

# Immun

A rendszer,  
amely megóv minket

Philipp Dettmer

Open Books

## Bevezetés

KÉPZELJÜK EL, HOGY HOLNAP ÚGY ÉBREDÜNK, hogy nem érezzük magunkat valami jól. Zavaróan fáj a torkunk, folyik az orrunk, egy kicsit köhögünk is. Összességében nem vagyunk annyira rosszul, hogy ne menjünk dolgozni, de amikor belépünk a zuhany alá, meglehetősen mérgesen állapítjuk meg, hogy milyen nehéz is az életünk. Bár mi sem vagyunk síró-pityogó kisbabák, az immunrendszerünk egy szóval sem panaszodik. Inkább folyamatosan dolgozik azon, hogy életben tartson minket – hogy holnap is panaszkodhassunk. Így, bár a betolakodók folyamatosan támadják a szervezetünket, és sejtjeink százazreit pusztítják el, az immunrendszerünk megszervezi a bonyolult védelmünket, egymástól távoli elemei között létesít kommunikációs csatornákat, rendkívül kifinomult védelmi rendszereket aktivál, és ellenségek millióit, ha nem milliárdjait irtja ki pillanatok alatt. Miközben mi a zuhany alatt sajnáljuk magunkat.

De az összetett immunműködés a legritkább esetben válik észrevehetővé.

Ez pedig igazán kár, hiszen nincs sok dolog, aminek hasonlóan életbe vágó szerepe lenne az életminőségünkre, mint az immunrendszer működésének. Mindenre figyel, a teljes szervezetre kiterjed a fennhatósága, és védelmez minket a sima náthához, horzsolásokhoz, vágásokhoz hasonló semmiségektől ugyanúgy, mint az életünkre törő ráktól és tüdőgyulladástól, vagy az esetenként halálos Covid-19-től. Az immunrendszerünk ugyanolyan nélkülözhetetlen, mint a szívünk vagy a tüdőnk. Sőt, az immunrendszer az egyik legnagyobb kiterjedésű szervrendszer a testünkben, bár ritkán gondolunk rá így.

A legtöbbször számára az immunrendszer ködös és nehezen értelmezhető valami, furcsa és kiismerhetetlen szabályok szerint működik. Ha egyáltalán működik, mert néha úgy tűnik, mintha megmakacsolná

magát. Egy kicsit olyan, mint az időjárás: elképesztően nehéz előre jelezni, mindenkinek megvan róla a véleménye és a spekulációi, a tevékenysége pedig sokszor véletlenszerűnek tűnik. Sajnálatos módon sokan magabiztosan beszélnek az immunrendszeréről, anélkül hogy valójában értenék a mibenlétét, ezért nehéz eldönteni, hogy mely információknak higgyünk, és miért. De mi is valójában az immunrendszer, és hogyan működik?

Miközben e könyvet olvassa, megérti majd, hogy milyen mechanizmusok tartanak minket életben. Ez azonban nem csupán kellemes kirándulás lesz az intellektuális érdekességek világába, hanem nélkülözhetetlen tudásra fog szert tenni. Ha tudjuk, hogyan működik az immunrendszer, érteni és értékelni fogjuk az oltásokat, hiszen tisztában leszünk azzal, hogyan menthetik meg a mi és gyermekeink életét. A betegségekhez való hozzáállásunk teljesen átalakul, sokkal kevésbé fogunk félni tőlük. Kevésbé tudnak majd rászedni minket a sárkányfűárusok, akik olyan csodaszereket kínálnak, amelyek totálisan nélkülözik a logikát. Ezáltal sokkal jobban fogjuk érteni, hogy a ténylegesen ható orvosságok miért működnek, és mit tehetünk, hogy erősítsük az immunrendszerünket. Úgy védhetjük gyermekeinket a veszélyes mikrobáktól, hogy nem vesszük túlzásba az aggodást, ha összekoszolják magukat a játszótéren. És abban a rendkívül valószínűtlen esetben, ha mondjuk, globális pandémia törne ki, jobban értjük majd, hogy mit és miért mondanak a közegészségügyi szakértők, ha tudjuk, hogy a vírus mit csinál bennünk, és a szervezetünk hogyan harcol ellene.

E sok praktikus és hasznos dolog mellett az immunrendszer egyszerűen szép, a természet semmihez sem fogható csodája. Az immunrendszer nem pusztán annak eszköze, hogy csillapodjon a köhögésünk. Elválaszthatatlanul kapcsolódik gyakorlatilag minden más életműködésünkhöz. Miközben központi jelentősége van az életben maradásunk szempontjából, valószínűleg szerepe van a halálunkban is, vagy azért, mert csődöt mond, vagy, mert túlságosan is működik.

Lassan egy évtizede elbűvöl és a megszállottságig lenyűgöz az emberi immunrendszer hihetetlen bonyolultsága. Az egyetemen kezdődött, ahol információtervezést hallgattam. Témát kerestem a szemináriumi projektemhez, és az immunrendszer pont megfelelőnek tűnt. Így hát

beszereztem egy stószra való immunológiakönyvet, és beleástam magam. De akármennyit olvastam is, az ismeretek egyre csak bonyolultabbá váltak. Minél többet tudtam meg róla, annál inkább lehetetlen küldetésnek tűnt egyszerűsíteni az immunrendszer működését, hiszen minden lefejtett réteg újabb mechanizmusokat, újabb kivételeket, újabb komplexitást tárt fel.

Ezért a projekt, amelyet a tavaszi szemeszterben terveztem befejezni, átnyúlt a nyárra, majd az őszre, a télre is. Az immunrendszer elemei közötti kölcsönhatások túlságosan elegánsak voltak, az általuk járt tánc pedig túl szép volt ahhoz, hogy abbahagyjam az immunológia tanulását. Ez a folyamat végül alapjaiban megváltoztatta a testemmel kapcsolatos érzéseimet.

Amikor elkaptam az influenzát, már nem tudtam egyszerűen panaszkodni, hanem meg kellett vizsgálnom a szervezetemet, meg kellett érintenem a megduzzadt nyirokcsomóimat, és magam elé kellett képzelnem, hogy az immunsejtjeim mit csinálhatnak abban a pillanatban, a rendszer mely részei aktiválódtak, és a T-sejtek hogyan ölték meg a betolakodók millióit, hogy megvédjenek engem. Amikor az erdőben óvatlanul megvágtam magam, hálát éreztem a makrofágok iránt, amelyek hatalmas immunsejtekként levadásszák a halálra rémült baktériumokat, és darabokra cincálják őket, hogy így akadályozzák meg a nyílt sebek elfertőződését. Miután egy rossz müzliszeletbe haraptam, és allergiás sokk miatt kellett rohanni velem a kórházba, a masztocitáimra (vagyis hízósejtjeimre) és az IgE-antitestjeimre gondoltam, hiszen majdnem megöltek, miközben tévesen az ijesztő élelmiszertől akartak megvédeni.

Amikor rákot diagnosztizáltak nálam 32 évesen, és számos műtétet végeztek rajtam, majd kemoterápiás kezeléseket kaptam, az immunológia iránti megszállottságom csak még erősebbé vált. Hiszen az immunrendszerem egyik feladata, hogy elpusztítsa a rákos sejteket. Abban az esetben azonban kudarcot vallott.

De mégsem tudok nagyon haragudni rá, hiszen tisztában vagyok azzal, hogy e feladat milyen nehéz is az immunsejtjeim számára, és milyen nehezen tarthatók ellenőrzés alatt a tumorsejtek. Miközben a kemó elolvastotta a daganatot, a gondolataim újra az immunsejtjeim

felé terelődtek, elképzeltem, ahogy megtámadják a haldokló tumort, és felzabálják egyik sejtet a másik után.

A betegség mindig ijesztő, és jócskán volt belőle részem az életem során. De a tudat, hogy a sejteim és az immunrendszerem, testi valóm ezen integráns és személyes részei hogyan óvnak engem, és hogyan harcolnak és halnak meg az általam lakott testért, illetve hogyan gyógyítják meg, mindig nagy megnyugvást jelentett. Az immunrendszerrel való tanulás jobbá és érdekesebbé tette az életemet, és segített csökkenteni a betegség miatt érzett szorongást. Az immunrendszer ismerete más megvilágításba helyezte a történéseket.

Így hát részben e pozitív hatás, részben az immunrendszerrel való ismerkedés okozta öröm miatt tartós hobbimmá vált e téma. Végül tudománykommunikátor lett belőlem, és az élet komplex jelenségeinek magyarázatát életcéloommá fogadtam. Nagyjából nyolc évvel ezelőtt megalapítottam a Kurzgesagt – In a Nutshell (Dióhéjban) YouTube-csatornát, amelynek célja, hogy az ismereteket könnyen érthetővé és széppé tegyük, miközben igyekszünk olyan pontosak maradni, amennyire csak a tudomány megengedi. 2021 elején a Kurzgesagt csapata negyvenfősre bővült, e cél érdekében dolgozik, miközben a csatorna 17 millió követőt ér el, és összesen harmincmilliószor nézik meg a videóinkat havonta. De ha létezik ez a nagy platform, vajon miért vállaltam a könyvírás szörnyű megpróbáltatásait? Nos, bár a legsikeresebb videóink némelyike éppen az immunrendszerrel szól, mindig is zavart, hogy nem volt lehetőségem e csodálatos témát olyan mélységben bemutatni, amit megérdemelne. Egy tízperces videó egyszerűen nem a megfelelő médium erre a célra. Vagyis e könyv célja, hogy az immunrendszerrel folytatott, évtizede tartó szerelmi viszonyomat mások által is megérthető és remélhetően hasznos, illetve szórakoztató formába öntsem. Így ön is megismerheti azt a lenyűgöző és csodálatos összetettséget, amely lehetővé teszi, hogy nap mint nap életben maradjon.

Sajnos az immunrendszer nagyon bonyolult, bár e jelző közel sem írja le a valós helyzetet. Ha az immunrendszert simán bonyolultnak nevezzük, az olyan, mintha a Mount Everest megmászását a természetben tett laza sétának tartanánk. Annyira intuitív, mintha a német adótörvényeket olvasnánk kínaiul egy könnyed vasárnap délután.

Az immunrendszer az általunk ismert legösszetettebb biológiai rendszer, az emberi agyat nem számítva.

Minél vastagabb immunológiakönyvet olvasunk, annál több egymásra épülő részlet bukkan elő, annál több kivételre derül fény, annál aprólékosabbá válik a rendszer, és annál specifikusabb lesz, mintha külön-külön felkészülnie minden elképzelhető eshetőségre. Az immunrendszer minden egyes elemének számos különböző funkciója, illetve szakterülete van, amelyek átfedik és befolyásolják egymást. De még ha sikerül is keresztülverekednünk magunkat ezeken az akadályokon, és még mindig meg akarjuk érteni az immunrendszer működését, egy újabb problémába fogunk ütközni: az emberekbe, akik vizsgálják.

Az életünket mindennap könnyebbé tévő, elképesztően modern világunk alapjait végtelen kíváncsisággal megáldott tudósok fektették le, ezért pedig nagy hálával tartozunk nekik. Sajnos azonban a kutatók sokszor nem valami jól választanak nevet az általuk felfedezett dolgoknak, és a kívülállók számára érthetetlen nyelvezetet használnak, amikor róluk értekeznek. Ebből a szempontból az immunológia tudománya az egyik legrosszabb példa az összes tudományterület közül. Az egyébként is roppant mód összetett területet tovább bonyolítják az olyan kifejezések, mint a fő hisztokompatibilitási, I-es és II-es osztályú, illetve gamma és delta T-sejtek, interferon-alfa, -béta, -gamma és -kappa, a komplementrendszer, illetve a C<sub>4</sub>b<sub>2</sub>a<sub>3</sub>b-komplexhez hasonló elemek. Ezek egyike sem teszi csábítóvá az immunológia-tankönyvek kézbe vételét, hogy önszorgalomból kezdjünk ismerkedni az immunrendszerrel. De még ha ezt az akadályt nem vesszük is figyelembe, az immunrendszer sok különböző eleme közötti komplex kapcsolatrendszer, számtalan kivétellel és önkényes szabállyal, önmagában is kihívást jelent. Az immunológia még a közegészségügyben dolgozók, illetve az immunológiával foglalkozók, sőt a legkiválóbb szakértők számára is nehéz.

Mindezek miatt szörnyen nehéz elmagyarázni az immunrendszer működését. Ha túl messzire megyünk az egyszerűsítésben, akkor megfosztjuk a tanulót az evolúció szépséges és csodálatos zsenialitásától, amely a szinte végtelen komplexitás révén harcol az élőlények legfontosabb problémáival. Ha viszont túl sok részletet érintünk, a követése