

Rob Knight – Brendan Buhler

# SZERVES RÉSZÜNK

Hogyan befolyásolják életünket  
a mikrobák?

hvg  könyvek

*Szüleimnek, Allisonnak és Johnnak,  
a génjeikért, a gondolataikért  
és a mikrobáikért*

## TARTALOM

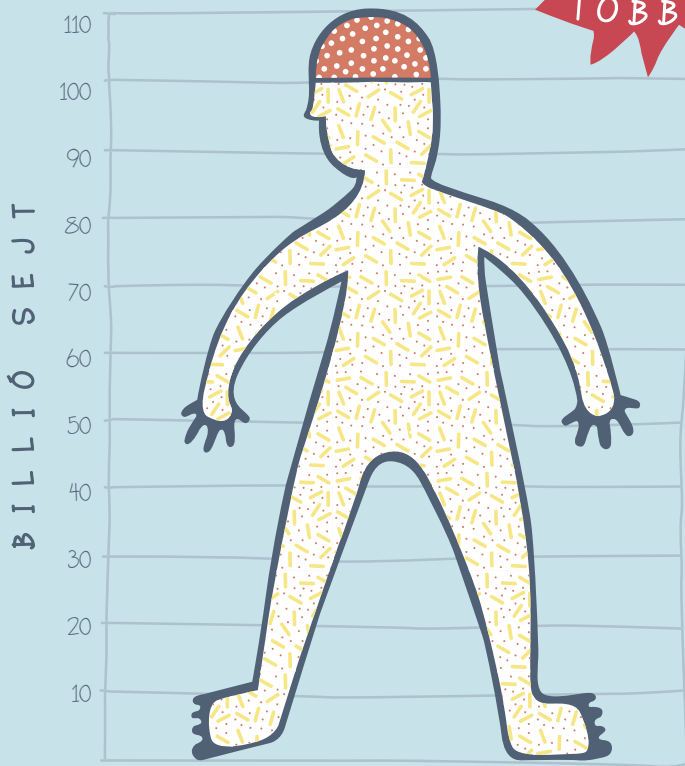
|  |     |
|--|-----|
| Bevezetés  | 9   |
| 1. A mikrobiális test  | 18  |
| 2. Honnan van a mikrobiom?   | 37  |
| 3. Egészségben, betegségben  | 53  |
| 4. A bél-agy tengely, avagy hogyan hatnak a mikrobák<br>a hangulatunkra, a gondolkodásunkra és sok<br>minden másra | 72  |
| 5. Mikrobiom-hekkelés  | 88  |
| 6. Antibiotikumok  | 99  |
| 7. A jövő  | 113 |
| Függelék   | 119 |
| Köszönetnyilvánítás  | 131 |
| Jegyzetek  | 135 |
| Név- és tárgymutató  | 169 |
| A szerzőkről   | 177 |

## Bevezetés

Tudjuk, milyen az ember. Két lábon járó, végtelenül tehetséges, gondolkodó lény, minden teremtmény ura. Az apró betűs részt sosem olvassa el, csak ott, ahol muszáj, kipipálja, aláírja. És, íme, a többiek, a milliárdnyi, apró élőlény, amelyek ott élnek a szemünkben, a fülünkben és a pazar életkörülményeket biztosító beleinkben. Ennek a bennünk élő, mikroszkopikus világnak az ismeretében újra kell értelmeznünk a betegség és az egészség fogalmát, sőt akár az emberi élet mibenlétét is.

A modern technológiáknak köszönhetően – amelyek közül sokat alig néhány éve alkalmazunk – ma a kutatók többet tudnak a bennünk élő, mikroszkopikus életformákról, mint korábban valaha. Egészen megdöbbentő, mi mindent tudtunk meg róluk. Ezek az egysejtű organizmusok – avagy mikrobák – nemcsak hogy sokkal többen vannak, mint gondoltuk, hiszen tömegével népesítik be testünk szinte valamennyi zegzugát, de sokkal fontosabbak is, mintsem azt valaha is sejtettük. Szerepet játszanak egészségi állapotunk, sőt személyiségünk alakulásának szinte valamennyi aspektusában.

AKÁR  
**10x**  
TÖBB



EMBERI SEJT



MIKROBASEJT

Ezek a mikroszkopikus bandák, amelyek befészkeltek magukat testünk külső és belső felületeire, alkotják az ún. *humán mikrobiotát*, és az ő génjeikből áll össze a *humán mikrobiom*. Mint sok más tudományos át-törés, ennek az apró világnak a megismerése is alaposan megtépázza az egónkat. A csillagászat bebizonyította, hogy nem a mi bolygónk az univerzum középpontja, az evolúció pedig világossá tette, hogy az ember is csak egy állat a sok közül. A humán mikrobiom feltérképezése pedig arra tanít, hogy még a saját testünkön belül is kitúr minket a főszerepből egy csomó független (viszont egymástól kölcsönösen függő) életforma, amelyeknek megvannak a maguk működési törvényszerűségei.

Hány mikroba él a testünkben? Az emberi test körülbelül 10 billió emberi sejtből áll – miközben mintegy 100 billió mikrobiális sejt is él bennünk és rajtunk.<sup>1</sup> Vagyis, többségében nem is önmagunk vagyunk.

Mi, emberek nem csupán szerencsétlen és alkalmi gazdatestei vagyunk a fertőzést okozó kis fickóknak, ahogy eddig hittük. Épp ellenkezőleg, születésünktől halálunkig kiegyensúlyozott kapcsolatban élünk egy egész mikrobaközösséggel. Ezek az apró organizmusok nem tétlen átutazók. Kulcsszerepük van életünk legalapvetőbb folyamataiban, ide értve az emésztésünket, az immunválaszainkat, sőt még a viselkedésünket is.

A bennünk élő mikrobaközösség valójában inkább több különböző közösség együttese. A különféle fajok

a test más-más részein élnek és fejtik ki hatásukat. A szánkban élő mikrobák lényegesen különböznek a bőrünkön vagy a beleinkben található társaiktól. Nem egyének vagyunk, hanem ökoszisztémák.

A mikrobák sokfélesége még az olyan testi sajátosságokat is segíthet megmagyarázni, amelyeket mind-  
eddig csupán a jó vagy a balszerencsének tulajdonítottunk. Vajon miért ízlik jobban egyes emberek vére a szúnyogoknak? Ezek a kis szörnyetegek engem csak vajmi ritkán csípnek meg, de az élettársam, Amanda tömegével vonzza őket. Azért étvágygerjesztőbbek egyes emberek másoknál a szúnyogok számára, mert eltérő mikrobiális közösség él a bőrükön. (Bővebben *lásd* 1. fejezet.)

A bennünk és rajtunk élő mikrobák rendkívül változatosak. Arról már bizonyára mindenki hallott, hogy ami a DNS-ünket illeti, mind eléggé egyformák vagyunk: az egyik ember DNS-e 99,99%-ban olyan, mint a másiké. Ám a beleinkben élő mikrobákra ez cseppet sem igaz: 10%-ban sem egyeznek.

Ezek a különbségek lehetnek felelősek azért, hogy ennyire hihetetlenül sokfélék vagyunk, legyen szó test-súlyról, allergiákról, a betegségekre való hajlamunkról vagy a szorongásunk mértékéről. Még csak most kezdjük feltérképezni – és megérteni – ezt a hatalmas, mikroszkopikus világot, és ami a kutatási eredményekből kiolvasható, az döbbenetes.

A mikrobiális világ elképesztő sokfélesége még lenyűgözőbb, ha belegondolunk, hogy körülbelül negyven éve még fogalmunk sem volt arról, hány darab és hányféle egysejtű organizmus létezik. Egészen addig a Föld élőlényeit aszerint kategorizáltuk, amit Charles Darwin 1859-ben megjelent, *A fajok eredete (The Origin of Species)*<sup>2</sup> című művéből tudtunk. Darwin felrajzolt egy evolúciós fát, amelyen a közös fizikai vonások alapján sorolta csoportokba a világ élőlényeit – így lettek rövid csőrű pintyek, hosszú csőrű pintyek és társaik –, és ez lett a fajok meghatározásának alapja.

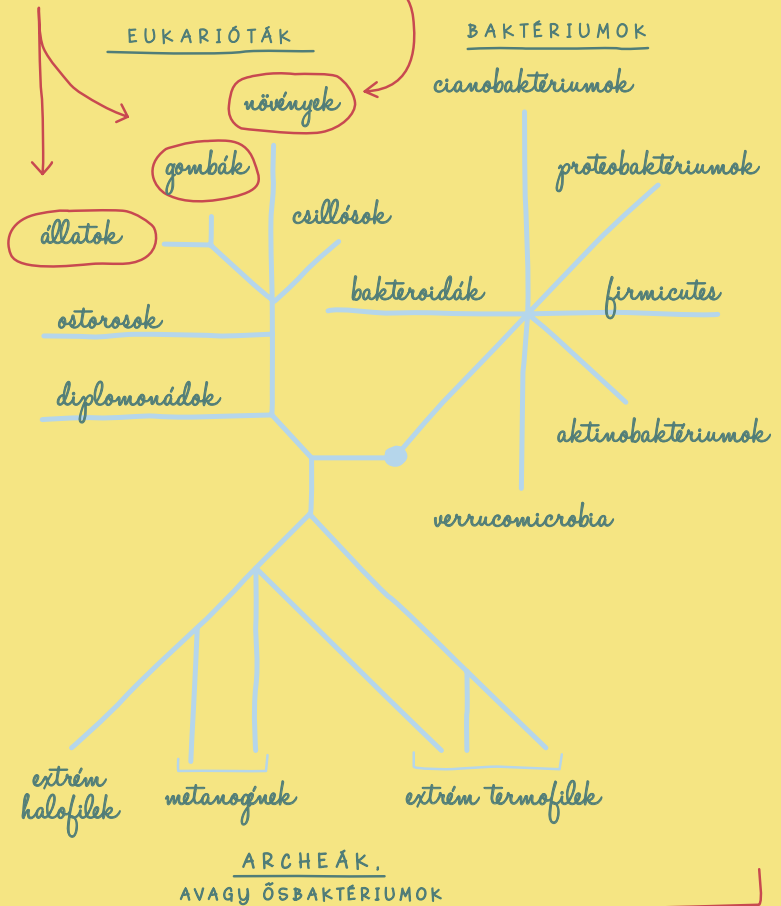
Ez a hagyományos életszemlélet azon alapult, amit az ember maga körül vagy a mikroszkópon át látott a világból: a nagyobb élőlényeket a következőképp csoportosították: növények, állatok, gombák. Az egysejtű organizmusokat két alapkategóriába osztották: protiszták és baktériumok. Ami a növényeket, az állatokat és a gombákat illeti, nem tévedtünk. De az egysejtűekről kialakított kép teljesen téves volt.

1977-ben két amerikai mikrobiológus, Carl Woese és George E. Fox új életfát rajzolt, de ehhez a különböző életformákat sejtszinten – a DNS-hez hasonlóan minden sejtben megtalálható, fehérjeépítő riboszomális RNS alapján – hasonlította össze. Az eredmény rendkívüli volt.<sup>3</sup> Woese és Fox felfedezte, hogy az egysejtű organizmusoknak több fajuk van, mint a növényeknek és állatoknak összesen. Mint kiderült, az állatok,



# AZ ÉLET FÁJA

MINDAZ, AMIT MINDEDDIG  
ÉLETNEK TARTOTTUNK



MEGLEPETÉS! EZ AZ ÉLET TÉNYLEGESEN  
ISMERT SOKFÉLESÉGE (EDDIG)

a növények és a gombák; minden egyes ember, medúza és ganajtúró bogár; minden hínárszál, mohafolt és égig érő vörösfenyő; minden egyes zuzmó és gomba – minden szemmel látható életforma – csupán három rövid kis ágacskát tesz ki az élet fája egyik ágának a végén. Az egysejtű organizmusok – baktériumok, (a Woese és Fox által felfedezett) archeák, avagy ősbaktériumok, élesztőgombák és társaik – uralják a világot.

Az utóbbi években hatalmas lépéseket tettünk a bennünk élő mikroszkopikus világ megismerésében és megértésében. Az új eljárások kidolgozása – például a DNS-szekvenálás fejlődése – és a számítógépes kapacitások robbanásszerű növekedése adja a megismerés további lehetőségeit. Ma a *következő generációs szekvenálás*nak nevezett folyamat révén villámgyorsan ki lehet elemezni a test különböző részeiből vett sejtminták mikrobiális DNS-ét, és a különböző mintákból származó információk összevetésével beazonosítható az a több ezer mikrobafaj, amely az emberi szervezetben él. Olyan baktériumokat, archeákat, élesztőgombákat és egyéb egysejtű organizmusokat (például eukariótákat) találunk, amelyeknek együtt hosszabb a genomjuk – az őket meghatározó genetikai receptjük –, mint a miénk.

Az új számítógépes algoritmusok jelentősen megkönnyítik ezeknek a genetikai információknak az értelmezését. A mikrobák feltérképezése lehetővé teszi, hogy összehasonlítsuk a különböző testrészek, sőt akár

különböző emberek mikrobaközösségeit is. Egyre bővülő ismeretanyagunk nagy részét a Humán Mikrobiom Projektből szerezzük.

A 170 millió dolláros kutatás, amelyet az amerikai Nemzeti Egészségintézet (National Institutes of Health) szponzorál, több mint kétszáz tudós munkáját támogatja. Ők – eddig – legalább 4,5 terabájt, azaz 4,5 billió bájt DNS-adatot analizáltak. És ez még csak a kezdet. Több nemzetközi kutatás is folyik egyidejűleg – például a MetaHIT nevű európai konzorciumnál – ahol szintén összegyűjtik az információkat, illetve elemzik a már összegyűjtött adatokat.

Az elemzés költsége folyamatosan csökken, ami lehetővé teszi, hogy egyre többen ismerhessék meg a bennük élő változatos világot. Egy évtizeddel ezelőtt 100 millió dollárért vizsgálták meg mikrobiomunk összetételét. Ma ugyanehhez az információhoz körülbelül 100 dollárért hozzájutunk. Ilyen alacsony árak mellett hamarosan háziorvosi beutalóval igénybe vehető rutin eljárássá válhat.

Miért érdekelné a háziorvosunkat a mikrobiomunk? Mert születőben van egy új kutatási terület, amely szerint összefüggés figyelhető meg a mikrobák és számos betegség – többek között az elhízás, az ízületi gyulladás, az autizmus, a depresszió – között. Miután kezdett fény derülni ezekre az összefüggésekre, lehetővé vált új kezeléseik kidolgozása is.

Az emberi mikrobiomra sok minden hatással van: milyen gyógyszereket szedünk, hogyan táplálkozunk, hogy első vagy utolsó gyerekként születtünk-e, hány szexuális partnerünk volt. A könyvet olvasva kiderül majd, hogy a mikrobák szerves részei életünk szinte valamennyi aspektusának. Mikrobiális énk megismerése átírhatja a fogalmainkat a kérdésről: mit is jelent embernek lenni.

# 1 A mikrobiális test

Vajon hány mikroszkopikus életforma lakik bennünk?

Egy átlagos felnőtt testében közel 1,5 kg mikroba él. Ennek tükrében megállapíthatjuk: a mikrobiom az egyik legnagyobb szervünk – nagyjából annyit nyom, mint az agyunk, a májunknál pedig egy kicsit könnyebb.

Ha csupán a sejtszámokat nézzük: testünkben a mikrobiális sejtek 1:10 arányú többségben vannak az emberi sejtekkel szemben. DNS-ben mérve valamennyiünkben körülbelül 20 ezer emberi gén van. A mikrobiális gének száma viszont 2 milliótól 20 millióig terjed. Ami annyit tesz, hogy genetikai értelemben legalább 99%-ban mikrobákból állunk.

Aki az emberi méltóság utolsó morzsáit keresi, tekintsen erre a komplexitás szemszögéből! Minden emberi sejtre igaz, hogy sokkal több gént tartalmaz, mint egy mikrobiális sejt. Ám mikrobáink génjei együttesen számbeli fölénybe kerülnek a saját génjeinkkel szemben.

A bennünk és rajtunk élő organizmusok sokan vannak és sokfélék. Többségük egysejtű organizmus. Az élet



A TESTÜNKBEN  
LÉVŐ GÉNEK  
99%-A  
MIKROBÁINKTÓL  
SZÁRMAZIK



fájának mindhárom főágáról képviseltetik magukat. Beleinkben találni archeákat, sejtmag nélküli egysejtű organizmusokat. Közülük a leggyakoribbak a metanogének, amelyek oxigén nélkül is megélnék, az étel megemésztésében segítenek, és metángázt bocsátanak ki. (A teheneekben is ilyenek élnek.) Az eukarióták, mint a lábgomba és a hüvelyt benépesítő élesztőgombák, néha a belekben is megtalálhatóak. Mind közül a legdominánsabbak a baktériumok, mint például az *Escherichia coli*, amelyre leginkább a mosatlan spenóttal elkapható betegség kórokozójaként gondolunk, pedig valójában legtöbbünk beleiben ártalmatlan, sőt hasznos fajtái is élnek.

A modern technológia segítségével nap mint nap azzal szembesülünk, hogy ezek az élőlények még annál is sokkal változatosabbak, mint azt tudni véltük. Mintha eddig egy nagyon nagy lyukú hálóval halásztunk volna az óceánban, és a kifogott zsákmány alapján azt hittük, csak bálnák és óriástintahalak élnek a tengerekben. Az ember azt gondolná, hogy az imént befalt szendvicset lakmározó bármely két bélbaktérium között nincs túl nagy különbség – csak annyi, mint a szardella és a szardínia között. Pedig valójában annyira hasonlítanak, mint a tengeri uborka meg a nagy fehér cápa: teljesen máshogy viselkednek, mások a tápanyagforrásaik és az ökológiai szerepük.

Hol vannak tehát ezek a mikrobák, és mit csinálnak? Vizsgáljuk meg a testünket, és derítsük ki!

## Bőr

I. Napóleon, egyik hadjáratából hazatérve, állítólag ezt az üzenetet küldte Jozefin császárnénak: „Holnap este érkezem Párizsba. Ne fürödj meg!” Napóleon jobban szerette, ha kedvese teste természetes anyagaitól illatozik, még hozzá jó erősen. Vajon miért búzlunk, ha megfosztanak minket a szappantól, dezodortól, púdertől és parfümtől? Legfőképp azoktól a mikrobáktól, amelyek a váladékainkból lakomáznak, és ezzel még büdösebbé teszik őket.

A kutatóknak még mindig nem sikerült teljesen kiszagolniuk, hogy a legnagyobb szervünkön, vagyis a bőrünkön élő teremtmények milyen célt szolgálhatnak, de annyi bizonyos, hogy részt vesznek a testszagok „termelésében”, ideértve azokat az illatokat is, amelyek a szúnyogokat vonzzák.<sup>1</sup> Mint említettem, egyesek szagát jobban kedvelik a szúnyogok, és ezért bizony a mikrobák a felelősek. Anyagcsererendszerükön keresztül a bőrünk által termelt vegyi anyagokat különböző illékony szerves vegyületekké alakítják, amelyek vagy tetszenek a szúnyogoknak, vagy nem. A különböző szúnyogfajok más-más testrészeket favorizálnak. A maláriát terjesztő egyik fő szúnyogfaj, az *Anopheles gambiae* számára csábító illatok nem a hónaljunkból áradnak, hanem a kéz- és lábfejükéből. Ez felveti azt az igen érdekes lehetőséget, hogy a kéz és a láb bőrébe



dörzsölt antibiotikumokkal talán kivédhetőek ennek a konkrét fajnak a támadásai, hiszen a mikrobák elpusztításával megszűnik a szag.

Az összes többi mikrobánkhoz hasonlóan a bőrrünkön élőkre is igaz, hogy nem feltétlen a javunkat szolgálják. Ám, mint testünk jó szándékú lakói, valójában nagyon sokat segítenek már azzal is, hogy belénk költöznek: megnehezítik a másfajta, gonoszabb, fertőző mikrobák dolgát. A bőr különböző részein más-más mikrobák tanyáznak; és ez a diverzitás – a különböző mikrobafajok száma – nem feltétlen függ össze az egy adott helyen élő mikrobák számával. Sőt a kapcsolat gyakran éppen fordítottan arányos. Képzeljük el, milyen lenne, ha a 600 ezer lakosú Vermont a 10 milliós Los Angeles megye etnikai sokszínűségével rendelkezne, és Los Angeles lakossága olyan homogén lenne, mint Vermonté. A hónaljunkban és a homlokunkon nagyon nagy létszámban élnek mikrobák, de viszonylag kevés fajuk képviselteti magát. Ezzel szemben a tenyerünk és az alkarunk mikrobiális értelemben ritkán lakott területnek számít, mégis sok-sok faj gyűlt össze rajtuk.<sup>2</sup> A nők kezén jellemzően változatosabb mikrobiális közösség él, mint a férfiakén, és ezek a különbségek kézmosással sem szűnnek meg, ami arra enged következtetni, hogy az eltérések a két nem közti biológiai különbségekből erednek – bár ennek okai még ismeretlenek.<sup>3</sup>