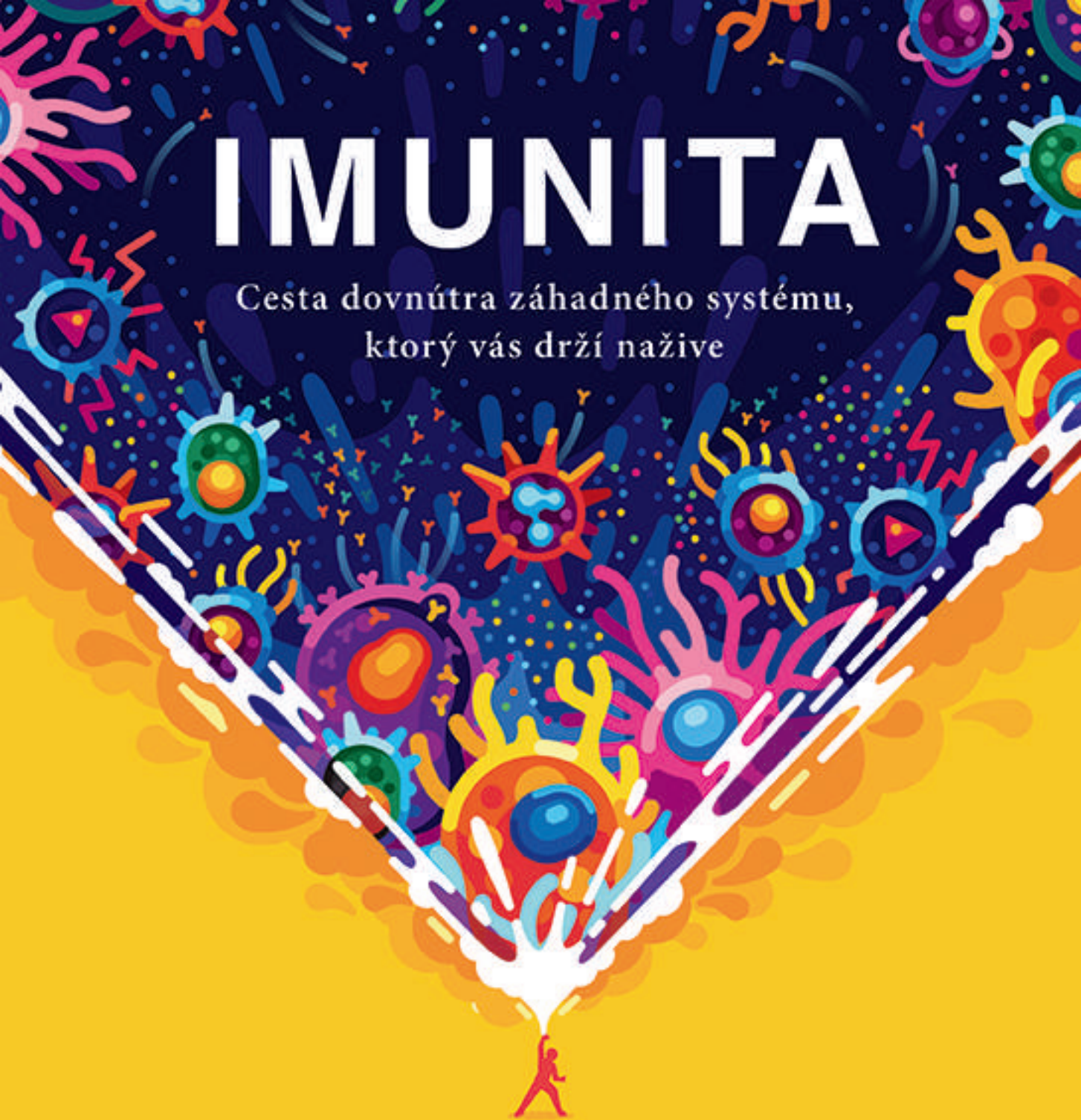


IMUNITA

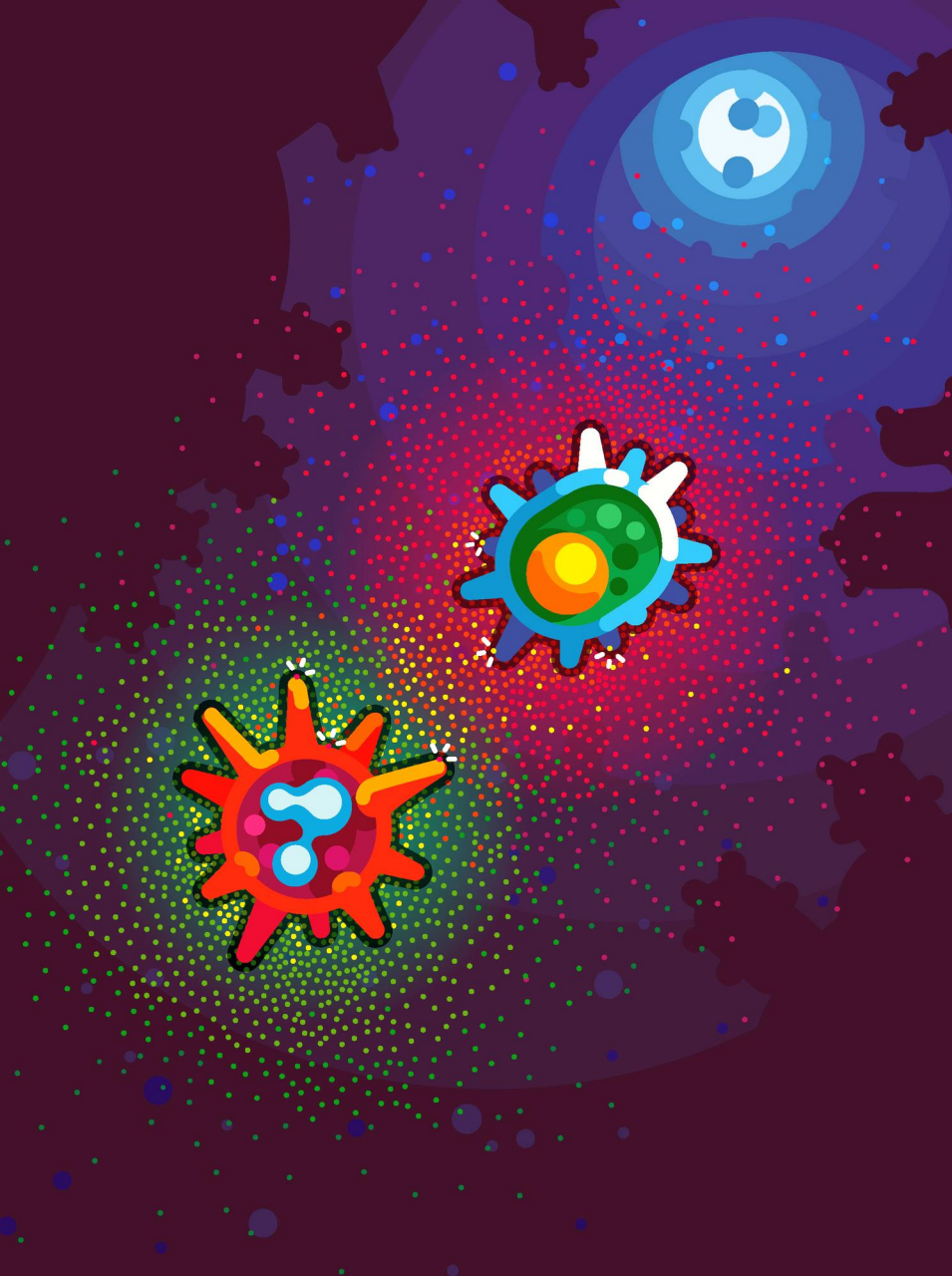
Cesta dovnútra záhadného systému,
ktorý vás drží nažive



Philipp Dettmer

TATRAN

Imunita



Imunita

Cesta dovnútra
záhadného systému,
ktorý vás drží nažive

Philipp Dettmer

TATRAN

Z anglického originálu Philipp Dettmer: IMMUNE,
ktorý vyšiel vo vydavateľstve Random House, an imprint and division
of Penguin Random House LLC, New York 2021,
preložila Miroslava Belešová.
Vyšlo vo Vydavateľstve TATRAN, Bratislava 2022 ako 5339. publikácia.
Vydanie I.
Prebal podľa pôvodného návrhu spracoval Oto Dóra – DESIGN.
Zodpovedná redaktorka Daniela Šinková
Jazykové redaktorky Ivana Fábryová, Marta Bábiková
Technická redaktorka Eva Zdražilová
Sadzba Oto Dóra – DESIGN
Vytlačil FINIDR, s.r.o., Český Těšín.

www.slovtatran.sk

:: knihy pre **hodnotnejší** život

All rights reserved.

Copyright © 2021 by Philipp Dettmer
Translation © Miroslava Belešová 2022
Slovak edition © Vydavateľstvo TATRAN 2022

ISBN 978-80-222-1292-2

Pre Cathi a Mochi

Obsah

Úvod 13

Časť prvá Zoznámte sa so svojím imunitným systémom

- 1 Čo je imunitný systém? 23
- 2 Čo treba obraňovať? 30
- 3 Čo sú bunky? 37
- 4 Ríše a kráľovstvá imunitného systému 47

Časť druhá Katastrofálne poškodenie

- 5 Zoznámte sa so svojimi nepriateľmi 55
- 6 Púštne kráľovstvo kože 61
- 7 Porezanie 68
- 8 Vojaci vrodeného imunitného systému: makrofágy a neutrofily 75
- 9 Zápal: hra s ohňom 82
- 10 Nahé, slepé a vydesené: Ako bunky vedia, kam sa vydať? 88
- 11 Ovoniavanie stavebných kameňov života 94
- 12 Neviditeľná vražedná armáda: komplementový systém 99

- 13 Bunková spravodajská služba: dendritová bunka 108
- 14 Superdiaľnice a megamestá 113
Poznámka na okraj: slezina a mandle – najlepší priatelia lymfatických uzlín 116
- 15 Príchod superzbraní 119
- 16 Najväčšia knižnica v univerze 123
- 17 Chutné recepty receptorov 125
- 18 Vražedná univerzita týmusu 129
- 19 Informácie na zlatej tácke: prezentácia antigénov 135
- 20 Prebudenie adaptívneho imunitného systému: T-lymfocyty 142
- 21 Zbrojárne a ostreľovacie pušky: B-lymfocyty a protilátky 149
- 22 Tanec téčka a béčka 160
- 23 Protilátky 164
Poznámka na okraj: štyri triedy protilátok 167

Časť tretia Nepriateľské prevzatie

- 24 Močiarne kráľovstvo sliznice 175
- 25 Zvláštny a jedinečný imunitný systém čriev 182
- 26 Čo je vírus? 188
- 27 Imunitný systém pľúc 194
- 28 Chríпка – „neškodný“ vírus, pred ktorým nemáte dostatočný rešpekt 198
- 29 Chemická vojna: Interferóny, interferujte! 206
Poznámka na okraj: rozdiel medzi chrípkou a bežným prechladnutím 215
- 30 Okno do duše buniek 218
- 31 Špecialisti na zabíjanie – vražedné T-lymfocyty 224
- 32 Prirodzené zabíjače 231

- 33** Ako sa zbavujeme vírusovej infekcie 236
Poznámka na okraj: Prečo nemáme lepšie lieky proti vírusom? 239
- 34** Vypnutie imunitného systému 242
- 35** Imunita – Ako si váš imunitný systém navždy zapamätá nepriateľa 245
Poznámka na okraj: Čo vás nezabije, to vás neposilní: osýpky a pamäťové bunky 250
- 36** Vakcíny a umelá imunizácia 252

Časť štvrtá Povstanie a občianska vojna

- 37** Keď je imunitný systém prislabý: HIV a AIDS 265
- 38** Keď je imunitný systém priveľmi agresívny: alergie 271
- 39** Parazity a ako môžu imunitnému systému chýbať 278
- 40** Autoimúnne ochorenie 282
Poznámka na okraj: anergia 288
- 41** Hypotéza o hygiene a starí priatelia 290
- 42** Ako si posilniť imunitný systém 299
- 43** Stres a imunitný systém 306
- 44** Rakovina a imunitný systém 310
Poznámka na okraj: fajčenie a imunitný systém 321
- 45** Pandémia koronavírusu 324
- Záver** 333

Zdroje 337

Podakovania 339

Register 341

Úvod

PREDSTAVTE SI, ŽE SA RÁNO ZOBUDÍTE A CÍTITE SA TROCHU POD PSA. Škriabe vás v hrdle, tečie vám z nosa, trochu pokašliavate. Nie je to také zlé, aby ste nešli do práce, pomyslíte si, keď vkročíte do sprchy, otrávení zo svojho ťažkého života. Kým vy fňukáte ako dieťa, váš imunitný systém sa nesťažuje. Má plné ruky práce s tým, aby vás udržal pri živote, aby ste si mohli zafňukať aj na druhý deň. A tak kým sa vám po tele motajú votrelci zabíjajúci stovky tisíc vašich buniek, imunitný systém organizuje komplexnú obranu, komunikuje na dlhé vzdialenosti, aktivuje zložité obranné siete a rozdáva rýchle smrteľné rany miliónom, ak nie rovno miliardám nepriateľov. A to všetko, kým vy stojíte mierne otrávení v sprche.

Táto komplexnosť je však do veľkej miery skrytá.

Čo je naozaj škoda, pretože málo vecí má na kvalitu vášho života taký kľúčový vplyv ako imunitný systém. Je všeobjímajúci a chráni vás pred otravnými nepríjemnosťami, ako bežné prechladnutie, odreniny, rezné rany, aj pred život ohrozujúcimi stavmi od rakoviny cez zápal pľúc až po smrtiace infekcie ako COVID-19. Imunitný systém je rovnako nenahraditeľný ako srdce a pľúca. A v skutočnosti je jedným z najväčších a najrozšírenejších orgánových systémov v tele, hoci o ňom nezvykneme takto premýšľať.

Pre väčšinu z nás je imunitný systém vágna a nejasná entita, ktorá sa riadi zvláštnymi a netransparentnými pravidlami, a zdá sa, že občas pracuje a občas nie. Je trochu ako počasie, je extrémne ťažké ho predpovedať, je predmetom nekonečných špekulácií a názorov a podniká zdanlivo náhodné kroky. Nanešťastie, mnoho ľudí sa o imunitnom systéme vyjadruje sebaisto, no v skutočnosti mu nerozumejú. Je ťažké odhadnúť, ktorej

informácii veriť a prečo. Tak čo je vlastne imunitný systém a ako v skutočnosti funguje?

Pochopenie mechanizmov, ktoré vás držia pri živote, kým toto čítate, nie je len pekným cvičením v intelektuálnej zvedavosti; je zúfalo potrebným poznaním. Ak porozumiete imunitnému systému, pochopíte a oceníte vakcíny a to, ako môžu zachrániť život vám alebo vašim deťom. K ochoreniam a chorobám budete pristupovať s veľmi odlišným postojom a oveľa menším strachom. Nenaletíte tak ľahko predavačom hadieho oleja, ponúkajúcim zázraky na počkanie, ktorým absolútne chýba logika. Dokážete lepšie uchopiť druhy liekov, ktoré vám môžu v chorobe naozaj pomôcť. Naučíte sa, čo môžete urobiť na posilnenie imunitného systému. Deti uchránite pred nebezpečnými mikróbmami a nebudete sa priveľmi stresovať, keď sa pri hre vonku zašpinia. A vo veľmi nepravdepodobnom prípade, napríklad takej globálnej pandémie vám vedomosť o tom, čo s vami robí vírus a ako s ním telo bojuje, pomôže pochopiť slová expertov na verejné zdravie.

Okrem všetkých týchto praktických a užitočných vecí je imunitný systém prosto aj krásny, je to div prírody ako žiadny iný. Nie je obyčajným nástrojom na zbavenie sa kašľa. Je neoddeliteľne spojený s takmer všetkými ostatnými procesmi v tele – a hoci ho potrebujete, aby ste ostali nažive, môže vám spôsobiť aj predčasnú smrť, či už svojím zlyhaním alebo tým, že bude priveľmi aktívny.

Neuveriteľná zložitosť ľudského imunitného systému ma fascinuje a uchvacuje už takmer desať rokov. Začalo sa to na univerzite, kde som študoval informačný dizajn. Hľadal som semestrálny projekt a imunitný systém sa mi javil ako dobrý nápad. Zadovážil som si teda kopu kníh o imunológii a začal som sa v nich vrtáť, no nech som čítal koľkokol'vek, bolo to stále rovnako zložitá. Čím viac som sa toho dozvedel, tým nemožnejšie sa mi zdalo imunitný systém zjednodušiť, lebo každá ďalšia vrstva odhaľovala viac mechanizmov, viac výnimiek, viac komplikovanosti.

A tak sa projekt, ktorý mal trvať jednu jar, natiahol až do leta, potom do jesene a zimy. Interakcie medzi jednotlivými časťami imunitného systému boli priveľmi elegantné a ich tanec priveľmi krásny, aby som ich prestal študovať. Tento vývoj zásadne zmenil môj pohľad na vlastné telo.

Keď som dostal chrípku, nemohol som sa už len sťažovať. Musel som sa pozrieť na svoje telo, dotknúť sa opuchnutých lymfatických uzlín a predstavovať si, čo v tej chvíli robia moje imunitné bunky, ktorá časť siete je aktivovaná a ako T-lymfocyty zabili milióny votrelcov, aby ma ochránili. Keď som sa z nepozornosti porezal v lese, cítil som vďaka za svoje makrofágy, veľké imunitné bunky prenasledujúce vystrašené baktérie, ktoré potrhali na kusy, aby otvorenú ranu uchránili pred infekciou. Keď som si odhryzol z nesprávnej müsli tyčinky a dostal som alergickú reakciu, cestou do nemocnice som premýšľal o mastocytoch a protilátkach IgE, ktoré ma takmer zabili pri pomýlenom pokuse o moju ochranu pred strašidelným jedlom!

Keď mi ako tridsaťdvaročnému diagnostikovali rakovinu a musel som podstúpiť viacero operácií a chemoterapiu, moja posadnutosť imunológiou sa ešte zintenzívnila. Jednou z úloh môjho imunitného systému je zabiť rakovinu. V tomto prípade zlyhal.

Akosi som sa však nedokázal hnevať ani byť podráždený. Vedel som, ako sa moje imunitné bunky narobili a ako veľmi sa musela snažiť rakovina, aby si ich podmanila. A keď chemoterapia rakovinu rozpustila, znova som premýšľal nad imunitnými bunkami, ktoré napádali a bunku po bunke požierali zomierajúce tumory.

Choroby a ochorenia sú strašidelné a znepokojivé a ja som ich mal v živote dosť. No vedomie, že bunky a imunitný systém, táto moja neoddeliteľná a vlastná súčasť, obraňovali moju entitu, bojovali, umierali, liečili a obnovovali telo, ktoré obývam, ma vždy upokojilo. Vedomosti o imunitnom systéme spravili môj život lepším a zaujímavejším a do veľkej miery zmiernili úzkosť, ktorá sprevádza ochorenie. Poznanie imunitného systému vždy uviedlo veci na pravú mieru.

Pre tento pozitívny vplyv a preto, aká zábava bola učiť sa a čítať si o imunitnom systéme, sa z neho stal dlhodobý koníček. Napokon sa zo mňa stal vedecký komunikátor a vysvetľovanie zložitých vecí je dnes mojím životným poslaním. Zhruba pred ôsmimi rokmi som založil Kurzgesagt – In a Nutshell (V skratke, pozn. prekladateľky), youtubový kanál, v ktorom sa usilujeme podávať vedecké informácie zrozumiteľne a príťažlivo. Začiat-

kom roka 2021 sa tím Kurzgesagt pracujúci na tejto vízii rozrástol na vyše štyridsať ľudí, kanál pritiahol vyše štrnásť miliónov odberateľov a každoročne má okolo tridsať miliónov videní. Keď teda jestvuje táto veľká platforma, prečo si dať námahu s písaním knihy? Nuž, hoci niektoré z našich najúspešnejších videí boli o imunitnom systéme, vždy ma mávalo, že som túto úžasnú tému nemohol preskúmať do hĺbky, akú si zasluhuje. Desiatminútové video na to prosto nestačí. Táto kniha teda predstavuje spôsob, ako moju desaťročnú romancu s imunitným systémom premeniť na čosi hmatateľné, čo vám azda zábavnou formou pomôže pochopiť ohromujúci, nádherný a zložitý systém, ktorý vám umožňuje prežiť každý deň.

Nanešťastie, imunitný systém je veľmi komplikovaný, hoci ani to slovo nie je dostatočne výstižné. Je taký komplikovaný, že výstup na Mount Everest je popri ňom prechádzkou ružovou záhradou. Je asi taký intuitívny, ako je čítanie čínskeho prekladu daňového kódu Nemecka príjemnou neďelnou kratochvílou. Po ľudskom mozgu je imunitný systém najzložitejší biologický systém známy človeku.

Čím hrubšiu knihu o imunológii čítate, tým viac vrstiev detailov sa začne nabaľovať, tým viac výnimiek z pravidla sa objaví, tým zložitejším sa systém stáva a tým špecifickejším sa javí byť pre každú možnú eventualitu. Každá jedna z mnohých jeho častí má viacero úloh, funkcií a špecializácií, ktoré sa prekrývajú a navzájom ovplyvňujú. A ak vás tieto výzvy neodradia a stále budete chcieť imunitný systém pochopiť, narazíte na ďalší problém: ľudí, ktorí ho opisujú.

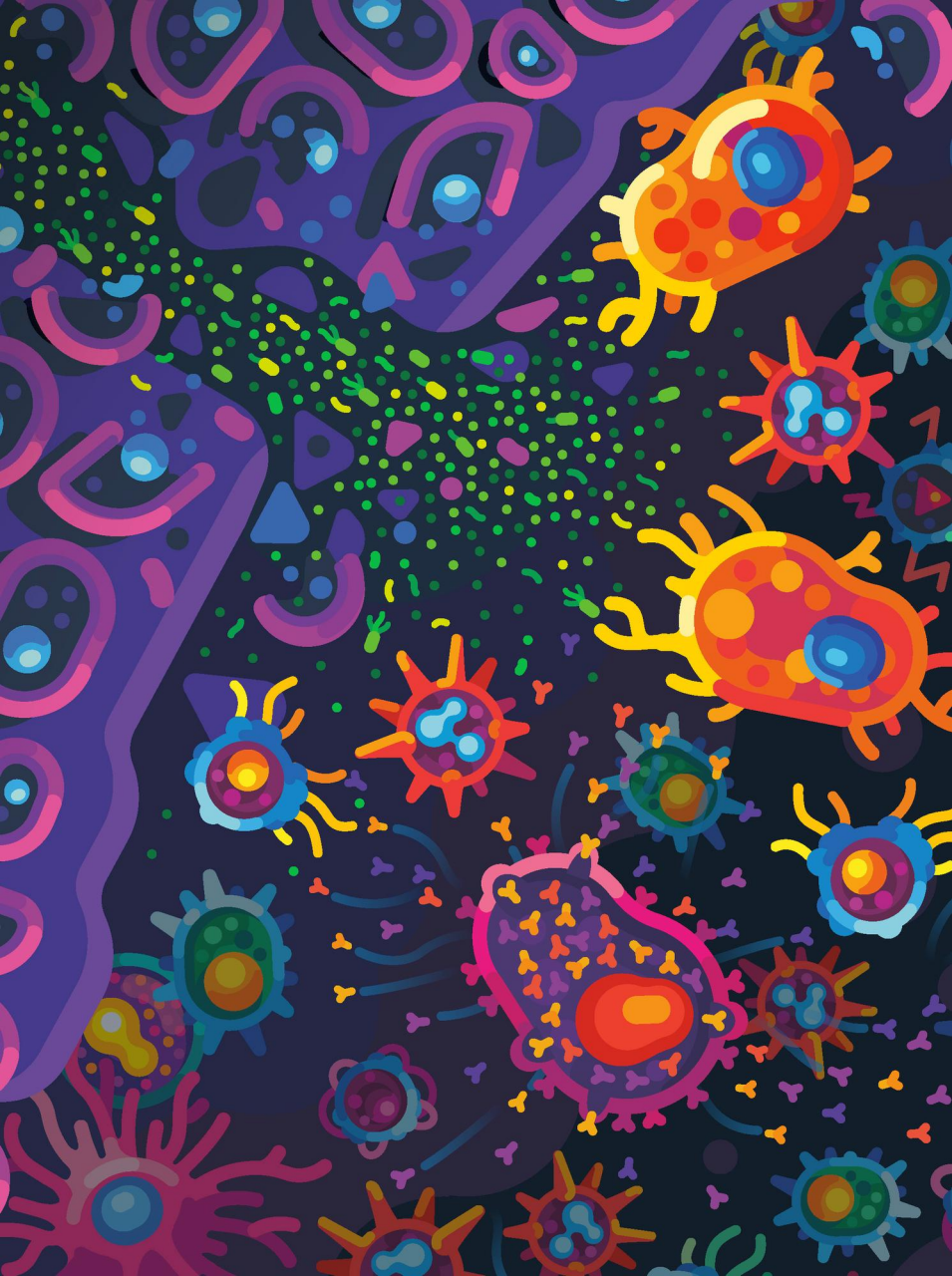
Vedci svojou tvrdou prácou a nekonečnou zvedavosťou položili základy úžasného moderného sveta, ktorý si dnes užívame, a za to im patrí naša veľká vďaka. Nanešťastie, mnohí pri svojich objavoch vyberajú veľmi nevhodné názvy a používajú nezrozumiteľný jazyk. Imunológia je v tomto jednou z najhorších vedeckých disciplín. Už aj bez toho ohromujúco zložené odvetvie je navyše prešpikované pojмами ako MHC I. a II. triedy, gama/delta T-lymfocyty, interferón alfa, beta, gama a kappa a komplementový systém s C5-konvertázou s názvom C4b2a3b. Nič z tohto neurobí z čítania učebnice a učenia sa o imunitnom systéme na vlastnú päsť potešenie. No aj bez tejto prekážky sú zložité vzťahy mnohých rozličných aktérov

imunitného systému výzvou pre svoje nespočetné výnimky a neintuitívne pravidlá. Imunológia je zložitá dokonca aj pre ľudí pracujúcich vo verejnom zdravotníctve, dokonca aj pre tých, čo ju študujú, dokonca aj pre najpoprednejších expertov v tejto oblasti.

Pre toto všetko sa imunitný systém vysvetľuje veľmi ťažko. Ak veci prí veľmi zjednodušíte, študenta pripravíte o krásu a čaro čírej a nekonečnej komplexnosti z geniálnej dielne evolúcie, ktorá rieši najkľúčovejšie problémy živých bytostí. Ak však zájdete prí veľmi do detailov, rýchlo prestane stíhať. Ak by ste mu vymenovali všetko, každú časť imunitného systému, bolo by toho naňho prosto priveľa. Bolo by to, ako vyrozprávať človeku celý svoj životný príbeh na prvom rande: zahltili by ste ho informáciami a veľmi pravdepodobne by o vás stratil záujem.

V tejto knihe chcem opatrne preklúčkovať okolo všetkých týchto problémov. Budem sa vyjadrovať ľudsky a používať zložité slová, len keď to bude nevyhnutné. Keď to bude vhodné, procesy a interakcie zjednoduším, no stále budú čo najvedeckejšie. Niektoré kapitoly budú zložitejšie, iné jednoduchšie, keď vás teda zahltím množstvom informácií, potom budú nasledovať jednoduchšie, oddychové časti. A v pravidelných intervaloch budeme sumarizovať, čo sme sa naučili. Chcem, aby táto kniha umožnila každému pochopiť imunitný systém aj sa pritom trochu zabaviť. A keďže táto zložitosť a krása úzko súvisia s vaším zdravím a prežitím, možno sa dokonca naučíte čosi užitočné. Keď najbližšie ochoriete alebo sa budete musieť pasať s chorobou, azda sa budete vedieť na svoje telo pozrieť z odlišnej perspektívy.

A ešte obligátne zrieknutie sa zodpovednosti: nie som imunológ, ale vedecký komunikátor a nadšenec imunitného systému. Táto kniha nepoteší každého imunológa – hneď od začiatku výskumu bolo jasné, že na detaily imunitného systému jestvuje mnoho odlišných názorov a ich zástancovia z vedeckej obce sa o ne sporia. (A tak by veda mala fungovať!) Napríklad niektorí imunológovia považujú určité bunky za zbytočné fosílie, kým iní si myslia, že sú pre vašu obranu kľúčové. Táto kniha je teda do najväčšej možnej miery založená na konverzáciách s vedcami, na súčasnej literatúre, ktorá sa používa na výučbu imunológie, a na recenzovaných článkoch.





V istom bode v budúcnosti si budú aj tak niektoré časti tejto knihy žiadať aktualizáciu. A to je dobré! Imunológia je dynamické vedecké odvetvie, kde sa deje množstvo úžasných vecí, a rozličné teórie a názory sa neustále menia. Imunitný systém je živá téma, kde sa stále uskutočňujú veľké objavy. A to je výborné, pretože to znamená, že sa učíme viac o nás samých a o svete, v ktorom žijeme.

Dobre! Prv než do toho skočíme rovnými nohami a začneme objavovať, čo váš imunitný systém robí, definujme si najskôr premisu, aby sme mali pevné základy. Čo je imunitný systém, v akom kontexte pracuje a čo sú tie drobné časti, ktoré si to oddrú? Po pokrytí týchto základov preskúmame, čo sa stane, keď sa zraníte, a ako sa imunitný systém náhli brániť vás. Potom prebádame vaše najzraniteľnejšie časti a zistíme, ako sa telo usiluje uchrániť vás pred vážnou infekciou. A napokon sa pozrieme na rozličné imunitné poruchy, ako alergie a autoimúnne ochorenia, a prediskutujeme, ako si môžete posilniť imunitný systém. Začnime však pekne na samom začiatku tohto príbehu.

Časť prvá

Zoznámte sa so svojím imunitným systémom

1. Čo je imunitný systém?

PRÍBEH IMUNITNÉHO SYSTÉMU SA ZAČÍNA PRÍBEHOM SAMOTNÉHO života pred takmer 3,5 miliardy rokov v jednej čudnej kaluži na nepriateľskej a nesmierne prázdnej planéte. Nevieme, čo tieto prvé živé bytosti robili alebo o čo im išlo, ale vieme, že veľmi skoro začali byť voči sebe zlomyseľné. Ak si myslíte, že život je ťažký, lebo musíte skoro ráno vstať z postele, aby ste pripravili deti na nadchádzajúci deň, alebo preto, že vám doniesli vlažný burger, prvé živé bunky na planéte by si s vami rady pohovorili. Keď sa im podarilo zistiť, ako premeniť okolité chemické látky na užitočné veci a zároveň získavať energiu potrebnú na život, niektoré z prvých buniek sa vybrali skratkou. Načo sa namáhať, keď môžete jednoducho niekoho okradnúť? To sa dalo urobiť viacerými spôsobmi, napríklad niekoho v celku prehltnúť alebo ho prederaviť a vysrkať mu vnútornosti. To však mohlo byť nebezpečné a namiesto toho, aby ste sa zadarmo najedli, ste mohli skončiť ako potrava pre svoju zamýšľanú obeť, najmä ak bola väčšia a silnejšia než vy. S menším rizikom sa koristiť dala získať aj tak, že ste prosto vliezli do vnútra obeť a usalašili sa tam. Jedli ste, čo ona, a boli ste chránení jej teplým objatím. Celkom krásne, keby to nebolo také hrozné voči hostiteľovi.

Šikovné vykorisťovanie iných sa stalo efektívnou stratégiou, evolučnou nevyhnutnosťou na vlastnú obranu proti vykorisťovateľom. A tak mikroorganizmy medzi sebou súťažili a bojovali rovnakými zbraňami ďalšie 2,9 miliardy rokov. Keby ste mali stroj času a preniesli sa späť, aby ste mohli žasnúť nad čarom tohto súperenia, poriadne by ste sa nudili. Nebolo vidno nič okrem zopár slabých povlakov baktérií na mokrých skalách. Zem bola niekoľko prvých miliárd rokov skutočne nudným miestom. Až kým život neurobil pravdepodobne najväčší skok v zložitosti v dejinách.

Nevieme presne, čo spustilo posun od jednotlivých, zväčša osamotených buniek k obrovským kolektívom, ktoré úzko spolupracovali a špecializovali sa.*

Zhruba pred 541 miliónmi rokov sa odrazu náhle rozrástol počet mnohobunkových živočíchov. A nielen to, mimoriadne rýchlo naberal na rozmanitosti. Prirodzene, naši novovyvinutí predkovia mali problém. Mikroby žijúce vo svojom maličkom svete celé miliardy rokov súťažili a bojovali o priestor a zdroje v každom dostupnom ekosystéme. A čo sú vlastne zvieratá pre baktérie a iné tvory, ak nie veľmi príjemný ekosystém? Ekosystém odhora až nadol plný bezplatných živín. Takže votrelci a parazity predstavovali existenciálnu hrozbu pre mnohobunkový život od samého začiatku.

Prežili len mnohobunkové tvory, ktoré našli spôsob, ako sa popasovať s touto hrozbou, a dostali šancu stať sa ešte zložitejšími. Nanešťastie, bunky a tkanivá sa nezachovali stovky miliónov rokov, a tak sa nemôžeme pozrieť na fosílie imunitného systému. No prostredníctvom kúzla vedy si môžeme prezrieť rozmanitý strom života a zvieratá, ktoré ešte žijú, a študovať ich imunitné systémy. Čím vzdialenejšie sú si na strome života dva tvory so spoločnou črtou imunitného systému, tým staršia musí tá črta byť.

Dôležitá otázka teda znie: v čom sa imunitný systém zvierat líši a aký je jeho spoločný menovateľ? Dnes majú prakticky všetky živé bytosti nejakú formu vnútornej obrany a čím sú zložitejšie, tým zložitejší je aj ich imunitný systém. O jeho veku sa môžeme veľa naučiť porovnaním obranyschopnosti veľmi vzdialene príbuzných zvierat.

Dokonca aj najmenšie baktérie sa vedú brániť pred vírusmi a nemožno ich premôcť bez boja. Pri hubkách, najjednoduchších a najstarších živočíchoch,

* Hoci je vtipné, že to mohlo byť vlastne dôsledkom toho, že jednobunkové organizmy boli k sebe protivné. V istom bode totiž jedna bunka prehltila druhú, no nezožrala ju. Namiesto toho vzniklo z toho azda najúspešnejšie partnerstvo na planéte Zem, ktorému sa darí dodnes. „Vnútna bunka“ (ktorú dnes poznáme ako „mitochondriu“) sa špecializovala na vyrábanie energie pre hostiteľa, kým „vonkajšia bunka“ poskytovala ochranu a bezplatné jedlo. Toto spojenectvo fungovalo veľmi dobre a novej skvelej bunke umožnilo byť čoraz zložitejšou a rafinovanejšou.

starých viac než pol miliardy rokov, prebieha pravdepodobne prvá primitívna imunitná odpoveď zvierat. Nazýva sa *humorálna imunita*. „Humor“ je v tomto kontexte staroveký grécky výraz pre „telesné šťavy“. Humorálna imunita je teda veľmi malá záležitosť, pozostáva z proteínov a plaví sa telesnými tekutinami mimo buniek zvierat. Tieto proteíny napádajú a zabíjajú mikroorganizmy, ktoré tam nemajú čo robiť. Tento typ obrany bol taký úspešný a užitočný, že ho majú v podstate všetky dnešné živočíchy vrátane vás. Evolúcia tento systém teda nevyradila, ale urobila z neho kľúčový prvok každej imunitnej obrany. V princípe sa nezmenil pol miliardy rokov.

To bol však len začiatok. Mnohobunkový živočích má tú výhodu, že je schopný využívať veľa rozličných špecializovaných buniek. Zvieratám teda pravdepodobne netrvalo v zmysle evolúcie prídlho, kým si vytvorili bunky, ktoré sa špecializovali práve na obranu. Táto nová bunkami sprostredkovaná imunita bola úspechom od samého začiatku. Dokonca aj v červoch a hmyze nachádzame špecializované vojenské imunitné bunky, ktoré sa voľne pohybujú po drobných telách zvieratiek a dokážu čeliť votrelcom. Čím vyššie sa šplháme po evolučnom rebríku, tým rafinovanejší je imunitný systém. No už na úplne prvej vetve stavovcov na strome života vidno veľké inovácie: prvé špecializované imunitné orgány a bunkové výcvikové centrá spolu s jedným z najmocnejších princípov imunity, ktorým je schopnosť rozoznávať špecifických nepriateľov, rýchlo produkovať množstvo špecializovaných zbraní na boj proti nim a zapamätať si ich do budúcnosti!

Aj tie najprimitívnejšie stavovce, smiešne vyzerajúce bezčelustnatce, majú k dispozícii tieto mechanizmy. Celé stovky miliónov rokov sa tieto obranné systémy vyvíjali a zdokonaľovali. V skratke však ide o základné princípy, ktoré fungujú tak dobre, že v nejakej forme jestvovali aj pred zhruba pol miliardou rokov. Obranyschopnosť, ktorú máte k dispozícii dnes, je teda vskutku skvelá a vyvinutá, jej základné mechanizmy sú extrémne rozšírené a staré stovky miliónov rokov. Evolúcia nemusela vynachádzať imunitný systém stále nanovo – vymyslela výborný systém a potom ho vylepšila.

A to nás konečne privádza k ľuďstvu. A k vám. Vychutnávate plody stoviek miliónov rokov zdokonaľovania imunitného systému.

Predstavujete vrchol vývoja imunitného systému. Hoci váš imunitný systém v skutočnosti nie je vo vás. *Ste ním vy.* Je vyjadrením biologických procesov vo vašom vnútri, ktoré chráni samo seba a umožňuje vám žiť. Keď teda hovoríme o vašom imunitnom systéme, hovoríme o vás.

No váš imunitný systém tiež nie je len jedna vec. Je zložitým a poprepájaným súborom stoviek základní a náborových centier po celom tele. Spája ich superdiaľnica, sieť ciev podobne rozsiahla a všadeprítomná ako váš kardiovaskulárny systém. Navyše v hrudi máte špecializovaný imunitný orgán veľký ako kuracie krídlo, ktorého účinnosť s pribúdajúcim vekom klesá.

Okrem orgánov a infraštruktúry máte desiatky miliárd imunitných buniek hliadkujúcich buď na spomínaných superdiaľniciach, alebo vo vašom krvnom obehu. Sú pripravené na zavolanie sa popasovať s nepriateľmi. Ďalšie miliardy sedia na stráži v tkanive ohraničujúcom váš vonkajšok, kde čakajú na votrelcov, ktorí sa ho pokúsia prekročiť. Okrem tejto aktívnej obrany máte ďalšie obranné systémy pozostávajúce z kvintiliónov proteínových zbraní, ktoré môžete chápať ako samousporiadané, voľne sa vznášajúce pozemné míny. Váš imunitný systém má tiež špecializované univerzity, kde sa bunky učia, s kým a ako bojovať. Má čosi ako najväčšiu biologickú knižnicu v univerze, schopnú identifikovať a zapamätať si každého možného votrelca, s ktorým sa môžete v živote stretnúť.

V samom jadre je imunitný systém nástrojom na rozlišovanie *cudzieho od vlastného*. Nezáleží na tom, či vám cudzie chce, alebo nechce uškodiť. Ak cudzie nie je na veľmi exkluzívnom zozname hostí, ktorý zaručuje voľný vstup, treba ho napadnúť a zničiť, pretože cudzie vám môže uškodiť. Vo svete imunitného systému nie je „cudzie“ rizikom, ktoré sa oplatí podstúpiť. Inak by bolo po pár dňoch po vás. A ako zistíme neskôr, keď je váš systém nedostatočne alebo priveľmi horlivý, končí sa to smrťou alebo utrpením.

Hoci identifikovanie seba a cudzieho tvorí *jadro* imunitného systému, prísne vzaté to nie je jeho *cieľom*. Jeho najvyšším cieľom je zavedenie a udržiavanie *homeostázy*: rovnováhy medzi všetkými prvkami a bunkami v tele. Nemožno dostatočne zdôrazniť, ako veľmi sa imunitný systém usiluje byť v rovnováhe a ako veľa snahy vkladá do vlastného upokojuvania,

aby nereagoval prehnane. Do mieru, ak chcete. Do stabilného poriadku, ktorý spríjemňuje a uľahčuje život. Do vecí, ktorú nazývame zdravie. Do základu dobrého a slobodného života, v ktorom môžeme robiť, po čom túžime, a nebrzdí nás bolesť ani choroba.

Dôležitosť zdravia je najzreteľnejšia, keď ho niet. Zdravie je v skutočnosti abstraktný koncept, pretože opisuje absenciu čohosi. Absenciu utrpenia a bolesti, absenciu obmedzení. Keď ste zdraví, cítite sa normálne, cítite sa správne. Keď však zdravie hoci aj na krátky čas stratíte, je ťažké zabudnúť, akí ste krehkí a že všetko je len dočasné. Choroba je životnou nevyhnutnosťou. Ak ste mali šťastie, do tejto chvíle ste jej nemuseli čeliť. Ak ste sa s ňou vy alebo niekto z vašich milovaných museli pasovať, potom viete, že pre príjemný život nie je nič podstatnejšie, ako byť zdravý. Pre imunitný systém to znamená homeostázu. Hoci boj o udržanie zdravia je v konečnom dôsledku márný a nakoniec prehratý, stále ho vedíme, aby sme si uchmatli viac rokov, mesiacov, dní a hodín. Pretože v konečnom dôsledku je naozaj dobré byť človekom a stojí za to mať tú možnosť o čosi dlhšie.

Zdravie sa však udržiava ťažko, pretože každý deň prichádzate do styku so stovkami miliónov baktérií a vírusov, ktoré by sa vo vašom tele rady udomácnili, ako sme videli pri jednobunkových organizmoch pred miliardami rokov. Pre mikroorganizmy ste ekosystémom, ktorý čaká na dobytie. Nekonečným kontinentom plným zdrojov, živnej pôdy, príležitostí prosperovať a skutočne pekným domovom. Faktom je, že v istom bode uspejú, pretože po smrti rozklad vášho tela nesmierne urýchli armáda vyšinutých mikróbov, ktoré už nebude brzdiť vaša obranyschopnosť.

Znepokojovať vás navyše musí nielen plejáda života, ktorý sa usiluje dostať dnu, ale aj vlastné pomýlené ja, ktoré môže odstúpiť od spoločenskej zmluvy s telom: rakovina. Jednou z najdôležitejších úloh imunitného systému je zabezpečiť, aby sa tak nestalo. Kým dočítate zopár posledných strán, niekde vo vašom vnútri imunitné bunky potichu eliminujú mladú rakovinovú bunku.

No tá časť, ktorá vás má ochraňovať, sa môže aj pomýliť a narušiť. Pomýlený imunitný systém môže pomáhať chorobám v šírení alebo chrániť rakovinové bunky pred odhalením. Alebo ak je systém rozladený či chybný,

môže ostať zmätený a rozhodnúť sa, že nepriateľom je samotné telo. Môže sa nazdávať, že *vlastné* je *cudzie*, a doslova začať napádať bunky, ktoré má ochraňovať. To má za následok mnohé autoimúnne ochorenia, ktoré si vyžadujú neustále utišovanie liekmi, občas s nepríjemnými vedľajšími účinkami.

Alebo si vezmite také alergie, ktoré sú veľmi intenzívnou reakciou imunitného systému na veci, ktoré by ho nemali trápiť. Anafylaktický šok je pozoruhodný dôkaz toho, aká skutočne mocná je vaša obranyschopnosť a ako veľmi sa môže pomýliť: choroba vás dokáže zabiť za niekoľko dní – imunitný systém to stihne za niekoľko minút.

Och, a dokonca ak váš imunitný systém aj pracuje správne, môže byť rovnako bremenom ako pomocníkom. Mnohé nepríjemné príznaky chorôb vznikajú v dôsledku toho, že si váš aktivovaný imunitný systém plní úlohu – u niektorých chorôb zapríčiňuje najväčšie poškodenie či dokonca smrť jeho vyšinutá reakcia. Napríklad veľa úmrtí na COVID-19 spôsobuje práve priveľká horlivosť imunitného systému.

Vedľajšie škody spôsobené vašimi obrannými systémami sa časom nahromadia a dnes sa verí, že mnohé smrteľné choroby majú pôvod v správne pracujúcom imunitnom systéme. Pre zdravie je teda dôležitý nielen rýchly a brutálny imunitný systém, ale aj to, aby sa držal na uzde a nestal sa vyšinutým a deštruktívnym. Keď človek musí ísť do vojny, chce, aby bolo aspoň rýchlo po boji a skončil sa jasným víťazstvom. Netúži po desaťročiach okupácie či konfliktu, ktorý vyčerpá všetky zdroje a zničí infraštruktúru.

Na pleciah vášho imunitného systému teda spočíva enormná zodpovednosť za to, aby ste sa mali dobre čo možno najdlhšie. Hoci bitku napokon určite prehráte, dnes, práve teraz vám záleží na tom, aby sa viedol dobrý a zodpovedný boj.

Aby som to zhrnul, základom je rozlišovať medzi vlastným a cudzím, cieľom je homeostáza a zrejme jestvuje nekonečne veľa spôsobov, ako sa môže všetko pokaziť.

Imunitný systém je taký fascinujúci, pretože celú túto zložitú prácu musia vykonať časti, ktoré sú bezduché a jednotlivo dosť hlúpe. Napriek tomu sa dokážu koordinovať a reagovať na dynamické a rýchlo sa vyvíja-

júce situácie. Predstavte si, že sa odohráva druhá svetová vojna, no desaťnásobne väčšia a bez generálov. Len bezduchí imunitní vojaci na bojisku, usilujúci sa prísť na to, či potrebujú tanky alebo stíhačky a kam majú ísť. A všetko sa odohrá za niekoľko dní. Tak vyzerá bitka aj s bežným prechladnutím.

Podme teda prebádať imunitný systém, aby ste nabudúce v sprche otrávení z príznakov prechladnutia dokázali aspoň na chvíľu oceniť, čo sa deje vo vašom vnútri, kým opäť budete mrzutí.

2. Čo treba obbraňovať?

PRV AKO SA SKUTOČNE PONORÍME DO TAJOV VÁŠHO ZLOŽITÉHO obranného systému, mali by sme sa pozrieť na to, čo treba obbraňovať: vaše telo. V istom zmysle sa to javí celkom jasné – je to celá oblasť pod kožou vrátane nej. Úplne jednoduché, nie? No ani pri pohľade na vzdialenú planétu vo vesmíre o nej nezískate ani zďaleka takú dobrú predstavu ako na základe fotografie z jej obežnej dráhy.

Takže prv ako urobíme čokoľvek iné, musíme sa najskôr spolu vydať na cestu do zvláštneho a neznámeho sveta, neznámejšieho ako hlboké more či cudzia planéta. Sveta, v ktorom žiadna živá bytosť ani nevie o jeho existencii, kde sú monštrá každodennou realitou, no nikomu to neprekáža. Sveta, ktorý je starý miliardy rokov, jestvuje vo vás, v každom a vo všetkom, všade okolo nás, všadeprítomný, no neviditeľný. Je to svet malých bytostí, kde sa stiera hranica medzi živými a mŕtvymi. Kde sa biochemické látky stávajú životom z dôvodov, ktoré ešte stále nepoznáme. Pozrime sa na vás zbližša – do vašich orgánov, cez tkanivá, na základné stavebné kamene, vaše bunky.

Bunky sú mimoriadne maličké živé veci, patria k najmenším jednotkám života na zemi. Pre bunku je vaše telo planétou vznášajúcou sa v nepriateľskom vesmíre. Aby sme pochopili enormné rozmery vášho tela, musíme sa naň pozrieť z pohľadu bunky. Pre ňu je vaše telo absolútne gigantickou konštrukciou potrubí širokých ako hory, naplnených oceánmi tekutín, s rýchlymi prúdmi prenikajúcimi jaskynnými systémami tiahnucimi sa cez celé krajiny. S výnimkou kryštalizovaných a tvrdých kostí je pre bunku skutočne celé prostredie, celý svet živý. Bunka môže slušne požiadať stenu, aby ju nechala prejsť, a následne sa pretlačiť cez maličkú škáru, ktorá sa

za ňou zavrie. Môže plávať cez kanály a šplhať sa po kopcoch z mäsa a dostať sa, kamkoľvek potrebuje.

Keby bola jedna bunka veľká ako vy, celé ľudské telo by bolo ako pätnásť až dvadsať Mount Everestov naskladaných na sebe. Bolo by mäsovou horou vysokou najmenej sto kilometrov, týčiacou sa až do vesmíru. Ak ste pri okne, pozrite sa na chvíľu na oblohu. Skúste si predstaviť obra takého veľkého, že by mu osobné lietadlá narážali do predkolení, s hlavou tak vysoko, že by ste na ňu ani nedovideli.

Bunky imunitného systému majú za úlohu obbraňovať *to* všetko. Predovšetkým slabé miesta, cez ktoré môžu vstupovať votrelci, teda najmä hrnice, telesný *vonkajšok*. Keď premýšľate o svojom *vonkajšku*, ako prvá vám zide na um koža. Celkový povrch vašej pokožky je okolo dvoch štvorcových metrov (zhruba polovica biliardového stola) a našťastie ju nie je také ťažké obrániť. Väčšina z nej je totiž tvorená tvrdou a hrubou bariérou pokrytou vlastným obranným systémom. Na dotyk je mäkká, no ak je neporušená, prelomiť ju je poriadne ťažké.

Skutočne slabé miesta, náchylné na infekcie sú vaše sliznice, ktoré tvoria výstelku dýchacej trubice a pľúc, očných viečok, úst a nosa, žalúdka a čriev, reprodukčného traktu a močového mechúra. Ťažko odhadnúť ich celkový povrch, pretože čísla sa od jedného človeka k druhému líšia, u zdravého jedinca však ide v priemere o zhruba dvesto metrov štvorcových slizníc (asi toľko ako tenisový kurt), z ktorých väčšina sa nachádza v pľúcach a tráviacom trakte.

Sliznice môžete mylne považovať za svoje vnútornosti. To však nie je pravda – sú vašim vonkajškom. Pri úprimnom pohľade na seba by ste zistili, že vlastne ste len zložitá trubica. Povedzme, že trubica, ktorú možno na oboch koncoch uzavrieť. Tiež oveľa vlhkejšia, slizkejšia, nechutnejšia.

Vaše reprodukčné orgány, nozdry a uši sú osobitnými otvormi – vchodmi do veľkých tunelov a dodatočných jaskynných systémov, ktoré sa rozprestierajú vo vašom vnútri. Všetky tieto miesta sú vaše priame hranice, kontaktné body s vonkajším svetom. Vaše telo je okolo nich len omotané. Tieto vonkajšky vo vašom vnútri sú miestami, cez ktoré sa denne usilujú prenik-

Vaše telo je trubica.



Vchod

Východ

núť milióny votrelcov. To je dosť veľké územie na obbraňovanie, keď máte veľkosť bunky. Pre vaše bunky je povrch slizníc rozľahlý ako pre vás stredná Európa alebo centrálna oblasť Spojených štátov amerických. Vybudovanie hraničných múrov by ich problém nevyriešilo, pretože nemusia obbraňovať len hranice, ale celý povrch! Votrelci sa neusilujú vniknúť len na okrajoch. Mohli by zoskočiť dnu padákmi. Bunky teda musia obbraňovať celý kontinent. Úplne všetko.

Stále je však oveľa jednoduchšie lapiť nepriateľa na jednom z týchto bodov než kdekoľvek inde – napríklad, keby sme do radu poukladali všetky vaše krvné cievy a kapiláry, merali by neuveriteľných 120 000 kilometrov – trojnásobne viac než obvod Zeme – a pokryli by plochu s veľkosťou zhruba 1 200 štvorcových metrov. Radšej teda dostať nepriateľov na hraniciach, ktoré sú významne menšie, a tým aj ľahšie obrániteľné. Ľahšie však neznamená ľahko.

Pustime sa do zábavného experimentu a predstavme si, že by sme chceli vybudovať ľudské telo v mierke 1 bunka : 1 človek, ako ste vy. Postaviť ho zo živých, dýchajúcich ľudí, len aby sme videli, o akých šialených rozmeroch je tu reč. Priemerné ľudské telo sa skladá zo štyridsiatich biliónov buniek. Biliónov! Štyridsať biliónov je 40 000 000 000 000. Skutočne pozoruhodné číslo. Ak chceme, aby vaše bunky predstavovali jednotlivci, potom potrebujeme vyše stonásobne viac ľudí, ako žilo na zemi za 250-tisícročnú históriu ľudstva. Skúsme si to trochu vizualizovať. Práve teraz žije na zemi okolo 7,8 miliardy ľudí. Keby sme ich postavili bok po boku, prekvapivo by pokryli len územie veľké zhruba 1 800 kilometrov štvorcových. Čo je len o trochu viac ako plocha Londýna. Aby sme dostali štyridsať biliónov ľudí, musíme to vynásobiť stodvadsiatimi.*

* A toto je len polovica príbehu, pretože vaše telo hostí baktérie, ktoré potrebujete na prežitie. Koľko? Jednu na každú zo štyridsiatich biliónov buniek vo vašom tele (zabrali by celkom slušné bejzbalové ihrisko; keby ste mali veľkosť priemernej telovej bunky, baktéria by bola veľká zhruba ako králik). Predstavme si ich ako malé králičky, aby to bolo menej hrôzostrašné. Väčšina z týchto rozkošných králičkov vám žije v črevách. V tejto obrovskej jaskyni si ich nažíva 36 biliónov. Neustále umierajú a reprodujú sa, rozkladajú kusy jedla veľké ako mra-kodrapy, aby mohlo byť rozdelené medzi všetkých ľudí, ktorí tvoria kontinent mäsa. Ďalšie

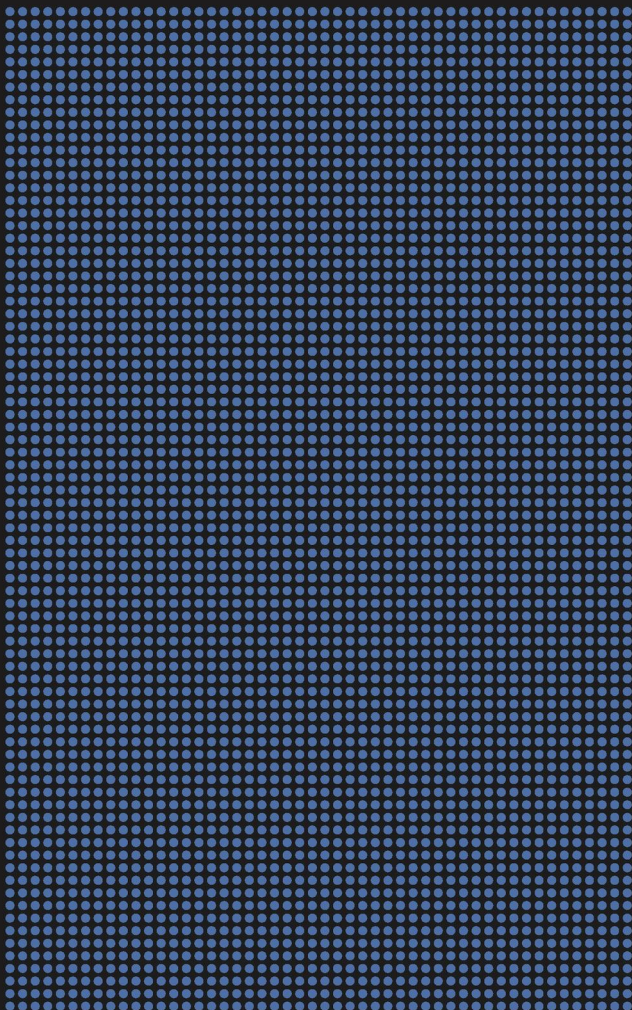
Všetci žijí ľudia

~ 7,8 miliardy



Bunky vo vašom tele

~ 40 biliónov



● = 10 miliárd

Dobre. Teda máme štyridsať biliónov ľudí stojacich bok po boku. Toto more ľudí by pokrylo celé územie Spojeného kráľovstva, do posledného zákutia, jazera a kopca. Aby sme vytvorili telo v mierke 1 : 1 z ľudí zastupujúcich bunky, museli by sme ich vrstviť na seba, až kým by bilióny ľudí stáli na sebe ako živá stavba, držiac sa za ruky a pod pazuchami. Obor z mäsa by sa týčil sto kilometrov do neba, až po okraj vesmíru. Pozostával by z jaskýň širokých ako malé krajiny, jeho kosti by boli hutné a široké ako hory, plné zložitých jaskýň a tunelov. V jeho tepnách by prúdili oceány tekutiny a ľudia nesúci potravu a kyslíkové bomby do všetkých jeho zákutí. Keby ste boli červená krvinka alebo v tomto prípade „červená krvná osoba“, museli by ste raz za minútu putovať z Paríža do Ríma a naspäť po rieke, ktorú by poháňalo srdce veľké ako mesto. Všetko by mohlo byť skvelé. Všetci by spolupracovali, aby udržali nažive horu z mäsa a, v konečnom dôsledku, aj samých seba.

No enormné bohatstvo zdrojov a potravy a hojnosť vlhkého a teplého priestoru sú jednoducho priveľmi lákavé. Obor je veľký ako kontinent nelen pre svojich obyvateľov, ale aj pre nepozvaných hostí. Doslova miliardy parazitov sa usilujú dostať dovnútra mäsového obra. Niektoré sú veľké ako slony či modré veľryby a chcú v ňom naklásať obrovské vajíčka, aby ich mláďatá mohli hodovať na úbohých ľuďoch tvoriacich tkanivá. Iné sú veľkosti medvedíkov čistotných či potkanov, chcú tam kraďnúť potravu a urobiť si z obra stály domov, kde by vychovali ďalšie generácie potomstva. Možno ľuďom tvoriacim telo nechcú uškodiť, no škodia im, lebo sa kade-tade vyprázdňujú a otravujú im život. Najnechutnejšou hávedou, s ktorou sa musí náš mäsový obor denne potýkať, sú miliardy pavúkov, ktoré chcú vliezť do úst či nosov bunkových ľudí a rozmnožovať sa v ich žalúdkoch. Pre obra tvoreného biliónmi ľudí nie je strata niekoľkých tu a tam nič nebezpečné.

štyri bilióny králičkov vám lozia po koži a vo vnútri pľúc, poskakujú vám po zuboch a jazyku, plávajú v tekutine vašich očí a vliezajú a vyliezajú vám z uší. Neskôr si o nich pohovoríme viac, nateraz si len predstavte, že ste pokrytí rozkošnými králičkami, ktorí sú vašimi priateľmi a chcú vám len to najlepšie.