STŘEVNÍ MIKROBIOM

Jak střevní bakterie ovlivňují vaše zdraví,
mysl a délku vašeho života

RADIM KAUFMANN
A
BERNHARD MANN

PRVNÍ VYDÁNÍ
PRAHA · 2026

STŘEVNÍ MIKROBIOM

Jak střevní bakterie ovlivňují vaše zdraví, mysl a délku vašeho života

PRVNÍ VYDÁNÍ

První elektronické vydání publikováno v roce 2026 Radimem Kaufmannem, Praha.

Copyright © 2026 Radim Kaufmann a Bernhard Mann.

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této knihy nesmí být reprodukována, ukládána do vyhledávacích systémů nebo přenášena v jakékoli formě či jakýmkoli způsobem — elektronicky, mechanicky, fotokopírováním, záznamem nebo jinak — bez předchozího písemného souhlasu vydavatele, s výjimkou krátkých citací použitých v kritických článcích a recenzích.

Žádosti o povolení a dotazy zasílejte autorovi na *www.radimkaufmann.com*.

O autorech. Autoři jsou nezávislí spisovatelé a analytici vědeckých informací. Nejsou lékaři, dietologové ani licencovaní zdravotničtí pracovníci. Tato kniha je syntézou publikované vědecké literatury, recenzovaného výzkumu, historického kontextu a analytické interpretace určené pro vzdělávací účely. Není lékařskou radou.

Vydáno nezávisle. Návrh obálky a vnitřního uspořádání: autoři.

WWW.RADIMKAUFMANN.COM

VĚNOVÁNÍ

Našim rodinám, které nás naučily, že zdraví
se utváří u stolu.
A čtenářům, jejichž otázky se
v průběhu let postupně staly touto knihou.

SLOVO AUTORŮ

Několik slov o tom, jak je tato kniha uspořádána a jaké konvence jsme přijali napříč jejími pětadvaceti kapitolami.

Tato kniha je dílem syntézy. My dva — píšící mezi Prahou a Vídní — spojujeme nezávislý výzkum, rešerši vědecké literatury a dlouholetý zájem o biologii mikrobiomu. Nejsme lékaři ani licencovaní zdravotničtí pracovníci; jsme spisovatelé a analytici vědeckých informací. To, co následuje, je naše čtení toho, co současná literatura o lidském mikrobiomu skutečně prokázala.

Hlavní vyprávění každé kapitoly je společným dílem obou autorů. Posílali jsme si je vzájemně napříč roky 2025 a 2026, dokud nebyla věda, historické scény i praktické důsledky zpracovány s péčí, kterou si téma zaslouží. Výsledkem je jednotný integrovaný hlas. Na konci každé kapitoly však jeden z nás vystoupí do popředí v krátké sekci *Slovo autora*, která se napříč knihou střídá a vždy je opatřena podpisem.

Kniha je rozdělena do pěti částí: základy mikrobiomu; tělo v dysbióze; co moderní civilizace udělala lidskému mikrobiálnímu ekosystému; věda dlouhověkosti a současná terapie; a praktická syntéza, jak obnovit odolný ekosystém v průběhu dospělého života.

Slovo o důkazech. Tam, kde jsou silné, je jazyk přímý. Tam, kde jsou náznakové, ale neusazené, jazyk tuto nejistotu odráží. Tam, kde jsou skutečně sporné, to říkáme. Každá kapitola končí číslovanými poznámkami dokumentujícími hlavní vědecké zdroje.

Nic v této knize není lékařská rada. Čtenáři s konkrétními zdravotními problémy by se měli poradit s kvalifikovaným lékařem dříve, než budou jednat podle čehokoli, co je zde napsáno. Tato kniha není dietní plán, není to wellness manifest a není to marketingový dokument. Je to mapa terénu.

— Radim Kaufmann
— Bernhard Mann
Praha a Vídeň, 2026

OBSAH

Úvod — *Nejste jen jedním organismem*

ČÁST I

Základy

1.Zapomenutý orgán

2.Zrození mikrobiomu

3.Bakterie, které postavily civilizaci

4.Spojení střevo–mozek

5.Druhý imunitní systém

ČÁST II

Tělo v dysbióze

6.Obezita a hladový mikrobiom

7.Diabetes a metabolismus cukru

8.Zánět: Tichý oheň

9.Rakovina a mikrobiální bitevní pole

10.Stárnoucí mikrobiom

ČÁST III

Moderní zásah

11.Smrt diverzity

12.Ultra-zpracované potraviny

13.Antibiotika: Zázrak a katastrofa

14.Stres, spánek a kortizol

15.Alkohol, kouření a moderní návyky

ČÁST IV

Věda o dlouhověkosti

16.Modré zóny

17.Půst a autofagie

18.Probiotika, prebiotika a mýtus

19.Budoucnost personalizované medicíny

20.Transplantace a budoucnost terapie

ČÁST V

Obnovení lidského ekosystému

21.Co bychom měli jíst

22.Pohyb a živé tělo

23.Děti a další generace

24.Můžeme zvrátit poškození?

25.Budoucí člověk

Závěr — *Ekosystém uvnitř*

PŘÍLOHA A · HLAVNÍ DRUHY MIKROBIOMU

PŘÍLOHA B · SLOVNÍČEK

PŘÍLOHA C · DIETNÍ VZORCE

PŘÍLOHA D · ČASOVÁ OSA OBJEVŮ

PŘÍLOHA E · DOPORUČENÁ ČETBA

PŘÍLOHA F · ATLAS DRUHŮ MIKROBIOMU

BIBLIOGRAFIE · KONCOVÉ POZNÁMKY

O AUTORECH · PODĚKOVÁNÍ · REJSTŘÍK

ÚVOD

Nejste jen jedním organismem

Většinu lidských dějin jsme věřili, že lidské tělo patří zcela nám. Naše myšlenky byly naše. Náš hlad byl náš. Naše nemoci byly naše. Naše emoce byly naše. Naše přežití záviselo na síle našich orgánů, na kvalitě naší krve a na odolnosti naší mysli.

Moderní medicína zmapovala srdce. Zmapovala plíce. Zmapovala mozek. Do konce dvacátého století zmapovala dokonce i lidský genom.[1] A přesto po téměř celou tuto dobu zůstával jeden z nejdůležitějších systémů lidského těla téměř zcela neviditelný.

Uvnitř každého člověka žije obrovský ekosystém bakterií, archeí, hub, virů a mikroskopických organismů, souhrnně nazývaný *mikrobiom*. Většina z nich žije v zažívacím traktu — zejména v tlustém střevě — kde desítky bilionů mikrobiálních buněk neustále interagují s imunitním systémem, metabolismem, hormony, zánětem a dokonce i mozkem.[2]

Tyto organismy nejsou náhodní pasažéři. Pomáhají trávit potravu. Vyrábějí vitamíny. Regulují zánět. Formují imunitní odpovědi. Ovlivňují citlivost na inzulin. Působí na tělesnou hmotnost. Komunikují chemicky s nervovým systémem. Mohou ovlivňovat náladu, stres, úzkost a kognitivní úpadek. Někteří vědci nyní věří, že mohou dokonce ovlivňovat rychlost, jakou lidské bytosti stárnou.

Z čistě číselného hlediska je lidské tělo méně individuální, než jsme si kdysi představovali. Zdravý dospělý člověk nese zhruba stejný počet bakteriálních buněk jako vlastních buněk — po léta se udával poměr deset bakterií na každou naši buňku, ale pečlivé přepočítání z roku 2016 z laboratoře Rona Mila na Weizmannově

institutu poměr revidovalo směrem dolů na něco blížící se jedna ku jedné.[3] Bakteriální *geny* ve střevě však stále převyšují lidské geny mimořádným okrajem: zhruba 150-krát.[4] Ekosystém uvnitř těla se chová méně jako jednoduchá infekce, kterou je třeba odstranit, a více jako deštný prales, oceán nebo planetární biosféra, jejíž rovnováha rozhoduje o tom, zda hostitel může přežít.

Nejste jediným organismem. Jste ekosystém.

Toto poznání tiše proměňuje moderní medicínu.

Více než století pohlížela medicína na bakterie především jako na nepřátele. Velká vítězství medicíny dvacátého století — antibiotika, sterilizace, vakcíny, moderní chirurgie — vyrostla z lidské války proti infekčním nemocem. Miliony životů byly zachráněny. Celé civilizace se staly bezpečnějšími.

Avšak při vítězství této války moderní civilizace možná také poškodila část biologického systému, který udržoval lidské bytosti zdravé po stovky tisíc let. Průmyslová výživa změnila mikrobiální diverzitu. Městská hygiena změnila vystavení prostředí. Antibiotika narušila prastaré ekosystémy uvnitř střeva. Moderní stres přetvořil hormonální biologii. Spánková deprivace, ultra-zpracované potraviny, alkohol, kouření, obezita a chronický zánět začaly s mikrobiomem interagovat způsoby, které žádná předchozí lidská generace nezažila.

Současně moderní svět zaznamenal explozivní růst nemocí, které byly kdysi srovnatelně vzácné: obezita, diabetes 2. typu, autoimunitní onemocnění, zánětlivá onemocnění střev, alergie, deprese, metabolický syndrom a neurodegenerativní poruchy. Žádný seriózní vědec nevěří, že mikrobiom sám o sobě vysvětluje všechny tyto stavy. Méně seriózních vědců však nyní věří, že by s nimi nesouvisel.

Mikrobiomová revoluce je stále mladá.

Mnoho tvrzení je přehnaných. Některá jsou komerčně manipulována. Wellness průmysl se často pohybuje rychleji než důkazy. Celé trhy nyní prodávají produkty „pro zdraví střev" postavené na neúplné, příliš zjednodušené nebo v některých případech jednoduše nesprávné vědě.

Tato kniha není argumentem pro pseudovědu. Není detoxikačním manifestem. Není ideologií proti medicíně. Je pokusem porozumět — pečlivě a s patřičnou pokorou — jednomu z nejdůležitějších posunů v moderní biologii.

Obor mikrobiomového výzkumu se nyní nachází na průsečíku medicíny, neurovědy, imunologie, výživy, výzkumu stárnutí, evoluční biologie, metabolismu, umělé inteligence a personalizované medicíny. Důsledky jsou obrovské. Poprvé v dějinách biomedicíny obor začíná přijímat, že lidské zdraví může záviset nejen na lidských buňkách, ale i na rozsáhlém ekologickém systému, který v nich žije.
K tomuto tématu jsme nepřistupovali jako lékaři. Nejsme gastroenterologové. Nejsme mikrobiologové. Nejsme kliničtí výzkumníci.

Naše zázemí pochází z jiného směru: systémy, vzorce, komplexita a pozorování toho, jak křehké struktury v průběhu času selhávají. Čím hlouběji jsme četli o moderním metabolickém onemocnění, zánětu, obezitě, diabetu a stárnutí, tím častěji se pod povrchem objevoval jeden neviditelný vzorec: měnil se sám ekosystém. Bakterie žijící uvnitř moderních lidí už nežily v podmínkách, které formovaly lidskou biologii v evolučním čase. A moderní lidé možná platí cenu.

Tato kniha byla napsána pro obecné čtenáře, ne pro specialisty. Byla však napsána i s hlubokou úctou k vědecké přísnosti. Hlavní vyprávění je záměrně přístupné. Poznámky a bibliografie nikoli. V celé knize čtenář najde odkazy na recenzovaný výzkum, historický vývoj medicíny, sekvenační studie mikrobiomu, klinické studie, epidemiologická pozorování a vznikající hypotézy z hranice vědy o dlouhověkosti.

Některé objevy zde diskutované se později mohou ukázat jako neúplné. Některé se mohou ukázat jako revoluční. Věda se vyvíjí právě proto, že jistota je dočasná.

Ale jeden fakt už nyní vypadá nevyhnutelně: lidské bytosti jsou daleko méně biologicky nezávislé, než jsme si kdysi mysleli.

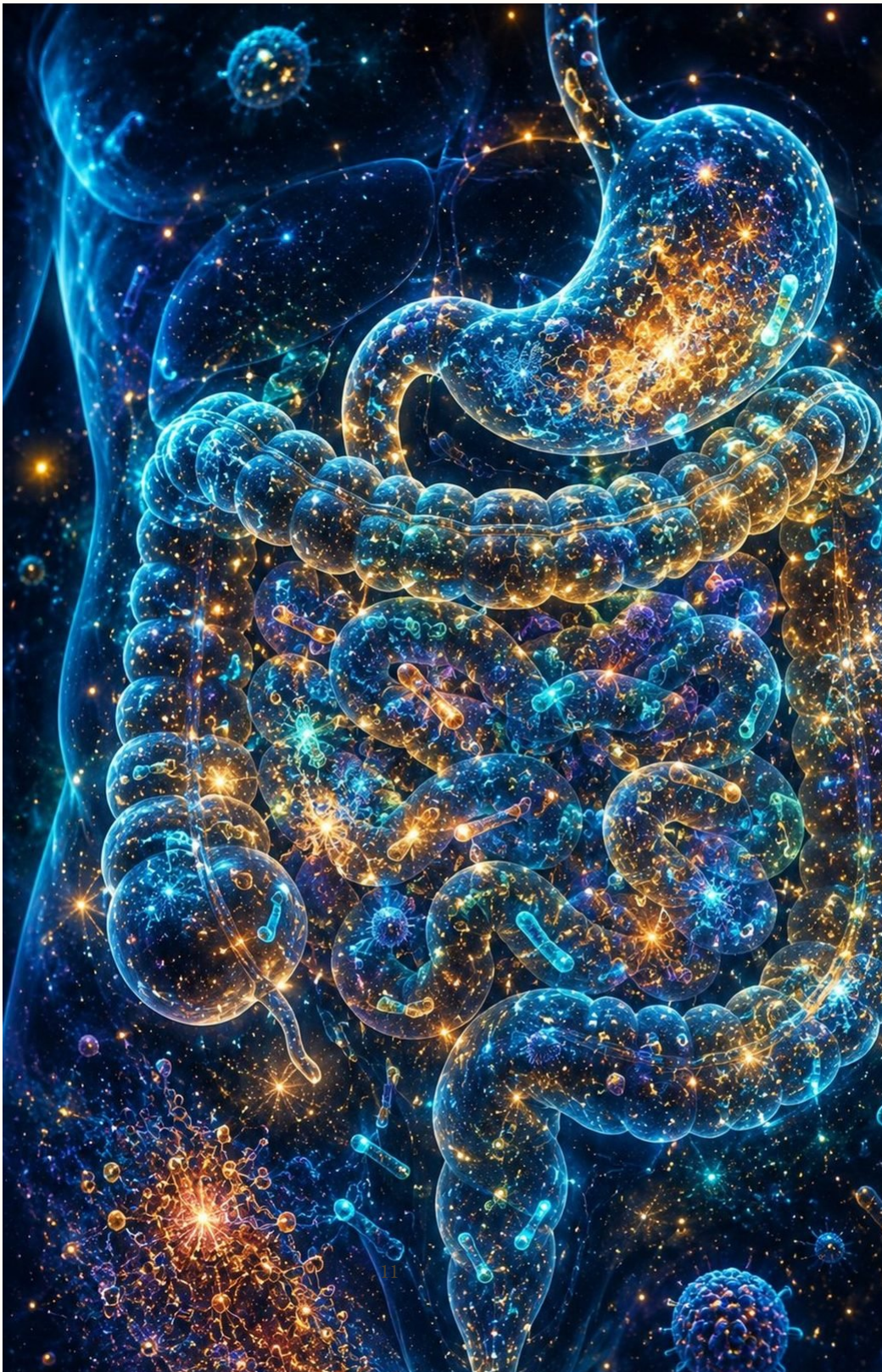
Budoucnost medicíny možná nezačne ve hvězdách, ani v umělé inteligenci, ani v genetice samotné. Možná začne uvnitř neviditelné civilizace, která už v nás žije.

POZNÁMKY

1. Projekt lidského genomu oznámil návrh sekvence v červnu 2000 a publikoval dva téměř kompletní návrhy v únoru 2001 (Lander et al., *Nature*; Venter et al., *Science*). Skutečně „telomera-k-telomeře" bezmezerový lidský genom byl dokončen až v roce 2022 konsorciem T2T. Viz Nurk et al., „The complete sequence of a human genome," *Science* 376 (2022).
2. Pro srozumitelný přehled o mikrobiomu jako systému viz Knight, *Follow Your Gut* (2015), a Yong, *I Contain Multitudes* (2016). Pro odbornější syntézu viz Cho a Blaser, „The human microbiome: at the interface of health and disease," *Nature Reviews Genetics* 13 (2012): 260–270.

3. Sender, Fuchs a Milo, „Revised Estimates for the Number of Human and Bacteria Cells in the Body," *PLOS Biology* 14 (8): e1002533 (2016). Klasická hodnota 10:1 pochází z odhadu Thomase Luckeyho z roku 1972 a byla popularizována Dwaynem Savagem na konci 70. let; práce Milovy laboratoře ukázala, že pečlivé počítání dává poměr blíže 1,3:1, který autoři popisují jako „v podstatě jedna ku jedné."

4. Poměr 150-násobku v počtu genů pochází z přelomové katalogizace souboru lidských střevních mikrobiálních genů konsorciem MetaHIT: Qin et al., „A human gut microbial gene catalogue established by metagenomic sequencing," *Nature* 464 (2010): 59–65. Katalog se od té doby významně rozšířil; viz Almeida et al., *Nature Biotechnology* 39 (2021): 105–114.



KAPITOLA PRVNÍ

Zapomenutý orgán

„Tehdy jsem, jak nejvíce mě udivovalo, v oné hmotě uviděl mnoho velmi malých živých živočíchů, velmi půvabně se pohybujících.“

— Antonie van Leeuwenhoek, dopis Královské společnosti v Londýně, 17. září 1683

V září roku 1683 si v nizozemském městě Delft soukenický mistr sedl ke svému pracovnímu stolu, zvedl ke světlu malý přístroj vlastní konstrukce a otočil zaostřovacím šroubem. Přístroj byl velikosti poštovní známky. Skládal se z jediné broušené skleněné čočky upevněné mezi dvěma tenkými mosaznými destičkami, s drobným otvorem, jímž čočka mohla pozorovat vzorek napíchnutý za ní na jehle. Soukeník, který se jmenoval Antonie van Leeuwenhoek, zhotovil v zadní místnosti svého obchodu více než dvě stě takových zařízení a několik z nich bylo vybroušeno tak jemně, že dokázalo rozlišit objekty menší než dvě tisíciny milimetru. Nikdo jiný v Evropě neviděl to, co viděl on.[1]

Toho rána se Leeuwenhoek rozhodl podívat na bílou hmotu seškrabanou ze svých vlastních zubů. Léta ho zajímala. Všiml si, že se některá rána usazuje rychleji než jiná. Tušil — a měl pravdu —, že je živá.

Přitiskl úlomek tohoto materiálu k jehle, přiblížil čočku k oku a čekal, až se obraz ustálí.

To, co spatřil, později pečlivě popsal v dopise Královské společnosti v Londýně: „malí živočíchové“ — nazval je *animalcules* — plovající ve vodnatých seškrabech jeho úst v ohromných a nemožných počtech. Někteří se pohybovali v pomalých, důstojných obloucích. Jiní „střelili vodou jako štika vodou se prohání“. Třetí druh se točil v napjatých, energických kružnicích. Počty byly nepředstavitelné. S

filozofickým klidem sedmnáctistoletého obchodníka došel k závěru, že „ve špíně na zubech v ústech jednoho člověka žije více živočichů než lidí v celém království“.[2]

Bylo to poprvé, co lidská bytost jasně spatřila bakterii.

Když Královská společnost dopis obdržela, nebyla zcela přesvědčena. Konzultovala vlastní mikroskopisty. Požádala Leeuwenhoeka, aby zaslal kresby. Vyslala pozorovatele do Delftu. Během let korespondence dospěla k přijetí, že Leeuwenhoek říká pravdu: uvnitř lidského těla žijí organismy příliš malé, než aby je bylo možné spatřit pouhým okem, v počtech, jaké si nikdo dříve nepředstavoval.

Pak se po další dvě století téměř nic nestalo.

Stojí za to se nad podivností této skutečnosti pozastavit. Leeuwenhoek identifikoval jev, který dnes chápeme jako jeden z nejdůležitějších biologických systémů na Zemi. Motivovaný pozorovatel s i jen skromnými nástroji by mohl, v principu, jeho práci následující rok zopakovat. A přesto to, čemu dnes říkáme mikrobiologie — systematické studium organismů, které Leeuwenhoek viděl —, mělo být vynalezeno až téměř o dvě stě let později. Lidský mikrobiom jako vážný objekt lékařské pozornosti měl čekat dvakrát tak dlouho.

Proč?

Zčásti proto, že přístroje ještě nebyly dost dobré, aby obor učinily produktivním. Leeuwenhoekovy čočky byly mistrnými díly řemesla, ale on odmítl sdílet své techniky broušení a žádný nástupce po celou generaci jeho rozlišení nedosáhl. Achromatický mikroskop — schopný produkovat barevně korigované obrazy při vysokém zvětšení — přišel až ve 20. letech 19. století.[3] Do té doby byl svět, který Leeuwenhoek popsal, pro téměř všechny pouze zvěstí z doslechu.

Hlubší důvod je však konceptuální. Osmnácté století nemělo žádný rámec pro myšlenku, že zdravé lidské tělo by mohlo být biotopem. Nemoc byla chápána jako nerovnováha — tělesných šťáv, konstituce, životosprávy. Slovo *infekce* v jeho moderním smyslu ještě neexistovalo. Bakterie, pokud byly vůbec uvažovány, byly kuriozitami; jejich vztah k nemoci byl nejasný a jejich vztah ke zdraví prostě nebyl otázkou, jakou se měl člověk ptát.

Když otázka nakonec přišla, v druhé polovině devatenáctého století, přišla jako válka.

VÁLKA PROTI MIKROBŮM

Mezi zhruba lety 1860 a 1900 se hrstce postav — Louisi Pasteurovi ve Francii, Josephu Listerovi ve Skotsku, Robertu Kochovi v Německu — podařilo ustavit to, čemu dnes říkáme *mikrobiální teorii* nemoci. Pasteur posloupností nádherně navržených experimentů na kažení vína a chorobě bource morušového prokázal, že konkrétní mikrobi produkují konkrétní účinky. Lister tento princip přenesl do chirurgie tím, že své operační pole zaléval kyselinou karbolovou a sledoval, jak pooperační úmrtnost prudce klesá. Koch metodicky pracoval na seznamu hlavních zabijáků — antraxu, tuberkulóze, choleře — a ukázal, že za každý z nich je odpovědný konkrétní bacil. Do roku 1884 formalizoval slavné čtyři postuláty, které měly řídit lékařskou mikrobiologii pro další století.[4]

Vítězství bylo tak úplné, tak morálně čisté a tak zasloužené, že utvářelo, jak západní medicína smýšlela o bakteriích po celé dvacáté století. Mikroby způsobovaly nemoc. Eliminace mikrobů nemoci předcházela. Mikrob byl ve výchozím nastavení nepřítelem.

V rámci tohoto pojetí bylo obtížné připustit myšlenku, že zdravý dospělý člověk může nosit ve svém střevě bilióny bakterií — ne jako latentní infekci, ne jako kontaminaci, ale jako konstitutivní součást biologie. Pojetí pro to nemělo místo. Když lékaři na konci devatenáctého století zjistili, že zdravé lidské střevo se hemží mikroby, nejčastější interpretace byla, že tito mikrobi musí škodit. Německý pediatr Theodor Escherich, který v roce 1885 jako první kultivoval to, co bylo později pojmenováno jako *Escherichia coli*, z výkalů zdravých kojenců, pečlivě upozornil, že organismus se paradoxně zdá soužít s jejich robustním dobrým zdravím.[5] Pozorování bylo odloženo. Rámec se nezměnil.

Tento rámec však přinesl jeden z velkých darů dvacátého století. Ve 40. letech 20. století dozrála mikrobiální teorie v antibiotickou medicínu a hlavní zabijáci lidských bytostí — tuberkulóza, zápal plic, sepse, syfilis, plynová sněť — začali ustupovat způsobem, který by dřívější generace považovaly za zázračný. Hygiena, očkování, chlazení a chlorování městské vody přidaly své vlastní obrovské příspěvky. Lidská délka života v průmyslových zemích se v jediné generaci prodloužila o desetiletí.[6]

Téměř nikdo se během tohoto velkého vítězství nezastavil, aby se zamyslel nad tím, co dalšího mohlo být po cestě zabito.

ZAPOMENUTÝ ODPŮRCE

Existovala jedna výjimka a jeho jméno bylo Ilja Mečnikov.

Mečnikov, rusky narozený zoolog, který se nakonec stal zástupcem ředitele Pasteurova institutu v Paříži, strávil 80. léta 19. století objevováním, že bílé krvinky pohlcují vnikající mikroby — základní mechanismus buněčné imunity, za který měl sdílet v roce 1908 Nobelovu cenu za fyziologii nebo medicínu.[7] Ale byla to Mečnikovova druhá kariéra, v prvním desetiletí dvacátého století, která z něj učinila podivného dědečka vědy o mikrobiomu.

Pracující z malé laboratoře v Paříži se Mečnikov stal posedlým otázkou, proč některé lidské populace zřejmě žijí mimořádně dlouhé a zdravé životy. Zvláště ho fascinovali bulharští venkované, kteří údajně produkovali neobvyklý počet stoletých a jejichž strava zahrnovala velké množství kysaného mléka. Mečnikov vyslovil hypotézu, že bakterie kyseliny mléčné v tomto fermentovaném mléce — z nichž jedna, *Lactobacillus bulgaricus*, dodnes nese jméno své země původu — vytlačují „hnilobné“ bakterie v tlustém střevě a snižují to, co nazýval *střevní autointoxikací*. Teorie autointoxikace byla v detailech mylná. Avšak základní intuice — že bakterie v lidském střevě mohou dělat něco důležitého a že to, co dělají, může být modifikovatelné dietou — byla bezmála sto let před svou dobou.

Mečnikov svůj argument vyložil ve své knize z roku 1907 *The Prolongation of Life: Optimistic Studies* (Prodloužení života: optimistické studie).[8] Pil fermentované mléko každý den. Doporučoval je svým přátelům. Zemřel v roce 1916, v jedenasedmdesáti letech, na srdeční selhání, aniž by zcela přesvědčil mainstreamovou medicínu, že je na stopě něčemu podstatnému. Po větší část dvacátého století byl pamatován jako muž, který objevil fagocytózu. Druhá polovina jeho životního díla byla považována za výstřednost stárnoucího génia.

Stojí za to zaznamenat, že Mečnikov v hrubém nárysu a s jedinou dietní intervencí předvídal mnohé z toho, co posledních dvacet let mikrobiomového výzkumu začalo stavět na seriózní empirický základ: že střevní mikrobiota záleží pro systémové zdraví; že je ovlivňována jídlem, které jíme; že intervence v časném nebo

středním věku mohou ovlivnit trajektorii stárnutí; a že mohou být zapojeny v nízkostupňovém zánětu, imunitní rovnováze a dlouhověkosti. Měl pravdu ve směru. Mýlil se o sto let v načasování.

PROČ JSME NEMOHLI VIDĚT DEŠTNÝ PRALES

I po Mečnikovovi zůstávalo střevo pro medicínu trubicí. Učebnicová funkce tlustého střeva byla absorpce vody z nestrávených zbytků jídla a uchovávání odpadu před vyloučením. Bakterie, pokud byly vůbec zmíněny, byly považovány buď za hygienický problém, nebo za neškodné komensály nezasluhující žádnou zvláštní studii.

Intelektuální váhání mělo technického spojence. Bakterie lidského tlustého střeva jsou v jazyce mikrobiologie *obligátní anaeroby* — tedy většina z nich rychle umírá při vystavení atmosférickému kyslíku. Nemohou být pěstovány na standardních agarových kultivačních deskách, které mikrobiologové používají k počítání jiných bakterií. Mnohé z nich nelze pěstovat mimo střevo vůbec. Až do konce dvacátého století bylo nejrozmanitější a nejhojnější mikrobiální společenství na Zemi v praktickém smyslu neviditelné pro laboratorní vědu.[9]

Bakterii, která nemůže být pěstována, nelze studovat. Nelze ji pojmenovat. Nelze ji klasifikovat. Nelze ji s jakoukoli jistotou počítat. Mikrobiologové pracující asi před rokem 1990 odhadovali na základě plotinové kultivace, že lidské střevo obsahuje snad několik stovek druhů bakterií. Skutečné číslo, když se stalo měřitelným, ukázalo být více než tisíc — a rozdíl nebyl upřesněním. Byl řádově odlišný.[10]

JAK VIDĚT TO, CO NEMŮŽEME VYPĚSTOVAT

Jediným technickým pokrokem, který otevřel střevo vědeckému pohledu, byla aplikace sekvenování DNA na markerový gen zvaný *16S ribosomální RNA*. Tento gen, přítomný v každé bakterii a archeě, obsahuje oblasti, které jsou téměř identické napříč bakteriálním světem, a oblasti, které se mezi druhy mění vysoce informativním způsobem. Extrakcí veškeré DNA ze vzorku stolice, amplifikací genu 16S a sekvenováním variabilních oblastí může výzkumník vytvořit sčítání toho, kteří mikrobi jsou přítomni a v jakých přibližných proporcích — aniž by kdy vypěstoval jediný organismus. Metoda, zdokonalená v 80. letech americkým mikrobiologem Carlem Woesem a aplikovaná na lidské střevo Paulem Eckburgem, Davidem Relmanem a kolegy v roce 2005, je základem téměř všeho, co v této knize následuje.[11]

SLOVO PŘICHÁZÍ

Slovo *mikrobiom* vstoupilo do vědeckého slovníku v roce 2001, v eseji nositele Nobelovy ceny Joshua Lederberga a jeho spolupracovnice Alexy T. McCrayové, kteří navrhli termín k popisu „ekologického společenství komensálních, symbiotických a patogenních mikroorganismů, které doslova sdílejí náš tělesný prostor“.[12] Slovo bylo nové, ale pojem, který jím Lederberg myslel, byl — konečně — starý. Popisoval systém, který Leeuwenhoek o tři sta osmnáct let dříve zahlédl ve seškrabech ze svých zubů.

Následovalo mimořádné desetiletí vědeckého dohánění. V roce 2007 zahájily americké Národní instituty zdraví projekt Human Microbiome Project, záměrné sekvenační úsilí modelované, jak metodologicky, tak rétoricky, podle projektu Human Genome Project, který byl dokončen dříve v desetiletí.[13] Paralelní evropské konsorcium MetaHIT sekvenovalo střevní mikrobiomy 124 evropských dospělých a v roce 2010 publikovalo katalog 3,3 milionu odlišných mikrobiálních genů — zhruba stopadesátkrát více, než je počet genů v samotném lidském genomu.[14] Do roku 2012 HMP vyprodukoval referenční soubor charakterizující bakteriální společenství osmnácti tělesných míst u 242 zdravých amerických dospělých.[15] Do

roku 2021 integrovaný katalog sestavený z téměř 290 000 mikrobiálních genomů posunul počet identifikovaných bakteriálních druhů v lidském střevě přes 4 000.[16]

Čísla se budou stále posouvat. Nejde o ně. Jde o změnu rámce, kterou umožnila.

Poprvé v dějinách medicíny se stalo rozumným ptát se, co celé mikrobiální společenství *dělá*, namísto toho, co dělal jediný izolovaný organismus na Petriho misce. Tento posun zní skromně. V praxi byl rozdílem mezi popsáním lesa vyjmenováním stromů, které člověk osobně potkal na vyčištěné mýtině, a popsáním lesa zmapováním každého druhu v něm, včetně těch, které žijí jen v hlubokém stínu.

ORGÁN, V JAKÉKOLI ROZUMNÉ DEFINICI

Do druhého desetiletí dvacátého prvního století začali výzkumníci, napůl vážně a pak stále vážněji, označovat střevní mikrobiom jako „zapomenutý orgán" lidského těla.[17] Toto slovní spojení má jistou rétorickou pohodlnost, ale zaslouží si víc než rétorické použití. Argument za ním stojí za to brát vážně, protože pokud je správný, mění to, jak by měla být medicína praktikována po zbytek našich životů.

Orgán je v konvenčním smyslu strukturou buněk organizovanou k vykonávání identifikovatelných funkcí pro tělo jako celek. Podle této definice se střevní mikrobiom kvalifikuje. Provádí trávení komplexních sacharidů, které lidský enzymatický aparát sám nemůže rozložit. Syntetizuje vitamíny — včetně většiny komplexu B a podstatné části využitelného vitamínu K. Produkuje krátkořetězcové mastné kyseliny, které buňky tlustého střeva používají jako svůj primární zdroj energie. Udržuje integritu střevní sliznice. Kalibruje zrání imunitního systému od dětství po stáří. Komunikuje prostřednictvím metabolitů, hormonů a bloudivého nervu s mozkem. Ovlivňuje vstřebávání a metabolismus léčiv. Interaguje s cirkadiánními rytmy, se stresovými odpověďmi a s regulací tělesné hmotnosti.[18]

Toto nejsou spekulativní vlastnosti. Jsou to zdokumentované fungování systému, který — pokud by byl složen z lidských buněk — by byl zobrazen v každé lékařské učebnici a přednášen po dva semestry v každé lékařské fakultě v zemi. Důvod, proč není takto zobrazen, je zčásti historická setrvačnost a zčásti zvláštnost popsání orgánu, který není složen z lidské tkáně, který se mezi jedinci liší více než kterýkoli lidský orgán, a který může být během několika hodin přetvořen jediným jídlem.

Je to také orgán, který může být poškozen.

To je obava, která oživuje mnohé z toho, co v této knize následuje. Pokud je střevní mikrobiom v jakémkoli smysluplném významu orgánem — orgánem, který se s lidským hostitelem koexistoval po stovky tisíc let a který vykonává funkce, pro něž hostitel nemá vnitřní náhradu —, pak prudké změny posledního století v lidské stravě, v lidské medikaci, v lidských porodních praktikách, v lidském vystavení půdě a zvířatům a v chemickém složení prostředí nejsou drobnými fakty životního stylu. Jsou stresy na systém. Něco z toho, co se vynořilo v moderní medicíně — nárůst autoimunitních onemocnění, epidemie obezity, vzestup chronického zánětu, zdvojnásobení a opětovné zdvojnásobení metabolického syndromu —, může být následkem těchto stresů, a to způsoby, které dokonce naše nejlepší klinické nástroje teprve začínají odhalovat.

Nebo to tak možná není. Věda zatím není uzavřena. Ale je nyní dostatečně seriózní, aby žádný poctivý popis lidského zdraví ji nemohl vynechat.

Ve zbytku této knihy projdeme hlavními nálezy, kontroverzemi a otevřenými otázkami oboru. Podíváme se na to, co je známo o tom, jak se mikrobiom utváří v kojeneckém věku a jak stárne napříč lidským životem. Podíváme se na jeho roli v imunitním systému, v metabolismu, v náladě, v zánětu a v nemoci. Podíváme se na to, co s ním moderní život — antibiotika, ultra-zpracované potraviny, alkohol, chronický stres, spánková deprivace — dělá. Podíváme se důkladně na to, co věda o dlouhověkosti začala naznačovat o jeho roli v tom, jak dlouho a jak dobře mohou lidské bytosti žít. A podíváme se na to, co lze, pokud vůbec, znovu vybudovat, jakmile byl poškozen.

Kniha není manuál. Je blíže dlouhému dopisu od jednoho zvídavého čtenáře druhému. Tam, kde jsou důkazy silné, je jazyk přímý; kde jsou naznačující, je jazyk opatrný; kde jsou sporné, jsou shrnuty obě strany. Čtenář je vyzván, aby s autorem na jakémkoli místě polemizoval.

Argument však začíná, myslím, stejným pozorováním, které učinil Leeuwenhoek při svíčce v roce 1683.

Uvnitř nás je víc než my.

SLOVO AUTORA — RADIM KAUFMANN

K tomuto materiálu jsem se dostal náhodou. Četl jsem o komplexních systémech — tom druhu, který selhává pomalu a pak najednou — a měl jsem tehdy tu smůlu, že jsem také četl příliš mnoho o moderních chronických onemocněních. Obě literatury se neustále střetávaly. Autoimunitní choroby, které byly před stoletím vzácné, již vzácné nebyly. Míry obezity, které stoupaly od konce 70. let 20. století, se nezpomalovaly. Statistiky deprese u dospívajících dělaly něco, pro co předchozí generace pediatrů neměla žádný jazyk. Nejsem lékař; neměl jsem žádnou profesionální povinnost dávat tomu všemu smysl. Ale ve vzorci časování bylo něco, co nepouštělo.

Co se v literatuře, jak jsem dále četl, neustále objevovalo, bylo střevo. Ne jako jediná odpověď, ale jako opakující se poznámka pod čarou. Poznámka, která se zdála rok od roku posouvat blíže k hlavnímu textu. Nejvíce mě zaujaly pasáže, v nichž pečliví klinici popisovali nálezy, jimž ještě plně nerozuměli — neočekávaná korelace mezi konkrétním bakteriálním druhem a metabolickým výstupem, klinická studie, která neproběhla podle předpokladů protokolu, transplantace stolice z jednoho člověka do druhého, jež vyléčila dříve neléčitelnou infekci. Právě to mne k takovému psaní přitahuje, ať jde o jakýkoli obor. Obvykle to totiž znamená, že podkladový obraz se ještě neustálil — což je, paradoxně, právě ten okamžik, kdy stojí za to věnovat pozornost.

Nemyslím, že mikrobiom vysvětluje všechno. Wellness průmysl už na premise, že ano, vystavěl neoprávněně sebejistý průmysl, a snažil jsem se napsat knihu, která k té hromadě nepřispěje. Ale myslím, že vysvětluje *něco* — pravděpodobně více, než mainstreamová medicína dosud vstřebala, a rozhodně více, než je pohodlné pro instituci, která po století zacházela s bakteriemi především jako s nepřáteli.

Především jsem dospěl k názoru, že lidské tělo není dobře definovaný objekt, za který jej příležitostně považujeme. Jsme, všichni z nás, méně individuální, než slovo *individuum* naznačuje. Co v nás žije, utváří, co jsme. A co děláme, sami sobě a světu, ze kterého jíme, na oplátku utváří je.

Čím déle jsem s touto myšlenkou seděl, tím více se zdálo, že ji stojí za to napsat.

POZNÁMKY

1. K Leeuwenhoekovým přístrojům a metodám viz Brian J. Ford, „The Discovery of Bacteria“, *American Society for Microbiology News* 60 (1994); a Lesley Robertson, *Antoni van Leeuwenhoek: Master of the Minuscule* (Brill, 2016). Z přibližně 500 mikroskopů, o nichž se předpokládá, že je Leeuwenhoek postavil, přežilo pouze devět; nejkvalitnější dochovaný kus v Utrechtském muzeu dosahuje zvětšení asi 270× s rozlišením dostatečným k vidění větších bakterií.

2. Leeuwenhoek, dopis ze 17. září 1683 Královské společnosti, přeloženo v Clifford Dobell, *Antony van Leeuwenhoek and His „Little Animals“* (Russell & Russell, 1932; reedice Dover, 1960), 238–247. Citát v epigrafu pochází z tohoto dopisu. Slovní obrat „více živočichů než lidí v celém království“ byl, podle moderního počítání, podstatným podceněním.

3. Achromatický složený mikroskop, který korigoval chromatickou aberaci, jež trápila dřívější přístroje, byl nezávisle vyvinut Josephem Jacksonem Listerem (otcem chirurga Josepha Listera) ve 20. letech 19. století. Viz M. Bracegirdle, *A History of Microtechnique* (Cornell, 1978).

4. Robert Koch, „Die Ätiologie der Tuberkulose“, *Mittheilungen aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte* 2 (1884): 1–88. Čtyři postuláty byly formalizovány v práci z roku 1884, ale rozvíjely se v Kochově myšlení od jeho práce o antraxu z roku 1876.

5. Theodor Escherich, „Die Darmbakterien des Neugeborenen und Säuglings“, *Fortschritte der Medizin* 3 (1885): 515–522, 547–554. Escherich organismus nazval *Bacterium coli commune*; v roce 1919 byl na jeho počest přejmenován na *Escherichia coli*.

6. K přínosu opatření veřejného zdraví versus lékařských zásahů k poklesu úmrtnosti ve 20. století viz Thomas McKeown, *The Modern Rise of Population* (Academic Press, 1976), a podstatné množství následné debaty; pro novější přehodnocení viz Samuel Preston, „The Changing Relation between Mortality and Level of Economic Development“, *Population Studies* 29 (1975).

7. Nobelova cena z roku 1908 byla sdílena mezi Mečnikovem a Paulem Ehrlichem za „jejich práci na imunitě“. Mečnikovův objev fagocytózy je vylíčen v Alfred I. Tauber, *Metchnikoff and the Origins of Immunology* (Oxford, 1991).

8. Ilja Mečnikov, *The Prolongation of Life: Optimistic Studies*, přel. P. Chalmers Mitchell (G. P. Putnam’s Sons, 1908). Původní francouzské vydání *Essais Optimistes* vyšlo v roce 1907.

9. O praktické a konceptuální obtížnosti kultivace střevních anaerobů viz Robert E. Hungate, „A Roll Tube Method for the Cultivation of Strict Anaerobes“, v *Methods in Microbiology* 3B (Academic Press, 1969). Hungateova technika, vyvinutá pro studium bachorových bakterií u skotu, byla základem pro pozdější práci na anaerobních kultivacích lidského střeva.

10. Srovnejte druhové inventáře předsekvenačních přehledů (např. články Sherwooda Gorbacha ze 70. let) s posekvenačními inventáři Eckburga et al. (2005), Qin et al. (2010) a Almeidy et al.

(2021), všechny citovány níže. Posledně jmenovaní odhadují zhruba 4–5 tisíc odlišných bakteriálních druhů v lidském střevě s podstatnou individuální variací.

11. Paul B. Eckburg et al., „Diversity of the Human Intestinal Microbial Flora", *Science* 308 (2005): 1635–1638. K původnímu vývoji fylogenetické analýzy 16S rRNA viz Carl R. Woese a George E. Fox, „Phylogenetic Structure of the Prokaryotic Domain: The Primary Kingdoms", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 74 (1977): 5088–5090.
12. Joshua Lederberg a Alexa T. McCray, „'Ome Sweet 'Omics: A Genealogical Treasury of Words", *The Scientist* 15 (7) (2001): 8. Termín *mikrobiota*, odkazující na samotné organismy spíše než na jejich kolektivní genom, byl používán o něco dříve v půdní ekologii.
13. Jane Peterson et al., „The NIH Human Microbiome Project", *Genome Research* 19 (2009): 2317–2323. HMP byl financován jako součást NIH Common Fund a běžel v první fázi od roku 2007 do roku 2014.
14. Junjie Qin et al. (Konsorcium MetaHIT), „A Human Gut Microbial Gene Catalogue Established by Metagenomic Sequencing", *Nature* 464 (2010): 59–65.
15. The Human Microbiome Project Consortium, „Structure, Function and Diversity of the Healthy Human Microbiome", *Nature* 486 (2012): 207–214; a doprovodný článek „A Framework for Human Microbiome Research" ve stejném čísle.
16. Alexandre Almeida et al., „A Unified Catalog of 204,938 Reference Genomes from the Human Gut Microbiome", *Nature Biotechnology* 39 (2021): 105–114. V době vydání této knihy byl tento katalog podstatně rozšířen metagenomovými sestavami z dalších kohort.
17. Toto slovní spojení se objevuje v Anne O'Hara a Fergus Shanahan, „The Gut Flora as a Forgotten Organ", *EMBO Reports* 7 (2006): 688–693, což byl první široce citovaný přehled, který tento argument formuloval výslovně, a který si dodnes zaslouží přečtení.
18. Pro komplexní novější přehled funkcí vyjmenovaných v tomto odstavci viz Lloyd-Price, Abu-Ali a Huttenhower, „The healthy human microbiome", *Genome Medicine* 8 (2016): 51; a encyklopedické učebnicové zpracování v Marchesi (ed.), *The Human Microbiota and Microbiome* (CABI, 2014).



KAPITOLA DRUHÁ

Zrození mikrobiomu

„Střevní mikrobiom kojence je nejrychleji se rozvíjejícím mikrobiálním ekosystémem na Zemi.“

— Fredrik Bäckhed, *Cell Host & Microbe*, 2015

Každé běžné ráno se někde na světě narodí mezi 350 000 a 400 000 dětmi. Přicházejí na svět na operačních sálech, v nemocničních pokojích, v porodních bazénech, na farmách, v džungli, v uprchlických táborech i na zadních sedadlech automobilů mířících do porodnic. Téměř všechno v jejich životě bude nerovné — klima, ve kterém vyrostou, jazyk, který budou slýchat, potrava, kterou budou jíst, i medicína, ke které budou mít přístup. Ale během prvních několika hodin života se začíná formovat ještě jiná nerovnost. Téměř neviditelná lidskému oku.

Představme si dva konkrétní příchody na svět.

V soukromé nemocnici na Manhattanu, krátce po sedmé hodině ranní, je dítě přivedeno na svět plánovaným císařským řezem. Místnost je jasně osvětlena a klinicky sterilní. Matka byla připravena k operaci, chirurgické pole zakryto světle modrými rouškami. Lékař provede řez; nový malý člověk je vyzdvižen, mrkající a ohromený, do chladného antiseptického vzduchu operačního sálu. Je osušen. Zvážen. Prvními povrchy, kterých se jeho kůže dotkne, jsou rukavice zdravotníků, vyhřátá nemocniční deka a digitální váha.

Tři tisíce kilometrů jižněji, v malé vesnici venezuelské Amazonie, právě rodí žena kmene Yanomami, obklopena ženami své komunity. Klečí na udusané hliněné podlaze. Její dítě vstupuje do zásadně odlišného prostředí — teplého vzduchu prosyceného kouřem ze dřeva a bakteriálním podpisem deštného pralesa; matky,

která se nekoupe v chlorované vodě; komunity, jejíž ruce nesou mikrobiální flóru půdy, listů, ryb i rodiny. Dítě je okamžitě položeno na matčinu kůži. Během několika minut začíná kojení.

Na konci dne jsou obě děti zdravé. Obě jedly. Obě spaly. Ale mikrobiální společenství, která se začínají usazovat v jejich střevech, už se v prvním dni života vydala na radikálně odlišné trajektorie. Kdyby byl po týdnu každému dítěti odebrán vzorek stolice a podroben sekvenování, výsledky by téměř působily, jako by patřily dvěma různým druhům.[1]

Tato kapitola pojednává o podivném a dlouho přehlíženém faktu: lidský mikrobiom nám není jednoduše dán. Je *sestavován*. Během prvních let života vzniká z lidí a povrchů, se kterými přicházíme do kontaktu. Je jedním z mála orgánů lidského těla, který se buduje převážně zvenčí dovnitř. A během posledního století byly podmínky této výstavby změněny dramatičtěji než kdykoli jindy v lidské historii.

STERILNÍ ZAČÁTEK

Tradiční medicínské učení, sahající přinejmenším do počátku dvacátého století, tvrdilo, že lidský plod se vyvíjí ve sterilním prostředí. Plodová voda měla být bez mikrobů. Placenta byla považována za neprostupnou bariéru. První kontakt dítěte s bakteriálním světem měl nastat teprve v okamžiku, kdy během porodu prasknou plodové obaly.[2]

Dnes víme, že tato představa byla přibližně správná — ale jen přibližně.

Mezi lety 2014 a 2017 vyšla série studií, včetně výrazně diskutované práce publikované v časopise *Science Translational Medicine*, které naznačovaly, že placenta sama obsahuje specifickou mikrobiální komunitu s nízkou koncentrací bakterií.[3] Následovaly roky pečlivého ověřování. Na počátku dvacátých let se vědecký konsenzus vrátil velmi blízko původní představě: děloha je v praxi téměř sterilní a většina mikrobů zaznamenaných v dřívějších studiích byla pravděpodobně důsledkem kontaminace laboratorních reagencií nebo přenosu bakterií během samotného porodu.[4] Diskuse na okrajích vědecké komunity pokračuje, ale hlavní závěr je dnes dostatečně pevný. Před narozením nenese nenarozené dítě prakticky

žádný vlastní mikrobiom. Po narození — během několika hodin — je kolonizace v plném proudu.

A to, co se stane během těchto hodin, může mít pro budoucí bakteriální ekosystém dítěte větší význam než téměř cokoli dalšího v jeho životě.

ZPŮSOB PORODU

První rozsáhlejší studie, která systematicky zkoumala, jak způsob porodu formuje bakteriální kolonizaci dítěte, byla publikována v roce 2010 Marií Glorií Dominguez-Bello a jejími kolegy z Portorické univerzity.[5] Princip studie byl elegantně jednoduchý. Výzkumný tým odebral vzorky deseti novorozencům — čtyřem narozeným vaginálně a šesti narozeným císařským řezem — a zároveň odebíral vzorky z různých částí těla jejich matek: z vaginy, kůže a ústní dutiny. Následovalo sekvenování. A poté zásadní otázka: které bakteriální společenství matky se nejvíce podobá mikrobiálním komunitám vznikajícím na kůži dítěte, v jeho ústech a ve střevech?

Výsledky byly překvapivě jednoznačné. Děti narozené vaginální cestou nesly bakteriální profil výrazně připomínající vaginální mikrobiom matky — *Lactobacillus*, *Prevotella* a příbuzné organismy — nejen ve střevech, ale i na kůži a v ústech. V praktickém smyslu fungoval porodní kanál jako určitý druh biologické inokulace. První dávka mikroorganismů. První ekologická kolonizace. První neviditelné dědictví.

Děti narozené císařským řezem vykazovaly odlišný obraz. Jejich bakteriální profil se více podobal bakteriím přítomným na kůži — *Staphylococcus*, *Corynebacterium*, *Propionibacterium*. První mikrobiální kolonizace dítěte narozeného císařským řezem tedy připomínala méně biologické dědictví reprodukčního traktu matky a více náhodný soubor bakterií od lidí a povrchů, kteří s dítětem přišli do kontaktu jako první.[6]

Pozdější a mnohem rozsáhlejší studie tento obraz dále zpřesnily, aniž by jej zásadně změnily. V roce 2019 sledovala rozsáhlá britská studie téměř šest set dětí během prvního roku života. Výzkumníci opakovaně analyzovali mikrobiom novorozenců ve čtyřech časových bodech. Zjistili výrazné snížení bakterií rodu *Bacteroides* u dětí narozených císařským řezem a současně zvýšený výskyt oportunních mikroorganismů pocházejících z nemocničního prostředí — včetně některých

nesoucích geny antibiotické rezistence.[7] Rozdíly se během prvního roku postupně zmenšovaly. Nikdy však zcela nezmizely.

Další významná studie publikovaná v roce 2018 v časopise *Nature* sledovala více než devět set dětí v mezinárodním projektu TEDDY. Výzkumníci popsali zrání střevního mikrobiomu ve třech etapách: vývojová fáze od přibližně třetího do čtrnáctého měsíce života, přechodná fáze do přibližně třicátého měsíce a stabilní dospělá konfigurace, která se začíná formovat poté.[8] Způsob porodu patřil mezi nejsilnější faktory ovlivňující podobu této rané vývojové fáze.

Co to znamená pro samotné dítě? Upřímná odpověď zní: věda stále hledá odpověď. Velké epidemiologické studie opakovaně nacházejí malé, ale opakovaně potvrzované souvislosti mezi císařským řezem a vyšším rizikem některých pozdějších onemocnění: astma, alergie, diabetes 1. typu, idiopatické střevní záněty, obezita.[9] Zda mikrobiom představuje skutečný mechanismus těchto souvislostí, pouze jejich biologický marker, nebo kombinaci obojího, zatím nevíme. Nejopatrnější interpretace zní: pravděpodobně sledujeme vývojový program vzniklý za stovky tisíc let evoluce, který byl historicky nastaven určitým způsobem — a který dnes u významné části dětí v průmyslově rozvinutých zemích začíná jinak.[10]

Některé výzkumné týmy se pokusily zjistit, zda lze rozdíl cíleně napravit. Nejpřímější přístup bývá označován jako *vaginální seeding*. Princip je jednoduchý. Novorozenci narození císařským řezem jsou po narození potřeni gázou, která byla předtím inkubována ve vaginálním prostředí matky. Malé studie ukázaly částečné obnovení některých bakteriálních podpisů. Rozsáhlejší výzkumy však přinesly nejednoznačné výsledky. Několik odborných společností upozornilo na malé, ale reálné riziko přenosu nežádoucích patogenů — například streptokoků skupiny B nebo viru herpes simplex — a doporučilo tento postup provádět pouze v rámci klinických studií.[11] K okamžiku vzniku této knihy zůstává vaginální seeding spíše výzkumnou otázkou než standardním klinickým doporučením.

MLÉKO JAKO POTRAVA PRO BAKTERIE

Jakmile je střevní mikrobiom novorozence alespoň částečně kolonizován, přichází druhá velká síla, která formuje jeho budoucí podobu: mateřské mléko.

Lidské mateřské mléko patří mezi evolučně nejpozoruhodnější látky v celé říši savců. Po vodě tvoří jeho tři hlavní složky tuky, laktóza a skupina mimořádně složitých cukrů označovaných jako *lidské mléčné oligosacharidy* — Human Milk Oligosaccharides, zkráceně HMO. V lidském mléce bylo identifikováno přibližně dvě stě různých HMO. Jejich koncentrace je překvapivě vysoká. Ve zralém mateřském mléce přesahuje pět gramů na litr. V kolostru — prvním mléce produkovaném během prvních dnů po porodu — může přesahovat dvacet gramů na litr.[12]

A právě zde se objevuje něco mimořádného. Lidské dítě tyto cukry nedokáže trávit. Novorozenci postrádají enzymy potřebné k jejich rozkladu. HMO procházejí tenkým střevem prakticky nedotčeny. Pokračují dále. Do tlustého střeva. Jako biologický náklad určený někomu jinému.

Evoluce totiž po miliony let nebudovala výživový systém pro dítě. Budovala výživový systém pro konkrétní bakterii.

Tou bakterií je *Bifidobacterium longum* subspecies *infantis* — běžně označovaná jednoduše jako *B. infantis*. Ve sérii elegantních experimentů vedených Davidem Millsem, Carlitou Lebrillou a Brucem Germanem na University of California v Davisu bylo prokázáno, že *B. infantis* disponuje mimořádnou genetickou výbavou: obsahuje přibližně 43 kilobází genů kódujících enzymy umožňující rozklad téměř všech známých HMO v lidském mléce.[13] Jen velmi málo dalších střevních bakterií to dokáže efektivně. Vzniká tak něco, čemu ekologové říkají *specializovaný mutualismus*: matka vytváří cukr, který její dítě neumí využít — a vytváří ho proto, aby nakrmila bakterii, bez níž se dítě nevyvíjí optimálně.

PROČ MLÉKO NENÍ JEN POTRAVA

Myšlenka, že mateřské mléko vzniklo zčásti proto, aby vyživovalo *mikrobiom* dítěte — nikoli samo dítě — působí při prvním setkání téměř absurdně. Důkazy se však postupně skládají do stále jasnějšího obrazu. Mateřské mléko nejlépe rozumíme jako trojitý biologický systém: za prvé přímo vyživuje dítě; za druhé přenáší bioaktivní molekuly (imunoglobuliny, růstové faktory, antimikrobiální peptidy), které dítě chrání; za třetí selektivně podporuje růst specifických bakterií — především bifidobakterií — které lidské střevo během raného vývoje potřebuje.[14] Moderní kojenecké formule prošly během posledních desetiletí obrovským vývojem. Historicky však měly obtíže právě se třetí funkcí: s podporou specifického mikrobiálního ekosystému.

Ve střevě zdravého kojeného dítěte vyrůstajícího v tradičním prostředí mohou bifidobakterie tvořit více než devadesát procent veškeré bakteriální DNA detekovatelné ve stolici. U dětí krmených formulí v průmyslově rozvinutých zemích bývá tento podíl často pod dvaceti procenty.[15] Mikrobiální společenství bývá rozmanitější, ale méně specializované, a zdá se, že dospívá směrem k dospělému typu mikrobiomu rychleji. Je tato rychlejší „dospělost“ výhodou? Nebo problémem? Odpověď zatím neznáme. Některé výzkumné skupiny proto začaly vyvíjet probiotické přípravky obsahující živé kultury *B. infantis* s cílem obnovit historicky běžnější podobu raného mikrobiomu i u dětí krmených formulí. První klinické studie přinesly povzbudivé výsledky: *B. infantis* byla schopna dlouhodobě kolonizovat střevo, bylo pozorováno snížení fekálního kalprotektinu (markeru střevního zánětu) a zároveň změny ve vývoji imunitních buněk.[16] Skutečné dlouhodobé důsledky však budeme znát až za mnoho dalších let. Mikrobiální biologie raného dětství totiž pracuje v časových měřítkách, která jsou pro moderní medicínu neobvykle dlouhá: někdy měsíce, často roky, občas celé dekády.

PRVNÍ ANTIBIOTIKUM

Pokud je sestavování dětského mikrobiomu jednou z ekologicky nejdůležitějších událostí lidského života, pak jeden z nejrychlejších způsobů, jak tento proces narušit, patří zároveň mezi nejběžnější zásahy moderní medicíny: antibiotika.

Podle nejnovějších odhadů ve Spojených státech dostane přibližně třicet procent všech dětí alespoň jednu antibiotickou léčbu ještě před prvními narozeninami. Průměrné americké dítě navíc absolvuje přibližně tři antibiotické kúry do dvou let věku.[17] V naprosté většině jednotlivých případů jsou tato rozhodnutí rozumná. Bakteriální infekce u malých dětí se mohou velmi rychle stát závažnými. Pediatři mají nízký práh pro zahájení léčby. A velmi často je toto rozhodnutí správné. Skutečný problém nevzniká v jednotlivém případu. Vzniká souhrnně. Na úrovni celé populace. Napříč jednou generací.

Mikrobiolog Martin Blaser, který o této otázce veřejně hovořil s mimořádnou naléhavostí, shrnul svůj pohled do jediné věty, která se později stala téměř sloganem celého oboru: *missing microbes* — chybějící mikroorganismy.[18] Jednotlivé antibiotické kúry redukují určité bakteriální populace ve střevě. Některé se obnoví během týdnů. Jiné během měsíců. A některé — jak naznačují dlouhodobé observační studie — se nemusí obnovit vůbec. Dítě, které do dvou let věku absolvovalo tři nebo čtyři antibiotické kúry, může z mikrobiálního pohledu připomínat méně biologicky původní lidský ekosystém a více ekosystém, z něhož byly některé druhy postupně odstraněny.

A nejde pouze o to, které bakterie chybějí. Jde také o pořadí. Raný vývoj mikrobiomu probíhá v určité sekvenci. Jednotlivé druhy přicházejí ve specifickém pořadí. Opakované antibiotické zásahy během tohoto kritického období mohou narušit nejen aktuální složení mikrobiomu, ale i samotnou trajektorii jeho zrání.[19]

Má to skutečně měřitelné důsledky pro konkrétní dítě? To je výrazně obtížnější prokázat. Nejsilnější signály se objevují v oblastech souvisejících s vývojem imunitního systému. Opakovaně byly popsány souvislosti mezi časnou antibiotickou expozicí a zvýšeným rizikem astmatu, alergií, ekzémů a idiopatických střevních zánětů.[20] Signály týkající se metabolismu — dětské obezity nebo rizika diabetu 2. typu — bývají slabší a zároveň více diskutované. Přesto ani po statistických korekcích v modernějších studiích zcela nezmizely.[21]

Je důležité říci něco naprosto jasně. Tato kapitola není argumentem proti antibiotikům. Pokud dítě antibiotika potřebuje, moderní medicína zachraňuje životy. To je jeden z největších civilizačních úspěchů posledního století. Otázka se týká něčeho jiného: nezávažného používání širokospektrých antibiotik. Situací, kdy

Vydavatelský tým

Střevní mikrobiom

Vedení a spoluautoři

Autor a vydavatel: Radim Kaufmann

Šéfredaktor: Radim Kaufmann

Spoluautoři: Claire Whitaker, Spencer Reed, Julian Hartwell, Tessa Monroe, Gavin Rhodes, Naomi Fletcher, Wesley Porter

Redakce

Vedoucí redakčního provozu: Erin Caldwell

Akviziční redaktor: Camille Foster

Vedoucí knižní řady: Audrey Nolan

Odpovědný redaktor titulu: Owen Barrett

Vedoucí rubriky: Marissa Cole

Koncepční redaktor: Nora Callahan

Stylistický redaktor: Lydia Shaw

Jazykový redaktor: Maya Chen

Jazykový korektor: Leah Winters

Odborné zpracování a výuka

Rešeršér: Priya Bennett

Ověřovatel faktů: Isaac Merritt

Překladatel: Daniel Kim

Zpracovatel rejstříku: Cora Delaney

Odborný recenzent: Elena Sandoval

Technický redaktor: Andre Wallace

Vydavatelský tým

Střevní mikrobiom

Obrazová podoba

Výtvarný ředitel: Vera Hollander

Knižní grafik: Jasper Vaughn

Grafik knižních obálek: Roman Blake

Obrazový redaktor: Celeste Rowan

Ilustrátor: Hazel Corbin

Sazba a výroba

Sazeč: Fiona Ashby

Vedoucí výroby: Meredith Sutton

Specialista na elektronické knihy: Devin Cho

Práva, propagace a distribuce

Manažer práv a licencí: Tara Mendoza

Kaufmann Creative AI Studio©

Kreativní ředitel studia: Nolan Pierce

Výtvarnice návrhů obálek a scén: Ivy Carver

Ilustrátorka výukových materiálů: Lucia Vega

Specialista na retuš a obrazovou postprodukci: Felix Archer

Původní ilustrace a výtvarná koncepce © Kaufmann Creative AI Studio. Autorské údaje a licence převzatých fotografií, reprodukcí a dalších děl zůstávají uvedeny u příslušných děl a v obrazových kreditech této knihy.

Tým vydavatelství

Doplněná tiráž · 17. listopadu 2026