

The background of the cover is a dense pattern of organic, cell-like shapes. Most are a light red or pink color, while a few are a vibrant purple. The shapes vary in size and orientation, creating a textured, almost microscopic appearance.

Ciało wie lepiej

Przewodnik
po nowoczesnej
nauce o odporności

John
Trowsdale

sensus

Tytuł oryginału: What the Body Knows: A Guide to the New Science
of Our Immune System

Tłumaczenie: Agnieszka Górczyńska

ISBN: 978-83-289-2463-5

© 2024 by John Trowsdale

Originally published by Yale University Press

Polish edition copyright © 2025 by Helion S.A.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Wszelkie prawa zastrzeżone. Nieautoryzowane rozpowszechnianie całości lub fragmentu niniejszej publikacji w jakiegokolwiek 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 wydawca 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 wydawca nie ponoszą również żadnej odpowiedzialności za ewentualne szkody wynikłe z wykorzystania informacji zawartych w książce.

Drogi Czytelniku!

Jeżeli chcesz ocenić tę książkę, zajrzyj pod adres

sensus.pl/user/opinie/seukod

Możesz tam wpisać swoje uwagi, spostrzeżenia, recenzję.

Helion S.A.

ul. Kościuszki 1c, 44-100 Gliwice

tel. 32 230 98 63

e-mail: *sensus@sensus.pl*

WWW: *sensus.pl* (księgarnia internetowa, katalog książek)

Printed in Poland.

- [Kup książkę](#)
- [Poleć książkę](#)
- [Oceń książkę](#)

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

Spis treści

<i>Podziękowania</i>	7
Prolog — Inteligentna odporność	9

Część I. Sekretna armia — Jak działa układ odpornościowy?

1	Poznaj swoich wrogów i przyjaciół — Mikroorganizmy	23
2	Strategia i zasoby — Podstawy odporności	42
3	Piechota — Układ dopełniacza	63
4	Wykrywanie zagrożenia — Rozpoznanie immunologiczne	74
5	Bitwa — Stan zapalny	87
6	Elastyczne reagowanie — Przeciwciała, Trójca Święta i „Bóg”	105
7	Starszy sierżant — Komórki T	126
8	Gromadzenie danych wywiadowczych — Częsteczki MHC	140
9	Pozyskiwanie sojuszników — Tolerancja i współpraca	164
10	Rozpoznawanie zagrożenia — Infekcje wywoływane przez obce czynniki zakaźne i niebezpieczeństwo z nimi związane	176

Część II. Wyzwania obrony – Walka z chorobami

11	Wojna domowa — Autoimmunizacja	195
12	Straty uboczne — Nadwrażliwość	222
13	Okupacja — Przeszczep	243
14	Zaprawa w boju — Pamięć immunologiczna i szczepienia	267
15	Zdrajcy — Nowotwór	289
16	Poddanie się — Starzejący się układ odpornościowy	310
17	Innowacyjna taktyka — Pozyskiwanie nowych genów obronnych	327
18	Różne taktyki — Immunologia porównawcza	340
19	Poza zasięgiem radaru — Omijanie systemów obronnych	357
20	Zaopatrzenie — Dieta a odporność	375
21	Łańcuch dowodzenia — Neuroimmunologia	395
	Epilog	408
	<i>Słowniczek</i>	423
	<i>Przypisy</i>	432

Strategia i zasoby

Podstawy odporności

Aby dostać się do naszego wnętrza, mikroorganizmy wywołujące infekcję muszą najpierw pokonać potężną barierę obronną — skórę. Po przekroczeniu tej przeszkody napotykają bataliony białych krwinek, które pełnią w organizmie różnorodne, wyspecjalizowane funkcje. Komórki te nieustannie krążą we krwi oraz w naczyniach i węzłach chłonnych, strategicznie rozmieszczonych w całym ludzkim organizmie, gotowe do skoordynowania odpowiedzi w kierunku intruzów.

W rzeźbie Damiena Hirsta *Tysiąc lat* z rozkładającej się krowiej głowy umieszczonej w prostokątnej witrynie wielkości kontenera transportowego wyłaniają się larwy. Muchy przez krótki czas eksplorują przestrzeń, zanim zostaną porażone przez świecącą na niebiesko lampę. Pojawienie się organizmów w rozkładającym się mięsie przypomina nam o tym, co ostatecznie czeka nas wszystkich. Pomaga także zrozumieć, dlaczego teoria Arystotelesa o samoródtwie pozostawała wiarygodna aż do XIX wieku, kiedy Florence Nightingale napisała: „Doktryna o określonych chorobach jest wielkim schronieniem dla słabych, niewykształconych i niestabilnych umysłów, które obecnie rządzą profesją medyczną. Nie ma określonych chorób; są tylko określone stany chorobowe”.

Czy po wszystkich swoich doświadczeniach z infekcjami i epidemiami kwestionowała ona teorię zarazków? W tamtym czasie z pewnością narastał sceptycyzm, a Paryska Akademia Nauk zaoferowała nagrodę za rozstrzygnięcie tej debaty. Podejmując wyzwanie, Ludwik Pasteur przeprowadził swój słynny eksperyment z kolbami typu „łabędzia szyja”. Gotował w nich bulion, ale po jego wystygnięciu w kolbach nie pojawiły się mikroorganizmy, ponieważ zakrzywienie szyjki uniemożliwiało im przedostawanie się z powietrza do środka. Jednak po złamaniu szyjki bakterie dotarły do sterylnej wywaru i zaczęły się namnażać. Prostsza demonstracją jest umieszczenie szalki Petriego ze sterylnym agarem odżywczym — galaretką z wodorostów wzbogaconą o substancje odżywcze — na otwartym powietrzu na kilka minut. Po inkubacji przez noc w temperaturze ciała pojawia się szereg lśniących, pastelowych plam — kolonii, z których każda składa się z miliardów organizmów. Możesz też stworzyć własną współczesną instalację artystyczną — wystarczy zostawić mięso poza lodówką na kilka dni. Dlaczego krowa jest tak bezbronna po śmierci, a chroniona za życia? Odpowiedź kryje się w niezwykle złożonej armii komórek, białek i substancji chemicznych.

Kompleksowe inwestycje w obronność

Porównajmy naiwne inwestycje ludzkiego organizmu w obronę z wydatkami rządowymi na ten cel. Obrona militarna nie jest tania. Według Sztokholmskiego Międzynarodowego Instytutu Badań nad Pokojem Stany Zjednoczone wydają rocznie ponad 900 miliardów dolarów na siły zbrojne. Stanowi to nieco ponad 3% PKB, co można uznać za okazję do porównania tych wydatków z kosztami ponoszonymi na ten cel przez niektóre inne kraje, jak Arabia Saudyjska, która przeznaczą ponad 7% środków swoich obywateli na zbrojenia. Większość państw wydaje pieniądze na sprzęt wojskowy, który — mamy nadzieję — nigdy nie zostanie użyty w gniewie. W 2024 roku globalne

wydatki na zbrojenia przekroczą 2,4 biliona dolarów. Do tego należy dodać co najmniej kilkaset miliardów dolarów na cyberbezpieczeństwo.

To ogromne kwoty, ale gdy podliczymy nasz wkład w biologiczną obronę przed infekcjami, okazuje się, że jesteśmy zmuszeni zainwestować znacznie więcej. Biologicznie jesteśmy wręcz obsesyjnie nastawieni na bezpieczeństwo. Można dokonać przybliżonych szacunków, licząc geny zaangażowane w jakikolwiek aspekt obrony immunologicznej. W swoim arsenale możemy uwzględnić nie tylko geny odpowiedzialne za produkcję przeciwciał, ale także geny kodujące białka tworzące bariery fizyczne, broń chemiczną, detektory patogenów, pułapki na patogeny, komórki NK, komórki żerne (fagocyty), cząsteczki wczesnego ostrzegania, białka sygnałowe, enzymy niszczące, białka biorące udział w procesach krzepnięcia krwi, cząsteczki przekaźnikowe, substancje chemiczne wskazujące drogę, węzły chłonne, naczynia limfatyczne i wiele więcej. Istnieją nawet dowody na to, że geny związane ze smakiem są powiązane z cząsteczkami biorącymi udział w nadzorze immunologicznym¹. Łącznie obrona stanowi co najmniej 10 procent wszystkich naszych genów, a prawdopodobnie znacznie więcej². Setki genów, z których wiele wcześniej nie było podejrzewanych o udział w obronie, jak się teraz okazuje, wpływa na naszą odporność³. Nie możliwe jest określenie dokładnej ich liczby, ponieważ geny mają wiele funkcji. To jakby zadać pytanie, ile zasobów kraju, zarówno ludzkich, jak i materialnych, jest faktycznie zaangażowanych w wojnę. Ostatecznie wszyscy, z wyjątkiem kilku świadomych przeciwników, zostają w nią wciągnięci. Podobnie wiele naszych genów koduje białka wielofunkcyjne, pełniące zarówno pokojowe, jak i obronne zadania. Mamy tylko około 21 000 – 25 000 genów podlegających ekspresji, co nie wystarcza, aby każdy miał jedno, konkretne zadanie. Wiele z nich koduje białka wielozadaniowe, które niczym wszechstronne klocki lego wykonują funkcje porządkowe, takie jak usuwanie nieużywanych białek, a także zajmują się obroną w razie potrzeby.

Obrona jest głęboko wpisana w nasze DNA. Ponieważ tak wiele genów jest w nią zaangażowanych, utrata funkcji któregośkolwiek z nich w wyniku mutacji może prowadzić do niedoboru odporności. Zidentyfikowano ponad 400 typów takich niedoborówⁱ, ale ze względu na nadmiarowość genów odpowiedzialnych za ochronę wiele z tych niedoborów jest łagodnych lub niewykrywalnych w normalnych warunkach. Niektóre z najcięższych niedoborów odporności wymagają jednak drastycznych zmian w stylu życia — od życia w sterylnej bańce po zachowywanie niezwykle ostrożności w kwestii zakażeń. Ponieważ nie mogą przyjmować żywych szczepionek, pacjenci ci, choć pozornie mogą wydawać się zupełnie zdrowi, to jednak, co zrozumiałe, czują się bezbronni i wręcz obsesyjnie obawiają się zarażenia ze względu na swoją osłabioną odporność.

Mamy tendencję do niedoceniań ilości zasobów, które przeznaczamy na obronę, ponieważ układ odpornościowy jest zdecentralizowany: nie ma głównego organu odpornościowego, poza śledzioną, bez której zresztą możemy funkcjonować. Obrona rozciąga się po całym organizmie niczym siły partyzanckie. Jest rozproszona, elastyczna i mobilna. W odpowiedzi na liczne kapryśne zagrożenia w toku ewolucji układ odpornościowy stopniowo nabywał potrzebne innowacje i modyfikacje, a także poprawki i adaptacje. To nie Brasilia, to raczej Londyn ze swoimi wąskimi, krętymi uliczkami i rozległymi osiedlami — nieco chaotyczny, ale funkcjonalny przez większość czasu. Mogłoby się wydawać, że taka specyfika układu odpornościowego utrudnia jego badanie, ale na szczęście przynajmniej jego część można łatwo zbadać, pobierając niewielką próbkę krwi. Każda kropla krwi zawiera dziesiątki tysięcy białych krwinek różnych typów, stale gotowych do obrony, atakujących wszelkich niepożądanych intruzów i przygotowanych do działania w każdej chwili. Za moment przyjrzymy się różnym rodzajom tych białych krwinek, ale najpierw powinniśmy jeszcze poznać nasz najprostszy i najcenniejszy element ochronny — skórę.

ⁱ https://www.cdc.gov/primary-immunodeficiency/about/?CDC_AAref_Val=https://www.cdc.gov/genomics/disease/primary_immunodeficiency.htm

Skóra — miękka, a zarazem wytrzymała powłoka zewnętrzna

Gdybyśmy za pomocą wysokiej temperatury zabili wszystkie drobnoustroje w gablocie Hirsta jeszcze przed jej zamknięciem, mięso pozostałoby jadalne przez wiele miesięcy. To zasada konserwowania żywności. Podobnie gdybyśmy mogli zapobiec przedostawaniu się mikroorganizmów do naszych tkanek, z pewnością byłibyśmy bezpieczni, prawda? Skóra, niczym mury zamku będące najstarszą formą obrony, stanowi fizyczną barierę obsadzoną komórkowymi i molekularnymi strażnikami. To nasz największy narząd, stanowiący 16 procent masy ciała i pokrywający powierzchnię około 2 metrów kwadratowych. Skóra jest nieprzepuszczalna dla intruzów, z wyjątkiem sytuacji, gdy zostanie uszkodzona przez urazy, oparzenia, ugryzienia lub przez sprytne pasożyty specjalizujące się we wwiercaniu się w głąb ciała.

Zewnętrzna warstwa skóry, naskórek, składa się z wytrzymałych komórek, których górne warstwy są martwe i stale się złuszcza. Powszechnym mitem jest, że kurz domowy składa się z martwego naskórka. W rzeczywistości większość zewnętrznych warstw skóry złuszcza się podczas kąpieli, pozabawiając posiłku roztocza kurzu domowego. Nowe komórki skóry tworzą się głęboko pod naskórkiem i potrzebują miesiąca, aby wydostać się na powierzchnię skóry. Tuż pod naskórkiem znajduje się gruba warstwa zwana skórą właściwą, w której znajdują się nerwy, naczynia krwionośne, gruczoły potowe i mieszki włosowe. Kolagen w skórze właściwej nadaje skórze wytrzymałość i elastyczność, ale jeśli zostanie ona nadmiernie rozciągnięta, na przykład podczas ciąży, warstwa ta może się rozerwać, pozostawiając rozstępy. Pod skórą właściwą znajduje się warstwa tłuszczu, która pełni funkcję izolacyjną oraz bierze udział w produkcji hormonów i witaminy D, gdy skóra jest wystawiona na działanie promieni słonecznych. Tkanka tłuszczowa przyczynia się również do innych, zupełnie nieoczekiwanych konsekwencji w odniesieniu do odporności, o czym dowiesz się z rozdziału 20.

Jak odkrywały i przekonały się na przestrzeni dziejów różne społeczeństwa, nawet najlepiej chronione zamki mają swoje słabe punkty w miejscach dostępu. Warstwa nabłonkowa skóry przechodzi płynnie w błony śluzowe jamy ustnej, płuc, jelit i dróg moczowo-płciowych, tworząc złożoną sieć kanałów, które topologicznie pozostając na zewnątrz ciała, są narażone na kontakt z wszelkiego rodzaju zarazkami z brudu, pożywienia i powietrza. Wewnętrzne powierzchnie tych przejść nazywane są błonami śluzowymi, ponieważ wyściełają je długie, poplątane cząsteczki tworzące śliską warstwę śluzu wyłapującego mikroby. Są one obmywane płynami zawierającymi cząsteczki przeciwdrobnoustrojowe, takie jak lizozym — enzym obecny w ślinie i łzach. Innym potencjalnie słabym punktem obrony są miejsca, gdzie bariera ochronna jest przełamana przez 5 milionów mieszków włosowych. Są one chronione oleistą, kwaśną substancją zwaną łojem, która działa jak uszczelnienie i, co ciekawe, jest przyjazna dla bakterii komensalnych (pokojuowo współistniejących), ale zapobiega osiedlaniu się szczepów chorobotwórczych, takich jak *gronkowiec*.

Wilgotne powierzchnie błon śluzowych płuc, jelit i narządów rozrodczych stanowią łatwy cel dla wirusów i bakterii. Wirusy przenoszone drogą płciową, takie jak wirus brodawczaka ludzkiego (HPV), specjalizują się w omijaniu odporności w „strefie przejściowej” skóry, gdzie twarde zewnętrzne warstwy ustępują miejsca wilgotnemu wnętrzu. Dostają się one do organizmu przez drobne rany i mikrourazy, przyczepiając się do białek na powierzchni komórek.

Ludzka skóra jest zaskakująco delikatna w porównaniu ze skórą innych, bardziej owłosionych kręgowców. Owłosiona skóra z pewnością ma przewagę pod względem izolacji od zimna, ochrony przed otarciami i palącym słońcem, dlatego większość stworzeń pozbawionych owłosienia żyje pod ziemią lub w wodzie. Jednak dużą zaletą braku owłosienia jest możliwość efektywnego chłodzenia ciała⁴. Ludzie posiadają gruczoły, które mogą wytwarzać do 12 litrów wodnistego potu dziennie, który łatwo odparowuje, ochładzając nas. Gdy nasi dalecy przodkowie przenieśli się z lasów na sawanny, spędzali dużo czasu

wędrując w palącym słońcu w poszukiwaniu wody, jadalnych roślin i mięsa niezbędnego dla energochłonnych, dużych mózgów. Dzięki zdolności obfitego pocenia się w gorący dzień przynajmniej niektórzy z nas mogliby konkurować z koniem w maratonieⁱⁱ. Jednakże rozwiązując problem przegrzewania się, naraziliśmy swoją wrażliwą skórę na większą podatność na uszkodzenia. Każdy gruczoł potowy to oaza skolonizowana przez 100 000 bakterii, które są przez nas tolerowane cały czas, z wyjątkiem okresu dojrzewania. Wtedy to napływ hormonów stymuluje produkcję sebum, będącego pożywką dla bakterii *Propionibacterium acnes*, co prowadzi do powstawania nieestetycznych zaskórników. Organizm pozwala tym „koczownikom” na bytowanie na zewnątrz jego murów, gdzie żywią się resztkami. Korzyści płynące z utrzymywania niskiej temperatury ciała dzięki relatywnie niewielkiemu owłosieniu muszą być zestawione z naszą podatnością na urazy i infekcje, gdyż skóra łatwo ulega uszkodzeniom w wyniku oparzeń czy zranień.

Jak ważna jest nieuszkodzona skóra w zapobieganiu chorobom, ilustruje przypadek młodego chłopca o imieniu Hassan, który w 2017 roku cierpiał na szczególnie bolesną dolegliwość⁵. Jego stan, zwany *pęcherzowym oddzielaniem się naskórka*, był wynikiem wady w jednym z genów kodujących białko łączące skórę z jej podłożem. Defekty w co najmniej osiemnastu różnych genach mogą powodować ten problem, dotyczący 1 na 20 000 dzieci, w którym bolesne pęcherze pokrywają skórę i wewnętrzne błony śluzowe. Skóra Hassana była prawie całkowicie zniszczona i cierpiał on na rozległe infekcje bakteryjne. Na szczęście jego ojciec skontaktował się z grupą badawczą we Włoszech pracującą nad nowatorskimi terapiami. Naukowcy wykorzystali skórę Hassana do hodowli komórek macierzystych, które zmodyfikowano

ⁱⁱ Na końcu mojej ulicy w Cambridge znajduje się zajazd o nazwie Rose. W XVIII wieku podróż z gospody Bell Inn w Londynie do Rose trwała dwa dni, ponieważ co 10 – 15 mil trzeba było się zatrzymywać, aby zmienić konie. Nawiasem mówiąc, to właśnie dlatego zajazdy dla podróżnych były zwykle oddalone od siebie o wygodnych 12 mil.

wirusem zawierającym nieuszkodzoną kopię wadliwego genu. Stopniowo płyty skóry wielkości kartki A4 były nakładane na ciało Hassana, aż pęcherze zostały zastąpione normalną, gładką skórą zawierającą funkcjonalne geny. Dzięki temu chłopiec mógł wreszcie prowadzić normalne życie.

Skóra, daleka od bycia bierną, nieruchomą warstwą, jest nasycona ważnymi komórkami układu odpornościowego zdolnymi do zwalczania organizmów zakaźnych, które zdołają przeniknąć przez barierę ochronną. Niektóre komórki odpornościowe rezydujące w skórze działają niczym strażnicy, pobierając próbki zewnętrznych antygenówⁱⁱⁱ i informując najbliższy węzeł chłonny o wszelkich inwazyjnych mikrobach. Naskórek jest obficie wyposażony w te charakterystyczne komórki, odkryte w 1868 roku przez dwudziestoletniego studenta medycyny Paula Langerhansa^{iv}. Komórki Langerhansa należą do grupy komórek znanych jako dendrytyczne, od greckiego słowa *dendron*, oznaczającego drzewo, ponieważ mają charakterystyczny gwiazdzisty kształt i długie wypustki sondujące tkanki. Znane również jako *komórki prezentujące antygen (APC)*, przedstawiają one fragmenty antygenów innym komórkom układu odpornościowego, aby stymulować odpowiedź specyficzną dla określonego intruza, co szczegółowo zostanie omówione nieco później. Komórki dendrytyczne występują pod powierzchniową warstwą ochronną we wszystkich tkankach organizmu, nie tylko w skórze^v.

ⁱⁱⁱ Od czasu pandemii COVID-19 termin „antygen” wszedł do powszechnego użycia. Antygen to każda substancja — białko, toksyna lub inna cząsteczka chemiczna — która wywołuje reakcję immunologiczną, w szczególności produkcję przeciwciał. Na przykład fragment wirusa, do którego przyłącza się przeciwciało, jest antygenem.

^{iv} Wyspy Langerhansa, które produkują insulinę w trzustce, podobnie jak komórki Langerhansa, również zostały nazwane na jego cześć.

^v Warstwę ochronną stanowi naskórek w skórze właściwej oraz nabłonek narządów wewnętrznych.

Biali rycerze

Gdy delikatna skóra zostaje zraniona, nawet w wyniku najmniejszego zadrapania, całe bataliony białych krwinek otrzymują sygnał, by ruszyć na ratunek. Wszelkie mikroorganizmy, które przedostały się przez barierę skóry, muszą zostać powstrzymane, zanim zdążą się niekontrolowanie namnożyć. Krew działa jak pogotowie, transportując komórki obronne do uszkodzonej tkanki. Czerwone krwinki (erytrocyty), kluczowe nośniki tlenu, przewyższają liczebnie białe krwinki (limfocyty) w stosunku 600 do 1. Nic więc dziwnego, że tak długo nie doceniano znaczenia tej bezbarwnej mniejszości. Patrząc przez mikroskop, można by wybaczyć podejście, że te nieliczne przezroczyste komórki w morzu czerwieni nie mają większego znaczenia. Jednak podczas gdy czerwone krwinki mają jedno zadanie, istnieje ogromna różnorodność białych krwinek o wyspecjalizowanych funkcjach. Mimo że są znacznie mniej liczne od swoich bardziej kolorowych towarzyszy podróży, w każdej kropli krwi znajdują się tysiące białych krwinek. Gdy dochodzi do zranienia lub infekcji, przybywają z odsieczą w mniej niż minutę — to średni czas, jaki zajmuje białym krwinkom okrążenie układu krwionośnego wraz ze strumieniem krwi.

Niektóre z największych limfocytów, zwane fagocytami, dosłownie pożerają wszelkie organizmy inwazyjne, które przedostaną się przez nasze bariery ochronne. Największe z nich, makrofagi (z greckiego „wielcy pożeracze”), pochłaniają i niszczą wszelkie mikroby i zanieczyszczenia. Są one głównie kierowane z krwi do tkanek, w tym skóry, gdzie rozmieszczone są w regularnych odstępach. Makrofagi zostały odkryte w 1882 roku przez ekscentrycznego rosyjskiego naukowca pracującego w Mesynie na Sycylii. Wpatrując się w swój dość prymitywny jeszcze mikroskop, Ilja Miecznikow wbił małeńkie ciernie drzewa mandarynkowego w larwy rozgwiazdy. Ku swojemu zdumieniu zauważył armię wzburzonych komórek gromadzących się na końcach cierni, próbujących odeprzeć intruza. Uświadomił sobie, że ta cicha siła lecznicza jest zawsze w gotowości, nieustraszenie pochłaniając

ciała obce, połykając je w całości i następnie zamykając w piekielnej bańce zwanej fagolizosomem, gdzie są zalewane kwasem i trawione enzymami. To odkrycie brzmiało tak niewiarygodnie, że zostało wyśmiane przez krytyków Miecznikowa. Nawet czołowy naukowiec Ludwik Pasteur początkowo był sceptyczny, ale ostatecznie przekonał się do tej teorii i zaprosił porywczego Miecznikowa do pracy w swoim laboratorium w Paryżu^{6,7}.

Mikroskop nie jest konieczny, aby zobaczyć makrofagi w akcji, gdyż można je podziwiać w filmach na YouTube. Dzięki technice poklatkowej można śledzić makrofagi, które niczym szalone pac-man'y polują i pochłaniają kilka bakterii naraz. Makrofagi pełnią też inne ważne funkcje, takie jak między innymi naprawa tkanek i usuwanie pozostałości po infekcji. Jako gorliwi gospodarze radzą sobie z wszelkimi intruzami i sprzątają po nich bałagan. Współczesne techniki umożliwiają wizualizację tych komórek w płaskim fragmencie mysiej skóry za pomocą przyżyciowej mikroskopii wielofotonowej. Roje makrofagów, upiornie świecące, poruszają się jak zwariowane duchy z gry wideo. Dzieje się tak dzięki wykorzystaniu w tej technice zielonego białka fluorescencyjnego^{vi} pochodzącego od meduzy. W ten sposób można zobaczyć komórki odpornościowe rozmieszczone w skórze, gotowe do obrony; po nakłuciu skóry igłą gromadzą się w ranie. Makrofagi patrolują wszystkie nasze tkanki, gdzie nie tylko pochłaniają mikroby, ale też przyczyniają się do gojenia i naprawy. Na przykład w mózgu specyficzne tkankowo makrofagi zwane komórkami mikrogleju naprawiają i chronią neurony oraz uczestniczą w przycinaniu synaptycznym, czyli usuwaniu zbędnych połączeń między neuronami. Makrofagi patrolują wewnątrz naczyń krwionośnych, biorąc udział w naprawie i konserwacji, ale paradoksalnie czasem mogą też

^{vi} Białko zielonej fluorescencji to białko naturalnie wykazujące jaskrawo zieloną barwę podczas ekspozycji na światło z zakresu od niebieskiego do ultrafioletu. Pochodzi od meduzy *Aequorea victoria*. Sprawdza się jako gen reporterowy w biologii molekularnej — *przyp. tłum.*

stanowiąc problem przy nadmiernym ich działaniu. Co ciekawe, są również zaangażowane w wywoływanie nieregularnych rytmów serca, znanych jako migotanie przedsionków⁸.

Bez makrofagów tatuażyści nie mieliby pracy. Igły przebijają zewnętrzną warstwę naskórka i wprowadzają tusz do skóry właściwej. Niestrawialny tusz jest traktowany jako obcy najeźdźca i pochłaniany przez makrofagi w skórze właściwej. Wypełnione tuszem makrofagi obumierają i pozostają w skórze, dopóki tatuaż nie zostanie usunięty laserem. Przeszczep skóry z tatuażem z jednej myszy na jej nienaznaczonego bliźniaka skutkuje przejęciem pigmentu przez makrofagi biorcy, przenosząc obraz dokładny niczym biologiczna kserokopia, gdy cząsteczki uwolnione przez martwe makrofagi skórne są ponownie pochłaniane⁹. Patolodzy badający zwłoki mogą dostrzec ślady zabarwionych na czarno komórek odpornościowych pochodzących z mocno wytatuowanej skóry. Podobne czarne komórki tworzyły ślady w płucach górników, świadcząc o podejmowanych przez układ odpornościowy próbach oczyszczenia organizmu z codziennego napływu pyłu węglowego.

Ponieważ makrofag, taki jak ten obserwowany przez Miecznikowa, może pochłonąć zaledwie kilka bakterii naraz, do zwalczenia poważniejszej infekcji potrzebne są dodatkowe zasoby. Inne komórki zdolne do polowania i pożerania intruzów to neutrofile — psy obronne układu odpornościowego. Określenie „neutro-”, czyli „neutralne”, odnosi się jedynie do ich wyglądu po zabarwieniu, ponieważ w rzeczywistości te liczne komórki są krótkotrwałe i śmiertelne. Natychmiast gromadzą się w miejscu infekcji, zabierają się za pochłanianie mikrobow i giną w ciągu kilku minut po walce. Ich heroiczne poświęcenie prowadzi do powstania ropy — zniechędzonej zawartości pryszcz i czyraków. Podobnie jak w przypadku makrofagów organizmy pochłonięte

przez neutrofile są niszczone w ciągu kilku minut. Po dostaniu się do wnętrza neutrofili mikroby są atakowane nadtlenkiem wodoru (ten związek jest również znany jako perhydrol, silny rozjaśniacz używany w salonach fryzjerskich), a enzymy trawienne dopełniają dzieła zniszczenia. Każdy z nas ma około 5 miliardów neutrofili krążących we krwi, z czego połowa skupia się wokół jamy ustnej i gardła, aby zwalczać wszelkie infekcje. Neutrofile dysponują jeszcze jedną bronią — siecią podobną do tej, której używał rzymski *retiarius*, unieruchamiając nią przeciwnika przed zadaniem ciosu trójzębem. Wspomniane NET, czyli zewnątrzkomórkowe sieci neutrofilowe (ang. *neutrophil extracellular traps*) stanowią wyrzucane przez neutrofile struktury składające się z długich, lepkich nici DNA połączonych z enzymami trawiennymi i substancjami chemicznymi, które niszczą schwytane zarazki. Osoby z niską liczbą neutrofili są oczywiście bardziej podatne na infekcje.

Tyle opowiedziałem o rozprawianiu się układu odpornościowego z bakteryjnymi intruzami, ale co z wirusami, które ukrywają się wewnątrz komórek, niewidoczne dla fagocytów? Tu przychodzi nam z pomocą kolejny zestaw bezwzględnych zabójców. Ma on za zadanie eliminować zainfekowane komórki, zanim wirus zdoła przekształcić je w fabrykę zarazków. Należą do nich tak zwane komórki NK (ang. *natural killer*, czyli „urodzeni zabójcy”), wędrujący mordercy zdolni wykrywać charakterystyczne oznaki wewnętrznej infekcji poprzez badanie zmian cząsteczek na powierzchni komórki. Ich rolą jest identyfikowanie i eliminowanie takich zainfekowanych komórek. Jednak decyzja o zabiciu podejrzanej komórki nie jest podejmowana pochopnie: komórki NK muszą precyzyjnie określać, która zestresowana, zainfekowana lub nowotworowa komórka jest celem ataku, a którą należy zostawić w spokoju, jeśli wszystko jest w porządku. Limfocyty T_c, czyli limfocyty T cytotoksyczne, pełnią podobną funkcję, wykrywając fragmenty wirusa wystawione na powierzchni zaatakowanej komórki niczym rodzaj sygnału alarmowego (limfocyty T omawiam w osobnym rozdziale).

Oprócz tych wysoce niszczycielskich komórek istnieje oszałamiająca różnorodność innych typów białych krwinek, z których każdy odgrywa inną rolę w obronie organizmu, koordynując odpowiedź na infekcję. Do głównych należą eozynofile, bazofile i komórki tuczne, specjalizujące się w wywoływaniu stanu zapalnego — mobilizacji sił obronnych, którą omówię w rozdziale 5. Inne, limfocyty B, odpowiadają za produkcję przeciwciał. Z kolei płytki krwi (trombocyty), będące drobnymi fragmentami komórek, są niezbędne w procesie krzepnięcia krwi. Nie wszystkie limfocyty T są jednak zaangażowane w zabijanie — inne typy pełnią różnorodne funkcje, takie jak stymulowanie limfocytów B do produkcji przeciwciał czy regulowanie odpowiedzi immunologicznej. Każdy członek tej miniaturowej armii ma przypisaną niewielką liczbę konkretnych zadań.

Tempo wymiany komórek we krwi jest niezwykle wysokie. Każdego dnia potrzebujemy 200 miliardów nowych czerwonych krwinek, 10 miliardów białych krwinek i 400 miliardów płytek krwi, co zużywa znaczne zasoby organizmu. Skąd biorą się wszystkie te komórki? W kościach mamy około 2,6 kilograma szpiku kostnego, co odpowiada wadze dwóch i pół torebek mąki. To nasza fabryka broni. Przez długi czas rola szpiku kostnego w produkcji komórek krwi była niejasna. Medhi Tavassoli pisał: „Przez wieki poeci, uzdrowiciele i filozofowie dostrzegali i opisywali ścisły związek między krwią a życiem. Inaczej było ze szpikiem. Jego rola jako źródła krwi pozostawała ukryta, niczym nasiono w glebie”^{xvii}. Multipotencjalne komórki macierzyste^{vii} w szpiku są źródłem wszystkich dojrzałych, pełniących określone funkcje komórek krwi, zarówno czerwonych, jak i białych. Stoją one na czele dynastii. To hierarchia, w której z pokolenia na pokolenie powstają wyspecjalizowane rodziny różnych komórek. Problem dostarczania odpowiedniej liczby komórek do każdej formy i funkcji obronnej rozwiązuje ten pomysłowy system hierarchicznych gałęzi. Każda

^{vii} Krwiotwórcze (albo hematopoetyczne) komórki macierzyste — to pełna nazwa tych komórek.

główna gałąź ma za zadanie dostarczyć właściwą liczbę różnych typów komórek, które następnie zasilają niższe gałęzie.

Pierwsze rozgałęzienie w drzewie rodziny limfocytów dzieli się na dwie główne linie: limfoidalną i mieloidalną. Linia limfoidalna prowadzi do innych gałęzi, w tym do ważnych limfocytów B (zwanymi też komórkami B), które będą wytwarzać przeciwciała, oraz limfocytów T (zwanymi też komórkami T), które zabijają zakażone komórki i utrzymują pamięć immunologiczną, pełniąc wiele innych kluczowych funkcji. Trzecia gałąź linii limfoidalnej obejmuje komórki NK oraz *wrodzone* komórki limfoidalne, o których nie wspominałem wcześniej. Zwykle znajdują się one nie w krwiobiegu, lecz w narządach i tkankach, gdzie odgrywają istotną rolę we wczesnych stadiach infekcji. Są aktywowane przy pierwszym oddechu po urodzeniu, aby uruchomić układ odpornościowy chroniący płuca¹¹. Linia mieloidalna natomiast daje początek kilku innym typom komórek odpornościowych, w tym komórkom dendrytycznym i monocytom — dużym komórkom krwi, które przekształcają się w makrofagi po wnikięciu do tkanek.

Być może się zastanawiasz, w jaki sposób możliwe jest rozpoznanie wszystkich tych typów białych krwinek. Dawniej główne z nich identyfikowano na podstawie wyglądu pod mikroskopem i sposobu barwienia się barwnikami. Obecnie naukowcy potrafią zidentyfikować każdy typ komórki i linię, z której pochodzi, analizując białka znajdujące się na jej powierzchni. Każde z tych białek ma unikalny numer, od CD1 do mniej więcej CD371 (akronim CD pochodzi od angielskiego określenia *cluster of differentiation*, czyli grupa różnicowania, i nie ma nic wspólnego z płytami kompaktowymi). Na przykład komórki T cytotoksyczne mają na swojej powierzchni cząsteczkę CD8, a tak zwane limfocyty T „pomocnicze” mają CD4.

Nieustannie odkrywano nowe grupy komórek o unikalnych zestawach białek powierzchniowych, jednak każdy z nas posiada standardowy zestaw wszystkich typów białych krwinek. Mark Davis, immunolog ze Stanfordu, podjął próbę monitorowania jak największej liczby różnych rodzajów limfocytów. Założył, że bliźnięta powinny

mieć identyczne zestawy komórek odpornościowych, ponieważ mają identyczne geny — podobnie jak dwa komputery wykonujące ten sam algorytm powinny dać ten sam wynik. Zebrał 210 par bliźniąt w wieku od 8 do 82 lat, pobrał próbki ich krwi i przeanalizował różne białka CD na ich komórkach odpornościowych. Ku swojemu zdziwieniu odkrył niewielkie podobieństwo między komórkami odpornościowymi bliźniąt, zidentyfikowanymi na podstawie kombinacji 317 białek powierzchniowych. W końcu doszedł do wniosku, że wydarzenia życiowe, takie jak przebycie grypy, mają ogromny wpływ na kształtowanie się zestawu komórek odpornościowych. W miarę upływu życia układ odpornościowy jest kształtowany w złożony, indywidualny sposób. Każdy z nas ma unikalną armię komórek determinowaną nie tylko przez geny, ale w dużej mierze także przez doświadczenia życiowe, przebyte infekcje i szczepienia¹². Komórki odpornościowe są regularnie produkowane przez szpik kostny, ale po wejściu do krwiotoku są przekształcane w zestaw różnych komórek, unikalnych dla każdego z nas. W dalszej części książki przyjrzymy się czynnikom wpływającym na te procesy — nie tylko infekcjom i szczepieniom, ale także bardziej subtelnym czynnikom, takim jak karmienie piersią, dieta, ćwiczenia fizyczne i stres, które mogą kształtować nasze unikalne mechanizmy obronne.

Kontrolowanie komórek układu odpornościowego

W organizmie musi istnieć mechanizm sprzężenia zwrotnego kontrolujący liczbę białych krwinek we krwi. W przeciwnym razie krew byłaby zbyt gęsta, aby serce mogło ją pompować. Nienormalny wzrost liczby białych krwinek zdarza się czasem podczas infekcji lub w przypadku białaczki — nowotworu białych krwinek. Najszybciej rozwijająca się ostra białaczka wywodzi się z niedojrzałych komórek we wczesnym stadium rozwoju. Z kolei wolniej rozwijające się formy przewlekłe pochodzą z komórek starszych i mniej aktywnych.

Najczęstszym typem białaczki u dzieci jest ostra białaczka limfoblastyczna, która wynika z niekontrolowanego wzrostu klonu niedojrzałych limfocytów B. Pierwsze objawy to zmęczenie oraz niewyjaśnione gorączki i infekcje. Rutynowe badanie krwi zwykle wykazuje znacznie więcej białych krwinek niż normalnie, a niektóre z nich są większe niż zwykle. W latach pięćdziesiątych XX wieku jedno na 2000 dzieci umierało z powodu ostrej białaczki limfoblastycznej. Obecnie 90 procent chorych dzieci zostaje wyleczonych, jednak niestety niektóre terapie są toksyczne i mają nieprzyjemne skutki uboczne.

Mel Greaves, naukowiec z Instytutu Badań nad Rakiem w Londynie, poświęcił swoją karierę badaniu ostrej białaczki limfoblastycznej (ALL). Warto wyjaśnić jego badania, ponieważ łączą one w sobie kwestie dotyczące nowotworów, odporności i mikrobiomu, o których będzie mowa w innych częściach książki. Mianowicie odkrył on, że DNA niewielkiej liczby dzieci ulega w życiu płodowym przypadkowej mutacji, która zwiększa ryzyko nadmiernego wzrostu niedojrzałych komórek B i rozwoju choroby¹³. Niektóre z tych mutacji wynikają z translokacji, pęknięcia chromosomu, w którym gen stymulujący wzrost komórek zostaje przypadkowo połączony z genem, który go aktywuje. Greaves zauważył, że w przypadku bliźniąt jednojajowych często tylko u jednego rozwijała się białaczka, mimo że oboje miało tę samą rzadką mutację. Dlaczego tylko jedno bliźnię mogło zachorować, skoro mają identyczne geny? Co więcej, tylko u 1% dzieci urodzonych z tym typem mutacji ostatecznie rozwija się choroba. Odpowiedź wydaje się taka, że komórki z mutacją są nieszkodliwe, dopóki nie nastąpi drugi etap. Greaves zasugerował, że tym drugim etapem jest infekcja w dzieciństwie. To brzmi logicznie, ale jest jeszcze jeden aspekt: jeśli układ odpornościowy dziecka zostanie odpowiednio przygotowany, na przykład poprzez karmienie piersią i kontakt z innymi dziećmi, ryzyko białaczki maleje. Greaves zaproponował teorię, że wczesna ekspozycja na nieszkodliwe mikroby chroni organizm. Bez tej ekspozycji układ odpornościowy może nadmiernie reagować na infekcje, wywołując nieprawidłowy stan zapalny i zwiększając ryzyko rozwoju białaczki.

Aby uzyskać więcej dowodów, zespół Greavesa porównał częstość występowania tej białaczki u niemowląt uczęszczających do żłobków, gdzie miały kontakt z infekcjami poprzez interakcje społeczne, i u dzieci wychowywanych wyłącznie w domu. Częstość była niższa w grupie żłobkowej. Zgodnie z tym założeniem białaczka występuje częściej u pierwotnych dzieci niż u ich rodzeństwa. To intrygujące obserwacje, ale wciąż brakuje ostatecznych dowodów. Inni badacze sugerowali, jednak bez większego poparcia empirycznego, że wzrost zachorowań na białaczkę w dzisiejszych czasach wynika z ekspozycji na promieniowanie jonizujące, kable elektryczne, fale elektromagnetyczne czy sztuczne chemikalia. Podobnie jak odkrył Davis, a co zobaczymy w dalszej części książki, ekspozycja na infekcje przyczynia się do tego, że każdy z nas ma unikalny układ odpornościowy. Paradoksalnie wczesna ekspozycja na niektóre zarazki może również chronić nas przed kilkoma przewlekłymi chorobami autoimmunologicznymi i alergiami. Hipoteza zakłada, że aby odporność działała prawidłowo, wymaga odpowiedniego uwarunkowania, które może nastąpić we wczesnym okresie życia. Co ciekawe, podobne idee były rozważane przez lekarzy ze Szpitala dla Chorych Dzieci przy Great Ormond Street już w 1922 roku: „Skłaniamy się ku przekonaniu, że rozwiązanie problemu białaczki leży raczej w jakiejś szczególnej reakcji na infekcję niż w istnieniu jakiegoś specyficznego czynnika zakaźnego”. Ostatnio Greaves i jego zespół zidentyfikowali mikrobiom jelitowy jako główną wczesną ekspozycję, która przygotowuje układ odpornościowy i chroni przed ALL. To wyjaśnia społeczne czynniki ryzyka, które są pośrednimi miarami nabywania mikrobiomu we wczesnym okresie życia. Sugeruje to również, że można zapobiegać powszechnej formie dziecięcej ALL poprzez wprowadzenie jakiejś formy probiotyku. Więcej informacji na temat mikrobiomu znajdziesz w dalszej części książki.

Limfa — system kanałów

Po uwolnieniu ze szpiku kostnego nowe czerwone i białe krwinki w ciągu kilku minut docierają do naczyń włosowatych i szybko rozprzestrzeniają się po całym organizmie. Nie mają jednego organu, który można by nazwać kwaterą główną. Jak zatem możliwe jest koordynowanie funkcji milionów różnych komórek? Skuteczna odpowiedź na infekcję wymaga współpracy między różnymi typami komórek, co wydaje się niemożliwe w przypadku krwi, która cały czas jest w ruchu. W tym miejscu należy docenić rolę układu limfatycznego — można by go porównać do podziemnej sieci jaskiń i przejść. Podobnie zbudowany jest układ limfatyczny. Głęboko czerwona krew jest romantyzowana w literaturze, podczas gdy przezroczysta limfa zdaje się wypadać przy niej blado, ale jest nie mniej ważna dla odporności.

Węzły chłonne, wielkości ziaren fasoli, są rozmieszczone w całym ciele i połączone skomplikowaną siecią kanałów. Limfocyty B i T przemieszczają się przez organizm, przechodząc przez węzły chłonne, w poszukiwaniu oznak infekcji, a następnie poprzez limfę opuszczają je, aby powrócić do krwi. Podczas infekcji limfocyty B, które zaczynają wytwarzać przeciwciała przeciwko czynnikowi zakaźnemu, tworzą gęstą strukturę zwaną ośrodkiem rozmnażania — fabrykę limfocytów, którą odczuwamy jako „powiększony węzeł”. W tym miejscu limfocyty B i T, które zetknęły się z tym samym patogenem, wchodzi w interakcje, są stymulowane do podziału i wzajemnie wspierają się w przygotowaniu do ataku.

Mamy ponad 500 węzłów chłonnych, strategicznie rozmieszczonych w całym organizmie. Większość z nich jest aktywowana tylko wtedy, gdy w okolicy pojawia się infekcja. Na przykład zakażenie gardła może skutkować opuchnięciem i bolesnością węzłów na szyi, natomiast infekcja piersi może wpłynąć na węzły pod pachą. Migdałki podniebienne i migdałek gardłowy to również węzły chłonne. Kiedy byłem dzieckiem, chirurgiczne usuwanie tych węzłów było niemal rytuałem przejścia, mającym na celu leczenie bolesnego zapalenia

migdałków i uporczywego bólu ucha. Tę nieprzyjemność łagodziły nieco obietnice lodów. Uważano wówczas, że te organy są zbędne i stanowią jedynie błąd biologicznej rozrzutności, ale teraz zasadność ich usuwania jest kwestionowana. W niedawnym międzynarodowym badaniu przeanalizowano dokumentację medyczną z trzydziestu lat dotyczącą aż 1 189 061 dzieci urodzonych między 1979 a 1999 rokiem. Okazało się, że usunięcie migdałków prawie trzykrotnie zwiększa ryzyko chorób układu oddechowego, w tym astmy, i zmniejsza odpowiedź na szczepionki doustne, takie jak szczepionki przeciwko polio¹⁴.

Podobnie jak migdałki podniebienne i migdałek gardłowy również wyrostek robaczkowy był kiedyś uważany za bezużyteczną pozostałość ewolucji. Nawet Karol Darwin tak twierdził. Choć wyrostek nie jest częścią układu limfatycznego, obecnie podejrzewamy, że pełni ważną funkcję immunologiczną. Mianowicie chroni nas przed infekcjami jelitowymi poprzez wspieranie wzrostu zdrowych bakterii. Mam jednak nadzieję, że nie jest on kluczowy dla zdrowia, ponieważ mój, podobnie jak migdałki, został usunięty. Infekcje występujące bezpośrednio we krwi mogą być zwalczane przez śledzionę, największy narząd limfatyczny. O ile mi wiadomo, wciąż ją posiadam, ale niewielka liczba dzieci rodzi się bez niej z powodu mutacji genetycznych. Dzieci te są bardziej podatne na niektóre infekcje, lecz jeśli ich stan zostanie wcześniej rozpoznany, można je chronić poprzez szczepienia. W razie pęknięcia śledziony w wyniku wypadku i konieczności jej usunięcia na szczęście wątroba przejmuje obsługę czerwonych krwinek, a węzły chłonne zajmują się zwalczaniem infekcji. To, że możemy żyć bez śledziony, świadczy o ważnej zasadzie obrony: dublowaniu krytycznych funkcji.

Dawniej uważano, że odpoczynek w łóżku jest kluczowy dla rekonwalescencji po operacji, jednak obecnie zaleca się jak najszybsze rozpoczęcie aktywności fizycznej. W przeciwnym razie tkanki puchną, a mięśnie tracą siłę. Co najważniejsze, ruch jest niezbędny do zapewnienia przepływu limfy, który napędzany jest przez pracę mięśni. W przeciwieństwie do układu krwionośnego, w którym serce może

pompować krew z prędkością 4 litrów na minutę, układ limfatyczny nie ma żadnej specjalnej pompy. Przepływ limfy wynosi około 4 litrów na dobę — to tempo przypominające powolny ruch barki na kanale.

Największe węzły chłonne w ludzkim organizmie znajdują się w okolicach jelit. Mimo że zawierają znaczną część komórek odpornościowych, tradycyjnie wiedzieliśmy o nich mniej niż o białych ciałkach pełniących funkcje obronne we krwi, ponieważ były trudniej dostępne do badań. Obecnie wiemy, że jelita mają kluczowe znaczenie dla odporności, ponieważ są domem dla bilionów mikroorganizmów tworzących mikrobiotę. Zdrowe jelita w jakiś sposób radzą sobie z trudnym zadaniem powstrzymywania niebezpiecznych zarazków, jednocześnie wspierając rozwój przyjaznych organizmów, które pomagają kształtować naszą reakcję na zdrowie i choroby. Jelita mają specyficzny rodzaj odporności i reagują na wszelkie przypadkowe zarazki, które się tam przedostaną, w sposób skuteczny, ale unikający tworzenia nadmiernego stanu zapalnego.

Odporność wrodzona a odporność nabyta

Trudno docenić, jak sprytna jest odporność, dopóki nie zbadamy jej dogłębnie. Układ odpornościowy broni nas przed bilionami drobnoustrojów, z którymi się stykamy, nawet tymi, których nigdy wcześniej nie spotkaliśmy. Jak zobaczymy w kolejnych rozdziałach, w krwi i limfie krążą wyspecjalizowane komórki gotowe do walki z wszelkimi mikroorganizmami, które przedostaną się przez skórę i błony śluzowe. W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat zaczęliśmy rozumieć aspekty obrony immunologicznej — od zaangażowanych w obronę cząsteczek po działanie całego organizmu. W przeszłości nasza uwaga skupiała się głównie na *odporności swoistej (nabytej)*, która uczy się reagować na nowe potencjalne zagrożenia, wytwarzając przeciwciała podczas infekcji lub szczepienia. Odporność nabyta potrzebuje czasu, aby się rozwinąć po pierwszym kontakcie z nowym antygenem, ale

reakcja jest szybsza przy kolejnych ekspozycjach. Innymi słowy, odporność nabyta ma „pamięć” poprzednich spotkań. *Odporność nieswoista (wrodzona)* natomiast odnosi się do naszych natychmiastowych, zakodowanych mechanizmów obronnych. Przez wiele lat odpowiedź odpornościowa nieswoista była w dużej mierze niedoceniana, lecz jej znaczenie zostało ponownie przeanalizowane w ciągu ostatnich kilkadziesiąt lat. Odporność wrodzona reaguje szybko na infekcję i tłumi większość drobnych inwazji, ale uruchamia też odporność nabytą, gdy nieunikniona jest pełnowymiarowa wojna. W kolejnych rozdziałach skupię się na omówieniu odporności wrodzonej.

PROGRAM PARTNERSKI

— GRUPY HELION —

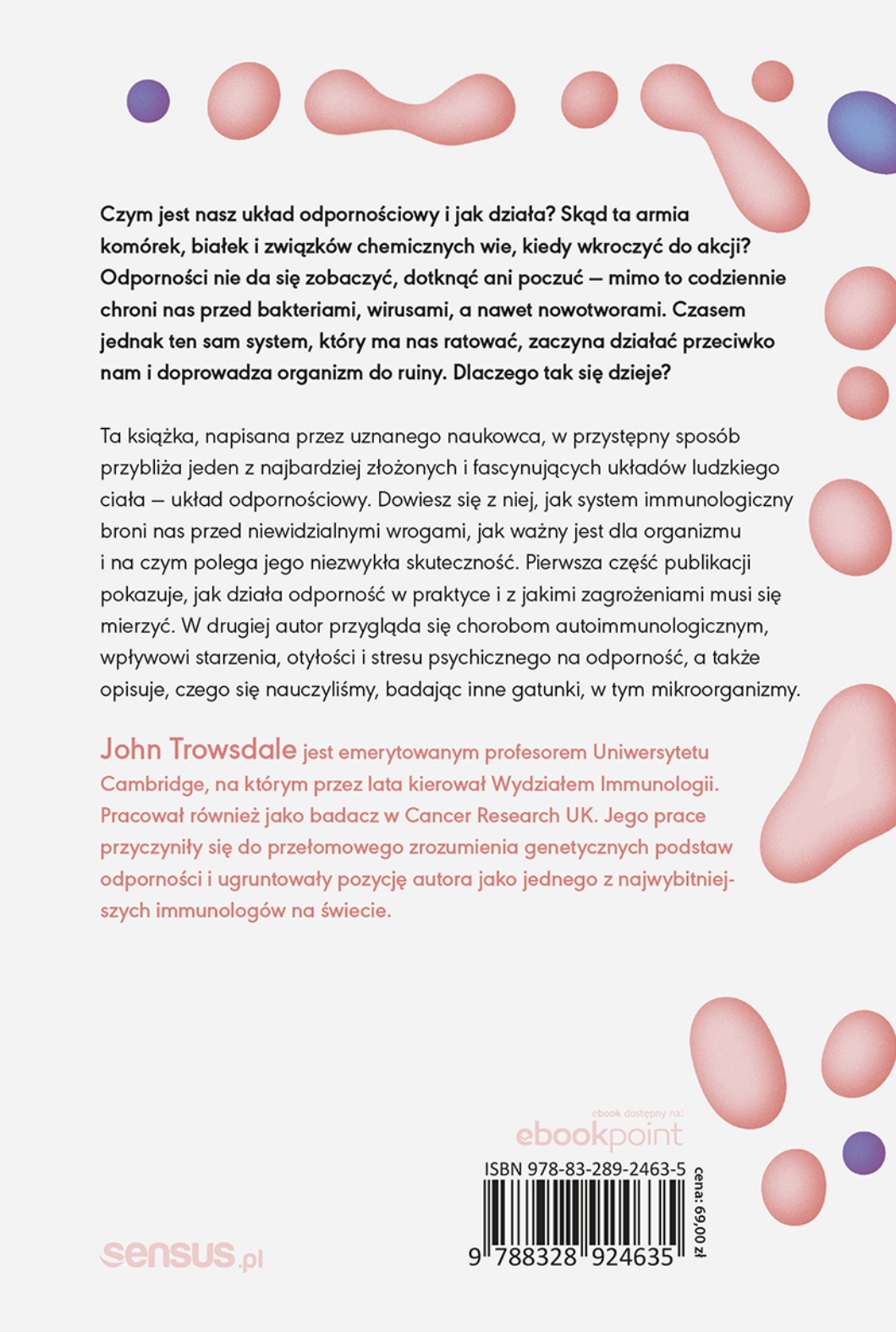
- 
1. ZAREJESTRUJ SIĘ
 2. PREZENTUJ KSIĄŻKI
 3. ZBIERAJ PROWIZJĘ

Zmień swoją stronę WWW w działający bankomat!

Dowiedz się więcej i dołącz już dzisiaj!

<http://program-partnerski.helion.pl>

GRUPA
Helion 



Czym jest nasz układ odpornościowy i jak działa? Skąd ta armia komórek, białek i związków chemicznych wie, kiedy wkroczyć do akcji? Odporności nie da się zobaczyć, dotknąć ani poczuć – mimo to codziennie chroni nas przed bakteriami, wirusami, a nawet nowotworami. Czasem jednak ten sam system, który ma nas ratować, zaczyna działać przeciwko nam i doprowadza organizm do ruiny. Dlaczego tak się dzieje?

Ta książka, napisana przez uznanego naukowca, w przystępny sposób przybliży jeden z najbardziej złożonych i fascynujących układów ludzkiego ciała – układ odpornościowy. Dowiesz się z niej, jak system immunologiczny broni nas przed niewidzialnymi wrogami, jak ważny jest dla organizmu i na czym polega jego niezwykła skuteczność. Pierwsza część publikacji pokazuje, jak działa odporność w praktyce i z jakimi zagrożeniami musi się mierzyć. W drugiej autor przygląda się chorobom autoimmunologicznym, wpływowi starzenia, otyłości i stresu psychicznego na odporność, a także opisuje, czego się nauczyliśmy, badając inne gatunki, w tym mikroorganizmy.

John Trowsdale jest emerytowanym profesorem Uniwersytetu Cambridge, na którym przez lata kierował Wydziałem Immunologii. Pracował również jako badacz w Cancer Research UK. Jego prace przyczyniły się do przełomowego zrozumienia genetycznych podstaw odporności i ugruntowały pozycję autora jako jednego z najwybitniejszych immunologów na świecie.