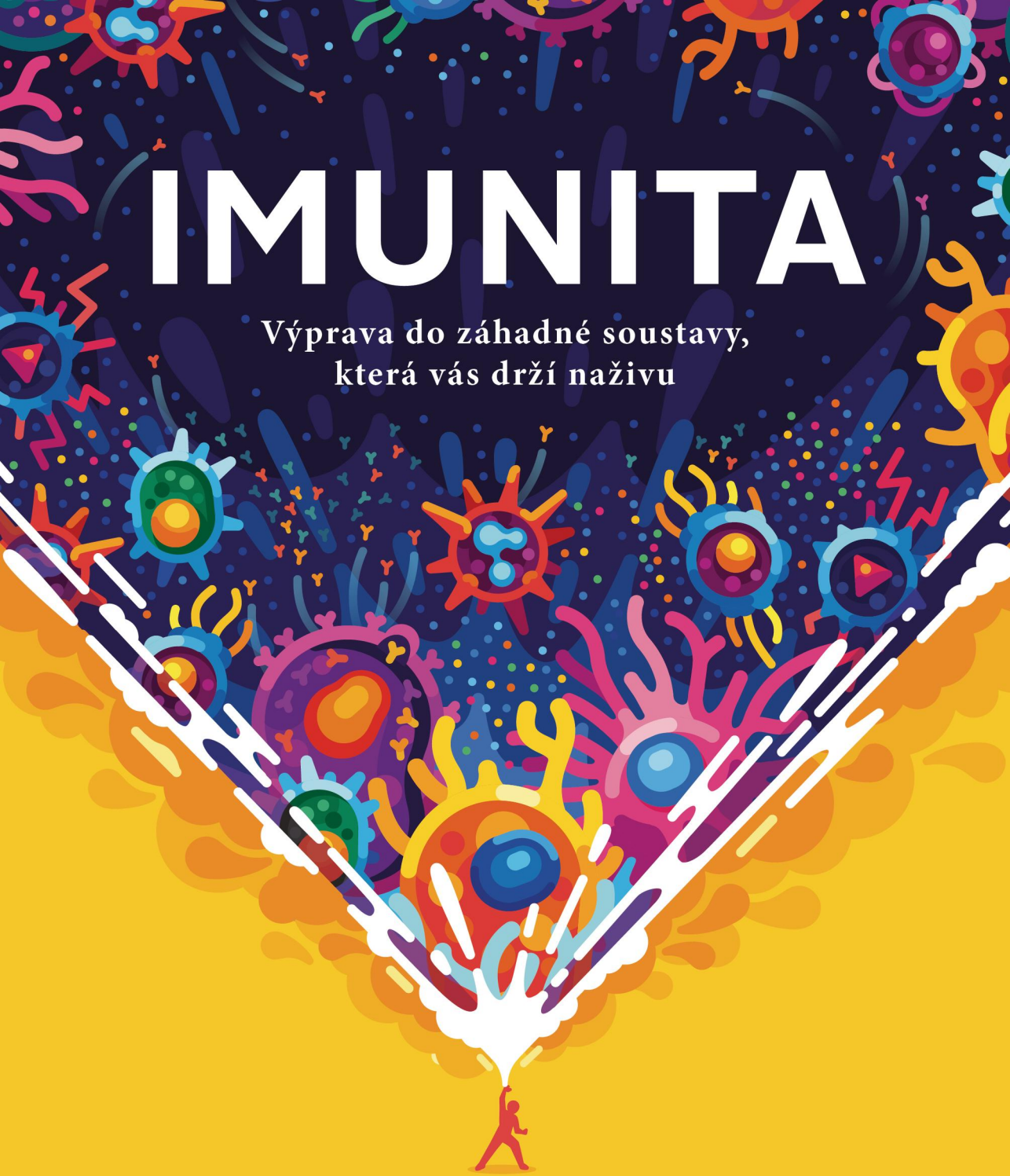
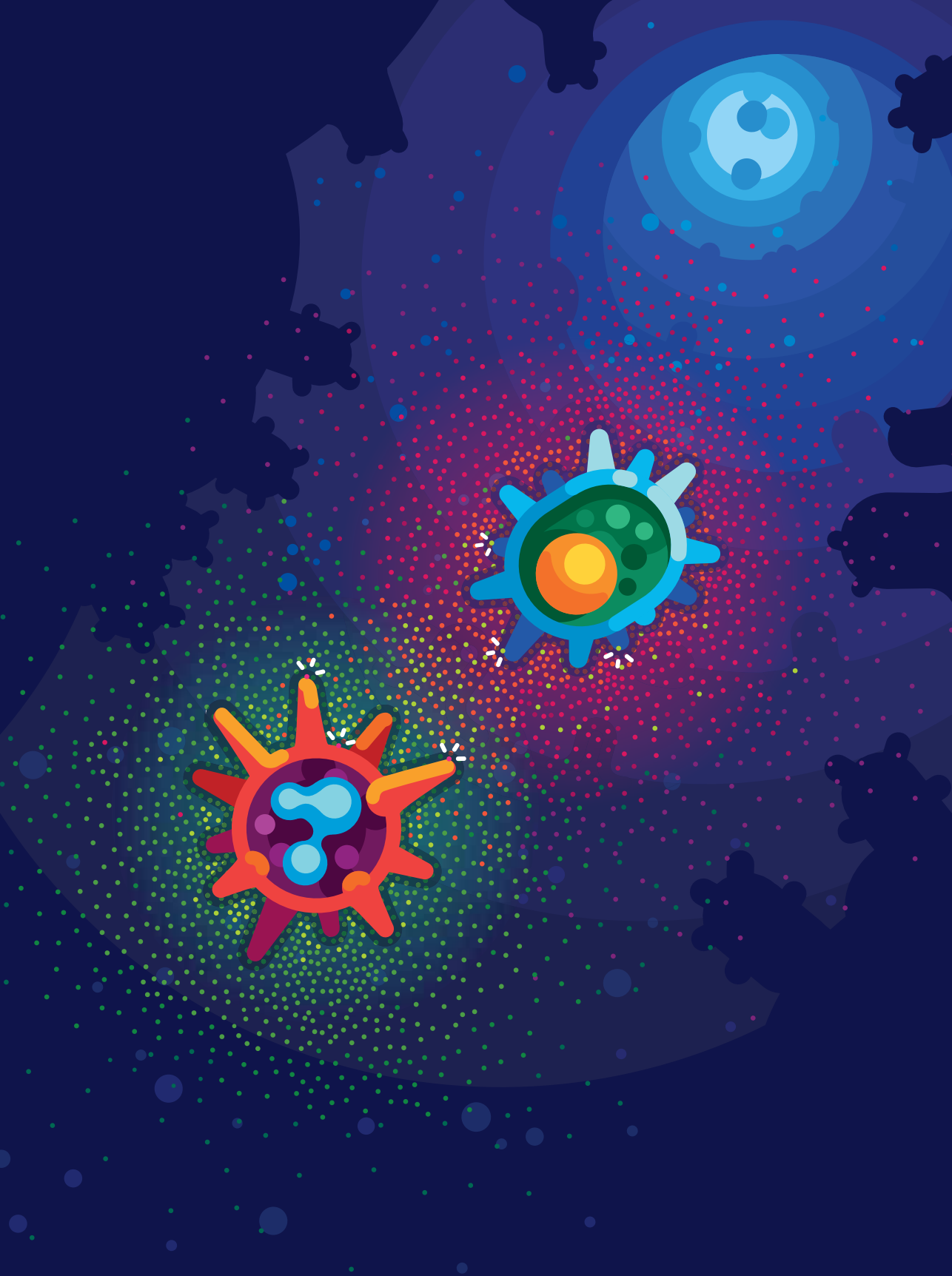
IMUNITA

Výprava do záhadné soustavy,
která vás drží naživu



Philipp Dettmer

Imunita



Imunita

Výprava do záhadné soustavy,
která vás drží naživu

Philipp Dettmer

aurora

Z anglického originálu Philipp Dettmer: *IMMUNE:*
A Journey into the Mysterious System That Keeps You Alive,
vydaného Penguin Random House LCC v roce 2021 v New Yorku,
přeložil Vojtěch Ettler.

Vydalo Vydavateľstvo AURORA spol. s. r. o., v Bratislavě v roce 2022.
Číslo publikace 15.

Jazyková redakce: Marie Hajdová
Jazyková korektura: Petra Čačková
Odborná redakce: Iva Benešová
Odpovědný redaktor: Matúš Mládek
Technická redakce: Ivana Mládeková
Sazba: Samuel Ryba – Design Ryba
Tisk: Těšínské papírny, s.r.o., Český Těšín

Vydání první

Copyright © 2021 by Philipp Dettmer. All rights reserved.
Cover design & Illustrations © Philip Laibacher

Translation © Vojtěch Ettler 2022
Czech edition © Vydavateľstvo Aurora 2022

Kniha **ISBN 978-80-8250-054-0**
eBook **ISBN 978-80-8250-055-7**

Věnováno Cathi a Mochi

Obsah

Úvod xi

První část: Seznámení s imunitním systémem

1 Co je imunitní systém? 3
2 Co je potřeba bránit? 10
3 Co jsou buňky? 17
4 Říše a království imunitního systému 27

Druhá část: Osudné zranění

5 Seznamte se s nepřáteli 35
6 Pouštní říše pokožky 41
7 Šrám 48
8 Vojáci vrozeného imunitního systému: Makrofágy a neutrofily 55
9 Zánět: Hra s ohněm 62
10 Nahé, slepé a vyděšené: Jak se buňky orientují? 68
11 Vůně stavebních bloků života 74
12 Neviditelná armáda zabijáků: Komplementový systém 79
13 Buněčná rozvědka: Dendritické buňky 88
14 Dálnice a velkoměsta 93
Odbočka: Slezina a krční mandle — lymfatické superuzliny a nejlepší parťáci 96
15 Příchod superzbraní 99

16 Největší knihovna ve vesmíru 103
17 Kuchtění libových recept(or)ů 105
18 Vražedná akademie brzlíku 109
19 Informace na zlatém podnose: Prezentace antigenu 115
20 Nástup adaptivního imunitního systému: T-lymfocyty 122
21 Továrny na zbraně a odstřelovačky: B-lymfocyty a protilátky 129
22 Tanec Téčka s Béčkem 140
23 Protilátky 144
Odbočka: Čtyři třídy protilátek 147

Třetí část: Nepřátelské převzetí

24 Bažinatá říše sliznice 155
25 Zvláštní a jedinečný imunitní systém střev 162
26 Co je virus? 168
27 Imunitní systém plic 174
28 Chřipka — „neškodný“ virus, kterého se dost nebojíte 178
29 Chemické zbraně: Interferony, interferujte! 186
Odbočka: Rozdíl mezi chřipkou a běžným nachlazením 195
30 Okno do buněčné duše 198
31 Smrtonosní experti: Cytotoxické T-lymfocyty 204
32 Přirození zabíječi 211
33 Jak se ničí viróza 216
Odbočka: Proč nemáme lepší léky proti virům? 219
34 Vypnutí imunitního systému 222
35 Imunita — jak si imunitní systém pamatuje nepřátele do konce života 225
Odbočka: Co tě nezabije, to tě neposílí — spalničky a paměťové buňky 230
36 Očkování a umělá imunizace 232

Čtvrtá část: Vzpoura a občanská válka

37 Když je imunitní systém příliš slabý: HIV a AIDS 245
38 Když je imunitní systém příliš agresivní: Alergie 251
39 Paraziti a jak můžou imunitnímu systému chybět 258
40 Autoimunitní onemocnění 262
Odbočka: Anergie 268
41 Hygienická hypotéza a staří přátelé 270
42 Jak posílit imunitní systém 279
43 Stres a imunitní systém 286
44 Rakovina a imunitní systém 290
Odbočka: Kouření a imunitní systém 300
45 Pandemie koronaviru 304
Slovo závěrem 313

Zdroje 317
Poděkování 319
Rejstřík 321
O autorovi 341

Úvod

Představte si, že se zítra vzbudíte a necítíte se ve své kůži. Otravně vás škrábe v krku, teče vám z nosu, trochu kašlete. Když lezete do sprchy, přiznáte si, že to všehovšudy není tak zlé, abyste se hodili marod, a brbláte nad tím, jaký máte těžký život. Ačkoli nejste ani v nejmenším rozmazlený ufňukánek, váš imunitní systém si nestěžuje. Dělá, co může, abyste přežili do zítra a mohli fňukat zase o den déle. A tak zatímco se vám po těle potulují vetřelci a zabíjejí stovky tisíc vašich buněk, imunitní systém organizuje důmyslnou obranu, komunikuje na obrovské vzdálenosti, aktivuje složité obranné sítě a servíruje rychlou smrt milionům, ne-li miliardám nepřátel. A vy během toho všeho stojíte pod sprchou a remcáte.

Tyhle komplexní děje ovšem zůstávají z velké části skryté pod povrchem.

Což je vážně škoda, protože máloco má tak zásadní dopad na kvalitu života jako právě imunitní systém. Je to všezahrnující a všepostihující soustava, která vás chrání jak před protivnými nepříjemnostmi typu nachlazení, odřenin a ranek, tak před životu nebezpečnými chorobami, jako je rakovina či zápal plic, nebo smrtícími infekcemi, jako je covid-19. Imunitní systém je nepostradatelný, zrovna tak jako srdce nebo plíce. A vlastně se jedná o jednu z největších a nejrozsáhlejších orgánových soustav v těle, ačkoli o něm takhle zpravidla nepřemýšlíme.

Pro většinu z nás představuje imunitní systém jakousi mlhavou a nejasnou záležitost, která se řídí podivně neprůhlednými pravidly a která někdy funguje, a jindy ne. Tak trochu se podobá počasí, protože se dá jen stěží předvídat a vyvolává nekonečné spekulace a názorové bitvy, takže nám její činnost připadá nahodilá. K imunitnímu systému se bohužel sebejistě vyjadřuje leckdo, i když

mu ve skutečnosti nerozumí, a tak se člověk těžko orientuje v tom, čemu má věřit a proč. Ale co je to vůbec ten imunitní systém a jak vlastně funguje?

Snaha o pochopení mechanismů, které vás při čtení těchhle řádků udržují naživu, není jen nějaké intelektuální cvičení — jsou to nezbytně nutné znalosti. Když víte, jak imunitní systém pracuje, najednou pochopíte a oceníte, jak vám i vašim dětem může očkování zachránit život, a začnete k nemocem přistupovat úplně jinak, mnohem méně ustrašeně. Už neskočíte na lep šarlatánům nabízejícím zázračné léky, které zcela odporují logice. Lépe porozumíte léčivům, která vám můžou při marodění opravdu pomoct. Dozvíte se, co dělat (a nedělat), abyste svůj imunitní systém posílili. Můžete svoje děti uchránit před nebezpečnými mikroby, ale přitom se příliš nestresovat, když se venku ušpiní. A ve velmi nepravděpodobném případě, řekněme, celosvětové pandemie vám obeznámenost s tím, co virus páchá a jak s ním tělo bojuje, pomůže pochopit, o čem mluví odborníci na veřejné zdraví.

Kromě všech těchhle praktických a užitečných výhod je imunitní systém prostě krásný, je to zázrak přírody, který nemá obdoby. Obranyschopnost nepředstavuje pouhý nástroj k zahnání kašle. Nerozlučně se proplétá s téměř všemi ostatními tělesnými pochody — a přestože má hlavní podíl na tom, že žijete, je zároveň dost pravděpodobné, že právě ona způsobí vaši předčasnou smrt, ať už tím, že selže, nebo že se naopak příliš rozohní.

Neuvěřitelná složitost lidského imunitního systému mě fascinuje už bezmála deset let. Začalo to na univerzitě, kde jsem studoval informační design, a když jsem hledal téma na semestrální práci, imunitní systém vypadal jako dobrá volba. Takže jsem si sehnal hromadu knih o imunologii a začal se jimi prokousávat, ale ať jsem toho přečetl sebevíc, komplikovanost všech těch dějů nebrala konce. Čím víc jsem se toho dozvěděl, tím mi připadalo nemožnější imunitní systém zjednodušit, protože každá vrstva odkrývala další mechanismy, další výjimky, další spletité vztahy.

A tak se projekt, který měl zabrat jedno jaro, protáhl do léta, pak do podzimu a nakonec do zimy. Interakce jednotlivých složek imunity byly tak elegantní a jejich vzájemný tanec tak nádherný, že jsem se jich nemohl nabažit. A během toho se od základů proměnilo moje prožívání a vnímání vlastního těla.

Když jsem dostal chřipku, už jsem si nedokázal jenom stěžovat, ale musel jsem si svoje tělo prohlížet, mačkal jsem zduřelé mízní uzliny a představoval

si, co moje imunitní buňky právě dělají, jaká část sítě je právě aktivní a jak T-lymfocyty na mou ochranu zabíjejí miliony útočníků. Když jsem si v lese nedával pozor a řízl se, byl jsem vděčný za svoje makrofágy, velké imunitní buňky, které lovily vyděšené bakterie a trhaly je na kusy, aby otevřenou ránu ubránily před infekcí. Když jsem si ukousl ze špatné müsli tyčinky a dostal alergický záchvat, cestou do nemocnice jsem v záchrance přemýšlel nad žírnými buňkami a IgE protilátkami, které mě málem zabily v pomýlené snaze zachránit mě před děsivými potravinami!

Ve dvaatřiceti mi zjistili rakovinu, takže jsem musel podstoupit několik operací i chemoterapii, a tehdy moje posedlost imunologií ještě narostla. Mezi hlavní úlohy imunitního systému patří mimo jiné zamezit rakovině. V mém případě to nezvládl.

Přesto jsem se na něj nedokázal zlobit, protože už jsem věděl, jaká je to pro moje imunitní buňky těžká práce a jak se musí rakovina snažit, aby je udržela v šachu. A tak zatímco chemoterapie rakovinu rozpouštěla, myšlenky se mi stáčely k tomu, jak obranné složky pronikají do odumírajících nádorů a buňku po buňce je požírají.

Onemocnění a choroby jsou děsivé, pořádně člověkem otřesou a já si s nimi za život užil dost. Ovšem vědomí, že moje buňky, můj imunitní systém, tahle moje nedílná a osobní součást, brání bytost, za kterou se považuju, že bojují, umírají a opravují tohle tělo, které obývám, mi pokaždé dodalo velkou útěchu. Díky tomu, že jsem imunitnímu systému lépe porozuměl, mi život přijde lepší a zajímavější, a když onemocním, už mi to nenahání takovou hrůzu. Znáte-li totiž vlastní imunitu, vnímáte věci v širších souvislostech.

Kvůli tomuhle pozitivnímu efektu a taky prostě kvůli tomu, že je čtení a bádání o imunitním systému zábava, se z toho stala moje trvalá záliba, já se mezitím stal popularizátorem vědy a vysvětlování složitých témat se stalo mým posláním. Zhruba před osmi lety jsem založil YouTube kanál Kurzgesagt — In a Nutshell (V kostce), který divákům předkládá informace tak, aby byly atraktivní a snadno pochopitelné, ale zároveň zůstaly co nejvěrnější vědeckým poznatkům. Na začátku roku 2021 se tým Kurzgesagt rozrostl na víc než čtyřicítku lidí, kanál nasbíral přes čtrnáct milionů odběratelů a měsíčně ho zhlédne asi třicet milionů uživatelů. Když tedy existuje taková velká platforma, proč se mořit s psaním knížky? Protože i když se imunitním systémem zabývalo několik

našich nejúspěšnějších videí, vždycky mě štvalo, že tohle úžasné téma nemůžu prozkoumat do takové hloubky, jakou si zaslouží. V desetiminutovém spotu na to zkrátka není prostor. Takže tahle kniha představuje způsob, jakým jsem svůj desetiletý románek s imunitním systémem přetvořil v něco hmatatelného, co vám snad zábavnou i poučnou formou představí ohromující a nádhernou spletitost, díky níž den za dnem přežíváte.

Imunitní systém je bohužel vážně složitý, a to je ještě slabé slovo. Je složitý tak, že výprava na Mount Everest je proti tomu pohodovou procházkou v přírodě. A intuitivní tak, jako je čtení čínského překladu německého daňového zákoníku příjemnou zábavou na nedělní odpoledne. Imunitní systém představuje hned po lidském mozku tu nejkomplexnější biologickou soustavu, kterou lidstvo zná.

Čím obsáhlejší učebnice imunologie se vám dostane do ruky, tím víc se začne kupit podrobností, přibývat výjimek z pravidel a celý systém bude čím dál tím složitější, až se bude zdát, že se v každém konkrétním případě chová úplně jinak. Každičká jeho součást má vícero úloh, funkcí a specializací, které se navzájem překrývají a ovlivňují. A i když všechny tyhle výzvy zdoláte a pořád byste chtěli přijít imunitnímu systému na kloub, narazíte na další potíž: na lidi, kteří ho popisují.

Vědci zásluhou usilovné práce a bezbřehé touhy po vědomostech položili základy úžasnému modernímu světu, který si dneska užíváme, a za to jim dlužíme velké díky. Jenže řada z nich to bohužel vůbec neumí s názvy a nedokáže svoje objevy pojmenovat srozumitelnou řečí. Ze všech vědních oborů patří imunologie v tomhle ohledu mezi největší hříšníky. Už tak obrovsky složité odvětví se hemží slovy jako hlavní histokompatibilní komplex I. a II. třídy, gama delta T-buňky, interferon alfa, beta, gama a kappa nebo komplementový systém obsahující složky s názvem komplex C4b2a3b. Nic z toho člověka dvakrát nemotivuje sáhnout po učebnici a pustit se do zkoumání imunitního systému na vlastní pěst. Ale i když od téhle překážky odhlédneme, spletité vazby mezi mnoha různými prvky imunitního systému doplněné o nespočet výjimek a neintuitivních pravidel představují výzvu samy o sobě. Imunologie je náročná disciplína pro lidi pracující ve zdravotnictví, pro studenty imunologie i pro největší kapacity v oboru.

Kvůli tomu všemu se fungování imunitního systému vysvětluje opravdu těžko. Když věci příliš zjednodušíte, připravíte zvídavého čtenáře o krásu a divy

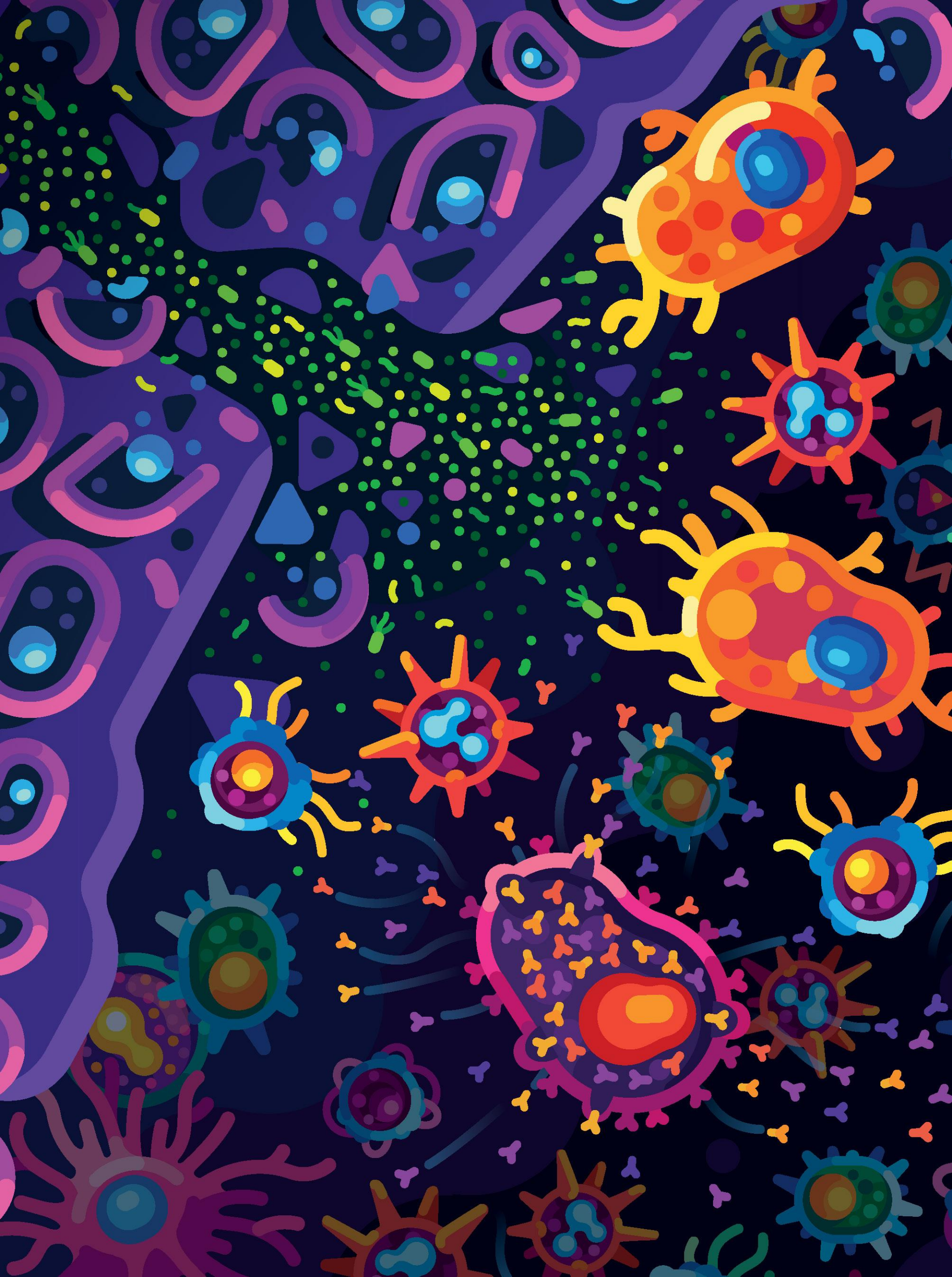
spočívající v evoluční genialitě nezměrně komplikované soustavy, která řeší ty nejpodstatnější problémy živých organismů. Jenže pokud naopak zahrnete příliš mnoho podrobností, člověka to rychle unaví a za chvíli odpadne. Asi jako kdybyste někomu hned na prvním rande odvykládali celou svou historii: zahltili byste ho a nejspíš byste ho už podruhé neviděli.

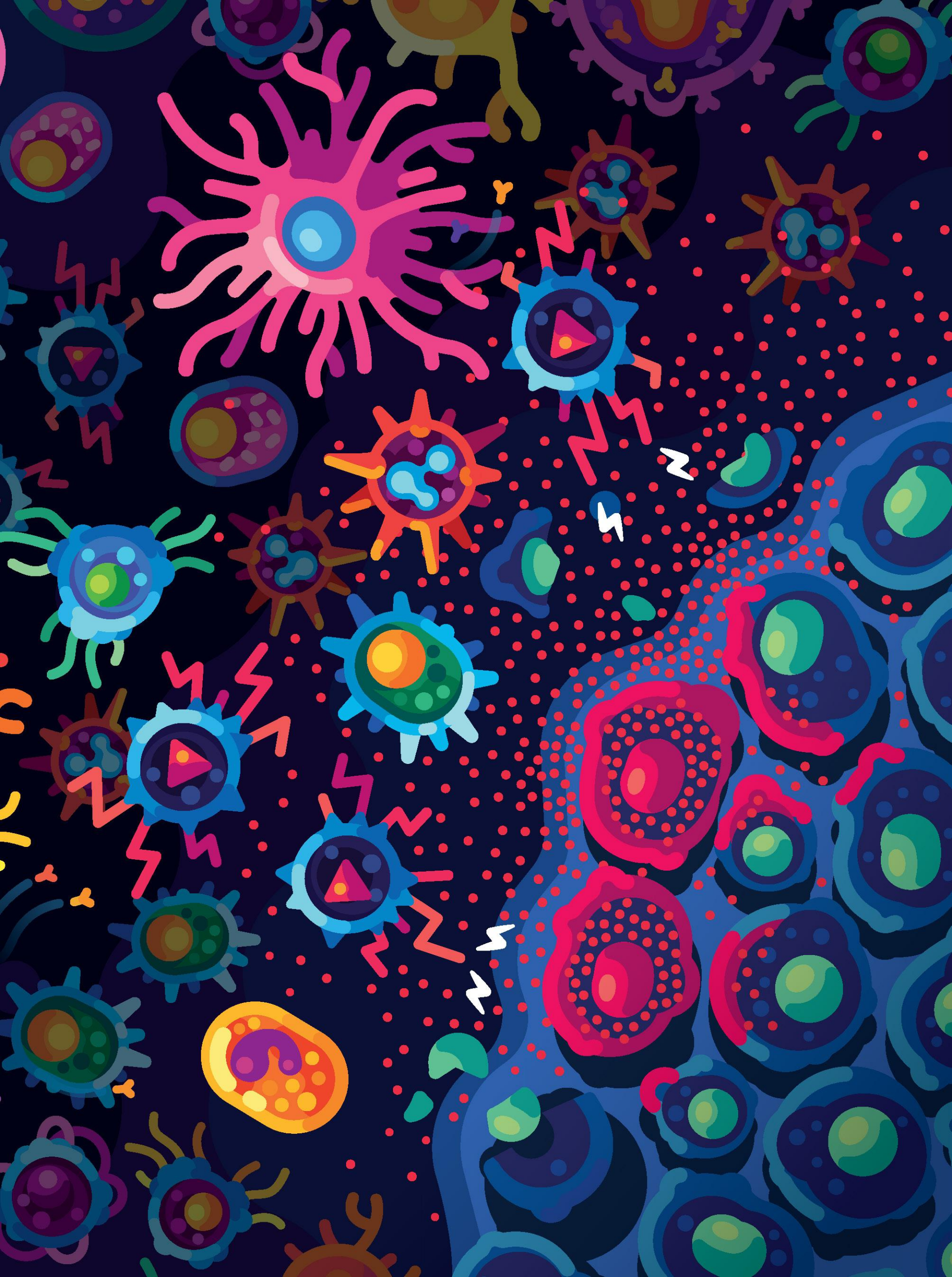
V téhle knize jsem se tedy snažil opatrně balancovat na pomezí všech zmíněných nástrah. Napsal jsem ji lidským jazykem a komplikované názvy jsem použil jen tam, kde nebylo zbytí. Kde to šlo, tam jsem všemožné procesy a interakce zjednodušil, ale zároveň se pořád držel vědeckých faktů. Náročnost jednotlivých kapitol kolísá, a tak jakmile dostanete nálož informací, čekají vás odlehčenější pasáže, abyste si trochu odpočinuli. A v pravidelných intervalech si probrané poznatky shrneme. Mým cílem je, aby se při čtení téhle knížky každý něco dozvěděl o vlastní imunitě a trochu se u toho pobavil. Jelikož je všechna ta složitost a krása úzce spjatá s vaším zdravím i přežitím, třeba si odnesete něco užitečného. A samozřejmě až příště onemocníte nebo se budete potýkat s nějakým neduhem, snad se na svoje tělo dokážete podívat jinýma očima.

Ještě jedno nezbytné upozornění: nejsem imunolog, ale popularizátor vědy a nadšenec do imunitního systému. Tahle kniha asi všechny imunology nepotěší — hned od začátku rešerší vyšlo najevo, že na detaily fungování imunitního systému existuje spousta různých názorů a mezi vědci, kteří je zastávají, panuje značná neshoda. (A přesně tak má věda vypadat!) Například někteří imunologové považují určité buňky za dávné přežitky bez jakékoli funkce, kdežto jiní je mají za nezbytný pilíř naší obrany. Takže jak to jen bylo možné, informace na následujících stranách se zakládají na rozhovorech s vědci, současné literatuře používané k výuce imunologie a odborně recenzovaných článcích.

Přesto bude někdy v budoucnu potřeba některé části téhle knihy aktualizovat. Což je dobře! Imunologie je dynamické odvětví, ve kterém se pořád něco děje a různé teorie či koncepce se neustále předhánějí. Imunitní systém je živé téma a v jednom kuse dochází k novým objevům. A to je skvělé, protože to znamená, že se dozvídáme stále víc o sobě i o světě, ve kterém žijeme.

Fajn! Než se do toho vrhneme a prozkoumáme, co vlastně imunitní systém dělá, nejdřív si definujme premisy, abychom měli pevnou půdu pod nohama. Co je imunitní systém, v jakém prostředí funguje a co jsou jeho složky, které





odvádějí samotnou práci? Až tyhle základy sfoukneme, podíváme se na to, co se stane, když se zraníte, a jak vám imunitní systém přispěchá na pomoc. Potom probereme vaše nejnáchylnější části a ukážeme si, jak se vás tělo snaží ubránit před závažnou infekcí. A nakonec se zaměříme na různé poruchy imunity, jako jsou alergie nebo autoimunitní onemocnění, a povíme si, jak můžete nebo nemůžete imunitní systém posílit. Ale všechno hezky popořádku — příběh začíná!

První část

Seznámení s imunitním systémem

1 Co je imunitní systém?

Příběh imunitního systému začíná společně s příběhem samotného života téměř před 3,5 miliardami let v jakési prapodivné louži na nehostinné a holé planetě. Netušíme, co byly tyhle prvotní organismy zač ani jaký byl jejich úděl, ale víme, že netrvalo dlouho a začaly se spolu prát. Jestli si myslíte, že život je těžký, protože musíte ráno brzy vstávat a chystat děti do školy nebo protože vám donesli vychladlý hamburger, první živé buňky na Zemi by vám o tom mohly něco vyprávět. Jakmile zjistily, že se chemické látky v okolí dají přeměnit na živiny, které lze využít a ještě z nich získat energii, několik raných buněk to vzalo zkratkou. Proč se s tím vším namáhat, když můžete krást od ostatních? To šlo zařídit různými způsoby, například někoho spolknout v celku nebo do něj provrtat díry a vysát mu vnitřnosti. Ovšem jednalo se o riskantní podnik, protože místo toho, že si bez práce pochutnáte, jste mohli sami skončit jako potrava zamýšlené oběti, zejména pokud byla větší a silnější než vy. Takže jiná a bezpečnější cesta ke kýžené odměně vedla do útrob kořisti, kde jste se pohodlně zabydleli. Jedli jste to, co váš hostitel, a hověli si v jeho hřejivém objetí. Bylo by to vlastně krásné, kdyby hostitel tolik netrpěl.

Spolu s tím, jak se z odčerpávání živin ostatním stala právoplatná strategie, začalo být evoluční nutností, aby se organismus proti takovým pijavicím dokázal ubránit. A tak spolu mikroorganismy bojovaly a zápolily rovnými zbraněmi po dalších 2,9 miliard let. Kdybyste měli stroj času a odcestovali byste do minulosti s úmyslem rozplývat se nad divy takového soupeření, docela byste se nudili, protože kromě pár sotva patrných bakteriálních povlaků na jakýchsi mokrých kamenech by nebylo nic dost velkého k vidění. Země byla prvních několika miliard let poměrně nezáživné místo. Dokud život neudělal zřejmě ten největší skok ve vlastní složitosti za celou svou historii.

Nevíme, co přesně odstartovalo posun od samostatných buněk, které se většinou protloukaly na vlastní pěst, k obřím celkům s různými specializacemi a společným záměrem.*

Ale přibližně před 541 miliony let se mnohobuněčný živočišný život náhle rozbujel a začal být vidět. A nejen to, taky závratnou rychlostí nabýval na rozmanitosti. To pro naše čerstvě vyvinuté předky samozřejmě znamenalo problém. Po miliardy let mikroby žijící ve svých mikrosvětech soupeřily o prostor i zdroje v libovolném dostupném ekosystému. A co jsou živočichové pro bakterie a další havěť jiného než parádní ekosystém? Ekosystém napěchovaný snadno získatelnými živinami. Takže pro mnohobuněčný život představovali vetřelci a paraziti od samotného počátku existenční hrozbu.

Přežít dokázaly pouze mnohobuněčné organismy, které se s daným rizikem uměly nějakým způsobem vypořádat, a díky tomu dostaly příležitost svou komplexnost ještě prohloubit. Jelikož se buňky ani tkáně po uplynutí stovek milionů let úplně dobře nezachovají, zkameněliny imunitního systému si bohužel prohlédnout nemůžeme. Ovšem zásluhou vědeckých kouzel se můžeme podívat na rozvětvený strom života dnešních živočichů a zkoumat jejich imunitní soustavy. Obecně platí, že čím se dva tvorové na stromě života nacházejí dál od sebe a přitom pořád nesou nějaký shodný rys imunitního systému, tím musí být dotyčný rys starší.

Takže zásadní otázka zní: v čem se imunitní systém mezi živočichy liší a jaké jsou naopak společné jmenovatele? Dneska prakticky všechny živé bytosti disponují určitou formou vnitřní obrany, a o co jsou tvorové složitější, o to mají složitější i obranyschopnost. Když srovnáme obranu velmi vzdáleně příbuzných živočichů, získáme o stáří imunitního systému docela slušný obrázek.

I v tom nejmenším měřítku se bakterie umějí bránit proti virům a nevzdají se bez boje. V živočišné říši houbovci, kteří platí za nejzákladnějšího a nejstar-

* Nicméně to s notnou dávkou ironie mohl být vedlejší efekt právě oněch rvaček mezi jednobuněčnými organismy, ke kterému došlo ve chvíli, kdy jedna buňka pohltila druhou, ale nepozřela ji. Místo toho obě zahájily pravděpodobně tu nejpovedenější spolupráci na zeměkouli, která se dodnes těší velké oblibě. „Vnitřní buňka" (kterou dneska známe pod názvem *mitochondrie*) se specializovala na zásobování hostitele energií a „vnější buňka" tandemu poskytovala ochranu a zajišťovala potravu. Takový pakt se osvědčil a nová superbuňka se díky tomu mohla dál rozvíjet a být čím dál složitější.

šího živočicha na Zemi a existují už víc než půl miliardy let, vládnou čímsi, co u živočichů nejspíš představovalo první primitivní imunitní reakci. Říká se tomu *humorální imunita*. „Humor" v tomhle smyslu odkazuje na starořecký pojem, který znamená „tělesná tekutina". Takže humorální imunitu tvoří prťavé částečky bílkovin proudící tělesnými tekutinami v prostoru mezi živočišnými buňkami. Tyhle bílkoviny poškozují a ničí mikroorganismy, které tam nemají co dělat. Dotyčný způsob obrany prokázal takovou účinnost, že jím v současnosti oplývají prakticky všichni živočichové včetně nás, takže evoluce takovou strategii neutlumila, ale naopak ji zabudovala do základů každé imunitní obrany. V zásadě se za těch 500 milionů let nezměnila.

Ale to byl teprve začátek. Když jste mnohobuněčný živočich, máte výhodu, že můžete zaměstnat řadu různých specializovaných buněk. Takže živočichům pravděpodobně z evolučního hlediska netrvalo dlouho a téhle přednosti využili: nechali buňky specializovat se na obranu. Tahle nová *buněčná imunita* okamžitě slavila úspěchy. Dokonce i červi a hmyz mají specializované obranné buňky, které se jim volně prohánějí tělíčkem a čelně napadají vetřelce. Čím výš po evolučním stromě vyšplháme, tím důmyslnější imunitní systém potkáme. Ale už v nejnižších patrech obratlovců najdeme podstatné novoty: první speciální imunitní orgány a buněčná výcviková centra společně s náznaky jednoho z nejmocnějších principů obranyschopnosti — schopnosti rozeznat konkrétní nepřátele, rychle proti nim vyrobit spoustu na míru ušitých zbraní a pak si je zapamatovat do budoucna!

Tyhle mechanismy se vyskytují dokonce i u těch nejprimitivnějších obratlovců, bezčelistnatců, kteří jinak vypadají vážně směšně. Stovky milionů let se zmíněné obranné systémy zdokonalovaly a tříbily. Ale v podstatě se jedná o tytéž základní principy, které obstály natolik, že pravděpodobně v nějaké podobě existovaly už asi před půl miliardou let. Takže ačkoli se dneska pyšníte docela vymazlenou a úctyhodnou obranou, základní postupy, na kterých stojí, jsou mimořádně rozšířené a jejich počátky sahají stovky milionů let do minulosti. Evoluce nemusela imunitní systém vyvíjet pořád dokola — našla jednu funkční verzi a pak ji vylepšovala.

Což nás konečně přivádí k lidstvu. A k vám. Užíváte si plody stovek milionů let pilování imunitní soustavy. Stojíte na vrcholu jejího vývoje. Ačkoli imunitní

systém nemáte tak úplně v sobě. Doslova jím *jste*. Je to projev biologických procesů, které samy sebe brání a umožňují vám žít. Takže když mluvíme o imunitním systému, mluvíme o *vás*.

Zároveň se nejedná o jednolitý celek. Skládá se ze stovek vzájemně provázaných řídicích center a náborových středisek rozmístěných po celém těle. Spojuje je dlouhatánská okružní dálnice, síť cév, která je podobně rozsáhlá a všudypřítomná jako vaše oběhová soustava. A co víc, v hrudníku máte specializovaný imunitní orgán velký jako kuřecí křídlo, který postupem let ztrácí na účinnosti.

Kromě orgánů a infrastruktury hlídkují na zmíněných dálnicích nebo v krevním řečišti desítky miliard imunitních buněk a čekají na signál, aby napadly nepřátele. Další miliardy jsou na stráži v tělesných tkáních, které hraničí s okolním světem, a číhají, až hranice překročí vetřelci. Navrch k téhle aktivní obraně jste vyzbrojeni dalšími obrannými systémy sestávajícími z trilionů bílkovinných zbraní, které si můžete představit jako samočinné, volně plovoucí pozemní miny. Váš imunitní systém taky disponuje úzce zaměřenými univerzitami, kde se buňky učí, s kým a jak bojovat. A vládne něčím na způsob nejrozsáhlejší biologické knihovny ve vesmíru, díky níž dokáže určit a zapamatovat si každičkého potenciálního útočníka, se kterým se můžete za život potkat.

Ve své nejhlubší podstatě je imunitní systém nástrojem k rozlišování **cizího** od **vlastního**. Nezáleží na tom, jestli vás „cizí" ohrožuje, nebo ne. Není-li cizorodé tělísko na velmi exkluzivním seznamu hostů, který mu zaručuje volný průchod, bude napadeno a zničeno, protože všechno cizí vám může ublížit. V říši imunitního systému zkrátka cokoli neznámého představuje riziko, které nestojí za to podstupovat. Bez takové zásady byste v řádu dní umřeli. Bohužel, jak si povíme později, když se váš imunitní systém angažuje moc nebo málo, následkem je smrt či trápení.

Ačkoli rozeznávání mezi cizím a vlastním je *podstata* imunitního systému, přísně vzato se nejedná o jeho *cíl*. Cílem je především nastolit a udržovat *homeostázu*: rovnováhu mezi všemi složkami a buňkami v těle. Nesmírně důležitou vlastností imunitního systému je právě to, jak moc se snaží udržovat přísný balanc a kolik úsilí věnuje tomu, aby sám sebe mírnil a nereagoval přehnaně. Aby byl v klidu, chcete-li. Aby zachovával stabilní řád, díky němuž je žití příjemné a snadné. Takový ten stav, kterému říkáme zdraví. Základ

dobrého a samostatného života, kdy si můžeme dělat, co se nám zachce, a nebrzdí nás bolest ani nemoci.

Jak je zdraví důležité, se nejmarkantněji ukáže až tehdy, když o něj přijdeme. Zdraví představuje veskrze abstraktní koncept, protože je vymezeno tím, co není: nic nás nebolí, netrápí, neomezuje. Když jste zdraví, cítíte se normálně, je vám dobře. Ovšem jakmile jednou zažijete, že vás zdraví opustí, byť jenom na chvíli, těžko se pak zapomíná na to, jak je člověk ve skutečnosti křehký a že mu odtikává vyměřený čas. Nemoc je nevyhnutelnou součástí života. Pokud jste měli štěstí, ještě jste se s žádnou potýkat nemuseli. Jestliže jste ale vy nebo vaši blízcí už s nějakou nemocí zápolili, dobře víte, že ke spokojenému životu není nic důležitější než pevné zdraví. A to se z hlediska imunitního systému rovná homeostáze. Přestože bitva o zdraví je v konečném důsledku marná a nakonec prohrajeme, stejně se do ní vrháme, abychom si ukrojili další roky, měsíce, dny a hodiny. Protože být člověkem je vlastně celkem fajn a stojí za to si tu zkušenost co nejvíc protáhnout.

Nicméně zachovávat si zdraví není jen tak, protože každý den jsme ve styku se stovkami milionů bakterií a virů, které se třesou na to, aby se v nás zabydlely, jak už jsme ostatně viděli v případě oněch jednobuněčných organismů před miliardami let. Z pohledu mikroorganismů jsme ekosystém, který čeká na to, až ho někdo obsadí. Bezbřehý kontinent oplývající přírodním bohatstvím, úrodnou půdou a příležitostmi k rozvoji, prostě bezvadný domov. Sluší se podotknout, že jednou se jim to podaří, protože až zemřeme, rozklad našeho těla nesmírně urychlí armáda rozdivočelých mikrobů, které už nebude držet na uzdě naše obrana.

A nejenže se musíte bát houfů breberek, které se snaží dostat dovnitř, ale abyste se obávali i vlastního pomýleného já, které může samo porušit společenskou smlouvu těla: rakoviny. Zajistit, aby se rakovina nerozbujela, patří mezi nejzásadnější úkoly imunitního systému. Dokonce je pravděpodobné, že zatímco jste četli pár posledních stránek, kdesi v těle vaši imunitní strážci v tichosti zlikvidovali mladou rakovinnou buňku.

Jenže soustava, která vás má bránit, se taky může porouchat a začít blbnout. Když se imunitní systém nechá obalamutit, může chorobám naopak pomáhat v šíření nebo chránit rakovinné buňky před odhalením. Nebo když se systém rozladí či pokazí, může se splést a rozhodnout se, že nepřítelem je samotné

tělo. Může *sebe* označit za *cizí* a doslova začít napadat buňky, kvůli jejichž ochraně existuje, což má za následek nejrůznější autoimunitní onemocnění, která se musejí nepřetržitě tlumit léky s leckdy nepěknými vedlejšími účinky.

Nebo si vezměte alergie, což je vlastně přemrštěná reakce imunitního systému proti podnětům, kterých by si neměl nijak zvlášť všímat. Anafylaktický šok názorně dokládá, jakou má váš obranný systém sílu a jak hrozivě se může zvrtnout: nemoc vás může zabít za několik dní — imunitní systém to zvládne za několik minut.

A aby toho nebylo málo, tak i když vaše imunita funguje, jak má, často je zrovna tak přítěží jako pomocníkem: řada nepříjemných příznaků, které vás během marodění postihnou, je důsledkem toho, že je imunitní systém aktivní a dělá svou práci — v případě některých nemocí největší újmu nebo dokonce smrt přivodí právě přepálená reakce na invazi. Například spousta úmrtí na covid-19 má původ v tom, že to imunitní systém kapku přehnal.

Vedlejší škody, které vaše obranná soustava páchá na vás samotných, se postupem času střádají a dnes panuje přesvědčení, že mnoho smrtelných chorob začíná tím, že obranyschopnost vlastně pracovala podle očekávání. Takže mít pohotový a nemilosrdný imunitní systém je pro zdraví stejně tak důležité jako držet ho zkrátka a bránit tomu, aby se utrhl ze řetězu a začal řádit. Přesně jako v lidském světě: když už musíte vytáhnout do války, aspoň chcete, aby se dobojovalo rychle a dosáhli jste přesvědčivého vítězství. Nechcete desítky let okupace a konfliktu, které polykají zdroje a nechávají za sebou spálenou zem.

Tudíž na bedrech imunitního systému leží obrovská odpovědnost udržet vás v kondici po co nejdelší dobu. Ačkoli boje jednou neodvratně skončí ve váš neprospěch, dneska, právě teď, vám záleží na tom, aby se za vás imunita bila dobře a odpovědně.

Abychom to shrnuli, podstatou je rozlišování mezi sebou a cizím, cílem je homeostáza a existuje bezmála nekonečno způsobů, jak to celé může jít šejdrem.

Na imunitním systému je tolik fascinující to, že všechnu složitou práci musejí odvádět částečky, které jsou vlastně bezduché a jednotlivě docela hloupé. Přesto se dokážou koordinovat a reagovat na dynamické a rychle se vyvíjející situace. Představte si to jako druhou světovou válku, ale vynásobenou deseti a bez velení. Na frontě bojují jenom nemyslící imunitní vojáci, kteří se snaží

přijít na to, jestli potřebují tanky nebo stíhačky a kam se mají vydat. A celé se to odehrává v rámci dnů. Takhle to ve vás vypadá, i když se perete s obyčejným nachlazením.

Pojďme tedy imunitní systém na dalších stranách rozkrýt, abyste příště, až vlezete do sprchy otrávení z toho, že vám teče z nosu a škrábe vás v krku, aspoň na chvilku ocenili, co se ve vás děje, než se zase vrátíte k reptání.

2 Co je potřeba bránit?

Než se skutečně ponoříme do vaší komplexní obranné soustavy, měli bychom se zastavit u toho, co je vlastně potřeba bránit: u vašeho těla. V určitém smyslu na tom není co řešit — jedná se o celou oblast pod kůží včetně samotné kůže. Nic složitého, že? Jenže stejně jako když se díváte na planetu jenom z oběžné dráhy, nikdy o ní ani zdaleka nezískáte podrobný přehled.

Takže než se vrhneme do čehokoli dalšího, nejdřív se spolu musíme vypravit do zvláštního a neznámého světa, který je tajemnější než hlubiny oceánu a podivnější než mimozemská planeta. Do světa, ve kterém žádný živý tvor ani netuší, že existuje, a kde jsou na denním pořádku všemožné příšery, ale nikoho to netrápí. Do světa starého miliardy let, který se rozkládá ve vás i ve všem kolem nás, do světa všudypřítomného a zároveň neviditelného. Jedná se o mikrosvět, kde se stírá hranice mezi živým a mrtvým. Kde biochemické procesy zažehávají život z příčin, kterým dodnes nerozumíme. Pojďme zaostřit do vás, mrknout se do vašich orgánů a proniknout tkáněmi až k těm nejzákladnějším stavebním kamenům: buňkám.

Buňky jsou nesmírně prťavé živé částice řadící se k nejmenším jednotkám života na Zemi. Z pohledu jedné buňky představuje lidské tělo planetu plující nepřátelským vesmírem. Abychom si představili jeho obří rozměry, musíme se na něj podívat z buněčné perspektivy. V buněčném měřítku je tělo gigantická spleť trubic mohutných jako hory a zatopených oceány nejrůznějších tekutin, které bouřlivě kolují složitými jeskynními systémy rozprostírajícími se na území celých států. S výjimkou krystalizovaných tvrdých částí kostí je z hlediska buňky veškeré okolní prostředí, celý svět, ve skutečnosti živé. Buňka může slušně požádat stěnu, aby ji pustila skrz, a pak se protáhne mezírkou, která

se za ní zase uzavře. Může plout tepajícími kanály a šplhat po horách masa, aby se dostala tam, kam potřebuje.

Kdybyste byli malí jako jedna vaše buňka, lidské tělo by mělo rozlohu patnácti až dvaceti Mount Everestů naskládaných na sobě. Byla by to masitá velehora přinejmenším 100 kilometrů vysoká, která by se tyčila až do vesmíru. Pokud se nacházíte u okna, schválně se podívejte na oblohu. Zkuste si to na chvilku představit, obra tak ohromného, že by mu dopravní letadla narážela do lýtek a hlavu by měl tak vysoko, že byste ji ani neviděli.

Buňky imunitního systému mají za úkol tohle všechno bránit. Zejména slabá místa, kudy můžou dovnitř vniknout nepřátelé, což jsou z velké části hranice, *vnějšek* těla. Když se řekne vnějšek, jako první vás samozřejmě napadne kůže. Celková plocha pokožky je asi dva metry čtvereční (zhruba polovina kulečníkového stolu) a naštěstí se brání celkem snadno, protože většinu kůže tvoří tvrdá a tlustá bariéra vybavená vlastním obranným systémem. Na dotek je poddajná, ale když ji nic neporuší, pronikne skrz ni máloco.

Skutečně náchylnými místy k nákaze jsou slizniční membrány — povrch, který vystýlá dýchací trubice a plíce, oční víčka, ústa i nos, žaludek a střeva a taky pohlavní ústrojí či močový měchýř. Tady se celková plocha udává hůř, protože čísla se člověk od člověka hodně liší, ale průměrně má zdravý dospělý asi 200 metrů čtverečních sliznice (přibližně jako tenisový kurt), přičemž většina se nachází v plicích a trávicím traktu.

Možná sliznici mylně řadíte ke svým vnitřnostem. Jenže tak to není — slizniční membrány jsou zvenku. Když se na sebe podíváme bez příkras, musíme si přiznat, že jsme vlastně jen složitě rozvětvená trubice. Jistě, trubice, která umí uzavřít oba konce. Ale zároveň hodně vlhká, slizká a nechutná.

Pohlavní orgány, nosní dírky a uši jsou otvory navíc — vstupy do dlouhých chodeb a dalších jeskynních komplexů, které se ve vás rozprostírají. Všechna tahle místa značí přímou hranici a styčnou plochu s vnějším světem. Vaše tělo je pouze obaluje. A tenhle vnějšek uvnitř vás představuje bojiště, kudy se do vás denně pokoušejí vtrhnout miliony vetřelců. To je dost velké území k obraně, když jste malí jako buňka. Pro buňky se plocha sliznic podobá tomu, co je pro vás rozloha střední Evropy nebo střední části Spojených států. Postavit hradbu na hranicích nestačí, protože není potřeba ubránit pouze hranice, ale celý

Tělo je trubice.

povrch! Útočníci se totiž nesnaží vniknout dovnitř jenom na okrajích. Provádějí taky výsadky až za obrannou linií. Takže vaše buňky musejí bránit celý kontinent. Se vším všudy.

Přesto je pořád mnohem jednodušší zachytit nepřítele na jednom ze zmíněných míst než někde jinde. Například kdybychom vzali všechny krevní cévy i vlásečnice v těle a poskládali je do řady, sahaly by závratných 120 000 kilometrů daleko — takže by třikrát omotaly zeměkouli — a měly by plošný obsah 1 200 metrů čtverečních. Takže je lepší útočníky zadržet na povrchu, který je v součtu mnohem menší, a tím pádem se snadněji brání. Snadněji ovšem neznamená snadno.

Udělejme si takový zábavný myšlenkový experiment a představme si, že chceme postavit lidské tělo v příslušném měřítku, ale ze skutečných lidí, jako jste vy. Ze živých a dýchajících jednotlivců, jen abychom viděli, s jakými šílenými rozměry máme tu čest.

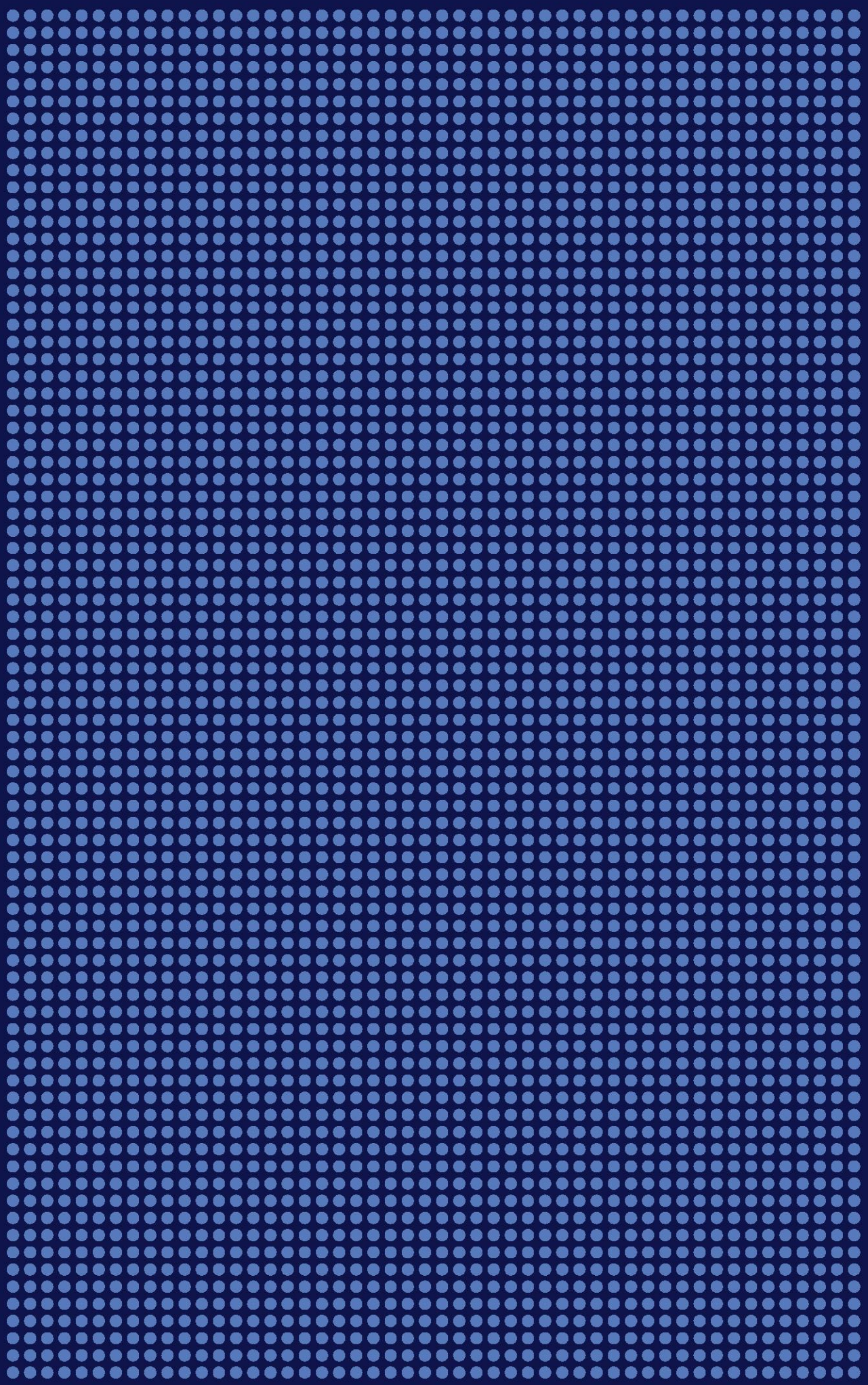
Takže zaprvé, těch lidí potřebujeme fůru. Lidské tělo sestává v průměru asi ze 40 bilionů buněk. *Bilionů!* Čtyřicet bilionů je 40 000 000 000 000. Vážně úctyhodné číslo. Chceme-li buňky znázornit jednotlivými lidmi, potřebujeme víc než stokrát tolik jedinců, než kolik jich žilo za celých 250 000 let historie lidstva. Zkusme si udělat názornější obrázek. V současnosti žije na Zemi 7,8 miliard lidí. Když je postavíme bok po boku, překvapivě zaberou území o výměře jen asi 1 800 kilometrů čtverečních. Což je o něco málo víc než rozloha Londýna. Abychom získali čtyřicet bilionů lidí, musíme to vynásobit 5 128.*

Dobrá. Takže máme 40 bilionů lidí namačkaných těsně na sebe. Tohle moře lidí by pokrylo celou Velkou Británii, do posledního zákoutí, jezera a hory.

* A to je jenom část příběhu, protože vaše tělo hostí taky bakterie, které potřebujete k přežití. Kolik? Jednu za každou ze čtyřiceti bilionů buněk v těle (což je z hlediska velikosti ucházející baseballový stadion — kdybyste byli malí jako průměrná tělesná buňka, bakterie by vůči vám byly jako prťaví králíci). Představme si bakterie jako králíčky, aby to nebylo tak děsivé. Většina těchhle roztomilých králíčků žije ve vašich střevech. V téhle obrovité zakroucené jeskyni se to hemží 36 biliony králíky, kteří se nepřetržitě množí i umírají a rozkládají kousky potravy velikosti mrakodrapů, aby se živiny mohly spravedlivě rozdělit mezi všechny lidi tvořící náš tělní kolos. Zbylé čtyři biliony králíčků vám lezou po kůži, sedí na plicích, skáčou po zubech i jazyku, plavou v nitrooční tekutině a plazí se ušima. Ještě se k nim vrátíme později, ale prozatím si prostě představujte, že vás oblézají rozkošní králíčci, kteří jsou vaši kamarádi a myslí jen na vaše dobro.

Všichni žijící lidé ~7,8 miliard

Buňky v těle ~40 bilionů



● = 10 miliard

Abychom z lidí zastupujících buňky vyrobili tělo ve správném měřítku, musíme je nakupit tak, aby na sobě stály biliony lidí, kteří do sebe budou zaklesnutí lokty a budou se držet za ruce, takže vytvoří živé struktury. Obr tvořený z lidských těl se tyčí 100 kilometrů do nebe a sahá až ke hranici vesmíru. Skládá se z jeskyní velkých jako malé státy, kostí mohutných jako hory a propletenců dutin a tunelů. Tepnami mu proudí oceány tekutin a lidé do jeho nejzazších koutů nosí jídlo a kyslíkové bomby. Kdybyste byli červená krvinka, nebo v tomhle případě něco jako „červený krvinkář", každou minutu byste v proudu, který pumpuje srdce o velikosti města, urazili vzdálenost z Paříže do Říma a zpátky. Mohlo by to skvěle klapat. Všichni by spolupracovali a tahali za jeden provaz, aby hora masa, a v důsledku i oni sami, zůstala naživu.

Jenže pohádková hojnost zdrojů i potravy a dostatek vlhkého, teplého prostoru jsou zkrátka příliš lákavé. Obr má rozměry světadílu nejen pro svoje obyvatele, ale i pro nezvané hosty. Do tělního kolosu se snaží proniknout doslova miliardy parazitů. Někteří jsou velcí jako sloni nebo plejtváci a chtějí dovnitř naklást obrovská vejce, aby na ubohých lidech tvořících tkáně mohla hodovat jejich mláďata. Další jsou velcí jako mývalové či krysy, kteří chtějí obrovi krást jídlo, trvale se v něm usadit a vychovávat v něm generace svých potomků. Možná nemají v úmyslu lidem, ze kterých se tělo skládá, přímo škodit, jenže se tomu nevyhnou, protože budou všude kálet a udělají jim ze života peklo. Nejodpornější havětí, s níž se náš tělní obr musí denně vypořádávat, jsou miliardy pavouků, kteří chtějí buněčným lidem vlézt do pusy nebo do uší a pak se v břiše svých obětí množit. Když gigant sestávající z bilionů lidí sem tam o několik z nich přijde, nijak zvlášť mu to neublíží. Kdyby v něm ovšem škůdci bujeli naprosto nezřízeně, byl by to jeho konec. Není to strašidelná představa?

S tímhle se vaše buňky potýkají dnem i nocí, od chvíle, kdy jste se narodili, až do okamžiku vaší smrti. To, že jste naživu, byste neměli brát jako samozřejmost. Ale nenechte se příliš znepokojovat představou, že jste pod neustálým náporem. Nejste totiž jen kupa masa, která trpně čeká na dobytí. Naštěstí máme v boji o přežití mocného spojence, kterého si — jak už teď víme — nevážíme tak, jak si zaslouží: svůj imunitní systém.

Díky němu jste pevnost. A co víc, pevnost strážená miliardami těch nejvýkonnějších a nejzuřivějších vojáků na světě. Disponují nespočtem zbraní

a neváhají je bez milosti použít. Armáda imunitního systému už za váš život zničila miliardy nepřátel i parazitů a je připravena zlikvidovat miliardy až biliony dalších.

3 Co jsou buňky?

O buňkách už jsme toho napovídali spoustu a po zbytek knížky v tom budeme pokračovat. Abyste porozuměli svému tělu, imunitnímu systému i nemocem, proti kterým bojuje — od rakoviny po chřipku —, potřebujete mít základní přehled o jeho stavebních kamenech. Dobrou zprávou je, že buňky platí za dost možná nejvíc fascinující složku biologie. Po téhle kapitole zase záběr oddálíme a konečně se s imunitní soustavou seznámíme napřímo.

Co tedy přesně je buňka zač a jak funguje?

Jak už jsme řekli, buňky jsou nejmenší jednotky života: částečky, které můžeme ještě jednoznačně považovat za něco živého. Definice života je sama o sobě neskutečně komplikovaná záležitost, ze které jde člověku hlava kolem. Když to vidíme, poznáme, že to žije, ale vymezit, na základě čeho to víme, to už dá zabrat. Obecně životu přisuzujeme několik vlastností: něco živého je odděleno od okolního světa. Má to metabolismus, takže to zvenku přijímá živiny a zbavuje se to vnitřního odpadu. Reaguje to na podněty. Roste to a může se to množit. Buňky tohle všechno dělají. A tvoří v podstatě celé vaše tělo. Z buněk se skládají vaše svaly, orgány, kůže i vlasy. Plavou vám v krvi. Jelikož jsou tak malé, nejsou vědomé, nemají vlastní vůli, pocity ani úmysly a nedělají záměrná rozhodnutí. Buňky v zásadě představují biologické roboty poháněné nesčetným množstvím biochemických reakcí, které jsou řízeny ještě menšími součástmi jich samotných.

Buňky totiž mají „orgány“, které se nazývají organely, například jádro, jakési vnitřní velitelství — což je poměrně velká struktura s vlastním ochranným pláštěm, která přechovává DNA, genetický kód. Pak tam jsou mitochondrie, generátory přeměňující potravu a kyslík na chemickou energii, která buňku udržuje v chodu. Dále specializovaná dopravní síť, balicí středisko, části vyhrazené na

trávení i recyklaci nebo montážní ústrojí. Když se učíme o buňkách, často se zobrazují jako jakési prázdné vaky, ve kterých plavou zmíněné organely. Takové zobrazení ovšem vůbec nevystihuje, jaký je v nich šrumec. Rozhlédněte se po místnosti, ve které právě teď sedíte.*

Teď si představte, že je až po strop zaplněná věcmi. Miliony zrnky písku, miliony zrnky rýže, několika tisíci jablek i broskví a desítkami velkých vodních melounů. Tak nějak to vypadá uvnitř buňky. Co to ve skutečnosti znamená?

Jediná lidská buňka se skládá z desítek milionů samostatných molekul. Polovinu tvoří molekuly vody, které v našem přirovnání reprezentují zrnka písku. Ty dodávají vnitřku buňky konzistenci připomínající měkké želé a všechno ostatní se díky tomu může snadno pohybovat skrz. V tomhle měřítku už totiž voda není řídká kapalina, ale vazký a medovitý rosol.†

Z druhé poloviny sestává buňka hlavně z milionů bílkovin. Je jich mezi 1 000 a 10 000 různých druhů — v závislosti na funkci buňky a na tom, čeho potřebuje dosáhnout. V našem příkladě s místností se jedná o rýži a většinu ovoce. Melouny jsou organely, které vídáme na buněčných nákresech. Takže buňky jsou tvořeny a vyplněny zejména bílkovinami.

U bílkovin neboli *proteinů* se krátce zastavíme, protože ve fungování imunitního systému, buněk i celého mikrosvěta hrají obrovskou roli. Jsou tak důležité, že si můžeme dovolit buňky nazývat bílkovinnými roboty. O proteinech jste možná slyšeli převážně v souvislosti s jídlem — třeba dokonce stravu bohatou na bílkoviny vyhledáváte, obzvlášť pokud posilujete a snažíte se nabrat svalovou hmotu. Což dává smysl, protože pevné, netučné části vašeho těla se skládají především z bílkovin (dokonce i kosti vznikají ze směsice proteinů a vápníku). Ovšem proteiny neprospívají jenom svalům: jsou to nejelementárnější organické stavební prvky a nástroje veškerého života na planetě. Jsou tak užitečné a mnohotvárné, že je buňka může využít prakticky k čemukoli,

* Pokud si čtete venku, je to u téhle metafory maličko čára přes rozpočet, což? Takže prosím předstírejte, že jste někde pod střechou.

† Možná se ptáte, proč tomu tak je. O tom by se dalo mluvit dlouho a vážně je to docela fascinující, ale taky bychom tím vypustili úplně nového džina z lahve. Takže se spokojme s vysvětlením, že záleží na tom, jak jste velcí. Jako lidi vnímáte vodu jako jednolitou látku, zato když jste bílkovina, jedna molekula vody je poměrně macatá, jako opravdová kulička, která do vás narazí. Tudíž by se vám taky mnohem hůř plavalo.