

HÁMORI JÓZSEF

Mit tud az emberi agy?



*Hámori József
kutatóprofesszor
az MTA alelnöke*

A 20. század egyik legismertebb, Nobel-díjas tudósától, Sir John C. Eccles-től származik a következő megállapítás: „Az élet fejlődésének, az evolúciónak egyik, ha nem legnagyobb csodája az emberi agy, az Univerzum valószínűleg legszebb, legbonyolultabb s egyben legkifinomultabb, ugyanakkor szinte teljes pluripotenciával rendelkező produktuma.” Ezt az állítást alá lehet támasztani számadatokkal, de még inkább az evolúció során tudatossá lett emberi agy szinte korlátlan működési lehetőségeinek felsorolásával.

Az agy szerkezeti-működési komponensei

Az átlagosan 1330 grammnyi emberi agyban kvantitatív morfológiai vizsgálatok szerint legalább 200 milliárd nyúlványos idegsejt van, amelyek kisebb-nagyobb neuronhálózatokba rendeződve működnek. A hálózatokban lehet néhány tíz, de sokszor több tízezer idegsejt is, melyeket egymással jellegzetes ingerületátadó szerkezetek, az ún. **szinapszisok** kötnek

1932-ben született. 1955-ben kutatóbiológusként végzett az ELTE Természettudományi Karán. 1966-ban a biológiai tudományok kandidátusa, 1972-ben akadémiai doktora lett, 1990-ben az MTA levelező, 1998-ban rendes tagja, majd 2002-től alelnöke.

Pályáját Pécssett kezdte, Szentágotthai János intézetében kutatta a gerincesek központi idegrendszerének szerkezetét, majd a Semmelweis Egyetemen tanulmányozta az ideghálózatok és az idegrendszer kapcsolatrendszerét és fejlődését. 1990-től a Janus Pannonius Tudományegyetemen egyetemi tanár, majd a JPTE rektora; jelenleg a SOTE kutatóprofesszora, de az oktatásban is részt vesz. 1998. július és 2000. január 1. között a nemzeti kulturális örökség minisztere. 1999-ben az UNESCO által szervezett Tudományos Világkongresszus elnöke volt. 2002 májusában az UNESCO Magyar Bizottság elnökévé választották.

Főbb kutatási területei: a kisagy és a látórendszer kéreg alatti központjának szinaptikus szerveződésvizsgálata, az ideghálózatok és általában az idegrendszer fejlődésének vizsgálata, valamint a fejlődő és érett idegrendszer plaszticitásának tanulmányozása.



Az emberi agy

Szinapszis:

Charles Sherrington Nobel-díjas angol fiziológus által 1896-ban alkotott görög eredetű elnevezés az idegsejtek funkcionális sejtmembrán-kapcsolatának jelölésére. Az „üzenetet” küldő sejt a preszinaptikus, az azt fogadó a posztiszinaptikus elem. A szinapszis a kémiai (és elektromos) idegingerület-átvitel helye (emellett létezik nem szinaptikus kommunikáció is idegsejtek között). Az idegingerületet átvivó anyagok a neurotranszmitterek, melyek alapvetően két nagy csoportra oszthatók, nevezetesen serkentőkre és gátlókra, melyek a posztiszinaptikus idegsejt membránját első közelítésben depolarizálják, illetve hiperpolarizálják. A serkentő és gátló szinapszisok elektronmikroszkópos szerkezete különböző. Az I-es típusnak a szinaptikus vezikulái – a neurotranszmittereket tartalmazó kis, membránnal határolt „egységcsomagok” – kerek, szinaptikus rész tágabb, aktív zónájuk nagyobb, leggyakoribb neurotranszmitterük a glutámát. A II-es típusnak a vezikulái laposak vagy pleomorfak, kisebb méretűek, a szinaptikus rész keskenyebb, aktív zónájuk kisebb, leggyakoribb neurotranszmitterük a gamma-amino-vajsav (GABA).

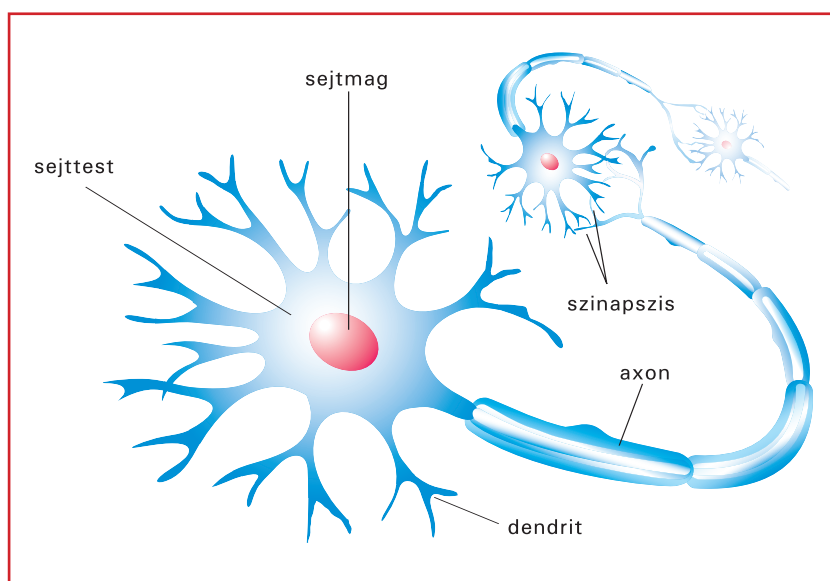
Nyúlványos idegsejtek

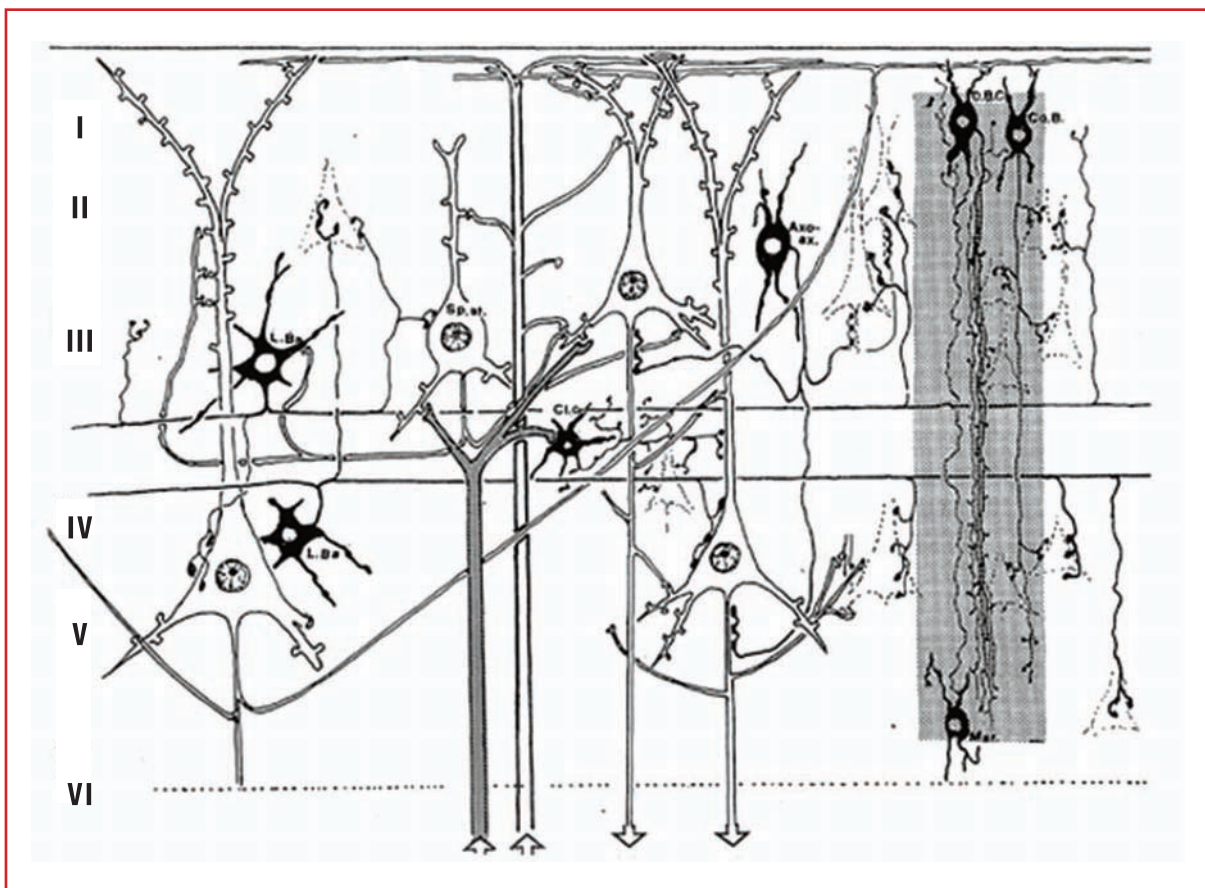


össze, s teszik lehetővé a hálózatok változatos működését. A 200 milliárd idegsejtet legalább tízezerszer több (gátló vagy serkentő) szinapszis kapcsolja hálózatokká.

Lényegében ez a hihetetlenül nagyszámú idegsejt, s az ennél is nagyságrendekkel több információátadó szinapszis teszi lehetővé az olyan emberi tulajdonságok kialakulását és működését, mint az (emberi) beszéd, a szimbolikus, elvont gondolkodás, a múltba (s néha) a jövőbe látás képessége, vagy éppen a kételkedés, a kritikus gondolkodás (ha van), vagy az ugyancsak egyedülálló emberi tulajdonság, a kreativitás, vagyis az alkotóképesség megjelenése, művészi alkotások létrehozása (és élvezete), hogy csak néhányat említsünk az emberi agy tulajdonságaiból.

Persze ami a szerkezetet illeti, a gerinces állatok, s főképpen az ún. emberszabású főemlősök (gorilla, orangután, csimpánz, gibbon) agyában is





hasonló idegi szerkezeteket (nyúlványos idegsejtek, szinapszisok), sőt sokszor hasonló agyi, agykérgi régiókat, központokat találunk, mint az emberi agyban. Mégis óriási a különbség az állatok és az ember agyi képességei között. Mi ennek az oka? Kétségtelen, hogy az ember agya mennyiségileg (testsúlyhoz viszonyítva) súlyosabb, nagyobb tömegű, mint akár a magatartásban legfejlettebb főemlősöké: a csimpánz agya 400 grammos, a gorilláé is csak 500 g (60–100 kilogrammos egyedekben is!), míg az átlagban 70 kg tömegű ember agysúlya 1300–1400 g. Természetesen naivítás lenne, ha az állatok és az ember közötti értelmi különbségeket kizárólag a nagyobb agysúlyból vezetnénk le. Gondoljunk csak arra, hogy az ember és a csimpánz 30–40 ezer **génjének** 98,5 százaléka azonos! És mégis valamennyiünk számára nyilvánvaló, hogy lényeges különbségeket találunk az ember és az állatvilág között.

Melyek a lényegi különbségek? Az előadásban az emberi agy két olyan meghatározó tulajdonságával foglalkozunk, amelyek az emberi és állati agyak közötti lényegi különbségeket okozzák, és egyben az emberi agy sajátosságait is meghatározzák. Az egyik az emberi agy elnyújtott, születés utáni kialakulása, aminek következtében az agyhoz kötött tulajdonságok optimálisan fejlődnek ki, s így az emberi agy hihetetlen tanulóképessége, **plaszticitása** felnőtt korra is részben megmarad. A másik tulajdonság az ember agyának, elsősorban a magasabb idegi tevékenységekben oly fontos agyféltekéknek az állatokétól eltérő aszimmetrikussága, amely az így kialakult

Az agykéreg idegsejtjei hálózataiba rendeződnek. Szentágothai János eredeti rajza alapján

Gén:

az öröklődés funkcionális egységei, melyek specifikus helyet foglalnak el a kromoszómákban, és képesek önmagukat pontosan reprodukálni a sejtek osztódása során, illetve képesek enzimek vagy más fehérjék képződését irányítani.

Kromoszóma:

a sejtek osztódásakor a sejt-magban megfigyelhető, pálcika alakú képletek, melyek a géneket hordozzák. Az egészséges embernek 46 kromoszómája van.

**Plaszticitás:**

változékonyságra való képesség a központi idegrendszerben. Lehetnek különböző formái, mint például a szinaptikus plaszticitás (szinaptikus kapcsolatok változása, kialakulása, illetve megszűnése) vagy például a fejlődési plaszticitás (a fiatal, fejlődő idegrendszer nagyfokú formálhatósága, alakíthatósága az egyed születése után).

Gliasejt:

az idegsejtek zavartalan működését biztosító, nem az ideg-ingerület átadására specializálódott sejtek az idegrendszerben.

Sejttest (szóma):

az idegsejt teste, amely magába foglalja a sejtmagot, citoplazmát, mitokondriumokat és a többi sejtorganellumot.

Szomatikus:

testi.

Genom:

az egyik szülőtől származó gének (kromoszómák) teljes készlete.

Kisagy (cerebellum):

a központi idegrendszer ősi struktúrája, amely többek között a motoros működések kontrolljáért felelős. A kisagy viszonylag kevés (hét) sejtípusból épül fel, melyek funkcionális egységekbe (modulokba) rendezetten fordulnak elő.

Neuroblaszt:

embrionális idegsejt.

Morfogenetikus:

az alakot kialakító.

munkamegosztás révén lehetővé teszi olyan emberi képességek kialakulását, mint a beszéd, a muzikalitás, a kreativitás stb. E képességek meghatározásával az elmúlt évezredek során sokan próbálkoztak.

Az emberi agy sajátossága: rendkívül hosszú születés utáni kifejlődés, plaszticitás, tanulóképesség

A genetika, a génekkel történő szabályozás tudományának gyors fejlődése vetette fel azt az alapvető kérdést – ami a 20. század második felének egyik vitatott problémájával is kapcsolatos –, hogy mi a gének szerepe e fantasztikusan bonyolult felépítésű és működésű szerkezet, az emberi agy kialakításában. (A bonyolultságot még tovább fokozza, hogy az agy idegsejtjei között kb. tízszer több ún. **gliasejt** is található, melyek – közvetve – ugyancsak részt vesznek az idegi működésekben.)

Általánosan elfogadott, tudományosan alátámasztott nézet szerint az ember testi felépítése, de még az evolúció során robbanásszerű gyorsasággal fejlődő agya, idegrendszere is visszavezethető – *mutatis mutandis* – az állati ősökre. Nyilvánvaló, hogy az állatokhoz hasonlóan az ember kifejlődését, az egyed formálódását, testi megjelenését, milyenségét is az örökítő anyag szabályozza, s ez a DNS (deoxiribonukleinsav) az, ami a sejtmagba zárva őrzi a sokszor hárommilliárd éve rögzített információtömeget. A genetikai állomány a géneken keresztül a sejtmag kromoszómáiban lokalizálódik. Az embernek – legújabb megállapítások szerint – megközelítően 30 ezer génje van, melyeknek jelentős hányada azonos vagy hasonló a baktériumokban, mikrobákban is megtalálható DNS-génekkal! A többit az ember a törzsfelődés során gyűjtötte össze, és – egyes vélemények szerint – csupán kb. 500 gén tekinthető kizárólagosan emberinek.

Mindenesetre eléggé nyilvánvaló, hogy a gének pontosan meghatározhatják bizonyos **szomatikus** jellegzetességeinket: a Mendel-féle törvények nemcsak a borsó öröklődésére vonatkoznak, hanem az ember testi kifejlődésére is. Szőke és kék szemű apa és anya gyermekei általában ugyancsak szőkek és kék szeműek lesznek. Hajsznünk, testmagasságunk, a bőr, a szem színe, ujjlenyomatunk valójában mind-mind jól megszabott genetikai szabályok szerint alakul ki. Vajon hogyan érvényes ez a legfontosabb emberi hordozóanyag, az agy hihetetlen bonyolultságú szerkezetére, s az abból levezethető szellemi és intellektuális teljesítményekre, képességekre?

E területen még ma sem teljesen egységesek az álláspontok, hiszen akár a történeti, akár a mai ember mentális, agybeli képességeit vizsgáljuk, nehéz különválasztani azt, amit a környezettől, a társadalomtól (*a nurture* – azaz a nevelés által) s amit a génektől (*a nature* – azaz a természet révén) kaptunk.

Ráadásul ma már nyilvánvaló, hogy az agy kialakulásában részt vevő genetikai anyag, a **genom** nagyságrendekkel kevesebb információt tartalmazhat, mint ami szükséges lenne a bonyolult hálózat billiónyi egységének akár megközelítően pontos kialakításához és közvetlen működtetéséhez.

Úgy tűnik, hogy két szakaszra kell osztanunk a fejlődő és kifejeletten agyban lezajló folyamatokat. Az első, korai fejlődés során minden fejlődő emberi agy jellegzetesen azonos morfológiát mutat: a későbbi (érzékelő) beszédközpont az emberek 96 százalékában a bal féltéke halántéki lebenyében alakul ki, s hoz létre aszimmetriát a jobb féltéke hasonló területeivel. Kimutatták azt is, hogy a fejlődés korábbi szakaszaiban létrejövő mély agykérgi **sulcusok** (az agytekervények közötti benyomatok) azonosan alakulnak ki az egypetűjű ikrekben. A később fejlődő „sekélyebb” sulcusoknál már található különbség. Az agy különböző régióinak (**kisagy**, közepagy, nagyagy, köztiagy, nyúltvelő) kialakulása is nagyon hasonló a fejlődő embriókban – minden egyedben és minden generációban. Az idegsejtek kialakulásának menete az ún. **neuroblasztokból** ugyancsak hasonlóképpen alakul minden egészségesen fejlődő magzati agyban. Mindez arra utal, hogy a korai fejlődési folyamatokat a gének szabályozzák, szigorú terv szerint. Méghozzá viszonylag kevés gén részvételével történő, **morfogenetikus** folyamatról van szó, amely kereteket biztosít az idegi hálózatok további, most már **nyitott genetikai program** útján történő fejlődéséhez és működéséhez.

Zárt genetikai program ott fordulhat elő, ahol a viszonylag kevés idegsejtből álló idegrendszer néhány erre szakosodott gén még az állat „születése” előtt kapcsolataiban is pontosan meghatározza – például egyes férgek-nél: itt kicsi a variációs lehetőség, bár érdekes módon itt sem ritka. A nyitott program génjei – Theodosius Dobzhansky, a populációgenetika óriása szerint az emberi mentális képességeket nem egy, hanem több gén interakciója hozhatja létre – általánosabb formában szabályozzák az agy további fejlődését. Éppen azért, mert kevés gén áll a rendkívüli bonyolultságú emberi agy, idegrendszer rendelkezésére, a természet több olyan „trükköt” talált ki, mellyel „megspórolhatja” a közvetlenül irányító géneket.

Az ilyen génszóróló technikák közül fontos az ismétlődő, hasonló szerkezetek kialakulása: az **agykéreg** 10–50 ezer idegsejtből felépített **moduljai** például jelentősen hasonlítanak egymáshoz; a kisagykéreg (ebben egyedül 80–90 milliárd idegsejt van!) szerkezete is erősen repetitív: a nagyagykéreghez hasonlóan több tízezer idegsejtből áll egységekből alakul ki. Az ismétlődő szerkezetek, a modulok jelentősen csökkenthetik a szükséges genetikai információ mennyiségét, ugyanakkor más oldalról, éppen a pontosabb génszabályozás hiányában nem gátolhatják meg azt, hogy jelentős számú „tévedés” forduljon elő a fejlődő idegrendszerben.

A továbbiakban a tévedések (természetesen a korrekciók, kijavítások lehetőségét is magukban hordozó tévedések) fontosságáról, funkciójáról kell szólnunk, annál is inkább, mert úgy tűnik, hogy ez a jelenség, vagyis az előre pontosan nem programozott, „huzalozott” agyi fejlődés menet, tévedéseivel együtt, talán a legfontosabb tényező az emberi agy különleges plaszticitásában, optimális differenciálódásában. Vegyünk erre egy egésze-

Sulcus:

az agykérgen megfigyelhető, az agytekervények közötti benyomatok.

Nyitott genetikai program:

a környezeti hatásokra érzékeny, változásokra és alkalmazkodásra, adaptációra képes fejlődési folyamatok jellemzője.

Zárt genetikai program:

a gének által szigorúan megsabott, környezeti hatásokra érzéketlen, vagy csak kismértékű alkalmazkodásra, változásra képes fejlődési folyamatok jellemzője.

Agykéreg (neocortex):

a szürkeállomány emberben 1,5–4,5 mm vastag rétege, amely az agyféltekék falát alkotja. Emlősöknél – kiváltképp az embernél – nagyon fejlett, az agykérget alkotó idegsejtek nagysága és sűrűsége alapján több (általában hat) rétegre különíthető.

Szürkeállomány:

zömében idegsejteket tartalmazó terület az agykéregben, amely a kéreg metszlapján szürkésfehér színű, szemben a fehérállománnyal, ami zömében idegrostokat tartalmaz, és világosabb színű.

Modul:

az idegrendszer ismétlődő, hasonló szerkezeti elven felépülő egységei, melyek 10–50 ezer idegsejtet tartalmaznak.

**Axon:**

az idegsejtek azon nyúlványa, amelyen az ingerület egy (preszinaptikus) idegsejtől a többi (posztoszínaptikus) idegsejtre (ritkábban egy, jellemzőbb módon több száz vagy akár több ezer idegsejtre) tevődik át. Az axonok (idegvégződések) rendszerint gazdagon elágazóak, és a szinapszisok kialakításában vesznek részt.

Dendritek:

az idegsejtek faágszerűen elágazó nyúlványai, melyek fogadják az idegvégződések (axonok) felől érkező jeleket, a szinapszis posztoszínaptikus alkotói, az összegyűjtött jeleket folyamatosan integrálják, és az idegsejt sejttestje (szómája) felé továbbítják.

Őssejt:

differenciálatlan, többfajta sejt kialakulásának lehetőségét hordozó sejtek, melyek az érett, felnőtt idegrendszerben elsősorban az agykamrák falában, a kamrafelszínhez közeli ún. szubventrikuláris zónában találhatóak.

Hippokampusz:

a halántéki lebeny antero-medialis részében elhelyezkedő tekervény, ősi kéregterület, amely a limbikus rendszer részét képezi.

Pluripotens:

többirányú fejlődés (differenciálódás) lehetőségét magában hordozó.

rú példát, egy telefonszámot: 3333-111. Nyilvánvaló, hogy ha a számban csak egy számjegy is változik, a hiba értéktelenné teszi a telefonszámot. Ugyanakkor, ha ugyanezt a számot betűkkel (szavakkal) írjuk fel, (három-három-három-három-egy-egy-egy) akkor a 29 betűvel felírt információ ugyan sokkal több helyet foglal el, mint a hét számjegy, de egyben sokkal alkalmasabb az esetleges tévedések korrigálására is. Például ha ezt írjuk: „három károm házom hájom egy ege égy”, akkor az, aki tud valamennyire magyarul, könnyen korrigálni tudja az öt betűhibát, s ki tudja bogozni az eredeti jelentést. Vagyis minél precízebben és „gazdaságosabban” huzalozott egy rendszer, annál nagyobb a súlyos, korrigálhatatlan hibák előfordulásának veszélye. Ilyen precíz huzalozás jellemzi például sok gerinctelen állat vagy a békák idegrendszerét, melyeknél a „túlspecializált” idegrendszeri hálózatban előforduló tévedések (kiesések) többnyire irreverzibilisek. Az ilyen állatok tanulóképessége – a specializáltsággal fordított arányban – meglehetősen korlátolt. Úgy tűnik, hogy éppen ezért, azaz a végzetes tévedések kiküszöbölése végett, az emlős, s főként az emberi agy a rendelkezésre álló genetikai információt olyan mechanizmussal fordítja át saját nyelvére, amelyben a pontosság terén engedményekre kényszerül azért, hogy a fatális hibákat elkerülhesse.

Ennek a „pontatlan” mechanizmusnak vannak más, rendkívül pozitív következményei is: elsősorban, hogy lehetővé teszi az agy környezeti hatásokra is reagáló optimális differenciálódását. Ennek során a „próba–szerencse” elv érvényesül erőteljesen: sok fejlődő folyamat, idegsejt, szinaptikus kapcsolat ugyan téves, azaz vakvágányra futhat, de a funkcionálisan legjobban reagáló, a komplex fejlődési menetbe leginkább illeszkedő folyamatok (sejtek, kapcsolataik) stabilizálódhatnak, s tovább növelhetik az egész rendszer működési értékét. Ehhez azonban az kell, hogy a nyílt genetikai programhoz, az ezzel kapcsolatos „selejtezési folyamathoz” legyen elegendő mennyiségű idegsejt, illetve idegsejtnyúlvány. Valóban, az agy fejlődése viszonylag korai szakaszában (embernél kb. kétéves korig) sokkal több idegsejtet találunk, mint amennyi a nagy differenciálódási periódus után megmarad. Kimutatták, hogy egyes agyi régiókban a születés utáni intenzív agyfejlődés időszakában az idegsejteknek akár a fele is elpusztul. Azt is leírták, hogy azok a sejtek pusztulnak el, amelyek nem megfelelő, hibás kapcsolatokat építettek ki (ezért nem jutottak hozzá a megfelelő, életfontosságú növekedési faktorokhoz), míg azok, amelyek egészében, de legalábbis többségükben „helyes” kapcsolatokat teremtettek, megmaradtak.

Sokáig úgy gondolták, az elpusztult idegsejtek helyett a második életév után új idegsejtek már nem születnek, ugyanis az idegsejtek, furcsa módon, egész életre elvesztik szaporodóképességüket. Ma már tudjuk, hogy ez csak részben igaz. Tény, hogy a differenciálódott idegsejtek nem képesek osztódásra, szaporodásra, ugyanakkor az agykamrák falában lévő ún. **őssejtekből** a **hippokampusz** és a szaglólebeny számára az egész élet során képződnek új idegsejtek. Sok laboratóriumban foglalkoznak olyan eljárások kidolgozásával, amelyek szükség esetén a kamrafali őssejtekből vagy a test más részében (pl. a csontvelőben) található **pluripotens** sej-

tekből lehetővé tennék specifikus idegsejtek termelését a felnőtt agy más régiói számára is.

Természetesen a differenciálódás során kiemelten fontosak az idegsejtnyúlványok is, amelyek a „létfenntartó” szinaptikus kapcsolatokat formálják, így érthető, hogy ezekből, valamint a kapcsolatokból és a szinapsziszokból is alapos „túlkínálat” van az agyfejlődés legérzékenyebb, születés utáni periódusában. J.-P. Changeux francia biológus szerint éppen ekkorra tehető az agyi szerkezet és tulajdonságok fejlődésének talán az egyik legfontosabb momentuma: az idegsejtek közötti kapcsolatok, a szinapsziszok **stabilizációja**. Csak a funkcionálisan „igazolt” szinapsziszok maradnak meg, míg a „téves” szinaptikus kapcsolatok nagy többsége (sokszor az idegsejtekkel együtt) eltűnik. Nagyon fontos, hogy ez a stabilizációs folyamat – amely egyébként egybeesik a fejlődő idegrendszer érzékeny vagy **kritikus periódusával** – befolyásolható a környezeti ingerekkel. Megfelelő ingerek nélkül a funkcionális stabilizáció nem vagy csak részben történik meg, azaz az érés (beleértve az egyes agyi tulajdonságok kialakulását is) nem lesz optimális.

Elmondhatjuk tehát, hogy az idegrendszer fejlődésének a születés utáni döntő korszakában a genetikusan pontosan meg nem határozható, pontatlanságokkal, tévedésekkel teletűzdelt folyamatok az emberi idegrendszer egyedülálló plaszticitását jelzik és teszik lehetővé – szemben az alacsonyabb rendűek (pl. béka, hal) genetikusan jóval szigorúbban meghatározott, „specifikusabb” idegrendszerével. Minél nagyobb a pontatlanságokban realizálódó tévedési lehetőség, a korrekciók révén annál optimálisabb lehet a környezeti tényezőkre is reagáló emberi agytulajdonságok kifejlődése.

Mindebből persze nem következik, hogy az agy fejlődését – általános körvonalaiiban – nem genetikai tényezők határozzák meg. Ezt jelzi az is, hogy a legfőbb emberi agyi tulajdonságok reprezentációja, mint az időérzék, a „logikus” gondolkodás vagy az inkább jobb féltekés muzikalitás, térérzékelés, kreativitás nem random módon alakul ki a fejlődés során: itt is tetten érhetők a gének. Az a tény, hogy a beszéd általában bal féltekés, vagy hogy a homloki lebeny (az alkotás, a logikus gondolkodás, s áttételesen a verbális intelligencia, Changeux szerint a „civilizáció szerve”) emberben a kéreg 29 százalékát teszi ki – szemben a csimpánz 17 százalékával, a kutya 7 százalékával –, ugyancsak egyértelműen génszabályozásra utal. Az azonban az előbbiekből nyilvánvaló, hogy a magatartás, az intellektuális képességek kialakulása mögött működő génszabályozások nem közvetlenül determinálják a működés alapjául szolgáló rendkívüli bonyolultságú kérgi szerkezeteket. Erre még az egész emberi genom – amely kb. 1010 bit információnál is kevesebbet tartalmaz (bár ez is óriási szám!) – egészében is elégtelen lenne, nem is szólva arról, hogy ennek csak kisebb része „foglalkozik” az agyi működések szabályozásával.

Rendkívüli szerencsénk, hogy az emberi agyi képességek kifejlődése, bizonyos képességek kialakítása a nyitott genetika program, azaz *a nature*, és az embernél igen hosszúra nyúlt, környezeti integrációban történő fejlődési periódus (*a nurture*) összjátékának az eredménye. Hasonlóképpen

Stabilizáció:

az idegrendszer fejlődésének az a szakasza, melynek során a működő, funkcionálisan „igazolt” idegsejt-kapcsolatok (szinapsziszok) megmaradnak, illetve „megerősödnek”, ezzel egyidejűleg a feleslegesek megszűnnek és eltűnnek.

Kritikus periódus:

az idegrendszer fejlődésének az a szakasza, amikor a környezeti ingerek hatására az egyes funkciók háttérében álló rendszerek (látó, halló, testérző, mozgó stb.) optimális formában képesek kialakulni.

Neurotranszmitter:

idegingerületet az egyik idegsejtről a másikra átvivő, közvetítő anyag.

Gamma-amino-vajsav (GABA):

gátló neurotranszmitter.

Glutamát:

a glutaminsav sója, serkentő neurotranszmitter.



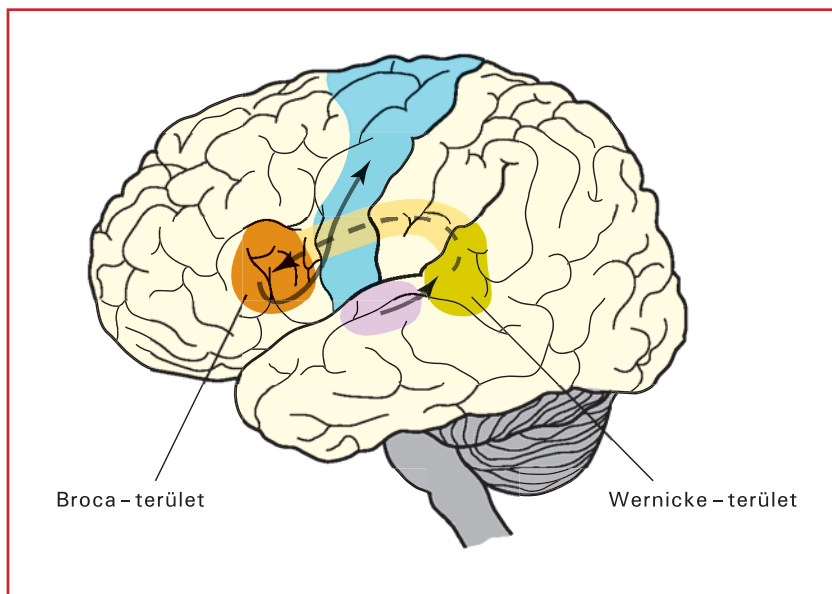
fontos az is, hogy a fejlődési periódus során megvalósuló idegrendszeri-
agyi plaszticitás, s az ehhez köthető tanulóképesség, adaptivitás lényegé-
ben az egész felnőttkorra kiterjed – egészséges agy esetén. Ami az agyi tu-
lajdonságok genetikáját illeti, Dobzhansky, a kiváló gondolkodónak is is-
mert genetikus egyik munkájában foglalkozott azzal a sokak által elfoga-
dott elképzeléssel, hogy a jellegek, agyi tulajdonságok, illetve ezek génjei
egymástól szinte függetlenül szelektálódnak, éppúgy, mint a haj vagy a
szem színét meghatározó gének. Dobzhansky azonban kimutatta, hogy
nincs arra vonatkozó bizonyíték, hogy a matematika, a költészet vagy a
filozófiai képességek számára specifikus génjeink volnának. Igaz, egyesek
könnyebben tanulnak matematikát, mások meg irodalmat, csakhogy az
összes ilyen adottság tulajdonképpen az ember absztrakcióra, szimbolikus
gondolkodásra (és beszédre) való alapvető képességének a manifesztációja,
tükröződése. Bár ez a képesség egyénenként kisebb-nagyobb mértékben
különbözhet, a faj, a *Homo sapiens* minden nem kóros tagjában megtalál-
ható. Ez az általános mentális kapacitás – amely az embert minden más ál-
lattól élesen elkülöníti – rendkívül alkalmazkodóképességű, s természetesen is-
mét csak nem egy adott gén, hanem gének dinamikusan változó interakci-
ójának a következménye.

Az ember mentális képességeinek kialakulása – mondhatnánk úgy is,
hogy a természet ezzel kapcsolatos biológiai mérnöki munkája – a törzsfel-
jődés és az egyedfejlődés során egyaránt merőben különbözik az emberi mér-
nöki szokásoktól: a kialakítandó szerkezet nincs eldöntve, mielőtt az agy
végleges kifejlődése megindulna. A mérnöki, genetikai döntések az építkezés
folyamata alatt születnek – lehetőséget adva újabb és újabb adaptív változá-
sok beépítésére a fejlődő, differenciálódó emberi agyba. Ez ismét csak a nyi-
tott genetikai program szép megfogalmazása, s egyben válasz arra, hogy
miért nem lehet az állatnemesítésben sikeres módszereket az „okosabb” em-
berfaj, illetve az agyi kapacitások genetikai javítására hasznosítani. Bár bizo-
nyos természetes szelekcióból, génkeveredésből, génfelújításból adódó
folyamatok így is lehetségesek az egyes területeken élő csoportoknál, réte-
geknél (muzikalitás, ritmusérzék, mozgás, kézügyesség), ezek Dobzhansky
megállapításának érvényességét nem cáfolják: számára a fantasztikum éppen
az emberi agy genetikai nyitottságú programjában s az ezzel kapcsolatos
nagy mértékű plaszticitásban, a részletek előre ki nem dolgozottságában, az
állandó, egy életre szóló adaptivitásában van.

Az emberi agy sajátossága: az aszimmetrikus féltekék

Posztnatalis:
születés utáni.

Az emberi agy rendkívül hosszú **posztnatalis** fejlődése, és az ehhez kap-
csolódó plasztikus tulajdonságai mellett (ami már egyedül is egyértel-
műsíti a jó iskolai oktatás, nevelés fontosságát a személyiség optimális ki-
alakulásában) a másik, ugyanilyen fontos tényező az emberi agyhoz kötött



Beszédközpontok a bal agyféltekében

működésekben található munkamegosztás, görög terminussal: aszimmetria. A szimmetria általában jellemző az állatvilágra s az emberre is. Vannak persze kivételek, például a szív aszimmetrikus elhelyezkedése. Mégis egészében, anatómiai értelemben az ember ugyanúgy biszimmetrikus lény, mint a gerincesek legtöbbször. Aztán jött valami az emberi agy fejlődése során, ami alapvetően felborította ezt a szimmetriát, részben szerkezeti, de főleg funkcionális értelemben. Kérdés, hogy ennek tulajdonképpen mi értelme van, egyáltalán jó-e az nekünk, hogy agyunk nem két egyforma féltekekből áll, mint ahogy az a majmoknál megszokott és ismert, hanem két olyan féltekekből, amelyek mást és mást csinálnak. Van-e ennek valami haszna? Azt szeretném bizonyítani, hogy a két félteke különbözősége éppenséggel nemcsak hasznos, hanem az emberi személyiségnek alapvető vonása. Az, hogy az ember nemcsak piacképes termelő egyén, hanem valamivel többet is tud, példának okáért tudománnyal, művészetekkel foglalkozik – mindez valahol erőteljesen összefügg azzal, hogy az emberi agy a fejlődés során aszimmetrikussá vált, és a két félteke bizonyos mértékig munkamegosztásban dolgozik egymással.

Mikor történt az első felfedezés arra vonatkozóan, hogy nem szimmetrikus az agyunk? Talán a legfontosabb emberi tulajdonság, ami az aggyal szorosan összefügg, hogy beszélni tudunk – nem is akárhogy. S az első felfedezés is a beszédképességgel kapcsolódik. A beszéddel kapcsolatban már a 19. század közepe felé Paul **Broca** francia idegtudós rájött arra, hogy a beszédközpont a bal féltekére lokalizálódik, nem a jobb, hanem csak a bal féltekére. Az már külön tudományos érdekesség, hogy Broca ezt az 1860-as évek elején írta le, nem tudván arról, hogy egy honfitársa, Dax, francia vidéki orvos ezt már régebben megfigyelte, s elő is adta felfedezését egy vidéki orvosi ülésen.

Hogyan működik az emberi agykéreg? Tudjuk, ahogy régebben, 20–40 évvel ezelőtt is tudtuk már, hogy a különböző területek a nagyagykéregben másért-másért felelősek. Mind a két oldalon a frontális terület jelentős ré-



Broca, P. Paul (1824–1880)

Broca, P. Paul (1824–1880): francia sebész, neurológus és antropológus; a róla elnevezett motoros beszédközpont leírója.



Kérgi területek:

anatómiai felosztás szerint az agyféltekéken megkülönböztetett részek (homloklebeny, fali lebeny, nyakszirti lebeny, halántéklebeny, limbikus kéreg), melyek különböző funkciójú területeket foglalnak magukba. A kérgi területek részletes topográfiáját Korbinian Brodmann írta le, elsősorban azok mikroszkópos szerkezetkülönbségei alapján.

Mutáció:

valamely tulajdonság, sajátosság hirtelen megváltozása az élő szervezetben, melynek hátterében a kromoszomális DNS molekulában, a bázispárok szekvenciájában bekövetkező változás(ok) áll(nak).

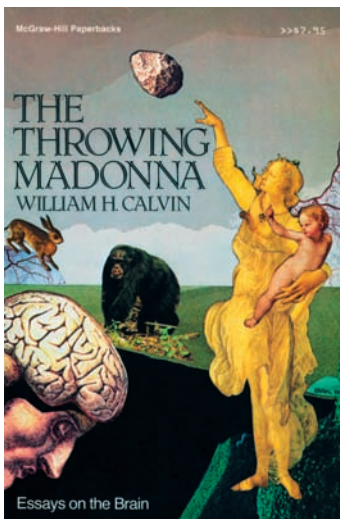
sze a mozgásért felel, mint ahogy az érző **kérgi területek** is mindkét oldalon képviselve vannak a fali, halántéki és nyakszirti lebenyekben, azaz elvileg teljesen szimmetrikus két féltekéről beszélhetünk. Vagyis a felületes morfológiai hasonlóság alapján ki lehetne mondani, hogy két szimmetrikus féltekéről van szó. Amint azonban már említettem, már a múlt században rájöttek arra, hogy ez nem egészen így van. Van például két terület mind a két féltekén, az ún. alsófali lebeny, amely a térben való mozgásokkal kapcsolatos érző, észlelő működésért felelős. Ez a csimpánzoknál két teljesen szimmetrikus terület. Az embernél azonban a bal alsó fali lebeny mássá vált, nevezetesen ez a rész átalakult olyan területté, amely elsősorban a jobb mellső végtagból származó gesztikulációt kezdte érzékelni, felfogni. Miért fontos ez? Azért, mert az ember fejlődésében – és ez a legvalószínűbb hipotézis ma – tulajdonképpen az volt, ami először emberré tette az embert, hogy jobbkezessé vált, valószínűleg valamilyen **mutáció** következtében, s már a két lábra állást követően.

A domináns jobbkezesség

Arról, hogy ez a jobbkezesség hogyan alakult ki, a tudományos hipotézisek mellett szórakoztató feltételezéseket is ismerünk.

Érdekességként említhetnénk például a kitűnő angol történész és esszéista Thomas Carlyle 19. század végi hipotézisét, amely szerint a jobbkezűség kialakulásának oka az volt, hogy az ókori-középkori háborúkban a katonák bal kézzel tartották a védőpajzsukat, hogy a szívüket védjék; következésképpen jobb kézzel kezelték a kardot, lándzsát, ami a jobb kezét „ügyesítette”. Vagyis a jobbkezesség – eszerint – a háborúzásnak köszönhető! Vagy vegyünk egy másik, már természettudományosabbnak tűnő elméletet a 20. század végéről. Szerzője, William Calvin, elméletét *The Throwing Madonna* című könyvében is kifejtette. Eszerint a jobbkezűség a távoli emberelődöknél úgy alakulhatott ki, hogy a csecsemőjüket a szívük felett, baloldalt tartó asszonyok jobb kezükbe fogott, hajtható eszközzel riasztották el maguktól és csecsemőjüktől a támadó ragadozókat. A jobb kéz ügyessége tehát feminin eredetű lenne. Mindkét elmélet szórakoztató, de jóval valószínűbb az a feltevés, hogy a jobbkezűség az emberré válás során lépcsőzetesen, a két lábon járással összefüggésben alakult ki.

Valóban, a tudományos válasz a két lábon járással felszabadult kezek gazdaságos munkamegosztásában található: az egyik kéz – az esetek 90 százalékában ma is a jobb – nyúlt a vizsgálandó tárgy után, pattintotta a kódarabból a készítenő kőeszközt, míg a másik (90 százalékban a bal) besegített, tartotta a darabot stb. (Mint később látni fogjuk, a két agyfélteke következményesen kialakuló funkcionális aszimmetriája miatt egyébként a bal kéz (jobbkezeseknél is!) bizonyos – például a térben való – mozgással kapcsolatos műveletekben többet tud, mint a jobb.) Eredetileg tehát – a *Homo habilis*-nál, a *Homo erectus*-nál – a gazdaságosabb munkamegosztással



volt kapcsolatban a kézhasználati preferencia. De hogyan vált a jobb kéz a domináns kézzé?

A máig legmeggyőzőbb tudományos elmélet a domináns jobbkezeség kialakulására Marian Annett nevéhez fűződik. A teória genetikai, s abból indul ki, hogy a testi, bilaterális szimmetriát s egyben a valamilyen kezűséget is egy olyan gén határozza meg, amely két formában (**allél**) fordulhat elő: „right shift” – „jobbra toló” (RS+) formában, illetve „left shift” – „balra toló” (RS–) formában. Annett tapasztalati tényekkel is alátámasztott elméletének lényege, hogy a szimmetrikusságot „biztosító” génben valamilyen, minden bizonnyal mutáció okozta mechanizmus az emberelődök fejlődésének viszonylag korai szakaszában a jobbra forgató formát tette dominánssá, s ez hozta létre az emberelődök többségében a jobbkezeséget. Másrészt az RS– (**recesszív**) formáció nem eredményezhet automatikusan balkezeséget, csak egy neutrális helyzetet, amelyben egyaránt kialakulhat bal-, illetve jobbkezeség. (Ezért van az, hogy két, balkezes szülő utódai egyaránt lehetnek bal- és jobbkezesek, ugyanakkor az örökölt „kétoldali” RS+ formáció egyértelműen jobbkezeséget eredményez.) Annett teóriája jól magyarázza a kialakult százalékarányokat. A genetika Mendel-féle szabálya szerint az utódok 25 százalékában két RS+ allél lesz, 50 százaléknál fele RS+, fele RS–, azaz az RS+ dominanciája miatt az utódok 75 százaléka eleve jobbkezes lesz. Ugyanakkor az utódok 25 százalékában mindkét allél RS–; ezek fele tehát – ha nincs irányított környezeti ráhatás – jobb-, másik fele balkezes lesz. Az így kialakult arányok megközelítik a populációk nagy részében szokásos 90 százalék jobb-, 10 százalék balkezeséget.

A beszéd kialakulása – a beszéd és nyelv

A beszéd kialakulásának kérdésében az eredendő jobbkezeségre alapoz a Kolumbia Egyetemen dolgozó tudós, Joseph M. Le Doux hipotézise. E szerint az előembernek még nem volt beszédközpontja, még szimmetrikus volt a két félteke. Az előemberek kommunikációja gesztikuláció volt, ami nagyon erős kommunikáció lehetett. Ha Olaszországban járunk, de nem is kell odamenni, elég, ha megnézünk egy olasz tévéadást, jól látható, hogy akár fontos a téma, akár nem, az emberek gesztikulációval segítik a beszédet. Az előember ezt beszéd nélkül csinálta, aminek az volt a következménye, hogy ez a terület a fali lebezyen mindinkább érzékeny lett erre a kommunikációra, még hozzá – minthogy ez hangkiadással is párosult – az előbb csak tagolatlan, később tagolt hangokra érzékeny beszédközpont is itt indukálódott. Ez egyébként anatómiai, szerkezeti aszimmetriát is létrehozott a beszéddérzékelésben érintett bal halántéki, illetve a beszédet nem érzékelő jobb halántéki lebezy között. Majd később, a gége fejlődésével párhuzamosan kialakult a bal frontális lebezyben a be-

Allél:

két vagy több különböző gén, melyek egy adott kromoszómán ugyanazt a pozíciót képesek elfoglalni.

Recesszív:

a genetikában egy tulajdonság háttérbe szorítása azáltal, hogy a génpár (allél) domináns tagja jut érvényre.

Egypetéjű iker:

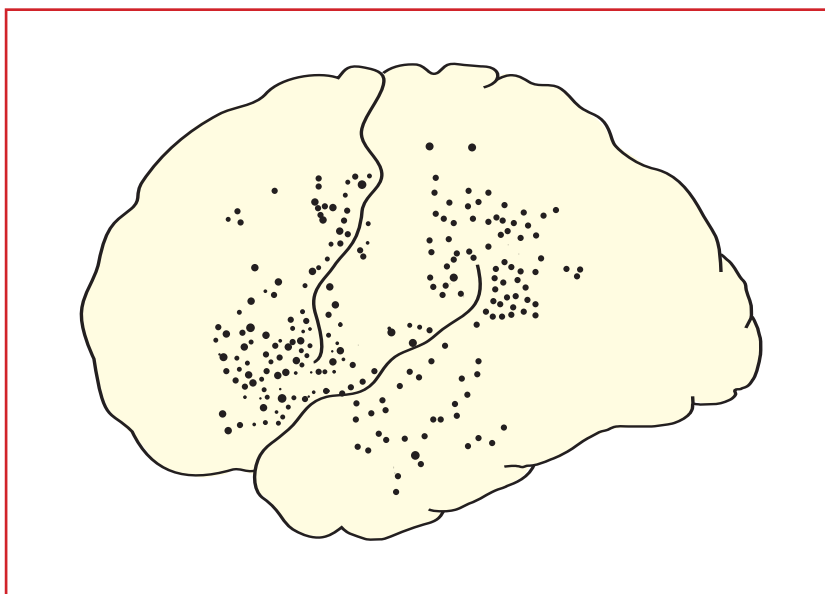
egyetlen megtermékenyült petéből az intrauterin élet korai fázisában két, független fejlődésre képes sejtcsoport válik szét, melyekből külön-külön egy-egy embrió (az ikerpár) fejlődik ki, akik azonos neműek, és genetikai állományuk azonos.

Talamusz:

az agy hátsó részében, a kéreg alatt elhelyezkedő szürkeállomány, több jól megkülönböztethető funkciót ellátó magot és magcsoportot foglal magában, melyeken keresztül a kéregből kilépő, illetve a kéreg felé haladó idegpályák átkapcsolódnak („relay” funkció). Fontosabbak: a talamikus látómag (corpus geniculatum laterale), a talamikus hallómag (corpus geniculatum mediale), a testérző (ventral posterior) magcsoport stb.



A beszédközpont elektromosan ingerelhető pontjai



széd motoros régiója is. Miért a bal oldalon? Azért, mert az előember jobbkezes volt, s mint ismeretes, az agypályák keresztezettek. Tény, hogy a ma élő emberek 96 százalékában a beszédközpont a bal oldalon van, és ez volt az, ami elindított valamit megállíthatatlan módon, dominóként, nevezetesen azt, hogy a másik, általában nem beszélő jobb féltéke ezzel kapcsolatosan valami másban lett erős, példának okáért a látásban és a jobb féltéke „beszédében” – a muzikalításban.

Nézzük meg, hogy milyen módszerekkel lehet pontosan körülírni, hogy hol van a beszédközpont. Ilyen módszer a kéreg felszíni, közvetlen elektromos ingerlése, amit akkor lehet, sőt kell alkalmazni, amikor műtetre készülnek, és azt szeretnék pontosan körülhatárolni, hogy hol a beszédközpont határa. Ez emberenként változik, és egyáltalán: az ember agya, a hatmilliárd emberi agy mindegyike más és más, vagyis más a helyzet, mint az állatkísérletek esetében, ahol statisztikusan is azonos egységekkel dolgozunk. Ezért bal féltékek kérgi műtétek előtt az idegsebészek a beteg agykérgi felszínre finom elektromos ingert alkalmaznak (ez nem fájdalmas, hiszen az agyszövetben nincsenek fájdalomérző **receptorok** – a fejfájásért az agyi erek a felelősek), miközben beszélgetik a páciens; amikor valamilyen (érző vagy motoros) beszédzavar alakul ki, az jelzi, hogy a beszédközpontot ingerelték. Így pontosan körülhatárolható a beszédkéreg, s elkerülhető a műtéti sértés. Egyébként George A. Ojemann, a Washington állambeli Seattle városban működő idegsebész ezzel a módszerrel figyelte meg, hogy a bal féltékében a beszéd különböző grammatikai elemei más és más helyen vannak lokalizálva; a prepozíció, a posztpozíció, a melléknévi igenév mind másutt helyezkedik el. Ez annyit jelent, hogy a beszéd megértése mozaikos, illetve nyelvtani mélyszerkezettel rendelkezik. Aki hallott Noam Chomsky erre vonatkozó teóriájáról, az azt mondhatja, hogy ezt tudtuk eddig is. Mégis ez volt az első bizonyíték arra, hogy a beszédmegértésnek van egy grammatikailag teljesen atomizált része is.

Receptorok:

olyan speciális szerkezetű molekulák, melyek felismernek más molekulákat (vagy azok részleteit). Az idegsejtek sejtmembránjához kötve igen nagy számban fordulnak elő a legkülönfélébb receptorok.

Wernicke, Karl (1848–1905):

német neurológus; a róla elnevezett „érző” beszédközpont leírója.

A két félteke külön-külön vizsgálati módszerei – modern leképezési technikák

Az első, az 1950-es évektől használt módszer a féltekék külön-külön vizsgálatára a két féltekét összekötő 200 millió idegrost (**kérgestest**) sebési átvágása. Hogy miért kell átvágni a kérgestet? A műtéti beavatkozás természetesen nem kísérleti alanyokon történt, a műtét életmentő, akkor alkalmazták, amikor valakinek már rendkívül gyakori, s egyéb eljárással nem csillapítható **epileptikus** rohamai voltak. Ilyenkor az epileptikus rohamnál, ami általában a halántéki kéregben a leggyakoribb, a roham áterjed a másik oldalra is („tükörfókusz”), és a két fókusz egymást tovább erősítve életveszéllyé alakulhat. Ilyen esetben az az egyik megoldás, hogy megszüntetik a két félteke egymás-serkentését, és ennek a legegyszerűbb módja, hogy átvágják a kérgestet. Az illetőn ilyenkor egyébként általában nem is lehet észrevenni, hogy két független féltekéje lett.

Néha azonban igen – akkor, amikor bizonyos dolgokat kellene cselekednie. Például furcsa tapasztalat volt, hogy egy műtött páciens, aki a feleségével eredetileg jó viszonyban volt, de valamiért nagyon dühös lett rá, ezért bal kézzel (balkezes volt) pofon akarta csapni. Jobb keze azonban lefogta a balt. Az ilyen adatokból is kiderült, hogy az egyénnek eredetileg kétféle akarata van. Az egyik akarat a jobb féltekében az ösztönös tenni vágyás, a másik pedig a bal féltekében a kontroll, ami logikusan, tudatosan ellenőrzi a cselekvést. Ilyen és ehhez hasonló vizsgálatokból nagyon sok minden kiderült.

Kérgestest (corpus callosum):

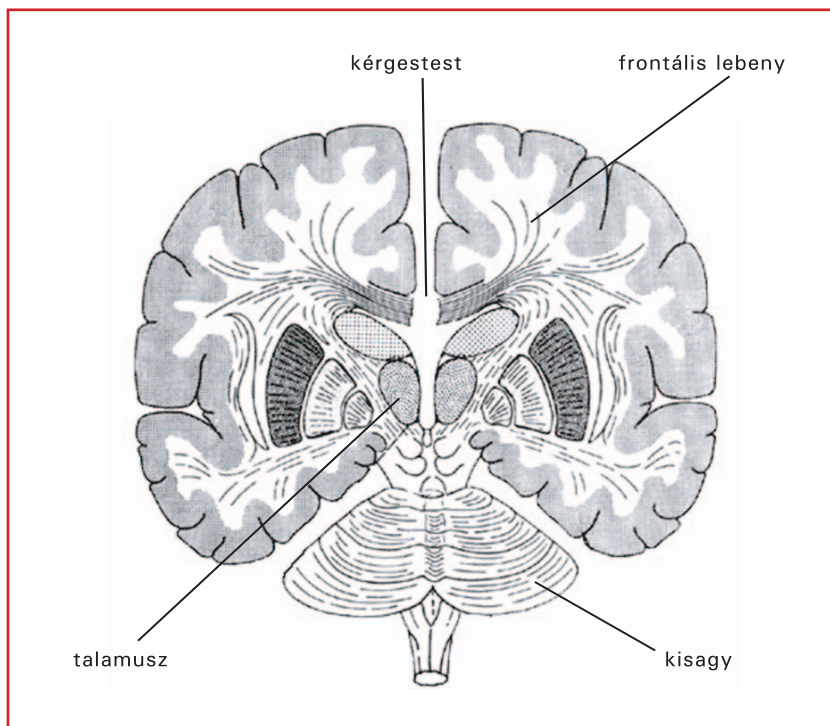
az idegrostok (axonok) emberben meglehetősen tekintélyes, mintegy 200 millió rostot tartalmazó kötege, amely a két féltekét összeköti.

Epilepszia:

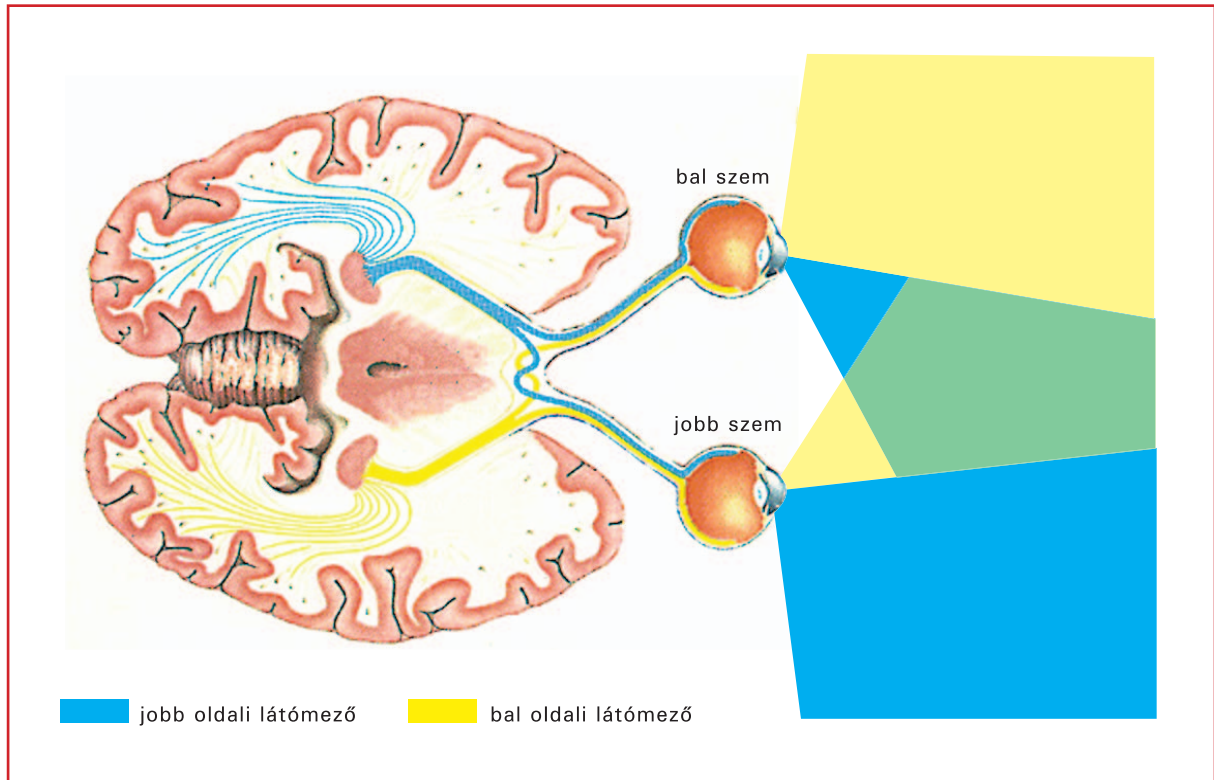
krónikus idegrendszeri betegség, melynek hátterében az agy egyes területeinek kontrollálatlan izgalmi túlsúlya áll.

Retina:

a szem ideghártyája, amely a fény és általában a külvilág vizuális ingereit fogadja, elsődlegesen „feldolgozza”, valamint továbbítja magasabb látóközpontok felé.



A kérgestest átvágásával két önálló félteke alakul ki



A látópálya sematikus felépítése

Látómező:

a látott világnak, környezetnek az a része, amelyet akkor látunk, ha mindkét nyitott szemünkkel egyenesen előre felé tekintünk. A látómezőnek van tehát olyan része, amelyet mindkét szemünkkel látunk (binokuláris zóna), illetve olyan része, amelyet csak a bal, illetve csak a jobb szemünkkel látunk (monokuláris zóna), mert az orrunk egy része „eltakarja” az egyik, illetve másik szemünk előtt.

A térábrázolás képessége változik a kérgestest átvágásával

Van azonban más, nem sebészi mód is a két félteke működésének vizsgálatára. Ezek ún. pszichofizikai módszerek, amelyek a látásnál, hallásnál használhatók, amikor is abból indulunk ki, hogy a szem két – bal és jobb – látómezeje ellentétesen, keresztbe vetül a kéregre. Ha tehát nagyon rövid ideig mutatnak valamit, például a jobb **látómező**ben, akkor a bal féltekébe kerül a kép, és fordítva.

Ezzel megállapítható kérgestest-átvágás nélkül is, hogy mit tud a jobb és a bal félteke a látásban. Ugyanezt meg lehet tenni a hallásnál is a bal és a jobb fül viszonylatában, tudva, hogy a pályák nagyobb része a hallás esetében is kereszteződik.

Most azonban inkább az általánosabb tapasztalatokról szeretnék beszélni. Vegyük a látáskutatásokat. E vizsgálatok során kiderült, hogy a bal félte-

	bal kéz	jobb kéz
A operáció előtt		
B operáció után		

ke és a jobb félteke látásminősége különbözik egymástól. A két félteke közül igazán jól és mélyen a jobb félteke lát. A bal félteke csak utánoz dolgokat. Ezt olyan pácienseken sikerült kimutatni, akiknél vagy a jobb, vagy a bal látókéreg sérült. A betegeknek valamilyen modellt, például egy kockát kellett lerajzolniuk. A kocka rajzolását a bal félteke sérülése lényegében nem zavarja, ha azonban a jobb félteke sérül, a páciens már nem tudja a kockát rendesen lerajzolni. Hasonló megfigyelések arra utalnak, hogy egészen más a bal félteke és a jobb félteke látásmódja. David M. Geshwind még az 1980-as években megismételte ezeket a vizsgálatokat egészségesen is. Olyan modellt mintát alkalmazott, amelyet vagy a jobb féltekének, vagy a bal féltekének kellett összeállítania.

A bal félteke rendkívül rapszodikus, izgatott ábrákat kreált, míg a jobb félteke sokkal harmonikusabb, összetettebb, hogy úgy mondjam, kellemesebb ábrákat hozott létre. Nem ugyanazt, mint az eredeti, hanem helyenként talán kellemesebbeket, szebbeket is. Itt is jól látható a különbség a jobb és a bal félteke között. Egyébként a két félteke nemcsak a mintázatfelismerésben és a motoros szabályozásban különbözik, hanem sok minden másban, így a térérzékelésben is. Például a sportban nagyon jól ismert az a tény, hogy a balkezesek előnyben vannak olyan sportoknál, ahol például labdát kell dobni, vagy a teniszezésben, vívásban. Ennek nagyon egyszerű a magyarázata: a sportolóknál, függetlenül attól, hogy jobbkezesek vagy balkezesek, mindenképpen a térérzékelésben fejlettebb jobb félteke dolgozza ki a választ. Átküldi először az információt a bal féltekébe, s a bal félteke ezután egy kicsit „elgondolkozik”, vagy egyetért vele, vagy nem. Ha nem ért vele egyet, akkor rendszerint ront is rajta, s úgy küldi tovább a jobb kéznek, hogy mit kell csinálni. A balkezeseknél ez a dolog egyszerűbb olyan értelemben, hogy csak egy pályán keresztül kell az utasítást eljuttatni, hiszen a jobb félteke egyenesen a bal kezét mozgatja. Az instrukció így egyrészt pontosabb, másrészt gyorsabb is.

A balkezességnek ilyen értelemben a sportban feltétlenül előnyei vannak, de nem csak a sportban, hiszen tudjuk jól, hogy voltak jelentős „balkezes” festők is; ismeretes, hogy Leonardo és Michelangelo egyaránt a bal kezét preferálták. Ez nem jelenti azt, hogy csak bal kézzel tudtak rajzolni, alkotni. Leonardo inkább kétkezes volt állítólag, de mindenesetre nagyon jól tudta használni a bal kezét.

Vannak persze más módszerek is, jelesül a modern leképező technikák, mint például a **PET**, az **fMRI** és az **MEEG**, amelyekkel meg lehet állapítani nemcsak a látással, hanem más működésekkel kapcsolatosan is azt, hogy mely kéregrészlet és milyen szekvenciával működik. Ha például szándékomban áll megfogni, de csak szándékomban áll, akkor meg tudom állapítani, hogy az agykéreg milyen területei jönnek ingerületbe. Ha nemcsak szándékozom, hanem meg is fogom, akkor már más területek is aktivizálódnak.

A legújabb, felettebb izgalmas kutatások ebből kiindulva arra irányulnak, hogy miként lehetne a „tervező” és „kivitelező” agykérgi területek elektromos mintázatát elvezetve robot „műkart” vezérelni. E kísérletek előrehaladott stádiumban vannak, majomkísérletekben már bizonyos sikerek-

Okulár dominancia-oszlop:

azok a moduláris kérgi struktúrák a látókéregben, amelyek dominánsan az egyik vagy a másik szem felől érkező fényin-gerekre reagálnak.

Orientációs oszlopok:

azok a moduláris kérgi struktúrák a látókéregben, melyek a retinára vetülő fényfolt elforgatására különböző mértékben reagálnak. (Egy ilyen oszlop mindig csak egy adott irányú fényfolt hatására kerül maximális ingerületi állapotba.)

PET:

a pozitron-emissziós tomográf(ia) rövidítése.

MEEG:

a mágneses elektro-encefalográf(ia) rövidítése.

Elsődleges szenzoros kéreg:

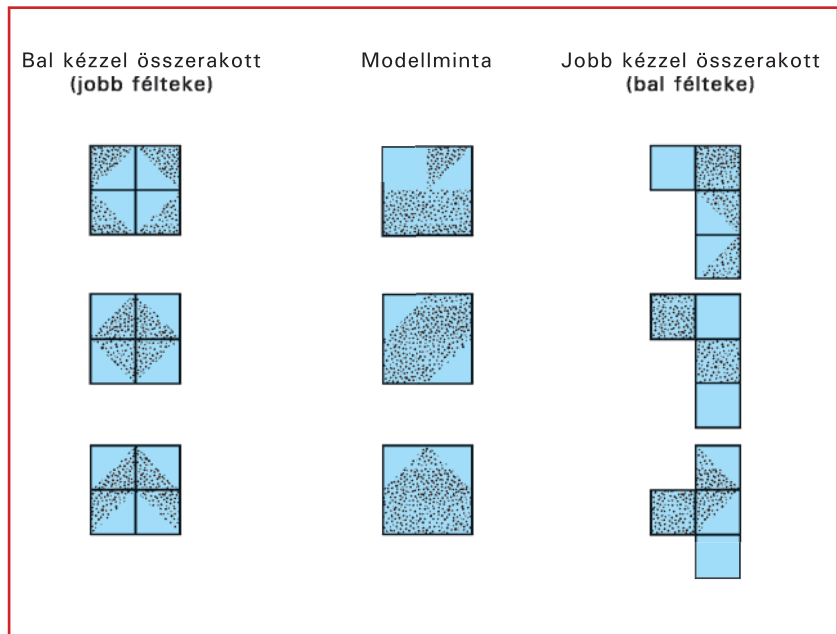
az érzékszervek „vetülésének” első állomásai az agyféltekéken (elsődleges látó, halló, testéző stb. területek).

Asszociációs kéreg:

különböző érzékszervi modalitások együttes, komplex feldolgozásáért felelős agykérgi területek összessége.

fMRI:

a funkcionális mágneses rezonancia képalkotás (vizsgálat) rövidítése.



A két félteke látásmódja eltérő

ről is beszámoltak, de emberi alkalmazásához még több technikai problémát meg kell oldani.

Mit tud a jobb és a bal félteke?

Mindenesetre e „leképezési” módszerek jól alkalmazhatók annak kimutatására is, hogy egyes folyamatokban a jobb és bal félteke hogyan vesz részt. A beszéd tehát főleg bal féltekés, míg a jobb félteke néma, viszont jobban lát, sokkal többet tud a térmanipulációban. Digitális elven működik a bal félteke, a másik félteke analóg. Miért érdekes ez? Az idegrendszer elemei, az idegsejtek analóg elven működnek. De amikor nagyobb egységekről van szó, úgy látszik, hogy a bal félteke még mindig a jóval általánosabb komputertechnikával, digitális technikával működik. A bal félteke logikus és analitikus. A logika időnként borzasztóan veszélyes, mert nem mindig azonos a teljes realitással. A szűkre szabott logika gyakran téveszméken alapuló láncolat, ami inkább az „irracionális”, egyben holisztikus jobb félteke bizonyos előnyeit mutatja; ugyanakkor logikára persze szükség van. A bal félteke inkább algebrikus, míg a jobb félteke geometrikus, hiszen ez a „jobban” látó félteke.

A képzelőerő, kreativitás, muzikalitás jobb féltekés. Itt különbséget kell tenni muzikalitás és a zene komponálása között. A zene komponálása nem megy bal félteke nélkül, ez erőteljesen bal féltekés. Miért? Azért, mert az időérzés, ami a kompozíciónál értelemszerűen nagyon fontos, csak a bal féltekében található meg. (A beszédben és a zenében is időködök vannak.) A jobb féltekének nincs időérzékelése. Az a tudat, hogy van és volt – s reményeink szerint lesz is – történelem, hogy a világmindenség keletkezett valamikor, s hogy az emberi élet is véges, mind a bal félteke

Limbikus rendszer:

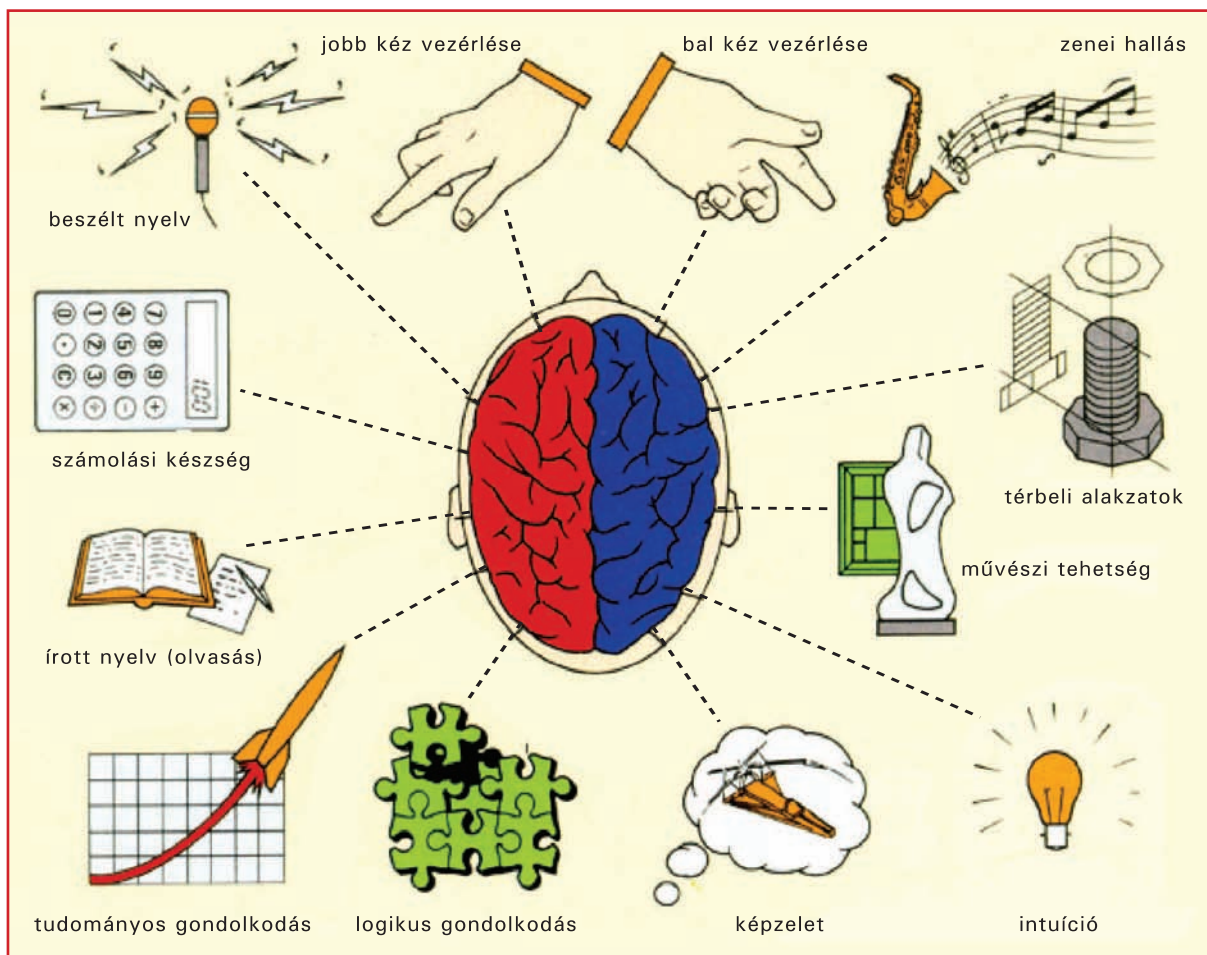
az érzelmi viselkedésért felelős ősi, az agykéreghez (neocortex) viszonyítva egyszerűbb szerkezeti felépítésű struktúrák együttese, amely magában foglalja a hippokampuszt, a szeptumot, az amygdalát, a szaglógumót stb.

rendkívül fontos tulajdonsága, amiről a (szerencsés?) jobb félteke nem vesz tudomást. A képzelőerő és a kreativitás az agynak az a két egyformán kiemelkedő tulajdonsága, ami csak az emberben van jelen, ugyanakkor elsősorban jobb féltekés. Ezzel kapcsolatos az is, hogy a humorérzék, ami közvetlenül kapcsolódik a kreativitáshoz is, a jobb félteke tulajdonsága. A képzelőerő és a kreativitás jobb féltekéhez kötöttsége egyébként azt is jelenti, hogy ha új dolgokat próbálunk kitalálni, hipotéziseket állítunk fel, erre a bal félteke nem alkalmas, csakis a jobb félteke. A jobb félteke kialakít egy hipotézist, majd átküldi a bal féltekének, az raktározza, és innen kezdve úgy dolgozik vele, mintha a sajátja lenne. A két félteke között tehát együttműködés van.

Az eddig elmondottakat összegezve megállapíthatjuk, hogy az éntudat kizárólag a bal féltekének a tulajdonsága, de a jobb félteke is mindig hozzátesz valamit ehhez a tulajdonsághoz, csak nem tudatosan. Az itt felsorolt, részben eltérő tulajdonságok nemcsak kiegészítik a két féltekét egységes aggyá, hanem hatalmas pluszt is jelentenek: metaforikusan 1+1 itt nem 2, hanem 3: ebből jön létre az, amit emberi személyiségnek nevezünk.

Úgy gondolom, Ecclesnek a bevezetésben említett megállapításához kapcsolódva, hogy az Univerzumnak ez a szerkezetében rendkívül bonyolult, de működésében valamivel megismerhetőbb produktuma, az emberi

Az aszimmetrikus emberi agyféltekék működésmegoszlása





agy az evolúció, a fejlődés tényleges csúcsteljesítménye. Vannak, akik e mögött, s általában a fejlődés motorjaként is természetfölötti erők örök jelenlétével számolnak, mások nem hisznek a természetfölötti erők működésében. Ám mindkét felfogás követőit mégis közös táborba gyűjti az a parancsoló kívánság, hogy az ember, az emberiség ezt a fantasztikus adottságot, a csodálatos emberi agyat a mainál sokkal kreatívabban, a szolidaritást középpontba helyezve próbálja a maga és az egész emberi nem javára használni, hasznosítani.

Végül záró gondolatként Széchenyit idézem, aki oly sok mindenben tévedhetetlen jósnak bizonyult. Ő a következőkben határozza meg az emberi agy, gondolkodás szerepét a jövő építésében: „Az emberi halhatatlan lélek, s annak legfőbb széke, az emberi agy jelöli ki a kultúra ösvényét, s csak az bírja a nemzeteket a lehető legmagasabb civilizációs fokra, és semmi egyéb.”

Ajánlott irodalom

- Bostock, Louise – Luck, Stephen – Merrell, Sam:* Az emberi test, Bp.: Medicina, 1992.
- Changeux, Jean-Pierre:* Agyunk által világosan. Bp.: Typotex, 2000.
- Changeux, Jean-Pierre – Chavaillon, Jean:* Origins of the Human Brain. Oxford, 1996.
- Donáth Tibor:* Az emberi test. Bp.: Tankönyvkiadó, 2001.
- Donáth Tibor:* Anatómiai Atlasz. Bp.: Medicina, 2001.
- Eccles, John C.:* The Human Psyche. Berlin – Heidelberg – New York, 1980.
- Greenfield, Susan:* Brain Power. Shaftesbury – London – Melbourne, 1999.
- Haines, Duane E.:* Fundamental Neuroscience. Philadelphia, 2002.
- Hámori József:* Aszimmetriák a biológiában: az ember. *Magyar Tudomány*, 1999/3: 302–310.
- Hámori József:* A veszélyeztetett értelem. Bp.: Kozmosz Kv., 1988.
- Hámori József:* Az emberi agy aszimmetriái. Bp. – Pécs: Dialóg Campus, 1999.
- Hámori József:* Az emberi agy és a nyelv. *Magyar Szemle*, 2001/10: 103–115.
- Hámori József:* Az idegrendszer plaszticitása. In: *Illyés S.:* Gyógypedagógiai alapismeretek. Bp.: Tankönyvkiadó, 2000.
- Hámori József:* Az idegsejtől a gondolatig. Bp.: Kozmosz Kv., 1982.
- Hámori József:* Neuronal plasticity as the neurobiological basis of conductive education. In: *Taylor, M. – Horvath, J.:* Conductive Education. London, 1999.
- Hámori József:* Plasticity and gender differences of the developing brain. In: *Humbiol*, Bp., 2002/27: 13–16.
- Hanczár J.:* Jönnek a látó és tapintó számítógépek. In: *Magyar Nemzet*, 2001. november 5.
- Harenberg, Bodo (szerk.):* Az emberiség krónikája. Bp.: Officina Nova, 1990.
- Kandal, Eric – Schwartz, J. H. – Jessell, T. M.:* Principles of Neural Science. New York – Amsterdam etc. 1991.
- Popper, Karl R. – Eccles, John C.:* The Self and its Brain. Berlin – Heidelberg – London etc. 1977.
- Sheperd, Gordon M.:* Neurobiology. Oxford, 1988².
- Sperry, Roger W.:* Lateral specialization in the surgically separated hemispheres. In: Perception and its Disorders. Res Publ. A. R. N. M. D., 1974.
- Szentágothai János – Réthelyi Miklós:* Funkcionális anatómia. Bp.: Medicina, 1985.
- Zigmond, M. J. – Bloom, F. E. – Landis, S. C. – Roberts, J. L. – Squire, L. R.:* Fundamental Neuroscience. San Diego – London etc. 1999.

