

Magyar Tudomány, 2006/12 1453. o.

Tanulmány

Az emberi agy fejlődésének története

Hámori József

az MTA rendes tagja

hamori @ ana.sote.hu

A Homo sapiens legjellegzetesebb, megkülönböztető jellege a más emlősközhöz képest jóval nagyobb agya (1. ábra); testsúlyhoz viszonyítva is háromszor nagyobb, mint legközelebbi élő rokonunké, a csimpánzé.

Mi különbözteti meg az emberi idegrendszert, ezt a John Eccles Nobel-díjas tudós szerint a világmindenség legcsodálatosabb és legkomplexxebb szerkezetét más, nem emberi agyaktól? Mi az a különlegesség, ami az emberi idegrendszerben található és amelyet meg kell fejtenünk ahhoz, hogy az ember-állatvilág közötti különbséget ténylegesen értelmezni tudjunk?

Miért van az, hogy az öt éves embergerek időnként különböző kérdéseket tesz fel, például egy nagyon egyszerű kérdést: honnan és hogyan jöttem én erre a világra? Míg a legszofisztikáltabb és legjobban tréningezett öt éves és kommunikációra tanított csimpánz is mindössze annyit képes közölni a maga módján, hogy „enni kérek, inni kérek”. Az elmúlt hárommillió esztendő alatt az ember a törzsfajlás során fantasztikus komplex nyelvi kultúrát fejlesztett ki, magyarul: megtanult beszélni és olyan anyagi kultúrát alakított ki, amelyet nemcsak a nagyobb agynak, hanem az agy kvalitatív, minőségi fejlődésének is tulajdoníthatunk. Kérdés tehát, hogy az emberi agyfejlődés, ez a fantasztikus, részben nagyságában, másrészt komplexitásában két-hárommillió év alatt végbement agyfejlődés hogyan is történt? Az emberi agy fejlődésére vonatkozó ismeretünk közül a dolgozatban a paleoneurológiai vizsgálatok eredményeit, másrészt az ember és agyának fejlődését szabályozó genetikai hétévről újonnan felderített, nagyon fontos részeredményeit foglaljuk össze.

Paleoneurológia

Ez a tudomány az emberelődök, a hominidák fajainak csontleleteiből, elsősorban a koponya lenyomataiból következtet a fejlődés láncolatának, az emberré alakulásnak állomásaira. A foszilis evidenciák arra utalnak, hogy az agy nagyságában lépcsőzetes fejlődés volt az elmúlt 2-2,5 millió év során. Vegyük először az *Australopithecusokat*, amelyek tulajdonképpen a hominid sor legerősején találhatók (2. ábra).

Az *Australopithecus afarensis* a korai hominidák képviselője volt, mintegy 3,5-2,9 millió éve. A Donald Johanson által talált, 3,2 millió éves egyed, a híres „Lucy” tartozott ehhez a fajhoz. A mai csimpánzhoz hasonló, 400-450 cm: körüli agyterefogat és ugyancsak nagyon erős rágóizmzat jellemezte. Testmagassága 95 és 135 cm között lehetett. Ugyanakkor a fogazata, lábai és a medence már inkább emberszerű jellegű mutatott. Ez volt az első hominid (emberelőd), ami két lábon járt (2. ábra).

Az *Australopithecus africanus*, 3-2 millió évvel ezelőtt élt, természetesen Afrikában; az agy nagysága 400 és 500 cm³ között volt. Ez valamivel nagyobb, mint a csimpánzok agya, bár a test nagysága körülbelül azonos lehetett. Természetesen még nincs meg az agyának az a fejlődése, mely a beszédet is lehetővé tette volna. Gyümölcs- és növényevő volt.

Az *Australopithecus boisei* (az *A. robustus* is ehhez hasonló lehetett). A koponya erőteljes, bár az agyokoponya csupán max. 500 cm³. 2,3-1,1 millió éve élt – az *Australopithecusok* eddig talált utolsó (legfiatalabb) faja. Éppúgy, mint elődei, két lábon járt.

Homo habilis, vagyis a "kezes ember"; azért hívják úgy, mert már eszközöket is lehet találni a Homo habilis maradványai mellett. A habilis tulajdonképpen 2,4-1,5 millió évvel ezelőtt élt. Sok tekintetben még hasonló az *Australopithecusokhoz*. Ugyanakkor az átlag agyméret már 650 cm³, jóval nagyobb, mint az *Australopithecusoké*. Ez az agyméret egyébként változik, 500 és 800 cm³ között, a 800 cm³ már a következő Homo agy (*Homo erectus*) nagyságát is eléri. A *Homo habilis* agy formája is emberi jellegű. A Broca area, azaz a beszédközpont még nem található meg; a habilis testnagysága kb. 127 kg volt. A következő és a legfontosabb az emberelődök közül a *Homo erectus*. Ennél volt a fejlődés a legdrámaibb.

Homo erectus

A leggyorsabb evolúciós fejlődést itt találhatjuk az agy nagyságában is. A *Homo erectus* (egyenesen járó ember) kb. 1,8 millió évvel ezelőtt lépett fel, de még 300 000 évvel ezelőtt is találhatók *Homo erectus* maradványok. A habilishez hasonlóan az arc még erőteljesen előre nyúló, nagyon nagy moláris fogakkal, az agyméret pedig nagyon változó volt: 750 és 1225 cm³ között volt a különböző *Homo erectus*-maradványoknál. Míg a *Homo habilis* és valamennyi *Australopithecus* csak Afrikában élt, az *erectus* már kikerült Afrikából. Megtalálhatók *Homo erectus*-maradványok Ázsiában és Európában is. Arra is van bizonyíték, hogy a *Homo erectus* már tüzet is használt, és kőszerszámai is jóval szofisztikáltabbak voltak, mint a *Homo habilis*. Az *erectus* után a következő forma az emberi elődöknél a *Homo sapiens*, méghozzá annak archaikus, ősi formája.

Homo sapiens (archaikus)

Kb. 500 000 évvel ezelőtt élt. Keveréke a *Homo erectus* és a mai modern ember jellegzetességeinek. Az agyméret már általában is nagyobb, mint a *Homo erectusé*, de valamivel kisebb, mint a modern embereké, 1250 cm³ körüli átlaggal. A koponya jóval kerekdedebb, mint az *erectus*nál. A váll és a fogak az *erectus*énál kevésbé robusztusak, de jóval erőteljesebbek még mindig, mint a modern embernél. Nincs egészen pontos választóvonal az 500 000 és 200 000 évvel ezelőtt talált *erectus* és az archaikus *sapiens* között. Időnként valószínűleg keveredés is volt közöttük.

Következő a *Homo sapiens neanderthali*, azaz a neanderthali ember. 230 000 évvel ezelőtt jelent meg először és még 30 000, újabb kutatások szerint még 25 000 évvel ezelőtt is élt, elsősorban a hidegebb éghajlaton, tehát nem Afrikában, hanem Európában. Az átlagagy valamivel nagyobb, mint a ma élő modern embereké átlagban, körülbelül 1450 cm³. Az agy mérete mellett azonban az agy formája még mindig kissé hosszúka, mint a modern embernél. A neanderthaliak nagyon jó vadászok lehettek, és tulajdonképpen az elsősk voltak, akik eltemették halottaikat. A legkorábbi ilyen temetkezési hely kb. 100 000 évvel ezelőtt keletkezett. A neanderthaliak Európában és a Közel-Keleten éltek.

Homo sapiens sapiens (a mai ember)

E formájában először 195 000 évvel ezelőtt jelent meg, agyméret átlagban 1350 cm³, némileg különbözik a férfiaknál és a nőknél. 40 000 évvel ezelőtt, amikor a cró-magnoni kultúra megjelent, az eszközök jóval szofisztikáltabbak lettek, mint az elődöknél vagy akár a neandervölgyi embereknél. Sokféle anyagot használtak, így csontot, a későbbiekben már fémeket is. Új technológiát alakítottak ki arra, hogy ruhát varrjanak, ruházatot állítsanak össze. Ezenkívül különböző művészeti alkotások létrehozására voltak képesek, így jöttek létre a finom művészi munkák, például a különböző csontfaragások. Kisebb szobrocskák (csontból, kőből), a zenei instrumentumok (ezek nagyon fontosak, tehát már zenéltek) és rendkívül szép barlangfestmények, amelyek a tulajdonképpeni a cró-magnoni kultúra megjelenése után, 20 000-30 000 évvel ezelőtt fejlődtek ki a legteljesebb mértékben.

Ugyanakkor amikor azt tapasztaltuk, hogy az emberi agy fejlődésének egyik legfontosabb tényezője, hogy jelentős mértékben növekedett 2-2,5 millió év alatt, míg elérte a jelenlegi nagyságát, megállapítható (3. ábra), hogy ugyancsak a hominidák fejlődésének másik ágában furcsa módon az volt a jellemző, hogy nem növekedett az agy. Ez a vonal az *Australopithecusok* ága. Nagyon kis különbséget lehet látni a korábbi *Australopithecus gracilis afarensis* és jóval későbbi, robusztus fajok között.

A *gracilis* formánál az *Australopithecus africanus*nál az agy térfogata kb. 442 cm³, míg a jóval robusztusabb formáknál (*Australopithecus robustus* és *Australopithecus boisei*) kb. 516 cm³, tehát tulajdonképpen nincs nagyobb különbség. Vagyis az *Australopithecusok* egymást követő fajai úgy éltek és haltak is ki, hogy nem növekedett az agy térfogata. Ennek egyik lehetséges magyarázata, hogy az agy térfogatnagysága tulajdonképpen a fajnak a komplex fejlődési lehetőségeivel és elsősorban az eszközök megjelenésével volt kapcsolatban. Tehát olyan eszközökről van szó, amelyeket az előemberek, a *habilis*, elsőként maga is már használhatott. Ugyanez, azaz az eszközhasználat, az *Australopithecusok*nál nem jelent meg. Az, hogy különböző munkaeszközöket, eszközöket használtak az előemberek, annyit is jelentett ugyanis, hogy megnövekedett az a lehetőségük, hogy megfelelően alkalmazkodjanak a környezetükhöz, és ehhez megfelelő technológiával rendelkezzenek. Tulajdonképpen a *Homo erectus* volt az az elődünk, amely már „kifinomultabb” eszközökkel rendelkezett, és képes volt arra, hogy a környezetével kapcsolatos problémákat kreatívan oldja meg. Vagyis a fejlődésben kétféle ágazott a hominidák fejlődése: az ember, a *Homo* vonal felé, a másik, kihalt ága pedig az *Australopithecusok* különböző fajai voltak. Ez a lényegi különbség valójában egy adaptív fejlődés eredményének vagy éppenséggel eredménytelenségének volt tulajdonítható. A törzsfajlás, az evolúció tulajdonképpen „kísérletezett” a hominidák különböző típusaival, méghozzá azért, hogy kiderüljön, hosszú távon melyik az a típus, tulajdonsághalmaz, ami a leghasznosabb a progresszív fejlődésben. Nyilvánvaló, hogy e tulajdonságok közül a megnövekedett agykapacitásnak jelentős evolúciós haszna volt. A megnövekedett agyméret és agynagyság nagyobb magatartási, viselkedési flexibilitást jelentett, amikor a különböző és változó környezeti szituációhoz kellett alkalmazkodni. Ez ugyanakkor annyit is jelentett, hogy a *Homo* előd képes volt arra, hogy jóval komplexebb eszközöket gyártson magának, s arra is, hogy megfelelő védőhelyeket találjon magának, hogy a tüzet használja azért, hogy melegegdedjen, védje magát és főzésre-sütésre is. Hasonlóképpen könnyebb volt az ilyen módon kialakított fejlettebb innovatív képességek, mint az eszközhasználat, eszközök készítése, átadása egyik nemzedékről a másikra. Ugyanakkor a nagyobb agynak vannak – voltak persze problémái is. Ilyen például az okéart a hosszabb posztnatalis, tehát születés utáni növekedési szakasz. Ez azzal járt, hogy megfelelőképpen kellett gondoskodni az egyébként még eléggé elesett csecsemők felneveléséről. Tulajdonképpen ez azt jelentette, hogy az agyfejlődés nagyobb része nem születés előtt, hanem születés utánra tolódott. Különösen kritikus gondoskodásra volt szükség az emberi csecsemőknél a születés utáni első és második év során. Ezen túlmenően a növekedő és megnövekedett agynak sokkal nagyobb energiaszükséglete van a születés utáni megnyúlt periódus alatt is. Azok a hominidák, amelyeknek nagyobb agyuk volt, és megvolt a lehetőségük a szükséges megnövekedett energia fűvelésére, könnyebben éltek túl az első növekedési évek nehézségeit, és felnőttként is könnyebben léptek át a szaporodási szakaszba. Eppen ezért a megnövekedett agykapacitáshoz kapcsolódott és kapcsolódik, ma már tudjuk, a megnövekedett, de mint a továbbiakban látjuk, differenciált táplálkozási szükséglet is. Valójában az emberi agy törzsfajlás során tapasztalt gyors megnagyobbodása a következő tényezőkkel állhatott összefüggésben:

- 1.) az éretndben történt gyors változás,
- 2.) szociális, illetve társadalmi csoportokban való életmód, és
- 3.) talán legfontosabbak azok az újabb adatok, amelyek a fejlődés-genetikával magyaráznak sok mindent az emberi agy fejlődésével kapcsolatban.

Étrend

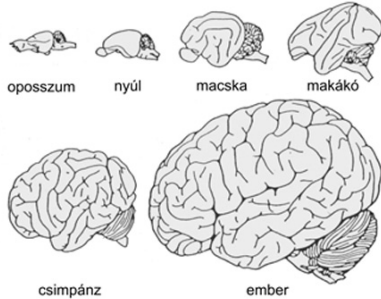
Hogy az emberi vonal fejlődésében miért volt ilyen fantasztikusan felerősített az a szelekció, ami „jobb” és nagyobb agyakat hozott létre, míg más fajknál ez nem következett be, továbbra is nyitott kérdés. Más szóval, hogy az emberi agynak ez a fejlődése miért volt és még ma is folytatódóan miért egy „speciális” esemény, ma még nem lehet pontosan megmondani. A válasz erre a nagyon fontos kérdésre nemcsak a biológiai tudományoktól, hanem valószínűleg a társadalomtudományoktól is várható.

Konklúzióként azt lehet elmondani, hogy ez a speciális jelenség, az emberi agynak ez a nagyon gyors, rendkívüli fejlődése, amely Eccleszel szövege szerint létrehozta az Univerzum legkomplexebb és legszebb szerkezetét, vagyis az emberi agyat, a jelenlegi hatmilliárd *Homo sapiens* agyát, egy olyan bonyolult folyamat lévén jöhetett létre, amelyben szerepelnek a szociális társadalmi háttér, a kulturális magatartásformák és a felgyorsult agyspecifikus génmutációk.

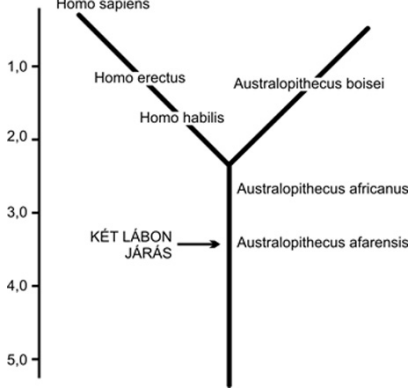
A végső kérdésre, tudniillik, hogy mi hozta létre az emberi agy s így az ember felgyorsult evolúcióját, valamint ennek következtében az állat rokonainktól történt markáns elkülönülését – egyelőre csak hipotézisekkel lehetne válaszolni.

Kulcsszavak: *emberelődők, főemlősök, agy, agyfejlődés, agyfejlődés génjei, beszédgén,*

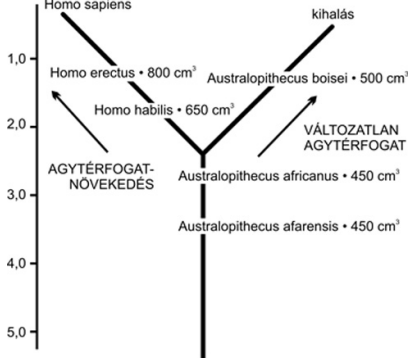
gyorsuló evolúció, előhomloki lebeny, kéregfejlődés



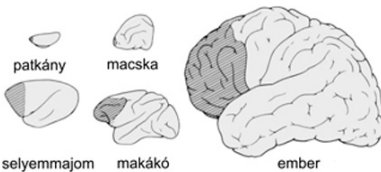
1. ábra • Emlős agyak összehasonlító makromorfológiája



2. ábra • A kettéágazó hominid fejlődés vonal. Látható, hogy az Australopithecusok korai szakaszát már a két lábón járás jellemezte.



3. ábra • A hominid fejlődés vonalán vezető fajainál (*habilis, erectus*) jellemző az agytérfogat növekedése. Ugyanez az *Australopithecus* vonalánál (*boisei*) nem tapasztalható.



4. ábra • A prefrontális kéreg (sátrított kéregterület) nagysága emlősökben. Legnagyobbra relatíve és abszolúte is az emberben fejlődik.

Irodalom

Dorus, Stephen – Vallender, E. J. – Evans, P. D. – Anderson, J. R. – Gilbert S. L. – Mahowald, M. – Wyckoff, G. J. – Malcom, C. M. – Lahn, B. T. (2004): Accelerated Evolution of Nervous System Genes in the Origin of Homo Sapiens. *Cell*. 119,1027–1040.

Enard, Wolfgang et al. (2002): Molecular Evolution of FOXP2, a Gene Involved in Speech and Language. *Nature*. 418, 869–872.

Evans, Patrick D. et al. (2004): Adaptive Evolution of ASPM, a Major Determinant of Cerebral Cortical Size in Humans. *Human Molecular Genetics*. 13, 489–494.

Evans, Patrick D. – Gilbert, S. J. – Mekel-Bobrov, N. – Vallender, E. J. – Anderson, S. L. – Vaez-Azizi, L. M. – Tishkoff, S. A. – Hudson, R. R. – Lahn, E. T. (2005): Microcephalin, a Gene Regulating Brain Size, Continues to Evolve Adaptively in Humans. *Science*. 309, 1717–1720.

Hofman, Michael A. (1989): On the Evolution and Geometry of the Brain in Mammals. *Progress in Neurobiology*. 32,137–158.

Hofman, Michael A. (2000): Brain Evolution in Hominids: Are We at the End of the Road? In: Falk, Dean – Gibson, Kathleen R. (eds.): *Evolutionary Anatomy of the Primate Cerebral Cortex*. Cambridge Univ. Press, in press.

Milton, Katherine (1993): Diet and Primate Evolution. *Scientific American*. August, 70–77.

Stedman, Hansell H. (2004): Myosin Gene Mutation Correlates with Anatomical Changes in Human Lineage. *Nature*. 428, 415–418.

Zhang, Jianzhi (2003): Evolution of the Human ASPM Gene, a Major Determinant of Brain Size. *Genetics*. 165, 2063–2070.

[<-- Vissza a 2006/12 szám tartalomjegyzékére](#)

[<-- Vissza a Magyar Tudomány honlapra](#)

[\[Információk\]](#) [\[Tartalom\]](#) [\[Akaprint Kft.\]](#)
