

Hámori József

Aszimmetriák a biológiában: az ember

Filozófusok, természettudósok, sőt politikusok próbálkoztak-próbálkoznak annak meghatározásával, hogy melyek a lényegi különbségek az állat(világ) és a Homo sapiens között. *Platón* szerint a lényeg az, hogy csak az egyenesen, két lábon járó ember néz az ég felé, míg az állatok inkább lefelé, a földre tekintenek. *Arisztotelész* egyik meghatározása szerint az emberek „politikai állatok”. *Willis*, angol orvos-kutató szerint az emberek az egyedüli lények, akik jóízű nevetésre képesek, akiknek humorérzékük van. *Martin Luther* a lényegi különbséget abban látta, hogy csak az embernek van (lehet) magántulajdona, míg *B. Franklin* az eszközkészítés képességét tekintette fontos emberi tulajdonságnak. Érdekes *Arisztotelész* másik megjegyzése, mely szerint „az emberek sokkal szebben vannak megformálva, mint az állatok, mivel a testrészek szimmetriája kifejezettebb, mint az állatoké”. A *szimmetrosz* egyébként görög eredetű szó, jelentése összemérhető, arányos, harmonikus. Éppen ezért — s ez érvényes a nagy *Arisztotelészre* is — a hellének a szimmetriát a világ felépítésének, létezésének egyik legfontosabb tényezőjének tartották. S valóban, a földön található állat- és növényfajok többsége jól felismerhetően valamely szimmetria szerint van felépítve. A *sugaras szimmetria* (pl. tengeri csillag), vagy a sokkal gyakoribb tükörszimmetrikus *biszimmetria* jellemzi az állatvilágban megtalálható rendezési elvet. Különösen jól látható a biszimmetrikus felépítés a gerincesek idegrendszerén, a halaktól az emberig.

Ugyanakkor, ha nemcsak a szerkezetet, az élőlény megjelenési formáját, hanem a mögötte rejlő funkciót is vizsgáljuk, jelentős lényegi aszimmetrikusságot is észlelhetünk az élővilágban. Úgy látszik, minél jobban növekszik az anyag biológiai fejlődés során tapasztalható bonyolultsága, annál nagyobb az esély a szimmetriaelvek, ill. a morfológiai szimmetriák megsértésére, aszimmetriák kialakulására. Erre már a 3–4 milliárd évvel ezelőtt megjelent baktériumoknál is található példa. Ilyen a tükörszimmetrikusság megsértése: a fehérjéket felépítő aminosavakat gyártó enzimek ugyanis csak *balra forgató* aminosavakat állítanak elő, s a fehérjeszintetizáló enzim is csak balra forgató aminosavakat használ fel (még akkor is, ha a tápoldatba jobbra forgató aminosavakat is beviszünk). Ez az aszimmetria azóta is végigkísérte a törzsfejlődést és érvényes az emberre is. Ugyanez vonatkozik, csak ellenkező előjellel, legfontosabb energiaforrásunkra, a cukorra, hiszen az élő szervezet csak *jobbra forgató* cukrokat gyárt és képes felhasználni, míg a balra forgatók az élő szervezetben nem hasznosulnak.

A biokémiai aszimmetriák mellett természetesen vannak jól látható aszimmetriák is, mint pl. a csigák háza, vagy éppenséggel a páratlan zsigeri szervek (szív, gyomor stb.), amelyek bár önmagukban még lehetnek szimmetrikusak, a testben már inkább a jobb vagy bal oldalon találhatók. Ezzel együtt az állatok többségére s az emberre különösen is a kétoldali szimmetrikusság a legjellemzőbb, amit jól illusztrál a vég-

tagok és az egész csontvázrendszer felépítése. Ugyanakkor a két anatómiailag egyforma kezét az emberek nagy többsége nem egyformán használja.

Jobb kéz — bal kéz

Az emberek kb. 90%-a az ügyességet igénylő, egy kézzel kivitelezhető műveletekhez — írás, rajzolás, hajtás, általában az ügyességet igénylő tevékenység — előszeretettel a jobb kezét használja. Ez olyan funkcionális aszimmetria, amely az emlősöknél, de még az emberszabású majmoknál sem található meg. Funkcionális az aszimmetria, hiszen a két kéz anatómiailag továbbra is egyforma. A kérdésre, hogy mikor és miért alakult ki ez a sajátosan emberi tulajdonság, több válasz is — naivak, természettudományosak — adható. Csak érdekességként említhetnénk például a kitűnő angol történész és esszéista *Carlyle* XIX. század végi hipotézisét, amely szerint a jobbkezeség 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 kezet ügyesítette. Vagyis a jobbkezeség — eszerint — a háborúzásnak köszönhető! Vagy másik, már természettudományosabbnak tűnő elmélet a XX. század végéről (*William Calvin*, a szerző elméletét könyvben is kifejtette: „*The Throwing Madonna*”). E szerint a jobbkezeség a távoli emberelődöknél úgy alakulhatott ki, hogy a csecsemőjüket a szívük felett, bal oldalt tartó asszonyok jobb kezükben tartott, hajítható eszközzel tartották távol 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 jobbkezeség az emberré válás során, lépcsőzetesen és a két lábon járással összefüggésben alakult ki.

Az első, igen korai lépés a jobbkezeség és áttételesen a beszéd kialakulása felé, sok millió évvel ezelőtt, a majomszerű főemlősöknél történhetett meg, amikor kialakultak a tapintásra, fogásra, kapaszkodásra alkalmas, egyenként és külön-külön is jól mozgatható ujjakkal bíró végtagok. Ugyanilyen jelentős volt a szemek közelkerülése, ami a háromdimenziós tér tökéletesebb érzékelését tette lehetővé. (Bár ez egyben a szaglás rovására történt, hiszen a szemüregek közelebb kerülése miatt kisebb területre szorult össze a közepén elhelyezkedő szaglászérzékelő rendszer.) Az új, ügyes „kezek” teljesen átvették a táplálékszerzés gondját, megkönnyítették a fákon és a fák között való mozgást, míg a tökéletesebb térlátás a testen kívüli tér és tárgyak pontosabb bemérését, a távolságok tökéletesebb becslését tették lehetővé akár a földön járásnál, de még inkább a fáról fára ugráláskor. A majmok fiziológiai vizsgálatából tudjuk, hogy a kézszerű végtagok által végrehajtott manipulatív működések, valamint a térben való tájékozódás és mozgás mindkét féltekében jó korrelációban van az ún. alsó fali lebeny (AFL) idegi működésével. Az agyban természetesen kereszteződve a bal AFL a jobb kéz, a jobb AFL a bal kéz működésével kapcsolatban jelez aktivitást.

Az eredetileg szag-orientált ős tehát új viselkedést tanult meg: kézi manipuláció és látás útján való kapcsolatteremtést a háromdimenziós világgal és tárgyaival. Éppen ez, vagyis a látással kombinált manipulatív tevékenység — ahogy a tárgyat felveszik, megforgatják, tanulmányozzák a tárgy konzisztenciáját, formáját — jellemző kizárólag a főemlősökre. S ez egyedül a kezeknek, ill. az opponálható (más ujjakkal szembehelyezhető) hüvelykujjnak köszönhető. A tér kézzel történő illetén felfedezésének idegi hátterét pedig az AFL szolgáltatta.

Az emberi kéz a tárgyak egyszerű, manipulatív vizsgálatánál természetesen sokkal többre képes. Az emberi kéz ügyességének kialakulásához azonban az kellett, hogy mentesüljön egyéb feladatokról (járás, fákon való közlekedés). Ezt tette lehetővé az ember kiegyenesedése, a két lábon járás, vagyis a kezek más célokra való szabaddá tétele. A két lábon járó elődnél alakult ki az a munkamegosztás a két szabaddá

vált kéz között, ami a jobb kéz bizonyos feladatok végzésében való preferálását jelentette. Jóllehet sokáig tartotta magát az a nézet, hogy a jobbkezeség csak a bronzkorban alakult ki (kb. 3000 évvel Krisztus előtt), az újabban előtárt antropológiai, elsősorban az eszközhasználatra és eszközkészítésre utaló bizonyítékok egyértelműen jelzik, hogy már a korai kőkorszakban (félmillió éve) is jobbkezesek voltak az elődök. Újabb, kenyai ásatások során nyert bizonyítékok (Toth, 1985) pedig azt igazolják, hogy már a Homo habilis (1.4—1.9 millió évvel ezelőtt) is a jobb kezét részesítette előnyben eszközkészítésnél. Dart (1949) még ennél is korábbra teszi a jobbkezeség megjelenését: a Homo habilis előtti, az ugyancsak két lábon járó Australopithecus africanus-ról tételezi fel közvetett bizonyítékok alapján a kéz aszimmetrikus használatát.

Miért és hogyan alakult ki a kézhasználat aszimmetriája?

A „miért”-re a válasz a felszabadult kezek gazdaságos munkamegosztásában található: az egyik kéz — az esetek 90%-ban ma is a jobb — nyúlt a vizsgálandó tárgy után, pattintotta a kódarabból a készítenő köeszközt, míg a másik (90%-ban 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, pl. a térben való mozgással kapcsolatos műveletekben többet tud, mint a jobb!) — Eredetileg tehát, a Homo habilisnál, a Homo erectusnál — a gazdaságosabb munkamegosztással volt kapcsolatban a kézhasználati preferencia. De hogyan vált a jobb kéz a domináns kézzé? A már korábban említett, elsősorban szocio-kulturális, naivnak bizonyult elméletek mellett voltak olyan elképzelések is, hogy a jobbkezeség kialakulása az agyféltekék két lábon járás során némileg aszimmetrikussá váló vérellátásának lenne a következménye. Más szóval, a bal félteke esetlegesen erőteljesebb oxigenizációja hozta volna létre (a pályák keresztveződése miatt) a jobb kéz ügyesebb, preferáltabb használatát. Kiderült, hogy a két félteke vérellátása szimmetrikus, így más magyarázat után kellett nézni.

A maig legmeggyőzőbb, tudományos elmélet a domináns jobbkezeség kialakulására Marian Annett nevéhez fűződik. A teória genetikai, s azt tételezi fel, hogy a testi, bilaterális szimmetriát s egyben a kezűséget is olyan gén határozza meg, amely két formában (allél) fordulhat elő: egy „right shift”, jobbra toló (RS+) formában, ill. a balra toló (RS-) formában. Annett tapasztalati tényekkel is alátámasztott elméletének lényege, hogy a szimmetrikusságot biztosító génben, valamilyen mechanizmus (mutáció?) az emberelődök fejlődésének viszonylag korai szakaszában a jobbra forgató formát tette dominánssá, s ez hozta létre az emberelődök (öbbségében a jobbkezeséget. Másrészt, az RS- (recesszív) formáció nem eredményez automatikusan balkezeséget, csak egy neutrális helyzetet, amelyben egyaránt kialakulhat bal-, ill. jobbkezeség. (Ezért van az, hogy két, balkezes szülő utódai egyaránt lehetnek bal- és jobbkezesek, ugyanakkor örökölt RS+ formáció egyértelműen jobbkezeséget eredményez.) Annett teóriája jól magyarázza a kialakult százalékarányokat. A genetika (Mendel!) törvénye szerinti az utódok 25%-ában két RS+ allél lesz, 50%-nál fele RS+, fele RS-, vagyis az RS+ dominanciája miatt az utódok 75%-a eleve jobbkezes lesz. Ugyanakkor az utódok 25%-ában 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% jobb-, 10% balkezeséget.

A jobb kéz gyakoribb használata, ismét az idegi pályák keresztveződése miatt, másodlagosan változásokat idézett elő a bal félteke kézérző régiójában, ami — direkt összeköttetések révén — az ugyancsak bal féltekés „jobbkezes-motoros régió” gyakoribb, s finomabbá váló működésén keresztül vezetett a jobb kéz ügyesebb működéséhez. Más szóval egy olyan körfolyamat alakult ki (persze évszázadok során),

amelyben a jobbra toló gén dominanciája a bal féltelke kézérző és -mozgató régióinak funkcionális optimalizációjával érte el a jobb kéz funkcionálisan is preferált használatát és ezen keresztül az eredeti jobbkezűséget előidéző mutáció stabilizációját. Úgy tűnik, hogy ez az „összjáték” csak a bipedalizmus kialakulása után jöhetett létre — így az állatvilágban egyébként tapasztalható aszimmetrikus mutációk (ha voltak) szükségszerűen megrekedtek egy jóval alacsonyabb szinten.

Mindenesetre valószínű, hogy a jobbkezesség és az emberi agy elsősorban funkcionális aszimmetriája között szoros, oki kapcsolat áll(t) fenn. Előbb azonban, egy kis kitérő jön: miért nem kizárólagos a jobbkezesség, mire vezethető vissza a kb. 10–12%-os balkezesség az emberi populációban?

Balkezesség

A történelemből, de a jelenkorból is számos hírességet ismerünk, akik explicit balkezesek voltak. Bizonyítékok vannak arra vonatkozóan, hogy Nagy Sándor, Julius Caesar, Nagy Károly és még Dávid király is balkezesek voltak éppúgy, mint a nagy Leonardo da Vinci. A jelenkorból amerikai elnökök sora (Truman, Ford, Reagan, Clinton), két Beatles (McCartney, Ringo Starr), vagy Chaplin egyaránt balkezesek voltak éppúgy, mint számos sportoló, vívó világbajnok, ill. teniszbajnok (utóbbiak közül csak néhány: Laver, Connors, John McEnroe, Muster, Navratilova, Szeles Mónika). A balkezes hírességek nagy száma ellenére a balkezességet sokáig — néha még ma is — alacsonyabb rendű, szerencsétlen tulajdonságnak vélték. Nem véletlen ezért, hogy sok társadalomban a balkezesség tiltott volt (néhány délkelet-ázsiai államban még ma is az), és a balosság még Arisztotelész szerint is inkább negatív tulajdonságokkal kapcsolódott (sőtét, ördögi és — érdekes módon — nőies, ellentétben a jobbossággal, ami világos, jó és férfias). Természetesen ma már tudjuk, hogy a balkezesség nem jelent intellektuális, vagy éppen morális alacsonyabbrendűséget; az is beigazolódott, hogy nyelvi, kifejezési, olvasási problémák vagy éppen a dadogás nem a balkezességgel, hanem inkább az agyi aszimmetriával összefüggő jelenségek. Az a felületes állítás is megdőlt, hogy a balkezesek várható élettartama rövidebb, mint a jobbkezeseké. Ugyanakkor eléggé nyilvánvaló, hogy sok sportágnál, elsősorban labdasportnál, a balkezesség — a jobb féltelke (az irányítja a bal kezét) előnyösebb térbeli tájékozódási képességei miatt — kedvező lehet. Általában is, a balkezesség kétségtelen előnye, hogy a bal kéz ügyességét és térorientációs tulajdonságait egyazon féltelke (a pályák kereszteződése miatt a *jobb*) szabályozza, ráadásul az ellenoldali (*bal*) féltelke közbeiktatása nélkül, közvetlenül. A balkezesség okait kutatva a legkézenfekvőbb az Annett által is felvetett genetikai mechanizmus, azaz az RS- allél kizárólagos jelenléte az utódban. Ugyanakkor nem zárhatók ki környezeti (még méhen belüli), ill. hormonális hatások sem (tesztoszteron túlsúly a fiú magzatokban: ez érthetővé tenné azt, hogy a balkezesek többsége fiú, ill. férfi). Külön érdekesség, hogy hasonlóan a jobbkezesekhez, akiknél a beszédközpont az esetek túlnyomó többségében a bal féltelkében található, a balkezesek 85%-ánál a beszédközpont nem a jobb, hanem ugyancsak a bal féltelkében található!

Ez arra utal, hogy a balkezesség (másodlagos) megjelenése az esetek többségében független az évszázazredek során kialakult és genetikusan rögzített agyi aszimmetriától.

Agyi aszimmetriák

A *beszéd*, ami az esetek többségében az ember értelmes, sokszor gondolatoktól sem mentes tevékenysége, tulajdonsága, a *Homo sapiens* talán legkézenfekvőbb, minden más élőlénytől megkülönböztető jellegzetessége. 1861–65 óta azt is tudjuk,

hogy ez a képességünk (azóta kiderült, hogy az emberek 95 százalékánál) a bal féltekéhez, annak is jól körülírható régiójához köthető. 1861-ben *Paul Broca* francia sebész a francia Antropológiai Társaságban számolt be arról, hogy néhány, beszéd-készségét hirtelen, agyvérzés következtében elvesztett páciensének a homloki lebenyében észlelt sérüléseket. Ez volt az első, közvetlen bizonyíték arra, hogy a beszéd motoros központja a homloki lebenyben van. Néhány év múlva az esetszám növekedése után Broca újabb, alapvető megállapítást tett; 1865. június 15-én az Antropológiai Társaságban tartott előadását így fejezte be: „...nous parlons avec l'hémisphère gauche”. A beszéd(motorika) bal féltekés lokalizációját tehát Broca közölte a tudományos világgal. A teljes igazság kicsit árnyaltabb (mint a tudományos felfedezések világában oly sokszor): egy másik vidéki francia orvos, *Marc Dax* ugyanis élete első és egyben utolsó tudományos előadásában Montpellier-ben, a Francia Orvosi Társaságban már 1836-ban beszámolt arról, hogy több mint 40 olyan betegnél, akik agyi sérülés következtében veszítették el beszédképességüket, a sérülés mindig a bal oldalon volt! Dax következtetése a mai napig érvényes: az agy két fele különböző, eltérő működéseket ellenőriz, a beszédet például a bal félteke! Dax előadásáról Broca nem hallott, így jogos az ő prioritását (is) megállapítani. Ezen túlmenően Broca volt az, aki a beszédmotorikát a bal félteke homloki lebenyének hátsó régiójához lokalizálta, s ő hozta ok-okozati kapcsolatba a domináns jobbkezeséget és az ugyancsak domináns bal féltekés beszédközpontot (a pályák kereszteződését már Hippokratész orvos iskolájában is tanították).

Erthető, hogy Broca nagy jelentőségű felfedezése után már néhány évvel (1868) *Jackson* angol ideggyógyász már az addigi nézetek gyökeres revíziójára szólított fel: „az agy nem lehet egynemű, hiszen a beszéd, a legfontosabb emberi jelleg csak az egyik félteke tulajdonsága”. Ezért Jackson a bal (beszédés) féltekét vezető (mai szóhasználatban domináns) féltekének nevezte el, amely akarattal rendelkezne, ellentétben az automata jobb féltekével. Vagyis: az emberi agy két aszimmetrikus féltekéből áll.

A beszéd balféltekés jellegét egyébként *Wernicke* (1874) német neurológus megerősítette, amikor felfedezte, hogy a beszédértés centruma is a bal oldalon található, de a motoros (Broca) areától elkülönítve, a halántéklebeny felső részében. Ennek sérülése után a beszédképesség ugyan megmaradt, sőt nyelvtanilag is helyes lehet, csak éppen nélkülözi az értelmet. A kérdés ezután az: ha valóban aszimmetrikus a két félteke, a „néma” jobb féltekéhez milyen működések köthetők? Érdekes módon, erre csak majdnem 100 év múltán sikerült legalább vázlatos választ kapni, elsősorban a neuropszichológia II. világháborút követő gyors fejlődésének, valamint újabb, leképező módszerek bevezetésének köszönhetően. S ezzel párhuzamosan sikerült arról is többet megtudni, hogy — a beszéd mellett — a bal féltekének milyen további működési jellegzetességei vannak. Kissé leegyszerűsítve, s annak hangsúlyozásával, hogy — a beszéd kivételével — a tulajdonságok többségénél az eltérés inkább mennyiségi és nem kizárólagos, a lényegi különbségek az alábbiakban adhatók meg:

A *bal félteke* beszél (az esetek 95%-ában). Analitikus, racionális, szekvenciális, realizitikus, logikus (humorérzéke nincs), algebraikus és — ami különösen is fontos — van időérzéke.

A *jobb félteke* néma (bár a beszéd érzelmi felhangjait a jobb félteke érzékeli), térmanipulációban, vizuális felismerésben (pl. arcfelismerés!), térben való tájékozódásban, egyszóval a látásban többet tud, mint a bal. Egyidejű, analóg, szintetikus, holisztikus. Geometriában is jobb. Ösztönösebb, mint a bal, ebből következően irracionálisabb is. Érzelmi élete sokszínűbb, egyben őszintébb is, a bal féltekénél, utóbbi a jobb arcon tükröződve jóval kontrolláltabb expressziót engedélyez, mint a jobb félteke bal arcon tükröződő emóciói. A zene, muzsika érzékelése is inkább jobb féltekés. Képzeloerőben, kreativitásban többet tulajdonítanak a jobb féltekének, mint ahogy humorérzék is csak itt található. Végül: a jobb félteke az időt nem érzékeli, időtlen. Mindemellett megjegyzendő, hogy az ún. „éntudat”-ról úgy gon-

dolják, hogy az kizárólag a bal félteke sajátja. A két félteke, természetesen normális körülmények között, nem egymástól függetlenül működik, hanem a féltekéket összekötő 200 millió idegrost (corpus callosum: kérgestest) révén folytonosan informálják, s ha lehet, befolyásolják egymást.

A beszédközpont féltekés lokalizációját először a Wada-teszt segítségével sikerült pontosan megállapítani; e módszernél a féltekék külön-külön elaltathatók. Másrészt *Sperry* és munkatársai split-brain vizsgálataiból a beszédkészség lokalizációja mellett a két félteke más tulajdonságainak megismerése is lehetségessé vált.

E beavatkozásnál csillapíthatatlan epilepsziások két féltekéjét választották el a kérges test átvágásával, s így az epileptikus rohamok megszűntek, ugyanakkor a betegek két önálló féltekével éltek tovább — egyébként minden különösebb probléma nélkül. A két önálló félteke pszichofiziológiai vizsgálatát később normális, nem elválasztott féltekék kifinomultabb pszichofizikai vizsgálata követte (*Kimura*: hallórendszer, *Jerre Levy*: látórendszer, tachisztozkópia). Jóval később tovább finomodtak a módszerek a nem-invazív, agyi aktivitást leképező technikák (PET, fMRI, MEEG) kifejlesztésével. A sok-technikájú vizsgálatokból ma az alábbiakban röviden összefoglalt kép alakult ki az emberi agy funkcionális aszimmetriájáról.

Igaz, általában a bal (domináns) félteke dönti el (sokszor helytelenül), hogy mi is a „helyes”, azaz a két félteke között bizonyos mértékű kompetencia is megtalálható. (Jó példa erre az egyik split brain beteg esete, aki bal kezével, öltözködés közben a nadrágot le, a jobb kezével viszont felhúzni szándékozott: győzött a bal félteke.) Ennél sokkal gyakoribb azonban a szükségszerű kooperáció a két félteke között. Vegyük a muzsikát! A zenei érzékelés képességének kioltása jobb féltekés, temporális lebenysérülés után következik be. Ugyanakkor a zenei ritmus érzékelése nem sérül, mivel az bal féltekés. Pozitron Emissziós Tomográf (PET) vizsgálatokkal azt találták, hogy bármely Bach-zongoradarab a jobb félteke halántéki lebenyét aktiválja, a skálázás a bal féltekét. Érdekes és új felfedezés, hogy ezzel szimultán a kisagyféltekék is aktiválódnak (azaz valamilyen formában részt vesznek a muzikalitásban), csak a nagyagykéreg és kisagykéreg közötti pályák kereszteződése miatt fordítva, azaz pl. a skálázás a kisagy jobb féltekéjében okoz aktivitást. Ugyancsak lényeges, hogy a zene komponálásánál, ami közvetlen percepciók tevékenységet nem igényel, a bal félteke játszik aktívabb szerepet.

Hasonló példát hozhatunk fel még az egyébként bal féltekés beszéd megértésével kapcsolatban is. A beszédet hangtanilag, jelentésbelileg, logikailag értjük meg (ezt kizárólag a bal félteke végzi), de azt, hogy a beszédhez milyen emóciók fűződnek, hogy a beszélő arca milyen „aláfestést” mutat a mondanivalóhoz, ezt a jobb félteke érzékeli elsőként. Említettük, hogy a jobb félteke érzelmi élete „fokozottabb”, mint a bal féltekéé. Emellett a Wada-teszt segítségével azt is kiderítették, hogy ugyanarra a problémára, a kudarcra, az éber jobb félteke reakciói depressziósak voltak (beleértve a félelmet, sirást, izzadást stb.), míg az éber bal félteke inkább érdektelen maradt, sőt helyenként egyébként teljesen alaptalan eufóriát is mutatott, hajlamos volt a saját betegség bagatellizálására stb.

Érdekes az értékítéletben mutatkozó aszimmetria is. A jól sikerült koncert után az énekesnőt virágcsokrokkal ünneplik. A bal félteke (jobb féltekés sérült betegeknél) a jobb félteke emocionális hozzájárulása nélkül nem hajlandó elfogadni azt a megoldást, hogy a virágok szimbolikusak, jókívánásainkat fejezik ki csupán. Ellenérve: de hisz a művésznőnek a virágból az égadta világon semmi haszna — akkor már inkább pénzt, csekket adjanak Neki! (Megtörtént!!)

További kérdés, hogy a két félteke közötti munkamegosztásnak, a működések különböző mértékű aszimmetrikusságának van-e morfológiai, anatómiai háttere? Ami a beszédérzékelés halántéklebenyi központját illeti, itt jelentős megnagyobbodás található — mint ahogy az várható is — a bal féltekében. Ehhez hasonló fejlettségű félteke-aszimmetria még a szubhumán majmokban sem található, s főként a beszédközpontnak megfelelő megnagyobbodás bizonyosan emberi jelleg.

Az agyi aszimmetria kialakulása az emberré válás során

Úgy tűnik tehát, hogy a kizárólagos emberi aszimmetriák, a jobbkezesség és a bal féltékés beszéd között valamilyen ok-okozati kapcsolat áll fenn. E tekintetben több hipotézis is található. Ezek közül a legplasztikusabb, paleontológiai leletek által is leginkább támogatott elképzelés *Le Doux* nevéhez fűződik, aki munkájában meggyőzően érvel amellett, hogy az emberré válást a differenciált kézhasználat tette lehetővé (és nem fordítva). A jobbkezesség az eszközkészítésből és más jelekből következtetve már a beszédközpont kezdeményeinek kb. 1,5 millió évvel ezelőtti megjelenését megelőzően kialakult. Így a jobb kéz nemcsak az eszközkészítésben és -használatban, de a sokáig a fő kommunikációs eszköz, a vokalizációval kombinált gesztikulációban is preferált mellső végtag volt. A különböző érző modalitások (látás, hallás, testézés) a fali kérgi lebeny alsó részében (AFL) keverednek, integrálódnak. Majmokban ez az integrációs központ mindkét oldalon egyformán működik. Az emberré válás során azonban ez a központ a bal AFL-ben elveszítette a térérzékeléssel, látással kapcsolatos működését, s mindinkább a kommunikációs, majd nyelvi információcsere egyik központjává alakult át. Az átalakulás mechanizmusára vonatkozóan fontos, hogy a gesztikuláló, kommunikáló jobb kéz érzékelő idegi központja a bal oldali AFL. A kézjelek megértéséhez természetesen látáselemzés kell, így érthető, hogy a mai (bal) AFL funkciója a beszédben éppen a látott nyelv értelmezéséhez kapcsolódik. A gesztikulációs fázisban (a *H. habilis*-nál, a *H. erectus*-nál) a bal AFL lehetett az elsődleges (és egyedüli) nyelvi zóna, amely a gesztus értelmezésében és produkciójában egyaránt résztvevett. A beszéd nélküli gesztikulációs szakasz viszonylag hosszú ideig tarthatott, bár amint *Corballis* kitűnő elemzésében rámutat, a gesztikulációt bizonyos figyelemfelkeltő, megerősítő, de beszédnek nem nevezhető vokalizáció minden bizonnyal kísérte, erősítette már a *H. habilis*-nál is (mint ahogy ez a szubhumán főemlősöknél ma is jól megfigyelhető). A valódi beszédcentrum a koponyaleletek alapján az AFL-lel szomszédos Wernicke areában, ill. a frontális Broca-mezőben csak a *Homo sapiens*, a mai ember megjelenésével, mintegy 100 000 éve, vagy annál is kevesebb ideje alakult ki. *Chomsky*, a hírneves nyelvész úgy gondolja, hogy a generatív nyelv hirtelen, kb. 35 000 éve alakult ki, míg *Corballis* szerint — s ez tűnik valószínűbbnek — a nyelv, a beszéd fejlődése lépcsőzetes volt, lassan alakult ki a *Homo habilis*-szal kezdve, majd a *H. erectus*-szal folytatva a mai emberig — bár szerinte is csak az utolsó 30–40 000 évben érte el azt a fokot, amit már emberi beszédnek lehet értékelni. Az anatómiailag is jól látható halántéki beszédközpont kialakulása a bal féltékésben, tehát oki-okozati kapcsolatba hozható a korábbi jobbkezűség kialakulásával. Egyben a kialakult bal féltékés beszédközpont további funkcionális aszimmetriák kialakulását indukálta — végső soron lehetővé tette a beszélő, éntudattal rendelkező ember megjelenését.

Az agyi aszimmetriák egyedfejlődése

Funkcionális agyi aszimmetriák egyes szubhumán emlősökben is előfordulnak, sőt, ismeretes, hogy az énekesmadarak énekközpontja ugyancsak a bal féltékésben található. Ugyanakkor ezek az aszimmetriák soha nem járnak a két féltéke embernél tapasztalható, tényleges munkamegosztáshoz vezető lateralizációjával. Mindkét állati nagyagyfélteke önmagában is képes a lényeges életfunkciók szabályozására, a közel normális életműködések fenntartására. A madarak jobb féltékéje — a bal féltékés énekközpont sérülése esetén — képes normális énekgeneráló központ kialakítására, a madáragy jelentős plaszticitását igazolva. Az emberi agyféltekék aszimmetriájának

kialakulása és fenntartása az egyedfejlődés során ugyanakkor szigorúbb genetikai szabályozás eredménye. A beszédközpont kialakulását sokáig, a 70-es évekig ugyancsak plasztikus folyamatként képzelték el. *Lenneberg*, az egyébként kiváló nyelvész, klinikai adatok alapján feltételezte, hogy a születés utáni néhány évben mindkét félteke rendelkezik beszédrégióval, s a két félteke közötti „versengés” során alakul ki (általában 5 éves korra), hogy melyik félteke lesz a végleges beszédközpont székhelye. Az 1930—1950-es évekből származó statisztikák szerint ugyanis 1—5 éves korban nemcsak a bal, hanem a jobb félteke sérülése is beszédkieséssel, beszédzavarokkal jár, ami arra látszott utalni, hogy e korban még mindkét féltekének van beszédcentruma. Az elmúlt 30 év (1960—1990) hasonló klinikai statisztikai viszont a korábbi leletekkel ellentétben azt igazolták, hogy a beszédcentrum már kisgyerek korban is valamelyik (95%-ban a bal) féltekéhez tartozik.

A nyilvánvaló diszkrepancia magyarázatával többen is próbálkoztak, s általában a felgyorsult világ gazdagabb ingerkörnyezetének tulajdonították azt, hogy „újabbán” a beszéd lateralizációja gyorsabban, sőt már csecsemőkorban megtörténik. Pedig a valódi magyarázat sokkal prózaibb. 1950 előtt ugyanis még nemigen használtak antibiotikumot a klinikumban sem, s így a jobb félteke (látható) sérülése után, az átterjedő fertőzés következtében, ha nem is látványosan, de a bal félteke, s benne a tényleges beszédközpont is sérült másodlagosan.

Ma már meggyőző anatómiai és pszichológiai bizonyítékaink vannak arra, hogy a beszéd—nyelv központ kezdetei nemcsak a csecsemőknél, de már embrionálisan is kialakultak. A halántéki lebeny aszimmetriája már a születés előtti utolsó hónapban fellelhető, bár ekkor a beszédrégióknak még sem érző, sem mozgató funkciója nem lehet és nincs is. (Az agy fejlődése során egyébként sok hasonló esettel találkozhatunk: az egyes érzőrendszerek, pl. a látórendszer morfológiai kezdetei megelőzik a működés kialakulását, bár igaz, hogy a végleges szerkezet csak megfelelő működés hatására alakul ki.) A beszédközpont első, bár primitív érző működése ugyanakkor már 1—2 hetes csecsemőknél érzékelhető és 1—2 hónapos korban a csecsemők igen gyorsan megtanulják az ismerős és ismeretlen hang közötti különbségtételt is!

A beszédközpont és a kapcsolott tudati jellegek tényleges kialakulásához azonban a központ genetikai meghatározottsága csak az alap: a környezet, tapasztalat, motiváltság, emocionális tényezők, sőt a hormonális státus (ez fiúknál és lányoknál nagyon különböző) és más hatások döntik el, hogy a genetikailag hozott lehetőségből végül is mi lesz. Vagyis az agyi aszimmetriák emberben részben öröklöttek, másrészt azonban (pedagógia!!) a környezet nyújtotta tapasztalatok az aszimmetriák realizálódását jelentősen befolyásolják. Ehhez kapcsolódva fontos az is, hogy a két félteke fejlődési üteme nem egyforma: a bal, beszédes félteke valamivel gyorsabban, előbb differenciálódik (s fejlődését is előbb befejezi), mint a jobb. Ez igen lényeges különbség forrása fiúk és lányok között. A férfi nemi hormon, a tesztoszteron (amelynek koncentrációja természetesen a fiúknál jóval magasabb, mint a lányoknál) ugyanis lassítja az egyébként gyorsabban fejlődő bal félteke (s benne a beszédcentrum) fejlődését. Ezért figyelhető meg (természetesen ez is statisztikus) hogy a lányok verbális ügyessége még 9—13 éves korban is jobb, mint a fiuké; háromszor annyi fiú van a rossz olvasók között 11 éves korban, mint lány! Kanadai pszichológusok, éppen erre, a beszéd—nyelv tanulásában (is) manifesztálódó fejlődési különbségre hivatkozva javasolták, hogy az iskolában (legalábbis 6—10 éves korban) ismét szét kellene választani a fiúkat és a lányokat, hiszen a lányok megértési-tanulási ritmusa e korban fejlettebb, mint a fiuké: ha a tanár a fiúkhoz alkalmazkodik, a lányok számára lesz természetellenesen lassú az ütem, és megfordítva, ha a lányokhoz illeszkedik a ritmus, az túl gyors a fiúk többsége számára. Természetesen, kellő pedagógiai módszerekkel a verbális készség fejlődési különbsége fiúk és lányok között áthidalható, hiszen itt más, figyelmi tényezők is szerepelnek a különbség (funkcionális) kialakulásában. S a gyakorlás gyorsíthatja a különbségek felszámol-

lását: olvasás, verstanulás, illetve a verbális stratégia korai alkalmazása gyorsan eltűnteti a főként hormonális hatásokra fellépő fejlődési különbséget fiúk és lányok között.

Ugyanakkor főként, de nem kizárólag hormonális hatásokra az agyi aszimmetria tekintetében bizonyos különbségek férfi és nő között megmaradnak később is. (1) A lányok mindkét féltékéje hosszabb időre képes plasztikus válaszokra, azaz a szükséges korrekciókra is, mint a fiúké; ez azzal jár, hogy bizonyos bal féltékés fejlődés-rendellenességek, mint a fejlődés-eredetű dyslexia, afázia, infantilis autizmus, dadogás, jóval gyakrabban fordulnak elő fiúknál-férfiaknál. (2) A meghosszabbított agyi plaszticitás következtében a női féltékéknél a működések lateralizációja (a beszéd kivételével természetesen) nem annyira kifejezett, mint férfiaknál. (Ehhez az is hozzájárul, hogy a két féltékét összekötő kérges test nőknél fejlettebb, mint férfiaknál.) Ennek egyik pozitívuma (lehet) az érzelmi élet, a személyiség kiegyensúlyozottabb kialakulása. A lateralizáltabb férfiak általában könnyebben matematizálnak (bal féltékél), s a térbeli látás-manipulációk, arcfelismerő készségük is jobb, mint a nőké. A nők általában nyelvtanulásban jobbak. Mindezen különbségek természetesen statisztikusak. Az egyéni sajátosságok azonban, a férfi populáción belül, a nőknél, s a két nem között is, igen gyakran átfednek, hiszen mindenki — férfi vagy nő, szegény vagy gazdag — egyedi személyiség, aminek kialakulásában rendkívül fontos, meghatározó hozzájárulás volt a jobbkezeség és a nagy valószínűséggel következményes munkamegosztást, a manipulációs készséget, beszédet, fejlettebb kognitív tulajdonságot is jelentő aszimmetria kialakulása az agy két féltékéje között.

IRODALOM:

- Annett, M. (1985) *Left, right, hand and brain: The right shift theory*. London: Erlbaum.
- Barsley, M. (1970) *Left-handed man in a right-handed world*. London: Pitman.
- Blau, A. (1946) *The master hand*. New York: American Orthopsychiatric Association.
- Broca, P. (1865) Sur la siège de la faculté du langage articulé. *Bulletins de la Societe d'Anthropologie de Paris*, 6:377—393.
- Calvin, W.H. (1983) *The throwing madonna: Essays on the brain*. New York: McGraw-Hill.
- Chomsky, N. (1980) On cognitive structures and their development: A reply to Piaget. In M. Piattelli-Palmarini (Ed.), *Language and learning: The debate between Jean Piaget and Noam Chomsky* (pp. 35—52). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Corballis, M.C. (1991) *The Lopsided Ape*. Oxford University Press.
- Dart, R.A. (1949) The predatory implemental technique of Australopithecus. *American Journal of Physical Anthropology*, 7:1—38.
- Jackson, J.H. (1868) Defect of intellectual expression (aphasia) with left hemiplegia. *Lancet*, 2:457.
- Keeley, J.H. (1977) The functions of paleolithic flint tools. *Scientific American*, 237:108—127.
- Kimura, D. (1967) Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex*, 3:163—178.
- LeDoux, J.E., Wilson, D.H., and Gazzaniga, M.S. (1977) Manipulo-spatial aspects of cerebral lateralization: Clues to the origin of lateralization. *Neuropsychologia*, 15:743—750.
- LeDoux, J.E. (1983) Cerebral asymmetry and the integrated function of the brain. In A.W. Young (Ed.), *Functions of the right cerebral hemisphere* (pp. 203—216). New York: Academic Press.
- Leroux, E.H. (1967) *Biological foundations of language*. New York: Wiley.
- Levy, J., Heller, W., Banich, M.T., and Burton, L.A. (1983) Asymmetry of perception in free viewing of chimeric faces. *Brain and Cognition*, 2:404—419.
- Sperry, R.W. (1974) Lateral specialization in the surgically separated hemispheres. In F.O. Schmitt and F.G. Worden (Eds.), *The neurosciences: Third study program* (pp. 5—19). Cambridge, MA: MIT Press.
- Toth, N. (1985) Archeological evidence for preferential right-handedness in the Lower and Middle Pleistocene, and its possible implications. *Journal of Human Evolution*, 14:607—614.
- Wada, J.A. and Rasmussen, T. (1960) Intracarotid injection of sodium amytal for the lateralization of cerebral speech dominance: Experimental and clinical observations. *Journal of Neurosurgery*, 17:266—282.
- Wernicke, C. (1874) *Der Aphasische Symptomenkomplex*. Breslau: Cohn and Weigart.