

Sigrid Bratlie, Hallvard Kvale: A jövő embere. A biotechnológiai forradalom és annak hozadéka az emberiség számára. Typotex, 2022; ISBN 9789634931669

„Csalódván a majmokban, Isten létrehozta az embert. Utána már felhagyott a kísérletezéssel.” (Apokrif Mark Twain nyomán. A továbbfejlesztésről szól a könyv.)

„Egy ember létrehozása rendkívül bonyolult folyamat.”

„Az emberi genetika felfoghatatlanul bonyolult.” (Szerencsére ez nem teszi lehetetlenné a megismerését – csak kegyetlenül hosszú, rengeteg munkával és útkeresésekkel teli kutatóúttá. Erről szól a könyv is.)

„A fejlődés egyre gyorsabban halad, egyre messzebbre, egyre inkább ismeretlen területre visz bennünket.” (S mi tarthat vissza attól, hogy az új lehetőségekből új veszélyeket is teremtsünk?)

„A biológia meghekkelésének képessége az élet minden szakaszában új aktualitással és új jelentőséggel tölti meg ezt a nagy kérdést. Válaszút előtt állunk: azok a technológiák, amelyek egyre inkább lehetővé teszik saját evolúciónk befolyásolását és irányítását, reményteljes lehetőségeket hoznak magukkal, ugyanakkor alázatot és óvatosságot is követelnek. (Sajnos e két utóbbi nagyon nem jellemző modern világunkra. Ideje lenne észhez térni – de hogyan?)

„A határok kitolása kihívásokkal fog járni, különösen azért, mert a betegségek kezelése és a különféle tulajdonságok tökéletesítése közötti határok elmosódnak.” (Ez pedig szinte jól meg sem oldhatónak ígérkező etikai, és azoknak megfelelő jogalkotási problémák felmerülésével fenyeget.)

(Forrásmegadás nélküli idézetek a könyvből, kiemelések a recenzió szerzőjétől.)

A szerzőkről: Sigrid Bratlie PhD-fokozatot szerzett molekuláris biológiából az oslói Norvég Rádiumkórház Rákkutató Intézetében. 2015-ben megkapta a Király Aranyérmét – ezt a kitüntetést kimagasló fiatal tudósoknak adják. Dolgozik a Norvég Biotechnológiai Tanácsadó Testületnek, jelenleg különleges tanácsadója a Norvég Ráktársaságnak és a Norvég Agrár-gazdasági Szövetkezeteknek.

Hallvard Kvale PhD-fokozatot szerzett jelenkori történelemből az Oslo Egyetemen. Az oslói Társadalomkutató Intézet kommunikációs vezetője, előzőleg a Norvég Biotechnológiai Tanácsadó Testület kommunikációs vezetője volt. (Forrás: <https://booksfromnorway.com/books/1980-reinventing-human>)

A Typotex ajánlójából: „Bratlie és Kvale azt az utóbbi évtizedekben bekövetkezett elképesztő biotechnológiai fejlődést mutatja be érthető és szemléletes módon, amely utat nyit az emberiség számára, hogy az élet valamennyi szakaszában felülírja a biológiát, átvegye az irányítást a saját evolúciója felett, és akár az örök élet lehetőségéről is álmodozzon. Ez a fejlődés azonban egyszerre izgalmas és ijesztő. Ki ne szeretné, hogy a megszületendő gyermeke szuper egészséges legyen és szuper képességekkel rendelkezzen? De ki mondja meg, hogy hol a határ? Hogyan és mire használhatják a dizájnergyerek – az akár emberfeletti – képességeiket? Milyen lesz az a világ, ahol örökké egészségesek maradhatunk és több száz évig élhetünk? A szerzők sorra veszik az új technológiák alkalmazása kapcsán felmerülő, beláthatatlan következményekkel járó etikai és társadalmi kérdéseket is.”

Alighanem pontosan jellemezzük a könyvet mondván, hogy „jó középiskolás fokon” ad képet az emberi genetika szerepéről, annak kutatásáról, a géntechnológiák távlatairól, ígéreteiről és veszélyeiről – egyebek közt úgy, hogy összetett biológiai gépezetünket egy számos alkalmazással működő okostelefonnal szemlélteti, hiszen e jószágot mindenki többé-kevésbé ismeri, legalábbis a használata erejéig, s így remélhetőleg érti a magyarázatot is. Ez a szemléltetés eleve elfogad némi felületességet, hiszen az okostelefont is blackboxként ismerjük: olyan kütyüként, amelynél a bemenő vezérlést – bökdössük az érintőképernyő ikonjait – meg tudjuk feleltetni a szolgáltatásának – jó esetben teszi, amit várunk tőle –, de fogalmunk sincs a kettő közötti mechanizmusról. Ugyanez áll a hivatkozott alkalmazásokra is. A fentebb említett norvég könyvajánló oldal megfogalmazásában: „A könyv célja hogy az olvasók értsék a biológiát és a biotechnológiát, s ezzel legyen egy jó kiindulópontjuk, hogy a saját véleményükkel részt vegyenek a nyilvános vitában.”

Erről szól: „Bizonyos természetadta feltételek teljes mértékben megkerülhetetlenek voltak mostanáig: például hogy egy gyermek fogantatásához egy nőre és egy férfira van szükség, hogy a szerencse és a balszerencse nagyban meghatározza, milyen szelvényt dob számodra a genetikai lottó, és hogy előbb vagy utóbb mindannyian meghalunk. De muszáj így lennie? A modern biotechnológia hamarosan a feje tetejére állítja a jól ismert biológiai igazságokat. Milyen messze vagyunk attól, hogy az, ami ebben a pillanatban science fictionnek hangzik, valósággá váljon? És mit jelent az egyén és a társadalom számára, hogy egyre nagyobb befolyással és irányítással rendelkezünk a biológiánk felett?”

Ebben a könyvben bemutatjuk, hogyan működik a testedet alkotó, hihetetlenül fejlett gépezet, és hogy az új ismeretek és új az eljárások miként teszik lehetővé az emberi biológia felülírását az élet valamennyi szakaszában. Emellett arra buzdítunk, csatlakozz hozzánk, és velünk együtt gondold végig, hogy ezek az új lehetőségek milyen etikai kérdéseket vetnek fel a fogantatással, az étellel és a halállal kapcsolatban. Közösön hatással lehetünk arra, milyen lesz a jövő embere.” (Háááát... de ne öljük meg a reményt...)

„Repül a nehéz kő” – A könyv világos képet ad arról, hogy a biotechnológia forradalma egyaránt szolgál az emberiség legígéretesebb és legveszélyesebb innovációival, azt pedig

tudnunk kell hozzá: amit egyszer stabilan, azaz megismételhetően létrehozta, az többé nem tehető meg nem történtté, a jogi tilalom pedig minden kerítések legingatagabbja, és sokszor csak pénz kérdése megkerülni.

A mondandó íve:

Prológus: Az élet előadása (magyarán a bevezető)

I. Az élet kezdete – fejezetei: 1. A kiindulópont / 2. Amikor segítségre van szükség ahhoz, hogy (egészséges) gyermeked szülessen / 3. A jövő gyermeke / 4. Szép új világ?

II. Az élet közepe: 5. Élő szuperszámítógép vagy / 6. Az élet forgatókönyvének olvasása / 7. A saját tested meghekkelése / 8. Genetika határok nélkül?

III. Az élet vége: 9. Miért halunk meg? / 10. Egészséges öregedés / 11. A kor nem akadály / 12. Ég veled, öregedés?

Epilógus: És most?

„Végén csattan az ostor” – ez jól illik az epilógusra, amely tökéletesen összefoglalja a legfőbb pontjait a ma még át sem látható lehetőség- és problémahalmaznak, amely elé a biotechnológiák fejlődése állítja az emberiséget. Előjáróban idézzük ide a nyitó és a záró bekezdést:

„*Mi is valójában az ember? A biológia meghekkelésének képessége az élet minden szakaszában új aktualitással és új jelentőséggel tölti meg ezt a nagy kérdést.* Nem vagyunk az evolúció végpontja. Az emberiség folyamatosan fejlődik, így történelmietlen és értelmetlen volna azt állítani, hogy a 2020-as év embere a végső pont, ahol meg kellene állnia a fejlődésnek. (Ez a kijelentés – a jól csengő frázis kedvéért – kissé talán túlzó, legalábbis történelmileg rövid távon. Gondoljunk bele, mennyit is változott az ember biológiai felépítése az utolsó néhány tízezer évben. Az életmód természetesen befolyást gyakorol a népek testi jegyeire – éghajlat, táplálkozás, életvitel –, de minden ember a Földön ma is ugyanahhoz a fajhoz tartozik, legfeljebb kisebb eltérésekkel, mint a külseje, vagy hogy bizonyos rendellenességek elsősorban bizonyos népek, népcsoportok körében fordulnak elő, ahogy a sarlósejtes vérszegénység vagy épp a laktóztolerancia. Feltehetően ma meg sem mondható, hány generációnak kell lefutnia, amíg maga a törzsfajlás új minőséget állít elő. Az evolúció létének elfogadásával szükségképp elfogadjuk, hogy annak nem lehet végpontja, de jól látni, hogy az emberi törzsfajlás lassú folyamat, s hacsak az emberiség nem csinál valami romboló őrültséget, pl. globális nukleáris vagy biológiai szennyezést, akkor az is marad – Osman P.) Ugyanakkor *válaszút előtt állunk:* azok a technológiák, amelyek egyre inkább lehetővé teszik saját evolúciónk befolyásolását és irányítását, reményteljes lehetőségeket hoznak magukkal, ugyanakkor alázatot és óvatosságot is követelnek.”

„*Hol kellene hát húzódnunk a határoknak?* Bár az általunk tárgyalt témák közül több is valóságos science fictionnek tűnhet, *ezek a kérdések közelebb vannak, mint sokan gondolják.* Ha tetszik, ha nem, a biotechnológia alakítani fogja a jövőnket, és jelen pillanatban is számos fontos döntés születik. A ránk váró viták megkövetelik a biológiánk és a szóban forgó technológiák alapvető megértését, és ezzel egyidőben a lehetőségek és következmények ala-

pos etikai átgondolását. *Ebben a könyvben megpróbáltunk alapot adni mindkettőhöz. Most azt reméljük, te is csatlakozol annak megvitatásához, hogy merre vezessen tovább ez az út.* – Húzódik némi határozott optimizmus ama feltevés háttérében, hogy az emberiség ösztársadalmi vita keretében dönthet majd arról, miként alakítsák sorsát és életét a biotechnológiák adta lehetőségek.

Nézzünk kissé bele a részletekbe!

Genetikánk az okostelefon tükrében: „A biológiánk működésének megértéséhez segítséget nyújthat, ha az okostelefonokat vesszük példaként. A telefonod számos olyan alkalmazást, avagy szoftvert tartalmaz, amelyek bizonyos funkciókat látnak el. Az applikációkat jókora mennyiségű forráskód vezérli, amelyet a számítógépes programozó egy, a telefonod számára érthető programozási nyelv segítségével írt. A forráskód tehát az alkalmazások alapja, amely meghatározza, hogy mire tudod használni a telefonodat. Az alábbi egyszerű modellel szemléltethetjük a rendszert:

Programozási nyelv (forráskód) → Szoftver (alkalmazások) → Hardver (telefon).

Többé-kevésbé te magad is ugyanezen elv szerint működsz. *Tested sejtjei egyfajta hardverként operálnak, amelyet egy sor, génnek nevezett alkalmazás irányít. Ezek a gének a DNS forráskódba vannak programozva.* A fenti modell átírásával tehát a következőképpen mutathajuk be a szervezeted működését:

DNS → Gének → Sejt

Ez az elv nemcsak rád érvényes, hanem valamennyi élőlényre. Hogy megértsük, hogyan is működik ez, át kell esnünk egy genetikai gyorstalpalón.”

Az ismeretterjesztő, azaz előképzettséget nem igénylő „gyorstalpaló” eléggé alapos, érdekes, amit még kedvezően fokoznak is a témába vágó példák – pl. ízbeli preferenciáink genetikai meghatározottságáról. Az okostelefon-párhuzamhoz is vissza-visszatér. Egy jellemző példa: „A legtöbben megtapasztaltuk már, hogy a telefonunk vagy a számítógépünk egyszer csak nem hajlandó az együttműködésre, például amikor egy applikáció vagy egy szoftver lefagy. Ezt okozhatja a forráskód hibája. Ugyanígy a sejtjeink is furcsán viselkedhetnek, ha nem helyesen betűzik a DNS-ünket, ami olykor jelentős biológiai következményekkel járhat. Ha férfiként a DNS-ed H1 génjének négyezer-ötszázharmincegyedik pozíciójában egy G helyett egy A van, a hímivarsejtjeid diszfunkcionális farokkal fognak rendelkezni, és nem tudnak megfelelően úszni. Ha nőként a PATL2 géned négyszázhetvennyolcadik pozíciójában egy C helyett T van, nem lesz megfelelő peteérésed. Egyik esetben sem lehet ’hagyományos’ módon gyermeket vállalni. Más DNS-mutációk még súlyosabb következményekkel járnak az érintett személy számára.....”

„A könyv első részének következő fejezeteiben közelebbről is megvizsgáljuk, hogy a biotechnológia miként növelheti annak az esélyét, hogy akkor is saját, egészséges gyermekeid születhessenek, ha biológiai vagy társadalmi okokból ez egyébként nem lenne lehetséges.” Részletesen leírják a fogantatás biológiai folyamatát, s vázolják, hogy a rendszer működé-

sébe hibák csúszhatnak, amelyek útját állják, hogy egészséges gyermek szülessék, mint pl. a triszómia.

Behozzák a képbe, és szólnak a *modern biotechnológiai segítő beavatkozási lehetőségekről*, amilyen a lombikbébi-kezelés és a spermiumok petesejtbe juttatásának közvetlen módszere is. Ezek jelentőségéhez tartozik, hogy „[a] gyermekvállalás biológiai feltételeit ugyanis nagyobb társadalmi tendenciák is befolyásolják”. E rejtélyesen hangzó mondat kifejtésében az következik, hogy a nőknél társadalmi tényezők alakíthatják az első gyermek vállalásának időzítését, a termékenység pedig az idő múlásával fokozatosan csökken – ezt szintén megmagyarázzák –, ami növeli a rásegítés szerepét. Kifejtik, hogy a biotechnológiai rásegítés szükségessége a férfiakat is érintheti. „Az utóbbi évek átfogó tanulmányai a férfiak nemzőképességének erőteljes és aggasztó csökkenését mutatják. Továbbra sem tisztázott, hogy mi a fő ok. Több kutató attól tart, hogy az elkövetkező években egyre több férfi szorul majd segítségre ahhoz, hogy apává váljék.”

Új tényező, új technológia a képben: „Norvégiában 2009 óta minden évvel egyre csökken a termékenység. Ugyanakkor az orvosi segítséggel fogant gyermekek száma meredeken nőtt a nyolcvanas évek óta. Mindent egybevetve, Norvégiában több mint negyvenezer gyermek fogantatásáról beszélhetünk. Ezeknek a gyermekeknek a többsége laboratóriumban, a petesejtek és a spermiumok egyesítésével fogant, ám néhány pár számára ez sem elegendő. Az ő esetükben *egy harmadik személyt kell beemlenni a kapcsolatba: a donort, azaz az adományozót.*” A magyarázat spermium- és petesejt-adományozással folytatódik, és – modern idők! – „[a] technológiai fejlődés azt is lehetővé teszi, hogy petesejtet vagy spermát ‘adományozz’ saját magadnak, ha a gyermekvállalás előtt például utazni vágyasz vagy karriert szeretnél”. – Tudjuk azt is, hogy ezt bizonyos betegségek kezelésének megkezdése előtt is célszerű lehet megtenni.

A kifejtés következő szakaszában a *biotechnológia és a piacgazdaság mai találkozása* áll elénk: „*Bérbe adott anyaméh.*” Ebből egyetlen elemet emelünk ki orvostechnológiai és etikai újdonsága okán: „A bérnyaság egy lehetséges alternatívájaként, a világ első gyermeke, aki egy másik nő transzplantált méhéből született, 2014-ben jött a világra Svédországban. 2017-re datálható az első szülés, amelyre egy elhunyt donortól származó méhátültetés után került sor. Sokkal inkább meghökkentő, mint orvosi szempontból lényeges: az első öt nő közül, aki méhtranszplantáció után szült, háromnak a saját anyja adományozta a méhét.”

PGD: A preimplantációs genetikai diagnosztika, amely az embriók genetikai vizsgálatának egyik módszere. „Ha egy ilyen pár (akiknél nem jön össze ‘hagyományos módon’ a gyerek – Osman P.) IVF-kezelésben részesül, mely során több petesejt is megtermékenyül, akkor valószínű, hogy az embriók egy része hibás génnel rendelkezik majd, míg mások nem. Ilyenkor a PGD segítségével meg lehet vizsgálni az embriókat, mielőtt behelyezik őket a nőbe. Amennyiben sikerül olyan embriókat találni, amelyben az ‘egészséges’ génvariáns két példánya fedezhető fel, majd létrejön a terhesség, a párnak egészséges gyermeke születik. A PGD az örökletes kromoszóma-rendellenességek kimutatására is használható, amelyeket

a kromoszómában bekövetkező jelentős szerkezeti változások okoznak, például nagyobb darabok hiányoznak belőle, vagy a kromoszóma adott szakaszában a génsorrend megfordul. A PGD segítségével az embriók nemét is meg lehet állapítani. Egyes örökletes betegségek csak az egyik nemet érintik, általában fiúkat, és elkerülhetőek az ellenkező nemű embrió kiválasztásával.” – S belép a képbe a gyerek nemének megválasztása viharos kérdésköre is!

Vázolják a PGD alkalmazásának korlátait, és „[a] reprodukciós technológiák következő generációjával azonban nemcsak az esélyeket tudjuk befolyásolni, hanem a teljes lottót megbuherálhatjuk”. – A lottó itt természetesen, hogy mit hoz ki az anya és az apa DNS-ének kombinálódása. *Etikailag roppant kényes alkalmazás.* Elmondják: ha beteg gyerek van a családban, a PGD technikailag hozzásegíthet olyan kistestvér „létrehozásához”, aki szervdonorként segíthet idősebb testvérén.

Következik a modern biotechnológia újabb csodája: „A mitokondriális gének rendelkezése legalább olyan súlyos következményekkel járhat, mint más gének hibái. A mitokondrium-adományozás lehetővé teszi, hogy a saját [hibás] mitokondriumaidat egy donor egészséges mitokondriumaira cseréljék.”

Kivágás és beillesztés: „A CRISPR az egyik legfontosabb mozaikszó, amellyel meg fogsz ismerkedni. A 2012-ben kifejlesztett CRISPR géntechnológiai módszert ma már a valaha volt legfontosabb technológiák egyikeként emlegetik. A CRISPR segítségével ugyanis átírhatjuk az élet forráskódját.

A CRISPR a Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (azaz halmozottan előforduló, szabályos közzel elválasztott palindromikus ismétlődések) rövidítése. A zseniális húzás, amellyel a két kutató, Jennifer Doudna és Emmanuelle Charpentier állt elő elsőként, a következő volt: a CRISPR-t néhány apró módosítással egy ’univerzális genetikai ollóvá’ alakították, amely valamennyi élő szervezet minden egyes sejtjének bármely DNS-ére hatással van. A CRISPR lényegében DNS-darabok eltávolítását, hozzáadását vagy cseréjét teszi lehetővé – ahol csak akarjuk. Ezt génszerkesztésnek nevezzük. Ha egy sejt forráskódjába hiba csúszik, a CRISPR segítségével korrigálható.” – S ha ennek alkalmazását szabadjára engedik, ténylegesen határtalan lehetőségek nyílnak meg ...

Következik: „Az élet forgatókönyvének szerkesztése – A saját evolúciónk, közel négy-milliárd évnyi véletlenszerű génkeveredés és mutáció után, elvileg a mi irányításunk alá kerülhet. És ez nem csupán egy hipotetikus forgatókönyv. Már meg is történt. A 2018-as évre az emberiség történetében bekövetkezett fordulópontként fogunk emlékezni.” A CRISPR alkalmazásáról van szó, a részleteket pedig tessék elolvasni. Bejön a képbe a mesterséges anyaméh: „sőt egyszer talán a gyermekek világra hozásának kedvelt módja is lehet, amennyiben képes kiküszöbölni a terhesség és a szülési komplikációk kockázatát az anyánál, vagy a gyermek szervezetében. A biotechnológia elképesztő iramú fejlődésével nem lehetetlen, hogy valamikor a jövőben a teljes reprodukciós folyamatot leválaszthatjuk az emberi testről.”

Pandora szelencéje: „Vannak, akik azt jósolják, hogy az emberek már a század közepére felhagynak a ’hagyományos módon’ történő gyermekvállalással. Ugyanakkor az, hogy ez

valósággá válik-e, nem csupán technikai kérdés. Meddig szabad elmennünk, hogy segítünk azoknak, akiknek nem lehet gyerekük, és hogy megakadályozzuk, hogy beteg utódunk szülessen? Mi van, ha nem betegségek megelőzéséről van szó, hanem az olyan tulajdonságok tökéletesítéséről, mint az intelligencia vagy a külső megjelenés? *A reprodukció 2.0 rohamos fejlődésével nehéz döntéseket kell majd meghoznunk, amelyekben a társadalomnak közösen kell állást foglalnia.*”

De mit jelent itt a társadalom? Helyi közösségeket vagy az egész világot? Helyi közösségek esetén óriási szabályozási arbitrázslehetőségek nyílnak meg: aki valamit akar, és módja van rá, oda megy és ott végezteti, ahol az engedélyezett. Egész világ? Technikailag már akár hamarosan megoldható is lehet globális népszavazást rendezni, azonban létrejöhet-e bármiféle megegyezés a mérhetetlenül sokféle közösségek, népek egymással akár többé-kevésbé szembenálló kulturális, világnézeti, vallási tényezők által alakított véleményei között? S van még egy „apró” probléma: bármiről legyen is szó, hogyan visz a helyes irányba olyanok véleménye, akik nincsenek elegendő mértékben tisztában döntésük következményeivel? „Nem szabad fenntartások nélkül elfogadnunk minden új technológiát. Éppen ellenkezőleg, *döntő fontosságú, hogy kritikus és tájékozott vitát folytassunk a megnyíló lehetőségekről.*” A szerzőknek ebben tökéletesen igazuk van, ám olyan bonyolult és rohamosan változó, terebélyesedő kérdésben, mint a biotechnológiák és bennük a géntechnológiák alkalmazása, az „emberszerkesztés”, vajon a véleménynyilvánítók mekkora hányada van birtokában az ehhez szükséges ismereteknek?

Újabb izgalmas témakörrel folytatjuk: „Élő szuperszámítógép vagy” – Idetolakszik a kérdés: vajon az MI-nek nevezett szuperszámítógép evolúciója mikor jut odáig, hogy kritikus kérdéssé teszi annak meghatározását, pontosan mi tekintendő élőnek?

„Valamennyi feladatot, amelyet a tested végez, az olyan automatikus folyamatoktól kezdve, mint a légzés és az emésztés, az olyan összetett tevékenységekig, mint a fejszámolás vagy a tánc, az igényeidnek és a környezetednek megfelelően össze kell hangolnia és be kell állítania. A rendszer a nap huszonnégy órájában, az év háromszázhatvanöt napján azon dolgozik, hogy változó körülmények között és az adott feltételeknek megfelelően mozgásban tartsa és a lehető leghatékonyabb teljesítményre ösztönözze testedet. A könyvnek ebben a részében közelebbről is szemügyre vesszük a működésedet, valamint azt, hogy milyen lehetőségeid vannak a saját biológiád meghekkelésére.”

Rövid áttekintés következik a test biológia működéséről, és „*[a] sejtek ezermilliárdjai processzorok hatalmas hálózatát alkotják, amelyek közösen működtetnek egy szuperszámítógépet – a testedet.* A rendszer szerves molekulák folyamatos felépítésével és lebontásával működik, hogy energiát nyerjen és használjon fel. A sejtek növekedését, osztódását, kommunikációját és az összes rájuk bízott feladat elvégzését bonyolító létfontosságú kémiai folyamatok összességét anyagcserének, más szóval metabolizmusnak nevezzük. A folyamatot a környezeted és a közted zajló összetett interakciók irányítják.” Ez egyike az eseteknek, amikor mintha némi felületesség bukna ki a megfogalmazásban. Mintha az előzőekben írtak nem

mindegyike tartozna az anyagcserébe, másrészt az anyagcsere folyamata és működése nyilvánvalóan a DNS-ben kódolt „operációs rendszerünk” része, ezért feltehetően a környezeti interakciók azt befolyásolhatják, de nem mindenben irányítják. Érdekes magyarázatok és példák következnek viszont az egyén genetikai kódolása és anyagcseréje közti összefüggésekre, mint pl. „[a]mennyiben európai származású vagy, a tejtermékek valószínűleg fontos szerepet játszanak az étrendedben. Az, hogy meg tudod emészteni a tehéntejet, egy génmutációnak köszönhető, amelyet európai őseidtól örökölted, akiknek nagy hasznára volt, amikor néhány ezer évvel ezelőtt elkezdtek tejet adó háziállatokat tartani. A kelet-ázsiaiak többsége viszont nem termel laktázt (tejucorkbontó enzim – Osman P.), így a tej nekik emésztési zavarokat okozhat.”

„A gének a szellemi teljesítményed szempontjából is fontosak. Játszi könnyedséggel oldod meg a legkegyetlenebb sudoku feladványokat, az összes jelszavadra emlékszel a különböző webhelyeken, netán több nyelven is folyékonyan beszélsz? Ebben az esetben *nagyrészt a szüleidtől származó genetikai örökségről van szó.*” – Ha megtanulnánk a génszerkesztést, amely biztonsággal így felturbózza az agy teljesítményét! És a szerzők ezzel csak érintőlegesen említik a legnagyobbat, elménk máig is abszolút megfejtetlen csodáját, a *savant-szindrómát*, amelynél az autizmushoz vagy egyéb rendellenességekhez bizonyos területeken szédületesen nagy szellemi képességek csatlakoznak. Viszont a következőkben hozzájuk az érem jelenlegi másik oldalát is. „Úgy tűnik, hogy a magas intelligenciát biztosító gének számos neurológiai betegség, például az Alzheimer-kór és az ADHD ellen is védenek. Másrészt viszont intelligens emberként kiszolgáltatottabb lehetsz az olyan állapotoknak, mint a bipoláris zavar és az autizmus. *A legújabb kutatások szerint a kreativitás és a mentális betegségek szintén közös genetikai eredetűek lehetnek.* Ez lehet az egyik magyarázat arra, hogy miért küzdött és küzd olyan sok híres művész és író szorongással, depresszióval, pszichózissal vagy más mentális betegséggel. Gyakran vált ki vitát a kérdés, hogy az öröklődés vagy a környezet játszik-e nagyobb szerepet abban, hogy miként formáljuk saját magunkat és az életünket, ám a válasz ritkán az egyik vagy a másik. A legtöbb esetben az öröklődés és a környezet szorosan összefügg egymással.” – Jó háritás ahhoz, hogy többnyire ezt még nem tudjuk megállapítani.

„Az epigenetika a környezet és az életmód lenyomata a géneken: a környezet változásai epigenetikai változásokat hoznak létre, amelyek hatással vannak a gének működésére. Az élet forgatókönyve többféle módon is előadható, és az epigenetika határozza meg, milyen lesz az előadás. Ugyanis nem csupán a gének vannak hatással arra, hogy ki vagy, a dolog oda-vissza működik: *az életed és a környezet, amelyben élsz, szintén rányomják bélyegüket a génekre és ezáltal a biológiai adottságaidra.*” Az ehhez fűződő magyarázat az okostelefonanalógiával, s olykor talán kissé botladozó szövegezéssel: „Nem lenne célravezető, ha az összes alkalmazás egyazon időben gőzerővel működne. Okostelefonod akkor működik a legjobban, ha csak az adott pillanatban szükséges feladatokat hajtja végre. Így van ez a sejtjellel is. Amellett, hogy kizárólag a feladataik elvégzéséhez szükséges géneket fejezik ki

(azoknak megfelelően működnek – Osman P.), a géneket a környezet változásaira reagálva folyamatosan ki és be kell kapcsolniuk.” – Ez nagyon fontos: valójában tehát nem a génekre „nyomják bélyegüket”, hanem azok mindenkori pillanatnyi érvényesülésére – ha tényleg a gén változna, felvethetnénk az átörökítés kérdését is. A további magyarázat lényege: a szükséges működéshez „a gént ki kell csomagolni: a DNS-szálat pontosan ott kell meglazítani, ahol a gén található, egy kicsit úgy, mint amikor egy szálat húzol ki a fonalgombolyagból. Ez a speciális csomagolófehérjék feladata, amelyek kémiai 'címkéket' erősítenek a DNS-szál külsejéhez. Egyes címkék meglazítják és hozzáférhetőbbé teszik a szálat, míg mások szorosabbra húzzák azt. A címkék néha gyorsan eltűnnek, máskor szilárdan rögzülnek, és hosszú ideig befolyásolhatják a gének aktivitását. *Ezt a DNS külsején lévő extra információs réteget epigenetikának nevezzük.*

Az ilyen epigenetikai hatások olykor generációkon keresztül öröklődhetnek. A második világháború idején éhínség volt Hollandiában. Azoknál a gyerekeknél, akikkel az édesanyjuk ekkoriban volt várandós, felnőttkorban nagyobb mértékben alakult ki túlsúly, cukorbetegség és magas koleszterinszint, mint másoknál, és a vártnál korábban haltak meg. A kutatók szerint a magyarázat abban rejlik, hogy miközben az anya éhezett, egyes gének ki lettek kapcsolva a magzati fejlődés során, hogy alacsony fokozatra állítsák az anyagcserét, s ez a továbbiakban is így maradt.”

A jó hír: „A legtöbb dolog, amit teszel, például, hogy mennyit alszol, mit eszel és mennyire vagy aktív, befolyásolja a géneid kifejeződését. Ám a DNS-kód maradandó hibáival ellentétben, *az epigenetikai változások gyakran visszafordíthatóak.*”

Életközösség mikroorganizmusokkal: „Tested ugyanannyi baktériumból és egyéb mikroorganizmusokból áll, mint amennyi a saját sejtjeid száma: körülbelül harminchét billióból. Kívül-belül, tetőtől talpig beborítanak. Évmilliárdokkal ezelőtt határozatlan időre szóló, íratlan együttműködési szerződést kötöttek az őseiddel (endoszimbiózis – Osman P.), ami annyit tesz, hogy hatalmas mázlista vagy. Sosem boldogultál volna a mikroflórát alkotó mikroszkopikus barátaid nélkül.” Szó szerint szédületesen izgalmas, ami itt következik. Szólnak az „ügynevezett bél-agy tengely”ről, s egyebek közt, hogy „[s]zámos idegrendszeri és mentális zavar hosszú ideje rejtély a modern orvostudomány számára. Egyre több bizonyíték utal arra, hogy a mikroflóra, különösen a bélrendszere, ezen a területen is fontos szerepet játszik. Többek között kimutatták, hogy a Parkinson-kórban, Alzheimer-kórban, szklerózis multiplexben, autizmusban, szorongásban és depresszióban szenvedő páciensek szervezetéből gyakran fontos bélbaktériumok hiányoznak. *A mikroflóra egészségre gyakorolt hatásának jobb megértése új lehetőségeket kínálhat a betegségek megelőzésére és kezelésére.* Ahogy egyre több ismerettel rendelkezünk ezen a területen, az is kiderülhet, milyen életmódbeli lépéseket tehetünk azért, hogy a bélbaktériumaink jól érezzék magukat és még jobban működjenek.” – S bár itt nem hozzák fel, nyilvánvaló, hogy ez is milyen óriási teret nyithat a biotechnológia alkalmazásának.

Az élet forgatókönyvének olvasása: A fejezet a DNS-kódról szól, s egy fatalizmus elleni kijelentéssel indul: „Az élet kérdéseire nincs minden válasz megírva a génekben. A DNS az élet forgatókönyve, ám olykor az előadás kissé más irányt vesz ahhoz képest, ami a szövegben áll.” Olvasni tudni kell: „Annak ellenére, hogy a legtöbb genetikai teszt nem ad teljesen egyértelmű 'igen' vagy 'nem' választ, sok esetben mégis hasznos és fontos információkat nyújthat a testeddel és egészségeddel kapcsolatban. A trükk csak annyi, hogy megértsük, mit jelentenek a teszteredmények, és mi az, amiről nem tudnak mit mondani.”

A továbbiak arról szólnak, mi minden olvasható ki így – többé-kevésbé – a DNS-ből. Van, ami ismerős: betegségekre való öröklött hajlam, azok továbbörökítésének veszélye, etnikai gyökereink felfedése. Természetesen a piacgazdaság is rárepült a kinyerhető lehetőségekre. Példák erre a könyvből: „Amivel a következőkben foglalkozni fogunk, az a genetikai tesztek egy másik típusa, amelyről megoszlanak a vélemények a szakértők között, ennek ellenére rendkívül népszerű lett az elmúlt években: a DIY, azaz csináld-magad-géntesztek, ahol egy kereskedelmi vállalatnak fizetsz egy olyan tesztért, amely az egészségedről, a származásodról vagy jellemzőidről árulhat el információkat. A tesztet végzők száma évről évre meredeken nő, az Amazon szerint a 2018-as Black Friday legkelendőbb termékeinek egyike a genetikai teszt volt. Maga a teszt könnyen elvégezhető: beleköpsz egy műanyag csőbe, amelyet azután postára adsz. A cég elemzi a nyáladban található DNS-t, majd egy internetes portálon hozzáférést biztosít a teszteredményekhez. Vállalatok harcolnak azért, hogy DNS-teszteket adjanak el neked, amelyekből megtudhatod, ha a cég más ügyfeivel közös génjeid vannak. Így távoli rokonokra bukkanhatsz szerte a világon, amennyiben ők is elvégeztek egy ilyen genetikai tesztet, és regisztrálták magukat a vállalat adatbázisában.”

Jönnek viszont cifrább, kereskedelmileg vagy másként invenciózusabb alkalmazások is. Az összefoglaló cím: *Genetikai személyreszabás*. Csak kiragadott példák ebből: „Az Airbnb együttműködésre lépett a 23andMe géntesztelő céggel. Amikor utóbbival elvégeztetsz egy tesztet, amely megmutatja, hogy a világ mely részeihez köthető a származásod, egyúttal ajánlatokat is kapsz a szóban forgó területeken található Airbnb-lakásokról és a kapcsolódó értékelésekről, tapasztalatokról, így nyomban meg is tervezheted a nyaralásodat, mely során megismerheted az előtörténeted.”

„A zenestreamelő szolgáltatást nyújtó Spotify az AncestryDNA genetikai tesztek végző céggel együttműködve személyre szabott lejátszási listákat kínál azokról a helyszínekről, ahonnan az ügyfelük származik.”

„A mások által közzétett rokonsági tesztek eredményei [másként is] igen fontossá válhatnak. A hetvenes és nyolcvanas években az Egyesült Államokban tevékenykedő 'Golden State Killer' néven ismert sorozatgyilkost és sorozatos erőszaktevőt 2018-ban az ilyen típusú genetikai rokonsági adatbázisoknak köszönhetően tartóztatták le, bár ő maga soha nem tett közzé effajta géntesztet” – részletes magyarázat a könyvben.

A párválasztás mögött az utódokra átörökíthető betegségek kockázata is rejtőzhet. „Bece-lések szerint világviszonylatban a sarlósejtes vérszegénységben szenvedő gyermekek fele

Nigériában születik. Az ország egyik régiója ezért minden házasodni kívánó pár számára elrendelte a genetikai hordozósági szűrés elvégzését, és megtiltotta az olyan párok házasságkötését, melynek mindkét tagja hordozó, és ezért 25% a valószínűsége, hogy sarlósejtes vérszegénységben szenvedő utóduk születik.” Megengedhető erőszak a személyes életben? Jó kérdés. Ám megengedhető-e 25% valószínűséggel ilyen beteg gyermekeket világra hozni?

„A Dor Yeshorim szervezet önkéntesen használható szolgáltatást kínál askenázi zsidók számára. Ebben a népcsoportban fokozott a kockázata egyes súlyos betegségeknek. A Dor Yeshorim genetikai teszt elvégzését kínálja fiatal askenázi férfiaknak és nőknek, hogy kiderítsék, hordozói-e ezeknek a betegségeknek. Amikor egy pár a házasságot fontolgatja, ebből megtudhatják, milyen átörökítési veszéllyel néznek szembe.”

A következő cím önmagáért beszél: *Genetikai megelőzés*. Idekapcsolódnak a genetikai alapú életmód-tanácsadások, s extrémbebb beavatkozásokról is hallani, pl. megelőző sebészeti beavatkozásokról. Itt egy érdekes példát emelünk ki: „Bizonyos génvariánsok hordozójaként nagyobb a kockázata az idegrendszeri utóhatásoknak, amennyiben olyan kontaktsportot űzöl, amely során ütés érheti a fejet. Számos kereskedelmi vállalat kínálja ezen variánsok genetikai tesztjét, sportolók és egyéb sportkedvelők számára. Egyes szülők egyenesen azért tesztelik a gyermekeiket, hogy szükség esetén távol tarthassák őket a kontaktsportoktól.” És, ahogy a következő címszó mondja, „[e]z csak a kezdet.”

„A saját tested meghekkelése” fejezet még inkább személyessé teszi a biotechnológia alapú megismerés és beavatkozás kérdésköreit. Csak pár részlet innen:

„Új bérlők” – biotechnológiák mikroorganizmus-fertőzés leküzdésére. „Az egyik megoldás egy bakteriofágnak nevezett vírustípus, amely a géntechnológia segítségével kifejezetten az antibiotikumokkal szemben rezisztens baktériumtörzsek megtámadására és elpusztítására specializálható. *A módszer fordulópontot jelenthet az antibiotikum-rezisztens baktériumok elleni versenyfutásban*, amely napjainkban a világ egyik legnagyobb fenyegetését jelent a népegészségügyre nézve.” – Kórházak rémálma a legrettegettebb fertőzés, a MRSA, methicillin-rezisztens *Staphylococcus aureus* „szuperbaktérium”.

„Székletátültetés. Egy egészséges személy székletét a beteg bélrendszerébe helyezik át, hogy a beteg mikroflórát egészségesre cseréeljék. A koncepció azóta létezik, hogy a kínaiak bő ezerhatszáz évvel ezelőtt vízzel kevert székletet kezdtek felszolgálni a hasmenéses betegek számára. A bél mikroszkopikus bérlői nagyon fontosak az immunrendszered számára. A kutatók ezért úgy vélik, hogy a székletátültetés számos olyan betegség kezelésének módja lehet, amelyek a gyulladással és a bél egészségi állapotának egyéb körülményeivel függnek össze. Jelenleg több száz klinikai vizsgálat folyik világszerte, amelyek azt tesztelik, hogy a székletátültetés segíthet-e többek között a májbetegségek, a köszvény, az allergiák és az elhízás ellen. *A korai kísérletek azt mutatják, hogy bizonyos neurológiai és mentális rendellenességek is kezelhetők ily módon.*”

„Új hardver” – a nagyhírű őssejtterápia, „[k]orunk egyik forradalmi biotechnológiája. Ha a saját sejtjeid hagynak cserben, ez a típusú 'hardver' is kölcsönözhető. Például egészséges

őssejteket kaphatsz egy donortól, amelyek aztán új, egészséges sejteket hoznak létre a testben. Ma a kutatók olyan őssejtkezelés kifejlesztésén dolgoznak, amely többek között a látásromlást szenvedett betegek sérült szemsejtjeit, vagy a szklerózis multiplexben szenvedő páciensek elveszett idegsejtjeit pótolja.”

A továbbiakban olvashatunk még átütőbb biotechnológiai innovációkról: a „hardver-pótlások” kombinálásáról génszerkesztéssel. „Említhetjük azokat a gyerekeket, akik szinte vakok voltak, ám *a szemsejtjeikben végrehajtott génterápiás kezelést* követően akár gokartot is vezetnek, vagy akiket az immunrendszerük hibája miatt izolálni kellett, mára azonban *az immunsejtjeikben elvégzett génszerkesztésnek köszönhetően* csaknem normális életet élhetnek. Ezek az *első generációs*’ génterápiák, ahol új géneket illesztnek be a sejtek DNS-ébe. A CRISPR és más génszerkesztési módszerek kifejlesztésével már egy *’második generációs*’ génterápia is megjelent, *ahol a génhibákat a sejtek saját génjeinek célzott megváltoztatásával lehet módosítani*. Bizonyos esetekben a génszerkesztés biztonságosabb és hatékonyabb lehet, mint új gének beillesztése. Egyes betegségek más módon nem is kezelhetők.”

Az örökösi probléma: a költségek korlátozta hozzáférhetőség. „Gyakran halljuk, hogy az élet értékét nem lehet pénzben kifejezni. De mi van akkor, ha muszáj? És mi a helyzet olyankor, ha az ár olyan magas, hogy az anyagiak miatt nem tudunk minden egyes életet megmenteni? Ideális esetben minden elképzelhetőt meg kell tennünk minden súlyos betegért, ám *előbb-utóbb eljutunk arra a pontra, amikor már csak a többi beteg rovására tudunk még többet tenni egy-egy betegért. A génterápia és a többi korszerű eljárás fejlődése sokszor szélsőséges módon helyezi előtérbe ezeket a kérdéseket.*”

Már csak pár apró, de nagyon súlyos problémákat feszegető részlet: „A betegségek kezelése és azoknak a tulajdonságoknak a tökéletesítése közti különbségtétel, amelyeknek semmi közük nincs a betegségekhez, továbbra is tisztázatlan lesz, ám ennek ellenére meg kell próbálnunk meghúzni a határokat, és szabályokat kell alkotnunk. Fájdalmas és nehéz kérdésekkel kell szembenéznünk azzal kapcsolatban is, hogy mely kezeléseket lehet felajánlani, ki juthat hozzá azokhoz, és milyen kezeléseket kell megtagadnunk az emberektől pénzügyi, etikai vagy egyéb okokból. Természetesen etikailag és politikailag egyaránt problematikus lesz megtagadni valakitől az életmentő kezelést a költségek miatt, azonban – tekintettel az egyes kezelések áaira – szinte elkerülhetetlen, hogy ez megtörténjen.”

Egy alcím, amelynek fejtegetése napjaink egyik alapvető kérdését hozza e területre: „*Kié a rólad szóló információ?*”

A többit tessék elolvasni! Már csak annyit: tovább feszíti a nemrég még nem is sejtett távlatokat, mi minden válhat lehetségessé, másrészt pedig a „gazdagok és szegények” dichotómiát annak minden csúf hatásával: ki képes hozzájutni és ki nem.

Dr. Osman Péter