

DANIEL R. BROOKS

Kettős veszély

A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS ÉS A GYORSAN TERJEDŐ FERTŐZŐ BETEGSÉGEK KAPCSOLATA

A DAMA-protokoll

Dokumentáció, Értékelés, Megfigyelés, Cselekvés – ez egy széleskörű és proaktív akcióterv a globális klímaváltozás és az annak nyomán kialakuló fertőző betegségek ellen. Az alább részletezett tervezet kiegészíti azt a jelenleg is használatos gyakorlatot, amely a betegségek felbukkanása utáni időszakra fókuszál.

Dokumentáció

Nem készíthetünk előremutató irányelvet annak érdekében, hogy megvédjük a társadalmat a betegségektől anélkül, hogy tudnánk, milyen mértékű fenyegetés várható. Ahhoz, hogy proaktívak lehessünk, először nekünk kell a kórokozókat megtalálnunk, mielőtt ők találnak meg minket.

Azokat a biológusokat, akiket arra képezték, hogy bolygónkon felismerjék, dokumentálják és jellemezzék a fajokat, taxonómusoknak nevezzük, a jelenleg e szakterületen globálisan jelentkező hiányt pedig „taxonómiai gátnak”. A taxonómiai meghatározás sosem egyszerű feladat, erre az egyik legújabb példa az, hogy a Lyme-kór okozója Észak-Amerikában ténylegesen nem egy, hanem két *Boriella* nemzettségbe tartozó, fajonként eltérő tüneteket produkál. A megfelelő faji azonosítás hiánya ez esetben nehezítette a gyógyítást, ezért növekedtek az egészségügy járulékos költségei, és néhány esetben a betegek is egészségügyi kockázatnak voltak kitéve.

A taxonómusokat arra készítették fel, hogy felismerjék a váratlant. Amikor olyan veszéllyel nézünk szembe, amiről keveset tudunk, vagy éppenséggel nincs elegendő időnk arra, hogy megismerjük, pontosan erre a képességre van szükségünk.

Ha a DAMA-protokoll életbe lép, akkor minden ország annyit tesz, amennyit a humán és technológiai erőforrások lehetővé tesznek. De mindezek előtt előzetes értékelést kell végeznünk annak érdekében, hogy az eddig nagyrészt láthatatlan kórokozók diverzitását felmérjük. Lesznek majd olyan kutatók, akik olyan patogéneket ismernek fel, amelyeket már korábban kimutattak bizonyos helyekről, és bizonyos gazdaszervezetekből, illetve lesznek olyanok is, akik olyanokat azonosítanak, amelyeket soha nem jelentettek semmilyen gazdaszervezetből vagy helyről. És végül előfordulhat az az eset is, amikor már rég eltűntek hitt kórokozók jelennek meg újból. Dokumentálni a kórokozók létezését ezek után is fontos lesz, noha korántsem elegendő.

Értékelés

Egy olyan világban, amelyet a klímaváltozás formál, nem akadályozhatjuk meg a kórokozók egyre növekvő elterjedését. Ellenben felkészültek lehetünk arra az időszakra, amikor majd szembe kell néznünk velük. Ez a fenyegetés értékelése.

A fenyegetés értékeléséhez minél többet kell tudnunk azokról a fajokról, amelyek

eddig is körülöttünk voltak, továbbá azokról, amelyeket még nem ismerünk. Meg kell tudnunk, hogy a patogének hol, milyen gazdaszervezetben fordulnak elő. Az ismert kórokozók esetében a fajnév egy további információforrás – attól függően, hogy milyen széles körben tanulmányozott a kórokozó – ahhoz, hogy milyen módon kerülnek át egyik gazdaszervezetről a másikra, milyen tüneteket produkálnak fertőzés esetén, a gazdaszervezet melyik testrészén élősöködnék, a világ mely részén fordulnak elő, milyen mortalitással és morbiditással járnak, milyen a genetikai változékonyságuk, milyen típusú ökoszisztémákban terjedtek el, továbbá mely országokban vagy régiókban milyen betegséget okoztak, valamint azt, hogy eddig mely gazdaszervezetekben fordultak elő. Ezért nagyon fontos, hogy a fenyegetés megfelelő értékeléséhez minél több információt gyűjtsünk, aminek az alapja a megfelelő taxonómiai dokumentáció.

Viszont, ha a fajok nagy része ismeretlen számunkra, akkor hogyan tudjuk ezeket a veszélyforrásokat értékelni?

Charles Darwin azt állapította meg, hogy minden faj összeköttetésben áll egymással az élet fáján – ami a leszármazásbeli kapcsolatokat tartalmazza – keresztül, és ez vezetett ahhoz a kijelentéséhez, hogy a hasonlóságok oka a közös ősből keresendő, nem pedig abban, hogy azonos környezetben élnek az élőlények. Ez számos evidenciával magyarázza azt, hogy a kórokozók ökológiai és viselkedésbeli jegyei evolúciós szinten nagyon konzerváltak. Azokat az evolúcióbiológusokat, akik magukat filogenetikusként (a filogenetika a leszármazástani kapcsolatokat vizsgálja a fajok között) hívják, arra képezték, hogy felfedezzék az élet fájának azon ágait, amelyek bizonyos fajok csoportjához köthetők. Szintén a filogenetikusként köszönhetjük

azt, hogy ezeket az új felfedezéseket olyan kontextusba helyezik, amely számunkra lehetővé teszi, hogy alapvető biológiai következtetéseket vonjunk le az általunk tanulmányozott organizmusokról. Ez a tudomány, amit történeti ökológiának hívunk, közel 30 éve kezdett el fejlődni és vált az evolúcióbiológia esszenciális részévé.¹ Több mint 1 évtizeddel ezelőtt Brooks és McLennan könyve² mutatott rá arra, hogy a filogenetikai információ hogyan és milyen módon lehet kritikus eleme a biodiverzitást kutató vizsgálatoknak, beleértve azokat, amelyek a klímaváltozással és a betegségekkel foglalkoznak. Ezen publikáció sikeressége alapozta meg a Stockholm Paradigma létrejöttét.³ Röviden összefoglalva, a filogenetikai információ felhasználása lehetővé teszi számunkra, hogy felkészüljünk a jövőre, azáltal, hogy tudjuk, hogy a kórokozók a múltban evolválódott konzervatív jellemzői a jövőben is jelen lesznek bennük.

- 1 Brooks, Daniel R.: Historical ecology. A new approach to studying the evolution of ecological associations. = *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1985. No. 1. 660–680. p.; *Wanntorp, H.-E. et al.*: Phylogenetic approaches in ecology. = *Oikos*, 1990. No. 1. 119–132. p.; *Brooks, D. R. – McLennan, D. A.*: Phylogeny, Ecology and Behavior. A Research Program in Comparative Biology. Chicago, 1991. XIII, 434 p.; *Uők*: Parasitology. Parasites and the Language of Evolution. Washington, 1993. X, 429 p.; *Uők*: The Nature of Diversity. An Evolutionary Voyage of Discovery. Chicago, 2002. (továbbiakban: Brooks – McLennan, 2002.) XIII, 668 p.
- 2 Brooks – McLennan, 2002.
- 3 Brooks, D. R. et al.: Finding them before they find us. Informatics, parasites and environments in accelerating climate change. = *Comparative Parasitology*, 2014. No. 1. 155–164. p.; *Hoberg, E. P. – Brooks, D. R.*: Evolution in action. Climate change, biodiversity dynamics and emerging infectious disease. = *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 2015. Április. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2013.0553> (Megtekintve: 2021. június 11.); *Hoberg, E. P. et al.*: An Integrated Parasitology. Revealing the Elephant Through Tradition and Invention. = *Trends in Parasitology*, 2015. No. 4. 128–133. p.

Nagy hagyománya van annak, hogy ezeket az evolúció által erősen konzervált jellegeket hasznosítsuk a mezőgazdaságban, habár ezt így ritkán ismerik el. Annak érdekében, hogy megállítsuk a betegségek terjedését, gyakran az ökológiai diverzitás bizonyos elemeire kell koncentrálnunk. Például amikor azt mondjuk malária, akkor a legtöbb ember a szúnyogokra gondol. Ez azért van, mert a malária minden típusát a világ összes táján a szúnyogok terjesztik. Ez azt jelenti, hogy felesleges időt és a pénzt pazarolunk azelőtt, mielőtt olyan gyakorlatot tudnánk kifejleszteni, ami csökkenti az emberek és a maláriát terjesztő szúnyogok találkozási valószínűségét. Annak fényében, hogy ismerjük egyes maláriát terjesztő szúnyogok és maláriát okozó *Plasmodium* fajok rendszerét, megtervezhetjük a reakciónkat bizonyos esetekre, de azzal is pozitív és költséghatékony eredményt érhetünk el, ha az eddig ismert, evolúció által konzervált maláriafertőzés jellegeket vesszük figyelembe.

Természetesen a filogenetika ilyen felhasználása nem tesz minket tévedhetetlenné. A kórokozók nem minden – a fertőzés szempontjából fontos – karaktere evolúciósan konzervált. Ennek eredményeként az egyre növekvő tudástárunkat kell felhasználnunk arra, hogy jobban megérthessük az ökológiai hátterét annak, ami ezt a hatalmas diverzitást formálja. Ez a fajta információ a fenyegetések értékelése esetében lassan növekszik, de egyre inkább létfontosságú. Végül, a kórokozókról összegyűjtött tudásunk alapjául szolgáló matematikai modellek segítségével érthetjük meg jobban az evolúció dinamikáját és a kialakuló fertőzések ökológiai megközelítését. Vajon a tapasztalataink összecsengenek azzal, amit az elméleti modellektől várunk? És ha nem, akkor miben különböznek tőlük, és milyen finomításokat kell végeznünk rajtuk?

Megfigyelés

A megfigyelés kimutatja, hogy mennyire vagyunk felkészültek egy elkerülhetetlen patogén támadás ellen.

Dokumentáljuk azokat a kórokozókat, amelyekkel együtt élünk, és ami a legfontosabb: azokat, amelyek még az utunkba kerülhetnek. Ez a folyamatosan növekvő információhalmaz lehetővé teszi számunkra, hogy nyomon követhessük a kórokozókat és csillapítsuk a hatásukat. Alexis de Tocqueville után szabadon mondván: az egészségügyi biztonság ára az örök éberség. A dokumentációs törekvéseink egyfajta korai jelzőrendszerként szolgálnak, figyelmeztetve minket arra, ha egy potenciálisan veszélyes faj kerül velünk kapcsolatba.

Alapvetően egy patogén elterjedése széleskörűbb annál, mint annak a betegségnek az elterjedése, amit okoz. Ami miatt hiányérzetünk van, az, hogy amikor a kórokozók épp nem okoznak komoly problémákat, akkor nem foglalkozunk a terjedésükkel, pedig az nem elégséges, hogy tudjuk, hogy „vannak” és veszélyesek „lehetnek”. A betegségeket okozó organizmusok és a megjelenésük bonyolult tér- és időbeli mintázattal jellemezhetőek. Gyakran olyan helyen jelennek meg, ahol az abiotikus tényező, azaz a környezeti adottságok és az élőlényegyüttesek rövid idejű kedvező együttállása valósul meg. Ebből következik az, hogy akkor kell detektálnunk a kórokozókat, amikor azok „épp úton vannak”. Ezek nélkül az információk nélkül nem érthetjük meg azokat a biológiai és nem biológiai tényezőket, amelyek a patogének megjelenését irányítják, illetve abban játszanak szerepet, hogy egy lappangó kórokozó járványt váltson ki. A patogének térbeni mozgása egy rendkívül fontos tényező a fertőző betegségek terjedésében. Egy élőlényközös-

ség táplálkozási kapcsolataiban bekövetkező változás addig egymás számára ismeretlen kórokozókat és gazdaszervezeteket hozhat kapcsolatba egymással. Két ökoszisztéma határán is terjedhetnek a patogének azáltal, hogy az új ökoszisztémába érkeve a kórokozó egy új, és fertőzésre fogékony gazdaszervezettel találkozik, amelyet eddig a korábbi ökoszisztémában létezve nem tudott megfertőzni, hiszen nem találkozott vele. A földtörténet során a klímaváltozás játszotta a legnagyobb szerepet a faji elterjedési határok átrendeződésében, ezáltal az ökoszisztémák keveredésében, illetve lehetőséget teremtett a lappangó betegségek megjelenésében.

Természetesen azokra a gazdaszervezetekre is figyelmet kell fordítanunk, amelyekről tudjuk, hogy kockázatos kórokozókat terjesztenek, illetve fordítva is, a magas kockázatot jelentő kórokozók minden egyes gazdafajban való előfordulását nyomon kell követnünk. Persze nem figyelhetünk mindenre ugyanakkora erőbefektetéssel, ezért kell az értékelési szakaszban összegyűjtött adatokat egyfajta egészségügyi osztályozási normaként hasznosítanunk.⁴ Ebben a nemrégiben született matematikai modellek nagy segítséget nyújthatnak.⁵ A kockázatot jelentő kórokozók közül – beleértve a vek-

torákat –, azokra kell összpontosítani az erőinket, amelyekkel még nem kerültünk kapcsolatba, s amelyek látszólag növelik a földrajzi elterjedésüket és az ökológiai forrásbázisukat. Más szóval: az ökológiai értelemben vett specialisták – patogének és gazdák egyaránt, amelyek épp azon vannak, hogy generalistává váljanak –, nagyobb eséllyel fognak újabb gazdáknak megjelenni, ezáltal emelve a komoly betegségek kockázati tényezőjét.

A technológiai fejlődés egyre inkább lehetővé teszi, hogy sikereesebbek legyünk a detektálásban. Emellett az egyre gyarapodó filogenetikai és ökológiai kapcsolatot tartalmazó adatbázisunk is növekszik, így sokkal költségkímélőbb tudjuk megfigyelni a veszélyforrásokat.

Cselekvés

A hiányos felkészültségünk még nem mentesít minket az alól, hogy cselekedjünk.

A tudományos információ önmagában nem elég. Fel kell használnunk azt az információt, amit a dokumentációs, értékelő és megfigyelési szakaszokból nyertünk, és cselekednünk kell. Azoknak a döntéshozóknak, akiknek feladata a közjó védelme, mindent meg kell tenniük azért, hogy a legjobb és legfrissebb tudományos információkat megosszák. A tudomány eredményeit közérthető módon kell bemutatni, annak érdekében, hogy a döntéshozók képesek legyenek egyensúlyt találni a tudományos értékelés és a többi, prioritást élvező, társadalmi és gazdasági intézkedés között.

Előfordulhat, hogy lesznek olyan országok, amelyek nem engedhetik meg maguknak, hogy mindent dokumentáljanak, legalábbis nem rövid időintervallumon belül. Olyanok is lesznek, amelyek nem tudják összeilleszteni a szerzett információkból a teljes értékeléshez szükséges képet. Fel-

4 Az egészségügyi osztályozás fogalmát először ebben használták ilyen formában Brooks, D. R.: Triage for the Biosphere. In: The Brundtland Commission's Report – 10 Years. Ed. G. B. Softing et al. Oslo, 1998. 71–80. p.; Brooks, D. R. – Hoberg E. P.: Triage for the biosphere. The need and rationale for taxonomic inventories and phylogenetic studies of parasites. = *Comperative Parasitology*, 2000. No. 1. 1–25. p.

5 Brooks, Daniel R. – Hoberg, Eric P. – Boeger, Walter A.: The Stockholm Paradigm. Climate change and emerging disease. Chicago, 2019. XI, 409 p.; Araujo, S. B. L. et al.: Modeling the Stockholm Paradigm: ecological fitting facilitates host switching in sloppy fitness space. = *PLoS One*, 2015. No. 10. e0139225, 10.1371/journal.pone.0139225 (Megtekintve: 2021. június 14.)



Covid-19 workshop előadói: Jody Jensen, Magasházi Anikó, Galambos Katalin, monitoron: James M. Skelly, Ortwin Renn, Schöpflin György (Fotó: Katona Linda, 2020.)

kell ismernünk, hogy az információhalmazunk sosem lesz teljes, és sok esetben csak töredékekkel rendelkezünk, viszont ez nem ok arra, hogy ne tegyünk semmit.

A DAMA-protokoll használata: mit tehetnek a nemzetállamok?

Reagálni a válságra mindig költségesebb, mint a megelőzés. Általában nem tudjuk átirányítani a támogatást a kríziskezelésből a megelőzés irányába. Ehhez egy teljesen új, hosszú távú, állandó támogatási rendszer kialakítására van szükség a fertőzések terjedésével kapcsolatos munkahelyek, az oktatás és az ezekhez kapcsolódó infrastruktúra számára.

Sajnálatos módon nincs olyan teendő, ami ne kerülne több pénzbe a nemzetállamok számára. Viszont túl vagyunk már azon a ponton, ahol a rövidtávú takarékoskodás alternatíva lehet. A DAMA-protokoll nemzeti szinten történő alkalmazása és a nemzetközi DAMA-tevékenységekben történő részvétel nem olcsó, de annak mellőzése végzetes hiba.

A globális klímaváltozás és annak nyomában kialakuló fertőzések nem ismernek sem országhatárokat, sem pedig nemzeti érdekeket. A közeljövőben minden egyes nemzeti akciótervnek el kell ismernie, hogy a fenyegetés épp úgy érkezik a határon kívülről, mint belülről. E terveknek magukban kell foglalni a nemzeti és nemzetek közötti együttműködéseket is.

Kihívást jelent egy olyan világhoz alkalmazkodni, ahol a klímaváltozás valós és hosszútávú jelenség, amely szintén hosszútávú elkötelezettséget igényel az oktatás, a humán kapacitás és az infrastruktúra megreformálása szempontjából. Ezek a tevékenységek nem rövidtávú beavatkozások, hanem inkább állandó szociális befektetést igényelnek az oktatásba, a tudományba és a klinikai praktikumba a következő generációnyi időn belül.

Úgy hisszük, hogy a jövőbeni költségmegtakarítás egy olyan környezetben lesz elérhető, ahol az anyagi terheket a köz- és magánintézmények megosztják, hiszen közös érdekük a járványok hatásának csillapítása. A fejlett országoknak, mint amilyen Magyarország, nagymértékben ki kell terjesztenie a rendelkezésére álló humán és technológiai erőforrásait.

A nemzetállamok feladatai

Csak annyit vehetünk ki, amennyit beleteszünk.

A fejlett országoknak, mint amilyen Magyarország, rendelkezésre áll az alapvető humán erőforrás és a technológiai infrastruktúra. Az ilyen országokban nem ezeknek a megteremtése a kérdéses, hanem a meglévő források alkalmazása és beolvasztása az oktatásba, a munkaerőpiacba és az esszenciális infrastruktúrába. Természetesen nem áll rendelkezésre korlátlan mennyiségű anyagi forrás, tehát minden egyes államnak meg kell határoznia azt a keretösszeget, amit erre tud fordítani. Arra viszont nem árt emlékeztetni magunkat, hogy ha a rövid távú takarékosságot választjuk, akkor hosszú távon sokkal nagyobb veszélynek tesszük ki magunkat.

Alapvető szolgáltatások

Emberi erőforrások – az evolúciobiológusok, főként a taxonómusok, filogenetikusok, történeti ökológiával foglalkozók, akik a kórokozók és vektoraik széles skálájára specializálódtak. Olyan kutatók, akik a „nagy adathalmazok” kezelésének a specialistái, biológusok, akik összeköttetést biztosítanak a döntéshozó szervekkel. Olyan molekuláris biológusok, akik módszertani újítások bevezetésével felgyorsítják és mellette csökkentik a dokumentációs, értékelő és monitoring fázisok költségeit. Döntő többségükben egyetemi diplomával rendelkező, magasan képzett PhD-hallgatók, vagy posztdoktori kutatók.

Infrastruktúra – a szükséges infrastruktúra magában foglalja a múzeumi gyűjteményeket, a molekuláris laborokat, a számítógépes és egyéb tároló kapacitásokat, a DAMA-protokoll alapján dolgozó specialisták terepi felszerelését, illetve a következő specialista generációt kinevelő oktatók munkájához szükséges infrastruktúrát.

Költségmegtakarítás

Emberi erőforrások – olyan emberek alkalmazása, akiknek nincs emelt szintű végzettségük – esetleg valamilyen szintű szakképzést kaptak –, sok esetben az érettségi a legmagasabb képesítésük, viszont professzionális kutatók mellett dolgoznak, akár laboránsként vagy preparátorként. Az ilyen úgynevezett parataxonómusok nagy segítséget nyújthatnak a dokumentációs fázisban, vagy akár a paraökológusok az értékelési fázisban.



4. Blue Sky konferencia, az előadók balról jobbra: Ilan Chabay, Guido Caniglia, Daniel Brooks, Jody Jensen (Fotó: Gaál Bence, 2019.)

Saját tőke (ingyenes)

Közösségi tapasztalat – a szervezett közoktatás magában foglalja a helyi lakosok és a diákok bevonását a tudományos kutatásba. Ilyen program például a Vector-Analytica, amely rengeteg ingyenes és gyorsan hozzáférhető anyagot produkál.⁶ A civilek megnyerése és bevonása az ilyen kormányzati programokba hatalmas támogatást jelenthet.

Nemzetek közötti erőfeszítések: kooperáción alapuló költségmegosztás

Ahogy azt korábban említettük, a jövőbeni költségmegtakarítás egy olyan környezetben lesz lehetséges, ahol az anyagi terheket a köz- és magánintézetek kooperáció útján megosztják, hiszen közös érdekük a kialakuló járványok hatásának

⁶ <http://www.vectoranalytica.com> (Megtekintve: 2021. június 14.)

csillapítása. A veszély jellegéből adódóan a DAMA bármely aspektusát érintő nemzetközi kooperáció elengedhetetlen. A teher megosztása segítheti a költségek csökkentését és a folyamat felgyorsítását, hiszen nem lehetséges az összes ország számára, hogy specialistákat képezzen ki minden egyes kórokozó és gazdaszervezet felderítésére, és még anyagi támogatásban is részesítse őket.

Óvatosságra intés: alapvető kulturális váltás

A DAMA-protokoll eddig példa nélküli kooperációt igényel az egyetemek, kutatási intézmények, civil szervezetek, továbbá a lokális és a regionális kormányzati szervek között nemzeti és nemzetközi szinteken egyaránt. Nem lesz egyszerű folyamat, de ha az emberiséget fenyegető veszély mértékére gondolunk, akkor a megvalósítása elengedhetetlen.

DANIEL R. BROOKS:
DOPPELTE GEFAHR.
BEZIEHUNG ZWISCHEN DEM
GLOBALEN KLIMAWANDEL UND
DER SICH SCHNELL VERBREITENDEN
ANSTECKENDEN KRANKHEITEN

Zu einer der Folgen des Klimawandels gehören die schnell verbreitenden Krankheiten herbeigeführten Krisen. Dies gefährdet besonders die in den Städten in immer größerer Zahl lebenden Population. Man braucht im Interesse der Beschränkungen der unerwünschten Folgen von den der auf lokalen Erfahrungen beruhenden Kenntnissen über die raffiniertesten molekularisch-biologischen Methoden hinaus bis zur Satellitkontrolle vielerlei Mittel. Unserer Meinung nach wird im Mosaikwort DAMA die zu befolgende Methode zusammengefaßt: Document, Assess, Monitor, Act, d. h. wir haben die Erscheinungen zu dokumentieren, bewerten und anhaltend beobachten, wir müssen dann handeln.

DANIEL R. BROOKS:
DOUBLE JEOPARDY.
THE LINK BETWEEN GLOBAL
CLIMATE CHANGE AND
RAPIDLY SPREADING
INFECTIOUS DISEASES

One of the consequences of climate change is the series of crises caused by rapidly spreading infectious diseases. This is a particular threat to the increasing populations. A wide range of tools are needed to limit the spread of diseases, from knowledge based on local experience to the most sophisticated methods used in molecular biology, and satellite monitoring. In our opinion the method to be followed can be best summarised by the DAMA acronym Document, Assess, Monitor, Act, that is, we should document, assess and continuously monitor the phenomena, and in turn we should act.