

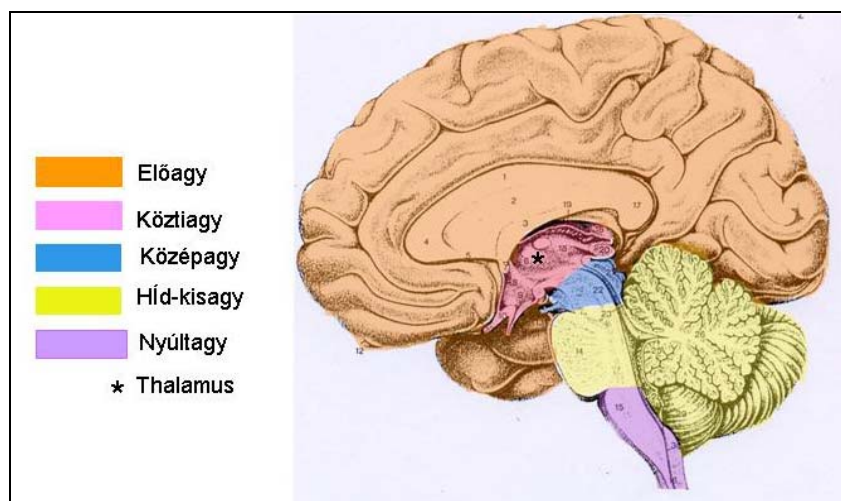
Székely György

## Mennyire nyitott az emberi agy?

A reneszánsz tudósainak munkái nyomán egyre élénkebbé vált az érdeklődés a koponyában lévő kocsonyás anyag iránt, melynek csábító ismeretlenségében zajlanak a tudatunkat, magatartásunkat meghatározó folyamatok. A nagy érdeklődést nem embertársaink agyába vágyakozó bepillantás gerjeszti, a cím a kutató számára sokkal inkább úgy fogalmazódik meg, hogy mennyire tudjuk saját agyunkat, vagy a kísérleti állat agyát megismerni? A jól ismert paradoxon szerint agyunk bonyolultsági szintje nem elég magas arra a feladatra, hogy az emberi agy bonyolultságát kezelni tudja, ha viszont agyunk egyszerűbb lenne, a probléma eszünkbe sem jutna. Tehát egyszerűbb aggyal kell próbálkoznunk, és a jelenlegi feladat megközelítéséhez szűkítsük le vizsgálódásunkat arra, hogy miben különbözik az emberi agy az állati agytól?

Minden gerinces állat agya, beleértve az emberi agyat is, hasonló részekből áll (1. ábra). Tehát minden fajnál találunk egy *előagyat*, mely az *agykéregből* és a kéreg alatti központokból (*köztiagy*) áll. Ez utóbbiak egyik ismertebb tagja a thalamus, melyben a különböző érzékszervi információk integrálódnak és kapcsolódnak a kéreg, illetve a mozgató központok felé. Egy másik előagyi komponens a csíkolts test, mely egy rendkívül komplex mozgásszervező központ, és ez is szoros kapcsolatban van a kéreggel és az alacsonyabb mozgató központokkal. Az előagyat követi a *középagy*. Ide érkeznek az első feldolgozás után kialakított látási és hallási-egyensúlyozási információk, és itt van egy közvetítő állomás rendszer, modernül interface, az előagy és az utó- és gerincagy érző és mozgásszervező központjai között. A középagy teteje, a tectum, a madarak és hüllők fontos látóközpontja. Az agyi hierarchiában a következő rész az *utóagy*, amely a *híd-kisagyi* részből és a *nyúltagyból* tevődik össze. A maga egyszerűségében is egy meglehetősen bonyolult központ. Halaknál ez a terület a legnagyobb rész, és tartalmazza mindazokat a szabályozó mechanizmusokat, melyek egy „hal” életéhez szükségesek. Kicsit konkrétan, az agyidegek központjai vannak itt, továbbá számos vegetatív központ székhelye az utóagy. Az ide tartozó kisagy a maga rejtélyével fontos mozgásszervező központ. Az agy végső része a *gerincagy*, ismertebb nevén a gerincvelő. Ide futnak be az elsődleges érző ingerek, és innen indulnak ki az izmok és zsigerek működését szabályozó idegi ingerek. Ez

utóbbi szokták *végző közös útnak* is nevezni, minthogy ezek az idegek közvetítik mindazt a szabályozási „elgondolást”, ami a magasabb központokban „kidolgozódik”.



1. ábra. Az agy részeinek vázlatos ábrázolása. A lefelé nyúló hosszú gerincvelő nem fért rá a képre

További vizsgálódásunkban induljunk el innen, a gerincvelőtől felfelé. A gerincvelő legalsó részéből indul a hólyag és a végbél működésének a szabályozása, és jól ismert, hogy a gerincvelőnek csak ez a része képes ezt a szabályozási feladatot ellátni. A felette lévő szakasz az alsó végtaggal áll kapcsolatban, és ez a rész, és csakis ez a rész, tudja a végtagokat a rájuk jellemző koordinációban mozgatni. Majd következik a felső végtagok mozgására jellemző kizárólagos irányító központ, és még feljebb a rekeszizom a légzőmozgást irányító központját találjuk. Végül a fej bonyolult mozgásainak szabályozása már összefolyik az utóagy idegi központjaival, és folytatódik az agyidegek által szabályozott jellegzetes mozgások (nyelés, rágás, szemmozgások) idegi központjaival. Ha ezeket a működés szempontjából jól definiálható részeket összerakjuk, a mindennapi mozgásmintázatokat kapjuk meg. És ha a mozgásminták elemeit szabályzó központokat, (ismét modernül) moduloknak nevezzük, agyunknak ez az alsó része, mely mindennapi mozgásunkat irányítja, moduláris felépítésű.

A kutatások szerint ez a moduláris szerkezeti elv a felsőbb szakaszokra is érvényes, bár ezeknek a szabályozásoknak fokozódó komplexitása elmosza a működések eddig tapasztalt éles elkülönítési lehetőségét. Néhány példát könnyen találhatunk. Halaknál az utóagy halló-egyensúlyozó moduláris központjai roppant bonyolult radar elven működő tájékozódás szolgálatában állnak. A moduláris elven felépített középagyi látóközpont biztosítja a madarak és hüllők rendkívül kifinomult látását. Az oly bonyolult csikolt testben pontosan kimutatták,

hogy a különböző mozgásmintázatok részeit szabályozó idegi szerkezetek működési moduláris felépítésű központban integrálódnak. Sok más példát említhetnénk még, melyek alapján megállapíthatjuk, hogy a gerincvelő feletti idegi szerkezetek alapvető felépítése ugyancsak moduláris elven alapszik. A modulok különböző kombinációban való működése vezérli a legbonyolultabb mozgásformákat.

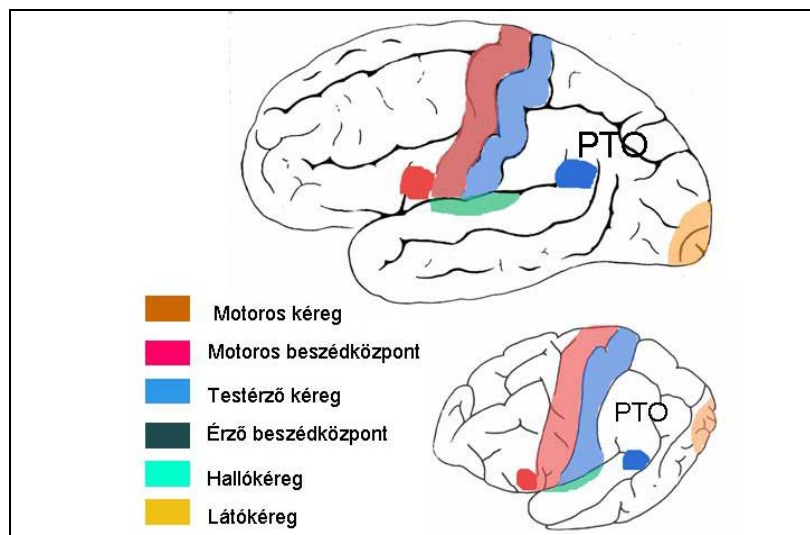
Tovább haladunk felfelé, és visszajutunk az előagyhoz. Azt tapasztaljuk, hogy emlősállatoknál ez az agyrész a többihez viszonyítva feltűnően nagy, és átveszi a vezető szerepet. A növekedés különösen látványos az agykéregnél, ami beborítja az alsóbb részeket. Az idegsejtek nagy része az agykéregben foglal helyet, és hogy minél több idegsejt elférhessen, a növekvő agykéreg számos barázdát és tekervényt vet. Fejlődése csúcsát az embernél éri el, az erősen barázdált agykéreg az összes idegsejt (~ $10^{10}$ ) mintegy 90%-át tartalmazza. (Összehasonlításként: emberszábasú majmoknál a sokkal kevesebb idegsejt 50–60%-a van az agykéregben). Ez a hatalmas növekedésbeli eltolódás jelzi, hogy agykérgünk átvette az agy feletti uralmat, a működés irányítását.

A *hogyan* kérdést fel sem teszem, helyette vizsgáljuk meg, hogy a modularitás elve érvényes-e erre a félelmetes idegi szerkezetre? A kutatások kimutatták, hogy az agykéreg felszínén jól meghatározható területek különíthetők el. Mint minden alsóbb részben, itt is megkülönböztetünk mozgató és érző területeket (2. ábra). A mozgató kéreg az alsóbb központokhoz küld utasításokat, a látó, halló-egyensúlyozó és testérző információk az elég jól definiálható érző kérgi mezőbe jutnak. Ezeket az elsődleges kérgi mezőket a másodlagos vagy asszociációs mezők veszik körül. Ezek a mezők közösen mintegy 40%-át foglalják el az agykéreg felszínének, a maradék 60% működése napjaink izgalmas kutatási területét jelenti. Minthogy az agykéregnek ez a mérete és unikális működése emberi sajátosság, a megismerésére vonatkozó kutatások csak közvetett úton történhetnek.

A kéreg mikroszkopikus szerkezete viszont jól vizsgálható, bonyolultságának felderítésében magyar kutató, Szentágothai János vezető szerepet játszott. A 3–4 mm vastagságú agykéregben rétegekben helyezkednek el az idegsejtek. A rétegekben belül szerkezetileg és működésileg a felszínre merőleges 500–600  $\mu\text{m}$  átmérőjű és 3 mm magas oszlopok különíthetők el. Minden oszlopban mintegy 5000 idegsejt van. A sejtek egy része az oszlopba menő (input) ingereket fogadja, egy másik, kisebb része az oszlopban kialakult ingerületet vezeti el (output). Mindegyik féltekében hozzávetőlegesen egy millió ilyen „mini komputer”, vagy kérgi modul van. A modulok bizonyos rendszer szerint kapcsolatban vannak közeli és távoli modulokkal, és mindegyik reciprok kapcsolatban áll az ellentétes oldal, számára tükörkép, moduljával. Ugyancsak kapcsolatban állnak az alsóbb érző központokkal. Tehát rengeteg információ jut egy-egy ilyen modulhoz. Számos kapcsolatuk útján információjukat „megbeszélnek” „összehasonlítják” más modulok információival, és így mintegy véleményt „alakítanak” ki a helyzetről, *feldolgozzák* az információt. Ennek alapján a kimenő elemek, a „véleményformálók”, észrevételeiket közlik az alsóbb mozgató és érző központokkal,

ott újabb feldolgozás után visszajut mintegy „jóváhagyásra”, végül a hír tovább jut az agyi hierarchia legalsóbb részeibe (utóagy, gerincvelő), és a végső közös úton megjelenik a helyzetnek megfelelő aktivitás.

Mai képalkotó műszerek segítségével vizsgálhatjuk az emberi agy egyes részeinek a tevékenységét, ezek ugyanis megjelenítik az éppen aktív agyi területeket éber vagy altatott egyénen. Ilyen és korábbi indirekt vizsgálatokból tudjuk, hogy a kéreg melyik része vesz részt a különböző mozgásokban, és hogy a különböző ingereket a kéreg melyik része dolgozza fel érzetekké. Így megtalálták azt is, hogy baloldalon, a mozgató kéreg szomszédságában van a motoros beszédközpont, melynek sérülése esetén a beteg nem tudja elmondani gondolatait (2. ábra). Jobb oldalon az érző kéreg közelében van az érző beszédközpont, melynek segítségével értelmezni tudjuk mások szóbeli közléseit. Ezek a beszédközpontok nyomokban megtalálhatók emberszabású majmok agykérgében is.



2. ábra. Az ember és a csimpánz agyának összehasonlító ábrázolása. A nagy méretbeli különbség (2200:600 gr) nem jelenik meg a képen

A beszédközpontok meghatározásával eljutottunk arra a pontra, ahol éles különbség jelentkezik az emberi és állati kommunikáció között. Tulajdonképpen minden élőlény kommunikál, és a kommunikációnak igen sokféle módja van (pl. testbeszéd). Az állati kommunikáció erősen beszűkült, általában vegetatív folyamatok megnyilvánulásaira korlátozódik (élelemszerzés, fajfenntartás). Bizonyos fokú érzelmi megnyilvánulás tapasztalható magasabb rendű emlősöknél, ám ez a primitív érzelmi megnyilvánulás is elsősorban vegetatív funkciókat szolgál. Úgy tűnik, az elvont, absztrakt hírközlésre, ami nem csupán érzékszerveink közvetlen hatáskörébe eső tárgyakra, az itt és most eseményekre vonatko-

zik, csak a verbális kommunikáció képes. Kell tehát lenni valami többletnek az emberi agyban.

A különböző nyelvek szerkezetének tanulmányozása során Chomsky azt találta, hogy a nyelvek alapvető szerkezete, a szintaxis, mely tartalmazza az egymás utáni nyelvtani szabályokat, minden nyelvben majdhogynem azonos. Közösségben felnövő gyerek ezeket az alapszabályokat minden instrukció nélkül szinte magától elsajátítja. Ebből arra következtetett, hogy az agyban kell lenni egy „nyelvi szervnek”, mely egymáshoz annyira közel álló nyelvi szerkezetet generál, míg a szókincs kialakulása egyedileg esetleges a különböző nyelveken. A nyelvi szerv anatómiailag nem meghatározható része az agykéregnek. Szathmáry úgy gondolja, hogy a kéreg egyes területein olyan az idegsejtek közötti kapcsolatrendszer, a kis kérgi modulok szerkezete és azok összeköttetései, hogy az ilyen terület alkalmas a nyelvi szerv befogadására. Ilyen területek feltehetően a régóta ismert motoros és érző beszédközpont közelében lehetnek. Területük és helyzetük változó lehet, és nem lehet találni valamilyen specifikus nyelvi károsodást, ami kapcsolatba hozható lenne körülírt agykérgi sérüléssel. Dinamikája alapján Szathmáry amőbához hasonlítja a nyelvi szervet, mely „él” és „mozog”, és a megfelelő dinamikus idegi szerkezet biztosítja számára az alkalmas „lakóhelyet”. Ez a lakóhely feltehetően az agykéregnek abban a 60%-nyi részében lehet, melyet a 2. ábrán nem jelöltünk meg színfoltokkal. Egy lehetséges hely kínálkozik az oldalsó felszínen, melyet testérző, látó, halló-egyensúlyzó információkat fogadó kérgi területek határolnak. Szokták ezt a területet parieto-temporális-occipitális integrációs központnak (PTO) is nevezni a résztvevő agylebények neve után. Ezek fogadják és integrálják a szervezetet érő összes belső és külső információt. Az érző beszédközpont is ebbe a területbe esik. Ezek a beszédközpontok, vagy azok kezdeménye, magasabb rendű emlősöknél is kimutathatók, mégis könnyű belátnunk, hogy akár egy egyszerű hangképzés is más információt közvetít egy ember számára, mint a csimpánz számára. Egy jól sikerült koloratúr áriát nagy tapssal jutalmaz a színházi közönség, míg a kutya esetleg vonítással utasítja el a magas hangokat. Nagyon sok hasonló példát gondolhatunk végig, hogy a vokális információ mennyi szubjektív érzést, érzületet kelt bennünk, míg állatoknál inkább csak vegetatív funkciókat közvetít. Az agy méretéhez viszonyítva is a sokkal kisebb állati agykéreg nem tud megfelelő lakóhelyet biztosítani a nyelvi amőba számára. Ezért a nyelv emberi tulajdonság, ami az agy méretéből és szerkezetéből adódik.

Hasonló megfontolásokkal élhetünk a beszéd motoros kivitelezésével kapcsolatban. Az állatok is **folytatnak** alacsony szintű vokális kommunikációt, de mennyire más ez, mint az emberi beszéd. Az állati típusú motoros beszédközpont csupán egy kivitelező központ, kis túlzással azt mondhatjuk, hogy belső gondolati, érzelmi megnyilvánulásunknak ez a végső közös útja. Ez fejezi ki mind azt a bonyolult lelki folyamatot, mely valahol a PTO területén érlelődik, és melyhez hasonló terület lehet az agy elülső részén is.

Megvan a nyelvünk, amivel elvont, absztrakt dolgokról tudunk beszélni; ám ehhez olyan agy is kell, mely képes absztrakt gondolatokat, elméleteket alkotni. Általános nézet, hogy az agy nem evolválódhatott a nyelv nélkül, a nyelvnek és a gondolkodásnak együtt kellett fejlődni. A nyelv, a „kimondott szó” tehát megmutatja, hogy milyen is az agy, amiből az a beszéd jön. Beszéd közben rendszerint gesztikulálunk, szenvedéllyel, szinte egész testünkkel „beszélünk”. Az előző fejezetekben leírt agyi hierarchia ezt jól magyarázza. Hiszen az agykéreg uralja idegrendszerünk alsóbb részeit, és ha beszélünk, gondolkodunk, az agykérgi folyamatok testünket is sokszor különös, nemegyszer groteszk egyéni megnyilvánulásokra készíteti. Kissé egyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy beszéd közben nem csak a nyelvi amőbánk, hanem az egész idegrendszerünk aktív. Nem túlzás azt állítani, hogy beszédünk tartalma, módja, formája egész agyunk megnyilvánulása, a legbonyolultabb modulé, melyből csak egy van az agyban: maga az agy.

A nyelv tehát nagy árulkodó: megnyitja az agyat, belelátunk, és a beszédből, magatartásból sok következtetést vonhatunk le. A nyelvi amőbát is uralhatja az agykéreg, és a beszéd kommunikációs módja eltérhet a tartalomtól. Egy mosolygó arc leplezhet rossz szándékot. Nyissuk meg bátran agyunkat.