

Jean-Pierre Changeux
Agyunk által világosan

*A neuronális ember,
avagy az agykutatás keresztmetszete*

Előszó

„Itt – főleg hogy egész életünk küzdés a homállyal. Mert hisz akár a gyermek mindentől reszket a vaksi Éji sötét idején, akként félünk mi a nappal Fényénél is olyantól, amely nem félnivaló, mint Az, mit a gyermek képzel, s félőn lát a homályban. Fontos hát, hogy a lélek rémét s elme homályát Nem csak a napsugarak, ragyogó dárdái a napnak [Kergessék, de a természetnek a képe s az ész is]”¹

Lucretius, *A természetről*, 2. könyv, 54-60.

A neuronális ember 1979-ben született egy beszélgetésből, amelyet Jacques-Alain Millerrel és az *Ornicar?* – azóta már – *Âne* – című folyóiratnál dolgozó kollégáival folytattam. E csapongó párbeszéd pszichoanalitikusok és neurobiológusok között minden várakozás ellenére bebizonyította, hogy a résztvevők tudnak beszélgetni, sőt szót is értenek egymással. Gyakran feledésbe merül, hogy Freud eredeti foglalkozása neurobiológus volt², csak épp az 1895-ös *A pszichoanalízis vázlat* óta a pszichoanalízis számos átalakuláson ment keresztül, s ennek következtében eltávolodott biológiai alapjaitól. Vajon az, hogy ismét megindult a párbeszéd a „kemény” tudományokkal, a gondolatok fejlődésének, a gyökerekhez való visszatérésnek, sőt – miért is ne? – valamiféle újrakezdésnek a jele?

E fent említett találkozó egy másik szempontból is előrelépést jelentett: megmutatta, mekkora távolságot kell leküzdeni ahhoz, hogy az effajta eszmecserék fejlődést hozzanak, s végre kibontakozhasson valamiféle szintézis. Talán elérkezett a pillanat, hogy újraírjuk *A pszichoanalízis vázlat*-t, s lerakjuk az elme modern biológiai elméletének alapjait³. E könyv nem vállalkozik ekkora feladatra, célja csupán annyi, hogy tájékoztassa az olvasót, s ha lehet, felkeltse érdeklődését az idegrendszert kutató tudományok iránt. Az elmúlt húsz esztendőben ismereteink olyan robbanásszerű hirtelenséggel gyarapodtak e területen, amely jelentőségében csak a fizika század eleji vagy a molekuláris biológia ötvenes évekbeli fejlődéséhez mérhető. A szinapsziszak és funkcióinak felfedezése olyan széleskörű következményekkel járt, mint az atomé vagy a dezoxiribonukleinsavé. Egy új világ tárult fel, s elérkezettnek látszik az idő, hogy e felhalmozódott tudást a szakemberek szűk csoportjánál szélesebb közönség számára is hozzáférhetővé tegyük, s ha lehet, megosszuk velük a lelkesedést,

¹ Tóth Béla fordítása. Lucretius: *A természetről*. Kossuth Kiadó Budapest 1997.

² F. Sulloway, 1981.

³ Lásd G. Edelman és V. Mountcastle, 1978.

amely e terület kutatóit fűti. Az *Ornicar?*-os beszélgetés óta szükségét éreztem, hogy összegyűjtssem a legújabb tényeket és dokumentumokat, amelyek e fejlődésről tanúskodnak. Fel sem merült bennem, hogy az idegrendszer mai kutatásairól teljes képet adjak⁴ – válogatnom kellett. Minden bizonnyal azzal vádolnak majd, hogy részrehajlóan válogattam. Elfogadom. Mindazonáltal a College de France-ban szerzett több esztendőnyi tanítási tapasztalat arról győzött meg, hogy a közönséggel eredményesen kapcsolatot létesíteni csak kis számú, de egyszerű és hatásos gondolat átadásával lehet. Részrehajlásom tehát a didakticizmus iránti elkötelezettségemmel magyarázható.

A humán tudományok divatosak. Sok szó hangzik el, sok írásmű születik úgy a pszichológia, mint a nyelvészet vagy a szociológia területén. Az agyat illetően azonban – néhány kivételtől eltekintve⁵ – teljes a hallgatás. Nem véletlenül. Ahhoz túl nagy a tét. E szándékos hanyagság azonban egészen új keletű. Vajon az óvatosság az oka? Talán attól félünk, hogy a lélek vagy a mentális működések magyarázatára tett kísérletek a primitív redukciónizmus csapdájába esnek? Akkor már inkább megfosztjuk a humán tudományokat biológiai gyökereiktől. Mindez azután azzal a nem várt következménnyel jár, hogy eredetileg természet-tudományos alapokon nyugvó diszciplínák, mint például a pszichoanalízis, gyakorlatilag a lélek majdnem teljes autonómiáját hirdetik, s ezáltal kénytelen-kelletlen visszatérnek a test és a lélek hagyományos elkülönítéséhez.

Az idegrendszer kutatásának fejlődése a történelem folyamán mindvégig, mind a konzervatívok, mind a haladó szelleműek részéről makacs ideológiai akadályokba, zsigeri félelmekbe ütközött. Minden olyan kutatás, amely akár közvetlenül, akár közvetve a lélek halhatatlanságát érinti, veszélyezteteti a hitet, s máglyára ítéltetett. A biológiai felfedezések társadalmi kihatásaitól is tartunk, hiszen e felfedezések, ha visszaélnek velük, könnyen válnak az elnyomás fegyverévé. Ilyen körülmények között óvatosabbnak tűnik megszüntetni a társadalom és az agy közötti szoros kapcsolatokat. Ahelyett, hogy szembenéznénk a problémával, ismételten csak misztifikáljuk e veszélyes szervet. Szabadítsunk meg hát az agytól mindent, ami társadalmi!

A „Humán Tudományok” jelzetű polc jeles olvasmányai gyakran magánéleti kérdéseket feszegetnek, a politikai elkötelezettségtől a nemi életen át a gyermek-nevelésig. Azon „belső” mechanizmusok kutatása viszont, amelyek e kérdések mögött meghúzódhatnak, már sokkal kevésbé érdekes. Rövid időn belül nem vezet el a helyes viselkedés szabályaihoz, nem tárja fel a boldogság titkát, nem jósolja meg a jövőt⁶.

⁴ Ezt részletesen bemutatja E. Kandel és J. Schwartz, 1981.

⁵ E. Morin és M. Piatelli-Palmarini, 1974.

⁶ Hacsak a belőle eredő tudás nem mélyíti el az emberről és az őt körülvevő világról való gondolkodásunkat...

Annak, aki egy másik bolygóról szemléli, az emberi viselkedés igencsak meglepőnek tűnik. Az ember azon ritka állatfajok közé tartozik, amelyek szándékosan pusztítják el társaikat. Sőt mi több, az egyéni bűnt elítéli, de ünnepli azokat, akik népirtásokat vezetnek vagy gyilkos fegyvereket találnak fel. Ez az értelmetlen abszurditás egész történelmét végigkíséri, a kőbalta feltalálásától egészen a termonukleáris bombák kidolgozásáig, s még a legengedékenyebb vallásnak és filozófiának is ellenáll. Ahogy A. Koestler (1967) fogalmaz, jó „erősen bele van vésve” az ember agyába. De szintén az ember az, aki elkészítette a Sixtusi Kápolna freskóit, megkomponálta a *Tavaszi Áldozatot*, és felfedezte az atomot. „Miféle szörnylény hát az ember? Micsoda eddig nem volt teremtmény, szörnyeteg, zűrzavar, micsoda ellentmondás, a természet milyen csodája?”⁷ Mi van hát ennek a *Homo*-nak a fejében, aki öntelt módon a *sapiens* jelzővel illeti magát?

Párizs, 1982. november 22.

⁷ B. Pascal, Gondolatok, 51 (434). Pődör László fordítása. Blaise Pascal: *Gondolatok*. Gondolat kiadó, Budapest, 1983, 210. oldal.

Odile Jacob hozzáértéssel és figyelemmel kísérte végig a könyv megírását, kezdeményezése és igyekezete nélkül e munka nem jöhetett volna létre. Szintén sokat köszönhetek azoknak a tudományos fórumoknak – konferenciáknak és vitáknak –, amelyeket a kezdetben F.O. Schmitt bostoni, majd G. Edelman és V. Mountcastle New York-i vezetése alatt álló Neuroscience Research Program szervezett. Hét év tanítás a College de France mindig kritikus és tudásra szomjazó közönsége előtt segítségemre volt a szakirodalom felkutatásában, a példák kiválasztásában és természetesen a szintetizáló gondolkodásban.

Köszönet illeti P. Benoît-t, C. Bertheleu-t, S. Carcassonne-t, H. Condamine-t, J. Costentin-t, H. Hécaen-t, A. Karlsfeldet a kézirat bírálataért és konstruktív megjegyzéseikért, csakúgy mint J. Cartaud-t, M. Donskoffot, M. Fardeau-t, J. Gaillard-t, C. Sotelot, A. Trautmannt, S. Tsujit az értékes metszetekért. Az illusztrációk fényképfelvételei és levonatai P. Lemoine gondos munkáját dicsérik.

1. fejezet

A „lélek szerve” az ókori Egyiptomtól a boldog békeidőig

„Az idegrendszer megismerése olyan lassúsággal haladt,
amely csak azzal magyarázható, hogy ez a fajta kutatás
számos nehézségbe ütközik.”

F.J. Gall, 1825

Az ember az agyával gondolkodik

1882-ben egy amerikai gyűjtő, Edwin Smith megvesz egy papirusztekercset egy luxori régiségkereskedőnél. Mintegy ötven évvel később James Breasted, aki a Chicago-i Egyetemen az Ókori Keleti Tanulmányok akkori igazgatója, megfejteti azt⁸. Ez a tizenhét hasábnyi orvosi kézirat egy sebészeti értekezés töredékeit tartalmazza, amelyben az agyat a történelem során először megfelelő névvel illetik. A papirusz a rajta lévő hieroglifikus írás alapján az időszámításunk előtti XVII. századra datálható, de feltehetően egy korábbi, az Óbirodalom idejéből, a IV. évezredből származó szöveg másolatáról van szó. Negyvennyolc nyaki és fejsérülést bemutató, rendkívüli pontossággal és rendszerességgel összeállított lista ez, amely minden egyes esetről feltünteti a címet, a vizsgálatokat, a diagnózist és a kezelést. A 6-os számú eset leírása arról tájékoztat bennünket, hogy a koponyatető eltávolítása után „redők” válnak láthatóvá, melyek „olyan[ok], mint az olvadt rézben kialakult gyűrődések”.⁹ Ez az agytekevénnyek (gyri) és az agyi barázdák (sulci, fissurae) első említése. A 8-as számú eset kulcsfontosságú: az írnok megjegyzi, hogy „a koponyasérülés” a „szemgolyó rendellenességével” jár együtt, illetve hogy a beteg „húzza a lábát”. Ez a megfigyelés valószínűleg meglepi, hiszen néhány soron belül négyszer is elismétli, hogy „a koponyasérülés”, mintha ezzel akarná hangsúlyozni a paradoxont, hogy a mozgásos rendellenesség a végtagokon, a sérüléstől távol jelentkezik. Később, a 22-es esetről ezt olvashatjuk: „Ha olyan embert vizsgálász, akinek beszakadt a halántéka..., nem fog válaszolni, ha szólsz hozzá, mert nem tud beszélni.” Végül a 31-es eset kapcsán az egyiptomi orvos elmondja, hogy a nyakcsigolyák elmozdulása után „a beteg nincs tudatában két karjának és

⁸ J. Breasted, 1930; C. Elsberg, 1945.

⁹ A magyar fordítás Dr. Katona Ferenc: *Az agysebészet története*. Medicina, Budapest, 1963, 16.

lábának”, hogy „erekciója van”, valamint hogy „anélkül vizek és ejakulál, hogy tudna róla”.

A fenti esetek mindegyike megfelel azon tünetek pontos leírásának, amelyek mai tudásunk szerint a koponya- és nyakcsigolyatöréseket kísérik. Az egyiptomi orvos tárgyilagos szemlélete még a fogalmazásmódon is érződik: ha ilyen és ilyen sérülést „látsz”, ilyen és ilyen tünetekkel „találkozol”. Orvosunk mereven elzárkózik attól, hogy mágiához folyamodjon, és többször is szárazon megjegyzi: „Nem gyógyítható betegség.” Nem szabad abba a hibába esnünk, hogy a XX. század emberének ismereteivel és látásmódjával egy ennyire töredékes szöveget túlmagyarázunk. Mindazonáltal igaz, hogy néhány tévedése ellenére ez a papirusz az első ismert dokumentum, amelyben az agynak a tőle távol eső szervek és testrészek mozgásának irányításában betöltött szerepét felismerik.

De vajon az ókori egyiptomiak megértették-e ezen megfigyelések mélyebb jelentőségét? Nem úgy tűnik, hiszen akárcsak a mezopotámiaiak, a zsidók vagy Homérosz, ok is úgy vélték, nem az agy (*cerebrum*) vagy más néven „encephalon”, hanem a szív, az élet forrása az, ami az intelligenciát és az érzelmeket rejti. Mert itt lüktet a félelem és remegés,” írja Lucretius „eme tájon/ tombol a jókedve”¹⁰ Az agyműködés vizsgálatának történetében már a kezdetektől jelen van egy, a mai napig is megmaradt eltolódás a tények objektív értelmezése és a személyesen megélt érzések között.

Az időszámításunk előtti VII. és V. század között a preszókratikusokkal¹¹ más fajta filozófiai gondolkodás terjed el. Célja nem kevésbé ambiciózus, mint egyszerre modellálni mind az embert, mind az univerzumot. A szellemi és az anyagi még nem különül el egyértelműen egymástól (de ez vajon nem előny-e?). A víz, a levegő, a tűz, a föld, Leukipposznál és Démokritosznál pedig az atomok építik fel a világot, az embert, sőt, úgy tűnik, még a gondolatokat is, hiszen, mint Parmenidész mondja, „Mert ugyanaz a gondolkodás és a létezés.”¹²

E gondolkodók közül Démokritosz az, aki számos mai elképzelésünkhöz a legközelebb áll. Nála az érzékelésnek és a gondolatnak anyagi alapja van, fizikailag különböző „kicsiny, sima és kerekded”¹³ atomok befolyásolják őket, és minden érzéklet vagy kép ezen testecskék térbeli mozgásából származik. A „lélek-atomok” szétszórtnak helyezkednek el az egész testben. De, mint írja: „az agy őrszemként vigyázza a test felső részét, a legmagasabb pontot – amely az ő védel-

¹⁰ Tóth Béla fordítása. Lucretius: *A természetéről*. Kossuth Kiadó, 1997, 3. könyv 141-142 sor.

¹¹ Az agyról szerzett ismeretek történetét az ókortól napjainkig lásd a következő munkákban: J. Soury, 1899, E. Clarke és C. O'Malley, 1968, E. Clarke és K. Dewhurst, 1975, és főleg H. Hécaen és G. Lanteri-Laura, 1977, valamint A. Luria, 1978.

¹² Steiger Kornél fordítása. Parmenidész, Empedoklész: *Töredékek*. Gondolat, Budapest, 1985, 8. oldal, 3. töredék.

¹³ Cziszter Kálmán és Steiger Kornél fordítása. G. S. Kirk, J. E. Raven, M. Schofield: *A preszókratikus filozófusok*. Atlantisz, Budapest, 1998, 605.

mére van bízva”, illetve „az agy, a gondolat vagy az értelem őrzője a lélek kapcsolatait tartalmazza”. Elhatárolja tehát magát az *Iliász* költőjétől, az agyat állítva a szív helyére. Mindazonáltal a szívet a „harag dajkájának és úrnőjé”-nek nevezi, és úgy véli, hogy a „vágy a májban lakozik”. Az efféle megmosolyogtató meghatározások ellenére Démokritosz két jelentős gondolattal írta be magát az agy elméleteinek történetébe. Több értelmi és érzelmi képességet különböztet meg, és ezekhez eltérő testbeli elhelyezkedést rendel. Az egyik képesség, a gondolkodás ettől kezdve az agyban foglal helyet. A „lélek-atomok” tulajdonképpen azoknak a kapcsolatoknak az anyagi megvalósulásai, amelyeket az agy a test szerveivel és a külvilággal létesít, s előképei az idegi aktivitás fogalmának.

Periklész századában Hippokratész és kollégái klinikai megfigyeléssel támasztják alá és gazdagítják Démokritosz tézisé. Akárcsak Edwin Smith papiruszának tudós neurológusa, ok is a koponyasérüléseket tanulmányozzák, s megmutatják róluk, hogy motoros zavarokat okoznak, valamint arra is rájönnek, hogy ha például az agy jobb fele sérült, akkor a zavar, mint tudjuk, a bal oldalon jelentkezik, vagyis mindig azzal ellentétes oldalon, mint ahol a koponyasérülés található. Azt is felismerik, hogy „ha az agyvelő megsérül, az értelem zavart szenved – az agy görcsbe rándul, s ez az egész testben rángásokat okoz – esetenként a beteg nem tud beszélni, fullad. Ezt a betegséget apoplexiának [szélhűdés] hívják... Más esetekben az értelem sérül, a beteg fel-alá járkál, mást hisz és gondol, mint ami a valóság, s betegsége torz vigyarában és fura látomásaiban is megmutatkozik.” A Hippokratészi orvoslás már megkülönböztette egymástól a neurológiai és a mentális zavarokat, s helyesen agyi eredetet tulajdonított nekik. Ugyanakkor meglepő, hogy azt olvashatjuk: „Az agy egy mirigyhez hasonló..., fehér és puha.”

Platón a *Timaios*-ban a lélek három részéről alkotott elméletével együtt a preszókratikusok nézeteit is továbbfejleszti. Az értelem részét, amelyet elkülönít a harag és a vágy részeitől, a fejben helyezi el. A halhatatlanság erényét tulajdonítja neki, s úgy véli, hogy az agyvelő az, ami a másik két halandó résszel összeköti. Hippokratész követői és Platón tehát megfogalmazzák a „kephalocentrista” elméletet, amely szerint a gondolkodás az ember agyában foglal helyet.

Ez az elképzelés, bármennyire magától értetődő is számunkra ma, a korban hosszú és heves vitát váltott ki. Arisztotelész hatására évszázadokon át tévesen gondolkodtak a kérdésről. Ő ugyanis, bár állítólag soha nem látott felnőtt emberi agyat, visszatér Homéroszhoz és a zsidókhoz, azt állítván, hogy az érzetek, a szenvedélyek és az értelem lakhelye a szív. Nála a „víz és föld alkotta” agy nem más, mint a szervezet hűtőberendezése. Lehűti a tápanyaggal teli vért és álmodhoz. Honnan e fura gondolat? Arisztotelész nem tudott az idegek létezéséről, mint ahogy Platón sem, de látott véredényeket, s azt is megfigyelte, hogy a szívben futnak össze. Hát nem ez a legjobb módja annak, hogy összekössük a test perifériáit a központi irányító szervvel? Arisztotelész azt is megállapítja, s ez igaz is, miszerint az agy önmagában nem érzékeny a mechanikus ingerlésre, a szív viszont igen. Ráadásul a gerinctelen állatok – férgek, rovarok, rákok – semmi

olyasmivel nem rendelkeznek, ami a gerincesek agyához hasonlítana. Ezek a megfigyelések elegendőnek bizonyultak Arisztotelész számára, hogy feladja a platóni tanokat.

Arisztotelésznek tévedése ellenére van egy elképzelése a „lélekről”, amely végérvényesen bevetté vált a természettudományokban. Azt írja, s ezt később Epikurosz is átveszi tőle: „a gondolkodás nincs [képzetek] nélkül.”¹⁴ Ezek a képek, amelyek az érzékszervekből származnak, azon tárgyak „képzetei”, „képmásai”, amelyek létrehozzák őket. A képek segítségével az értelem „képzeteket [hoz] létre, amelyekből az emberek előre látják az effélékkel kapcsolatban a jövőt.”¹⁵ Íme a kognitív pszichológia egyes irányzatainak (5. fejezet) legaktuálisabb kérdései.

A görög orvoslás többnyire hű marad a Hippokratészi elvekhez, nem veszi át a „kardiocentrizmus” elképzelést. Alexandriába, ahol az athéni hagyományt folytatják, a preszókratikus atomisták gondolatai Epikurosz tolmácsolásában jutnak el. Az időszámításunk előtti III. században Hérophilosz és Eraszisztratosz jelentősen gyarapítják az agyról szerzett ismereteinket. Felhagynak az Arisztotelész által igen kedvelt állat-hasonlaltal, és emberi testet kezdenek boncolni. A holttest érintése azonban alantas dolognak számított, ezért bűnözőket boncolnak, „akiket, mint Celsus írja, a királyok a börtönből bocsátottak rendelkezésükre, s amíg még volt élet a vizsgáltakban, addig szemlélték meg [őket].”¹⁶ Hérophilosz állítólag több ezer testet boncolt fel. E szerencsére egyedülálló gyakorlat arra az eredményre vezetett, hogy a kisagyat (*cerebellum*) elkülönítették az agytól és a gerincvelőtől (*medulla spinalis*). Azt is felismerték, hogy az agyban üregek vagy kamrák (*ventriculi*) vannak, hogy a felszíne vagy kérge tekervényes, valamint hogy az idegek különböznek a véredényektől, és nem a szívből indulnak ki, mint ahogy Arisztotelész gondolta, hanem az agyból vagy a gerincvelőből. Ezenkívül megkülönböztették a „mozgás” és az „érzékelés” idegeit, azaz a mozgató- és az érzőidegeket. Végül azt is megállapítják, hogy az embernél, „aki intelligenciáját tekintve messze felülmúlja a többi állatot, a tekervények sokkal bonyolultabbak, mint az állatoknál”. Európában a XVII. századig kell várni, hogy az emberi agy anatómiájáról alkotott tudás meghaladja ezt a szintet.

Az anatómiai adatok önmagukban azonban még nem elegendőek ahhoz, hogy Arisztotelész tételét megcáfolják. Ez csak az új módszert bevezető Galénosznak sikerül közel ötszáz évvel az alexandriai iskola után. Ő nem elégszik meg az idegrendszer szerveinek leírásával. Kísérleteket végez, kiemelt szerephez juttatva

¹⁴ Steiger Kornél fordítása. Arisztotelész: *Lélekfilozófiai írások*. Európa könyvkiadó, Budapest, 1988, 210.

¹⁵ Steiger Kornél fordítása. Arisztotelész: *Lélekfilozófiai írások*. Európa könyvkiadó, Budapest, 1988, 271.

¹⁶ H. Deák Gyöngyi fordítása. Szabó Árpád–Kádár Zoltán: *Antik természettudomány*. Gondolat, Budapest, 1984, 355.

ezáltal az agyélettant. Különösen az üregek avagy kamrák érdeklik, amelyeket elkülönít az agy „állományától”, amely az „idegekéhez hasonlít”. Hérophilosz és Eraszisztratosz munkáját alapul véve három üreget különböztet meg, egy elülsőt, amely két részre oszlik, egy középsőt és egy hátsót. Megállapítja, hogy akárhol is metsszünk bele az agyba, az állat nem veszi el sem érzékelését, sem mozgását. Ahhoz hogy ez bekövetkezzen, a bemetszésnek az agyüregéig kell hatolnia. A hátsó kamra sérülése okozza a legsúlyosabb károsodást az állatban. Galénosz bebizonyítja, hogy tényleg az agy játssza a legfontosabb szerepet a test irányításában és a mentális működésekben, illetve hogy ezen utóbbiért maga az agyállomány felelős. Galénosz kísérletei végső csapást mérnek a kardiocentrista elméletre. Mégis, Arisztotelész téves nézetei, részét képezvén a középkori skolasztika hirdette filozófiai és természettudományos felépítménynek, a XVIII. századig fennmaradnak. Ez a bizonytalanság jól látható például Shakespeare-nél, aki a *Velencei kalmárban* így fogalmaz: „Mondd meg, honnan jó a vágy?/ S mit hall, a szív vagy az ész szavát?”¹⁷ S persze „a szív fájdalom”-nak sincs semmi köze a szívrohamhoz.

Test és lélek

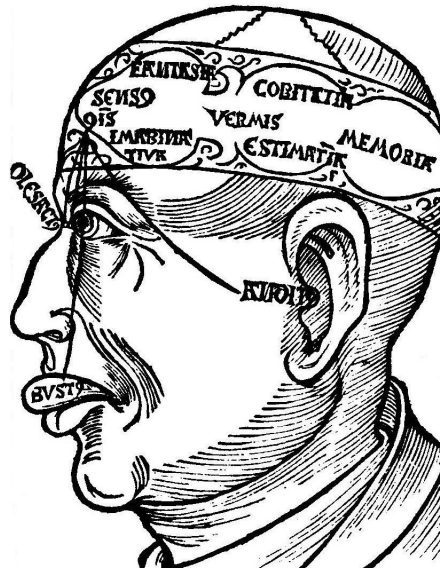
Mind Platón, mind Galénosz azt tartotta, hogy a racionális lélek az agyban lakozik. Ez azonban nem árul el semmit a lélek természetéről, sem a testhez való viszonyáról. Ráadásul a „lélek” szó jelentése legalább annyira sokrétű, mint amennyire homályos. Értelme szerzőnként és kultúránként más és más. Az élet princípiuma, a lélek egyes értelmezésekben csupán az elvont gondolkodás princípiumára, azaz a felsőbbrendű agyi tevékenységekre korlátozódik. A sejtbiológia, majd később a molekuláris biológia előrehaladtával a szó elveszti első jelentését. A második jelentésre vonatkozó viták legfőbb célja Galénosztól a XVIII. századig az, hogy megállapítsák, melyek a legfontosabb összefüggések az agy szerveződése és egyes funkciói között.

A fiziológus Galénosz egy új fogalmat vezet be, a „lélek pneumát”, amelyet a kamrák hoznak létre és tárolnak. Szerinte a „lélek szerve”, a pneuma az idegekben kering, s összeköttetést biztosít az agy, az érzékszervek és a mozgásszervek között. A pneumából a klasszicizmus korában „életszelleme”, a XVIII. században pedig „idegi folyadék” lesz. Galénosz, aki sokkal inkább megfigyelő, mint filozófus, nem mer Démokritosznál tovább menni – a pneuma, a lélek „szerve” vajon egyúttal a lélek „anyaga” is, vagy netalán a lélek maga? Úgy tűnik, Galénosz bizonytalan. Mindazonáltal Mózzal ellentétben, akinek az elképzeléseit jól ismeri, egyértelműen tagadja, hogy az örületet démonok rontásával lehetne azonosítani, inkább a következő megfontolandó tanácsot adja:

¹⁷ Vas István fordítása. *Shakespeare összes drámái. Színművek.* Európa Könyvkiadó, Budapest, 1988, 57. oldal.

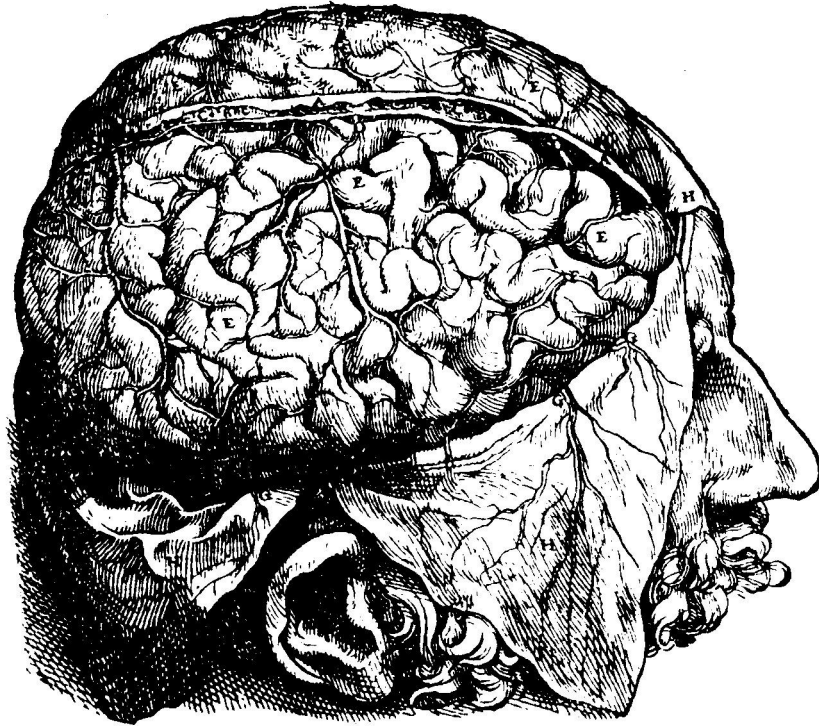
„Ha az irányító lélekre vagytok kíváncsiak, ne kutassátok az isteni jóslatokat, hanem forduljatok inkább egy anatómushoz”.

Galénosz, Hérophilosz és Erasizisztratosz analitikus eljárását továbbvive, folytatja a lélek különböző funkciókra való „lebontását”. Felosztja mozgató, érzékelő (amely az öt érzéket foglalja magába), illetve gondolkodási képességekre. Az eszes lélek maga is különböző funkciók együttese, amelyeket Galénosz képzeletnek, értelemnek és emlékezetnek nevez. Nem lévén azonban pontos adatok birtokában, nem jelöl ki számukra külön helyet az agyban. A IV-V. században az egyházatyák, főleg Nemeziosz, Emesa püspöke, valamint Szent Ágoston, szintén állást foglaltak a kérdésben, jóllehet újabb megfigyeléseket nem végeztek. A három funkciót a kamrákban helyezik el, az elülsőben a képzeletet, a középsőben az értelmet, a hátsóban az emlékezetet. Ez az elképzelés akármennyire leegyszerűsítő is, jól mutatja azt a törekvést, hogy az agy különálló területeihez elkülönült funkciókat rendeljenek. Ez az agyi lokalizáció első modellje, amelyet egy évezreden át, egészen a XVII. századig megannyi rajz és metszet illusztrál (1. ábra).



1. ábra – Ez a XVI. század eleji metszet a lélek elemi képességekre való felosztásának és ezen képességek különböző agyterületekre való lokalizációjának első modelljét ábrázolja. Eme első „frenológusok” (akik egyébként egyházatyák voltak!) tévedtek viszont abban, hogy a „lélek funkcióit” a kamráknak, vagyis az agy üreges részeinek tulajdonították. Az első kamra felirata *Fantasia* (képzelőerő), *Senso communis* (közérzet), *Imaginativa* (képzelet), a másodiké, amelyet az elsőtől a Vermis (küszöb, zsilip) választ el, *Cogitativa* (gondolkodás), *Estimativa* (ítélet), a harmadiké *Memoria* (emlékezet) (G. de Rusconibus, 1520 alapján).

A középkori skolasztika elfeledkezett Hérophiloszról és Erasisztratoszról, akiknek az eredeti szövegei egyébként el is tűntek. A reneszánsz korában az állatok és holttestek boncolása újrakezdődik. 1504 és 1507 között a firenzei Santa Maria Nuova kórházban Leonardo da Vinci először csinál viaszlenyomatot az agykamrákról és készít pontos rajzot az agytekervényekről. Itáliában Vesalius (2. ábra) és Varolius, Franciaországban Fresnel szolgáltatnak egyre jobb leírásokat az agy morfológiájáról, melynek felismerik bonyolultságát.



2. ábra – A reneszánszban indul meg újra az anatómiai megfigyelés, amelyet az alexandriai iskola óta mellőztek. Az 1543-as *De humana corporis fabrica*-ban Vesalius olyan ábrákat tesz közzé, melyek hűen adják vissza az agy formáját, az agytekervényeket és az őket tápláló véredényeket (Vesalius, 1543 után).

Azt a túl egyszerűnek bizonyuló elképzelést, hogy a lelki funkciók a kamrákban lakoznak, fokozatosan kiszorítja az a nézet, miszerint inkább az agy állományának szilárd részeiben helyezkednek el. Nemeziosz rajzát káprázatos anatómiai metszetek váltják. A megfigyelt struktúrák funkcionális szerepe azonban bizonytalan marad.

A kutatók és a filozófusok kényes helyzetben találják magukat. Az uralkodó politikai viszonyok közepette nem szívesen szállnak szembe nyíltan a lélek halhatatlanságát hirdető hivatalos doktrínával, nehogy elítéljék őket. Az ebből az időszakból származó szövegekben nehéz megkülönböztetni, melyek a szerző saját gondolatai, s mi az, amit azért ír, hogy életben maradjon, vagy akár hogy a hatalomnak hízelegjen. Így könnyebben érthetővé válik Descartes különös szinkretizmusa is. Szerinte, s ebben Arisztotelészre emlékeztet, a szívből az agyba folyó vér hozza létre az életszellemeket. Ez azután, Nemeziosz elképzeléséhez hasonlóan, szétárad a kamrákban, majd onnan nyílásokon át az idegekbe jut, hogy kifejtsen hatását a testre. Ez az a pont, ahol Descartes egyszerre bizonyul eredetinek és radikálisnak. Számára a test gép. Orgonához hasonlítja, amelyben az életszellemek mint „valamely sípban a szelepek közötti levegő” működnek. De az embert az állatoktól a lélek különbözteti meg, melyet Descartes még véletlenül sem keverne össze az életszellemekkel. Dualistaként visszautasítja Platón hármasság elméletét, számára a lélek egy, anyagtalan és halhatatlan.

Hogyan lehet összeegyeztetni ennyire ellentétes, sőt ellenmondó nézeteket? Descartes, sokkal inkább racionális szellem lévén, mint anatómus, a tobozmirigyet használja fel, amelynek elsődleges erénye, hogy egy van belőle, ugyanis „az agyunk többi része mind kettős, [...] és mivel csak egyszeres gondolatunk van egyidejűleg ugyanarról a dologról.”¹⁸ Ezen a helyen kapcsolódik az egyetlen lélek a testhez. Az életszellemek keringését szabályozza. Az pedig visszahat rá „az érzéki tárgy által bennünk keltett mozgások alkalmával.”¹⁹ A tobozmirigy eme ellentmondásos szerepe joggal lepi meg a teológusokat és az anatómusokat egyaránt. Nem áll meg egy olyan hozzáértő filozófus kritikája előtt, mint amilyen Spinoza.

A karteziánus elgondolásnak egy lényegi részét megtartja az utókor, nevezetesen azt, „ahogyan testünk gépezete összeáll. [...] van bennünk szív, agy, gyomor, s vannak izmok, idegek, verőerek, gyűjtőerek.”²⁰ Ezt a vizuális vagy auditív jelekkel kiváltott mozgás elemzésére alkalmazva olyan sémákhoz jutnak, amelyek igen közel állnak a reflexív ma elfogadott képéhez.

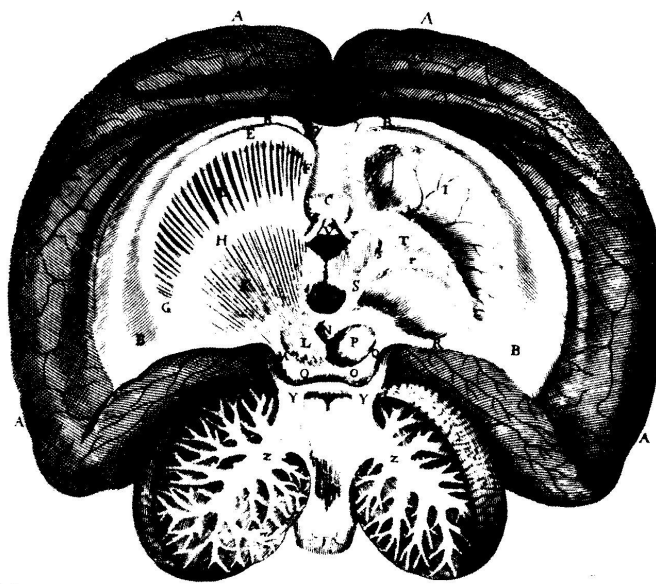
Willis (3. ábra) nem jut el a gondolkodás olyan mélységéig, mint Descartes. Ő inkább megfigyeléseket végez. Christopher Wren, a Szent Pál székesegyház építészt alkalmazva rajzolónak, összegyűjti az agyról addig készült legjobb képeket. Megmutatja, hogy a redős agykéreg (*cortex cerebri*) alatt olyan „kéreg alatti” központok találhatók, mint a csíktalpas testek (*corpora striata*) vagy a talamusz magvai (*nuclei thalami*), valamint a kergestest (*corpus callosum*), amely a két féltékét összeköti. Megkülönbözteti a *szürke* vagy *hamuszínű állományt*, amely szerinte az életszellemeket létrehozza, és a fehér velő állományt, ahonnan

¹⁸ Dékány András fordítása. René Descartes: *A lélek szenvedélyei*. Ictus, 1994. 51.

¹⁹ Uő. 52.

²⁰ Uő. 33.

ez a lélek széteszik a szervezetben hogy érzékelést és mozgást váltson ki. Még az életszellemek „robbanást kiváltó” erejéről is beszél. Ezzel nagyon közel jutottunk azokhoz a mai elképzelésekhez, amelyeket a szürke- és fehérállomány idegimpulzust kiváltó és továbbító szerepéről vallunk. Ennek ellenére Willis, Descartes-ot követve, vagy talán azért hogy a nagyhatalmú Canterbury érsek kegyeit elnyerje, még elfogadja a csak az emberre jellemző, anyagtalan racionális lélek gondolatát, s ezt nem teszi vizsgálódásainak tárgyává. Míg Descartes úgy gondolja, hogy a lélek a tobozmirigynél kapcsolódik a testhez, Willisnél a csíktestek töltik be ezt a szerepet. Ebben a kérdésben egyébként igencsak megoszlanak a korabeli szerzők: minden újonnan felfedezett szerv a test és a lélek egy lehetséges kapcsolódási pontjává válik. A Descartes-éhoz vagy Willis-éhez hasonló törekvések, hogy a lelket az agy egy konkrét helyéhez kössék, már kétségtelenül a lokalizáció irányába mutatnak. Mindazonáltal a lélek egységét és oszthatatlanságát feltételezték, s így visszalépést jelentettek Galénosz vagy Nemeziosz elgondolásához képest.



3. ábra – A XVII. században az angol Willis végleg elveti a kamrák elméletét, s – helyesen – az agykérget helyezi előtérbe, amely a két agyfélteke (*hemispherium cerebri*) közötti metszést mutató ábra jobb és bal oldalán látható. A metszés a két félteke között kapcsolatot biztosító idegkötegen, a kérgestesten (B, fehérrel jelölve) halad át, és láthatóvá teszi a kéreg alatti központokat (mint például a talamusz (*thalamus*), K). Ezenkívül Willis megkülönbözteti a felszíni szürke és a belső fehér állományt. Az elkülönülés főleg az ábra alsó részén található kisagy (Z) esetében feltűnő. (Willis, 1672 nyomán).

A XVII. század elején Gassendi fellépésével új irányzat bontakozik ki, amely a görög atomisták és Lucretius nézeteit elevenítik fel. Gassendi, aki maga is a klérus tagja, még keresi ugyan a megegyezést a hivatalos egyházi doktrínával, de a College de France-ban már azt tanítja, hogy az állatok, amelyek emlékezetnek, értelemnek és más, az emberéhez hasonló pszichológiai jellemzőnek adják tanújelét, minden bizonnyal rendelkeznek lélekkel. Ő egyébként azon a véleményen van, hogy a lélek nem egy pontosan meghatározható helyen kapcsolódik a testhez.

Mindennek hatására „állatok lelkével” kapcsolatban különböző nézetek csapnak össze. A vitában nem az állatokat hasonlítják az emberhez, hanem az embert az állatokhoz. Akár tetszik, akár nem, itt valójában a lélek történelmi leértékelésével állunk szemben. Gassendi tanítványa, Guillaume Lamy így ír: „Egyaránt használtam a lélek és az életszellem szavakat. Ez ne tévesszen meg senkit. A kettő egy és ugyanaz.” Egy évszázad múltán Descartes dualizmusát azok haladják meg, akik belőle indultak ki. Az automaták mestere, Vaucanson a sebész Le Cat segítségével olyan kacsat tervez, amely csapkodni tud a szárnyaival, magokat eszik és meg is emészti őket. Sőt, Vaucanson még embert is tervez. La Mettrie azt állítja betiltott írásában, hogy a lélek a karteziánus rendszerből minden további következmény nélkül kihagyható, s az ember maga is az állatgépek közé tartozik. Cabanis szerint „az agy úgy választja ki a gondolatot, mint a máj az epét.” A lélek halhatatlanságának elmélete fokozatosan eltűnik az agy tudományával foglalkozó művekből. Majd három évezred kellett ahhoz, hogy újra rátaláljanak a görög atomisták gondolataira a maguk egyszerűségében, s szabadon ki is fejthessék őket.

A frenológia

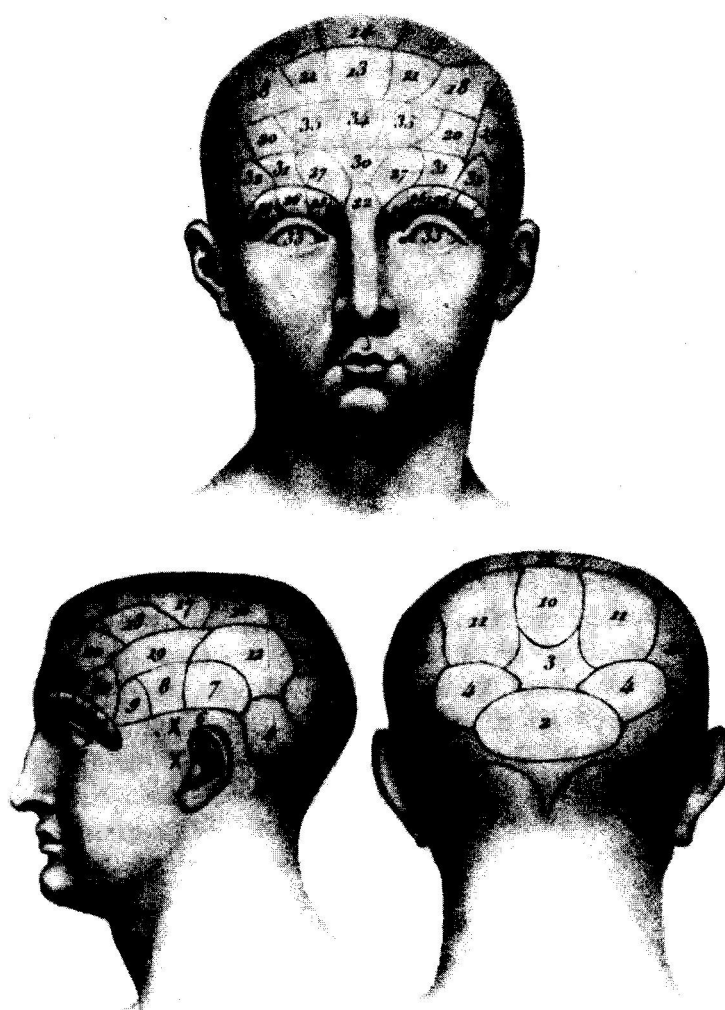
Az enciklopédista mozgalom kiváltotta szellemi pezsgésben két elmélet születik, amelyeket a XIX. század első éveiben tesznek közzé, s amelyek forradalmasítják a biológiai gondolkodást: Lamarck transzformizmusáról és Gall frenológiájáról van szó. Mindkét esetben igaz, hogy az elméleti állásfoglalás alapvetően helyes, a gyakorlati alkalmazás azonban kifogásolható. Gall²¹, aki foglalkozását tekintve orvos és anatómus, sokat boncolt. Jól ismeri az agy szerveződését, de ezen a területen kevés újdonsággal szolgál. Arról mindenesetre meggyőződik, hogy az agykéreg tényleg az agyvelő legfelső rétegét foglalja el, s hogy kifejlődése az emlősökre és az emberre jellemző. Az agykéreg anatómiai egységét is felismeri – erre később még visszatérünk. Az agykéreg, akár természetes körülmények között egyenesedik ki, mint a vízfejúek esetében, akár mesterségesen, alacsony

²¹ Gall és követőinek munkásságáról alapos elemzést ad H. Hécaen és G. Lanteri-Laura, 1977, valamint R. Young, 1970. Lásd még H. Hécaen és J. Dubois, 1969 és H. Hécaen, 1978.

nyomású vízszugár hatására, összefüggő burkot képez, akármilyen legyen is a redőzöttsége. Ezenkívül az agykéreg alkotja az állományát mind az agynak, mind a szervekkel közvetlen kapcsolatban lévő ganglionoknak. Azzal a megállapítással, miszerint a szürke- és a fehérállomány azonos a központban és a perifériákon, Gall megteszi az utolsó lépést az agy laicizálódási folyamatában, amely már La Mettrie-nél és Cabanis-nál is igencsak előrehaladott volt.

Gall módszerével és elméleti megközelítésével tűnik ki kortársai közül. Célja, hogy az agy funkcióit és azok elhelyezkedését anélkül határozza meg, hogy introspekcióna hagyatkozna. Le kell mondania a spekulatív filozófiáról, hogy a mentális képességeket a természettudós és az élettanász szemével vizsgálhassa. Feladja tehát a racionális lélek Platón és Galénosz hirdette felosztását, valamint Descartes dualizmusát. Elhatárolja magát Locke és Condillac szenzualista téziséstől is, amely szerint minden képesség és ösztön levezethető egyszerűen az érzékeletekből. Gall szerint az ember számos „morális és intellektuális képességgel” rendelkezik, amelyek veleszületettek, alapvetőek és nem vezethetők vissza másra. Ezek listáját Gall empirikus úton határozza meg, a nyelv főneveit és mellézneveit vizsgálva, híres emberek életrajzát kutatva, valamint a mentális rendellenességeket, monomániákat tanulmányozva, amelyekről azt tartja, hogy valamely képesség elburjánzásai. Ez az ideiglenesnek szánt lista huszonhét elemből áll, melyek közül hét csak az emberre jellemző. Olyanokat találunk köztük, mint a szaporodási vagy szexuális ösztön, az utódok szeretete (avagy anyai ösztön), a verekedésre és harcra való hajlam (avagy agresszivitás), verbális memória, nyelvérzék, térbeli tájékozódás és a térbeli viszonyok érzéke stb. – mindezek egymástól független létezését a legújabb kutatások igazolták. Ezzel szemben a gőg és hatalomvágy, a dicsőség szeretete, a metafizikus gondolkodás, a költői tehetség vagy az odaadás továbbra is rejtély marad. A lista összeállítása után Gall minden képesség számára külön helyet jelöl ki az agyban. Mindegyik viselkedésfajtának megvan a maga „szerve”, amely az agy funkcióit tekintve legfejlettebb részében, az *agykéregben*, pontosan körülhatárolható helyen található.

Hogyan lehet ennek a térképét megrajzolni? Magához az agyhoz nehéz hozzáférni. Gall azt feltételezi, hogy a koponya hű másolata az agykéregnek. Elég hát megtapogatni a koponyát ahhoz, hogy összefüggéseket találjunk annak kidudorodásai és az egyének különösen fejlett képességei között. Ez a kranioszkópia. Gall bűnözők és elmebetegek koponyáját, híres emberek mellszobraiit gyűjti. Ezek elmélyült tanulmányozása alapján összeállítja azon helyek térképét a koponyán, amelyek az alanyok egy-egy túlfejlett hajlamának vagy képességének megfelelnek. Akár a szerencsének, akár ösztönös megérzésnek köszönhető, Gall a szótanulást és a nyelvérzéket a frontális területekre helyezi – oda, ahol a mai kutatások szerint is találhatóak. A többi képességet illetően azonban Gall topográfiája a lehető legnagyobb mértékben a fantázia szüleménye (4. ábra).



4. ábra – Gall „modelljének” képzeletszülte ábrázolása. *Frenológia* című munkájában huszonhét mentális képességhez rendel pontos helyet az agykéregben. A frenológia heves vitákat robbant ki, melyekben gyakran igen nehéz elkülöníteni egymástól a tisztán tudományos véleménykülönbségeket és az ideológiai összeütközéseket: Gallt materialistának és baloldalinak tartják. Jóllehet a frenológia eszmetörténetileg legalább annyira jelentős, mint az evolúcióelmélet, első megfogalmazása, s főleg gyakorlati alkalmazása sok kívánnivalót hagy maga után. Adatok hiányában Gall a koponya, nem pedig az agytekervények formájából indul ki. Az általa megállapított huszonhét képesség (ezen az ábrán harmincöt található!) nagy része meglepően naiv. (F. Broussais, 1836 nyomán).

A megfigyelések felszínessége miatt jogosan illették komoly kritikával Gall „modelljét”. A támadások annál is inkább hevesek voltak, mivel a frenológia gyorsan a materializmus jelképévé vált. Gallt Bécsben eltiltották a tanítástól, az Egyház üldözte, s mikor Párizsba emigrált, Napóleon is gyűlölte. A császárról Gall azt írja, hogy „ha az el akarta volna pusztítani a materializmus iránti hajlamot, ... akkor háromszázezer bajonettet és legalább ennyi ágyút kellett volna bevetnie, hogy a lélek funkcióit teljességgel függetlenné tegye a szervezettől.”

Alapelveiben a frenológia Nemeziosz és az egyházatyák megközelítését követi és fejleszti tovább, akiknek kamra-modellje éppúgy lokalizacionista, mint Gallé. Ezt a frenológia – annak érdekében, hogy elfogadtassa magát – nem is titkolja el. De annyiban azért különbözik az egyházatyáktól, hogy nem a kamrákat, hanem az agykérget állítja előtérbe, mivel egyrészt azóta fejlődött az anatómia, másrészt, s ez lényegesebb, a lelket jól meghatározott képességekre osztja. Az, hogy ezek némelyike az állatoknál is megtalálható, lehetővé tette, hogy kísérlettel igazolják őket. Tulajdonképpen ez az egyik legnagyobb erénye Gall modelljének vagy bármely más biológiai elméletnek, amely hasznos akar lenni.

Flourens, egy hivatalos személy, aki később a Francia Akadémia tagja és a Becsületrend lovagja lesz, s akinek dualista nézetei elfogadottak voltak, Gallt kemény próbák elé állítja. Egyes kísérletező lévén Gall-lal ellentétben nemcsak az agyvelő szurkálását és bemetszését alkalmazza. Anatómiailag jól definiált területeket és központokat távolít el, majd megfigyeli a kísérleti állatok viselkedését. Kimutatja, hogy a kisagy eltávolítása a mozgáskoordináció elvesztésével jár, valamint Gall-lal összhangban azt is megállapítja, hogy a nyúltvelő (*bulbus rhachidicus*) területén (amely a hátsó kamrát is magába foglalja) lévő elváltozások az alapvető életfunkciók, például a légzés, szabályozását befolyásolják. Ezek az eredmények valójában a lokalizációs elmélet irányába mutatnak, s az eltávolítás az agykérgi lokalizációs térképek előállításának elsőszámú módszerévé válik. Mégis, Flourens kísérletei és méginkább az agykéreg szerepéről kialakított magyarázata ellentétben állnak a fenti elgondolással. Flourens azt állítja, hogy „az agylebenyek jelentős részét eltávolíthatjuk anélkül, hogy funkciójuk megszűnne... Ahogy egyre nagyobb részt metsszünk ki, úgy gyengülnek és tűnnek el fokozatosan a funkciók... Az agylebenyek tehát teljes egészükkel járulnak hozzá a funkciók ellátásához.” Nála az agykéreg mint osztatlan egész működik az „érzékelés, az ítéletalkotás és az akarat... alapvetően egységes” képességének székhelyeként. Flourens munkája nyomán az agykéreg marad a lélek, vagy ha úgy tetszik, a szellem utolsó menedéke. Kísérleteinek értelmezésébe habozás nélkül vegyít metafizikát és politikát. De túl messzire megy, s eredményeinek jó része ma vitatott.

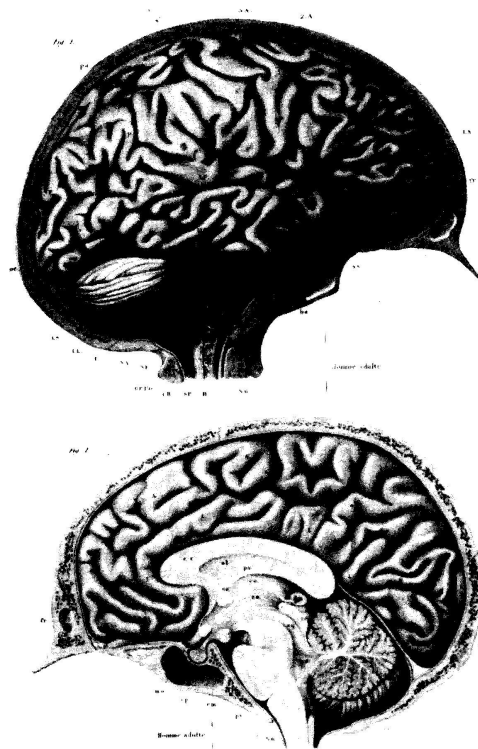
Eltávolításos módszere néha becsapja. Abban a hitben, hogy csak a kérget választotta le, kéreg alatti területeket is megsért. Így könnyű célpontot szolgáltat Gallnak az ellentámadáshoz. Ráadásul kísérleteihez Flourens madarakat és

alsóbbrendű gerinceseket használ, amelyeknél, mint ezt azóta már tudjuk, a kéreg kevésbé differenciált és kevésbé fontos funkciókat lát el, mint az emlősnél, s főleg az embernél. Ezenkívül a megoperált állatok viselkedésének elemzése nem elég kifinomult ahhoz, hogy a Gall által megállapított képességek egyikét-másikat komolyan lehetne vizsgálni ily módon. Mint ez máskor is gyakran előfordul, egy hibás kísérlet szította vita keretei között ideológiai harc zajlik.

Mindeközben az agykéreg anatómiai kutatásai egyre pontosabbakká válnak. Ebből az időből származik Leuret és Gratiolet (1839-1857), hu, majdhogynem fényképszerű ábrázolása az agykéreg tekervényeiről és barázdáiról, amely azután minden agykérgi térkép elengedhetetlen kiindulási pontjául szolgál a későbbiekben. A Sylvius- és Rolando-barázdák (*fissura Sylvii*, *fissura Rolandi*) által határolt homlok-, halánték-, fali és nyakszirti lebeny (*lobus frontalis*, *lobus temporalis*, *lobus parietalis*, *lobus occipitalis*), valamint az *insula* is ekkor kapják nevüket (5. ábra).

Gall modelljének első cáfolhatatlan bizonyítékait mégsem a kranioszkópia vagy az állatkísérletek szolgáltatják. Gall egyik tanítványa és követője, Bouillaud az embert vizsgálva különösen egy Gall által is nagyra értékelt képességre, a nyelvre összepontosít. Olyan „természetes kísérletekből” indul ki, mint a baleset okozta koponyasérülések vagy a spontán agykárosodások, s ezeket összefüggésbe hozza a nyelvi zavarokkal. Vele indul meg a nyelv anatómiája és patológiája, amelyből később kifejlődik a neuropszichológia. Bouillaud olyan esetekre bukkan, amelyekben a nyelv és a beszélszervek szelektív bénulása anélkül lép fel, hogy ez érintené a végtagokat, de olyanokat is talál, amelyekben a végtagok bénulnak le, a beszédképesség viszont megmarad. Ezen utóbbi funkció helyét – Gall frenológiájával összhangban – az agykéreg elülső lebenyében jelöli ki. Így ír: „A beszéd elvesztése egyes esetekben a szavak jelentésének elfelejtésén, máskor az emlékezetben található izommozgások megszűntén múlik.” Ezek a lényegében klinikai megfigyelések, amelyek 1825-ben, a Flourens által kirobbantott ideológiai vita légkörében láttak napvilágot, minden következetességük ellenére sem épültek be a kor tudományos közönségének gondolkodásába.

Ezt csak jóval később, 1861. április 18-án Brocának sikerül elérni, így az érdemet is neki tulajdonítják. Ezen a napon mutatja be a Párizsi Antropológiai Társaság előtt Leborgne esetét, akit előző este felboncolt. A beteget huszonegy évvel korábban vették fel a Bicetre-i kórházba, miután beszédképességét elvesztette. Mutogatással meg tudta magát értetni, s úgy tűnt, értelmi képességei épek, de mindössze azt az egy szótagot tudta kiejteni, *tan, tan*, amely a vezetéknévének felelt meg. Agyának *post mortem* vizsgálata a *bal* félteke homloklebenyének középső részéből kiinduló sérülést tárt fel. Az, hogy Broca meggyőző volt, annak köszönhető, hogy a bemutatott anatómiai tényt, csakúgy mint később a többit, már nem lehetett kétségbe vonni.



5. ábra – A romantika korában a Gall elmélete által inspirált anatómusok az agykéreg tekervényeit párját ritkító részletességgel és alaposággal vizsgálták és ábrázolták. Íme egy lenyűgöző rajz Leuret és Gratiolet (1839-1857) művéből. Az alsó képen a kérgestest (cc), a kamrák és a nyúltvelőben, majd gerincvelőben folytatódó agytörzs látható. (Leuret és Gratiolet, 1839-1857 nyomán).

A beszéd elvesztését, azaz az afáziát a bal homloklebens sérülése okozta. A frenológia vitája és kritikája immár a múlté. De Broca felhívja a figyelmet arra, hogy a frenológusok a kraniosztopia miatt túlságosan is elhanyagolták a betegek anatómiai vizsgálatát. Ez utóbbihoz, mint írja, „ pontosan meg kell adni a beteg agytekervények nevét és helyét.” Broca, azáltal, hogy következetes megfeleltetéseket állít fel az anatómiai és a viselkedésbeli tények között, először adja bizonyítását annak, hogy egy jól meghatározott képesség egy konkrétan körülhatárolható kérgi helyhez van kötve – ez Gall „organológiájának” egyik alapfeltételezése. A megfigyelt sérülés csak az egyik oldalon található meg, mégis elég ahhoz, hogy afáziát okozzon. Ezzel Broca egyszersmind azt is megmutatja, hogy a két félteke között aszimmetria van, amit Gall nem sejtett. Ugyanakkor ezzel Broca bizonyos szempontból visszatér Descartes azon