

SCHEURING ISTVÁN

Anyák, nagyanyák, unokák

A menopauza evolúciója

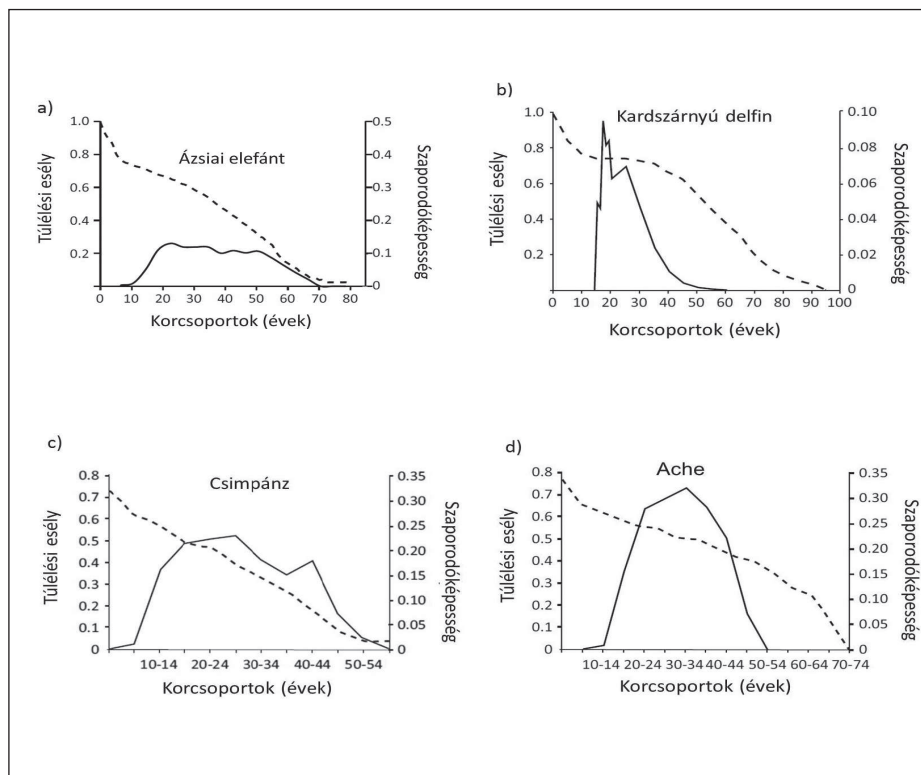
Néhány éve egy nemzetközi kutatócsoport (neves magyar résztvevőkkel) telefonhívások adatainak elemzésével tanulmányozta az emberek társas kapcsolatainak egyes jellemzőit [1]. Mivel a hívó és a hívott fél neme és kora volt elérhető, azt vizsgálták, hogy milyen kapcsolatban van a hívó fél életkorával és nemével a legtöbbet és a második legtöbbet hívott személy kora és neme. Korábbi kutatásokból egyértelmű volt, hogy a telefonhívások gyakorisága és a személyes intim kapcsolat erőssége általában szoros kapcsolatban van egymással, tehát a telefonhívások elemzése a személyes kapcsolatokról is informálnak. Egyes eredményeik megerősítették azt, amit laikusként is gyanítunk; például, hogy huszonéves korukban a telefonálók többsége – nemüktől függetlenül – egy ellenkező nemű előfizetővel beszél a leggyakrabban, ami ugye senkit sem lep meg, aki volt valaha szerelmes. Sokkal érdekesebb azonban, hogy az 50 év körüli férfi és női telefonálók kapcsolatrendszere egyértelműen eltér egymástól: mindkét nem esetében a legtöbbet hívott személy továbbra is egy hasonló korú ellentétes nemű hívott fél (véltetően a házastárs, élettárs). Azonban a nőknél csaknem ilyen nagy súllyal lesz egy nagyjából 25 éves személy a legfontosabb kapcsolat (véltetően a telefonáló fia vagy lánya) és ezek között kicsit nagyobb arányban vannak jelen a nőnemű kapcsolatok, azaz a beszélgetés ilyenkor valószínűleg anya és lánya között zajlik. Ez a hatás természetesen a férfiaknál is megfigyelhető (ők is szoktak beszélgetni a gyerekeikkel), azonban lényegesen kisebb súllyal, továbbá nincs különbség a fiú- és a lányutódok fontossága között.

Gondolom, az adatok mögött sokan látják már a jellemző szituációt; egy fiatal anyát kicsi gyerekeivel, aki épp telefonál a nagyival. A nagy tanácsot ad, megbeszéljük, hogy holnap ki főz vagy melyikük viszi a bölcsibe, az oviba a nagyobbik unokát, esetleg csak megbeszéljük, hogy mi is történt ma a kicsikkel. Ennek az 50 év körüli nagymamának, aki nagy odaadással fordul az unokák felé, ha akarná sem lehetne utódja, hiszen nagy eséllyel már nincs peteérése. Azt, hogy a nők úgy 50 éves korukra elveszítik a termé-

kenységüket, szinte mindenki tudja, de vajon azon elgondolkozott-e már a kedves olvasó, hogy miért van ez így? Találkozunk-e hasonló jelenséggel máshol az állatvilágban vagy sem? Ha igen, mi lehet ezen esetekben a közös evolúciós oka a termékenység korai elvesztésének, a menopauzának? Vajon köze van-e ennek a jelenségnek az unokákhoz is? Ezekre és hasonló kérdésekre keressük a választ a következőkben.

Termékenység egy életen át?

A gerincesek döntő többségénél az ivarérettség elérését követően a nőtények termékenysége folyamatosan csökken, ám az emberrel ellentétben, életük végéig megvan ez a képességük



1. ábra. Különböző emlősfajok életmenet-jellemzői. A szaggatott vonalak a túlélési esélyeket mutatják, azaz annak a valószínűségét, hogy egy egyed az adott korcsoportot túlélve eljut a következő korcsoportba. A folytonos vonalak a szaporodóképességet jelölik, azaz, hogy az adott korcsoportban várhatóan hány utódja lesz egy egyednek. Látható, hogy az ázsiai elefánt és a csimpánz (a,c) esetében a szaporodóképesség és a túlélési esély ugyanabban a korcsoportban lesz nulla, míg a gyilkos delfinnél és az embernél (b,d) a szaporodóképesség elvesztése után még évtizedekig élnek az élőlények (az ábrák Croft és mtsai nyomán [6] készültek)

(1a. ábra), azonban vannak kivételek, és éppen ez számunkra a legérdekesebb. Például a kardszárnyú delfin (*Orcinus orca*) (1b. ábra) vagy a rövidszárnyú gömbölyűfejű delfin (*Globicephala macrorhynchus*) nőtényeinek menopauzája az emberéhez hasonló. Érdekes, hogy nemrég az emlősöktől igen távol eső levéltetűfajnál (*Quadrartus yoshinomiyai*) figyelték meg, hogy a nőtények egy bizonyos életkorban elveszítik a szaporodóképességüket.

Az ember esetében természetesen elképzelhető, hogy csupán egy civilizációs jelenséggel van dolgunk: a fejlett ipari társadalmakban élő ember tovább él, mint őseink, s valójában nem az anyák termékenysége szűnik meg idejekorán, csupán kitolódott a várható élettartam. E gondolat alapfeltevése azonban téves. A mai vadászó gyűjtögetők is megélnék 60–70 évet, míg a nők menopauzája náluk is 45–50 éves korra tehető (1d. ábra). Mielőtt teljesen elvetnénk a *kitolódott életkor* gondolatát, megjegyzem, hogy az emberszabásúak (például a csimpánzok) valóban úgy 50 évig élnek, és náluk a nőtények termékenysége megmarad az életük végéig (1c. ábra). Tehát lehet, hogy az embernél mégis csak életkorkitolódás történt, de az elsősorban nem a jóléti társadalmak egészségmegőrző hatásának az eredménye, hanem valamilyen evolúciós léptékű alkalmazkodás következménye.

A következő fejezetekben arra keressük a választ, hogy milyen sajátos evolúciós hatások vezethettek a menopauza kialakulásához (vagy az életkor kitolódásához) az embernél és néhány más emlősnél, hogy melyek jelenlegi tudásunk szerint a legígéretesebb magyarázó hipotézisek, és hogy milyen irányú további kutatások várhatóak a témában.

Segítők a fészeknél, anyák, nagymamák és unokák

A madarak úgy 8%-a *együtműködő utódgondozást* folytat, vagyis az idősebb ivarérett pár vagy párok szaporodnak, de az utódok védelmében, etetésében a fiatal rokon egyedek (legtöbbször a pár idősebb hím vagy nőtényi utódai) is segítenek. A segítők, bár általában maguk is ivarérettek, nem raknak saját fészket és legtöbbször nem is hoznak létre utódokat. Bár ritkább, de az emlősök között sem ismeretlen az együtműködő utódgondozás (néhány példát mutat a 2. ábra). Bár most nem célunk részletesen tárgyalni ezt a jelenségekört, annyit azért érdemes megjegyezni, hogy az összes ismert madárfaj esetében a fiatal rokon felnőttek a nem szaporodó segítők, és közülük kerülnek ki azok, akik megöröklik majd a szaporodó pártól a fészket vagy a territóriumot. Az is közös szinte minden esetben, hogy környezeti okok miatt a fészek vagy territórium nagyon értékes, míg az utódok felnevelése rendkívül költséges és kockázatos. Valószínű tehát, hogy mind a segítőknek mind a segített párnak előnyös, ha nem is konfliktusmentes ez a kapcsolat.

Gondolom, az olvasónak az előbbi bekezdés olvasása közben újra eszébe jutott az unokák gondozásában lelkesen résztvevő nagymama, a nagymama, aki tulajdonképpen együtműködő utódgondozást folytat, és felmerülhet benne az a gondolat is, hogy ez a viselkedés okozhatta

a menopauza kialakulását az embernél. Ezt a feltevést hívja a szakirodalom *nagymama-hipotézisnek*. A hipotézis akkor meg-alapozott, ha ki lehet mutatni, hogy a nagymama segítsége növeli az utódok és/vagy az anya túlélési esélyét, továbbá, ha így megmagyarázható, hogy az embernél és az ismert két delfinfajnál miért nem a fiatal rokonok a segítők, és természetesen az is megokolható e hipotézis alapján, hogy miért vezet ilyenkor a segítő viselkedés a termékenység korai elvesztéséhez és/vagy az élethossz megnövekedéséhez.

Hawkes és munkatársai 1997-es, ma már klasszikusnak számító cikke éppen a nagymama-hipotézis tesztelése miatt vizsgálta a nagymamák hatását az unokák életkilátásaira a hadzáknál [2]. A hadzák vadászó gyűjtögetők, akik Észak-Tanzánia dombos vidékein élnek. Számuk néhány száz fő lehet, közös nyelvet beszélnek, közös kultúrát követnek, tehát életmódjuk és társadalmi berendezkedésük vélhetően nagyon hasonló ahhoz, ahogy az ember evolúciós története során élt. Hawkes csoportja 1985 szeptembere és 1986 júliusa között folyamatosan feljegyezte a csoportok egyedeinek napi életvitelét. Különösen érdekelte őket, hogy mi határozza meg a gyerekek testúlyát s ezzel együtt az anyák szaporodási sikerét. Legfontosabb megállapításaik a követ-



2. ábra. Néhány példa az együtműködő utódgondozásra. a) Seychelle-szigeteki poszáta (*Acrocephalus sechellensis*). Gyakran a költő pár mellett marad az egyik idősebb tojó, mely részt vesz az etetésben és a ragadozók elleni védekezésben. b) Pompás fényserégély (*Lamprotornis superbus*). A költő párok és segítők együtt alkotnak egy nagy, akár 30 egyedet is tartalmazó csoportot. A nőtények, akik ugyanolyan díszesek, mint a hímek, ilyenkor több hímmel is párosodnak. c) A havasi mormotánál (*Marmota marmota*) a fiatal, még nem szaporodó egyedek együtt alusszák téli álmukat a szaporodó párral, és hőregulációjukkal segítik a fiatalabb testvérek túlélését. d) A közönséges törpemongúz (*Helogale parvula*) fiatal segítői könnyebben megöröklik az idősebb szaporodók territóriumát

kezők voltak: ha újszülött érkezik a családba, a nagyobbak, akik már 5 éves kortól saját maguk is részt vesznek a táplálékgyűjtésben, kevesebb táplálékot kapnak az anyától. A nagymamák segítenek az anya táplálásában, amikor újszülött van a családban, és a

nagyobb gyerekek táplálásában is aktívan részt vesznek. Nekik van a legfontosabb szerepük abban, hogy a nagyobb gyerekek testsúlya megfelelően gyarapodik ebben az időszakban. A csoportban egyértelműen a nagyik töltik a legtöbb időt a táplálékszerzéssel. Főleg a száraz évszakban van ez így, amikor közös munkával ásnak ki egy fontos táplálékforrást, a *Vigna frutescens* növény gumóját. Mindezek miatt lerövidül az anya szoptatási időszaka és a gyermekek túlélési esélye is nő. Mivel az anya termékenységének növelése egyben a nagymama unokáinak a számát is növeli, ezért a nagymama segítő viselkedése a nagymamának is előnyös. Ez az előny vezetett véleményük szerint a várható életkor megnövekedéséhez az embernél, azaz nem a termékenység idő előtti elvesztése evolválódott jelleg, hanem a megnövekedett élettartam az.

Még az archaikus emberi társadalmak is igen sokfélék, ezért nem meglepő, hogy a későbbi vizsgálatok sokkal árnyaltabbá tették Hawkes és munkatársai eredményeit. Például a dél-amerikai ache törzsnél csak gyenge nagymamahatást tudtak kimutatni. Ez érthető is, hiszen ebben a közösségben a táplálék nagy részét a férfiak szerzik be. Gambiai falusi embereken végzett kiterjedt vizsgálat alapján a gyerekek túlélésére az anya mellett csak az anyai nagymama jelenléte van hatással, még az apa sem számít. Egy nagyon friss, a dél-amerikai tsimanék nagycsaládon belüli táplálékelosztását vizsgáló tanulmány viszont kimutatta, hogy mind a nagymamák, mind a nagypapák jelentős táplálékmenyisséggel segítik az utódokat és az unokákat. Különösen fontos ez a generációkon átívelő táplálás, amikor a szülők a harmincas éveik környékén járnak és az unokák 8–12 évesek, mert ilyenkor a család bizony éhezne a nagyszülői segítség nélkül [3]. Bár kézenfekvő a természetközeli életmódot folytató népeknél a táplálékmenyiséget összekapcsolni az utódok túlélési esélyével, mégis meggyőzőbben lehet a nagymama-hatást kimutatni, ha ez utóbbit közvetlenül mérjük. Éppen ezért más vizsgálatok inkább az európai közelmúlt születési, házassági és halálozási adatai alapján igyekeztek a nagymamahatást igazolni.

Mirkka Lahdenperä, egy fiatal finn kutatónő vezette kutatócsoport például a XVIII. és XIX. századi finn és kanadai népességi adatokra támaszkodva mutatta ki meggyőzően, hogy a nagymama jelenléte valóban növelte az anya utódainak számát és azok túlélési esélyét is [4]. Azt is megmutatták, hogy a nagymamák halálozási esélye hirtelen növekedésnek indul, amikor a gyermekük már nem szaporodóképes. Ez az eredmény is erősíti, hogy a nők megnövekedett élettartama összefüggésben van a nagymamái szereppel. Érdekes, hogy egy nemrég megjelent tanulmány hasonló német népességadatok alapján arra a következtetésre jutott, hogy csupán az anyai nagymama növeli a 6–12 hónapos unokák túlélési esélyét, míg az apai nagymama hasonló mértékben csökkenti azt [5]. Ez utóbbi hatás vélhetően az egy háztartásban élő apai nagymama és a menyé közötti konfliktusok okozta stressz miatt lehet, ami a vizsgált német közösségekben elég gyakori jelenség volt.

De miért van menopauza?

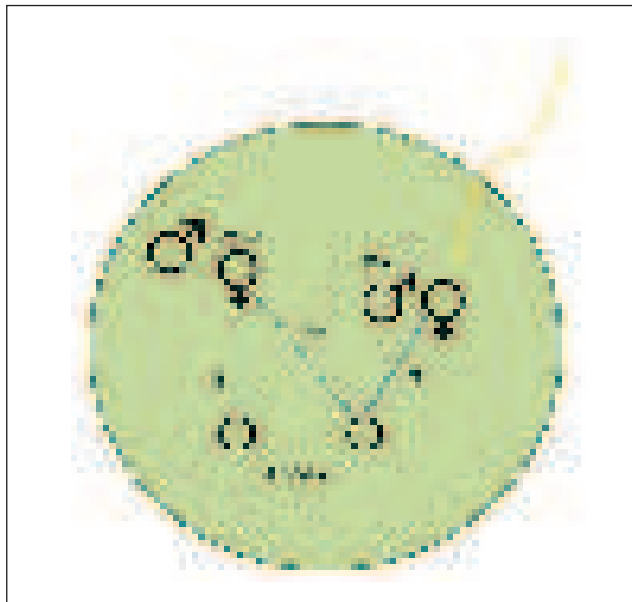
A bemutatott eredmények kétség kívül megerősítik a nagymama-hipotézist, azonban arra nem adnak választ, hogy a kitolódott életkorral együtt miért nem marad meg az anyák termékenysége életük végéig. Hiszen az a tény, hogy segítségükkel az unokáik száma és életképessége nő, még nem zárja ki, hogy eközben saját gyermekük is szülessen. Valami miatt mégis érdemes kizárólag a már meglévő gyerekekre és az unokákra fordítani az energiájukat. Kézenfekvő feltevés, hogy a szülés maga egy, az életkorral fokozódó kockázatot jelentő esemény az embernél, ezért úgy 50 éves kor felett előnyösebb stratégiát váltani, és a már meglévő utódok gondozásába fektetni az ener-

giát. E feltevést alátámasztaná, ha az anyák szülésben valóban lényegesen nagyobb arányban halnának meg idősebb korban, és ez a halálozási ráta hirtelen megnőne közvetlenül a menopauza előtt.

Az imént említett Lahdenparä vezette kutatócsoport adataik elemzése alapján elveti ezt a feltételezést. Megállapították, hogy a szülés okozta halálozás nem volt nagyobb, mint 1–2% az 50 éves kor környékén, továbbá becslésük szerint ez az arány nem nőne jelentősen az idősebb anyák körében sem. Ráadásul az anya elvesztése csak a szoptatási időszakban okozott hátrányt a csecsemőknek, így valószínűtlen, hogy egy 50–60 éves anya lényegesen kisebb rátermettséggel rendelkezne, mint egy 40 éves. Azért érdemes azt megjegyezni, hogy egy 30–40 éves anyának ott van a nagymama segítőnek, míg egy 60 éves anya esetében ennek már sokkal kisebb lenne az esélye. Tehát az idősebb anyák gyermekeinek a hosszú távú sikeressége vélhetően jelentősen csökkenne egy természetes vagy természetközeli emberi társadalomban, ezért a természetes szelekció nem támogatta a szaporodást idősebb korban.

A fokozódókockázat-hipotézisnél lényegesen biztatóbb az úgynevezett *versengőszaporodás*-hipotézis, mert ez nem csupán a megnövekedett élettartamra, valamint a menopauza megjelenésére ad magyarázatot az embernél, ezen túl azt is értelmezni tudja, hogy miért tapasztalunk menopauzát a korábban említett két delfinfajnál [6, 7]. Ezen elgondolás szerint három hatást kell figyelembe venni egyszerre. Egyrészt a nőtények (vagy anyáink a régmúltban) egy zárt csoportban élve közös forrásokat is használtak az utódok felnevelésében. Megosztották a tudást és az energiaforrásokat is szükség esetén, azaz együttműködő utódgondozást folytattak, növelve így mindannyiuk rátermettségét. Másrészt versengtek is egymással, vagyis, ha egy anya többet szerzett meg a közösből, az növelte a rátermettségét, azonban az ilyen fajta önző viselkedés csökkentette az együttműködésből származó javak mennyiségét, ami miatt csökkent az egész csoportban a rátermettség. Harmadrészt figyelembe kell venni a potenciális együttműködő és versenytársak rokonsági viszonyait is. Anélkül, hogy a rokonszelekció elméleti hátterében elmélyednénk, annyit lehet érzékelni, hogy a segítő viselkedés a segítő számára annál „értékesebb”, minél nagyobb rokonságban áll a segítővel. Például a nagymama és az anyai ágon lévő unoka rokonsági foka $\frac{1}{4}$, azaz a közös leszármazás miatt átlagosan minden negyedik génjük azonos. Tehát, ha a segítő viselkedés úgy négyszer akkora nyereséget hoz az unokának, mint amekkora költséget jelent a nagymamamának, akkor ez a segítő viselkedés előnyös a nagymama számára, vagyis az ilyen viselkedést kódoló gének terjedni fognak a populációban. Az anya és a nagymama rokonsági viszonyai azonban függenek attól, hogy inkább a férfiak vagy inkább a nők költöznek a párjuk csoportjába. Legközelebbi rokonainknál, a csimpánzoknál és a törpecsimpánzoknál (bonobók), valamint a gorilláknál inkább a nőtények vándorolnak új csoportba, továbbá a mai természetközeli életmódot folytató törzseknél is gyakoribb, hogy a nők kerülnek a férjük csoportjába, mint fordítva. Viszont, ha a családot alapító nők új csoportba kerülnek, akkor a nagymamák csupán a fiaik gyermekeivel lesznek egy csoportban, ezért a következő generációs anyák nincsenek rokonságban a nagymamák utódaival. Míg a nagymamák saját génjeik terjedését segítik elő az unokák támogatásával, addig az anyáknak nem érdemes az „anyós” utódaikat gondozni (3. ábra).

Ha a korábban kifejtett versengő-együttműködő utódgondozás is igaz, akkor megfelelő matematikai módszerekkel kimutatható, hogy az idősebb generáció anyáinak érdemes abba hagyni a szaporodást körülbelül akkor, amikor a következő generáció gyermekei megjelennek a csoportban, és helyette segíteni az unokák nevelését.



3. ábra. Az anyák rokonsági viszonyainak ábrázolása, ha az anyák külső csoportból érkeznek (sárga nyíl). A kék nyilak mellett az anyák és az azonos korosztályba tartozó utódai közötti rokonsági fok látható. A nagymama és az unoka közötti rokonsági fok csak akkor $\frac{1}{4}$, ha teljesen monogám a csoport, egyébként ennél kisebb, de a kívülről jött feleség és az anyós utódai nincsenek rokonságban

A korábban említett, menopauzával rendelkező delfin-fajoknál szintén csoportos élet- és utódgondozás van, de az emberrel ellentétben a hímek és a nőstények nagyon ritkán váltanak csoportot életük során, azonban mind a hímek, mind a nőstények csoporton kívüli partnerrel is párosodnak (nem is olyan ritkán). A számítások azt mutatják, hogy az ilyen párosodási rendszerben is megéri az idősebb anyának feladni a szaporodást, ha az utódai ivaréretté válnak. Nem így van akkor, ha inkább a hímek váltanak csoportot, amikor ivaréretté válnak. Ilyenkor a fiatal nőstények lesznek nagy eséllyel a segítők, és az idősebben a szaporodók, ahogy azt tapasztaljuk is a legtöbb együttműködő utódgondozó fajnál (2. ábra).

Hol vagytok apák és nagyapák?

Gondolom, az előző fejezetek meggyőzték az olvasót, hogy a menopauza valószínűleg szorosan kapcsolódik a nagymama segítő viselkedéséhez. Éppen ezért felmerül a kérdés, hogy kimutatható-e a nagyapák pozitív hatása az unokák túlélésére és/vagy az unokák számára. Lahdenparä és munkatársai ezt a kérdést is nagyon gondosan megvizsgálták a korábban említett finn adatbázison, és úgy találták, hogy a nagyapa jelenléte vagy hiánya nem befolyásolja az unokák túlélési esélyét és számát [5]. Ez már azért is meglepő, mert egy monogám társadalomról van szó vagy legalábbis közel monogámról, ahol, ha a feleség termékenysége megszűnik, ezzel együtt általában a férj, azaz a nagyapa szaporodási esélye is nulla lesz, tehát azt várnánk, hogy a nagyapa, más megoldás nem lévén, hathatós segítséget nyújt az unokák nevelésében. (Félreértés ne essék, nem gondolom, hogy a nagypapák nem segítenek, csupán azt állítom, hogy az említett populációban, az adatok alapján, jelenlétük nem befolyásolja az unokák

számát és azok túlélési esélyét.) Természetesen más elemzések is foglalkoztak a nagyapahatással, és egyetlen kivételtől eltekintve, a finn eredményhez hasonlóan nem tudták kimutatni a nagyapák hatását az unokák rátermettségére. Ráadásul a kivételt jelentő lengyel tanulmány eredményei, amely kimutatta a nagyapahatást, módszertani hiányosságok miatt megkérdőjelezhetők. (Azért azt ne felejtjük el, igazolt, hogy a tsimanéknál a nagyapák legalább olyan intenzitással táplálják az utódokat és az unokákat, mint a nagymamák.) Elképzelhető, hogy az ember evolúciós történetében sokkal kevésbé volt monogám, mint az utóbbi 10 ezer évben, így a férfiak szaporodási sikere idősebb korra is megmaradt, ha lehetősége volt kellően fiatal párt találni magának. Az is elképzelhető, hogy a férfiak megnövekedett életkora egyszerűen a megnövekedett női életkor következménye. Azok a génváltozatok, amelyek a nők életkorának növekedését okozták, hasonló hatást gyakoroltak a férfiakban is, annak ellenére, hogy ennek nem volt közvetlen előnye. Az utóbbi hipotézis mellett szól, hogy a férfiak várható életkora szinte minden társadalomban valamivel alacsonyabb, mint a nőké. Az is elképzelhető, hogy a férfiak életkora azért tolongott ki, mert ha nem is az unoka, de az unokát segítő nagymamáknak a túlélését segítették.

Érdekes, hogy az apák hatása a gyermekek számára és/vagy azok túlélési esélyére sem igazán számottevő a legtöbb vizsgált esetben. Gyengén pozitív ez a hatás például a már említett hadzáknál vagy a finn populációban. A finn adatokból például az látszik, hogy az apa jelenléte csupán az elsősülött fiú rátermettségére hat. Tudván, hogy a földet a XVIII–XIX. századi Finnországban is az elsősülött fiú örökölte, érthető az apák kitüntetett figyelme irányukba. Gambiai földművesek demográfiai adatai alapján is úgy tűnik, hogy az apa elhanyagolható hatást fejt ki az utódok túlélésére, bár a lányutódok a családdal élő apa hatására valamivel előbb válnak anyává.

Nem soroltuk fel a menopauza evolúciójának összes lehetséges hipotézisét. Arra törekedtünk, hogy a legismertebb és főleg az adatokkal leginkább alátámasztható elképzelésekről beszéljünk. Csupán érdekességként jegyzem meg, hogy egy közelmúltban megjelent cikk szerzői azt mutatták meg, hogy a menopauza elvileg attól is kialakulhatott, hogy a férfiak a fiatalabb nőket részesítik előnyben. A *férfiválasztás* hipotézise szerint, ha más és más gének határozzák meg a várható élettartamot és a szaporodóképességet, akkor a korai szaporodást nem akadályozó, de az idősebb korban csökkenő szaporodóképességet okozó káros mutációk gyorsabb szaporodóképesség-csökkenést okoznak a nőkben, mint amilyen sebességgel csökken a túlélés esélye a káros mutációk miatt.

A számítások szerint e mechanizmus működhet, azonban nem ad igazán magyarázatot arra, hogy miért csak néhány szociális élőlénynél figyelhető meg a menopauza. Ezzel szemben a versengő szaporodás hipotézise szoros kapcsolatot tud kimutatni a tapasztalatok és az elmélet között, ezért a versengő hipotézisek között egyelőre ennek van a legnagyobb magyarázó ereje. Itt jegyzem meg sietve, hogy a biológia, és ezen belül az evolúcióbiológia elképesztő sebességgel fejlődik. Könnyen megeshet, hogy néhány év múlva újabb adatok és elgondolások ismeretében jelentősen megváltozik majd a véleményünk a menopauza evolúciójának legfőbb okairól.

Szociális társadalmak, munkamegosztás, együttműködés

Ha azt kérné tőlünk valaki, hogy nevezzük meg, mi különböztet meg minket, embereket a többi emlőstől, akkor gondolom, a többség megemlítené a strukturált nyelvet, a fejlett éntudatot,

a széleskörű együttműködésre és munkamegosztásra, normarendszerre alapuló társadalmakat, a tervezett munkavégzést, a kultúrát, a művészetet, valamint az emberi viselkedés számos további lényeges elemét. De vajon ki említené meg a menopauzát? Pedig, ahogy láttuk, ez is olyan jellemzője az emberi fajnak, amely szoros kapcsolatban van az ember különösen fejlett társas viselkedésével, az együttműködő utódgondozással. Már hallom az ellenvetést, hogy hiszen éppen ebben a cikkben olvashattuk, hogy más emlősfajnál is kimutatható a menopauza, tehát nem kizárólagosan emberi tulajdonságról van szó. Így igaz, azonban az együttműködés, a munkamegosztás, a kommunikáció sem kizárólagosan emberi tulajdonság. A társas életet élő állatokra ugyanúgy jellemző, mint az emberre (gondoljunk csak a méhekre vagy a hangyákra). Ezeknek a fejlett, úgynevezett euszociális társadalmaknak a legfontosabb ismérve, hogy a szaporodásban szigorú munkamegosztás van. Egyetlen királynő szaporodik a bolyban, míg a többi nőstény aktívan, szigorú munkamegosztás szerint segíti a királynő utódainak (akik természetesen a segítők rokonai) a felnevelését. A menopauza valami hasonló jelenség, ha nem is egy életre szól a szaporodási munkamegosztás, hiszen a szaporodóképességüket elvesztett nők aktív segítőké válnak. Ismereteink alapján úgy tűnik tehát, hogy a társas, csoportos élet, az együttműködő utódgondozás indít el olyan evolúciós változásokat, amely munkamegosztásra vezet a szaporodásban, és elősegíti az egyedek közötti kommunikációt. Az ember éppen abban különleges, hogy ezek az evolúciós hatások, valószínűleg emberszabású őseink már fejlett agyi képességeire támaszkodva, létrehozták a strukturált, komplex nyelvet. Ez forradalmi újítás volt, hiszen az evolúció új szintre lépett. Míg korábban a fajokat ért hatások csupán a génekben okoztak változásokat, az embernél a nyelv által a tapasztalatok, az ismeretek, a szabályrendszerek és a hiedelmek is terjedtek, vagyis egy új öröklődési forma alakult ki, amelynek hátterében ott van cikkünk központi témája, a menopauza is. Hölgyeim, legyenek büszkéik rá!

A cikk az OTKA támogatásával (K100299) jött létre.

Irodalom

- [1] Palchikov V., Kaski K., Kertész J., Barabási A.L. & Dunbar R. I. M. (2012) Sex differences in intimate relationships *Scientific Reports* 2 : 370, DOI: 10.1038/srep00370
- [2] Hawkes, K., O'Connell J. F., and Blurton Jones, N. G. (1997) Hadza women's time allocation, offspring provisioning and the evolution of long postmenopausal life spans. *Curr. Anthropology* 38: 551-577
- [3] Hooper, P. L., Gurven, M., Winking, J. and Kaplan, H. S. (2015) Inclusive fitness and differential productivity across the life course determine intergenerational transfers in a small-scale human society. *Proc. Roy. Soc. B.* 282:20142808
- [4] Lahdenperä, M., Lummaa, V., Tremblay, M. and Russel, A. F. (2004) Fitness benefits of prolonged post-reproductive lifespan in women. *Nature* 428: 178-181
- [5] Lahdenperä M., Russell A. F. and Lummaa V. (2007) Selection for long lifespan in men: benefits of grandfathering? *Proc. Roy. Soc. B.* 274: 2437-2444
- [6] Croft, D. P. Brent, L. J. N., Franks, D. W. and Cant, M. (2015) The evolution of prolonged life after reproduction *TREE* 7: 407-416
- [7] Johnstone, R. A. Cant, M. A. (2010) The evolution of menopause in cetaceans and humans: the role of demography *Proc. R. Soc. B* doi:10.1098/rspb.2010.0988

Régóta ismert statisztikai tény, hogy a férfiak agyának átlagos mérete és súlya nagyobb, mint a nőké. Az is ismert volt, hogy az agy szürkeállományának a fehérállományhoz való térfogataránya a férfiaknál átlagosan nagyobb, mint a nőknél.

Nemrég megjelent publikációmban [1] azt mutattuk be, hogy a nők agyának összeköttetései sok szempontból „gazdagabbak”, illetve „jobbak”, mint a férfiaké. A munkában az Egyesült Államok egyik nagy kutatási projektjének, a Human Connectome Project-nek MRI felvételeiből készítettük el 96 alany agyi kapcsolatait leíró agygráfját, és a gráfokat a matematika egy ágának, a gráfelméletnek az eszközeivel elemeztük. Kiderült, hogy a nők agygráfjai átlagosan több gráf-élt (azaz összeköttetést) tartalmaznak, mint a férfiaké, és több más gráfelméleti paraméterük is olyan, ami bizonyos szempontból a jobb összeköttöttségre utal. Így például azt is megmutattuk, hogy mind a jobb, mind a bal agyféltekén belül, akárhogy is osztjuk ketté az agyféltekét két egyforma részre, a két rész között futó kapcsolatok minimális száma – amit minimális kiegyensúlyozott vágásnak is neveznek – a nőknél nagyobb. Ez a mennyiség régóta használatos többek között számítógépes hálózatok minőségének leírására: annál jobb egy hálózat, minél nagyobb ez az érték. Sőt, a nők agygráfjának ez az előnye akkor is megmarad, ha vágást az agy élszámával leosztjuk (azaz normáljuk), tehát ez a tulajdonság független a nők agygráfjában található több éltől. Az is kiderült, hogy a nők agygráfja jobb nagyítógráf (expander), mint a férfiaké. Mind a minimális kiegyensúlyozott vágás mérete, mind a jobb nagyítógráf-tulajdonság az agy belső, mély, „gazdagabb” kapcsolataira jellemző.

Érdekes, hogy eddig mindenki azt írta le: „a férfiak esetében – átlagosan – a szürkeállomány fehérállományhoz való aránya magasabb, mint a nőknél”. Ez a kijelentés ekvivalens azzal, hogy „a nők esetében – átlagosan – a fehérállomány szürkeállományhoz való aránya nagyobb, mint a férfiaknál”. Ha figyelembe vesszük azt, hogy – erős leegyszerűsítéssel – az agy fehérállományát az agyi kapcsolatokat fenntartó idegrostok alkotják, azt kaphatjuk, mint amit a gráfelméleti analízissel találtunk: a nők esetében a relatíve nagyobb fehérállományban több kapcsolat köti össze a szürkeállomány területeit, mint a férfiaknál.

Nemcsak a nemek, hanem az egyes emberek agyi kapcsolatait is érdekes összehasonlítani. Azt néztük meg 392 alany gráfjait összehasonlítva [2], hogy az agy mely lebenyei, illetve kisebb részei mennyire változékonyak több alanyon mérve. Kiderült, hogy a halántéklebeny és a 95 csúcst tartalmazó nyakszirti lebenyhez tartozó agygráfok a legváltozatosabbak az alanyok között, míg – meglepetésünkre – a homloklebeny agygráfja kevesebb változatosságot mutatott.

A továbbiakban leírjuk, hogy milyen eszközökkel és hogyan derítettük fel ezeket a tulajdonságokat a nők és a férfiak agygráfjairól.

Az agy feltérképezése és az agygráf konstrukciója

Az emberi agyat több szervezési szint szerint bonthatjuk részekre. Sejt szinten az agy első ránézésre talán az idegsejtek „kusza” hálózata. Ezek az idegsejtek vagy neuronok is több elkülöníthető részből állnak, számunkra két rész érdekes most: az idegsejtek sejtteste és axonja. A sejttestek jellemzően sötét színűek és többnyire az agy külső részén helyezkednek el. Axonok pedig a sejttestből kilépő hosszú nyúlványok, amelyek akár több ezres kötegekben futnak párhuzamosan, ezen kötegeket nevezzük idegrostoknak vagy idegpályáknak. Ezek jellemzően – az őket körülvevő burok miatt – világos színűek és az agy belső részén helyezkednek el. Ez adja egy másik szerveződési szint szerinti szétválasztást: a sötét színű sejttestek összességét nevezzük szürkeállománynak, a világos idegrostok összességét pedig fehérállománynak.

A fehér- és szürkeállomány elválasztása szemmel viszonylag egyszerű, de a gyakorlatban olyan módszer szükséges, amely az agy működését *in vivo* képes megfigyelni. Ebben van segítségünkre a diffúziós MRI (dMRI). Az MRI egy mágneses rezonanciát használó képalkotási eljárás. Az alapelv a következő: dMRI segítségével képesek vagyunk egy adott pontban és irányban mérni a vízmolekulák diffúziós sebességét.