

Vizsgálhatók-e tudatos és nem tudatosuló agytevékenységek funkcionális képző eljárásokkal?

GULYÁS BALÁZS

Department of Neuroscience, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden
és Institute of Advanced Study – Collegium Budapest
Gulyas@neuron.karolinska.sw

Bevezetés

Amikor Kurt Gödel 1930 októberében, 24 évesen Bécsben bemutatta *Eldönthetlenségi Tételét* (Gödel, 1930), talán még senki sem gondolta, hogy a tétel, amely gondolatmenetében és hivatkozásaiban Alfred North Whitehead és Bertrand Russell *Principia Mathematica* művéhez kapcsolódott (Russell és Whitehead, 1910–1913), úgy szabadul ki a formális matematika világából, mint Aladdin történetében a dzsinn szelleme a palackból. A formális rendszerek önmaguk által való leírhatatlanságát több filozófus és természettudós releváns elvként értelmezi számos más „nagy rendszer” esetében is, legyen az a nyelv (pl. Tarski, 1944, 1990), a jog (pl. Putnam, 1981, 2000), a biológia alapkérdései (pl. Ben-Jacob, 1998), avagy – s esetünkben ez érdekes – az emberi agy/elme (lásd például Hofstadter könyvét: Gödel, Escher, Bach!).

Az agykutatók számára megfogalmazott kérdés, melyet az elmúlt évtizedek során számos változatban tettek fel, valahogy így hangzik: Teljességgel megismerheti-e és leírhatja-e az emberi agy önmagát? Avagy vannak határai – természetes határai – az emberi agy megismerésének?

Ehhez a fundamentális kérdéshez persze további súlyos kérdések csatlakoznak. Például az, hogy vizsgálhatók-e magasabb *szellemi* tevékenységek az idegtudományok eszköztárával? A nagy kérdés előttem nem az, hogy *idegéletani* működések vizsgálhatók-e – hiszen erre eleve pozitív választ kell hogy adjunk: ami az idegtudományok körébe esik, az szükségszerűen idegtudományi vizsgálódások legitim tárgya. Az igazi kérdés mindenekelőtt az, hogy vajon „*mi tölti ki az elmét*”, s ami kitölti, az mind *idegtevékenységgel* közvetlenül vagy közvetve kapcsolatba hozható-e?

S hogy tovább pontosítsak: Mit látunk mindebből? Mi „mérhető”? És hogyan? A modern kutatási eszköztárunkat felhasználva mi írható le egzakt tudományos pontossággal?

Írásom célja messzemenően nem az, hogy részletes áttekintést adjon a lehetséges kérdésekről és válaszokról. Szeretném elkerülni a kérdéssel kapcsolatos filozófiai

vizsgálódásokat. Nem kívánok belemenni a monizmus, dualizmus, redukcionizmus, emergentizmus stb. kérdéseibe. Csupán egy viszonylag szűk körből vett példákkal – s ezek mindegyike az emberi látással kapcsolatos – szeretném illusztrálni azt, hogy az elmúlt évek során a kérdéskör szempontjából milyen megközelítési lehetőségeket szült az idegtudomány, az agykutatás fejlődése. E fejlődés egyik legjelentősebb fejezete a funkcionális képalkotási technikák bevezetésével áll kapcsolatban.

A következőkben a funkcionális agyi képalkotási technikákkal történő, a látással kapcsolatos vizsgálatokról írok néhány olyan gondolatot, amely a tudatos és nem-tudatosuló mentális működések vizsgálata, vizsgálhatósága körül forog.

A vizsgálati lehetőségek

Mind a laikusokat, mind az érdeklődő szellemű filozófusokat és természettudósokat évszázadok óta foglalkoztatja a kérdés: vajon az agy különböző részei milyen magasabb rendű szellemi tevékenységekért felelősek. Akármilyen meglepő, a felismerés, hogy az agy a magasabb szellemi működések székhelye, csak a középkor végére „érett be”. Bár orvostörténeti emlékek a 2300 évvel ezelőtt Alexandriában élt két orvos, Herofil és Eristrates nevéhez kötik annak a gondolatnak a megszületését, hogy az agynak kapcsolata van a magasabb mentális működésekkel (ők ketten ismerték fel, hogy az agyból eredő idegek a test mozgásával vannak kapcsolatban, s úgy gondolták, hogy az agy alapon lévő finom érhálózat – melyet *rete mirabile*-nek neveztek – az érintkezési helye a testnek és a szellemnek (*pneuma, animus*), a görög természettudósok még inkább az emberi test „hűtőrendszerének” tekintették az agyat annak tekervényezett volta miatt. Az első európai orvosegyetemen, Salernóban, a 13. század elején megjelent legelső tankönyvek sem tulajdonítottak különösebb jelentőséget az agynak, miközben viszonylag igen pontos leírást adtak a zsigerekről és azok működéséről.

Már a késő középkor s később a reneszánsz tudósai próbálkoztak azzal, hogy spekulatív alapon az agy egyes részeihez, elsősorban az agykamrákhoz, gondolkodási funkciókat rendeljenek. E törekvéseket a *Doctrina Cellularis* néven foglalták össze a kor kutatói. Ennek első átfogó és részletes leírása a friburgi karthauzi perjel, Gregor Reisch (1467–1525) *Margarita philosophica* című művében, az első modern értelemben vett enciklopédiában található. A *Doctrina Cellularis* szerint három egymással közlekedő agykamra (*cellula*) rejti magában a gondolkodási funkciókat: az első a „*sensus communis*”-t, a fantáziát s a látási képzeletet (*imaginatio*), a második a gondolkodást és a számolást (*cognitio, estimatio*), a harmadik az emlékezetet (*memoria*). Az érzékelés funkciói, mint a látás, hallás, szaglás, az első kamrával állnak kapcsolatban. Ez az elképzelés számos változatban szerepelt a reneszánsz tudományos műveiben, s komoly befolyást gyakorolt a későbbi korok tudományos és filozófiai gondolkodására. Nem vélet-

len, hogy René Descartes is egy agyi struktúrát, a tobozmirigyét (*corpus pineale, epiphysis*) jelölte meg, mint a test és lélek (res extensa – res cogitans) kapcsolódási pontját (*De Homine*, 1662) (1. ábra).

A későbbi évszázadok során Franz Joseph Gall bécsi orvos és követői szinte a tökélyre vitték a magasabb funkciók spekulatív alapon történő agyi lokalizációját (Gall, 1809). Irányzatuk frenológia – vagy gallizmus – néven vonult be a tudomány történetébe, s lényege az volt, hogy a frenológia követői elsősorban a koponya formájából próbálták az agy egyes részeihez szellemi funkciókat, illetve személyiségjegyeket rendelni.

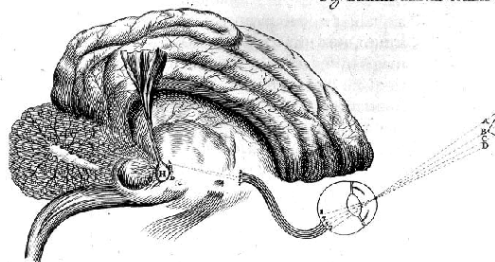
Az első modern értelemben vett idegtudományi kísérletsorozat, melynek célja az agyműködések anatómiai lokalizációja volt, Pierre Flourens (1794–1867) párizsi orvos nevéhez fűződik, aki 1824-ben stimuláció (ingerlés) és abláció (egyes agyrészek eltávolítása) révén állatkísérletekben bizonyította, hogy egyes agyi funkciók jól meghatározott agykérgi területekhez kapcsolhatók. Emberben az első pontos leírást egy magasabb funkció agyi lokalizációjáról az ugyancsak francia Paul Broca (1824–1880) adott először: 1862-ben demonstrálta egy elhalt beteg agyának baloldali homloklebenyében azt a beteg halála

előtt 12 évvel agyvérzés következtében kialakult léziót, amely egyértelműen összefüggésbe volt hozható azzal, hogy az agyvérzés kialakulása után a beteg elveszítette beszédkészségét, de beszédmegértésével nem volt továbbra sem gond. Ez az agykérgi

DE HOMINE. 103
 linctu citius, quaquavorsum promptissime convertere nullam requiem illi, vel per momentum concedentes. Et si quodam forte impulsu moveatur eò, quò se facile inclinare nequeat, illa actio ex se minus efficax, ferè nihil efficit. Sed è contra statim atque glandula velà re minima pellitur ad locum, quò jam omninò propendet, eò quoque confestim sese vertet: adeoque organon sensus ad objecti sui actionem tam perfecte, quàm fieri potest, recipiendà disponit.

32. Tandem spiritus deducamus in nervos

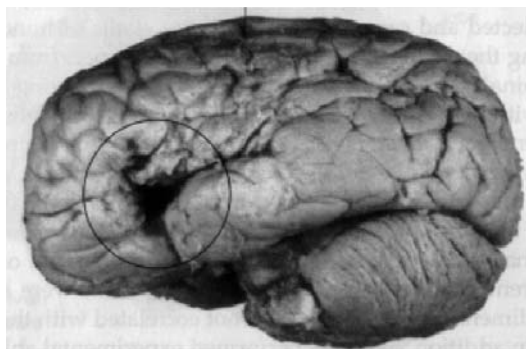
Fig. XXXIII. XXXVIII. et XLII.



usque, & motus ex iis dependentes perpendicularibus.

Figura XXXIII.

1. ábra. Részlet René Descartes *De Homine* című könyvének első kiadásából (amely 12 évvel Descartes halála után, 1662-ben jelent meg): az agy belső szerkezetének ábrázolása az agy-elme kapcsolatot megtestesítő epiphysissel (*corpus pineale*).



2. ábra. Paul Broca (1824–1880) híres betegének agya, melyen jól látható a bal oldali homloklebeny oldalán lévő lézió. E régió, amelynek funkciója a beszéddel kapcsolatos, kapta a Broca-régió nevet.

régió, a „Broca area” vagy „motoros beszédközpont” nevet viseli azóta is, és ennek károsodása a beszéd motoros zavarait okozza (2. ábra). Ezzel a leírással indult útjára a *funkcionális neuroanatómia*, amely az egyes agyi struktúrák funkcionális szerepét vizsgálja.

Funkcionális neuroanatómia és agyi funkciólokalizálás

Broca úttörő munkásságát követően az agyi funkciók lokalizálása vizsgálatának óriási lökést adott az első világháború tragédiája. Németországban Walther Poppelreuter (1917, 1990), Angliában Gordon Holmes (1919, 1945) volt az a neurológus, aki háborús agysérülések részletes vizsgálata alapján elsőként adott pontos leírást arról, hogy jól körülírható agyi funkciók (látásérzékelés, felismerési funkciók, emlékezési funkciók stb.) az agykéreg egyes jól behatárolt lézióhoz köthetők. Az elmúlt évtizedekben az agyi *lézió-analízis* a neuropszichológia egyik alapmetódusává vált (lásd pl. Damasio és Damasio, 1989) és számos kiemelkedő jelentőségű neuropszichológus művelte ezt a szakterületet (pl. Alekszandr Luria, Brenda Milner, Larry Weiskrantz).

Az agyi funkciólokalizáláshoz másik oldalról az agysebészet fejlődése járult hozzá igen jelentős mértékben. Az idegsebészek, élükön a montreali Wilder Penfielddel (1950, 1954, 1958), az ötvenes években kidolgozták azokat a módszereket, amelyek révén az operált, de ébren lévő beteg *közvetlen agykérgi ingerlésével* az adott kérgi terület élettani szerepét, magasabb agykérgi működésekben való részvételét tudják elemezni. Bár e módszerrel számos érzékelési (látási, hallási stb.) és mozgási funkcióért felelős agykérgi terület viszonylag nagy pontossággal volt lokalizálható az emberi agyban, a bonyolultabb érzékelési és mozgási, illetve a magasabb szellemi funkciók (tanulás, emlékezés, képzelet, számolás stb.) agykérgi lokalizációja, „funkcionális anatómája”, továbbra is homályban maradt.

Csak az elmúlt évtizedekben kifejlesztett *funkcionális agyi képalkotó eljárások* (ezek közül is a pozitron emissziós tomográfia vagy PET, illetve a funkcionális magnetikus rezonancia imaging vagy fMRI) tették lehetővé azt, hogy magasabb idegrendszeri működéseket nagy anatómiai pontossággal tudjunk az élő emberi agyban lokalizálni (Frackowiak és mtsai, 1997, Toga és Mazziotta, 1996, 2000). Mivel e vizsgálatok során leggyakrabban az idegrendszert működése közben „provokáljuk”, vagyis külső stimulációval (amely természetesen lehet egy kognitív feladat elvégztetése is) „aktiváljuk”, agyaktivációról („brain activation”) beszélünk (Roland 1993).

Az idegi működések lokalizációjának élettani alapjai

Minden idegrendszeri működés energiát igénylő folyamat. A nyugalmi állapotban lévő idegsejtek energiaigénye részben a sejtekben állandóan folyó fehérjeszintézis energiaigényéből, részben a sejtek nyugalmi, úgynevezett spontán tüzeléséből adó-

dik. Az izgalmi állapotban, azaz működésben lévő idegsejtek energiafogyasztásának fő komponense az idegi ingerületek sejtről sejtre történő terjedésével kapcsolatos. Az ingerületátvitel elsősorban *neurotranszmitterek*, ingerület átvivő kémiai molekulák, segítségével történik a sejteket összekötő *szinapszisokban*. Ezen molekulák szintézise, kibocsátása, majd felvétele, illetve lebontása a célsejtben, azaz a *szinaptikus transzmisszió* igen energiaigényes folyamat.

Az idegsejtek a működésükhöz szükséges energiát elsősorban szőlőcukor-molekula elégetéséből nyerik. Amennyiben jelzett szőlőcukor-molekulát, avagy a szőlőcukorhoz hasonló kémiai szerkezetű szőlőcukor anyagcserében résztvevő molekulát, például ^{18}F izotóppal jelzett deoxy-glükóz molekulát (^{18}FDG) juttatunk az agy vérkeringésébe, a molekula ott fog leginkább felhalmozódni az agyban, ahol az agy anyagcseréje a legnagyobb. Nyugalmi állapotban az agy anyagcseréje ott a legnagyobb, ahol a legnagyobb a sejtek sűrűsége, illetve a sejtek közötti szinapszisok sűrűsége, mert ezeken a helyeken a legnagyobb a sejtek nyugalmi anyagcseréje, illetve a spontán tüzelésből adódó szinaptikus transzmissziós tevékenység. Az emberi agyban ilyen struktúra például a kisagy, melynek féltekéi ugyanannyi idegsejtet tartalmaznak egy nagyságrenddel kisebb térfogatban, mint a nagyagy féltekék. Ugyancsak magasabb az agy nyugalmi anyagcseréje az úgynevezett elsődleges látókéregben (*cortex striatum*), ahol a sejtsűrűség, illetve szinaptikus sűrűség átlagosan kétszer magasabb az agykéreg más részeihez képest. Így már nyugalmi állapotban is jól kimutatható az elsődleges látókéreg ^{18}FDG jelzőanyaggal PET vizsgálatok során.

A magasabb idegi működések vizsgálatában azonban mégsem az anyagcsere mértékét *közvetlenül* jelző molekulák a leggyakrabban használt jelzőanyagok. Ugyanis ezen jelzőmolekulák általában egyrészt viszonylag hosszú felezési idejű izotópot tartalmaznak, s így ennek következtében a PET-tel történő adatgyűjtés ideje is viszonylag hosszú (20-30 perc fölött), másrészt az anyagcserét jelző molekulákkal viszonylag hosszú idő (> 20-30 perc) alatt érhető el az a szöveti jelzőanyag-koncentráció, amely a vizsgálatokhoz szükséges. A mindennapos gyakorlatban az agyi anyagcserét *közvetve* mérjük azon az alapon, hogy az agyi *anyagcsere* és az *agy vértáramlás* között szigorú összefüggés van: azokban az agyi struktúrákban, ahol magasabb az anyagcsere, az anyagcserével szoros összefüggésben magasabb a szöveti vértáramlás is, illetve ahol kisebb az anyagcsere, ott lecsökken a vértáramlás. Az agyi vértáramlás mérésére leggyakrabban használt PET jelzőanyagok az oxigén kétperces felezési idejű ^{15}O izotópjával jelzett víz (H^{215}O), illetve butanol (^{15}O -butanol). Ezen jelzőanyagokat intravénás injekció formájában juttatjuk a kísérleti személybe. A vérárammal a jelzőmolekulák az agyi vérkeringésbe jutnak, ott igen gyorsan szabadon diffundálnak a sejtközi, illetve sejten belüli térbe, s helyi koncentrációjuk – melyet a PET módszerrel mérni és lokalizálni tudunk – híven mutatja a helyi vértáramlás, illetve anyagcsere mértékét.

Azaz az agyon belül azon neuron populációk, amelyek egy-egy adott feladat elvégzésében intenzívebben közreműködnek, átmenetileg magasabb energiaigénnyel

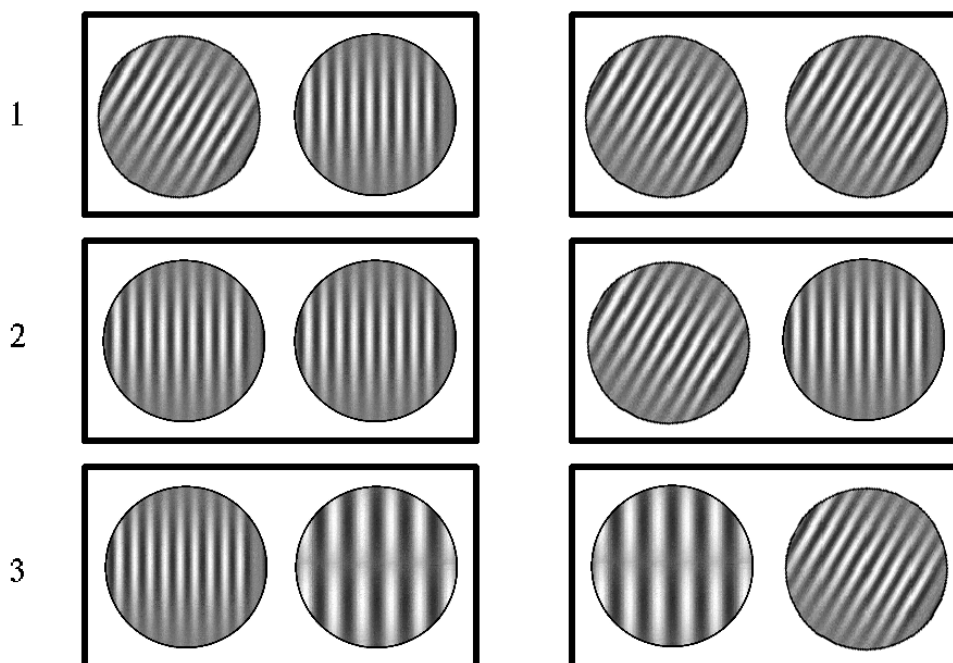
lépnek fel, és több szőlőcukrot égetnek el, mint az agynak az adott feladat elvégzésében részt nem vevő más részei. Ez a regionálisan megnövekedett anyagcsere, illetve az ezzel szorosan összefüggő regionális vérátáramlás-növekedés, a PET segítségével nyomon követhető, annak paraméterei mérhetőek, és a változások pontos anatómiai kontextusban lokalizálhatóak.

A PET-tel történő agyi vérátáramlás vizsgálatához hasonlóan fMRI segítségével is mérni lehet az agyi vérátáramlást. Emellett a keringő vérben lévő hemoglobin oxigén kötésének mértékét is mérhetjük a módszerrel, s ebből következtethetünk az agy egyes régióiban történő oxigénfelhasználás mértékére, amely a regionális idegműködések intenzitásával változik, azaz így közvetve az idegműködés intenzitását mérhetjük.

PET és fMRI vizsgálatok agyaktiváció során

Az agyfunkciók PET-tel történő vizsgálatánál a leggyakrabban használt agyaktivációs paradigma a *szubtrakciós technika* néven ismert. Ezt az eljárást alkalmazza a kísérleti pszichológia is Donders nyomán 1860 óta. A mérések során egy kísérleti állapotban kapott agyi anyagcsere, illetve vérátáramlás képeket hasonlítunk össze egy megfelelő referenciaállapotban nyert képekkel. A kísérleti és referenciaállapotok egy kivétellel minden szempontból megegyeznek; a különbség – amely többletként jelentkezik a kísérleti állapotban – a két állapot között a kísérletnek épp azon szempontja, amelynek megfelelő agytevékenységet lokalizálni kívánjuk az emberi agyban. Azaz például amikor a színlátással kapcsolatos agykérgi területeket kívánjuk feltérképezni, a kísérleti állapotban színes ábrákat mutatunk a kísérleti személyeknek, a referenciaállapotban pedig ugyanazokat az ábrákat – színek nélkül. Azaz amennyiben egy kísérleti agyaktivációs állapot $n + 1$ komponenst tartalmaz, a megfelelő referencia állapot csupán n komponenst tartalmaz, és vizsgálatunk tárgya az egyetlen különbséget képező kísérleti komponens feldolgozásával foglalkozó agykérgi területek lokalizálása (3. ábra).

A PET aktivációs vizsgálatok kiértékelésére kifejlesztett újabb statisztikai technikák lehetőséget adnak más paradigmák megtervezésére is, így az elmúlt években a szubtrakciós technika háttérbe szorult, és előtérbe került a parametrikus, illetve a faktoriális paradigma tervezés. A *parametrikus paradigma tervezés* tulajdonképpen a szubtrakciós paradigma továbbfejlesztése és alapja az a feltételezés, hogy agyi szenzoros, motoros vagy kognitív működések során egy-egy újabb folyamat-paraméter megjelenését az agy regionális élettani változásai szisztematikusan és monoton módon követik. Azaz például ha az alapfeladat az, hogy a kísérleti személy magában olvasson, egy bizonyos agyi ideghálózat működik, amely újabb működési elemekkel egészül ki, ha az új feladatban a kísérleti személynek fennhangon kell olvasnia. Ily módon elméletileg a hierarchikusan felépített agyi funkciók elemekre bonthatók, és az egyes elemekért felelős agyi ideghálózatok lokalizálhatóak.



3. ábra. Egy példa az inger egy-egy részletének megváltoztatására szubtraktív paradigma tervezés során. Az emberi látórendszer orientáció-érzékenységét legjobban rács-ingerekkel lehet vizsgálni. A kísérleti személynek például azt kell megállapítania egy időben megjelenő avagy egymást követő két rács-inger esetében, hogy orientációjuk azonos volt-e, vagy sem (lásd a kereteken belül lévő bal oldali és jobb oldali ingert). Ezt követően jön a következő inger (a jobb oldali keretben.) Ha arra vagyunk kíváncsiak, hogyan befolyásolják az orientáció-érzékenységet az ingerben lévő egyéb „látási kulcsok”, azokat módosítva végezzük el az alapkísérletet. 1. Alapkísérlet. Az első sorban az ingerek azonosak, az orientáció természetesen változik. 2. A kontraszt hatásának vizsgálata. A második sorban lévő ingerek belső kontrasztja más: ebben az esetben a kontraszt hatását vizsgálhatjuk orientáció diszkrimináció során. 3. A frekvencia hatásának vizsgálata. A harmadik sorban a térfrekvencia változik: ennek az orientáció-érzékenységre való hatását tudjuk vizsgálni az diszkrimináció során.

Így lehet például olvasási feladat során egyes rétegeire bontani az írott szöveg megértését: 1. az alapfeladat során a kísérleti személy csak hieroglifákat lát; 2. majd a második feladatban el kell különítenie a hieroglifáktól latin betűket (betűfelismerés); 3. ezt követően az egymás után következő betűk időnként értelmes szavakat adhatnak ki, ezeket kell felismerni (szófelismerés; lexikális réteg); 4. majd az értelmes szavak közül ki kell válogatni azokat a szavakat, amelyek a létezők egy konkrét csoportjába tartoznak (pl. állatok) (szemantikus réteg); 5. végül az egymást követő szavak időnként értelmes mondatokat adhatnak ki, s a kísérleti személynek ezt kell azonosítania (szintaktikus réteg). A PET vizsgálattal, illetve a mérhető statisztikai eljárásokkal (SPM = statistical parametric mapping) azonosítani lehet az egyes „rétegekhez” tartozó agyi ideghálózatokat (Frackowiak és mtsai, 1997).

A *faktoriális paradigma tervezése* esetében alapvetően más a kiindulási pont. Feltételezzük, hogy az agy működése során nincsen egy „alapállapot”, minden változás egy meglévő „változást” érint, azaz egy eleve „perturbált” állapotot alakít tovább egy újabb szenzoros, motoros vagy kognitív feladat. A specifikus „feladatok” mellett azonban olyan más tényezőket („faktorokat”) is figyelembe kell vennünk az agyműködések elemzésekor, mint a fáradás, megszokás, habituáció, avagy a tanulás, gyakorlás. A kölcsönhatások egymással összefüggenek, és a kölcsönhatásokban részt vevő „faktorok” ismeretében azoknak a regionális agyi változásokban betöltött szerepét a varianciaanalízis alapján álló, háromdimenziós volumetrikus statisztikai modellek segítségével (GLM = general linear model) analizálni tudjuk (Ledberg 1998, 2000).

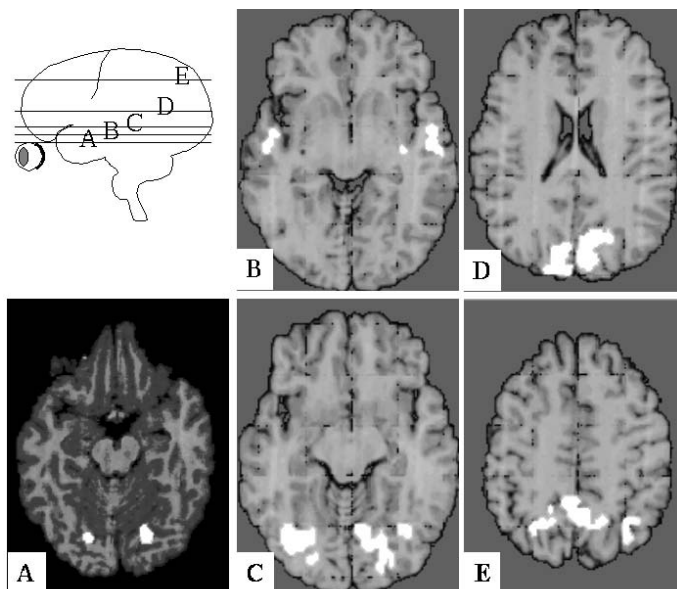
Agyaktiváció és az agy funkcionális anatómiája: a látás

Az agyaktivációs vizsgálatok az elmúlt évek során forradalmian megváltoztatták ismereteinket az emberi agy funkcionális anatómiájáról. A vizsgálatok révén számos elemi agytevékenység agykérgi központja lokalizálható volt. A vizsgálatok kezdetben, a nyolcvanas években, az elemi érzékelési és motoros funkciókra terjedtek ki, de a kutatók hamar rájöttek, hogy a PET-vizsgálatok a magasabb szellemi tevékenységekkel kapcsolatos agykérgi területek lokalizációjára is alkalmasak. Az elmúlt évek során számos kísérlet történt a legkülönbözőbb kognitív funkciókkal (beszéd, számolás, emlékezet, tanulás, gondolatformálás, képzelet) kapcsolatos agykérgi területek pontos helyének megállapítására. A következőkben néhány olyan alapvető eredményt ismertetek, amelyet PET-tel segítségével végzett agyaktivációs kísérletek során ismertünk fel (Gulyás és mtsai, 1993, 1994a,b,c, Gulyás, 1997, 1999, 2001).

A funkcionális agyaktiválás lehetősége az első időben számos kutatót arra „csábított”, hogy felelevenítse a frenológiát és egy-egy agyi régióhoz egy-egy agyi funkciót keressen. Így leírásra került az emberi agyban többek között „színlátási area” (Lueck és mtsai, 1990; Zeki, 1990; Zeki és mtsai, 1991), „vizuális mozgási area” (Watson és mtsai, 1993), sőt „a holisztikus magatartásért felelős area” is (Herzog és mtsai, 1990), vallási élmények areái (Azari és mtsai, 2001), illetve a „hallucinatoros area” is (Szechtman és mtsai, 1998).

Saját vizsgálataink is kimutatták azt, hogy a mások által „színlátási areának” nevezett agyi régió mindig intenzíven aktiválódik színlátással kapcsolatos feladatok során, de egyszersmind számos más agyi régió is rendszeresen aktiválódik (Gulyás és Roland, 1994; Roland és Gulyás, 1996) (4. ábra). (Számos más adat bizonyítja, hogy a látás más elemi aspektusai is, illetve más érzékelési modalitások is hasonlóképpen több agyi régiót aktiválnak egyszerre.) Mindez az agyi információfeldolgozás menetével kapcsolatban két alapvető következtetésre is vezet:

– az agyban a szenzoros információ továbbítása és feldolgozása során sosem egy neuron populáció, egy régió aktív csupán, hanem idegpopulációk egész hálózata aktiválódik;



4. ábra. 4/A. ábra. Az emberi agy fusiformis barázdájában mindkét oldalon erős aktivációt kapunk színlátással kapcsolatos feladatok elvégzése során. Több kutató ennek a területnek a kizárólagos működését írta le színlátással kapcsolatos feladatok során, és a régiót az „emberi szín areának” nevezte el (Lueck és mtsai, 1990; Zeki és mtsai, 1991). B, C, D, E. A színlátás során számos agykérgi régió aktiválódik, nem csupán az A ábrán jelzett, a fusiformis barázdában lévő terület. Így az elsődleges látókéregben (D), illetve a másodlagos látókéregben, valamint a fali (E) és halántéklebenyben (B) lévő „magasabb látási areákban” is találunk aktivációt. (A metszetek magassága az agy oldalnézeti képén látható. Gulyás, Heywood, Popplewell, Roland és Cowey adatai.)

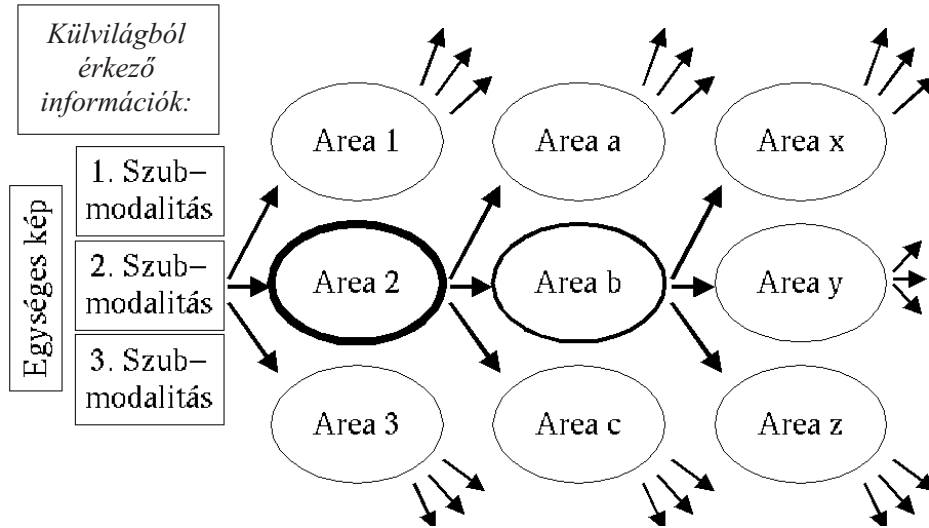
regiót találunk, amely részt vesz különböző típusú információk, például színlátással avagy térbeli látással („sztereopszis”) kapcsolatos ingerek feldolgozásában. Mindez egy újabb működési elvre utal:

– az agyi információtovábbítás és -feldolgozás során a konvergencia elve is érvényesül: ugyanazon neuron populáció, ugyanazon agyi régió több különböző típusú információ feldolgozásában is részt vesz (5/B ábra).

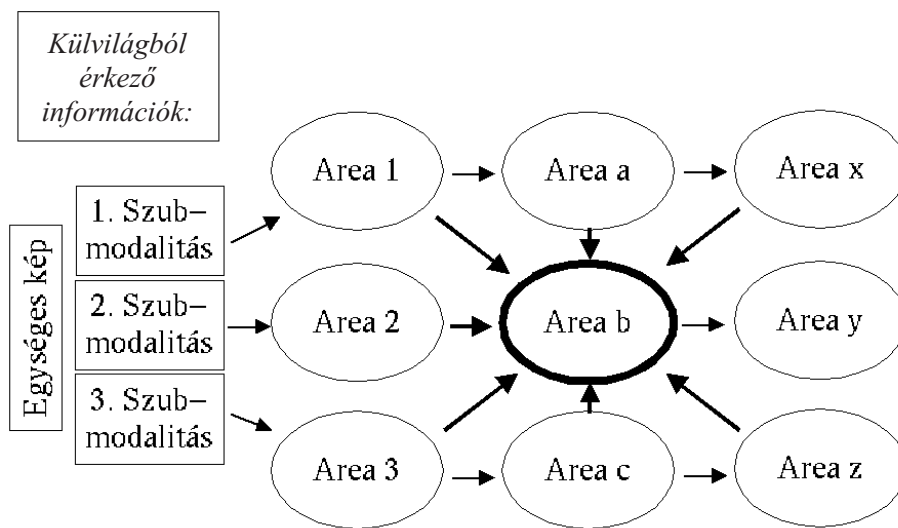
Mi befolyásolja az agyi idegpulációk hálózatának kialakulását? Megváltozik-e egy feladat megoldása során az adott agyi ideghálózat, ha a feladat ugyanaz marad ugyan, de megváltoztatjuk az ingert? És fordítva: megváltozik-e a hálózat, ha az inger ugyanaz, de a vele kapcsolatos feladat változik meg? Azaz: mennyire állandó avagy mennyire ingerfüggő, illetve feladatfüggő egy több agyi régiót magában foglaló funkcionális hálózat? Ezekre a kérdésekre többen próbáltak választ keresni: olyan vizuális paradigmát terveztünk az agyi hálózatok stimulus-függőségének

– az információ továbbítása során a divergencia elve érvényesül: a befutó információ egyszerre több agyi régiót aktivál (5/A ábra).

A következő kérdés a fentiekből logikusan adódik: vajon ugyanaz az agyi régió, ugyanazon agyi idegpuláció részt vesz-e több különböző típusú információ, esetünkben látási információ feldolgozásában? Avagy egy-egy neuronpopuláció anynyira specializálódik, hogy csak egy típusú információ feldolgozásában képes részt venni. Ha azt tanulmányozzuk, hogy különböző típusú vizuális információk mely agyrészeket aktiválják, számos olyan agyi ré-

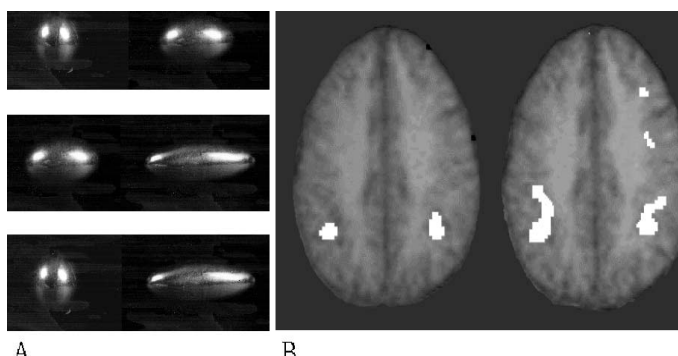


5/A ábra. A divergencia elve az agyi információfeldolgozás során. A befutó információt újabb és újabb agykérgi areák dolgozzák fel, az egy-egy szub-modalitással kapcsolatos információ „szertefut” az agykéregben, divergál: feldolgozásában számos agykérgi area vesz részt.



5/B ábra. A konvergencia elve az agyi információfeldolgozás során. Az egyes agykérgi areák számos szub-modalitással kapcsolatos információ feldolgozásában vehetnek részt; az agykérgi areák közötti kapcsolatok révén egy areára több helyről fut be, „konvergál” információ.

vizsgálatára, amelyben az ingerek változtak, de a feladat ugyanaz volt. A kísérleti személynek geometriai idomok között kellett különbséget tenni, de míg az egyik feladatban magukat a háromdimenziós kis testeket láthatták, a másik feladatban csupán azoknak igen élethű kétdimenziós fényképfelvételeit (Kovács és mtsai, 1998) (6/A ábra). Az agy bizonyos régiói mindkét feladat során aktiválódtak, de egyes aktivált régiók csak az egyik avagy csak a másik feladat során voltak jelen (6/B ábra). Mindez arra utal, hogy



6/A. ábra. Kicsiny tárgyak, paralelopipedák, amelyeket egymást követő párok formájában láttak a kísérleti személyek, s azt kellett eldönteniük, hogy a két látott paralelopipeda azonos volt-e vagy sem. Az inger lehetett maga a tárgy (háromdimenziós feladat) avagy annak hiteles fényképe (2-dimenziós feladat). B. A baloldalon a 2-dimenziós feladat, a jobboldalon a 3-dimenziós feladat során aktiválódó agykérgi areák láthatók a homlok- és fali lebenyeken azonos magasságban áthaladó horizontális metszeteken. Az agykérgi areák egy része azonos (a fali lebenyben), más része (a fali, illetve a homloklebenyekben) csak a 3-dimenziós feladat során aktiválódik (Kovács és mtsai, 1998).

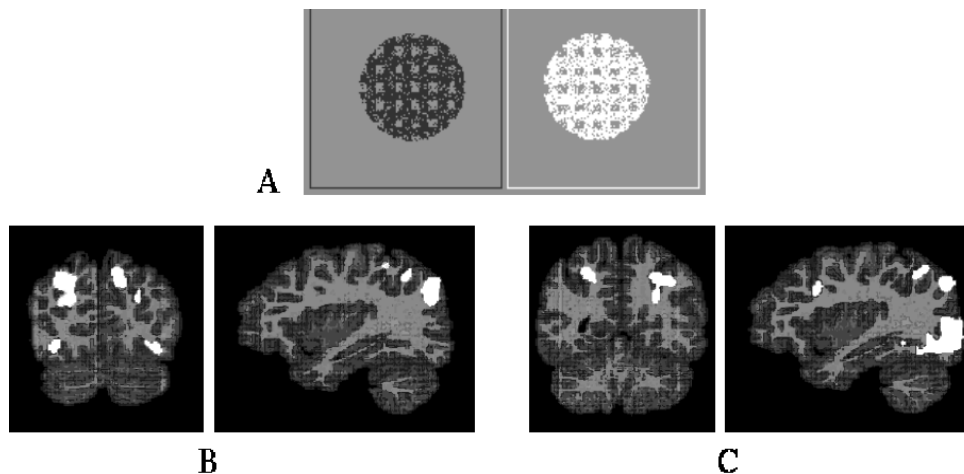
zett, és a négyzet közepéhez képest attól vagy egy kicsit feljebb vagy egy kicsit lejjebb helyezkedett el (7/A ábra). Az inger mindkét tulajdonsága (mintázat, illetve elhelyezkedés) állandóan változott a stimuláció során. A kísérleti személynek az egyes tesztekben hol az idom mintázata alapján (forma diszkrimináció), hol annak elhelyezkedése alapján (pozíció diszkrimináció) kellett a döntését meghoznia: azaz az inger a két teszt során azonos volt, de a feladat változott. A PET-vizsgálatok azt mutatták, hogy amíg az agyi régiók egy része mindkét feladat során azonos volt, voltak olyan idegpulációk, amelyek csak az egyik feladat során aktiválódtak (7/B és C ábrák). Azaz

– az agyi idegpulációs hálózatok feladat-függést is mutatnak: a hálózat egyes elemei állandóak, míg más elemei feladattól függenek – azonos inger mellett.

A fentiek ugyanakkor utalnak egy még fontosabb működési elvre is: az agyi hálózatokban van egy „mag-hálózat” („core network”), amelynek részei az adott lá-

– az agyi idegpulációs hálózatok ingerfüggést mutatnak: a hálózat egyes elemei állandóak, míg más elemei stimulus-tól függenek – azonos feladat mellett.

Ennek a kísérleti paradigmának bizonyos értelemben az ellenpárját is megterveztük: ugyanazt az ingert használtuk fel két különböző feladat végrehajtására. Egy négyzet közepén megfelelő síkidom volt az inger, amely a stimuláció folyamán állandóan változó belső mintázattal rendelkez-



7. ábrák. Forma- és pozíciódiszkriminációra egyidejűleg használt inger. A rács szerkezete, illetve annak pozíciója a kereten belül minden esetben változik, de a kísérleti személynek vagy csak a formára, vagy csak a pozícióra nézve kell döntést hoznia. B. A formadiszkrimináció során aktiválódó agykérgi területek. C. A pozíciódiszkrimináció során aktiválódó területek. A két feladat során aktiválódó agykérgi areák egy része azonos (core network), más része a feladattól függ (recruited field).

tási modalitás feldolgozása során mindig aktiválódnak, míg számos neuron populáció attól függően kapcsolódik bele e „mag hálózat” működésébe, „rekrutálódik”, hogy mennyire van rájuk szükség – ingerparamétereiktől, feladattól vagy egyéb tényezőktől függően („recruited fields”). Azaz megfogalmazható a következő elv is:

– az érzékelési feladatok során a neuron populációk hálózatai egy szenzoros modalitástól függő „mag hálózatból”, illetve az ehhez esetenként csatlakozó, ingertől, feladattól vagy egyéb tényezőtől függő „rekrutált régiókból” állnak.

Még tovább haladva a látási folyamatok logikájában: közismert tény, hogy ugyanazon látási élmény (perceptum), például egy tárgy képe, létrehozható különféle látási „kulcsok” segítségével. A tárgy képét kirajzoló kontúrokat létre lehet hozni fényerősség különbségek (luminancia kontúrok) révén, szíkontúrok által, sztereo-kontúrok („disparity contour”), vizuális mozgási kontúrok avagy különböző mintázatok váltakozása („texture contours”) segítségével. Milyen agyi hálózatok aktiválódnak akkor, ha látórendszerünk a legkülönbözőbb látási információk, látási kulcsok segítségével – de ugyanazt a látási perceptumot (mondjuk egy geometriai idom, egy négyzet vagy kör képét) hozza létre agyunkban? Mindezt eldöntendő, olyan PET-kísérletsorozatot végeztünk, amely során a kísérleti személyek négyzetek és hozzájuk igen hasonló téglalapok közti alak-diszkriminációt kellett hogy elvégezzék, s a geometriai alakokat a fenti látási „kulcsok” segítségével hoztuk létre (Gulyás és mtsai, 1994a,b, 1998). A legnagyobb meglepetésünkre a feladatok végrehajtása során aktiválódott hálózatok csak igen kis mértékben voltak átfedőek,

azaz tartalmaztak azonos neuronpopulációkat, ugyanakkor a kísérleti személyek a feladatokat igen nagy pontossággal hajtották végre minden esetben. Mindez tehát arra utal, hogy

– *amennyiben az agy azonos látási perceptumokat hoz létre különböző látási „kulcsok” segítségével, az aktiválódott agyi idegpopulációs hálózatok egymástól különböznek, és nem perceptum-függőek, hanem input („látási-kulcs”) függőek;*

– *az agy „azonos értékű” perceptumokat különböző agyi régiók hálózatának aktiválásával is létre tud hozni.*

Az agyi ideghálózatokban más belső dinamizmus jelei is jól értékelhetők PET segítségével (Gulyás, 1999, 2001). Például kimutatható, hogy természetes öregedés során a hálózatokban részt vevő neuronpopulációk egyes tagjai csökkent működést mutatnak, de ezt hosszú ideig kompenzálni tudja a hálózat más tagjainak intenzívebb működése úgy, hogy a kísérleti személy teljesítményében kimutatható hanyatlás hosszú ideig nincs (Grady és mtsai, 1998). Ugyanakkor azonos feladatok végrehajtása több kísérleti személy számára más és más nehézséget jelent, és a kísérleti személyek más és más teljesítményt nyújtanak az azonos feladat végrehajtása során. PET-tel jól kimutatható, hogy az egyes kísérleti személyekben az egyes aktiválódott neuronpopulációk tevékenységének intenzitása szoros összefüggést mutat a kísérleti személy teljesítményével (Alexander és mtsai, 1999).

*

A fentiek után felmerül a kérdés: vajon az egyértelmű szenzoros ingerlésekhez hasonlóan más gondolkodással, mentális működéssel kapcsolatos agytevékenység is kimutatható, mérhető, lokalizálható az emberi agyban? Hasonló „funkcionális logika” szabályai vezénylik a nem szenzoros stimulációt követő agytevékenységeket avagy azokat a szenzoros stimulációval kiváltott tevékenységeket, amelyek során az inger „magasabb” mentális feladatokat is beindít, s teszi ezt esetleg úgy, hogy nem is a szenzoros pályák mentén történik az agy aktiválása?

A következőkben néhány példát hozok olyan vizsgálatokból, melyek célja nem az volt, hogy közvetlen ingerlés alapján próbálják meg lokalizálni az emberi agyban az ingerléssel kapcsolatos információ feldolgozásában részt vevő ideghálózatokat, hanem a hangsúly a tudatos és a nem tudatosuló magasabb mentális működésekkel kapcsolatos agyi működések felderítésén volt.

A látási képzelet

A nem közvetlen szenzoros úton létrejövő képzetek egyik kiemelten vizsgált területe a látási képzelet. Sokan a magasabb mentális működések egyik sarokkövének, a csak emberre jellemző specifikumának tekintik a képzelet működését.

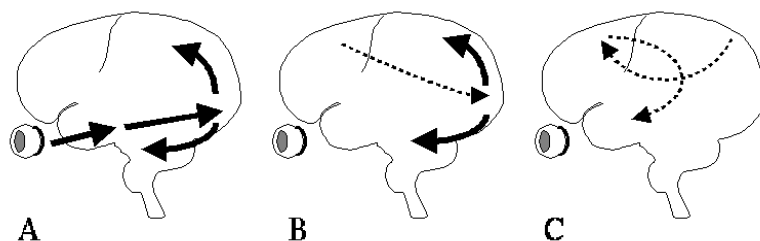
A látási képzelet során agyunk már látott képeket idéz „lelki szemünk elé”, avagy sosem látott formákat, alakokat, jeleneteket képes megjeleníteni. A folyamatot tu-

datosan és akarattól függően elő tudjuk idézni, de ezen képességünk intenzitása egyéntől függ.

A látási képzelettel kapcsolatos képalkotó eljárásokkal történő vizsgálatok egyik fő célja annak tisztázása, hogy a látási képzelet során vajon ugyanazon agykérgi területek aktiválódnak-e, amelyek normális látási folyamatok során (8/A. ábra), avagy más területek aktiválása szükséges a két tevékenységhez. Esetleg a két folyamat csupán részlegesen azonos agykérgi területeket aktivál. Egy másik kérdés annak tisztázása, hogy amíg a látási folyamatok „információforrása” a külvilág és ennek mérhetően az információtovábbítás lépései a szem ideghártyájától az elsődleges látókéreg felé, majd onnét a magasabb látókérgi területek felé haladnak, addig a látási képzelet esetében az „előhívandó” információ forrása az agyban van, és az agykérgen belül az információ-áramlás „iránya” nem ismert.

A két nagy elméleti „iskola”, amelyek e téren összeütközésbe került egymással, gyökeresen mást hirdetett a látással kapcsolatos agykérgi területeknek a látási képzelettel kapcsolatos aktiválódásáról:

Az egyik iskola szerint a látási képzelet során ugyanazon agykérgi területek aktiválódnak, mint a látás során, csak épp nem azonos sorrendben (Kosslyn és mtsai, 1995, 1997, 2001; Pylyshyn, 2002). Az elképzelés szerint ebben az esetben egy „magasabb rendű” agykérgi központból érkező utasítás mozgósítja az elsődleges látókérget, ahonnan aztán a továbbiakban gyakorlatilag ugyanazon „csatornákon” át a magasabb kérgi központok felé halad tovább az információ, mint amikor normális látási folyamatok során a külvilágból érkező vizuális információkat dolgoz fel agyunk (8/B. ábra).



8. ábra. *A. Az agyi információáramlás útja látás során. B. Az agyi információáramlás útja a Kosslyn-iskola szerint látási képzelet során (Kosslyn és mtsai, 2001). Egy magasabb funkciókért felelős agyi központ (közvetlen vagy más areákon keresztül közvetített) utasítására az elsődleges látókéreg aktiválódik, majd innét az információ a látás során használt agykérgi areákba jut, hasonlóan a látás folyamatához. C. Az agyi információáramlás útja a Roland-Gulyás hipotézis szerint látási képzelet során. Egy magasabb funkciókért felelős agyi központ (közvetlen vagy más areákon keresztül közvetített) utasítására csak a látás magasabb szintű feldolgozásában részt vevő „reprezentációs” areák aktiválódnak (Roland és Gulyás, 1994).*

Ezzel a hipotézissel több gond van. Például az, hogy nem számol azzal: hogyan jut el az elsődleges vagy korai látási areákba a megjelenítendő képi információ. Nem magyarázza meg azt sem, hogy a rendkívül „gazdaságosan működő” agyunk

miért fogná munkára azon agykérgi részeit egy már feldolgozott képi információ megjelenítésekor, amelyeket akkor aktivál, amikor „friss” információt analizál.

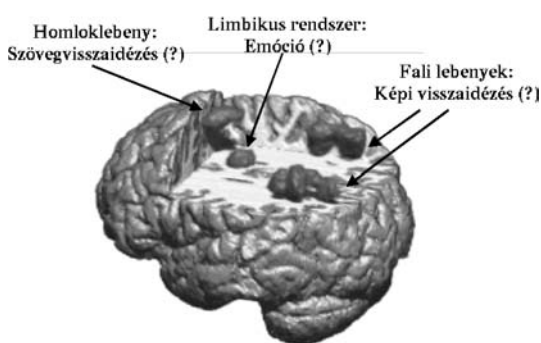
A másik nagy elképzelés szerint nem ugyanazon agykérgi területek aktiválódnak a látási képzelet során, mint amelyek a látás során lépnek működésbe. Az „alacsonyabb szintű”, elemi képfeldolgozási feladatokat végző látókérgi areák, köztük az elsődleges látókéreg, nem aktiválódnak, csupán a vizuális információ magasabb szintű feldolgozásában résztvevő, illetve a vizuális emlékképeket tároló magasabb szintű látókérgi areák („reprezentációs areák”) aktiválódnak, s mindehhez társulnak olyan agykérgi aktivációk, amelyek specifikusan a látási képzelet során lépnek működésbe (Roland és Gulyás, 1994a,b,c) (8/C. ábra).

Amíg az első iskola képviselői több PET-vizsgálatban azt találták, hogy az elsődleges látókéreg aktiválódik az emberben látási képzelet során, a velük szemben álló iskola hívei számos kísérletes vizsgálatban szisztematikusan azt látták, hogy az elsődleges és egyéb „korai” látókérgi areák egyáltalán nem lépnek működésbe képzelet során. A „másik tábor” kutatói által látott elsődleges látókérgi aktiválást sosem találták. Annak, hogy ezt mások találták, magyarázatul szolgálhat a figyelem „előkészítő” szerepe: a várakozás, a célzott figyelem fokozása önmagában, stimuláció nélkül is fokozhatja egyes agykérgi területekben a vérátfolyást.

A látási képzelet a magasabb látókérgi areákat hozza működésbe, de egyszerűsített számos olyan magasabb mentális működésekben részt vevő egyéb agykérgi area is aktiválódik, amelyek a feladat elvégzéséhez szükségesek. Például amikor kísérleti személyeknek a magyar himnusz szövegét kellett „lelki szemeik” előtt vizualizálniuk, az agy fali lebenyében lévő területek mellett aktiválódtak még a homloklebenyben lévő területek is, melyek minden bizonnyal a „belső szöveg-visszaidézésért” felelősek, de aktiválódtak az érzelmekért felelős limbikus rendszerben lévő egyes területek is, minden bizonnyal azért, mert a magyar himnusz szövegének elmondása (legyen az – mint jelen esetben – akár néma visszaidézés)

ézellemileg mélyen érinti a feladatot végrehajtó magyar kísérleti személyt (9. ábra) (Gulyás, 2001). (Feltételezhető, hogy ugyanezen feladat elvégzése egy nem magyar kísérleti személyben a többi terület aktiválása mellett limbikus aktiválás nélkül történne.)

Mi a tanulság? Agyunk maga is képes látási képzetek megalkotására. S ehhez mozgósítja azon agykérgi területek idegsejtjeit, amelyek egyébként is részt vesznek a látott kép magasabb szintű feldolgozásában, a feldolgozott informá-



9. ábra. Magyar Himnusz írott szövegének csukott szemmel történő visszaidézése során aktiválódó agykérgi areák és azok feltételezhető funkcionális szerepe (Gulyás, 2001)

ciók tárolásában, s a látott képek, illetve jelentések értelmezésében, sőt az ezzel járó érzelmi élmény kialakításában. Mindehhez azonban nem szükséges a látási folyamatokban részt vevő korai agyterületek aktiválása, azon területeké, amelyek a látott kép elemi feldolgozását végzik; elegendő azon agykérgi területeket mozgósítani, amelyek a már feldolgozott perceptum tárolásában, visszahívásában, különböző reprezentációiban vannak érintve.

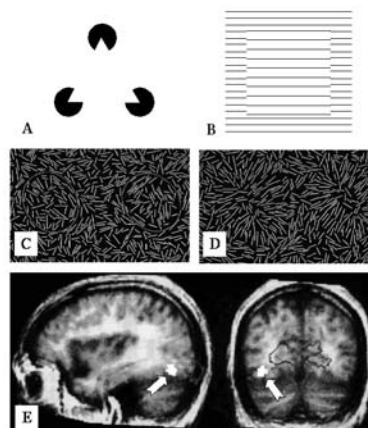
Illuzórikus kontúrok

Talán valahol félúton helyezkedik el a látás és a látási képzelet között az illuzórikus kontúr-látás. Azaz annak meglátása, ami valójában nincs is a külvilágban, nincs a retinára vetülő képben – hanem agyunk „terméke”. Amikor agyunk, látórendszerünk kiegészíti a látott képet úgy, hogy abból egy „teljesebb”, agyunk számára értelmezhetőbb, „teljesebb” képet kapunk. Közismert, hogy számos illuzórikus vagy ki-nem-egészített ábra esetében képesek vagyunk minden külön erőfeszítés nélkül meglátni a teljes képet (10. ábra, A és B).

Milyen agykérgi területeket aktiválása különbözik a két látásmód között? Szükséges-e más agykérgi területek „rekrutálása” az illuzórikus kontúrok látása (meglátása) során, szemben a tényleges kontúrok látása során bekövetkezett agyaktivációktól?

Ezeket a kérdéseket vizsgálták mások is (Fytche és Zeki, 1996), és vizsgáltuk mi is egy PET-kísérletben, amikor arra voltunk kíváncsiak, hogy mely agykérgi területek aktiválódnak igazi kontúrok és hasonló formákat kirajzoló illuzórikus kontúrok esetében egy-egy forma-diszkriminációs feladat során (Larsson és mtsai, 1999). A vizsgált kontúrok a 10. ábrán (A és B) láthatók. Az eredmények azt mutatták, hogy az elsődleges és másodlagos agyi látóareák mindkét esetben erőteljesen aktiválódtak, hasonlóan egyes magasabb látókérgi areákhoz. A két feladat során aktiválódó területek között a különbség a 10/E ábrán látható. Úgy tűnik, ezen a területen helyezkedik el az az idegsejt a populáció, amely „kiegészíti” a látott formákat kontúrrá.

10/A és B. ábra. Két „klasszikus” illuzórikus kontúr-ábra, amelyen egy háromszög, illetve egy négyszög rajzolódik ki úgy, hogy valójában egyik sincs a képen. C. Kísérletes körülmények között (lásd E ábra!) használt stimulus: zajhátterben kirajzolódó valódi kontúrok. D. Zajhátterben kirajzolódó illuzórikus kontúrok, melyek alakja hasonló az (C) ábrában látott valódi kontúrokéhoz. E. A C és D stimulációkkal végzett agy-aktivációs PET-felvételek kontrasztja során nyert eredmény, amely azt mutatja, hogy mely agykérgi területek aktiválódnak kizárólagosan az illuzórikus kontúrokkal végzett formadiszkriminációs feladatok során. Az aktiválódott agykérgi areák az elsődleges és másodlagos látókéreg területén kívül helyezkednek el (Larsson és mtsai, 1999).



Természetesen egyéb kísérletek bőségesen igazolták azt az elképzelést, hogy az agynak igenis „ki kell egészítenie” a látott képi információt annak érdekében, hogy egy egységes, „megszokott” képet lássunk. Ez a „kiegészítési művelet” („image completion”) azonban igen sokáig külön odafigyelés és „megerőltetés” nélkül történik látórendszerünkben, s nem igényli tudatos odafigyelésünket és a „meglátandó forma” gondos tudatos mérlegelést követő rekonstrukcióját.

Kétértelmű ábrák

A kétértelmű ábrák azonban már komoly próbára teszik agyunkat. Ugyanis ebben az esetben látórendszerünk nem képes „magasabb kontroll” nélkül dönteni a képi információ tartalmáról, márpedig agyunk nem szereti megválaszolatlanul, értelmetlenül hagyni azt a képi információt, amellyel kapcsolatban „már első ránézésre is van mondanivalója”. Igen ám, csakhogy ez a mondanivaló a kétértelmű ábrák esetében kétségesse válik: a látott kép melyik aspektusa az érvényes? (11. ábra).



11. ábra. Kétértelmű ábrák, melyek értelmezése agyunkon múlik.

Ilyen kétértelmű ábrák esetében a szemlélő maga döntheti el, melyik aspektusát, melyik tartalmi komponensét választja a kétértelmű ábrának. Ha nem kívánja eldönteni, és csak „bambul” a képre, a kettős jelentéstartalomnak mérhetően hol ez, hol az a képi tartalom kerülhet a figyelem előterébe: a kép agyi perceptuma „reverzál”, áttér, átugrik a másik tartalomra.

Aktív szemlélés során például a váza-arcok bimodális képe esetében a szemlélő maga határozhatja meg, hogy egy vázát kíván-e látni inkább, avagy egymásnak szegülő arcokat. Avagy a női arc esetében: hogy a fiatal hölgy vagy az öreg némben legyen figyelme középpontjában. És Freud arcképéről már ne is beszéljünk...

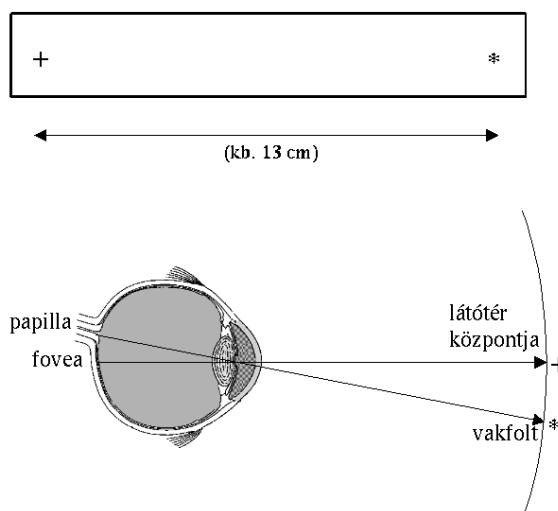
A fenti folyamatok központi idegrendszeri mechanizmusait is tanulmányozták funkcionális MRI (fMRI) vizsgálatok segítségével (Kleinschmidt és mtsai, 1998). A vizsgálatokból úgy tűnik, hogy agyunknak megvannak a saját ideghálózatai, amelyek azért felelősek, hogy tudatosan a látott kép melyik értelmezését helyezzük figyelmünk előterébe. Amikor „a váltókat átállítjuk” agyunkban, s a másik jelentést tartalom kerül figyelmünk előterébe, az agyi látórendszer mind dorzális, mind ventrális pályarendszerén belül jól körülírt területeken történik aktiválás. Ezek az idegpopulációk minden bizonnyal azért felelősek, hogy akaratunknak engedve megváltoztassák a látott vizuális információra aktiválódó agykérgi hálózatokat, s ezáltal tudatunk középpontjába a bimodális kép alternatív jelentéstartalmát kerüljön.

A vakfolt és szkotómák

A mentális funkciók mélyebb természetének vizsgálatához egyedülálló lehetőséget nyújt maga a természet is az agy felépítése, betegségei vagy sérülései nyomán kialakult „határesetek” révén. Anélkül, hogy a teljességre törekednék, néhány olyan agyi állapotot ismertettek, amelyek betekintést nyújtanak a magasabb mentális funkciók és az agy működése közötti kapcsolat alapjaiba.

A vakfolt szinte mindenki előtt ismert fogalom. Ha egyik szemünket behunyjuk, és a másikkal egy pontot fixálunk, akkor látóterünkben a fixációs ponttól „kifelé” egy olyan területre bukkanunk, amelyen belül nem látunk semmit (12. ábra). A látóterünk mindenkor közepét jelentő „fixációs pont” képe a retinánkon a foveára esik, mely csupán csapokat tartalmaz, de azokat kiemelkedően nagy sűrűséggel, így a látott kép legnagyobb felbontását biztosítva. Ettől az orr irányába fekszik a szemfenéken a papilla, az a terület a retinán, amely nem tartalmaz fényérzékeny elemeket,

12. ábra. A szem belső szerkezete a papillával és a foveával; illetve a látóter kiemelt pontjai: a látóter központja és a vakfolt helye. Ha egy olyan ábrát szerkesztünk, amelyen a + és a * egymástól 13 cm-re helyezkednek el, és az ábrát kb. 57 cm-re tesszük szemüinktől (ha szükséges, előre-hátra mozgathatjuk), majd bal szemünket behunyva jobb szemünkkel a keresztet fixáljuk, a csillagot nem fogjuk látni. (És fordítva: balszemünkkel a csillagot fixálva a keresztet nem fogjuk látni.)



mivel itt lépnek a szem belsejébe a retinát tápláló artériák, illetve itt lépnek ki onnét a vénák és a szemideg. E területnek megfelelően a látótér egy kis szektorában, a vakfolt területén, nem látunk semmit. E kiesést azonban normálisan sosem éljük meg, mert kétszemes látás esetén a másik szem látótere kiegészíti a kiesett látványt, s egyszemes nézés esetén is megszoktuk azt a helyzetet, hogy egyszemes látóterünkön belül egy terület mindig kiesik. Kiesik a látótérből, s ami ennél is fontosabb: kiesik a tudatunkból. Nem tudatosul az a tény, hogy egy vakfolt, egy scotoma van a látóterünkben.

A vakfolt helye „kitöltődik” látóterünkben. Ez a kitöltődés („filling in”) a környezetet használja fel „tölteléként”: ha a környezet egyszínű homogén, a kitöltött vakfolt azonosul vele, amint azonosul a mintázattal is, ha a környezet például mintás tapéta (Ramachandran és Gregory, 1991). A leírások szerint II. Károly angol uralkodónak udvaroncai lefejezésének ezen jóindulatú formája volt kedvenc szórakozása: unalmas udvari ceremóniák során fél szemét becsukva úgy irányította tekintetét, hogy egy-egy herceg, gróf, báró vagy udvaronc feje a vakfolt területére essék, s így „lemaradjon a testről”. A fej helyett a háttér jelent meg a nemes főt vesztett nyakon...

A látótér kis területen történő kiesésének kitöltése nemcsak a normálisan meglévő retinális vakfolt esetére érvényes, hanem a retina sérüléseiből adódó kisebb látótérkiesésekre, scotomákra is (Kaas és mtsai, 1990). Az agy „nem veszi észre”, „elhallgatja” a kis hiányt, sőt: kitölti azt valamivel. A hiány és annak pótlása nem kerül be a tudatunkba.

Azonban a hiány nemcsak a szem ideghártyáján lehet, hanem magában az agyban is. És ez az érdekesebb eset! Amikor az elsődleges látókéregben a külvilág reprezentációjának egyes részei kiesnek. Ha a hiány kicsiny, akkor azt maga az agy képes „pótolni”: még akkor is, ha a külvilág egy adott területéről nem fut be képi információ az agyba, agyunk mégsem „lát” hiányt, „lyukat”, „sötét foltot” a kiesésnek mérhető területen, hanem azt „betölti” a hiány közvetlen környezetéből vett képi információkkal.

Mire utal mindez?

A tudat az egészre és az egységre törekszik. Az a hiány amelyik „természetes hiány”, az agy működése során eleve úgy épül be tudatunkba és tudatos látási funkcióinkba, hogy azt természetesnek vesszük, megtanulunk vele együtt élni, és – gyakorlatilag – észre sem vesszük.

A baj abban kezdődik, ha a hiány igen kiterjedt. Ebben az esetben agyunk természetesen nem képes „kitölteni” a hiányt, ám ha a hiány nem érint egy egész látótérfelet, agyunk mégis képes ezt bizonyos mértékig kompenzálni, azaz a hiányt „eltüntetni”, „méréskelni”.

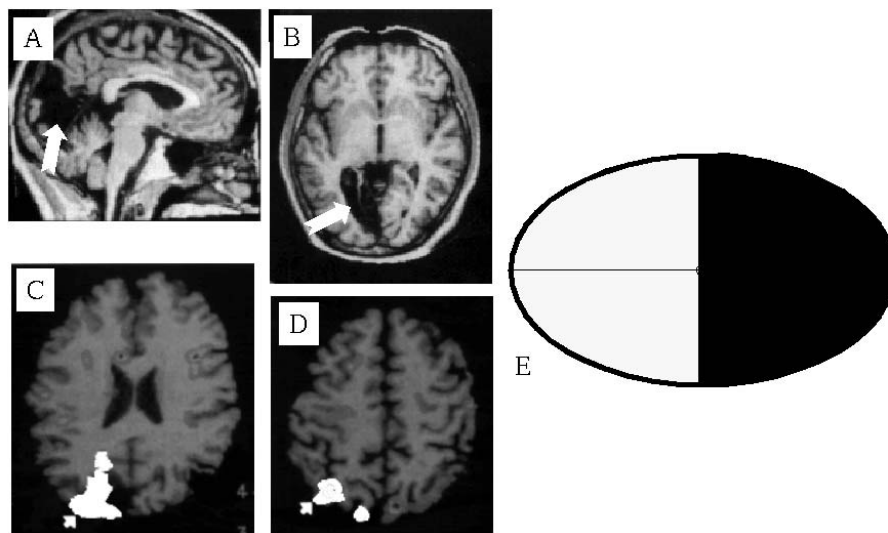
S hogyan kompenzálja működésében az agy a kiesett területek működését? Erre is történtek vizsgálatok képalkotási eljárásokkal, amelyek azt mutatják, hogy az

ilyen betegek agyának más területei intenzívebben aktiválódnak akkor, amikor a beteg figyelmét fokozva „megpróbál látni”. Leírtak olyan esetet is, amikor egy majdnem teljes féloldali scotoma esetében a beteg, aki rendkívül motivált volt abban, hogy látása javuljon, és látótérkiesése csökkenjen, figyelme fokozásával akár felére tudta csökkenteni a kiesett látótér nagyságát (Trexler, 1998).

Azon agykérgi területek, amelyek ilyen esetben aktiválódnak, arra utalnak, hogy a látórendszer olyan egyébként meglévő kapcsolatainak működése „erősödik fel”, amelyek normális esetben nem játszanak döntő szerepet a percepció folyamatokban, de amelyek a „fő információs csatornák” kiesése esetén „helyzetbe kerülnek” (Ptito és mtsai, 1999).

Vaklátás

A vaklátás (blindsight) esete a tudat és az érzékelés kapcsolatát – bár a fenti esethez hasonló, de mégis sok szempontból – más aspektusból világítja meg. Amikor az elsődleges látókéreg (V1 vagy Brodmann 17-es area) valamilyen okból, például közlekedési balesetet követő agyi trauma nyomán, elpusztul, a látótér egyik felét többé nem látja az érintett személy (13. ábra). A sérült személy gyakorlatilag vak, ami az



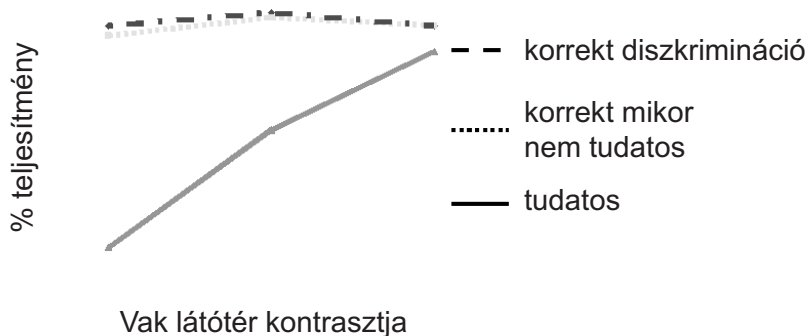
13/A. és B. ábra. MR felvételek, amelyek a kísérleti személy egyik agyféltekéjében egy közlekedési baleset során elszenvedett agysérülést követően hiányzó látókéreg üres helyét mutatják (nyilak). C és D. PET-felvételek, amelyek a kiesett agykéreg közvetlen környezetében lévő kéregrészek „kompenzáló” aktivitását mutatják a vak látótérfelel belül mutatott látási feladatok végzése során (fehér területek; nyilak mutatnak rájuk) (Barbur és mtsai, 1999). E. A kiesett látótérfél rajza

egyik látótérfelet illeti, és a vak látótérfélből jövő látási információkra normális körülmények között nem reagál (Stoerig és Cowey, 1997). Kísérleti körülmények között azonban egyértelműen kimutatható, hogy a „vak látótérben” megjelenő stimulusokat az agy feldolgozza. Ami igazán érdekes, az az, hogy ha az inger intenzitása (kontraszt, sebesség stb.) kicsiny, a kísérleti személy számára nem tudatosul, hogy a vak látótérben ingerlés történt, ugyanakkor az ingerrel kapcsolatban pontos választ tud adni a kísérletező kérdésére (Weiskrantz, 1989, 1993, 1996, 1997). Azaz szétválik az ingerre magára adott válasz (pl. „Merről merre haladt az inger?” – „Jobbról balra”) és az inger tudatosulásával kapcsolatos válasz (pl. „Látott valamit a vak látótérben?” – „Nem!”). Amennyiben azonban az inger intenzitása növekszik, az inger jelenléte „bekerül a tudatba”, és az addig nem tudatosuló, de az agy működését kiváltó inger tudatosul (14. ábra). Azaz: szétválik a látott információ pontos feldolgozása, illetve annak tudatossá válása.

Mindezt képalkotó eljárások segítségével is vizsgálni tudjuk. Az ilyen betegekben kimutatható, hogy a kiesett agykérgi látókéreg helyett annak közvetlen szomszédságában lévő másodlagos vagy magasabb rendű látókérgi areák aktiválódnak. Minden bizonnyal ezek működése felelős azért, hogy bár a beteg „tudatosan nem lát”, bizonyos látási funkciói megtartottak, és amint az inger erőssége növekszik, a beteg még azt a tényt is képes felismerni, hogy vak látóterét stimulálták (Barbur és mtsai, 1999).

Blindsight: pszichofizika

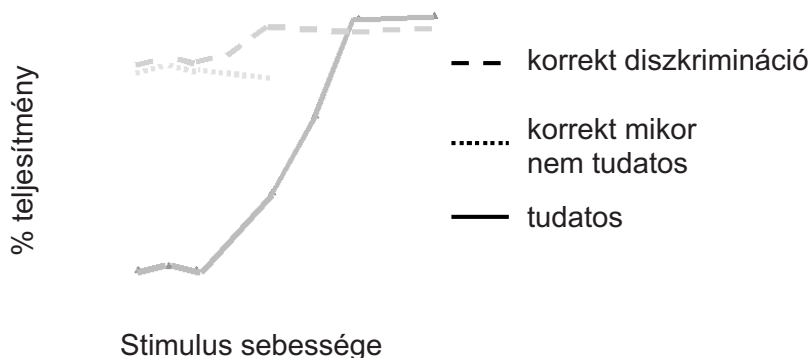
Horizontális vs. vertikális mozgás kontrasztösszefüggése



14/A. ábra. A vak látótérfélen belüli vizuális ingerlés mozgó fényjellel. A kísérleti személy végig helyesen jelöli meg a mozgás irányát, még akkor is, ha „nem tudja”, hogy lát. A látás tudatosulása a fényjel fényerősség-kontrasztjától függ: ha a fényerő-kontraszt alacsony, a kísérleti személy nem tudja, hogy lát. Amint a kontraszt emelkedik, a kísérleti személy „egyre inkább tudja, hogy lát”.

Blindsight: pszichofizika

Horizontális vs. vertikális mozgás sebességösszefüggése



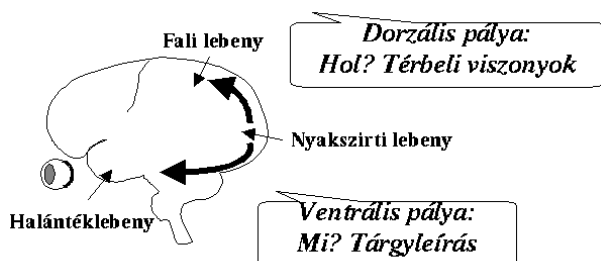
14/B. ábra. A vak látótérfelel belüli mozgó stimulus sebességfüggése. Amint a fényjel sebessége növekszik, némileg javul a kísérleti személy – egyébként is 80% feletti – teljesítménye, ugyanakkor ezzel párhuzamosan jelentősen javul annak tudata, hogy a kísérleti személy látja a fényjelet (Weiskrantz, 1997 nyomán).

Az eset arra figyelmeztet minket, hogy az érzékszerveinken keresztül az agyba jutó információkat az agy akkor is feldolgozza, ha az információ valamilyen oknál fogva nem jut a tudatunkba. S a tudatba bejutni kívánó szenzoros információknak egy mérhető erősséget el kell érnie.

A jelenség első leírásait követően többen arra hívták fel a jelenség kapcsán a figyelmet, hogy talán az elsődleges szenzoros agykérgi areák megléte nélkülözhetetlen a tudatos érzékelés szempontjából (Stoerig, 1996). Az a jelenség azonban, hogy kísérletes körülmények között az ingerintenzitás növelésével el lehetett érni, hogy az inger „belépjen a tudatba” annak ellenére, hogy az elsődleges látókéreg hiányzott, arra utal, hogy az elsődleges szenzoros agykérgi areák mégsem kulcsfontosságúak az ingerek tudatosulása szempontjából, és azok szerepét más agykérgi areák is át tudják venni.

Formalítás: a „mit látok” és „mit kezdjek vele” dilemmája

Amíg a vaklátás jelensége az elsődleges szenzoros kérgi areákkal áll összefüggésben, addig a szenzoros információk feldolgozásában részt vevő „magasabb” agykérgi areák kiesése is komoly jelentőségű a tudatos funkciók szempontjából. 1981-ben Mortimer Mishkin és Leslie Ungerleider, állatkísérletes adatok alapján, egy –



15. ábra. A látórendszer két fő pályarendszere. A dorzális pályarendszer, mely a nyakszirti és fali lebenyekben lévő látókérgi areákat foglalja magában, a térbeli látásért (Mishkin-Ungerleider elmélete), illetve a cselekvéssel kapcsolatos látási információk feldolgozásáért (Goodale elmélete) felelős. A ventrális pályarendszer, mely a nyakszirti és halántéklebenyekben lévő látókérgi areákat foglalja magában, a tárgyleírásért (Mishkin-Ungerleider elmélete), illetve a tárgy pontos leírásával kapcsolatos információk feldolgozásáért (Goodale elmélete) felelős

tól elmozdulva az agykéregben e két irányban helyezkednek el olyan agykérgi területek, amelyek a látási információkat feldolgozzák. Csakhogy nem azonos módon! A dorzálisan elhelyezkedő (occipito-parietális) látókérgi mezőkben elsősorban a térbeli látással (spatial vision) kapcsolatos információfeldolgozás folyik (a látott tárgy és környezetének viszonya, látott testek egymáshoz való viszonya stb.). Ezzel szemben a ventrális (occipito-temporalis) területeken folyik a látott tárgyak felismerése, azonosítása, azaz a tárgyleírás (object vision) (15. ábra).

Két kanadai kutató, Goodale és Milner (1991, 1992, 1993), agysérültekben nyert neuropszichológiai megfigyelések alapján a munkahipotézist módosította. A dorzális agykérgi látómezők a látási információt végrehajtási, azaz cselekvési, mozgási funkciók szempontjából dolgozzák fel: hogy milyen messze van tőlünk az elérendő tárgy, milyen az alakja, mérete – azaz: mennyire kell kinyújtjunk karunkat, milyen irányba, s mennyire kell kitérnünk a kezünket fogásra, ha a tárgyat, mondjuk egy teáscsészét, kezünkbe akarunk venni. Ez a látás akcióval kapcsolatos agykérgi hálózata. A ventrális agykérgi látómezők a fentivel ellentétben nem a látási információ „cselekvési szempontból” való feldolgozásával, hanem a látott tárgy megismerésével foglalkoznak. Ez a látás „percepció” alrendszere, amely a tárgyak pontos leírását, felismerését, azonosítását teszi lehetővé.

A két pályarendszer egymástól függetlenül is sérülhet – és gyakran sérül is. Vannak sérültek, akiknek dorzális, azaz „akciós” látási-alrendszerük sérül (és ezt látjuk képpalkotási eljárások segítségével), de ventrális (azaz a tárgy azonosításával, leírásával kapcsolatos) rendszere ép és korrekten működik (Goodale és mtsai, 1994). Az ilyen betegek hiába tudják pontosan azonosítani a látott tárgyakat, cselekvési szempontból nem tudnak mit kezdeni azokkal: „látom, hogy előttem egy söröskupa van, de mit kezdjek vele?” Ezzel szemben a ventrális azaz „percepció” látási-alrendszer

azóta igen széles körben elfogadott – munkahipotézist állított fel a látással kapcsolatos, „magasabb” agykérgi központok szerveződésével kapcsolatban (Mishkin és mtsai, 1983). A nyakszirti lebenyben lévő elsődleges látásközpontból az információk továbbjuthatnak mind a fali lebeny irányába (occipito-parietális vagy dorzális információáram), mind a halántéklebeny irányába (occipito-temporalis vagy ventrális információáram).

Az elsődleges látóközpont-

sérülése esetén a személynek fogalma sincs arról, hogy egy söröskupa van előtte az asztalon, de mégis utánanyúl, megemeli, és legnagyobb meglepedésére kihörpinti belőle jól megérdemelt sörét...

Mindez a tudatos agyi funkciók egy másik aspektusát világítja meg. A tudatban önálló életet élhet a tárgy képe, amelyet megismerünk, leírunk, elmondunk másoknak, és a tárgy mint cselekvésünk tárgya, amellyel akkor is tudunk értelmesen és rendeltetésszerűen kezdeni valamit, ha meg sem tudjuk mondani: mit tartunk a kezünkben...

Szinesztézia

„A kirakatban lila dalra kél egy nyakkendő” – írja Tóth Árpád a *Körúti hajnalban*. Lila dal? S egy nyakkendő dalolja?? Miféle keveredése ez az érzékeknek a költő fejében? A dallam, a hang, a hallás keveredik a színnel, a látvánnyal, a látási élménnyel?

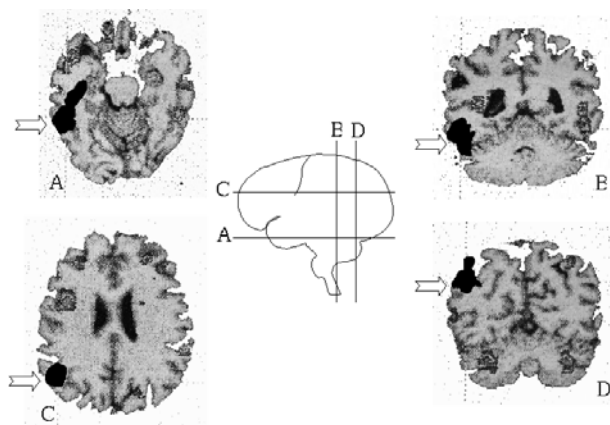
„Csupa homály-szag és ló-szag” – írja Lorca *A fekete bú románcában*. Hogyan? A lovak szagát még el tudjuk képzelni, na de milyen szaga lehet a homálynak? A homály szaga a hajnali pirkadat szaga? Mikor még alig ébred a természet, alig lát a szem, de már éber az orrunk, s szívja magába a hajnal szagait, bűzeit, illatait? Mi történt Lorcával? „Áthallás” van agyában a szaglása és látása között???

Igen! „Áthallás”, költői áthallás – az érzékek áthallása, az érzékek és érzések, hangulatot áthallása, együttes megjelenése.

Kosztolányi versét minden iskolás ismeri: Mostan színes tintákról álmodom. A vers a szinesztézia mintapéldája: a költő a színes tintákat más érzékszervi ingerekkel és hangulati benyomásokkal hozza össze. A „tréfás-lila, a bor-színű, a néma-szürke, a szomorú-viola, az égő-piros”: A színek az ízérzéssel (bor), a hallással (néma), a látással, látvánnyal és hőérzékeléssel (égő), valamint a hangulat állapottal (tréfás, szomorú) együtt jelennek meg.

A szinesztézia azonban nem csupán a költők privilégiuma. Létező élettani jelenség, amely mindannyiunkban kimutatható egy bizonyos mértékig (Baron-Cohen, 1987, 1993, 1996; Harrison és Baron-Cohen, 1995; Cytowic 1993). Sokan egy Chopin-etűd hallgatása alatt színeket látnak, mások belépve egy gyermekkori emlékekkel teli házba, a látványtól azonnal érzik a régi illatokat. A szinesztéziának számos formája ismeretes, gyakorlatilag minden érzéki modalitás „áthallhat” bármelyik másikba; de ezen áthallások gyakorisága nem azonos. A leggyakoribbnak a ’hangzóhallás (a, o, e stb.) – színlátás’ jelensége ismert. De nem csupán két szenzoros modalitás keveredhet, hanem több is egyszerre.

Vannak olyan személyek, akikben életük során szisztematikusan azonos módon jelentkezik az egyes szenzoros modalitások közti „áthallás”. Ezek a valódi szinesztéták. Például a hangzó – szín áthallás terén a valódi szinesztéták száma 1 millió ember közül egy, s ezek túlnyomó többsége nő. Egy ilyen valódi szinesztéta sok



16. ábra. Valódi hang-szín színesztéták esetében magánhangzó hallásakor nemcsak az elsődleges hallóközpont, hanem a fali lebenyben lévő látókérgi areák is aktiválódnak. A: horizontális, B: koronális metszet, melyeken a PET-felvételek során aktiválódó elsődleges hallóközpont látható (feketével, nyíl mutat rá). C: horizontális, D: koronális metszet, melyeken ugyan-ezen kísérletek során a fali lebenyben lévő látókérgi aktiválás látszik (feketével, nyíl mutat rá) (Paulesu és mtsai, 1995).

éven át kísérletes körülmények közt rendszeresen tesztelve konzekvensen azonos színeket „lát” az egyes magánhangzók hallásakor; s ezen képessége gyermekkora óta változatlanul megvan.

Képzelt csupán? Egyes „túlérzékeny”, „érzelmileg túlfűtött”, „költői hajlamú” egyének illúziója? Avagy a színesztézia a természet sajátos humora? A magasabb szellemi funkciók valamilyen „tévedése”? Az agy „mellékapcsolása”?

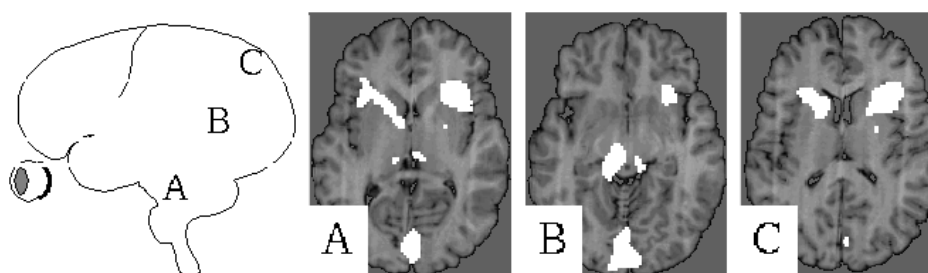
Funkcionális képalkotó eljárások, így PET segítségével vizsgáltak valódi színesztétákat többször is. Elardo Paulesu (1995) olyan színesztétákat vizsgált, akiknél bizonyos szavak hallása mindig azonos „színlátással” párosult. A PET-felvételek azt mutatták, hogy szemben a normális kontrollpopulációban látottakkal, ahol csupán a hallókérgi területek aktiválódtak az agyban a hanginger követően, a valódi színesztéták esetében mind a hallókéregben, mind a látókéregben számottevő aktiválás jött létre. Tehát a hanginger mérhető agyi hálózatokon keresztül nem csupán a hallórendszert, de a látórendszert is aktiválta (16. ábra). A normális populációval összehasonlítva ezek a hálózatok nem kórosak, de nem is „átlagosak”. Inkább úgy tekinthetők, mint meglévő, de nem túl hangsúlyos anatómiai kapcsolatok „megzimosodott” formái, amelyek valamilyen oknál fogva egy-egy személyben kiemelt funkcionális szerepet kapnak.

Búvárpatatok

A fentiekkel mindenképpen összefüggésben van az a jelenség, amelyet magam búvárpatatok jelenségnek neveznék. Épp a funkcionális képalkotó eljárásokkal végzett kísérletek „melléktermékeként” realizáltuk, hogy bizonyos jól ismert agyi rendszerek ingerlése során más rendszerek is kiterjedten aktiválódnak. Ennek azonban nincs feltétlenül „lecsapódása” a tudatban, s a kísérleti személy legtöbb esetben nem vesz tudomást arról, amiről az agyi aktivációs felvétel alapján tudomást kellene vennie.

Így például a szaglási rendszer vagy a feromon rendszer közvetlen (szagokkal vagy feromonokkal való) aktiválása során (Savic és mtsai, 2000, 2001) szisztematikusan aktiválódnak látókérgi areák, így az elsődleges látókérgi area is (17. ábra).

Mire utal mindez? Az érzékszerveinken keresztül agyunkba jutó információk ott olyan mechanizmusokat indítanak el, amelyek sokszor nem tudatosulnak, de az agy mérhető „alrendszereit” működésbe hozzák, és azok a befutó információk alapján élettani avagy viselkedési folyamatokat indítanak meg. Mindezen információk természetesen módosítják agyunk tevékenységét, sőt, tudatállapotunkat is, anélkül hogy ez a tény „bejutna” a tudatunkba.



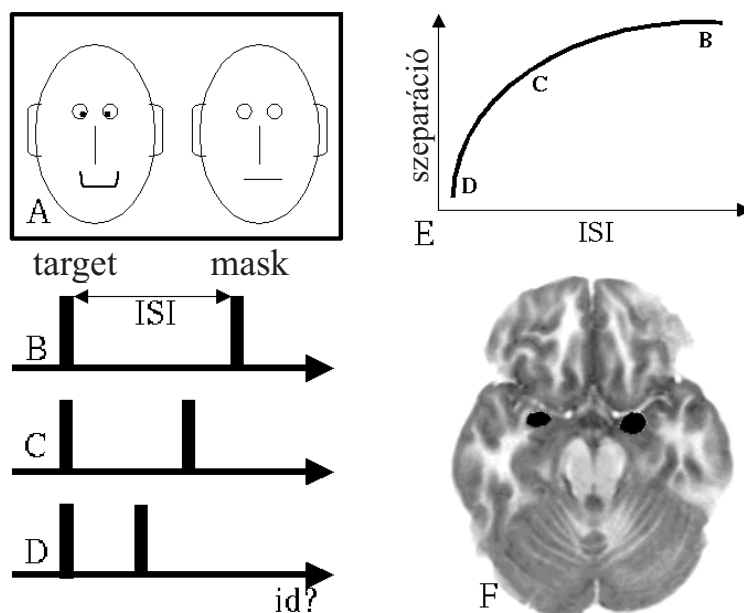
17. ábra. Szaganyagok diszkriminációja során nemcsak az elsődleges szaglókéreg aktiválódik a piriformis kéregben, hanem az elsődleges látókéreg is (lásd például Savic és mtsai, 2000, 2001).

Maszkolás

Nemcsak vaklátás esetében képzelhető az el, hogy nem jut el a tudatunkba az, amit valójában látórendszerünk feldolgozott, és mérhető módon erről meg is tudunk bizonyosodni. Élettani viszonyok között is elképzelhető, hogy a látórendszerünkbe bejutó magas szintű információt agyunk feldolgozza, de minderről nem tudunk, mert az információ tudatunkba nem jut be.

Ha két képet egymás után nézünk meg, mindkettő tartalma bejut a tudatunkba. Ha azonban ugyanazt a két képet viszonylag szűk időközzel látjuk egymás után, a második kép „elfedi”, maszkolja az első képet: az első kép nem jut be a tudatunkba, nem emlékezünk arra, hogy láttuk volna. A második kép „elfedi” az elsőt – legalábbis a tudatunk számára („backward masking”) (18. ábra).

A két inger bemutatási ideje, illetve a köztük eltelt idő kritikus a hatás elérése érdekében (Vidnyánszky és mtsai, 2001). Már rövid bemutatási idők (20-30 msec) elegendőek ahhoz, hogy ennyi idő alatt egy-egy önállóan bemutatott arcot felismerjünk, a látott kép a tudatunkba jusson. Maszkolás esetében ilyen rövid ideig mutatják az elfedendő „célingert” (target stimulust) a kutatók. A maszk ingerbemutatási ideje általában ennél hosszabb. Ami igen lényeges, az a két inger között eltelt idő, az



18/A. ábra. Maszkolás (backward masking) esetében az első célingert (target stimulus) egy bizonyos idő elteltével (ISI = inter-stimulus interval) a maszk követi. A célinger lehet egy érzelmet kifejező emberi arc, míg a maszk ebben az esetben egy közömbös emberi arc lehet. B. Ha az ISI hosszú (általában > 150 msec), a két inger külön látjuk (lásd E ábrát!). C. Ha az ISI rövidebb, már egyre kevésbé különállóan látjuk a két arcot. D. Ha az ISI igen rövid (tipikusan < 30 msec), a célingert „nem látjuk”, csak a maszkot. E. A célinger és a maszk „különlátása” az ISI függvénye. F. Az amygdala (fehér színben) normálisan akkor aktiválódik, ha érzelmet kifejező arcot látunk. De aktiválódik olyan „elmaszkolt” arc esetében is, amely érzelmet fejez ki, de egy semleges arccal „elmaszkoljuk”.

inter-stimulus intervallum (ISI) (Esteves és mtsai, 1993). Amint rövidül a két inger egymástól való elkülönítése, „külön-látása” zavart szenved. Amint az ISI 40-50 msec alá esik, a kísérleti személy tudatosan csak a második (maszk) ingerről tud beszámolni, az elsőt, a célingert „nem látja”.

Az elfedés ellenére megfelelő kísérleti körülmények között kimutatható, hogy az agy „megértette” a tudatába be nem jutó képi információt. Az elfedett kép (target stimulus) emocionális tartalma (amelyet „nem látott” a kísérleti személy) aktiválta azon agyterületet, amelynek közismerten kiemelkedő szerepe van az emóciók felismerésében: az amygdalát (Whalen és mtsai, 1998; Morris és mtsai, 1998, 1999). De nem csupán az agy aktiválódott: más kísérletekben a kísérleti személyek a „nem látott” arcok nyomán keletkezett emócióknak kifejezést adtak például arcizmaik mérhető működtetésével (mintha egy igazi haragos, fenyegető avagy barátságos, mosolygó arcot láttak volna...) (Dimberg és mtsai, 2000), illetve egyéb reakcióik (bőrellenállás változása stb.) jelzik, hogy agyuk „felfogta” az emocionális inger értelmét,

jelentését (Soares és Öhman, 1993, Öhman és Soarey, 1994). Ugyanakkor pszichiátriai megbetegedésekben (schizophrenia, bipoláris kedélybetegség) a folyamat súlyosan károsodik (McClure, 1999, 2001). A maszkolás jelenségét kísérleti állatban is ki lehet mutatni, sőt annak sejtszintű korrelátumát is leírták (Kovács és mtsai, 1995).

A maszkolás folyamatának képző eljárásokkal történő vizsgálata egyértelműen utal arra, hogy agyunk akkor is aktiválódik mérhető stimulációra, ha az inger megléte nem jut be a tudatunkba. A feltételezések szerint a fenti esetben a látott információ egy igen ősi, az agykéreg alatti látópályán futott be az amygdaláig, azt aktiválta. Az amygdala aktiváció ugyancsak beindítja a mérhető viselkedési válaszokat (arcizomzat mozgása, vegetatív idegrendszer reakciói), de a stimuláció nem jut be a tudatba, mert az inger az agykéregben lévő látással kapcsolatos areákat nem aktiválja.

Összegzés

Vizsgálhatók-e magasabb szellemi működések funkcionális agyi képző eljárások segítségével? Igen, ezen működések ideglettani „korrelátumai”: egyes jól körülírt idegpopulációk fokozott működése kimutatható, lokalizálható az emberi agyban a fenti eljárásokkal.

A komolyabb kérdés azonban nem ez, hanem az, hogy megtaláljuk-e az egyes tipikusnak nevezhető magasabb szellemi működések és az agy „bemérhető” tevékenységei között az összefüggést. Hogy megtaláljuk-e az idegműködéseknek azon formáit, amelyek a tudatos folyamatokkal együtt járnak, szemben az idegrendszer nem tudatosuló tevékenységeivel.

Úgy tűnik, sok mindent „látunk már” a funkcionális képző eljárások segítségével. És e téren az idegtudományi kutatások eszköztárának fejlődése minden bizonnyal megállíthatatlan lesz a következő évek során. Újabb és újabb részleteket fogunk megismerni agyunkról, s arról, mi történik agyunkban tudatos és nem tudatosuló magasabb szellemi működések során. És arról is, hogy ami kitölti az elmét, milyen mértékben köthető agyműködésekhez.

A gödéli nagy kérdés azonban – meggyőződésem szerint – továbbra is változatlanul fennmarad: *képesek leszünk-e ezen folyamatok teljes és kielégítő megismerésére és leírására?* Sapiienti sat...

Irodalom

Alexander, G. E., Mentis, M. J., Van Horn, J. D., Grady, C. L., Berman, K. F., Furey, M. L., Pietrini, P., Rapoport, S. I., Schapiro, M. B. és Moeller, J. R. Individual differences in PET activation of attention system predict accuracy during face matching. *NeuroReport*, 10 (1999):1965–1971.

- Azari, N. P., Nickel, J., Wunderlich, G., Niedeggen, M., Hefter, H., Tellmann, L., Herzog, H., Stoerig, P., Birnbacher, D., Seitz, R. J., Neural correlates of religious experience. *Eur J Neurosci.* 2001. Apr; 3 (8):1649–1652.
- Barbur, J. L., Weiskrantz, L., Harlow, J. A. The unseen color aftereffect of an unseen stimulus: insight from blindsight into mechanisms of color afterimages. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1999. Sep 28; 96 (20): 11637–11641.
- Baron-Cohen, S., Burt, L., Smith-Laittan, F., Harrison, J., Bolton, P. Synaesthesia: prevalence and familiarity. *Perception*, 1996; 25 (9): 1073–1079.
- Baron-Cohen, S., Harrison, J., Goldstein, L. H., Wyke, M. Coloured speech perception: is synaesthesia what happens when modularity breaks down? *Perception*, 1993; 22 (4): 419–426.
- Baron-Cohen, S., Wyke, M. A., Binnie, C. Hearing words and seeing colours: an experimental investigation of a case of synaesthesia. *Perception*, 1987; 16 (6): 761–767.
- Ben-Jacob, E. Bacterial Wisdom, Gödel's Theorem and Creative Genomic Webs. In *Physica A*, 248: 57–76 (1998)
- Cytowic, R. E. *The Man Who Tasted Shapes*. Abacus Books, 1993.
- Damasio, H. és Damasio, A. R. *Lesion Analysis in Neuropsychology*. Oxford University Press, 1989.
- Descartes, R. *De Homine*, 1662.
- Dimberg, U., Thunberg, M., Elmehed, K. Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychol. Sci.* 2000 Jan; 11 (1): 86–89.
- Esteves, F., Ohman, A. Masking the face: recognition of emotional facial expressions as a function of the parameters of backward masking. *Scand. J. Psychol.* 1993 Mar; 34 (1): 1–18.
- Fytche, D. H., Zeki, S. Brain activity related to the perception of illusory contours. *Neuroimage*, 1996 Apr; 3 (2): 104–108.
- Frackowiak, R. J. S., Friston, K. J., Frith, C. D., Dolan, R. J. és Mazziotta, J. C. (szerk.) *Human Brain Function*. San Diego: Academic Press, 1997.
- Gall, F. J. *Recherches sur le système nerveux en général, et sur celui en particulier*. Paris, 1809.
- Goodale, M. A., Milner, A. D., Jakobson, L. S., Carey, D. P. A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them. *Nature*, 1991 Jan 10; 349 (6305): 154–156.
- Goodale, M. A., Milner, A. D. Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci.* 1992 Jan; 15 (1): 20–25.
- Gödel, K. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme I. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, v. 38, p. 173–198. 1931.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Bookstein, F., Horwits, B., Rapoport, S. I. és Haxby, J. V. Age related changes in regional cerebral blood flow during working memory for faces. *Neuroimage* 8(1998):409–425.
- Gulyás, B., Ottoson, D. és Roland, P. E. (szerk.) *Functional Organization of the Human Visual Cortex*. Oxford: Pergamon Press, 1993. p. 391.
- Gulyás, B. és Roland, P. E., Cortical fields activated by form, colour, and binocular disparity discrimination: Functional anatomy by positron emission tomography. *Eur. J. Neurosci.*, 6(1994):1811– 1827.
- Gulyás, B., Heywood, C. A., Popplewell, D. B., Cowey, A. és Roland, P. E., Visual form discrimination from colour or motion cues: Functional anatomy by positron emission tomography. *Proc. Natl. Acad. Sci. US*, 91(1994):9965–9969.

- Gulyás, B., Roland, P. E., Heywood, C. A., Popplewell, D. B. és Cowey, A., Visual form discrimination from luminance or disparity cues: Functional anatomy by positron emission tomography. *NeuroReport* 5(1994):2367–2371.
- Gulyás, B. Functional organization of human visual cortical areas. In: Peters, A. and Jones, E. G. (szerk.) *Cerebral Cortex*. Vol. 12. New York and London: Plenum Press, 1997. pp. 743–775.
- Gulyás, B., Roland, P. E., Cowey, A., Heywood, C. A. és Popplewell, D. Visual form discrimination from texture cues: A PET study. *Human Brain Mapping*. 6(1998):115–127.
- Gulyás, B. The dynamics of cortical networks in the human brain. *NeuroReport*, 10(1999)i–ii.
- Gulyás, B. The dynamics of cortical macronetworks in the human brain. *Brain Res. Bull.* 53(2001):251–253.
- Gulyás, B. Neural networks for internal reading and visual imagery of reading: A PET study. *Brain Res. Bull.* 53(2001):319–328.
- Harrison J, Baron–Cohen S. Synaesthesia: reconciling the subjective with the objective. *Endeavour*. 1995;19(4):157–160.
- Herzog, H., Lele, V. R., Kuwert, T., Langen, K. J., Kops, E. R. és Feinendegen, L. E. Changed pattern of regional glucose metabolism during yoga meditative relaxation. *Neuropsychobiology* 23(1990):182–187.
- Holmes, G. 1945, The organisation of visual cortex in man. *Proc. R. Roy. Soc. Lond. B* 132:348–361.
- Holmes, G. and Horrax, G. 1919, Disturbances of spatial orientation and visual attention, with loss of stereoscopic vision. *Arch. Neurol. Psychiatry* 1:389–407.
- Hofstadter, D. R. Gödel Escher Bach: an Eternal Golden Braid. Basic Books, 1979.
- Kaas JH, Krubitzer LA, Chino YM, Langston AL, Polley EH, Blair N. Reorganization of retinotopic cortical maps in adult mammals after lesions of the retina. *Science* 1990 Apr 13;248(4952):229–231.
- Kleinschmidt A, Buchel C., Zeki S., Frackowiak R. S. Human brain activity during spontaneously reversing perception of ambiguous figures. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 1998 Dec 22;265(1413):2427–2433.
- Kosslyn S. M., Ganis G., Thompson W. L. Neural foundations of imagery. *Nat. Rev. Neurosci.* 2001 Sep;2(9):635–642.
- Kosslyn S.M., Behrmann M, Jeannerod M. The cognitive neuroscience of mental imagery. *Neuropsychologia*. 1995 Nov;33(11):1335–1344.
- Kosslyn S. M., Thompson W. L., Alpert N. M. Neural systems shared by visual imagery and visual perception: a positron emission tomography study. *Neuroimage*. 1997 Nov; 6(4): 320–334.
- Kovács G, Vogels R, Orban GA. Cortical correlate of pattern backward masking. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 1995 Jun 6;92(12):5587–5591.
- Kovács, G., Gulyás, B. és Roland P. E. Processing of 2D and 3D shapes in the visual association cortex. *Neuroimage* 7(1998):S335.
- Larsson J., Amunts K., Gulyás B., Malikovic A., Zilles K., Roland P. E. Neuronal correlates of real and illusory contour perception: functional anatomy with PET. *Eur. J. Neurosci.* 1999 Nov;11(11):4024–4036.
- Ledberg A. Robust estimation of the probabilities of 3-D clusters in functional brain images: application to PET data. *Hum. Brain. Mapp.* 2000 Mar;9(3):143–155.

- Ledberg, A., Lkerman, S. és Roland, P. E. Estimation of the probability of 3D clusters in functional brain images. *Neuroimage* 8(1998):113–128.
- Lueck, C. J., Zeki, S., Friston, K. J., Deiber, M. P., Cope, P., Cunningham, V. J., Lammertsma, A. A., Kennard, C. és Frackowiak, R. J. S. The colour centre in the cerebral cortex of man. *Nature* 240(1990):386–389.
- McClure R. K. The visual backward masking deficit in schizophrenia. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*. 2001 Feb;25(2):301–311.
- McClure R. K. The visual backward masking deficit in schizoaffective disorder. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*. 1999 Jul;23(5):785–790.
- McClure R. K. Backward masking in bipolar affective disorder. *Prog. Neuropsychopharmacol. Biol. Psychiatry*. 1999 Feb;23(2):195–206.
- Milner A. D., Goodale M. A. Visual pathways to perception and action. *Prog. Brain. Res.* 1993;95:317–337.
- Mishkin, M., Ungerleider, L. G., and Macko, K. A. Object vision and spatial vision: two cortical pathways. *Trends Neurosci.* 6(1983):414–417.
- Morris JS, Öhman A, Dolan RJ. Related Articles, Free in PMC. A subcortical pathway to the right amygdala mediating „unseen” fear. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 1999 Feb 16;96(4):1680–1685.
- Morris J. S., Öhman A., Dolan R. J. Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature.* 1998 Jun 4;393(6684):467–470.
- Öhman A., Soares J. J. „Unconscious anxiety” : phobic responses to masked stimuli. *J. Abnorm. Psychol.* 1994 May;103(2):231–240.
- Paulesu E., Harrison J., Baron-Cohen S., Watson J. D., Goldstein L., Heather J., Frackowiak R. S., Frith C. D. The physiology of coloured hearing. A PET activation study of colour-word synaesthesia. *Brain.* 1995 Jun;118 (Pt 3):661–676.
- Penfield, W. G. *The Cerebral Cortex of Man.* 1950.
- Penfield, W. G. *Epilepsy and the Functional Anatomy of the Human Brain.* 1954.
- Penfield, W. G. *The Excitable Cortex in Conscious Man.* 1958.
- Poppelreuter, W. Die psychischen Schädigung durch Kopfschuss im Kriege 1914/16. Leipzig: Verlag von Leopold Voss, 1917.
- Poppelreuter, W. *Disturbances of Lower and Higher Visual Capacities Caused by Occipital Damage.* Clarendon Press, Oxford, 1990.
- Ptito M., Johannsen P., Faubert J., Gjedde A. Activation of human extrageniculostriate pathways after damage to area V1. *Neuroimage.* 1999 Jan;9(1):97–107.
- Putnam, H. *Reason, Truth and History.* Cambridge University Press, 1981.
- Pylyshin, Z. W. Mental imagery: In search of a theory. *Behavioural and Brain Science*, 2002 (in press).
- Ramachandran V. S., Gregory R L. Perceptual filling in of artificially induced scotomas in human vision. *Nature.* 1991 Apr 25;350(6320):699–702.
- Roland, P. E. *Brain Activation.* New York: Wiley and Sons., 1993.
- Roland, P. E. és Gulyás, B. Assumptions and validations of statistical tests for functional neuroimaging. *Eur. J. Neurosci.* 8(1996):2232–2235.
- Roland P. E., Gulyás B. Visual imagery and visual representation. *Trends Neurosci.* 1994 Jul;17(7):281–287.
- Roland, P. E. and Gulyás, B. Visual representations of scenes and objects: retinotopical or non-retinotopical? *Trends Neurosci.* 17(1994):294–297.

- Roland, P. E. and Gulyás, B. Beyond 'pet' methodologies to converging evidence. *Reply. Trends Neurosci.* 17(1994):515–516.
- Russel, Bertrand és North Whitehead, Alfred. *Principia Mathematica.* 1910–1913.
- Savic, I., Gulyás, B., Larson, M. and Roland, P. E. Olfactory functions are mediated by hierarchical and parallel processing. *Neuron* 26(2000):735–745.
- Savic, I. Berglund, H., Gulyás, B., Roland, P. E. Odorous steroids cause sex differentiated hypothalamic activations in humans. *Neuron* 31(2001):661–668.
- Soares JJ, Ohman A. Backward masking and skin conductance responses after conditioning to nonfeared but fear-relevant stimuli in fearful subjects. *Psychophysiology.* 1993 Sep; 30(5):460–466.
- Stoerig P. Varieties of vision: from blind responses to conscious recognition. *Trends Neurosci.* 1996 Sep;19(9):401–406.
- Stoerig P., Cowey A. Blindsight in man and monkey. *Brain.* 1997 Mar;120 (Pt 3):535–559.
- Szechtman, H., Woody, E., Bowers, K. S. és Nahmias, C. Where the imaginal appears real: a positron emission tomography study of auditory hallucinations. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95(1998):1956–1960.
- Tarski, A. 1944/1990 Bizonyítás és igazság. Budapest: Gondolat
- Trexler L. E. Volitional control of homonymous hemianopsia: a single case study. *Neuropsychologia.* 1998 Jun;36(6):573–580.
- Toga, A. W. And Mazziotta, J. C. (eds.) *Brain Mapping. The Methods.* Academic Press, 1996.
- Toga, A. W. and Mazziotta, J. C. (eds.) *Brain Mapping. The Systems.* Academic Press, 2000.
- Vidnyanszky Z., Papathomas T. V., Julesz B. Contextual modulation of orientation discrimination is independent of stimulus processing time. *Vision Res.* 2001 Oct;41(22):2813–2817.
- Watson, J. D., Myers, R., Frackowiak, R. S. J., Hajnal, J. V., Woods, R. P., Mazziotta, J. C., Shipp, S. és Zeki, S. Area V5 of the human brain: evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex* 3(1993): 79–94.
- Weiskrantz L. Blindsight revisited. *Curr. Opin. Neurobiol.* 1996 Apr;6(2):215–220.
- Weiskrantz L. Sources of blindsight. *Science.* 1993 Jul 23;261(5120):494; discussion 494–495.
- Weiskrantz L. The Ferrier lecture, 1989. Outlooks for blindsight: explicit methodologies for implicit processes. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 1990 Apr 23;239(1296):247–278.
- Weiskrantz, L. *Consciousness Lost and Found.* Oxford University Press 1997.
- Whalen P. J., Rauch S. L., Etcoff N. L., McInerney S. C., Lee M. B., Jenike M. A. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J. Neurosci.* 1998 Jan 1;18(1):411–418.
- Zeki, S. (1990) A century of cerebral achromatopsia. *Brain*, 113, 1721–1777.
- Zeki, S., Watson, D. G., Lueck, C. J., Friston, K. J., Kennard, C., és Frackowiak, R. S. J. (1991) A direct demonstration of functional specialization in human visual cortex. *J. Neuroscience*, 11, 641–649.