane chromosomy (replikacja została opisana w rozdziale 6.).

2. Każdy spermatocyt drugiego rzędu przechodzi przez drugi podział mejotyczny, w wyniku czego powstają cztery spermatydy posiadające po 23 chromosomy.

3. Spermatydy przekształcają się w dojrzałe plemniki.

Proces ten polega na wykształceniu u spermatydy główki, szyjki, wstawki i wici. Najpierw wytwarza się akrosom, w którym znajdują się enzymy niezbędne do pokonania osłon komórki jajowej. Jądro ulega kondensacji i staje się główką plemnika, a w rejonie wstawki gromadzą się mitochondria. Wykształca się więc umożliwiająca poruszanie się plemnikowi w płynnym środowisku — dzięki niej plemnik może pływać. Mitochondria we wstawce plemnika zapewniają dopływ energii do wici.

Oo, oo, oogeneza — wytwarzanie komórek jajowych

W trakcie **oogenezy** produkowane są żeńskie gamety, czyli **komórki jajowe**. Kobieta rodzi się z kompletem komórek jajowych (oznacza to, że oogeneza występuje w trakcie rozwoju płodowego). Komórki te pozostają uśpione aż do wkroczenia dziewczyny w okres dojrzewania, gdy żeńskie hormony wprowadzają je w cykl menstruacyjny (miesiączkowy) — powtarzający się co miesiąc od początku dojrzewania aż do osiągnięcia menopauzy przez kobietę.

Oogeneza rozpoczyna się od komórek zwanych **oogoniami** (liczba pojedyncza: **oogonium**), zawierających 46 chromosomów. Komórki te rosną i przekształcają się w **oocyty pierwszego rzędu**. Dalej proces oogenezy przedstawia się następująco:

1. Oocyty pierwszego rzędu rozpoczynają przechodzenie podziału mejotycznego, ale zatrzymują się mniej więcej w połowie tego procesu.

Komórki te zostają uśpione aż do momentu wkroczenia kobiety w okres dojrzewania.

2. Gdy żeńskie hormony płciowe zaczynają docierać do jajników w trakcie dojrzewania, uruchomiony zostaje cykl menstruacyjny prowadzący do owulacji i dokończenia mejozy rozpoczętej na 1. etapie.

Owulacja (jajeczkowanie), czyli wypuszczenie komórki jajowej z jajnika, następuje w połowie cyklu miesiączkowego. Oocyt pierwszego rzędu zostaje przygotowany do **zapłodnienia** — połączenia komórki jajowej z plemnikiem — poprzez dokończenie pierwszego podziału mejotycznego, w wyniku którego powstają dwie różne komórki: **oocyt drugiego rzędu** (zwany **komórką potomną**) zawierający większość cytoplazmy (zatem jest większy) oraz **ciałko kierunkowe pierwszego rzędu**, posiadające

minimalną ilość cytoplazmy (a więc jest bardzo małe). Obydwie komórki mają po 23 chromosomy.

3. Zarówno oocyt drugiego rzędu, jak i ciało kierunkowe pierwszego rzędu przechodzą drugi podział mejotyczny.

Oocyt drugiego rzędu ponownie przechodzi podział prowadzący do powstania dwóch niesymetrycznych komórek, w wyniku czego powstaje duża komórka jajowa i ciało kierunkowe drugiego rzędu. Z kolei z ciała kierunkowego pierwszego rzędu powstają dwa takie same ciała kierunkowe drugiego rzędu. Wszystkie powstałe komórki zawierają po 23 chromosomy.

Dzięki nierównemu podziałowi cytoplazmy (**cytokinezie**) komórka jajowa otrzymuje jej pełen zapas. W ten sposób ma zapewnioną wystarczającą ilość związków odżywczych i organelli do rozwoju zarodka. Z jednego oogonium powstaje tylko jedna komórka jajowa. Pozostałe ciała kierunkowe po prostu obumierają.



U kobiet oocyty mogą znajdować się w stanie uśpienia nawet przez ponad 40 lat! Od momentu zakończenia pierwszego etapu jeszcze przed narodzinami aż do osiągnięcia menopauzy oocyty zostają „zawieszone” w oczekiwaniu na przekształcenie się w komórkę jajową i zapłodnienie. Z tysięcy oocytów wykształconych w organizmie kobiety mniej więcej tylko 500 zostaje przekształcone w dojrzałe komórki jajowe.

Rytuały godowe oraz inne przygotowania do wielkiego zdarzenia

U ludzi zbliżenie seksualne dwóch osób może nastąpić w dowolnym miejscu i czasie, a jedynym warunkiem jest dobrowolna zgoda obydwu zainteresowanych stron. Z kolei

większość zwierząt musi przestrzegać bardziej rygorystycznych zasad dotyczących okresów i zachowań godowych.

Założmy na chwilę, że jesteś samicą ostrygi zamieszkującą morskie dno. W ciągu każdego sezonu godowego wypuszczasz do wody 60 milionów jajeczek (wcale nie przesadzamy). Przy takiej liczbie jajeczek natrafienie na osobnika przeciwnej płci to kwestia przypadku. Pozostaje Ci tylko nadzieja, że któraś z komórek jajowych natrafi na plemnik pochodzący od samca ostrygi i zostanie zapłodniona. Pozostawianie przypadkowi szansy przetrwania gatunku stanowi jeden z powodów, dla których samice ostryg wytwarzają tak dużą ilość komórek jajowych. Oczywiście zdecydowana większość jajeczek nigdy nie natrafia na tego jedyne; w przeciwnym wypadku oceany byłyby wypełnione po brzegi ostrygami, a perły straciłyby znacznie na wartości. Co by się jednak stało, gdybyś wypuściła/wypuścił te miliony jajeczek, bo tak Ci się podoba, a żaden samiec w okolicy nie byłby w nastroju, żeby uwolnić swoje plemniki? Wtedy pozostałabyś/pozostałbyś wyłącznie ze swoją muszlą i byłyby nici z potomstwa. U zwierząt występują cykle i okresy godowe właśnie po to, aby opisana sytuacja nigdy się nie zdarzyła.

W następnych ustępach wyjaśnimy, skąd zwierzęta wiedzą, że nadszedł czas na poszukiwanie partnera, oraz co robią, aby go przywabić. Przyjrzymy się również cyklowi płciowemu człowieka, ponieważ odgrywa on istotną rolę w przetrwaniu gatunku ludzkiego.

Dopasowanie do sezonu godowego

Aby się rozmnażać, przedstawiciele danego gatunku muszą się ze sobą zsynchronizować. Innymi słowy, muszą w tym samym czasie czuć popęd płciowy.

Większość gatunków kopuluje wtedy, gdy warunki są optymalne. Często jest to pora roku, w której potomstwo ma

największe szanse na przeżycie. Na przykład u jeleni **ciąża** (okres czasu, w którym płód rozwija się w organizmie samicy ssaka) trwa w przybliżeniu od pięciu do sześciu miesięcy. Najlepszym okresem, w którym cielak (mały jelonek) może się narodzić, jest wiosna, ponieważ występuje wtedy obfitość pożywienia, temperatury są nieco wyższe, na drzewach znajdują się liście, a krzaki zapewniają osłonę. Jest to również optymalny czas dla młodych, gdyż zdążą się rozwinąć, zanim wystąpią surowe, zimowe warunki. Zatem odejmując od wiosny pięć lub sześć miesięcy, wychodzi na to, że optymalnym okresem godowym dla jeleni jest okres pomiędzy październikiem a listopadem. Dokładnie wtedy można spotkać byki walczące ze sobą o łanie. Najsilniejszy byk (prawdopodobnie posiadający najlepsze geny) zostaje dopuszczony do kopulacji i przekazuje swoje geny, dzięki czemu przedłuża ciągłość gatunkową.

Czasami jednak gody są wywoływane przez określone zjawiska przyrodnicze. Na przykład zwierzęta **wodne** żyjące na pustyni rozmnażają się jedynie wtedy, gdy w wyniku sporadycznych opadów deszczów powstaną tymczasowe stawy i kałuże. Podczas pory suchej przechodzą one w stan **diapauzy**, czyli uśpienia. Ich metabolizm znacznie zwalnia i nie odczuwają skrajnych temperatur ani suszy. Gdy tylko spadnie deszcz, organizmy te natychmiast się uaktywniają, szybko się odżywiają i płodzą potomstwo rozwijające się jak najszybciej przed wyschnięciem stawu. Po jego wyparowaniu kolejne pokolenie tych organizmów wkracza w stan diapauzy w oczekiwaniu na przyływ chmur burzowych.

Wabienie partnera

Ptaki i pszczoły rozmnażają się płciowo, ale nie odczuwają uczuć wyższych, takich jak miłość. Nie martwią się również o wierność partnera seksualnego ani nie boją się, że nie okaże zaangażowania. Pszczoły „robią to” wyłącznie w celach prokreacyjnych.



Miłość nie jest elementem niezbędnym do rozmnażania, w przeciwieństwie do atrakcyjności seksualnej. Zwierzęta wykorzystują najczęściej przynajmniej jeden z dwóch mechanizmów do wabienia partnera.

- **Rytuały godowe.** Rytuałami godowymi nazywamy zachowania zwierząt służące do wabienia partnera seksualnego. Zwierzęta (przeważnie samce) „ukazują” wtedy swoje najlepsze cechy, starając się udowodnić w ten sposób, że będą dobrymi partnerami. Samce mogą ze sobą walczyć w celu wyłonienia najsilniejszego osobnika; z kolei przedstawiciele innych gatunków starają się pokazać, że posiadają dostęp do wielu zasobów, na przykład pokarmu czy przestrzeni do gniazdowania. Weźmy na przykład gołębie. W sezonie lęgowym samiec stara się przekonać do siebie samicę, dumnie krocząc, nachylając się i gruchając w pobliżu potencjalnej partnerki. Zanim jednak przystąpią do kopulacji, budują wspólnie własne gniazdko (brzmi znajomo?). Najpierw wybierają dogodne miejsce, a następnie razem pracują nad budową. Podczas zakładania gniazda robią sobie przerwę i **kopulują** (jest to naukowe określenie na uprawianie seksu). Kilka dni później samica składa dwa jaja w nowo założonym gnieździe, a po wykluciu piskląt są one karmione przez obydwoje rodziców. Gdy maluchy są już gotowe do samodzielnego zdobywania pożywienia (mniej więcej po 2 - 3 tygodniach), rodzice znowu kopulują ze sobą i są gotowi do powtórzenia cyklu.

- **Drugorzędowe cechy płciowe.** Wykształcają się one w trakcie dojrzewania organizmu i nie są

tak charakterystyczne jak **pierwszorzędowe cechy płciowe** (narządy rozrodcze męskie i żeńskie). U ludzi do drugorzędowych cech płciowych zaliczamy specyficzne owłosienie (męski zarost), obniżenie tembru głosu (u mężczyzn), przyrost masy mięśniowej (u mężczyzn), rozrost tkanki tłuszczowej (u kobiet) oraz pojawienie się piersi (u kobiet). Samcom jeleni wyrasta poroże, samcom lwów — grzywa, a u samca pawia możemy podziwiać piękny tren (ogon) o charakterystycznym, wachlarzowatym kształcie.

Cykle płciowe u człowieka

Chociaż człowiek jest zdolny do rozmnażania się przez okrągły rok, jego również obowiązują cykle płciowe. Plemnik może zapłodnić komórkę jajową o dowolnej porze, ale sama komórka jajowa jest gotowa do zapłodnienia jedynie przez kilka dni w miesiącu. Z tego powodu rozmnażanie człowieka jest sterowane przez **cykl jajnikowy** (dojrzewanie komórki jajowej w jajniku) oraz **cykl miesięczkowy (menstruacyjny)**; powtarzający się szereg zmian w organizmie związany z jajeczkowaniem). Obydwa cykle są sterowane hormonalnie (więcej informacji na temat hormonów znajdziesz w rozdziale 18.).

W ustępie „Oo, oo, oogeneza — wytwarzanie komórek jajowych” wyjaśniliśmy, że przed opuszczeniem jajnika oocyt musi przejść do końca przez podział mejotyczny i przekształcić się w dojrzałą komórkę jajową. Wierz lub nie, ale za cały ten proces odpowiedzialny jest... mózg.

Znajdujące się wewnątrz mózgu podwzgórze reguluje stężenie hormonów estrogenu i progesteronu we krwi. Jeżeli w organizmie znajduje się zbyt mało tych hormonów, podwzgórze wydziela inny hormon, zwany **gonadoliberyną** (ang. *gonadotropin-releasing hormone* — GnRH), który

dostaje się od razu do przysadki mózgowej (również znajdującej się we wnętrzu mózgu) i pobudza ją do wytwarzania folikulotropiny (ang. *follice-stimulating hormone* — FSH) i luteotropiny (ang. *luteinizing hormone* — LH). Obydwa te hormony uruchamiają cykl jajnikowy poprzez doprowadzenie podziału meiotycznego do końca i kontynuowanie przekształcania **pęcherzyków jajnikowych** (są to oocyty otoczone warstwą komórek pęcherzykowych) do postaci dojrzałej komórki jajowej. Dojrzewające pęcherzyki wzrastają i rozwijają się w **pęcherzyki Graafa**, które wydzielają hormon **estrogen**.

Mniej więcej w połowie cyklu jajnikowego, gdy podwzgórze rejestruje wzrost estrogenu w krwiobiegu, zaczyna wydelać większe ilości GnRH, co w następstwie powoduje wytwarzanie jeszcze większych ilości LH przez przysadkę mózgową. Hormon luteinizujący powoduje uwolnienie komórki jajowej z pęcherzyka Graafa znajdującego się w jajniku — innymi słowy, LH stymuluje owulację (jajeczkowanie). Powoduje ono również przekształcenie pozostałej po owulacji części pęcherzyka Graafa w grupę komórek zwaną **ciałkiem żółtym**, które wydela przez resztę cyklu jajnikowego (mniej więcej dwa tygodnie) estrogen i progesteron. Substancje te przygotowują organizm do ewentualnej ciąży poprzez pobudzenie wytwarzania większej liczby naczyń krwionośnych w śluzówce macicy i powoduje zwiększenie jej grubości i jakby „spulchnienie”, co jest jednoznaczne ze zwiększeniem dostępu do substancji odżywczych dla zarodka.

Podwzgórze wykrywa stężenia obydwu hormonów wyznaczające gotowość macicy do zagnieżdżenia w niej zarodka. Jeżeli zapłodnienie:

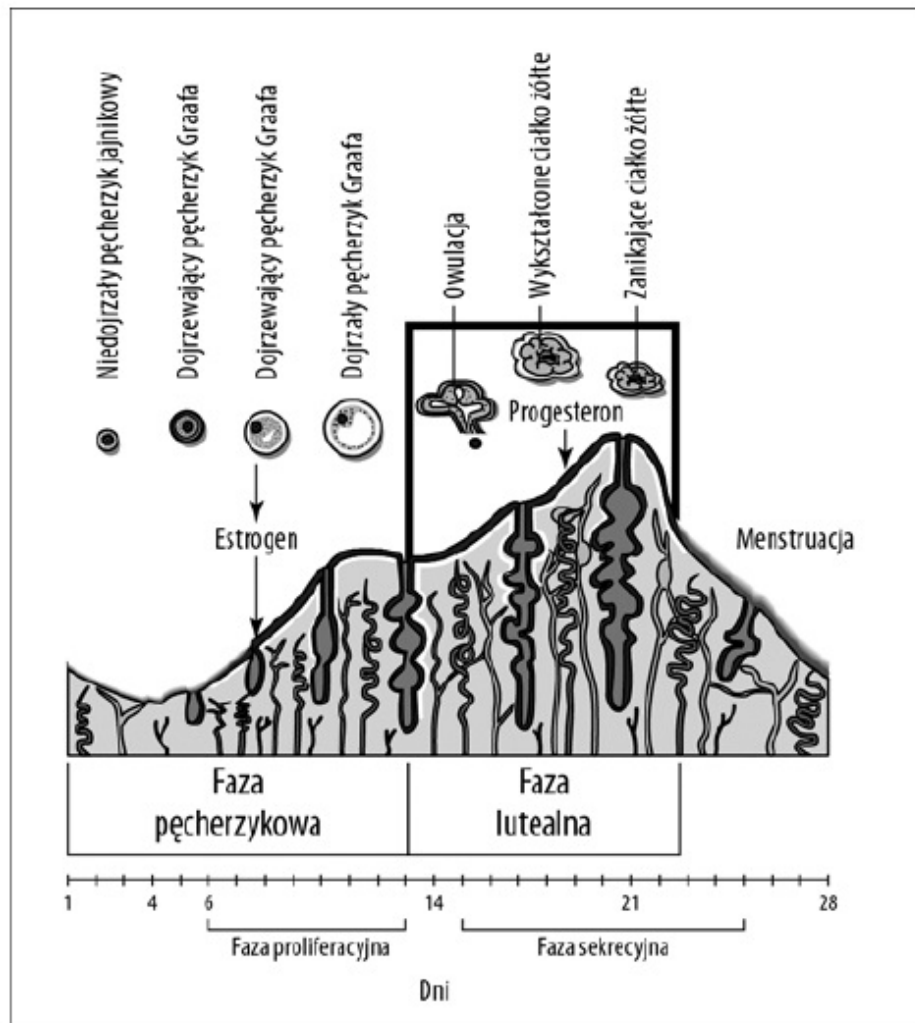
- **Nastąpiło** — zapłodniona komórka jajowa zagnieżdża się w jamie macicy i rozpoczyna się rozwój zarodka. Zarodek ten od razu zaczyna wydelać hormon **gonadotropinę kosmówkową**

(ang. *human chorionic gonadotropin* — hCG). Jego obecność sprawia, że ciągle są wydzielane progesteron i estrogen, dzięki czemu śluzówka macicy pozostaje bogato unaczyniona. Po wykształceniu się **łożyska** (ukrwionego, zasobnego w związku odżywcze tymczasowego narządu) zarodek otrzymuje wszystkie niezbędne do życia substancje poprzez pępowinę łączącą płód z układem krwionośnym matki. Oznacza to, że po wykształceniu łożyska zarodek przestaje wytwarzać hCG.



Testy ciążowe opierają się na wykrywaniu obecności hCG. Hormon ten jest wytwarzany jedynie przez zapłodnione komórki jajowe, zatem wyłącznie kobiety w początkowym stadium ciąży powinny posiadać jego wykrywalne stężenie.

• **Nie nastąpiło** — komórka jajowa nie wydziela hCG, zatem podwzgórze każe przestać przysadce mózgowej wytwarzać FSH i LH. W wyniku tego przestają być produkowane estrogen oraz progesteron, co powoduje ograniczenie dostarczania dodatkowych związków odżywczych do śluzówki (zwanej czasem **endometrium** lub **wyścieliskiem**) macicy. Endometrium w końcu ulega rozpadowi i jest usuwane z organizmu podczas krwawienia miesięczkowego. Pierwszy dzień krwawienia miesięczkowego jest również uznawany za pierwszy dzień cyklu menstruacyjnego (został on zilustrowany na rysunku 19.1). Spadek stężenia LH powoduje również zniszczenie ciała żółtego, co stanowi zakończenie cyklu jajnikowego.



Rysunek 19.1. Cykl miesięczny

Material pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 3, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins



Cykle jajnikowy i menstruacyjny występują w tym samym czasie i są ze sobą synchronizowane dzięki hormonom, ale w każdym z nich występują odmienne zjawiska.

- W cyklu jajnikowym mamy do czynienia z rozwojem pęcherzyka jajnikowego, który potem przeobraża się w pęcherzyk Graafa i wydziela hormony, z jajczkowaniem oraz wytworzeniem ciała żółtego. Przebiega on w jajniku, trwa mniej

więcej 28 dni i jest regulowany przez GnRH, FSH, LH i estrogen.

- Cykl menstruacyjny zaczyna się od pogrubienia endometrium w celu przyjęcia potencjalnego zarodka, a w przypadku braku zapłodnienia kończy się usunięciem śluzówki macicy. Przebiega on w macicy, trwa również około 28 dni i jest regulowany stężeniami estrogenu oraz progesteronu.



W czasie życia kobiety w jej organizmie jest zapładnianych znacznie więcej komórek jajowych, niż mogłaby przypuszczać. Nie każda zapłodniona komórka jajowa oznacza od razu wierzgającego chłopca lub dziewczynkę. Jeżeli od samego początku występują nieprawidłowe stężenia hormonów, zapłodniona komórka jajowa może nie być w stanie się zagnieździć lub zagnieździ się, ale nie będzie wydzielać wystarczającej ilości hormonów do utrzymania ciąży. Jeżeli zarodek nie wytwarza odpowiedniej ilości hCG, ciąża zostaje przerwana, a zarodek ulega **samoistnemu poronieniu**. Często skutkiem takiego samoistnego poronienia jest wyjątkowo nieprzyjemna, spóźniająca się o kilka dni miesiączka.

Nadużywanie gościnności

Po wykształceniu pęcherzyka Graafa i uwolnieniu komórki jajowej pozostała w jajniku część pęcherzyka podlega zmianom: otoczka pęcherzyka zaczyna stopniowo wypełniać się komórkami luteinowymi i przeobraża w **ciałko żółte**. Jeżeli komórka jajowa zostanie zapłodniona i zarodek zagnieździ się w jamie macicy, ciałko żółte wspomaga jego rozwój w pierwszym okresie ciąży. Przez kilka tygodni wydziela progesteron aż do wykształcenia łożyska, które samo jest zdolne do wytwarzania tego hormonu (rola progesteronu polega na utrzymywaniu dodatkowego ukrwienia śluzówki macicy, do której dociera większa ilość tlenu i związków odżywczych). Czasami ciałko żółte pozostaje w

organizmie przez kilka miesięcy, ale w większości przypadków po prostu zanika w trakcie ciąży.

Nie bez powodu użyliśmy sformułowania „w większości przypadków”. W około 10% sytuacji ciałko żółte pozostaje w jajniku znacznie dłużej, niż powinno. Czasami jest tam nawet wtedy, gdy kobieta nie zachodzi w ciążę. W takim przypadku przekształca się ono w **torbiel ciałka żółtego**. Zazwyczaj nie stanowi ona problemu, czasem jednak nie przestaje rosnąć, pęka lub zmienia kształt — wtedy konieczna jest ingerencja chirurgiczna.

Współżycie seksualne u ludzi



Najważniejszą kwestią dotyczącą współżycia seksualnego jest fakt, że w wyniku krzyżowania się przedstawicieli różnych gatunków niemożliwe jest spłodzenie potomstwa. Jak by nie patrzeć, sednem rozmnażania płciowego jest stworzenie nowego pokolenia posiadającego informację genetyczną pochodzącą z poprzednich generacji. Rozmnażanie międzygatunkowe nie ma racji bytu, ponieważ każdy gatunek posiada odrębną liczbę chromosomów zawierających różniące się informacje genetyczne. Na przykład ludzie posiadają w każdej komórce 46 chromosomów, a szympany — 48. Gdyby ludzie spółkowali z szympanсами, podziały komórkowe nie zachodziłyby prawidłowo, a ewentualne potomstwo (nawet nie próbujemy sobie tego wyobrazić) prawdopodobnie długo by nie przetrwało.



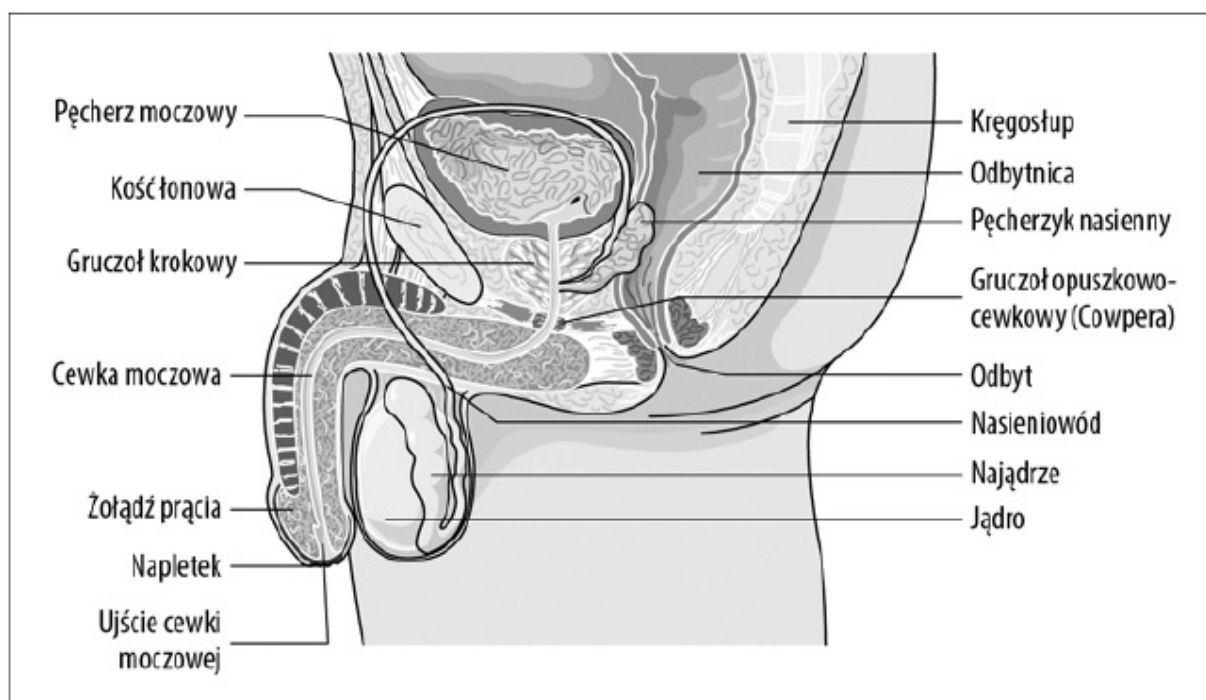
Komórki jajowe zawierają na powierzchni błony komórkowej warstwę białek receptorowych wyspecjalizowanych wyłącznie w rozpoznawaniu plemników pochodzących od przedstawicieli tego samego gatunku. U ludzi warstwa chroniąca przed zapłodnieniem przez inne gatunki jest nazywana **osłonką przejrzystą**. Tylko ludzkie

plemniki są zdolne złamać szyfr do wnętrza komórki jajowej.

W kolejnych ustępach wyjaśnimy, w jaki sposób ludzie „robią” dzieci (jeżeli rodzice nie przeprowadzili jeszcze z Tobą odpowiedniej rozmowy na ten temat, możesz im powiedzieć, że nie ma już takiej potrzeby).

Narządy płciowe człowieka

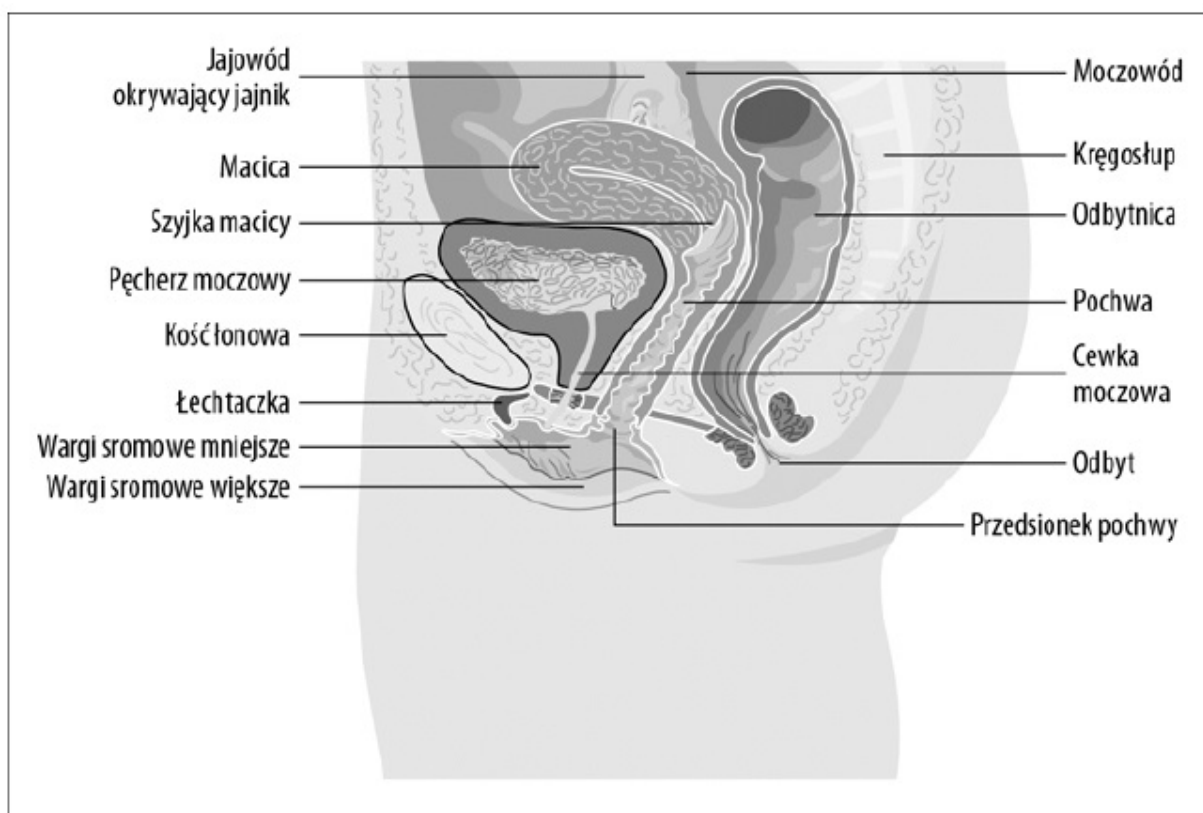
Zanim zajmiemy się rozmnażaniem człowieka, warto poświęcić chwilę omówieniu narządów pozwalających na przeprowadzenie tego procesu. Jak widać na rysunku 19.2, do męskich narządów płciowych zaliczamy penis, jądra, nasieniowody. Kluczową częścią jądra są kanaliki nasiennie. Właśnie w tych kanalikach w wyniku spermatogenezy (opisanej we wcześniejszej części rozdziału) wytwarzane są plemniki.



Rysunek 19.2. Męskie narządy płciowe

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Z kolei żeńskie narządy płciowe składają się z pochwy, macicy, jajników oraz jajowodów (rysunek 19.3). Komórki jajowe są wytwarzane w jajnikach podczas oogenezy (którą również opisujemy na początku rozdziału).



Rysunek 19.3. Żeńskie narządy płciowe

Materiał pochodzi z LifeART®, Super Anatomy 1, © 2002, Lippincott Williams & Wilkins

Stosunek płciowy

W celu przygotowania organizmu do **stosunku płciowego** (wprowadzenia penisa do pochwy) zarówno mężczyźni, jak i kobiety wykonują czynności zwiększające ich **podniecenie seksualne** (wrażliwość na pobudzanie zmysłów). U pobudzonego seksualnie mężczyzny penis znajduje się w stanie wzwodu, ponieważ tworząca go tkanka jamista zostaje wypełniona krwią. Dzięki wzwodowi penis sztywnieje w stopniu umożliwiającym pozostanie wewnątrz pochwy

podczas stosunku. U kobiet za doznania odpowiada wyjątkowo wrażliwa **lechtaczka**. Podobnie jak penis zbudowana jest ona z tkanki jamistej oraz posiada żołądź. U podnieconej kobiety lechtaczka (znajdująca się w przedniej części warg sromowych, tuż poniżej kości łonowej) zostaje wypełniona krwią, a zwiększony nacisk powoduje napływ wydzieliny do pochwy. W ten sposób pochwa zostaje odpowiednio nawilżona, dzięki czemu penis w czasie stosunku wnika w nią z łatwością.

Podczas kopulacji żołądź prącia niemal sięga **szyjki macicy**, czyli dolnej części macicy przechodzącej w pochwę. Plemniki muszą przepłynąć przez szyjkę macicy w celu zapłodnienia komórki jajowej. Podczas współżycia seksualnego plemniki wędrują z **najądrzy** (kanalików w worku mosznowym przechowujących wytworzone nasienie) poprzez **nasieniowody** do cewki moczowej, a stamtąd na zewnątrz organizmu.

Czynności wykonywane w trakcie kopulacji doprowadzają zarówno mężczyznę, jak i kobietę do maksymalnego pobudzenia, którego punkt kulminacyjny stanowi orgazm.

Orgazm

Wierz lub nie, ale **orgazm** (szczytowanie) — bardzo przyjemne zwieńczenie stosunku płciowego — pełni funkcję fizjologiczną. Wraz ze wzrostem pobudzenia seksualnego mężczyzny plemniki wędrują nasieniowodami do cewki moczowej, mieszając się po drodze z wydzieliną trzech gruczołów (pęcherzyków nasiennych, gruczołu krokowego i gruczołu Cowpera) i tworząc **sperme** (nasienie). Zawarte są w niej następujące „składniki” ułatwiające zapłodnienie:

- **fruktoza** — cukier ten stanowi źródło energii dla plemników płynących pod prąd;
- **prostaglandyny** — hormony wywołujące skurcze macicy, ułatwiające tym samym podróż plemnikom;

- **pH o wartości 7,5** — takie dość zasadowe środowisko stanowi podstawowe środowisko życia plemników, które neutralizuje kwaśne środowisko wnętrza pochwy — zabójcze dla małych pływaków.

Orgazm pojawia się w szczytowym punkcie podniecenia seksualnego i charakteryzuje się skurczami mięśniowymi oraz przyjemnym wrażeniem rozluźnienia. W wyniku skurczów następuje wytrysk nasienia z penisa — zjawisko zwane **ejakulacją**. Przeciętnie w ciągu jednej ejakulacji zostaje wypuszczona mniej więcej jedna łyżeczka nasienia, w której, o dziwo, pływa ponad 400 milionów plemników.



Podczas orgazmu u mężczyzn zwieracz pęcherza moczowego zapobiega wydostaniu się moczu do cewki moczowej. Dzięki temu cewka moczowa w chwili orgazmu służy wyłącznie do ejakulacji (u mężczyzn cewka moczowa jest współdzielona przez układy moczowy i płciowy; w przypadku kobiet cewka moczowa jest wykorzystywana wyłącznie przez układ moczowy).

Szczytowanie u kobiet również objawia się skurczami mięśni oraz przyjemnymi doznaniem. Wydzielina pochwy stwarza wodniste środowisko ułatwiające plemnikom poruszanie się. Poprzez skurcze mięśni macicy jej szyjka nieco się rozwiera, pozwalając wniknąć plemnikom do środka, a także „wciągając” nasienie w kierunku jajowodów.

Zapłodnienie

Tuż po ejakulacji plemniki muszą nieźle się napracować, żeby dotrzeć do komórki jajowej. Czeka je podróż z pochwy, poprzez umięśnioną szyjkę macicy, przez całą jamę macicy aż do jajowodów, gdzie — w rozszerzeniu zwanym bańką jajowodu — następuje **zapłodnienie** (połączenie się plemnika z komórką jajową).

Ludzka komórka jajowa żyje nie dłużej niż 24



godziny po owulacji, a plemniki przeżywają do 72 godzin, dlatego jedyne możliwości zapłodnienia w danym miesiącu występują do trzech dni przed jajczkowaniem oraz jeden dzień po nim.

Jeżeli plemnikowi uda się dotrzeć do komórki jajowej, musi wnikać do jej wnętrza, aby przekazać swoje 23 chromosomy. Nie jest to jednak takie proste, ponieważ komórka jajowa jest otoczona kilkoma warstwami komórek oraz posiada grubą błonę komórkową. Plemnik radzi sobie z tym problemem, wytwarzając enzymy i gromadząc je w specjalnej organelli zwanej **akrosomem**. Enzymy akrosomalne trawią ochronne warstwy komórki jajowej (można więc stwierdzić, że plemnik dosłownie „wyjada” sobie drogę do jej wnętrza). Plemnik nie jest jednak osamotniony w swych trudach^[2]. Komórka jajowa pomaga mu w tym zadaniu, przechodząc zmiany w strukturze fizycznej i chemicznej. W wyniku udanego zapłodnienia obydwie gamety tworzą komórkę zawierającą pełen garnitur chromosomowy człowieka.

Jak „to robią” inne zwierzęta?

Jak powszechnie wiadomo, ludzie nie są jedynymi istotami dobierającymi się w pary i rozmnażającymi się płciowo. Niemal wszystkie zwierzęta to robią. Pytanie brzmi: w jaki sposób przebiega to u nich?

Poniżej omawiamy sposoby rozmnażania się pszczoł, ptaków, robaków oraz jeżowców, a także wyjaśnimy mechanizmy kształtowania się zygot (**zygota** nazywamy komórkę powstałą z zapłodnienia gamet). **Uwaga:** Wybraliśmy opis zachowań seksualnych oraz powstawania zygot u tych

gatunków w celu zaprezentowania różnych strategii rozmnażania występujących w królestwie zwierząt.

- **Pszczoły.** Proces rozmnażania się pszczół nosi nazwę **partenogenezy (dzieworództwa)**; grecki wyraz *parthenos*^[3] oznacza „dziewica”, a *genesis* — „początek”, „narodziny”). Pszczela królowa w czasie swojego lotu godowego gromadzi w wyniku kopulacji z **trutniami** (samcami nieposiadającymi pełnego garnituru chromosomów — są haploidalne) cały zapas nasienia, którym będzie przez resztę życia zapładniała swoje jajeczka. Nie musi ona już więcej kopulować, ponieważ przechowuje nasienie we wnętrzu organizmu i posiada pełną kontrolę nad procesami zapładniania.

Podczas składania jaja królowa zapładnia je, używając do tego zgromadzonego zapasu nasienia. Z zapłodnionych jaj wykluwają się samice, bardzo często będące robotnicami (są one organizmami diploidalnymi, jednak nie posiadają możliwości wytwarzania gamet, czyli nie mogą się rozmnażać). Z nielicznych zapłodnionych jaj powstają nowe królowe. Z kolei jeżeli królowa nie wypuści nasienia i uniemożliwi zapłodnienie, z jaj wykluwają się trutnie. Komórki znajdujące się w jądrach trutni przekształcają się w gamety. Trutnie po uzyskaniu dojrzałości płciowej wylatują z ula w poszukiwaniu młodej królowej (jeżeli nie wiesz, co znaczą pojęcia „**haploidalny**” i „**diploidalny**”, zajrzyj do rozdziału 6.)

^[4].

- **Ptaki.** Ptaki kopulują, a samiec pozostawia nasienie w organizmie samicy. Gdy komórka jajowa zostanie zapłodniona, otrzymuje kilka dodatkowych warstw w jajowodzie (m.in. białko i skorupę) i w formie jaja zostaje zniesiona do środowiska zewnętrznego, gdzie będzie dojrzewać, aż z wnętrza wykluje się pisklę. Zarodek rozwija się w **żółtku**, natomiast **białko** stanowi ochronę

i dodatkowe źródło związków odżywczych dla rosnącego organizmu.

Tuż po zapłodnieniu pewien obszar ptasiej komórki jajowej ulega podziałom komórkowym zwanym bruzdkowaniem. Pod koniec bruzdkowania po jednej stronie żółtka wykształca się warstwa blastodermy.

Blastoderma to pierwsza warstwa komórek, z których powstanie organizm pisklęcia; rozdziela się ona na **epiblast** (górną warstwę) oraz **hipoblast** (dolną warstwę). Komórki epiblastu wędrują w kierunku hipoblastu wzdłuż granicy żółtka, tworząc **smugę pierwotną**, która ulegnie zmianie w **mezoderme** — trzecią warstwę komórek, z której powstaną niektóre tkanki ptaka.

- **Dżdżownice**. Dżdżownice są **hermafrodytami (obojnakami)**, co oznacza, że każdy osobnik posiada zarówno męskie, jak i żeńskie narządy płciowe (dokładniej mówiąc: jajniki, jądra, pęcherzyki nasienne, nasieniowody i zbiorniki nasienne). W czasie kopulacji dżdżownice stykają się ze sobą brzuszными częściami ciała i złączają się siodełkami. **Siodełkiem** nazywamy zewnętrzną, gładką, niepodzieloną na segmenty część ciała dżdżownicy; jego zadaniem jest wytwarzanie śluzu oraz transportowanie nasienia wydzielanego przez drugiego osobnika do zbiornika nasiennego. Powstają kokony chronione przez warstwę śluzu wytwarzanego przez siodełko. We wnętrzu kokonu następuje zapłodnienie i zygota pozostaje w nim aż do momentu wyklucia.

- **Wypławki**. Te słodkowodne płazińce są dość specyficzne, ponieważ rozmnażają się zarówno bezpłciowo (poprzez zwężenie fragmentu ciała i dosłownie rozpad na dwa organizmy), jak i płciowo. Wszystkie wypławki są obojnakami. W trakcie rozmnażania płciowego obydwaj osobniki korzystają z

męskich narządów rozrodczych i przekazują sobie wzajemnie nasienie. Po dotarciu plemników do żeńskich narządów płciowych powstaje zygota. W wyniku następujących później podziałów komórkowych wykształca się kokon chroniący młodociany organizm.

- **Jeżowce.** Wyglądem zewnętrznym samce jeżowców niczym nie odróżniają się od samic — środek ciała jest otoczony pierścieniem otworów genitalnych. Samce używają ich do uwalniania plemników do środowiska wodnego, a samice robią to samo z komórkami jajowymi. Zapłodnienie jest kwestią przypadku, ale trochę pomaga fakt, że jeżowce żyją blisko siebie, komórki jajowe posiadają lepką otoczkę, do której przylegają plemniki, a ejakulacja choćby jednego samca stanowi sygnał do wytrysku dla pozostałych osobników męskich.

Rozwój nowej istoty ludzkiej

Na rozmnażanie płciowe składa się proces wytwarzania gamet oraz kopulacji umożliwiającej zapłodnienie komórki jajowej przez plemnik. Idealnym słowem opisującym przekształcenia zapłodnionej komórki jajowej w organizm stanowiący mieszaną genów obydwójga rodziców jest „**rozwój**”.

W kolejnych ustępach omówimy proces rozwoju nowego organizmu od poziomu zygoty aż do narodzin. **Uwaga:** Skupiamy się na opisie rozwoju ludzkiego płodu, gdyż to zagadnienie bezpośrednio dotyczy każdego z nas. Nie zapominajmy jednak, że wiele innych gatunków zwierząt przechodzi przez bardzo zbliżone etapy rozwojowe.

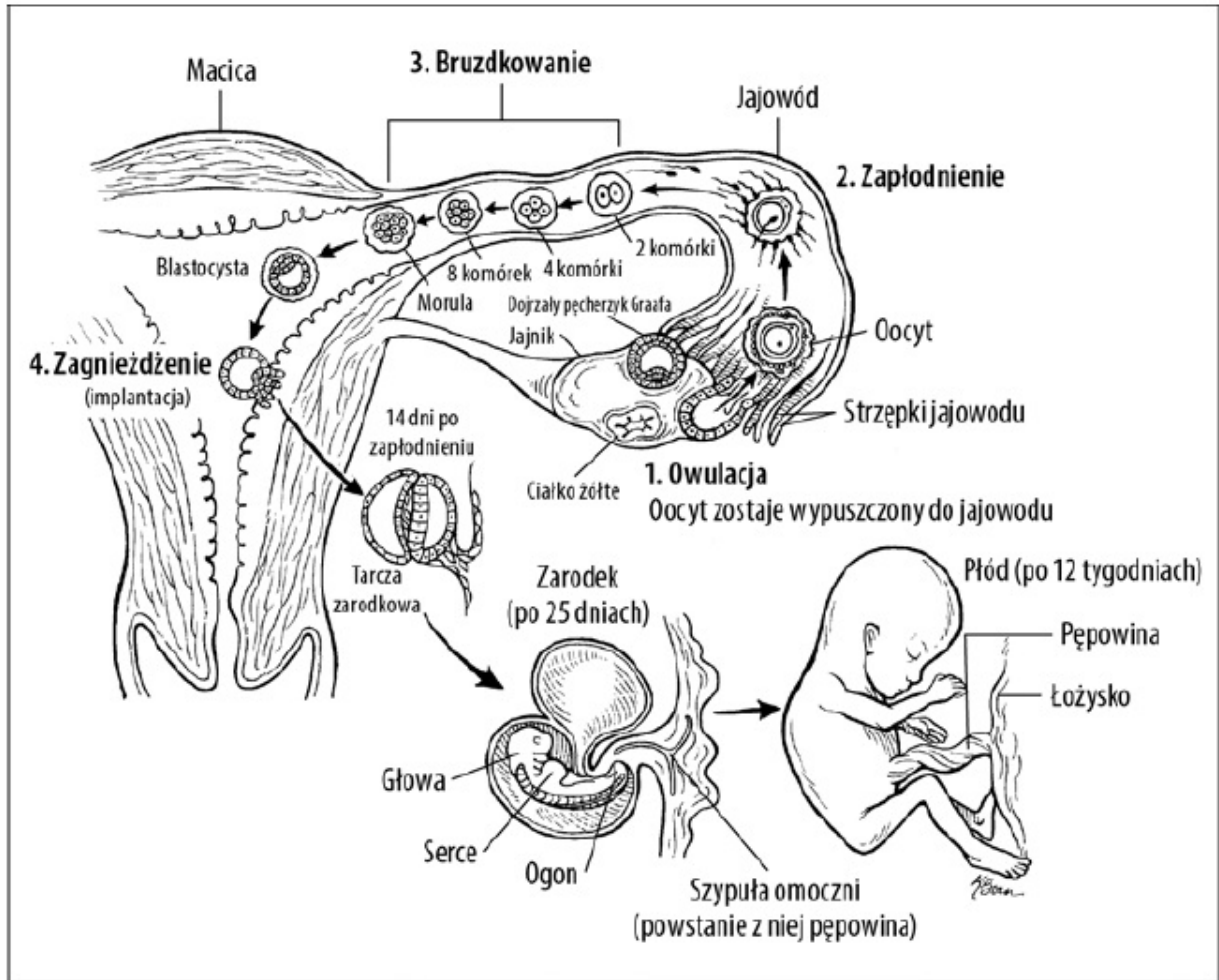
Od pojedynczej komórki do blastocysty

Po złączeniu się jąder plemnika i komórki jajowej zapłodnienie zostaje ukończone, a powstała diploidalna komórka nosi nazwę zygoty.

Zygota rozpoczyna wędrówkę wzdłuż kanału jajowodu i kieruje się ku macicy, gdzie zagnieździ się w błonie śluzowej. W czasie tej podróży przechodzi ona przez **bruzdkowanie**, czyli szereg szybkich podziałów mitotycznych, w wyniku których powstaje wielokomórkowy zarodek (etap 3. na rysunku 19.4). Zygota dzieli się najpierw na dwie komórki, które z kolei dzielą się na cztery, te ulegają kolejnemu podziałowi na osiem komórek i następuje jeszcze jeden podział prowadzący do powstania embrionu składającego się z szesnastu komórek. Na tym etapie zygota jest już pokąsną, wielokomórkową kulą, zwaną **morulą**.

Morula przechodzi kolejne podziały komórkowe, ale teraz jej wnętrze wypełnia się płynem rozpychającym komórki na obrzeża zygoty, tworząc w środku przestrzeń wypełnioną płynem — **blastulę**. U ludzi część komórek tworzących blastulę wykształci się w przyszłości w zarodek, a całość przekształci się w **blastocystę**. Na tym etapie powstaną wyspecjalizowane warstwy komórek, co stanowi pierwszy etap różnicowania się tkanek:

- spłaszczone komórki występujące na obrzeżach blastocysty tworzą **trofoblast**,
- wypełnione płynem wewnątrz nosi nazwę **blastocelu**,
- warstwa dużych, zaokrąglonych komórek, z których powstanie zarodek, to **embrioblast**.



Rysunek 19.4. Zapłodnienie oraz wczesne etapy rozwoju zarodkowego człowieka

Komórki trofoblastu wydzielają enzym rozkładający śluzówkę macicy. Po „wytrawieniu” sobie drogi do ściany macicy blastocysta przyczepia się do niej. **Zagnieżdżeniem (implantacją)** nazywamy udane przyłączenie się blastocysty do ściany macicy (etap 4. na rysunku 19.4); bez zagnieżdżenia nie ma mowy o ciąży. Teraz komórki trofoblastu mogą przekształcić się w **kosmówkę**, która będzie stanowiła część łożyska.

Po udanej implantacji następuje dalszy rozwój komórek, w którego wyniku powstaje trójwarstwowa **gastrula**; proces ten jest znany jako **gastrulacja**. Ostatecznie każda z warstw (listków zarodkowych) da początek różnym rodzajom tkanek:

- zewnętrzna warstwa gastruli to **ektoderma**, z której powstaną powłoki ciała i tkanka nerwowa,
- ze środkowego listka zarodkowego — **mezodermy** — powstaną układy mięśniowy, szkieletowy i krwionośny,
- wewnętrzna warstwa, zwana **endodermą**, kładzie podwaliny pod układy oddechowy i pokarmowy, a także takie narządy jak wątroba oraz trzustka.



Zagnieżdżenie nie jest tożsame z zapłodnieniem. Komórka jajowa może zostać zapłodniona, ale kobieta zachodzi w ciążę dopiero wtedy, gdy blastocyst umości się wygodnie w macicy, gdzie będzie miał zapewnione dogodne warunki do dalszego rozwoju.

Do boju, zarodku!

W ciągu pierwszych dwunastu tygodni istnienia zaszło w Tobie więcej zmian, niż przez resztę życia. To właśnie w pierwszym trymestrze ciąży wykształcają się wszystkie narządy organizmu.

Po zakończeniu gastrulacji (opisanej w poprzednim ustępie) wyspecjalizowane komórki endodermy, mezodermy i ektodermy zaczynają wędrować ku innym komórkom wykazującym podobne cechy. Taka komórkowa migracja jest nazywana **morfogenezą**, ponieważ to właśnie na tym etapie zarodek zyskuje swój kształt (grecki wyraz *morphē* oznacza „kształt”).



W otoczeniu zarodka również następują zmiany. Kosmówka w połączeniu z tkankami wytworzonymi przez organizm matki przekształca się w **łożysko** — narząd wypełniony dużą liczbą naczyń krwionośnych, zapewniający olbrzymią powierzchnię wymiany substancji

gazowych, składników odżywczych oraz zbędnych produktów przemiany materii.

Wewnątrz blastocysty pojawia się rurkowata struktura zwana **omoczną**. U ludzi przekształca się ona w szypułę omocznia, a następnie w pępowinę łączącą organizm płodu z łożyskiem (obydwa elementy zostały ukazane na rysunku 19.4).

Owodnia otacza jamę owodniową wypełnioną **wodami płodowymi** (**płynem owodniowym**) chroniącymi rozwijający się zarodek. Rolą tego płynu jest przede wszystkim stworzenie dogodnego środowiska rozwoju płodu, a także amortyzowanie ruchów matki oraz potencjalnych wstrząsów. Uważa się również, że wody płodowe zawierają **surfaktant** — substancję pokrywającą wnętrze płuc płodu, dzięki czemu tuż po narodzinach pęcherzyki płucne nie zlepiają się ze sobą, co uniemożliwiałoby oddychanie noworodkowi.



Materiał genetyczny znajdujący się w wodach płodowych jest taki sam jak u zarodka, dlatego lekarze mogą wykonywać **amniopunkcję** (wydobycie odrobiny płynu owodniowego za pomocą igły w celu zbadania kodu genetycznego) do analizy płodu pod kątem występowania wad genetycznych.

W czasie rozwoju zarodkowego powstają załączki wszystkich układów i struktur. Komórki stanowiące część cewki nerwowej oraz tworzące grzebień neuronalny przekształcają się na przykład w zęby, kości, komórki barwnikowe skóry oraz mięśnie czaszkowe. Pod koniec rozwoju zarodkowego maluszek ma już około 6 cm długości i zaczyna bardziej przypominać małego człowieka niż jaszczurkę.

Rozwój płodowy i narodziny

Rozwój płodowy człowieka trwa przez ostatnie sześć miesięcy ciąży, czyli przebiega w drugim i trzecim trymestrze. Organizm płodu jest już całkowicie zróżnicowany, co oznacza, że wszystkie komórki trafiły na swoje miejsca i utworzyły układy narządów. Jedynym zadaniem płodu w macicy jest dalszy wzrost i rozwój takich elementów jak owłosienie czy paznokcie. Wraz ze wzrostem siły, rozmiaru i masy zaczyna coraz bardziej przypominać noworodka.

Skurcze macicy podczas porodu inicjowane są przez prostaglandyny oraz oksytocynę, ale ich wytwarzanie jest prawdopodobnie stymulowane przez nierozpoznany jeszcze związek chemiczny produkowany przez dziecko. Zatem to płód zachęca organizm matki do wydzielania hormonów odpowiedzialnych za poród. Jeżeli występuje problem z naturalnym porodem, lekarz może go wywołać za pomocą czopków zawierających prostaglandyny oraz/lub syntetycznej oksytocyny (**pitocyny**).

Dziecko tuż po porodzie jest nazywane **noworodkiem**. Rozpoczyna się nowy cykl życia, a rozwój młodego organizmu trwa w najlepsze. Więcej informacji na temat procesów zachodzących w czasie ciąży znajdziesz w książce *Ciąża dla bystrzaków*.

Różnicowanie, rozwój i rozstrzyganie

Pewnie nigdy nie przeszło Ci przez myśl, że w dużej części kierują Tobą trzy wyrazy na literę R: różnicowanie, rozwój i rozstrzyganie (ten ostatni znany również jako **determinacja**). **Różnicowanie** polega na specjalizowaniu się komórek podczas rozwoju organizmu; w jego wyniku określane są anatomiczne i fizjologiczne cechy danej komórki. Pod pojęciem **rozwaju** kryje się całokształt procesów składających się na poszczególne etapy

różnicowania się komórek; po pewnym czasie wszystkie zmiany rozwojowe na etapie komórkowym stają się widoczne gołym okiem. **Rozstrzyganie** występuje natomiast wtedy, gdy komórka „postanawia” rozwijać się w określony sposób — kiedy na przykład zostaje określone, że ma „przyłączyć się” do danego rodzaju tkanki, na przykład nerwowej lub kostnej.



Pomyśl o tym w następujący sposób: Twoje życie rozpoczęło się od maleńkiej, pojedynczej komórki. Gdy jądro pochodzące z plemnika Twojego taty połączyło się z jądrem matczynej komórki jajowej, powstała komórka zawierająca informację genetyczną mówiącą niemal wszystko o Tobie. W czasie podziałów komórkowych tej pierwotnej zygoty część komórek potomnych zdecydowała się zostać komórkami serca, skóry, mózgu, wątroby i tak dalej. Każdy z wymienionych typów komórek wygląda inaczej i pełni inną funkcję, ale łączy je ten sam zestaw informacji genetycznej. Komórki te różni nie posiadany materiał genetyczny, lecz sposób jego wykorzystania.

Komórki różnicują się w procesie zwanym **regulacją ekspresji genów**, sterującym zestawem genów wykorzystywanych przez daną komórkę w określonym czasie.



Jeżeli wyobrazisz sobie komórki własnego ciała jako pracowników wykonujących odmienne zadania, to logiczne okazuje się rozumowanie, że każdy pracownik potrzebuje odpowiednich narzędzi do pracy. W przypadku komórki narzędziami tymi są zestawy białek. Żeby natomiast uzyskać dostęp do białek, komórka musi je wyprodukować, korzystając z genów zawartych w DNA, stanowiących swoiste schematy budowy tychże protein. Zatem komórki

serca korzystają z części informacji zawartych w DNA do wytwarzania białek umożliwiających kurczenie się mięśnia sercowego, natomiast komórki skóry wykorzystają inne geny do budowy białek chroniących organizm przed zakażeniem (więcej informacji na temat ekspresji genów znajdziesz w rozdziale 8.).

Kilka następnych ustępów poświęciliśmy wyjaśnieniu sygnałów decydujących o specjalizowaniu się komórek do pełnienia określonych zadań. Przyjrzymy się również eksperymentom mającym na celu cofnięcie specjalizacji komórek, co pozwoliłoby na sterowanie ich różnicowaniem.

Zdolność przekształcania się w dowolny rodzaj komórki

Początkowo każda komórka Twojego ciała (oraz ciał innych organizmów zwierzęcych) jest **totipotencjalna** — może wyspecjalizować się w dowolny rodzaj tkanki, a nawet cały organizm. W trakcie różnicowania się komórka traci zdolność ekspresji dowolnego genu, co oznacza, że w normalnych warunkach komórka mięśniowa nie jest w stanie przekształcić się w komórkę naskórka.

Różnicowanie pojawia się więc w wyniku sygnałów zmuszających komórkę do korzystania jedynie z określonego zestawu genów. Naukowców bardzo interesują te sygnały oraz odkrycie sposobów przeprogramowania komórek w celach leczniczych. Poniżej prezentujemy jedynie dwa z wielu eksperymentów mających na celu odkrycie sposobu przywrócenia komórki do stanu totipotencjalności.

- Dwaj naukowcy, Robert Briggs oraz T.J. King, przeprowadzali eksperymenty na komórkach kijanek, sprawdzając, czy straciły one możliwość przeprogramowania, a jeśli tak, to w którym momencie.

Odkryli, że na etapie blastuli (gdy organizm składa się z 8000 – 16000 komórek) każda pojedyncza komórka posiada zdolność odtworzenia całego organizmu. Innymi słowy, jedna komórka z blastuli wystarczy do wykształcenia kijanki. W późniejszych stadiach rozwoju komórki zarodkowe nie wykazywały już tej zdolności.

- Innemu badaczowi, J.B. Gurdonowi, udało się „wyhodować” zarodki żaby z komórek skóry dorosłego płaza. Wykorzystał technologię **transplantacji jądra** do przeniesienia jądra komórkowego z komórki naskórka do pozbawionej jądra komórki jajowej. Po umieszczeniu jądra pochodzącego ze zróżnicowanej komórki w cytoplazmie komórki jajowej nastąpił wzrost i rozwój kijanki będącej wiernym klonem dawcy jądra. Kijanka wykształcała się w przypadku, gdy komórka jajowa nie przekroczyła określonego, krytycznego stadium rozwojowego.

Eksperyment Gurдона stanowił pierwszy w historii udany proces **klonowania** — rozwoju organizmu posiadającego taki sam kod genetyczny jak organizm, od którego zostało pobrane jądro. Od czasu doświadczenia Gurдона sklonowano wiele organizmów zwierzęcych, z czego najsłynniejszym przykładem jest owca Dolly.



Eksperymenty z klonowaniem zwierząt stanowią niepodważalny dowód, że jądra zróżnicowanych komórek przechowują wszystkie informacje niezbędne do przekształcenia się w inne rodzaje komórek.

Chociaż wydaje się, że komórki zwierzęce są zdolne do różnicowania się jedynie do pewnego momentu rozwoju, w wielu dojrzałych roślinach znaleziono komórki totipotencjalne. Wiesz zapewne, że można wyhodować nową roślinę, odcinając fragment starej? Odcięty fragment nie

posiada korzeni, ale może je wytworzyć, ponieważ ciągle posiada dostęp do genów odpowiedzialnych za powstawanie komórek korzeniowych. Okazuje się również, że wystarczy pobrać kilka komórek z danej rośliny, aby wyhodować z nich nowy organizm.

Czynniki wpływające na różnicowanie i rozwój

Na początku rozwoju zarodkowego wszystkie komórki składające się na embrion są totipotencjalne aż do momentu odebrania sygnałów wywołujących ich różnicowanie się na tkankę nerwową, mięśniową, serce, płuca... wiesz, o co chodzi. Większość zmian rozwojowych zależy w dużej mierze od tych właśnie sygnałów, generowanych w środowisku zarodka oraz dających dokładne „instrukcje” dotyczące sposobu i czasu różnicowania. Poniżej opisujemy rodzaje znanych sygnałów pobudzających różnicowanie.

- **Indukcja embrionalna.** Wpływ pewnych zespołów komórek na inne grupy komórek nosi nazwę **indukcji embrionalnej** — odbiorcy tego typu sygnału modyfikują swoją ścieżkę rozwojową. Komórki posiadające zdolność wywoływania indukcji embrionalnej to **organizatory**; oddziałują na inne komórki wydzielając specyficzne związki chemiczne lub poprzez bezpośredni kontakt międzykomórkowy. Przykładem indukcji embrionalnej jest wykształcanie się soczewki oka. Oczy powstają z wypukłych narośli (**pęcherzyków ocznych**) umiejscowionych po bokach wczesnego mózgu. Gdy pęcherzyki te zetkną się z ektoderłą, przekształca się ona w cienką **plakodę** (płytkę) **soczewki**, która zagina się w kształt spotykany u dorosłych osób.

• **Migracja komórek.** **Migracją komórek** nazywamy przemieszczanie się komórek do nowych miejsc w czasie rozwoju. Często kierują się one za substancją chemiczną, której szlak prowadzi do właściwego obszaru. Po dotarciu do celu komórki przyłączają się do sąsiadek i przekształcają w określony rodzaj tkanki. Na przykład w rozwijającym się mózgu prymitywne neurony wędrują z cewki nerwowej, tworząc zawiązki nowych rejonów układu nerwowego, a następnie wykształcają połączenia z docelowymi komórkami.

• **Geny homeotyczne.** Specjalna kategoria genów powodujących włączanie lub wyłączanie ekspresji innych genów to **geny homeotyczne**. Funkcjonalnie przypominają nieco główny włącznik zasilania. Białka produkowane przez geny homeotyczne wiążą się z DNA, przez co wpływają na ekspresję genów. Gdy są „włączone” określone geny, następuje produkcja specyficznych białek wpływających na rozwój. W przypadku „wyłączenia” genu zostaje zaprzestane wytwarzanie kodowanego przez niego białka, zatem nie wpływa ono już na rozwój. W ten sposób regulowana jest obecność różnych związków chemicznych w zarodku, a więc również jego rozwój. Olbrzymi wpływ genów homeotycznych jest wyraźnie widoczny na przykładzie badań genetycznych nad muszkami owocowymi. Jeżeli nastąpi mutacja genów homeotycznych u rozwijającej się muszki, dorosły owad będzie nieprawidłowo „poskładany” — na przykład odnóża mogą znajdować się w miejscu czułków.



Kilka lat temu odkryto w większości znanych genów homeotycznych u różnych organizmów fragment DNA o długości mniej więcej 180 nukleotydów (to wcale nie jest dużo w wielkim świecie genetyki). Ten krótki odcinek genu nazwano homeoboksem; tak, również człowiek go

posiada. **Homeoboks** to nieulegający zmianom ewolucyjnym segment genu homeotycznego. O tej niezmienności świadczy fakt, że uderzające podobieństwa pomiędzy homeoboksami występują u wszystkich poznanych organizmów.

- ***Zaprogramowana śmierć komórki.***

Zaprogramowana śmierć komórki, zwana również **apoptozą**, to celowo wywołane samobójstwo komórki na określonym etapie rozwoju organizmu w celu usunięcia jej z przekształcającego się ciała. U człowieka następuje na przykład apoptoza komórek występujących pomiędzy palcami, dzięki czemu nie są one ze sobą połączone.

- ***Czynniki cytoplazmatyczne.*** Mogą one wytwarzać różne lokalne środowiska w obrębie cytoplazmy komórkowej, co prowadzi do różnych ścieżek rozwojowych poszczególnych komórek potomnych. Na przykład w czasie oogenezy cytoplazma jest często nierównomiernie dzielona pomiędzy oocytami drugiego rzędu. Z tego powodu w niektórych komórkach może występować więcej czynników cytoplazmatycznych niż w innych. Czynniki te często odpowiadają za ekspresję genów wpływających na różnicowanie się komórki. Na przykład na początku rozwoju różnice w składzie cytoplazmy powodują wykształcenie się osi przód – tył zarodka, co ostatecznie powoduje wyodrębnienie głowy od reszty ciała.

- ***Hormony.*** Hormony odgrywają rolę w powstawaniu niemal wszystkich najważniejszych narządów (serca, płuc, nerek i wątroby), a także we właściwej lokalizacji kończyn i innych przydatków. Od nich zależy również wygląd ciała. Na przykład wytwarzanie testosteronu w męskim płodzie prowadzi do pojawienia się pierwszorzędowych cech płciowych.

Determinacja płci u człowieka

Nieobcy jest ludziom wpływ hormonów na etapy rozwoju osobniczego. W rzeczywistości organizmy kobiet i mężczyzn pozostają nieodróżnialne aż do momentu rozpoczęcia różnicowania płciowego.

Na bardzo wczesnym etapie rozwoju ludzki płód posiada dwa rodzaje przewodów płciowych: żeński oraz męski. Jest to tak zwany **etap rozwoju niezróżnicowanego** (ponieważ nie występują jeszcze żadne różnice pomiędzy organizmem żeńskim a męskim). Ludzkie zarodki przebywają w tym stanie mniej więcej do siódmego tygodnia po zapłodnieniu (czyli prawie do końca drugiego miesiąca ciąży), dlatego właśnie ultrasonografia wykonana wcześniej nie pozwala poznać płci dziecka (**Uwaga:** Pierwsze badanie USG jest przeprowadzane po 16 tygodniach prawidłowej ciąży, co pozwala na bezproblemowe rozpoznanie płci malucha).



Obydwa rodzaje przewodów występujące u niezróżnicowanego zarodka to **przewody śródnercza** (lub **przewody Wolffa**), z których potencjalnie mogą się wykształcić nasieniowody, najądrza i pęcherzyki nasienne, a także **przewody przyśródnerczowe** (**przewody Müllera**), z których ewentualnie powstają jajowody, macica i pochwa.

Wewnątrz komórek o płci decyduje garnitur chromosomów. Ze wszystkich 46 chromosomów ostatnia, 23. para, może składać się z dwóch chromosomów X lub z jednego chromosomu X i jednego Y. Para chromosomów XX determinuje płć żeńską, a XY oznacza, że na świat przyjdzie chłopiec. Jeżeli w komórkach rozwijającego się układu płciowego występują chromosomy XX, to następuje rozwój żeńskich genitaliów, a męskie przewody płciowe zanikają. Oczywiście odwrotna sytuacja występuje w obecności chromosomów XY.

W kolejnych ustępach omówimy proces wykształcania się pierwszorzędowych cech płciowych oraz zastanowimy się, co może pójść niewłaściwie.

W jaki sposób chłopcy stają się chłopcami?

Głównym czynnikiem wpływającym na określenie płci męskiej jest **gen SRY** (ang. *sex-determining region Y chromosome* — obszar chromosomu X określający płć). Koduje on białko zwane **czynnikiem determinującym rozwój jądra** (ang. *testes determining factor* — TDF), które łączy się DNA i uruchamia transkrypcję genów odpowiedzialnych za powstanie jąder (**Czynnikami transkrypcyjnymi** nazywamy białka regulujące ekspresję genów; więcej informacji znajdziesz w rozdziale 8.).

Po uformowaniu jąder zaczynają one wydzielać testosteron (w postaci **dihydrotestosteronu** — DHT). Hormon ten odpowiada za rozwój męskiego układu płciowego i za proces powstawania zewnętrznych narządów genitalnych. Nasieniowody umożliwiające ejakulację nasienia są gotowe mniej więcej w 14. tygodniu ciąży (na początku drugiego trymestru). W tym czasie penis, jądra i moszna zostają wykształcone z guzka płciowego, fałdu płciowego i z wyniosłości mosznowo-wargowej. Z guzka płciowego powstaje żołądź prącia, z fałdu płciowego — trzon prącia, a wyniosłość mosznowo-wargowa odpowiada za powstanie worka mosznowego.

Pod nieobecność genu SRY pierwotna gonada przekształca się w jajniki, ale i one nie przetrwają długo bez dwóch chromosomów X.

W jaki sposób dziewczęta stają się dziewczętami?

Brak DHT w rozwoju płodowym wywołuje rozwój zewnętrznych narządów genitalnych. W takim przypadku z guzka płciowego powstaje



łechtaczka (żeński odpowiednik żołądź prącia), wyniosłość mosznowo-wargowa przekształca się w wargi sromowe większe, a fałd płciowy — w wargi sromowe mniejsze.

Żeńskie narządy płciowe zewnętrzne powstają nawet wtedy, gdy z jakiegoś powodu nie zostaną wykształcone wewnętrzne narządy rozrodcze. Narządy zewnętrzne zostają w pełni uformowane pomiędzy 14. a 16. tygodniem ciąży.

Problemy dotyczące rozwoju płciowego

Skomplikowany proces różnicowania płciowego, w którym biorą udział geny i hormony, nie jest, niestety, bezbłędny. Poniżej omawiamy problemy wynikające z hormonalnej stymulacji rozwijających się narządów płciowych.

- **Nieczułość na androgeny.** Samiec niezdolny do wytworzenia zewnętrznych narządów genitalnych posiada **nieczułość na androgeny**. Zarodki posiadające nieprawidłowy receptor androgenowy nie przyłączają DHT niezbędnego do uformowania męskich narządów płciowych. Z tego powodu pomimo posiadania męskich chromosomów płciowych (XY) wykształcają się u nich żeńskie narządy rozrodcze.

- **Hermafrodytyzm (obojnactwo).** Osoby posiadające zarówno męskie, jak i żeńskie narządy płciowe, klasyfikowane są jako **hermafrodyty (obojnaki)**. Przypadłość ta wynika z zachwiania równowagi hormonalnej. U zarodków wytwarzających nadmiar **androgenów nadnerczowych** (hormonów biorących udział w syntezie DHT i testosteronu) genetyczna samica może posiadać zmaskulinizowane (posiadające męskie cechy) zewnętrzne narządy płciowe, w tym również penis, lecz również normalnie uformowane jajniki i

wewnętrzne narządy rodne. Z kolei mężczyzna cierpiący na obojnactwo wykazuje cechy zniewieściałości.

- **Zespół Klinefeltera.** Samce cierpiące na **zespół Klinefeltera** posiadają dwa chromosomy X i jeden Y (XXY). Zazwyczaj objawia się to niewielkich rozmiarów jądrami niewytwarzającymi wystarczającej ilości testosteronu. Oznacza to, że trzecioorzędowe cechy płciowe, takie jak zarost, mogą nie zostać całkowicie wykształcone, a chora osoba zazwyczaj jest bezpłodna. Mężczyźni z zespołem Klinefeltera cechują się wyższym wzrostem; ponadto posiadają niektóre żeńskie cechy, takie jak powiększone piersi. Terapia hormonalna pozwala w znacznym stopniu złagodzić te objawy, umożliwia normalny rozwój osobniczy oraz życie seksualne.

- **Zespół Turnera.** Ta choroba genetyczna, objawiająca się bezpłodnością u kobiet, może być spowodowana jedną z dwóch przyczyn. Po pierwsze, genetycznej samicy (XX) może brakować części lub całego chromosomu X, co skutkuje kariotypem XO (osoba taka posiada tylko jeden chromosom płciowy) — genetycznie taka osoba nie jest do końca ani mężczyzną, ani kobietą. W drugim przypadku zarodek posiada po jednym chromosomie X i Y, co w normalnych okolicznościach determinuje płć męską, ale następuje delecja odcinka chromosomu X odpowiedzialnego za wyznaczanie płci. Z tego powodu nie powstają jądra, a tym samym nie jest wytwarzany DHT. Powstają zarówno wewnętrzne, jak i zewnętrzne żeńskie narządy płciowe, jednak jajniki nie zostają wykształcone. Kobiety cierpiące na zespół Turnera cechuje zazwyczaj niższy wzrost od przeciętnego, obecność dodatkowych fałdów skóry na karku oraz często nie wchodzą w etap dojrzewania płciowego. Jednak w ostatnich latach rozwój terapii

hormonalnych znacznie zniwelował objawy tego zaburzenia.

Przypisy:

[1] Lub w przypadku obojnaków jednego i drugiego — *przyp. red.*

[2] Może liczyć na pomoc innych plemników. Plemniki nie są jednakowe i mają różne zadania: jedne mają na celu zapłodnić komórkę jajową, inne starają się zwalczać ewentualnie napotkane plemniki innego samca, jeszcze inne starają się zablokować drogę do oocytu. Niezwykle ważna jest też pomoc „towarzyszy” w pokonaniu osłon komórki jajowej — *przyp. red.*

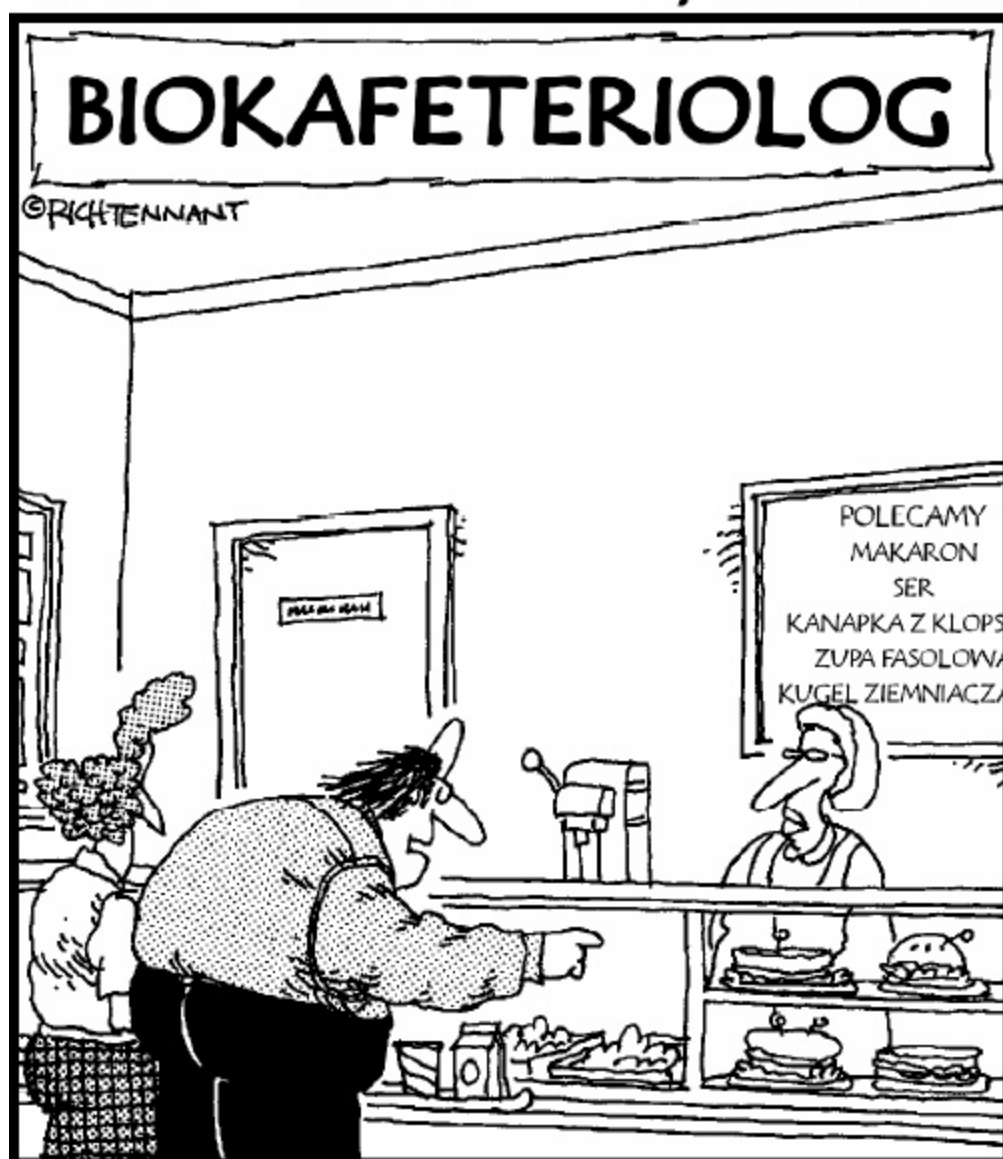
[3] Jak w nazwie świątyni Partenon, poświęconej Atenie Dziewicy.

[4] Klasyczne dzieworództwo występuje u pszczoł jedynie w sytuacji, gdy królowa umiera lub traci zdolność rozrodu. Starają się ją zastąpić trutówki — robotnice, które uzyskują zdolność do składania niezapłodnionych jaj. Z tych jaj wylęgają się trutnie. Typowym dzieworództwem charakteryzują się np. mszyce — *przyp. red.*

Część V
Niełatwo być zielonym.
Budowa i fizjologia roślin

The 5th Wave

By Rich Tennant



Poproszę kanapkę z serem, tę posiadającą
interesujący nalot pleśniowy na chlebie,
manicotti z wyrośniętym grzybem
oraz tę bardzo, bardzo nieświeżą porcję
waniliowego puddingu chlebowego

W tej części...

Rośliny w bardzo wielu aspektach przypominają organizmy zwierzęce: zbudowane są z tkanek, biorą udział w obiegu materii i energii, a także rozmnażają się płciowo. Ale posiadają też równie wiele unikatowych cech. Wyobraź sobie na przykład, jak byś się czuła/czuł, gdyby ktoś Cię zakopał po kolana w ziemi i tak pozostawił. Na pewno nie byłoby Ci najprzyjemniej, ale roślinie bardzo odpowiadałoby takie traktowanie, gdyż sama potrafi wytwarzać sobie pożywienie. Dodatkowo rośliny opracowały strategie wabienia zapylaczy ułatwiających rozmnażanie, a także taktyki obronne przed roślinożercami. Całkiem nieźle jak na organizm, który nie wydaje dźwięków, prawda?

W tej części dowiesz się wszystkiego na temat budowy i funkcjonowania wszystkich zielonych organizmów, dla których Ziemia stanowi dom.

Rozdział 20.

Wesołe jest życie roślinki

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz budowę roślin;
 - ▶ dowiesz się, czego roślina potrzebuje do wzrostu;
 - ▶ przyjrzyś się różnicom pomiędzy rozmnażaniem bezpłciowym a płciowym.
-

Budowa anatomiczna rośliny doskonale odzwierciedla jest styl życia. Posiada ona płaskie liście pochłaniające energię słoneczną, korzenie pobierające wodę z gleby oraz kwiaty i owoce służące do rozmnażania. Jej żywot rozpoczyna się od nasiona lub zarodnika, który wyrasta na dorosły organizm, a następnie rozmnaża się bezpłciowo lub płciowo, dając życie następnemu pokoleniu.

W tym rozdziale zapoznasz się z podstawami budowy roślin, sposobami zdobywania energii niezbędnej im do rozwoju oraz ze strategiami rozrodczymi.

Anatomia rośliny

Rośliny, podobnie jak zwierzęta, zbudowane są z komórek i tkanek, które z kolei tworzą wyspecjalizowane organy, takie jak liście czy kwiaty. W ich budowie można wyróżnić dwa zasadnicze układy narządów: podziemny system korzeniowy oraz nadziemny system pędowy. Zadaniem **korzeni** jest przytwierdzenie rośliny do podłoża oraz wchłanianie z gleby wody ze związkami mineralnymi. Z kolei **pęd** gwarantuje dostęp do światła słonecznego wystarczający do

przeprowadzania fotosyntezy; są w nim również transportowane woda do górnych części rośliny oraz węglowodany do wszystkich komórek.

W tych dwóch układach narządów występuje do trzech rodzajów tkanek. Dzięki różnorodności poszczególnych tkanek naukowcy mogą klasyfikować rośliny do czterech różnych grup. Istotną rolę podczas klasyfikowania pełni również budowa łodygi.

Tkanki roślinne

Wszystkie rośliny zbudowane są z tkanek, ale nie każdy gatunek posiada ich wszystkie trzy rodzaje.

- ***Tkanka okrywająca***. Składa się ona głównie z komórek epidermy (skórki), pokrywających cały organizm rośliny. Specjalny rodzaj komórek reguluje otwieranie się i zamykanie niewielkich otworków, zwanych **aparatami szparkowymi**, służących do przeprowadzania wymiany gazowej z otoczeniem (aparat szparkowy został zilustrowany na rysunku 20.1).
- ***Tkanka zasadnicza***. Jest to najczęściej spotykany rodzaj tkanki, składający się z trzech typów komórek:
 - ***Komórki miękiszu (parenchyma)*** są najliczniejsze. Pełnią wiele podstawowych funkcji w organizmie roślinnym, między innymi spichrzową, asymilacyjną czy wydzielniczą.
 - ***Komórki zwarcicy (kolenchyma)*** posiadają grubą ścianę komórkową, dzięki czemu nadają organizmowi sztywny kształt.
 - ***Komórki twardzicy (sklerenchyma)*** również mają grubą ścianę komórkową, w istocie tak grubą, że po osiągnięciu dojrzałości giną z powodu niemożności osmotycznego pobierania wody oraz

substancji odżywczych (więcej informacji na temat osmozy znajdziesz w rozdziale 4.).

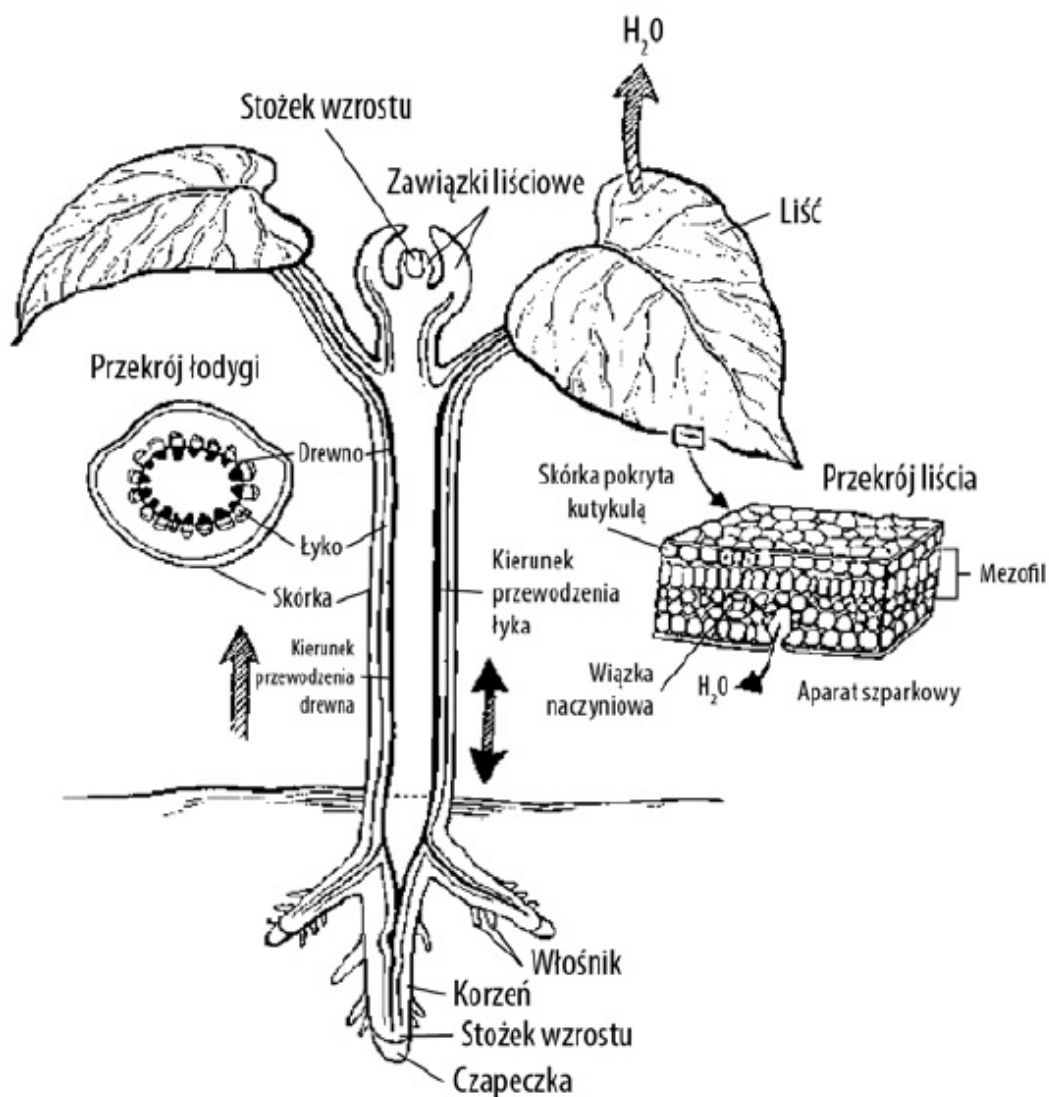
- **Tkanka przewodząca.** Tworzy ona sieć naczyń transportujących wodę i substancje pokarmowe. Dzielimy ją na przewodzące wodę **drewno (ksylem)** oraz przenoszące cukry **łyko (floem)**. Do tkanek przewodzących zaliczamy również **kambium (miazgę twórczą)** — warstwę komórek zdolnych do przekształcania w nowe komórki drewna lub łyka (rośliny naczyniowe stanowią większość flory występującej na Ziemi. Na rysunku 20.1 zaprezentowano podstawowe typy komórek oraz budowę anatomiczną rośliny naczyniowej).

Rodzaje roślin

W oparciu o występowanie różnych typów tkanek oraz narządów generatywnych (płciowych) rośliny dzielimy na cztery podstawowe kategorie.

- **Mszaki** nie posiadają tkanki przewodzącej oraz nie wytwarzają kwiatów ani nasion; jak sama nazwa wskazuje, zaliczamy do nich między innymi mchy.
- **Paprotniki** zawierają tkankę przewodzącą, ale nie produkują nasion.
- **Rośliny nagozalążkowe (nagonasienne)** mają tkankę przewodzącą oraz wytwarzają szyszki i nasiona, ale ich kwiaty nie posiadają zalążni ani słupka, nie wytwarzają również owocni z owocnią.
- **Rośliny okrytozalążkowe (okrytonasienne)** posiadają tkankę przewodzącą, a ich kwiaty posiadają zalążnię i słupki. Nasiona są ukryte w owocach. Rośliny okrytonasienne dzielimy na dwie zasadnicze podgrupy:

- **rośliny jednoliścienne**, takie jak kukurydza czy lilia, wytwarzają nasiona posiadające tylko jeden liścień (tkanka dostarczająca zarodkowi związków odżywczych, następnie zanika; zwana jest także liściem zarodkowym);
- **rośliny dwuliścienne**, czyli na przykład fasola, dąb czy stokrotka, zawierają w nasionie dwa liścienie.



Rysunek 20.1. Podstawowa budowa anatomiczna rośliny naczyniowej

W tabeli 20.1 wymieniliśmy podstawowe różnice występujące pomiędzy roślinnymi jednoliściennymi a dwuliściennymi.

Tabela 20.1. Różnice anatomiczne pomiędzy roślinami jednoliściennymi i dwuliściennymi

Cecha	Jednoliścienne	Dwuliścienne
Liczba liścieni	Jeden	Dwa
Wiązki przewodzące	Rozproszone po całej roślinie, zamknięte (bez warstwy kambium)	Wyraźny układ koncentrycznych kręgów, otwarte (z warstwą kambium)
Drewno i łyko	Obecne w łodydze	Obecne w łodydze
Użytkowanie blaszki liściowej	Równoległe	Pierzaste lub dłoniaste
Kwiaty	Trójkrotne (wraz z wielokrotnościami)	Czterokrotne i pięciokrotne (wraz z wielokrotnościami)

Rośliny zielne a drzewiaste

Biolodzy klasyfikują rośliny pod względem wyglądu i właściwości łodygi na dwie kategorie: rośliny **zielne** (łodyga pozostaje miękka i elastyczna) oraz **drzewiaste** (posiadają zdrewniałą łodygę). Pierwotna ściana komórkowa każdej komórki roślinnej zbudowana jest z celulozy, ale tkanki roślin drzewiastych są dodatkowo wzmocnione wtórną ścianą komórkową zawierającą duże ilości wytrzymałego związku chemicznego — **ligniny**.



Rośliny jednoroczne oraz **dwuletnie** (zakwitające tylko przez jeden lub dwa sezony) najczęściej zaliczane są do roślin zielnych. **Byliny**, czyli **rośliny wieloletnie**, często z kolei drewnieją.

Łodygi zielnych i drzewiastych roślin dwuliściennych (zajrzyj do poprzedniego ustępu) posiadają odmienną budowę. Różnice te widać najwyraźniej na ich **przekroju poprzecznym** (przecięciu łodygi w poprzek jej długości). Wyobraź sobie, że bierzesz hot doga i przecinasz go na cieniutkie plasterki — mniej więcej właśnie w taki sposób biolodzy uzyskują przekroje poprzeczne.

Przyglądając się przekrojowi poprzecznemu rośliny zielnej, można zauważyć, że:

- Wnętrze łodygi wypełnia **rdzeń** (miękka, gąbczasta tkanka) otoczony warstwą cienkościennych **komórek miękiszowych**. Niewielka grubość ściany komórkowej pozwala na dyfuzję wody i składników odżywczych pomiędzy komórkami.
- Tkanka przewodząca występuje w postaci **wiązek przewodzących** zawierających drewno i łyko, a w przypadku łodyg roślin przyrastających na grubość między drewnem a łykiem znajduje się dodatkowo warstwa komórek kambium (tkanka przewodząca została omówiona w ustępie „Tkanki roślinne”). Wiazki przewodzące układają się koncentrycznie wokół rdzenia.
- Tuż za pierścieniem wiązek przewodzących napotykamy korę pierwotną łodygi. Składa się ona z warstwy endodermy, dodatkowych komórek miękiszowych oraz tkanki mechanicznej podtrzymującej ciężar rośliny oraz utrzymującej łodygę w pozycji pionowej.
- Zewnętrzną powierzchnię łodygi otacza skórka pokryta kutykulą.

W pierwszym okresie życia drzewiaste rośliny dwuliścienne posiadają łodygę zielną zawierającą wiazki przewodzące.

Wraz ze wzrostem wiązki te łączą się ze sobą, tworząc pierścienie tkanki przewodzącej. Gdybyś przyglądała/przyglądał się przekrojowi poprzecznemu dwuletniego drzewka (ukazanemu na rysunku 20.2), ujrzałabyś/ujrzałbyś następujące rzeczy:

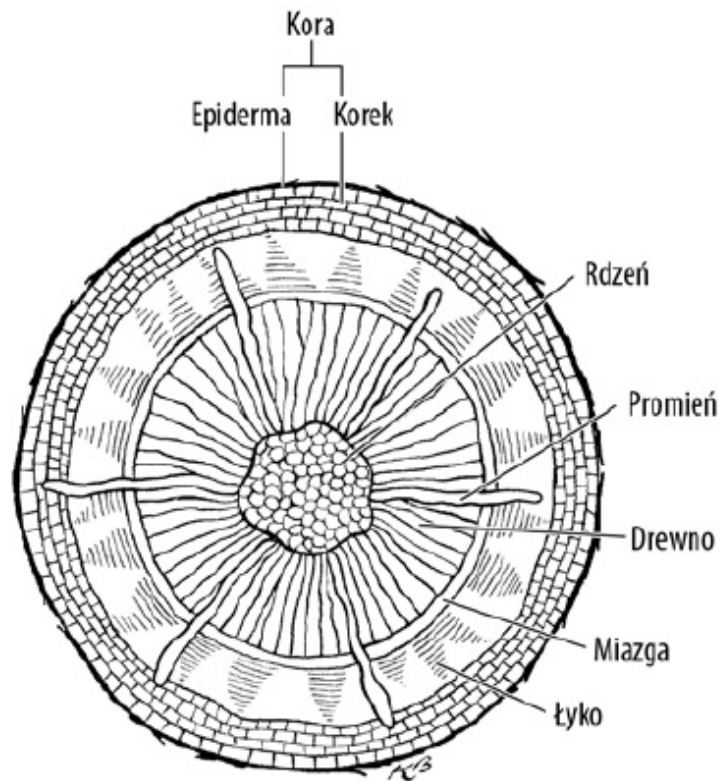
- Środek pnia zajmuje ciągle okrągły rdzeń.
- Wokół rdzenia występuje pierścień drewna. Co roku w rosnącym drzewie pojawiają się kolejne warstwy drewna, tworząc charakterystyczne słoje (liczba słojów pozwala precyzyjnie poznać wiek ściętego drzewa). Z powodu regularnego przyrostu drewna średnica pnia ciągle się zwiększa.



Wewnętrzna część zdrewniałej łodygi jest nazywana **twardzielą**. Składa się ona ze starych tkanek ksylemu wypełnionych takimi substancjami jak guma czy żywica, co oznacza, że nie przewodzą one już wody. Zewnętrzna część drewna nosi z kolei nazwę **bielu**. Składają się nań młodsze warstwy drewna, transportujące wodę i związki mineralne po całej roślinie.

- Tuż za słojami drewna występuje pierścień kambium. W miarę wzrostu łodygi tkanka ta wytwarza nową tkankę drewna w kierunku rdzenia, a komórki łyka są produkowane w stronę kory.
- Zaraz za warstwą kambium znajduje się łyko. Warstwa ta jest wypychana coraz bardziej na zewnątrz wraz z corocznymi przyrostami drewna. Komórki floemu są delikatne i najstarsze zostają zgniecione na warstwie kory. Składniki odżywcze są transportowane jedynie przez najmłodszą warstwę łyka.
- Zdrewniałą łodygę pokrywa **kora**, warstwa wysokich, wodoodpornych komórek chroniących wnętrze pnia. Do

kory zaliczamy również komórki korka znajdujące się pod powierzchnią.



Rysunek 20.2. Przekrój poprzeczny zdrewniałej łodygi

Pozyskiwanie materii i energii

Największą różnicą pomiędzy roślinami i zwierzętami jest sposób zdobywania energii niezbędnej do życia i wzrostu. Zwierzęta muszą pożerać inne organizmy, żeby pozyskać pożywienie, natomiast rośliny same je sobie wytwarzają. Pochłaniają energię pochodzącą ze Słońca i za jej pomocą produkują glukozę, „łącząc” dwutlenek węgla z wodą w procesie fotosyntezy (została ona szczegółowo omówiona w rozdziale 5.); glukoza jest paliwem, które rośliny mogą wykorzystywać zarówno jako źródło energii, jak i materii.

Jak widać na poniższej liście, rośliny posiadają



wyspecjalizowane elementy ułatwiające zdobywanie wszelkich materiałów niezbędnych do przeprowadzenia fotosyntezy.

- ***Za pomocą systemu pędów, składającego się z łodyg i liści, rośliny przechwytyją światło słoneczne.*** Pędy rosną do góry, w kierunku Słońca. Gałęzie rozprzestrzeniają się na boki, żeby liście mogły pochłaniać energię z jak największego obszaru. Kształt liści jest również nieprzypadkowy — są bardzo cienkie, ale łącznie posiadają dużą powierzchnię, więc maksymalizują w ten sposób obszar, na którym mogą pochłaniać światło.

- ***System korzeniowy pobiera wodę i związki mineralne z gleby.*** Woda jest niezbędna do przeprowadzenia fotosyntezy oraz podtrzymania funkcji życiowych. Substancje mineralne pełnią u roślin tę samą funkcję co u Ciebie — wchodzi w skład elementów budulcowych komórek, a także warunkują poprawny metabolizm, wspomagając działanie różnorodnych enzymów. Ponadto rośliny wchłaniają związki azotowe i wraz z wytwarzanymi przez siebie węglowodanami produkują specyficzne białka roślinne (cykl azotowy został przedstawiony w rozdziale 11.).

- ***Znajdujące się w liściach aparaty szparkowe pobierają z atmosfery dwutlenek węgla i uwalniają tlen.*** Cząsteczki dwutlenku węgla dostarczają atomów węgla i tlenu, niezbędnych do wytwarzania węglowodanów. Ponadto roślina wytwarza tlen jako produkt uboczny podczas rozkładu wody wchłanianej z gleby. Tlen w formie cząsteczkowej opuszcza organizm roślinny poprzez aparaty szparkowe.

Rośliny pobierają energię z pokarmu dokładnie tak samo jak zwierzęta — korzystając z mechanizmu oddychania komórkowego (więcej informacji na ten temat znajdziesz w rozdziale 5.). W czasie procesu oddychania wytwarzają one w ten sposób dwutlenek węgla i użytkują cząsteczki tlenu, jednak w ciągu dnia pierwszy z tych składników jest zużywany w takim stopniu (a ten drugi usuwany), że wymiana gazowa jest niewykrywalna. Gdyby zmierzyć stężenie gazów wokół liści w nocy, okazałoby się, że roślina również oddycha.

Zrób to sam — rozmnażanie bezpłciowe



Rośliny rozmnażające się bezpłciowo tworzą swoje kopie — potomstwo posiadające identyczny kod genetyczny. Zaletą tego typu rozmnażania jest możliwość szybkiej kolonizacji przez najlepiej przystosowane organizmy. Z kolei za wadę można uznać brak zróżnicowania genetycznego, co zmniejsza możliwość przystosowania się populacji do zmian środowiskowych.

Podczas rozmnażania bezpłciowego następuje zwykle powielenie komórek w procesie, którym jest omówiona w rozdziale 6. mitozy. Organizmy jednokomórkowe rozmnażają się bezpłciowo poprzez podział mitotyczny komórki. **Fragmentacja** stanowi zaś nieco inny mechanizm: z kawałków rośliny wyrastają całe organizmy^[1]. Po oderwaniu fragmentu pędu rośliny doniczkowej (fachowo mówi się na to „odcięcie sadzonki”) i umieszczeniu go w wodzie mogą z niego wyrosnąć nowe korzenie i pędy, tworząc klon organizmu rodzicielskiego. Innym przykładem jest bulwa ziemniaka — każdy odcięty kawałeczek zawierający „oczko”^[2] może dać początek nowej roślinie. Krótko mówiąc,

nowy organizm jest klonem rośliny rodzicielskiej: posiada identyczną informację genetyczną, ponieważ DNA w komórkach nie ulega żadnym zmianom.

Niektóre rośliny, na przykład truskawka, wytwarzają specjalne struktury ułatwiające rozmnażanie bezpłciowe. Roślina ta oprócz typowych pędów nadziemnych wypuszcza również specjalne pędy, zwane **rozłogami**. Tam, gdzie rozłóg wypuści korzenie, da początek nowej roślinie. Wiele paprotników wykorzystuje ten sposób rozmnażania, wypuszczając grube, wieloletnie płożące się pod ziemią łodygi, czyli **kłacza**.

Mieszanie plemników z komórkami jajowymi — rozmnażanie płciowe

Cieżko w to uwierzyć, ale rośliny również uprawiają seks. Najpierw, podobnie jak zwierzęta, wytwarzają plemniki i komórki jajowe w podziale mejotycznym (mejoza została dokładnie omówiona w rozdziale 6.), które następnie łączą się ze sobą, tworząc organizm potomny posiadający mieszaną genów pochodzących od obydwójga rodziców.

W kolejnych ustępach przyjrzymy się cyklowi życia roślin rozmnażających się płciowo oraz omówimy jego poszczególne etapy i struktury, począwszy od budowy kwiatu, poprzez zapylenie, zapłodnienie, aż po rozwój (i ochronę) zarodków roślinnych.

Życie rośliny

Cykle życiowe roślin są nieco bardziej skomplikowane niż u zwierząt. Zwierzęce **gamety** (plemniki i komórki jajowe) są zazwyczaj małe i niepozorne. W przypadku organizmów roślinnych gamety prowadzą niemalże własne życie.

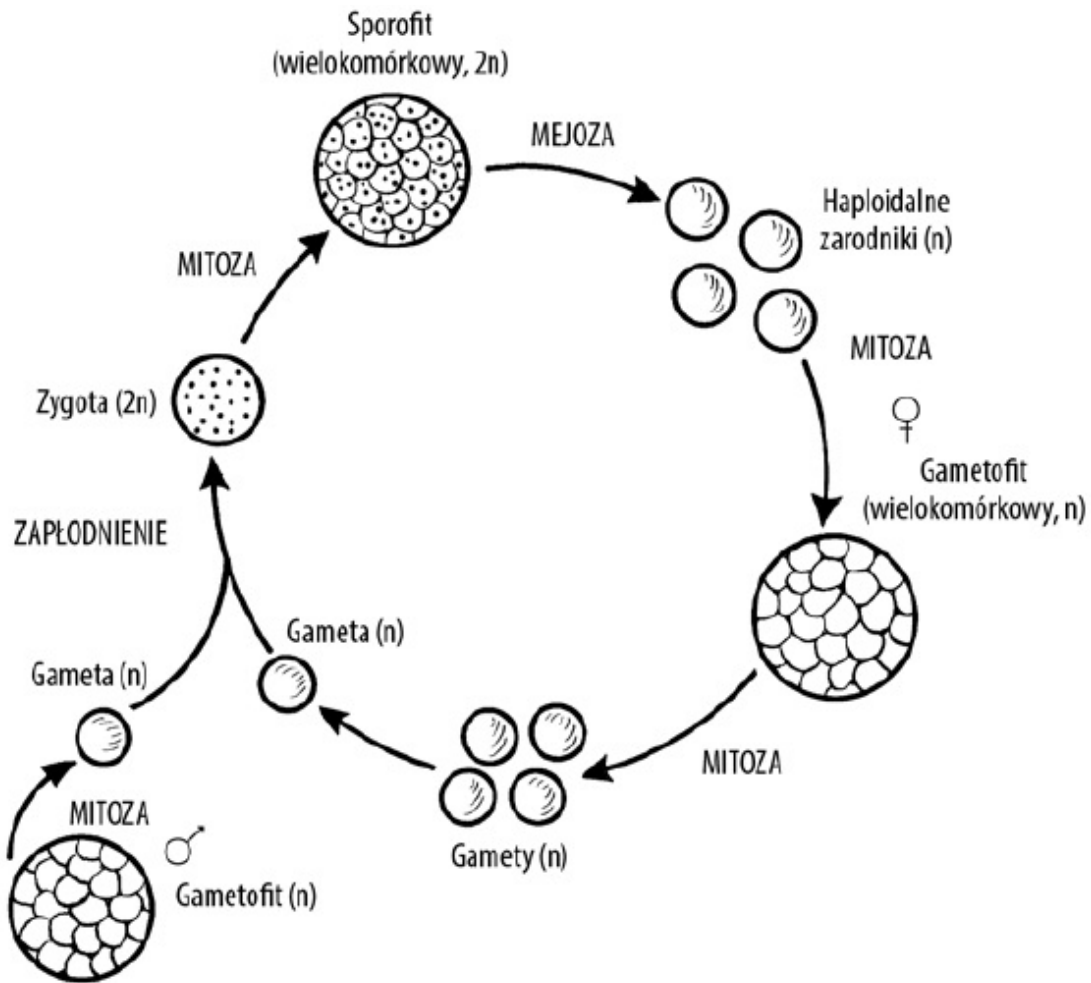
Na cykl życia rośliny składa się przemiana pokoleń pomiędzy dwiema formami: sporofitem i gametofitem (patrz rysunek 20.3). Przebieg tego mechanizmu prezentuje się następująco:

1. W wyniku mejozy w sporoficie (organizmie rodzicielskim) powstają haploidalne zarodniki (oznacza to, że posiadają połowę garnituru chromosomów).

2. Poprzez wielokrotne podziały mitotyczne zarodnik przekształca się w wielokomórkowy, haploidalny organizm – gametofit.



Istnienie gametofitu w cyklu życiowym stanowi fundamentalną różnicę pomiędzy roślinami a zwierzętami. U zwierząt rozwój młodego organizmu następuje dopiero po zapłodnieniu (połączeniu się gamet). Rośliny, zanim wyprodukują plemniki i komórki jajowe, mają chwilę przerwy. Wykorzystują ją do wzrostu odrębnej, haploidalnej roślinki.



Rysunek 20.3. Przemiana pokoleń u roślin

3. Gametofity wytwarzają gamety w procesie mitozy.

W przypadku zwierząt gamety są produkowane w wyniku podziałów mejotycznych, natomiast u roślin w wyniku mejozy powstaje jedynie gametofit.

4. Gamety łączą się ze sobą, tworząc zygotę posiadającą taką samą liczbę chromosomów jak rodzice (zygoty są więc diploidalne).

5. Zygoty dzielą się mitotycznie i rozwijają się w sporofity, co powoduje zamknięcie cyklu.

Spacerując po lesie, możesz natknąć się zarówno na sporofity, jak i gametofity; zależy to od rodzaju rośliny.

- Mszaki rosnące na drzewach i okrywające ściółkę leśną są gametofitami. Jeżeli przyjrzyś się uważnie mchom i dostrzeżesz malutką, bezlistną łodyżkę przypominającą maszt, to będziesz spoglądać na sporofit. Sporofit wyrasta z gametofitu niczym niewielka flaga. Na szczycie takiej „flagi”, w tak zwanej **puszce zarodni**, produkowane są haploidalne zarodniki.
- Widoczna postać paprotników jest sporofitem. Jeśli przyjrzyś się dolnej blaszce liści paproci, znajdziesz na niej brązowe, pyliste struktury. To właśnie tam powstają zarodniki — ów drobny pyłek. Gametofit paproci, zwany **przedroślem**, jest malutki — nie przekracza rozmiarów paznokcia na małym palcu — przez co bardzo ciężko go znaleźć w lesie.
- Występujące w lesie iglaki są sporofitami. Ich gametofit również jest bardzo malutki i rezyduje głównie w szyszkach.
- Widoczna część roślin okrytozalążkowych również stanowi sporofit. Rozmiary gametofitu także są niemal mikroskopijne. Ukrywa się on w kwiatach.

Budowa kwiatu

Bez względu na rozmiary i wygląd kwiatu u roślin okrytonasiennych to właśnie tam następuje rozmnażanie płciowe. Kwiaty wyrastają ze specyficznych pędów i posiadają złożoną strukturę. Poniżej opisujemy poszczególne części kwiatu (niektóre z nich zostały zaprezentowane na rysunku 20.4).

- Podstawa kwiatu jest nazywana **dnem kwiatowym**.

- Warstwa listków otaczających kwiat to **działki kielicha**. Często są one zielone.
- **Płatki okwiatu** to zmodyfikowane liście, często jaskrawo zabarwione w celu przywabienia zapylaczy (więcej informacji na temat zapylaczy znajdziesz w następnym ustępie).
- Męskimi organami płciowymi u roślin są **pręciki**. Każdy pręcik zbudowany jest z **nitki** oraz malutkich woreczków zwanych **pylnikami**. We wnętrzu pylnika następują podziały mejotyczne prowadzące do powstania męskiego gametofitu — **pyłku**.
- **Słupki** reprezentują u roślin żeńskie organy płciowe. Zalążnia ulokowana jest w rozszerzonej części dna słupka. Wewnątrz zalążni produkowane są zalążki zawierające haploidalne gametofity i komórki jajowe.
- Ze słupka wyrastają **znamię** oraz **szyjka**. Pyłek ląduje na znamieniu i wędruje przez szyjkę do zalążni, gdzie przekazuje plemniki zdolne do zapłodnienia znajdujące się tu komórki jajowej.

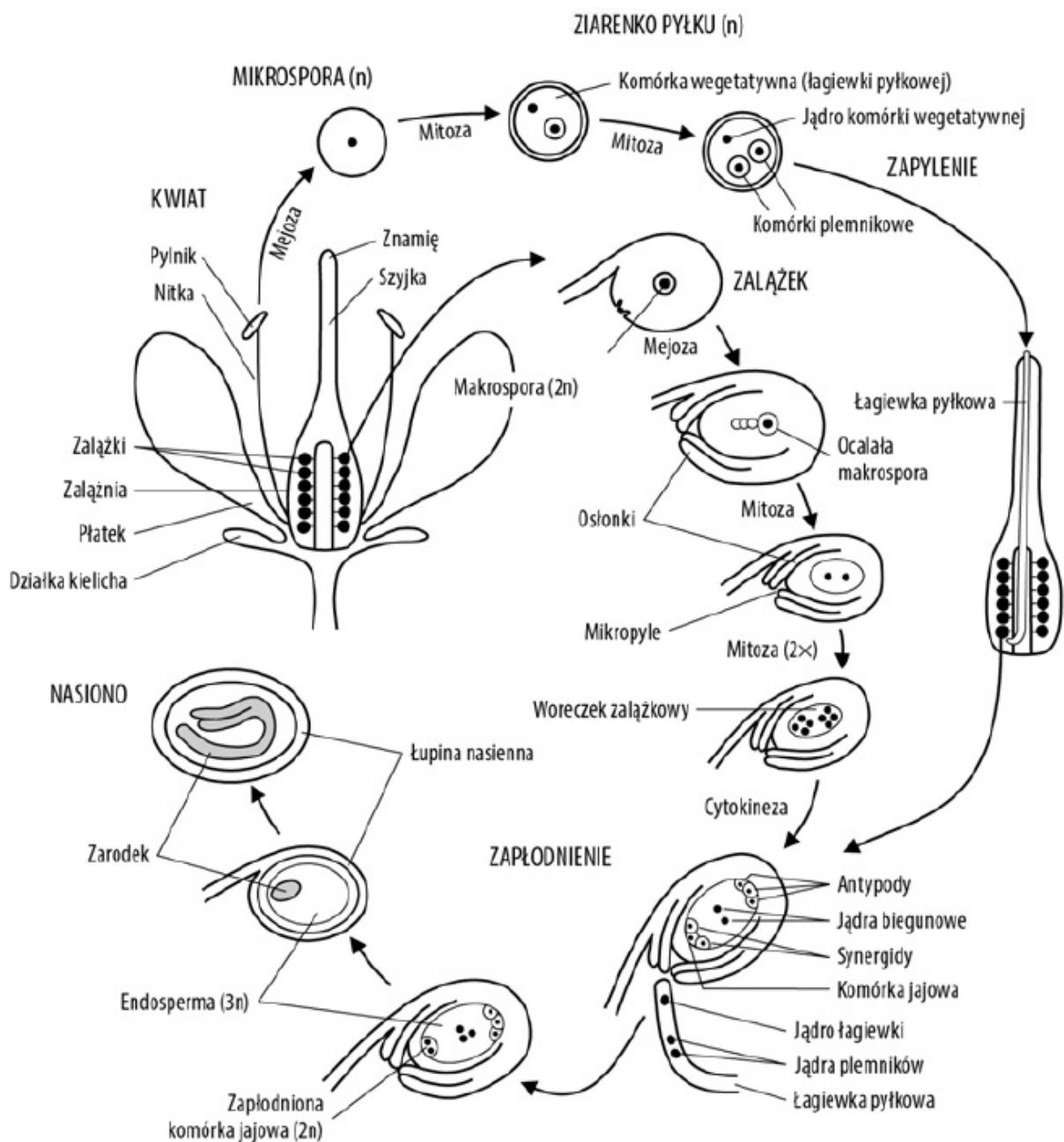
Przebieg zapylenia i zapłodnienia

Zapylenie, czyli proces dostarczenia pyłku do znamienia szyjki, oraz **zapłodnienie** — połączenie plemnika z komórką jajową — stanowią dwa oddzielne, ale niezwykle ważne zdarzenia występujące u roślin okrytozalążkowych.

Pewne rośliny (na przykład trawy) są **wiatropylne**, co oznacza, że wytwarzają mnóstwo pyłku. Pyłek jest niesiony z wiatrem, który przy odrobinie szczęścia doniesie go we właściwe miejsce. Pozostałe rośliny wykorzystują do przenoszenia pyłku takie zwierzęta jak pszczoły, osy, ptaki, a nawet muchy czy nietoperze.

Rośliny wykształciły różne mechanizmy wabienia zwierzęcych zapylaczy.

- Gatunki zapylane przez pszczoły i ptaki mają jaskrawo ubarwione kwiaty służące do wabienia; często również produkują nektar stanowiący dodatkową zachętę do odwiedzin. Kwiaty roślin zapylanych przez pszczoły posiadają specjalne linie przypominające nieco pasy startowe nakierowujące owady na właściwe „lądowisko”. Linie te są niewidoczne dla człowieka, gdyż są dostrzegalne wyłącznie w paśmie ultrafioletowym — dostosowanym do wzroku pszczół.
- Pewne rośliny, jak na przykład zapylane przez osy storczyki, oszukują zwierzęta, przypominając kształtem kwiatów osobniki przeciwnej płci. W takim przypadku owady podczas próby kopulacji zostają obsypane pyłkiem, który zostaje przeniesiony do następnej „ofiary pożądania”.
- Aby zachęcić dorosłe muchy do złożenia jaj (a jednocześnie do przyjęcia pyłku), niektóre gatunki roślin cuchną jak toaleta albo gnijące mięso.
- Kwiaty roślin zapylanych przez nietoperze i ćmy są najczęściej białe, przez co są najlepiej widoczne w nocy — w porze, gdy się otwierają.



Rysunek 20.4. Budowa kwiatu oraz rozmnażanie płciowe roślin okrytozalążkowych

Po dotarciu na znamię słupka ziarenko pyłku kiełkuje, tworząc długi przewód zwany łagiewką **pyłkową**. Łagiewka ta przechodzi przez szyjkę słupka w pobliże zalążni. Służy do przetransportowania jąder plemnikowych wprost do zalążka.

Po zapyleniu dwa jądra plemnikowe docierają do **zalążka** (części zalążni przechowującej jajo, która w przyszłości

przekształci się w nasiono) i jedno z nich łączy się z komórką jajową, tworząc zygotę. Drugi plemnik wiąże się z jednym z jąder wnętrza zalążka, nazywanych **jądrami biegunowymi**, co powoduje powstanie triploidalnej ($3n$) tkanki zwanej **endosperma**, pozwalającej na utrzymanie rozwijającego się zarodka przy życiu. U roślin okrytozalążkowych połączenie się jednego plemnika z komórką jajową, a drugiego z jądrem centralnym woreczka zalążkowego nosi nazwę **podwójnego zapłodnienia**.

Od zygoty do zarodka

Zapłodniona komórka jajowa dzieli się mitotycznie, tworząc zarodek. Podczas pierwszego podziału powstają dwie komórki, jedna duża i jedna mała. Po kilku kolejnych podziałach mitotycznych pojawia się szereg komórek znanych jako **wieszadełko**. Kolejne podziały następują w taki sposób, że komórki u spodu zarodka rozwijają się w dół i stanowią początek korzeni, natomiast komórki znajdujące się na górze dadzą początek pędowi.

Znajdujący się u spodu wieszadełka **hipokotyl** zarodka przekształci się w dolną część łodygi i górną korzeni. Liście zarodkowe (czyli **liścienie**) pojawiają się na górze zarodka; są to tymczasowe organy stanowiące magazyny związków odżywczych dla rozwijającej się roślinki. Gdy roślina wykiełkuje i będzie w stanie sama sobie zapewniać żywność poprzez fotosyntezę, twory te zanikną.

Tarcza dla zarodka — nasiona

Nasiona mają funkcję ochronną. Zawierają zarodek roślinny oraz tkankę odżywczą umożliwiającą jego przeżycie do czasu osiągnięcia samodzielności. Powstała w wyniku podwójnego zapłodnienia endosperma służy do odżywiania rozwijającego się zarodka, tkanki zalążka ulegają wzmocnieniu i przekształcają się w twardą łupinę nasienną, a elementy

załączni kwiatowej zmieniają się w tkanki owocu otaczające nasiono. Zazwyczaj dojrzałe nasiono traci znaczną ilość wody i pozostaje wysuszone. Dzięki temu zostaje mocno zredukowany metabolizm zarodka, który może o wiele dłużej przetrwać, a znajdujące się w nasieniu składniki pokarmowe mogą zostać wykorzystane później. Zatem nasionka kupowane w lokalnej szkółce są jak najbardziej żywe, lecz znajdują się w stanie zbliżonym do hibernacji.

Po umieszczeniu nasion w wilgotnym środowisku zaczynają one wchłaniać wodę i pęcznieć. Przy optymalnym dostępie do wody metabolizm zarodka przyspiesza i roślinka zaczyna rosnąć, korzystając z dostępnych zapasów pożywienia. Proces, w którym zarodek wydostaje się z łupiny nasiennej i wyrasta na diploidalną roślinę, to **kiełkowanie**.

Przypisy:

[1] Skrajnym przykładem rozmnażania przez fragmentację jest hodowla in vitro — polega to na umieszczeniu niewielkiego fragmentu rośliny zawierającego choćby skrawek merystemu (tkanka ta składa się z niezróżnicowanych komórek, które mogą się przekształcać we wszystkie potrzebne tkanki rośliny) w odpowiednio skomponowanej pożywce i zapewnieniu właściwych warunków, takich jak oświetlenie, temperatura i sterylność, w pierwszych fazach wzrostu — *przyp. red.*

[2] Charakterystyczne wgłębienie, z którego kiełkuje młody pęd — *przyp. tłum.*

Rozdział 21.

Odrobina fizjologii roślin

.....

W tym rozdziale:

- ▶ poznasz mechanizmy transportu wody i substancji odżywczych w organizmie roślinnym;
 - ▶ dowiesz się, w jaki sposób cukry są dostarczane do miejsc, gdzie są potrzebne;
 - ▶ zrozumiesz, jak hormony sterują reakcjami roślin na bodźce.
-

Opisana w rozdziale 5. fotosynteza nie jest jedynym procesem niezbędnym dla przeżycia roślin. Ich organizmy są równie zajęte gromadzeniem i transportowaniem wody oraz związków odżywczych ku wierzchołkowi pędu oraz rozprowadzaniem wytworzonych cukrów do wszystkich komórek. W tym samym czasie hormony uruchamiają kaskady sygnałów zachęcających między innymi do wzrostu w kierunku Słońca oraz kwitnięcia.

Możesz uznać ten rozdział za wprowadzenie do fizjologii roślin (fizjologia jest dziedziną biologii zajmującą się badaniem funkcjonowania całego organizmu oraz jego poszczególnych części składowych). Dowiesz się w nim, jakie procesy wykorzystują rośliny do rozprowadzania związków pokarmowych, płynów oraz cukrów po całym organizmie. Nauczysz się również co nieco na temat hormonów roślinnych regulujących wzrost i rozwój.

Sposoby transportowania substancji odżywczych, płynów i cukrów w

organizmie roślinnym

Rośliny, podobnie jak człowiek, również posiadają swoisty układ krążenia służący do dostarczania składników pokarmowych, płynów i cukrów do wszystkich komórek (węglowodany wytwarzane podczas fotosyntezy w liściach również muszą być przecież jakoś przetransportowane do pozostałych tkanek). W kolejnych ustępach dowiesz się, jakie związki odżywcze musi przyjmować roślina, a także poznasz sposoby, jakimi przenosi ona cukry z liści oraz wodę z korzeni.

Przegląd substancji odżywczych niezbędnych roślinie do przetrwania

Wszystkie rośliny wymagają do życia węglowodanów, tłuszczów, białek i kwasów nukleinowych — zupełnie jak Ty. Ponadto potrzebują również związków mineralnych do wytwarzania cząsteczek budulcowych oraz prawidłowego funkcjonowania enzymów. Na szczęście posiadają one zdolność wchłaniania wymaganych substancji ze środowiska.



Rośliny pozyskują węgiel, wodór i tlen z rozkładu dwutlenku węgla (pobieranego z atmosfery) oraz wody (wchłanianej z gleby). Dzięki wykorzystaniu energii słonecznej atomy tych cząsteczek są łączone podczas fotosyntezy w węglowodany.

Wszelkie niezbędne związki mineralne również znajdują się w podłożu. Są to substancje rozpuszczalne w wodzie, więc wraz z nią są wchłaniane makro- i mikroelementy. **Makroelementy** służą do syntezy nowych cząsteczek, a **mikroelementy** zwiększają wydajność enzymów i innych białek. Zazwyczaj rośliny wymagają dużych ilości makroelementów, a nieco mniej mikroelementów. W tabeli 21.1

wymieniamy poszczególne makro- i mikroelementy pobierane przez roślinę z gleby.

Tabela 21.1. Podstawowe substancje odżywcze wchłaniane z gleby

Makroelementy	Mikroelementy
Wapń (Ca)	Bor (B)
Magnez (Mg)	Chlor (Cl)
Azot (N)	Miedź (Cu)
Fosfor (P)	Żelazo (Fe)
Potas (K)	Mangan (Mn)
Siarka (S)	Molibden (Mb)
	Cynk (Zn)



Do zapamiętania głównych składników odżywczych możesz wykorzystać następujące zdanie: „C. Hopkins Café, Mistrzowska gastronomia”. Należy je odczytywać następująco: CHOPKNS CaFe Mg — czyli, odpowiednio, węgiel, wodór, tlen, fosfor, potas, azot, siarka, wapń, żelazo oraz magnez. Wszystkie te pierwiastki, oprócz żelaza, są uznawane za makroelementy.

Jeżeli roślinom zabraknie któregoś z wymienionych składników, nie będą mogły prawidłowo funkcjonować. Bez węgla, wodoru i tlenu (dostępnych w postaci dwutlenku węgla oraz wody) przestaną rosnąć. Nawet pomimo tego, że potrzebują niewielkich ilości związków mineralnych, niedobór choćby jednego z nich niesie ze sobą negatywne konsekwencje^[1]. W tabeli 21.2 wymieniamy skutki niedoborów poszczególnych pierwiastków mineralnych.

Tabela 21.2. Skutki niedoborów substancji mineralnych w roślinach

Brakujący	Skutki niedoboru
-----------	------------------

pierwiastek	
Bor	Liście na końcach rośliny zamierają i wcześniej odpadają; wzrost rośliny jest zahamowany; zazwyczaj nie wykształcają się kwiaty i nasiona.
Wapń	Liście skręcają się i zwijają; słabo wykształcone, „galaretowate” korzenie.
Miedź	Pędy więdną i zamierają; wyblakłe zabarwienie liści.
Żelazo	Pojawiają się białe plamki na użyłkowaniu; jasne zabarwienie liści; krańce blaszek liściowych wyglądają, jakby były popalone.
Magnez	Kruche, pożółkłe lub białe liście przy jednocześnie zachowanym zielonym użyłkowaniu; mogą więdnąć, zamierać i opadać.
Mangan	Podobnie do niedoboru magnezu, ale pędy mają żółtozielony kolor i są twarde w dotyku.
Molibden	Jasnożółte, nierosnące liście.
Azot	Zahamowany wzrost; liście przybierają jasnozielony kolor, następnie żółkną, wysychają i odpadają.
Fosfor	Zahamowany wzrost; liście czasami przybierają fioletowy kolor; cienkie łodygi.
Potas	Liście bladożółte lub mające żółte pasma; pomarszczone obszary pomiędzy żyłkami.
Siarka	Liście od jasnozielonych do żółtych; cienkie łodygi.
Cynk	Liście zamierają; na starszych liściach pomiędzy żyłkami pojawiają się białe smugi.

Transport wody i substancji mineralnych w górę łodygi

Roślina wykorzystuje kilka różnych mechanizmów do transportowania wody (i innych substancji) od miejsca wchłaniania (korzeni) wzdłuż łodygi. Żeby zrozumieć te procesy, musisz najpierw poznać jedną z kluczowych cech wody: jej cząsteczki dosłownie lepią się do siebie.

Poszczególne cząsteczki wody przyciągają się wzajemnie poprzez słabe oddziaływania elektryczne znane jako **wiązania wodorowe**. Lepkość wody pozwala na jej picie przez słomkę — przypomina to bardzo jeden z procesów transportowania wody w roślinie.

Woda wędruje z gleby do korzeni, a następnie przez cały organizm rośliny dzięki współwystępowaniu trzech mechanizmów.

- **Osmoza**. Metoda, którą rośliny wykorzystują podczas wchłaniania wody z gleby do komórek drewna (tkanki przewodzącej) w korzeniach jest nazywana **osmozą**. Włośniki korzeniowe posiadają wyższe stężenie związków rozpuszczonych niż gleba, zatem w czasie osmozy woda przepływa do środowiska zawierającego wyższe stężenie substancji rozpuszczalnych (czyli do wnętrza komórki). Napływ wody zwiększa nacisk we włośnikach i powoduje przepychanie jej do ksylemu (budowa rośliny została dokładnie omówiona w rozdziale 20.).

- **Transport kapilarny**. W jego wyniku płyny wędrują w górę rośliny wzdłuż naczyń drewna. Wynika on z **adhezji** (przylegania do siebie dwóch elementów) cząsteczek wody ze ściankami wąskich naczyń ksylemu. Dzięki siłom adhezji woda jest zmuszona do wędrowania do góry wzdłuż elementów naczyniowych ksylemu oraz kanalików w ścianach komórkowych.

- **Transpiracja i kohezja**. **Transpiracja** to fachowe określenie na odparowywanie wody przez liście. Woda wyparowująca przez aparaty szparkowe liści (lub dowolnego innego organu rośliny zawierającego aparaty szparkowe i wystawionego na działanie środowiska) wytwarza ujemne ciśnienie (**siłę ssącą**) w liściach i tkankach drewna. Jest to dodatkowa siła działająca na wodę znajdującą się w naczyniach, powodująca dalsze

podnoszenie płynu. Gdy cząsteczki wody łączą się ze sobą dzięki **kohezji** (tutaj, w przeciwieństwie do adhezji, łączą się ze sobą dwie takie same substancje) wewnątrz naczynia ksylemu, zaczynają zachowywać się, jakby stanowiły jedną wielką cząsteczkę płynu. Parująca woda powoduje ciągnięcie pozostałych cząsteczek do góry, co wymusza jednocześnie konieczność jej wchłaniania z gleby.



Wpływ transpiracji i kohezji na transport wody w organizmie rośliny opisuje **teoria kohezyjno-transpiracyjna**. Zjawisko to przypomina proces picia płynu przez słomkę. Wytwarzana przez Ciebie siła ssąca podobna jest do parowania wody przez liście. Podnosisz kolumnę płynu w słomce na takiej samej zasadzie, na jakiej roślina podnosi kolumnę wody w naczyniach ksylemu.

Przenoszenie cukrów wzdłuż całej rośliny wewnątrz łyka

W łyku jest transportowany **sok roślinny**, kleisty roztwór zawierający cukry, wodę, związki mineralne, aminokwasy oraz hormony. Zachodzi to w procesie zwanym **translokacją**, polegającym na rozprzestrzenianiu substancji rozpuszczalnych. W przeciwieństwie do drewna zdolnego do transportu wody tylko w jednym kierunku (do góry) łyko pozwala na rozprowadzanie soku od źródeł asymilacji węgla do miejsc zapotrzebowania na węglowodany.

- **Źródła asymilacji węgla** to organy roślinne (np. liście), w których wytwarzane są cukry.
- Do **miejsc zapotrzebowania na węglowodany** zaliczamy wszystkie organy wykorzystujące lub magazynujące cukry, np. korzenie, bulwy czy cebulki.

Woda plus sok roślinny daje... kroplę rosy?

Te malutkie kropelki, które dostrzegasz rano na liściach i uznajesz za rosę, nie są wyłącznie wodą. Stanowią one mieszaninę wody i **soku roślinnego**, roztworu cukru pochodzącego z łyka (opis tej i pozostałych struktur tworzących roślinę znajdziesz w rozdziale 20.). Owe krople stanowią dowód potwierdzający teorię transportu wody i związków mineralnych z gleby w górę rośliny (omawiamy ten proces w powyższym ustępie — „Transport wody i substancji mineralnych w górę łodygi”).

Mechanizm translokacji soku w roślinach stara się wyjaśnić **hipoteza przepływu masowego**, którą opiszemy teraz krok po kroku.

1. Najpierw cukry zostają dostarczone ze źródeł asymilacji węgla do komórek łyka zwanych rurkami sitowymi, co powoduje powstanie wysokiego stężenia węglowodanów w źródle.

Stężenie cukrów w miejscach zapotrzebowania na węglowodany jest znacznie niższe.

2. W wyniku osmozy woda wnika do komórek sitowych.

Transport osmotyczny polega na przenikaniu wody do obszarów zawierających wyższe stężenie substancji rozpuszczalnych (w tym przypadku cukrów).



3. Napływ wody wywiera nacisk na źródło, co powoduje jej ruch (wraz z rozpuszczonymi w niej węglowodanami) w kierunku rurek sitowych znajdujących się po stronie miejsca zapotrzebowania na węglowodany.

Proces ten przypomina otwieranie dopływu wody do ogrodowego węża. Woda spływająca ze zbiornika popycha płyn znajdujący się w wężu.

4. Cukry są dostarczane do miejsc zapotrzebowania na węglowodany, dzięki czemu zostaje utrzymane ich niskie stężenie w rurkach sitowych.

W wyniku gromadzenia się wody i cukrów w miejscach zapotrzebowania na węglowodany następuje wzrost ciśnienia. Zanim jednak miejsca zapotrzebowania na węglowodany przekształcą się w źródła węglowodanów, asymilaty węgla zostają rozprowadzone po komórkach danej tkanki. Woda pozbawiona w ten sposób rozpuszczonych w niej substancji również dyfunduje z komórki, zmniejszając tym samym ciśnienie.



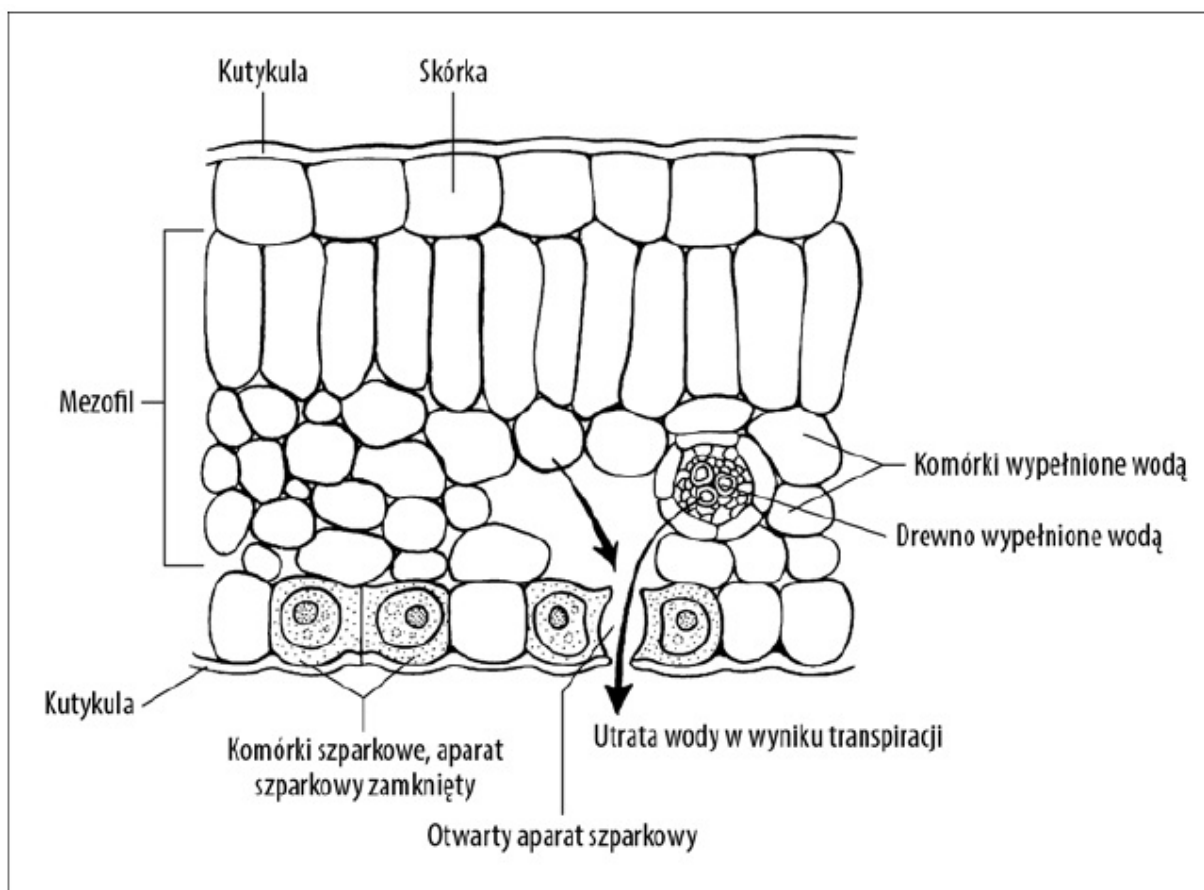
Miejsca zapotrzebowania na węglowodany mogą zostać dostarczającymi je źródłami w razie zapotrzebowania rośliny na cukry. **Skrobia**, wielkocząsteczkowy cukier, jest nierozpuszczalna w wodzie, zatem stanowi magazyn węglowodanów. W warunkach niedoboru asymilatów (gdy rośliny nie fotosyntetyzują zbyt wiele cukrów), np. w nocy lub w okresie zimowym, rośliny rozkładają skrobię na cukry proste, przez co dotychczasowe miejsca zapotrzebowania na węglowodany stają się ich źródłami.

Komórki roślinne mogą pełnić rolę zarówno źródeł asymilacji węgla, jak i miejsc zapotrzebowania na węglowodany, dlatego transport floemowy może przebiegać dwukierunkowo, przez co rośliny są doskonale przystosowane w dostarczaniu cukrów i płynów do dowolnego miejsca w organizmie. Roślina świetnie sobie radzi sama, jeżeli posiada dostęp do substancji mineralnych, wody, dwutlenku węgla i światła słonecznego.

Gospodarka wodna roślin

Woda jest składnikiem niezbędnym dla przeżycia roślin, dlatego wykształciły one mechanizmy zapobiegające nadmiernej utracie tego bezcennego płynu: mianowicie posiadają kutykulę oraz komórki przyszparkowe.

Kutykula stanowi najbardziej zewnętrzną warstwę komórek pokrywających organizm rośliny (patrz rysunek 21.1). Przepuszcza ona światło, ale uniemożliwia parowanie wody. Wiele gatunków roślin posiada kutykulę nasączoną woskami, które nie pozwalają na wchłanianie ani ucieczkę wody przez powierzchnię liścia — podobnie jak woda spływa po nawoskowanej karoserii samochodu, ale nie może przez nią przeniknąć.



Rysunek 21.1. Kutykula i komórki przyszparkowe zapobiegają nadmiernej utracie wody przez roślinę

Komórki szparkowe znajdują się na spodniej stronie liści, tuż przy **aparacie szparkowym** — mikroskopijnym otworu umożliwiającym wymianę gazową. Rośliny pozostawiają otwarte aparaty szparkowe (widoczne na rysunku 21.1) po to, aby pobierać dwutlenek węgla niezbędny do przebiegu fotosyntezy oraz żeby uwalniać tlen do środowiska. Jeżeli jednak będą one otwarte za długo w upalny dzień, roślina będzie tracić zbyt wiele wody. Stąd każdy aparat szparkowy posiada po dwie komórki przyszparkowe.



Komórki szparkowe posiadają zdolność do rozszerzania się i obkurczania, dzięki czemu mogą zamykać i otwierać aparaty szparkowe. Gdy Słońce świeci i fotosynteza wre jak szalona, komórki przyszparkowe zostają napełnione wodą niczym balony, co powoduje ich rozciągnięcie i otwarcie aparatu szparkowego. W nocy z kolei, przy braku fotosyntezy, komórki przyszparkowe wypuszczają nieco wody i rozszerzają się, zamykając tym samym aparat szparkowy.



Niektóre rośliny żyjące w bardzo suchych i gorących środowiskach oszczędzają wodę, otwierając aparaty szparkowe w nocy i gromadząc dwutlenek węgla w liściach. W ciągu dnia aparaty szparkowe pozostają zamknięte, a roślina przeprowadza fotosyntezę, korzystając ze zmagazynowanego zapasu dwutlenku węgla.

Mszyce zasysają

Mszyce, te malutkie owady potrafiące zabić niepilnowane rośliny doniczkowe, odżywiają się soki płynącym w łyku. Posiadają one długi, ostro zakończony aparat zwany sztyletem, pozwalający na bezpośrednie wysysanie soku z floemu. Samo przebicie tkanek nie jest szkodliwe dla rośliny — w rzeczywistości mszyce potrafią dostać się do rurek sitowych bez wywoływania „ból”. Owad ten potrafi przylegać całymi godzinami do rośliny, bez przerwy pijąc sok. To właśnie jego utrata — pomnóż to przez mnóstwo mszyc zasiedlających jeden organizm — powoduje obumieranie rośliny^[2]. Mszyce zaspokajają głód, pozostawiając roślinę z niedostatkiem węglowodanów.

Paradoksalne, że właśnie dzięki szkodliwej działalności tych owadów naukowcy opracowali sposób badania transportu soku we floemie. Pozwalają oni mszycy wbić się w roślinę, a następnie odcinają owada, pozostawiając jednak sztylet w tkankach roślinnych. Substancje wypływające ze sztyletu są zbierane do dalszych badań.

Sygnalizacja hormonalna u roślin

Komórki roślinne komunikują się ze sobą za pośrednictwem **fitohormonów** — związków chemicznych produkowanych przez roślinę w celu regulacji wzrostu i rozwoju docelowych tkanek. Hormony roślinne sterują wieloma obserwowalnymi procesami, takimi jak dojrzewanie owoców, wzrost pędów oraz korzeni, „poszukiwanie” słońca przez roślinę, opadanie liści jesienną porą, a także zakwitanie w określonych porach roku.

Hormony roślinne dzielimy na pięć podstawowych kategorii.

- **Auksyny** stymulują elongację (wydłużanie) komórek oraz **fototropizm** (wzrost pędu w kierunku źródła światła). Jeżeli roślina jest równomiernie oświetlana z każdej strony, to łodyga rośnie pionowo. Przy nierównomiernym oświetleniu auksyny gromadzą się po zacięnionej stronie rośliny. Wydaje się to nielogiczne, ale rozrost „mroczonej” strony łodygi powoduje jej wykoślawienie w kierunku światła. Liście są w ten sposób zawsze skierowane w stronę źródła światła, przez co fotosynteza przebiega nieprzerwanie.
- **Gibereliny** odpowiedzialne są jednocześnie za elongację i podziały komórek, dzięki czemu rosną pędy oraz liście. Substancje te pobudzają również pąki i nasiona do wiosennego wzrostu.
- **Cytokininy** wywołują podziały komórkowe, pobudzają rozrost blaszki liściowej oraz hamują starzenie się liści.

Kwiaciarze wykorzystują tę kategorię hormonów do utrzymywania ściętych kwiatów dłużej przy życiu.

- **Kwas abscysynowy** hamuje wzrost komórek i wpływa na zamykanie się aparatów szparkowych. W szkółkach hodowlanych substancja ta pozwala na transportowanie uśpionych roślin.

- **Etylen** powoduje dojrzewanie owoców oraz sygnalizuje początek opadania liści. Producenci owoców wykorzystują ten związek w dojrzewalniach w celu przygotowywania sprzedawanego towaru do konsumpcji.



Część procesów kształtujących smak owocu przebiega jedynie wtedy, gdy znajduje się on jeszcze na roślinie. Z tego powodu nawet jeśli etylen wpływa na takie elementy dojrzewania jak mięknięcie miąższu, przedwcześnie zerwany owoc nie smakuje tak jak prawdziwie dojrzały. Dlatego właśnie po zakupie wielkiego, pięknie zabarwionego pomidora okazuje się w domu, że smakuje jak woda — prawdopodobnie zerwano go, gdy był niedojrzały i potraktowano etylenem.

Przypisy:

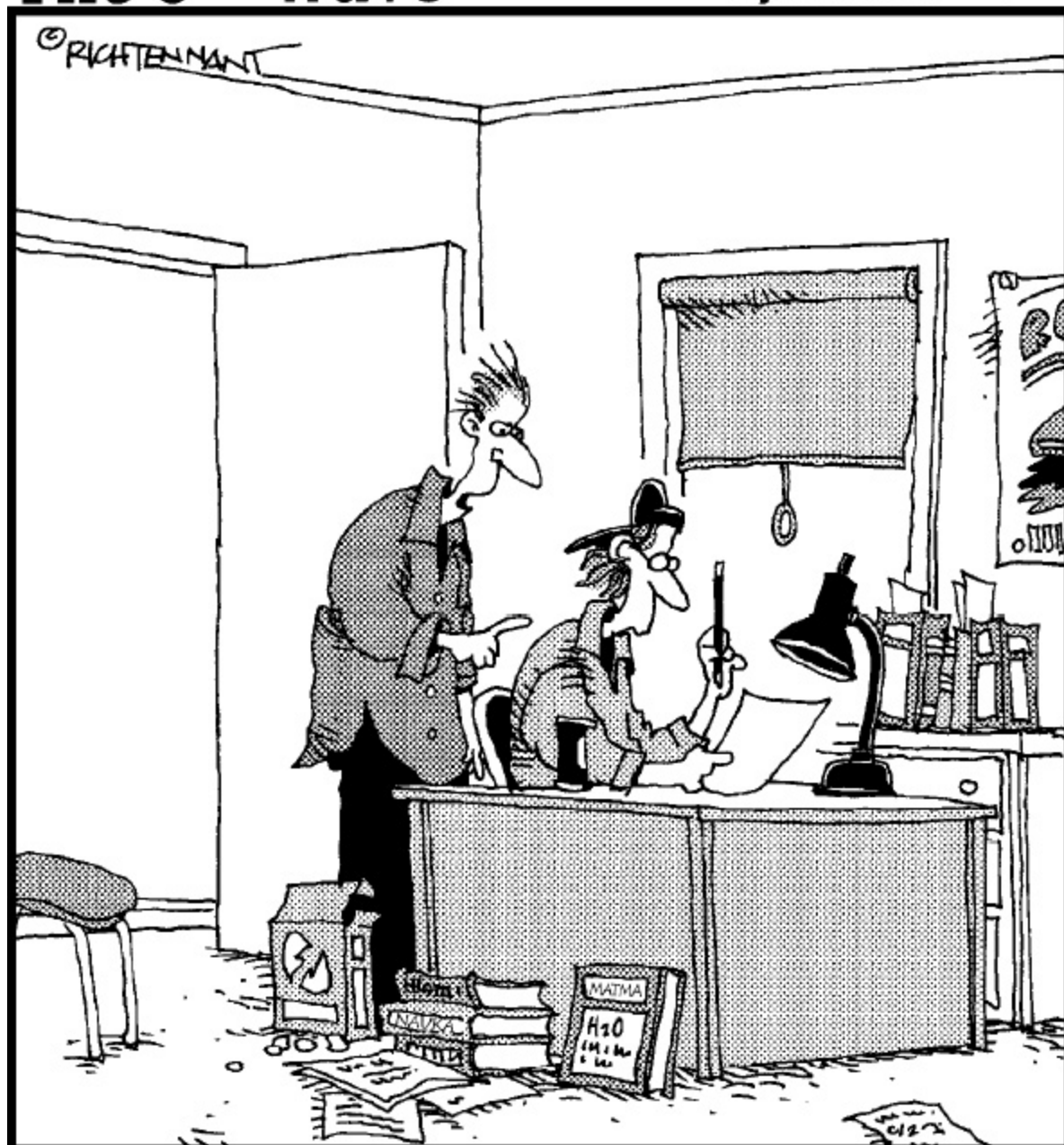
[1] Oczywiście dotyczy to również nadmiaru dowolnego składnika — *przyp. tłum.*

[2] A oprócz tego ryzyko przeniesienia wirusa z mszycy na roślinę oraz zagnieżdżenia się zarodników grzybowych na spadzi pozostawianej przez te owady — *przyp. red.*

Część VI Dekalogi

The 5th Wave

By Rich Tennant



Twój wzór na budowę węglowodanów wydaje się być bliski prawdy, ale nie do końca. Jestem przekonany, że składają się one z węgla, wodoru, tlenu, kwaśnej śmietany i kawałków bekonu

W tej części...

Nieodzwonną częścią serii „Dla bystrzaków” jest dział „Dekalogi” zawierający zabawne fakty oraz przydatne informacje. Znajdziesz tu i jedno, i drugie. Rozdział 22.

został poświęcony dziesięciu fascynującym odkryciom biologicznym (oczywiście odkryć tych jest znacznie więcej, ale wybrałyśmy te mające fundamentalne znaczenie dla zrozumienia biologii). Z kolei czytając rozdział 23., poznasz dziesięć interesujących sposobów, w jakie biologia wpływa na Twoje życie.

Podsumowując: jeżeli szukasz lekkiej, ale pouczającej lektury, to znajdujesz się we właściwym miejscu!

Rozdział 22.

Dziesięć wielkich odkryć biologicznych

.....

W tym rozdziale:

- ▶ dowiesz się, w jaki sposób odkryto tajemnice budowy DNA, procesów komórkowych i innych zjawisk biologicznych;
 - ▶ poznasz eksperymenty prowadzące do produkcji szczepionek, antybiotyków oraz odkrycia metod leczenia wad genetycznych.
-

Przygotuj się na podróż po dziesięciu być może najważniejszych odkryciach biologicznych w dotychczasowych dziejach ludzkości. Każde z nich miało znaczący wpływ na rozwój biologii jako nauki przyrodniczej, a do tego bardzo mocno wpłynęły na nasze zrozumienie świata ożywionego.

Obserwacja niedostrzegalnego

Aż do 1675 roku ludzie wierzyli, że jedynymi istotami żywymi są te, które można dostrzec gołym okiem. Owego roku holenderski sprzedawca ubrań Antoni van Leeuwenhoek odkrył istnienie świata drobnoustrojów, korzystając z własnoręcznie skonstruowanego mikroskopu. Van Leeuwenhoek uznawany jest za pierwszego człowieka, który zaobserwował istnienie bakterii — wedle jego opisu były to małe zwierzątka poruszające się tu i tam, przebywające dosłownie wszędzie. Odkrycie wcześniej niewidzialnego wszechświata nie tylko postawiło na głowie

przekonania wszystkich ówczesnie żyjących ludzi, lecz również stanowiło podwaliny pod zrozumienie chorobotwórczości mikroorganizmów.

Wytworzenie penicyliny, pierwszego antybiotyku

Ludzkość nie posiadała wielu skutecznych broni do zwalczania infekcji drobnoustrojowych aż do czasu odkrycia właściwości przeciwbakteryjnych penicyliny przez Alexandra Fleminga w 1928 roku. Fleming badał jeden ze szczepów gronkowca, gdy część szalek Petriego została zanieczyszczona pleśnią z rodzaju *Penicillium*. Ku zdumieniu badacza w miejscach rozrostu pleśni bakterie przestawały się rozwijać.

Wyizolowany z pleśni związek chemiczny — penicylina — został po raz pierwszy użyty do leczenia żołnierzy podczas II wojny światowej. Po zakończeniu wojny „cudowny lek” zaczął być stosowany do kurowania całej ludzkości, a wyścig do odkrywania nowych antybiotyków wystartował na dobre.

Ochrona ludzi przed czarną ospą

Czy uwierzysz, że koncepcja szczepienia ludzi przed takimi chorobami jak czarna oспа, odra czy świnka wywodzi się ze starożytnych Chin? Tamtejsi uzdrowiciele zbierali strupy od osób, które przeżyły czarną ospę, a następnie mieli je na proszek, który był wdychany przez pacjentów. Choć brzmi to obrzydliwie, ci dawni lekarze rzeczywiście zaszczepiali swych pacjentów i zapobiegali rozprzestrzenianiu się choroby.

Określenie struktury DNA

James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin i Maurice Wilkins odkryli, w jaki sposób informacja genetyczna zostaje zakodowana w cząsteczce DNA, co otworzyło drogę do zrozumienia zależności pomiędzy kodem genetycznym a biosyntezą białek. Zaproponowali strukturę DNA jako cząsteczki zbudowanej z dwóch łańcuchów nukleotydowych skierowanych w przeciwne strony oraz połączonych wiązaniami wodorowymi występującymi pomiędzy parami zasad azotowych. Zbudowali model, w którym zasady azotowe były reprezentowane przez metalowe blaszki — model, który cały świat niemal natychmiast uznał za właściwy.

Znajdowanie i zwalczanie uszkodzonych genów

Dwudziestego czwartego sierpnia 1989 roku naukowcy pierwszy raz w historii ogłosili odkrycie przyczyny choroby genetycznej: znaleźli niewielką delecję genu w obszarze chromosomu 7., która stała za rozwojem zabójczej mukowiscydozy. Identyfikacja tej wady genetycznej przy jednoczesnym zrozumieniu, że to właśnie ona stanowi źródło choroby, dała początek olbrzymiej fali badań genetycznych. Od tego pamiętnego dnia odkryto mechanizmy genetycznego podłoża również innych chorób, takich jak płasawica Huntingtona, dziedziczne odmiany raka piersi, anemia sierpowata, zespół Downa, choroba Taya-Sachsa, hemofilia czy dystrofia mięśniowa. Zaprojektowano testy genetyczne pozwalające na wykrycie uszkodzonych genów u płodu, a także na sprawdzenie, czy rodzice nie są nosicielami wadliwej informacji genetycznej, którą mogą przekazać potomstwu. Znając zaś przyczyny

chorób, naukowcy mogą skupić się na metodach zapobiegania im.

Odkrycie współczesnych praw dziedziczenia

Dziewiętnastowieczny zakonnik austriackiego pochodzenia, Grzegorz Mendel, przeprowadzał wieloletnie badania na grochu, co doprowadziło do zdefiniowania fundamentalnych reguł dziedziczności, które do dzisiaj pozostają aktualne. Rośliny grochu posiadają szereg widocznych cech — gładkie/pomarszczone nasiona, wysokie/niskie rośliny itd. — Mendel był w stanie obserwować wyniki zapylania krzyżowego i hodować różne odmiany tego gatunku.

Dzięki swoim doświadczeniom Mendel ustalił, że czynniki genetyczne są przekazywane potomstwu przez rodziców i pozostają niezmienione, przez co wędrują do kolejnego pokolenia. Chociaż Mendel przeprowadzał swoje eksperymenty przed odkryciem DNA i chromosomów, sformułowane przez niego prawa cech dominujących/recesywnych, segregacji oraz niezależnego doboru są do dzisiaj wykorzystywane (a także szczegółowo objaśnione w rozdziale 7.).

Teoria ewolucji

Badania Karola Darwina nad olbrzymimi żółwiami i ziębami z archipelagu Galapagos doprowadziły do sformułowania słynnej teorii doboru naturalnego („przetrwanie najlepiej dostosowanych”), którą opublikował w 1859 roku w pracy *O powstawaniu gatunków*. Trzonem teorii Darwina jest stwierdzenie, że organizmy posiadające cechy dostosowane do danego środowiska mają większe szanse na przeżycie i

rozmnożenie się (co oznacza przekazanie przydatnych cech potomstwu). Takie lepiej przystosowane populacje zaczynają dominować na określonym obszarze, podczas gdy słabiej dostosowane odmiany tego samego gatunku albo nie radzą sobie tak dobrze, albo po prostu giną. Zatem po pewnym czasie cechy występujące u populacji organizmów żyjących na danym obszarze mogą ulec zmianie w stosunku do pierwotnego gatunku. Znaczenie teorii doboru naturalnego jest bardzo łatwo dostrzegalne na przykładzie ewolucji szczepów bakteryjnych opornych na antybiotyki.

Sformułowanie teorii komórkowej

W 1839 roku zoolog Theodor Schwann rozmawiał na przyjęciu z botanikiem Matthiasem Schleidenem o swoich badaniach. W trakcie omawiania struktury komórki roślinnej przez Schleidena Schwanna zaskoczyło uderzające podobieństwo pomiędzy komórkami roślin i zwierząt. Dało to początek **teorii komórkowej**, składającej się z trzech podstawowych założeń:

- wszystkie istoty żywe mają budowę komórkową,
- komórka jest najmniejszą jednostką tworzącą organizm,
- każda komórka pochodzi od innej komórki.

Transfer energii w cyklu Krebsa

Cykl Krebsa, nazwany tak od brytyjskiego biochemika niemieckiego pochodzenia, sir Hansa Adolfa Krebsa, stanowi podstawowy proces metaboliczny zachodzący u wszystkich istot żywych. W jego wyniku następuje przeniesienie energii na wiązania w cząsteczce ATP

stanowiącej paliwo komórkowe zasilające wszelkie reakcje zachodzące w komórce. Wyjaśnienie mechanizmu gospodarowania energią na poziomie komórkowym otworzyło furtkę do dalszych badań nad zaburzeniami i chorobami metabolicznymi.

Powielanie DNA w procesie PCR

W 1983 roku Kary Mullis dokonał odkrycia **reakcji łańcuchowej polimerazy** (ang. *polymerase chain reaction* — PCR), procesu, dzięki któremu naukowcy mogą tworzyć liczne kopie nici DNA w celach badawczych. Obecnie technika PCR jest wykorzystywana do:

- wytwarzania wielu kopii DNA w celu sekwencjonowania,
- znajdowania i analizowania DNA z bardzo małych próbek znajdowanych na miejscu zbrodni,
- wykrywania chorobotwórczych drobnoustrojów w ludzkich tkankach,
- wytwarzania licznych kopii genu wykorzystywanych w inżynierii genetycznej.

Rozdział 23.

Dziesięć sposobów, w jakie biologia wpływa na Twoje życie

.....

W tym rozdziale:

- ▶ dowiesz się, w jaki sposób biologia zapewnia elementy niezbędne do przetrwania (pokarm, czystą wodę itd.);
 - ▶ poznasz metody manipulowania organizmami poprzez stosowanie technik inżynierii genetycznej, projektowanie leków itd.
-

Można czasami odnieść wrażenie, że nauki ścisłe to dziedziny laboratoryjne oderwane od codziennego życia. Być może tak jest, ale konsekwencje badań mają ogromny wpływ na nas i na nasze otoczenie, począwszy od spożywanego pokarmu, aż po energię zasilającą domy. Poniżej przedstawiamy listę dziesięciu zjawisk, które wynikają z rozwoju nauk biologicznych. Pewne zjawiska są pozytywne, inne — nie do końca. Tak czy inaczej kilka z nich może Cię zaskoczyć.

Zapewnianie pokarmu



Zacznijmy od tego, że gdyby rośliny nie produkowały własnego pożywienia, nie mielibyśmy co jeść. Zatem następnym razem, gdy zasiądziesz do smakowicie wyglądających

sałatki lub kotleta, nie zapomnij podziękować fotosyntezie (omówionej w rozdziale 5.).

Być może tego nie wiesz, ale rośliny nie są jedynymi producentami pokarmu. Sztukę tę opanowali również ludzie. Wytwarzamy takie produkty jak jogurt, ser, chleb, kiełbasa, kiszone ogórki czy tempeh^[1], częściowo korzystając ze zdolności fermentacyjnych bakterii oraz drożdży.

Zaprzęganie drobnoustrojowych enzymów do pracy

Mikroorganizmy nie służą wyłącznie do wytwarzania jedzenia; znalazły zastosowanie również w wielu gałęziach przemysłu. Producenci detergentów dodają enzymy bakteryjne do proszków do prania, dzięki czemu są usuwane tłuste plamy. Inne enzymy są wykorzystywane do zmiękczenia mięsa, co następuje dzięki rozbijaniu łańcuchów białkowych. Witamina C, którą łykasz w tabletkach, w większości jest wytwarzana przez jakiś gatunek grzyba. Jeśli regularnie pijesz koktajle białkowe, zawarte w nich aminokwasy również mogą być pochodzenia bakteryjnego. Jak więc widać, nie wszystkie drobnoustroje są groźne. Niektóre z nich poprawiają jakość życia, upraszczając pewne procesy technologiczne oraz utrzymując Cię w dobrym zdrowiu.

Projektowanie genów

Spożywane przez Ciebie jedzenie może w jakiejś części być przyrządzone z genetycznie modyfikowanych organizmów (GMO) — istot żywych, których geny zostały przekształcone przez naukowców w celu uzyskania jak najbardziej

korzystnych cech. Na przykład niektóre rośliny uprawne otrzymują geny odporności na działanie szkodników, natomiast zwierzęta mogą być wspomagane hormonami^[2] zwiększającymi ilość produkowanego mleka lub przyrost masy mięśniowej.

Wykorzystywanie paliw kopalnych

Paliwa kopalne napędzające współczesną cywilizację stanowią pozostałości po fotosyntezie przeprowadzanej miliony lat temu. Mniej więcej 350 milionów lat temu, w okresie karbonu, zielone glony, rośliny i bakterie przekształcały energię światła słonecznego w energię wiązań chemicznych przechowywaną w komórkach. Gdy te organizmy ginęły, ich pozostałości tworzyły osady zmieniające się pod wpływem warunków środowiskowych w ropę naftową, węgiel oraz gaz ziemny.

Ludzkość teraz ma problem, ponieważ zgodnie z przewidywaniami zapasy paliw kopalnych powoli zaczynają się kończyć. Być może jednak najprostszym rozwiązaniem jest naśladowanie zielonych organizmów, które przekształciły się w złoża paliw — ludzie mogą „zachowywać się jak rośliny” i okiełznać energię pochodzącą ze Słońca!

Wywoływanie i leczenie chorób zakaźnych

Zawsze gdy zapadasz na jakąś chorobę zakaźną, np. przeziębienie albo anginę, stajesz się ofiarą rozmnażania obcych najeźdźców. Twój system odpornościowy wkracza do akcji, pobudzając komórki zdolne do walki z patogenami oraz powstrzymujące wirusy lub bakterie od dalszego

rozmnażania się. Nie zapominaj, że wiele łykanych przez Ciebie antybiotyków jest wytwarzanych przez jakiś gatunek grzyba lub bakterii.

Walka o przetrwanie



W każdej sekundzie Twojego życia wszystkie komórki organizmu nieustrudzenie pracują — trawiają pokarm, wysyłają sygnały stanowiące odpowiedzi na bodźce, transportują tlen po całym organizmie, kurczą się, zapewniając możliwość ruchu, oraz przeprowadzają setki innych czynności umożliwiających życie. Gdyby komórki nie funkcjonowały, tkanki i narządy nie przetrwałyby długo.

Zapewnianie dostępu do czystej wody

Podziękuj **terenom podmokłym** za obecność bezcennej, czystej wody. Są to obszary nasączone wodą przez większość czasu. Pełnią rolę naturalnej gąbki, przetrzymując wodę w glebie i filtrując ją wokół żyjących tam roślin. Woda wsiąka tam bardzo powoli, dlatego rośliny i drobnoustroje mają czas, aby wchłaniać zanieczyszczenia wytwarzane przez człowieka, takie jak nawozy i ścieki, dzięki czemu oczyszczają wodę i sprawiają, że jest bezpieczniejsza do spożycia przez ludzi i zwierzęta^[3]. Wszystkie organizmy żywe potrzebują wody — czystej wody — do zachowania zdrowia, dlatego obecność terenów podmokłych bardzo mocno wpływa na poprawę jakości życia. Niestety, obszary te przekształcane są w miejsca na zabudowę oraz na tereny wydobywania paliw kopalnych, przez co znikają w coraz szybszym tempie.

Innym sposobem dostępu do czystej wody są oczyszczalnie ścieków. Bakterie rozkładają materię organiczną zawartą w ściekach i pomagają ją oczyścić, zanim powróci do środowiska^[4].

Zmiany fizyczne i psychiczne

Prawdopodobnie w jakimś momencie życia hormony Tobą „pokierowały” lub dopiero „pokierują”. Przykład: spotykasz kogoś, kto Ci się podoba, odpowiednie sygnały powodują uwolnienie hormonów i nagle okazuje się, że od tej chwili nie wszystkie decyzje będziesz podejmować świadomie. Jeżeli ten przykład nie przekonuje Cię o potędze hormonów, pomyśl o okresie dojrzewania. W owym czasie Twój organizm przechodził nieprawdopodobną wręcz transformację jedynie w oparciu o te wszechwładne cząsteczki sygnalizacyjne.

Powstanie antybiotykoodpornych szczepów bakterii

Podczas zażywania antybiotyku giną najpierw najbardziej wrażliwe bakterie, a pozostają osobniki odporne na działanie leku. Te ocalałe bakterie zaczynają się rozmnażać i wkrótce zajmują wolną przestrzeń. Jeśli ta sytuacja powtórzy się kilkakrotnie, całe populacje bakterii stają się w końcu odporne na działanie antybiotyków. Z tego właśnie powodu lekarze nie mają lekarstwa na niektóre zakażenia bakteryjne, na przykład **MRSA** (czyli **gronkowca złocistego opornego na metycylinę**).

Problem wymierania

Pewnie nie poświęcasz zbyt wiele uwagi kwestii wymierania, ale jest to zagadnienie, nad którym warto się zastanowić. Znakomitym przykładem są niedźwiedzie polarne. Wraz ze wzrostem globalnej temperatury następuje topnienie lodu na biegunach, przez co systematycznie kurczą się siedliska niedźwiedzi polarnych. Ponadto jest zagrożonych (choć nie w tak spektakularny sposób) 1900 innych gatunków zwierząt i roślin.



W miarę przekształcania coraz większych połaci terenu i zasobów do własnego użytku przez człowieka coraz mniej miejsca pozostaje dla innych organizmów. Każdy gatunek wymaga określonych zasobów i warunków do przetrwania, a rozrastająca się populacja ludzka przejmując coraz więcej siedlisk. To bardzo zła wiadomość, ponieważ kondycja naszego gatunku jest ściśle uzależniona od kondycji innych ekosystemów. Na przykład w wyniku przekształcania rejonów wybrzeża drastycznie redukujemy liczebność estuariów, które stanowią bardzo ważne tarliska dla wielu gatunków ryb. Zmniejszanie liczby tarlisk oznacza redukcję ilości ryb w oceanach, co stanowi niedobre wieści zarówno dla człowieka, jak i innych organizmów morskich (ponad 80% gatunków ryb przeznaczonych na cele konsumpcyjne spędza część swojego życia w estuariach).

Przypisy:

[1] Sfermentowane ziarna soi — *przyp. tłum.*

[2] Aczkolwiek „wspomaganie” zwierząt hormonami nie jest częścią inżynierii GMO — *przyp. red.*

[3] Czystą wodę zawdzięczamy również procesom samooczyszczania rzek. Zachodzą one najlepiej w rzekach nieuregulowanych, w których zachował się

właściwy rzekom skład gatunkowy organizmów — *przyp. red.*

[4] Warto też wspomnieć, że procesy oczyszczania ścieków mogą być prowadzone za pomocą oczyszczalni hydrofitowych (botanicznych), w których wykorzystywane są różne gatunki roślin — *przyp. red.*

PROGRAM PARTNERSKI

GRUPY WYDAWNICZEJ HELION

- 
1. ZAREJESTRUJ SIĘ
 2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
 3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW
w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA WYDAWNICZA

 **Helion SA**

Spis treści

[O autorkach](#)

[Podziękowania od autorki](#)

[Podziękowania od wydawcy oryginału](#)

[Wstęp](#)

[O książce](#)

[Konwencje zastosowane w książce](#)

[Czego nie czytać](#)

[Naiwne założenia](#)

[Jak podzielona jest książka](#)

[Część I: Podstawy biologii](#)

[Część II: Rozmnażanie komórek i genetyka —
porozmawiajmy o seksie, skarbie](#)

[Część III: To małe, ściśle zintegrowane świat](#)

[Część IV: Obfitość układów. Budowa i funkcje organizmów
zwierzęcych](#)

[Część V: Niełatwo być zielonym. Budowa i fizjologia roślin](#)

[Część VI: Dekalogi](#)

[Ikony użyte w książce](#)

[Co dalej](#)

[Część I Podstawy biologii](#)

[Rozdział 1. Zgłębianie świata ożywionego](#)

[Wszystko rozpoczyna się od komórki](#)

[Życie rodzi życie — rozmnażanie i genetyka](#)

[Poszukiwanie związku pomiędzy ekosystemem a ewolucją](#)

[Zaprzyjaźnienie się z anatomią i fizjologią zwierząt](#)

[Porównanie roślin do ludzi](#)

[Rozdział 2. Metody badania życia](#)

[Żywe organizmy — dlaczego naukowcy się nimi zajmują
oraz jak są definiowane](#)

[Poznanie świata za pomocą obserwacji](#)

[Wprowadzenie do metody naukowej](#)

[Planowanie eksperymentu](#)

[Nauka jako źródło nieustannej wymiany nowych pomysłów](#)
[Wyszukiwanie informacji naukowych](#)
[Dzienniki — nie tylko do zapisywania snów](#)
[Podręczniki — podstawa dla ucznia](#)
[Prasa popularna — nie zawsze rzetelna](#)
[Internet — bogactwo informacji, ale nie zawsze dobrych](#)
[Rozdział 3. Chemia życia](#)
[Co z tą materią?](#)
[Różnice pomiędzy atomami, pierwiastkami i izotopami](#)
[Wy„Bohr”ne atomy](#)
[Elementarność pierwiastków](#)
[I zostały izotopy](#)
[Cząsteczki, związki chemiczne i wiązania](#)
[Kwasy i zasady \(to nie nazwa zespołu heavymetalowego\)](#)
[„Ph”enomen skali pH](#)
[Bufoniaste roztwory buforowe](#)
[Cząsteczki organiczne — podstawa życia](#)
[Dostarczanie energii — węglowodany](#)
[Łączenie i rozbijanie cukrów](#)
[Proces magazynowania glukozy](#)
[Życie staje się faktem — białka](#)
[Elementy składowe białek](#)
[Główne funkcje białek](#)
[Rysowanie mapy komórki — kwasy nukleinowe](#)
[Kwas deoksyrybonukleinowy \(DNA\)](#)
[Kwas rybonukleinowy \(RNA\)](#)
[Zapasy budulca, energii i nie tylko — lipidy](#)
[Rozdział 4. Żywa komórka](#)
[Podstawowe informacje o komórkach](#)
[Rzut okiem na prokaryoty](#)
[Budowa komórki eukariotycznej](#)
[Komórki i organelle — to nie jest kolejny zespół gospelowy](#)
[Jak zachować spójność — błona komórkowa](#)
[Rozpracowywanie modelu płynnej mozaiki błon biologicznych](#)
[Transport substancji przez błony komórkowe](#)

[Pasywne poruszanie się](#)
[Aktywny transport substancji](#)
[Podpora komórki — cytoszkielet](#)
[Sterowanie przedstawieniem — jądro](#)
[Biosynteza białek — rybosomy](#)
[Fabryka we wnętrzu komórki — siateczka](#)
[śródpłazmatyczna](#)
[Przygotowanie produktów do wysyłki — aparat Golgiego](#)
[Sprzątanie bałaganu — lizosomy](#)
[Niszczanie toksyn — peroksysomy](#)
[Zapewnianie energii w stylu ATP — mitochondria](#)
[Przetwarzanie energii — chloroplasty](#)
[Przedstawiamy enzymy — rozruszniki reakcji chemicznych](#)
[Pozostają takie same...](#)
[...przy jednoczesnym obniżeniu energii aktywacji](#)
[Odrobina pomocy od kofaktorów i koenzymów](#)
[Regulacja działania enzymów poprzez ujemne sprzężenie](#)
[zwrotne](#)
[Rozdział 5. Pozyskiwanie energii](#)
[Po co nam energia?](#)
[Reguły rządzące energią](#)
[Metabolizowanie cząsteczek](#)
[Przenoszenie energii za pomocą ATP](#)
[Żywność jako źródło materii i energii](#)
[Zdobywanie żywności kontra wytwarzanie własnej](#)
[Fotosynteza, czyli jak przyrządzić jedzenie ze światła](#)
[słonecznego, dwutlenku węgla i wody](#)
[Przekształcanie energii pochodzącej z fundamentalnego](#)
[źródła zasilania](#)
[Łączenie materii i energii](#)
[Oddychanie komórkowe, czyli jak za pomocą tlenu](#)
[przekształcić jedzenie w energię](#)
[Rozkład składników pokarmowych](#)
[Przenoszenie energii na cząsteczkę ATP](#)
[Energia a Twoje ciało](#)

Część II Rozmnażanie komórek i genetyka —
porozmawiajmy o seksie, skarbie
Rozdział 6. Dziel, aby rządzić — podziały komórkowe
Rozmnażanie — nieprzerwany ciąg istnienia
Podstawy replikacji DNA
Podział komórki — odchodzi stare, przychodzi nowe
Interfaza — wprowadzanie porządku
Mitoza — jedno dla ciebie i jedno dla ciebie
Cztery fazy podziału mitotycznego
Cytokineza stanowi początek osobnej drogi dla komórek
potomnych
Mejoza — bez niej nie byłoby seksu, skarbie
Mejoza I
Mejoza II
Rozmnażanie płciowe a różnorodność genetyczna
Mutacje
Crossing-over
Niezależna segregacja chromosomów
Zapłodnienie
Nierozdzielność chromosomów
Różowe i niebieskie chromosomy
Rozdział 7. Mendel byłby dumny — wprowadzenie do
genetyki
Kilka słów o Twojej wyjątkowości — dziedziczone cechy oraz
czynniki wpływające na dziedziczność
Klasztory i groch — prawa dziedziczenia Mendla
Uzyskiwanie czystych linii macierzystych
Analiza pokoleń F1 i F2
Interpretacja wyników uzyskanych przez Mendla
Mały słownik terminologii genetycznej
Rozwiązywanie genetycznych krzyżówek
Analiza cech u człowieka
Rysowanie drzewa przodków
Analiza różnych scenariuszy dziedziczenia
Wnioski dotyczące cech
Rozdział 8. Czytanie księgi życia — DNA i białka

[Białka definiują cechy, a DNA definiuje białka](#)
[Droga od DNA, przez RNA, do białka — główny dogmat biologii molekularnej](#)
[Przepisywanie informacji zawartej w DNA — transkrypcja](#)
[Pozostałe składniki biorące udział w transkrypcji](#)
[Transkrypcja krok po kroku](#)
[Ostatnie szlify — modyfikacje posttranskrypcyjne RNA](#)
[Tłumaczenie kodu na właściwy język — translacja](#)
[Czym są kodony i antykodony?](#)
[Przebieg translacji](#)
[Pomyłki się zdarzają — konsekwencje mutacji](#)
[Kto ma geny, ten ma władzę — regulacja ekspresji genów](#)
[Dostosowywanie się do zmian środowiskowych](#)
[Doskonalenie się poprzez zróżnicowanie](#)
[Rozdział 9. Projektowanie kodu — techniki obróbki DNA](#)
[Techniki wykorzystywane w obróbce DNA](#)
[Cięcie DNA za pomocą enzymów restrykcyjnych](#)
[Łączenie odcinków DNA pochodzących z różnych źródeł](#)
[Rozdzielanie cząsteczek za pomocą elektroforezy żelowej](#)
[Powielanie genu metodą PCR](#)
[Odczytywanie genu za pomocą sekwencjonowania DNA](#)
[Tworzenie mapy ludzkich genów](#)
[Organizmy modyfikowane genetycznie](#)
[Co zyskujemy dzięki GMO?](#)
[Skąd się biorą obawy przed GMO?](#)
[Część III To małe, ściśle zintegrowany świat](#)
[Rozdział 10. Różnorodność biologiczna i systematyka](#)
[organizmów żywych](#)
[Różnorodność biologiczna — dzięki różnicom stajemy się](#)
[coraz silniejsi](#)
[Szanowanie bioróżnorodności](#)
[Przegląd zagrożeń wynikających z działalności człowieka](#)
[Wymieranie gatunków](#)
[Gatunek kluczowy](#)
[Gatunek wskaźnikowy](#)
[Ochrona bioróżnorodności](#)

[Poznaj swoich sąsiadów — omówienie rodzajów organizmów](#)
[Niedocenieni bohaterowie — bakterie](#)
[Bakteryjni imitatorzy — archeony](#)
[Posmak czegoś znajomego — eukarionty](#)
[Wspinaczka po drzewie życia — systematyka organizmów](#)
[Spacer po domenach](#)
[Systematyzowanie życia na coraz mniejsze grupy](#)
[Zabawa w nomenklaturę](#)
[Rozdział 11. Obserwacja współzależności występujących
pomiędzy organizmami](#)
[Ekosystemy spajają wszystko](#)
[Biomy — wspólnoty życia](#)
[Dlaczego nie możemy być przyjaciółmi — interakcje
międzygatunkowe](#)
[Badanie populacji jest popularne w ekologii](#)
[Podstawowe pojęcia stosowane w ekologii populacji](#)
[Gęstość populacji](#)
[Struktura przestrzenna](#)
[Dynamika populacji](#)
[Przeżywalność](#)
[Analiza rozwoju populacji](#)
[Czym jest potencjał biotyczny?](#)
[Analiza czynników wpływających na rozwój populacji](#)
[Pojemność środowiska](#)
[Wykresy wzrostu populacji](#)
[Analiza populacji człowieka](#)
[Eksplozja demograficzna](#)
[Model przejścia demograficznego](#)
[Obieg materii i energii w ekosystemie](#)
[Podążanie nurtem energii](#)
[Prawa dotyczące energii](#)
[Piramida energii](#)
[Obieg materii w ekosystemie](#)
[Cykl hydrologiczny](#)
[Cykl węglowy](#)
[Cykl fosforowy](#)

[Cykl azotowy](#)

[Rozdział 12. Ewolucja gatunków w zmieniającym się świecie](#)

[W co dawniej wierzyli ludzie?](#)

[W jaki sposób Karol Darwin podważył dawne wierzenia na temat istot żywych?](#)

[Zawdzięczamy to ptakom](#)

[Ewolucja biologiczna według teorii Darwina](#)

[Koncepcja doboru naturalnego](#)

[Porównanie doboru naturalnego z doborem sztucznym](#)

[Warunki niezbędne do występowania doboru naturalnego](#)

[Cztery rodzaje doboru naturalnego](#)

[Dowody na istnienie ewolucji biologicznej](#)

[Biochemia](#)

[Anatomia porównawcza](#)

[Rozkład geograficzny gatunków](#)

[Biologia molekularna](#)

[Zapis kopalny](#)

[Dane obserwacyjne](#)

[Datowanie izotopowe](#)

[Skąd tyle kontrowersji? Ewolucja a kreacjonizm](#)

[Ewolucja człowieka](#)

[Odkrycia kopalne](#)

[Dane z DNA](#)

[Wyjątkowy, wielki mózg człowieka rozumnego](#)

[Część IV Obfitość układów. Budowa i funkcje organizmów zwierzęcych](#)

[Rozdział 13. Refleksje nad podstawami fizjologii](#)

[Badanie procesów fizjologicznych na wszystkich poziomach życia](#)

[Być za pan brat z podstawowymi pojęciami fizjologicznymi](#)

[Ewolucja ku doskonałości](#)

[Sterowanie procesami fizjologicznymi w celu utrzymania homeostazy](#)

[Przesyłanie informacji przez błony komórkowe](#)

[Co się dostaje do środka, musi wydostać się na zewnątrz](#)

[Rozdział 14. Podpora i ruch — układy kostny i mięśniowy](#)

[Iść, ciągle iść w zwierzęcym stylu](#)
[Rodzaje układów szkieletowych](#)
[Analiza szkieletu kręgowców](#)
[Kości, kostki i kosteczki](#)
[Nastaw staw](#)
[Dlaczego mięśnie są tak ważne?](#)
[Typy tkanki mięśniowej](#)
[Skurcz mięśnia](#)
[Rozdział 15. Płyniemy z prądem — układy oddechowy i](#)
[krążenia](#)
[Wymiana gazowa — mechanizmy „oddychania” zwierząt](#)
[Dyfuzja przez powłoki ciała](#)
[Skrzela](#)
[Układ tchawkowy](#)
[Płuca](#)
[Procesy zachodzące w trakcie oddychania](#)
[Kilka słów o dyfuzji](#)
[Krążenie — wejście dla składników odżywczych, wyjście dla](#)
[śmieci](#)
[Otwarte układy krążenia](#)
[Zamknięte układy krążenia](#)
[Docieramy do serca prostych zwierząt](#)
[Układ krążenia i serce pierścienic](#)
[Układ krążenia i serce ryby](#)
[Budowa układu krążenia i serca człowieka](#)
[Cykl sercowy](#)
[Żeglowanie z prądem krwiobiegu](#)
[Natlenowanie krwi — obieg płucny](#)
[Rozprowadzanie natlenowanej krwi — obieg obwodowy](#)
[Zabieraj złe, dawaj dobre — wymiana kapilarna](#)
[Co sprawia, że serce bije?](#)
[Krew — szkarłatne złoto](#)
[Elementy stałe spotykane w szkarłatnym płynie](#)
[Krwinki czerwone](#)
[Krwinki białe](#)
[Płytki krwi](#)

[„Strumień” osocza w Twojej krwi](#)
[Proces krzepnięcia krwi](#)
[Rozdział 16. Sprawdzanie kanalizacji — układy pokarmowy](#)
[i wydalniczy](#)
[Zdobywanie żywności i rozkładanie jej na czynniki pierwsze](#)
[Rodzaje układów pokarmowych](#)
[Różnice pomiędzy niedrożnym a drożnym przewodem](#)
[pokarmowym](#)
[Jak często sięgać po posiłek?](#)
[Podróż po ludzkim układzie pokarmowym](#)
[Najbardziej pracowity przystanek — jama ustna](#)
[Co się dzieje we wnętrzu żołądka?](#)
[Długa i wietrzna wędrówka po jelicie cienkim](#)
[Wchłanianie potrzebnych składników](#)
[Transport związków odżywczych do komórek](#)
[Kontrola stężeń glukozy](#)
[Co na obiad? Podejmowanie mądrych decyzji żywieniowych](#)
[Węglowodany — winne łakomstwa](#)
[Białka — Ty je niszczysz, one Cię tworzą](#)
[Tłuszcze — niezbędne, ale w ograniczonej ilości](#)
[Związki mineralne i witaminy — paliwo dla enzymów](#)
[Układ wydalniczy człowieka](#)
[Anatomia i fizjologia jelita grubego](#)
[Dociekanie sposobu, w jaki nerki pozbywają się azotowych](#)
[produktów przemiany materii](#)
[Rozdział 17. Szybka kontra — układ odpornościowy](#)
[Mikrobiologiczne spotkania najlepszego i najgorszego](#)
[rodzaju](#)
[Dobre bakterie wzmacniają kondycję](#)
[Złe bakterie — szkodliwe dla zdrowia](#)
[Wirusy — zło wcielone](#)
[Stworzona, by Cię chronić — odporność wrodzona](#)
[Twoje najlepsze tamy — skóra i błona śluzowa](#)
[Malutkie, lecz potężne cząsteczki obronne](#)
[Poszukiwacze drobnoustrojów — komórki dendrytyczne](#)
[Duży i mali pożeracze najeźdźców — fagocyty](#)

Ograniczanie strat — stan zapalny
Filtr płynów — układ limfatyczny
Nauka nie poszła w las — odporność nabyta
Głównodowodzący — limfocyty T
Maszerujący żołnierze — limfocyty B i przeciwciała
Komórkowi zabójcy — limfocyty T cytotoksyczne
Jak wesprzeć układ odpornościowy?
Zabijanie bakterii za pomocą antybiotyków
Wykorzystywanie wirusów do walki z bakteriami
chorobotwórczymi
Zwalczanie wirusów za pomocą leków przeciwwirusowych
Wyprzedzanie infekcji za pomocą szczepionek
Starzenie się i choroby — zmiany w układzie
odpornościowym
Rozdział 18. Układ nerwowo-hormonalny — nadzwyczajni
kurierzy
Zawiłości układu nerwowego
Różnica pomiędzy ośrodkowym a obwodowym układem
nerwowym
Wszystkie drogi prowadzą do neuronu
Przetwarzanie sygnału przez trzy rodzaje komórek
nerwowych
Nieświadome działanie
Cóż za doznanie! Mózg i pięć zmysłów
Och, ten zapach — zmysł węchu
Mmm, mmm, pyszne — zmysł smaku
Posłuchaj tego — zmysł słuchu
Widzieć znaczy wierzyć — zmysł wzroku
Boleśnie gorący temat — zmysł dotyku
Wędrowka trasą impulsów nerwowych
Podróż od jednego końca do drugiego
Przekazywanie impulsu pomiędzy dwoma neuronami
Układ dokrewny — nie wszystkie hormony szaleją
Mechanizm działania hormonów
Omówienie głównych funkcji hormonów
Rozdział 19. Podstawy rozmnażania — „produkcja” zwierząt

[Rośnie jak na drożdżach — rozmnażanie bezpłciowe](#)
[Co się kryje za rozmnażaniem płciowym?](#)
[Kilka słów na temat gamet](#)
[Spermatogeneza — produkcja małych pływaków](#)
[Oo, oo, oogeneza — wytwarzanie komórek jajowych](#)
[Rytuały godowe oraz inne przygotowania do wielkiego zdarzenia](#)
[Dopasowanie do sezonu godowego](#)
[Wabienie partnera](#)
[Cykle płciowe u człowieka](#)
[Współżycie seksualne u ludzi](#)
[Narządy płciowe człowieka](#)
[Stosunek płciowy](#)
[Orgazm](#)
[Zapłodnienie](#)
[Jak „to robią” inne zwierzęta?](#)
[Rozwój nowej istoty ludzkiej](#)
[Od pojedynczej komórki do blastocysty](#)
[Do boju, zarodku!](#)
[Rozwój płodowy i narodziny](#)
[Różnicowanie, rozwój i rozstrzyganie](#)
[Zdolność przekształcania się w dowolny rodzaj komórki](#)
[Czynniki wpływające na różnicowanie i rozwój](#)
[Determinacja płci u człowieka](#)
[W jaki sposób chłopcy stają się chłopcami?](#)
[W jaki sposób dziewczęta stają się dziewczętami?](#)
[Problemy dotyczące rozwoju płciowego](#)
[Część V Niełatwo być zielonym. Budowa i fizjologia roślin](#)
[Rozdział 20. Wesole jest życie roślinki](#)
[Anatomia rośliny](#)
[Tkanki roślinne](#)
[Rodzaje roślin](#)
[Rośliny zielne a drzewiaste](#)
[Pozyskiwanie materii i energii](#)
[Zrób to sam — rozmnażanie bezpłciowe](#)

[Mieszanie plemników z komórkami jajowymi —
rozmnażanie płciowe](#)
[Życie rośliny](#)
[Budowa kwiatu](#)
[Przebieg zapylenia i zapłodnienia](#)
[Od zygoty do zarodka](#)
[Tarcza dla zarodka — nasiona](#)
[Rozdział 21. Odrobina fizjologii roślin](#)
[Sposoby transportowania substancji odżywczych, płynów i
cukrów w organizmie roślinnym](#)
[Przegląd substancji odżywczych niezbędnych roślinie do
przetrwania](#)
[Transport wody i substancji mineralnych w górę łodygi](#)
[Przenoszenie cukrów wzdłuż całej rośliny wewnątrz łyka](#)
[Gospodarka wodna roślin](#)
[Sygnalizacja hormonalna u roślin](#)
[Część VI Dekalogi](#)
[Rozdział 22. Dziesięć wielkich odkryć biologicznych](#)
[Obserwacja niedostrzegalnego](#)
[Wytworzenie penicyliny, pierwszego antybiotyku](#)
[Ochrona ludzi przed czarną ospą](#)
[Określenie struktury DNA](#)
[Znajdowanie i zwalczanie uszkodzonych genów](#)
[Odkrycie współczesnych praw dziedziczenia](#)
[Teoria ewolucji](#)
[Sformułowanie teorii komórkowej](#)
[Transfer energii w cyklu Krebsa](#)
[Powielanie DNA w procesie PCR](#)
[Rozdział 23. Dziesięć sposobów, w jakie biologia wpływa na
Twoje życie](#)
[Zapewnianie pokarmu](#)
[Zapręganie drobnoustrojowych enzymów do pracy](#)
[Projektowanie genów](#)
[Wykorzystywanie paliw kopalnych](#)
[Wywoływanie i leczenie chorób zakaźnych](#)
[Walka o przetrwanie](#)

Zapewnianie dostępu do czystej wody

Zmiany fizyczne i psychiczne

Powstanie antybiotykoodpornych szczepów bakterii

Problem wymierania