

*Russell A. Poldrack: Az új gondolatolvasók. Mit árul el gondolatainkról az agyi képpalkotás (és mi az, amit nem)? Pallas Athéné Könyvkiadó, 2019; ISBN 9786155884597*

*Előhang # 1:* A világ legnagyobb csodája bizonyára maga az Univerzum. Létrejöttének vagy akár örökkévalóságának titkát nem is kutatva, elég arra gondolnunk, vajon miként jutott az anyag ahhoz az önszervező képességhez, amely létrehozta az Univerzum struktúráit és működési mechanizmusait, majd, folytatva e „mesterségét”, a mind bonyolultabb molekuláris szerkezeteket, létrehozva a fejlődőképes életet is.

A másik, alighanem megmagyarázhatatlan nagy csoda az agyunk, legalábbis az evolúció elméletének alapján szemlélve azt. „Sok van, ami csodálatos, de az embernél nincs csodálatosabb.” Szophoklész majd 2500 éve írta e sorokat, s azóta civilizációk sora, szellemi teljesítmények mérhetetlen gazdagsága igazolja szavait. S mindez egy fejenként kb. 1500 grammos sejt tömeg működésén alapszik – ez az agyunk. Törzsfelődésünk folyamatában van egy választóvonal: addig magyarázhatjuk fejlődésünket az evolúció „fejlesztő” és szelektáló mechanizmusaival. Ez a vonal feltehetően valahol ott leledzik, ahol elkezdtek kialakulni az embernek a többi állatét meghaladó szellemi képességei. Onnan tovább... nos, talán még a törzsön belüli együttműködésnek a minden más fajét meghaladó minőségét is írhatjuk az evolúció számlájára, ám erősen kétséges, megtehető-e ez a szellemi élet akár legprimitívebb megjelenésével is. Az pedig különösen izgalmas kérdés, lesz-e valaha is magyarázat, amely képes agyunk magasabb szellemi képességeinek létrejöttét – kezdve akár Altamira barlangrajzaival, a Willendorfi Vénusszal, Ó-Egyiptom alkotásaival, Mózes kőtábláival, Hammurapi törvénykönyvével (s mindezek nem is annyira önmagukért fontosak, hanem a mögöttük álló kultusz megjelenítőjeként) vagy épp az antik görögök kimagasló szellemi teljesítményeivel – az evolúciónak betudni. Napjainkra aktualizálva, Stanisław Lem nyomán némi cinizmussal azt is mondhatjuk, hogy az evolúció azért hozta létre az embert, mert maga nem volt képes a mesterséges intelligenciát megalkotni – ám „az éber lét útjára visszahullva” hogyan magyarázzuk, mi ruházhatta fel agyunkat ilyen szó szerint rendkívüli képességekkel?

*Előhang # 2:* Gondoljunk bele: a jelenlegi állás szerint agyunk kb. 86 milliárd neuronból áll, és azok tízszer annyi gliasejttel működnek együtt. A neuronok közötti kapcsolatok száma nagyságrendekkel nagyobb a neuronokénál. Vizsgálni pedig ezt a felfoghatatlanul bonyolult és tömör rendszert ugyan egyre alaposabban, ám még mindig csak nagyon felületesen tudjuk, ami roppant megnehezíti a megismerését.

*Előhang # 3: Gondolatolvasás:* e könyvnek is roppant izgalmas témája, és sokfajta – jó-, vagy rossz szándékú – törekvés Szent Grálja. Poldrack itt bemutatja, milyen kutatások folynak és milyen eredmények születtek már tudatos folyamataink és gondolkodásunk megfigyelésére és dekódolására, s döbbenetes eredményekről számol be, milyen sokra jutott már a tudomány e téren. Meglehetősen valószínű azonban, hogy amíg nem tudjuk részletesen regisztrálni és elemezni a jelforgalmat az agy belső rendszerében, s ehhez még sok munka,

kutatás áll előttünk, addig a gondolatok tartalmát részletesen feltáró gondolatolvasásra sem leszünk – szerencsére! – képesek.

*A szerzőről* (mert ennél a témánál különösen számít a hitelesség): „Poldrack (1967) amerikai pszichológus és idegtudós. A pszichológia professzora a Stanford Egyetemen, tagja a Stanford Idegtudományi Intézetnek, és igazgatója a Stanford Center for Reproducible Neuroscience-nek.” (Wikipedia) Ez utóbbiról a honlapjáról: „2015-ben alapították azzal a céllal, hogy a nagyteljesítményű számítástechnikát felhasználják az idegtudományi kutatók megbízhatóságának növelésére.”

*Szakmai elismerései és kiemelt pozíciói* (forrás: Stanford Profiles):

- a Kísérleti Pszichológusok Társaságának választott tagja (2018);
- a Pszichonómiai Társaság tagja (2017);
- A Pszichológiai Tudomány Szövetsége tagja (2009);
- az Amerikai Pszichológiai Szövetség „Distinguished Scientific Award” díja szakmai pályafutása korai szakaszában a pszichológiában elért eredményeiért (2005);
- Az Emberi Agy Feltérképezésének Szervezete által adományozott „Wiley Young Investigator Award” kitüntetés (2005);
- a Neuroinformatics 2017 társelnöke (2017);
- A Serdülőkori Agy Kognitív Fejlődése Kutatása Külső Tanácsadó Testületének tagja (2017-től a jelenig);
- Az Emberi Agy Feltérképezésének Szervezete oktatási elnöke (2017–2018);
- a Human Connectome Project külső tanácsadó testületének elnöke (2011–2015);
- Az Emberi Agy Feltérképezésének Szervezete elnöke (2009–2010).

*Néhány karakteres mondat:*

„Az agy alapvetően két sejtípusból épül fel. Az idegsejtek azok, amelyeket hagyományosan nélkülözhetetlennek tartottunk az agy által végzett számítások elvégzéséhez. A másik sejtípusba a gliasejtek tartoznak, ezek biztosítják az agy szerkezeti alátámasztását, valamint az idegsejtek biológiai támogatását. Nem sokkal ezelőttig úgy tudtuk, hogy a gliasejtek mindössze támogató szerepet játszanak, mára azonban világossá vált, hogy jelentős részt vállalnak az információfeldolgozás folyamatában is. *Ebben a könyvben mégis inkább az idegsejtek működésére koncentrálunk majd, mivel az idegtudomány művelői leginkább ezeket kutatják.*” (Idézetek innen a könyvből, kiemelések a recenzió szerzőjétől.)

[A számítógépben] „a szoftver alapvetően elkülönül a hardvertől. Az agyban ezzel szemben a hardver és a szoftver elválaszthatatlan egymástól, a 'program' az idegsejtek közti kapcsolatokban tárolódik, a tanulás pedig ezeknek a kapcsolatoknak a változása útján valósul meg. Az agy tehát valójában megváltoztatja saját hardverének konfigurációját.”

„Az agy különböző területeinek kommunikációja egymással rávilágított arra, hogy az agy hogyan képes integrált hálózatként működni ahelyett, hogy csupán specializálódott szakértők csoportját alkotná.”

„Jelen könyv középpontjában az agyi képpalkotó eljárások állnak, amelyek a kognitív idegtudomány legfontosabb eszközeinek számítanak napjainkban.”

„Az agyi képpalkotó vizsgálatok bebizonyították, hogy az emberi agy számos olyan jellemzővel bír, mint egy kisvilág-tulajdonságú hálózat, emiatt a hálózatelemzés eszközeinek felhasználásával számos érdekes felfedezést tehetünk az agy funkciói kapcsán is, amelyekkel részletesebben is foglalkozunk majd az agyi kapcsolatok tárgyalásakor az 5. fejezetben.”

„A kutatásaim középpontjában éppen az áll, hogy mi az, amit megtudhatunk az agyi képpalkotó eljárásokkal nyert adatokból, és mi az, amit nem. Munkám alapján az egyik legegyszerűbben levonható következtetés az volt, hogy egy adott agyterületen tapasztalható aktivitás önmagában semmit sem mond arról, hogy a résztvevő milyen pszichés állapotban van: éppúgy érezhet félelmet, mint elégedettséget vagy bármi egyebet.”

Az agykutatás központi kérdése: „Az agy működésének megértése kétségteljesen napjaink legnagyobb kihívást jelentő tudományos problémája. Hogyan képes kevesebb mint másfél kilogramm szövet olyan szellemi teljesítményt produkálni, amely kenterbe veri a világ legkifinomultabb számítógépeit, miközben annyi energiát sem emészt fel, mint egy pislákoló villanykörte? Az idegtudománnyal foglalkozó szakemberek – akik különböző szinten végeznek kutatásokat – célja e kérdés megválaszolása. Az agy működésével kapcsolatban rendelkezésre álló jelenlegi tudásunk zömmel más fajok megfigyeléséből származik, kezdve a férgektől és muslicáktól a különböző emlősökig bezárólag, mint például egerek, patkányok és majmok. Bár ezek a kutatások számos tanulsággal szolgáltak számunkra, legtöbbször mégis arra lennénk igazán kíváncsiak, hogy miként működik az emberi agy, amelynek számos aspektusa egyszerűen nem tanulmányozható nem emberi fajok megfigyelésével; ha azt akarjuk megérteni, hogy miként gondolkodik az ember, akkor embereket kell tanulmányoznunk.”

Erről szól: „Ez a könyv azt mutatja be, hogy egy sor új technológia segítségével hogyan váltunk képessé az emberi agy minden eddigénél részletesebb megfigyelésére. Ezek az eszközök agyi képpalkotó eljárásokként lettek ismertek, mivel lehetővé teszik, hogy felvételeket készítsünk az emberi agyról, amelynek révén kideríthetjük, hogy miből épül fel (amelyet az agyszerkezetnek nevezünk), és hogy miképpen működik (amelyet pedig agyi funkcióknak hívunk). Különösen egy eszközt kell kiemelniünk, amely forradalmasította az aggyal kapcsolatos képpalkotást: ez a mágneses rezonanciavizsgálat (MRI). Ez a hihetetlenül sokoldalú eszköz lehetővé tette, hogy az idegtudomány kutatói biztonságos körülmények között tanulmányozhassák az emberi agyat működés közben, amely segít az agyunk által végzett számos pszichés funkció megértésében. (‘Biztonságos körülmények között’ – ez nem azt jelenti, hogy egyébként reájuk leselkedett volna bármi veszély, hanem hogy azokat, akiken az agyműködést tanulmányozták, nem veszélyeztették a vizsgálati módszerek – Osman P.)

Némely esetben – az agy működésébe nyert bepillantással – az MRI arra is lehetőséget ad, hogy mérhessük, amit a vizsgált személy éppen tapasztal vagy gondol például egy adott feladat elvégzése, vagy akár pihenés közben – ezt egyesek merészen 'gondolatolvasásnak' nevezik, ha pontosabban szeretnénk fogalmazni mégis inkább dekódolásról kell beszélnünk. (Mérni, amit a vizsgált személy gondol? Nevezük bárminek, maga Poldrack is kifejti a továbbiakban, hogy ez ma már ad, ám még csak szűk körben, némi betekintési lehetőséget – Osman P.)

Az MRI ugyanakkor korántsem csupán az agynak egy adott időpillanatban történő vizsgálatára képes. *Ez az eljárás azt is megmutatja, hogy a tapasztalatok hatására hogyan változik idővel az agy, továbbá azt is, hogy különböző emberi egyedek agya miként változik gyermekkoruktól időskorukig.* (Fontos tudnunk, hogy ez a szerkezeti és az állományváltozások megmutatását jelenti, magának az agyműködésnek a változását csak ezek tükrében – Osman P.) *Mindebből megtudhattuk, hogy valamennyi ember agya hasonló általános fejlődési utat követ, ugyanakkor akadnak jelentős egyéni különbségek is, továbbá bepillantást engedett a mentális betegségek kialakulásához vezető agyi diszfunkciókba*” – az előzőekben jelzett módon.

*Új kérdések megjelenése: „Az MRI használata számos olyan új kérdést is felvetett, amely túlmutat a tudományon, és ahhoz a végső kérdésfeltevéshez vezet, hogy miképpen gondolkodunk mi magunkról mint emberi lényekről. Ha a gondolkodás csupán az MRI segítségével megjeleníthető biológiai funkció, akkor hová lesz az emberi tudat misztériuma? (A kérdés első fele furán többértelmű, ám annyi bizonyos, hogy a gondolkodás messze nem csak biológiai funkció. Talán nem téves mondanunk, hogy a gondolkodás épp, hogy ott kezdődik, amikor túllép a biológiai funkción – Osman P.) Ha döntéseink pusztán az agyunk által végzett számítások eredményei, akkor hogyan lehetünk 'mi magunk' felelősek azokért? ('Mi magunk'? De hiszen – a társadalomból jövő hatásokat leszámítva – teljes joggal magunkra adaptálhatjuk a XIV. Lajosnak tulajdonított híres mondást: Az agyam én vagyok! – Osman P.) Vajon a függőség az 'agy betegsége', az önkontroll hiánya, esetleg mindkettő? (Lévé az önkontroll is az agy terméke, a kérdésnek mélyebbre kell ásnia. A 8. fejezet megteszi – Osman P.) Kell-e aggódnunk amiatt, hogy az agyi képpalkotást marketing szakemberek arra használhatják, hogy az eddiginél is hatékonyabban adják el a portékáikat? (De még mennyire! Azoknak a fránya szakembereknek nagyon is az a dolguk, hogy a legalitás – és jó esetben az etika – keretein belül minden eszközt felhasználjanak a kitűzött cél elérésére. És ne csapjuk be magunkat azzal, hogy ebben csak a marketingesek miatt aggódnunk! – Osman P.) Miután a jelen kötetben átfogóan bemutattam az agyi képpalkotás lehetőségeit és korlátait, pontosan ezeket a kérdéseket igyekszem majd megválaszolni.”*

*Az MRI-alapú vizsgálatokra összpontosít: „Mi is az az agyi képpalkotás? A címben szereplő kifejezés használatakor általánosságban azokra a technikákra utalok, amelyek segítségével kívülről bepillantást nyerhetünk az emberi agyba. (A 'bepillantás' itt vizuális megjelenítést*

jelent – Osman P.) Ennek számos különböző módja létezik, én ugyanakkor *legfőképp az MRI-t helyezem majd a középpontba*, mivel biztonságos és rugalmas természetének köszönhetően ez vált a legelterjedtebb agyi képalkotó eszközzé. (Ahogy utaltunk rá, 'biztonságos' a vizsgált személyre nézve – Osman P.)

*Különbő MRI-készülékek használhatók az agy különböző aspektusainak vizsgálatára: ezeket alapvetően két csoportba fogjuk osztani, beszélhetünk szerkezeti és a funkcionális MRI-ről. A strukturális MRI az agyszövet felépítését vizsgálja különböző szempontok alapján, például azt, hogy mekkora az adott szövet víz- vagy zsírtartalma. Mivel ezek az agy különböző részeiben eltérő arányban vannak jelen, az MRI-felvételen az adott terület világosabb vagy sötétebb formában jelenik meg. Az agy ilyen szempontok szerinti vizsgálata rendkívül hasznos az agy betegségeinek felderítésekor (amennyiben azok az agy szerkezetében és állományában megmutatkoznak – Osman P.), továbbá akkor, ha fel kívánjuk mérni az emberi egyedek különböző agyterületeinek mérete és formája között mutatkozó különbségeket. Ez a vizsgálati módszer ugyanakkor semmit sem árul el arról, hogyan működik az agy – ehhez funkcionális MRI-re van szükségünk (fMRI). Az fMRI akkor született meg, amikor a kutatók rájöttek, hogy az MRI-vel kimutathatják az agyi aktivitás lenyomatát, mivel az hatással van a véroxigén szintre – az agy bizonyos részei mintha 'felragyognának'. A 2. fejezetben részletesen foglalkozunk majd az fMRI feltalálásával és működési elvével."*

*Mit is művel az agyunk?* „Először azonban fel kell tennünk a kérdést: mit jelent az 'agyi funkció'? Testünk minden egyes szerve azért jött létre, hogy egy adott biológiai funkciót lásson el. *Mi az agy biológiai funkciója? Ha egyszerűen szeretném szavakba önteni, azt mondanám: információt dolgoz fel. Legegyszerűbben úgy tekinthetünk az agyra, mint szervezetünk központi számítógépére*, melynek feladata, hogy információt gyűjtsön a minket körülvevő világból, majd ezt az információhalmazt arra használja fel, hogy megmutassa, mit tegyünk annak érdekében, hogy hosszú és eredményes életet élhessünk, no meg persze arra (ami az evolúció szempontjából a legfontosabb), hogy szaporodhassunk.” – „Hosszú és eredményes életet”? Alighanem a törzsejlődéstől kapott „biológiai szoftverünk” nagyjából csak arra szolgált, hogy mindig túléljük a pillanatot – azaz a biológia és azon keresztül a fajfenntartás céljait szolgálta, amint azt az állatvilág többi fajánál ma is teszi. A társas viszonyokban élő ember juthatott el odáig, hogy erőforrásai és az azokból adódó lehetőségei elkezdtek ezen túlnőni, „gondolkodása” – ha már használhatjuk rá ezt a fogalmat – megváltozott, és mindennek köszönhetően fokozatosan kialakulhattak távlatibb, illetve összetettebb céljai is. Megkockáztatható, hogy így „alkalmazásszoftverek” épültek rá az agy addig irányító operációs rendszerére szociológiai célok szolgálatában, és tették az egészséget mindinkább a „hosszú és eredményes élet” megélésének irányítójává. Végül is, jóllehet agyunk „alaptevékenysége” ma is igen sokban egybeesik az ősemberével, aki a mélyből még mindig meglepően sokszor beleszól a magatartásunkba és gondolkodásunkba, magasszintű agytevékenységeink igen nagy hányada olyan „alkalmazásokhoz” kötődik, amelyeknek már igen kevés közülük van a biológiai lényhez. Valójában idesorolhatjuk egyebek közt a tudomány és

a művészet egészét – még akkor is, ha pl. az érzetek és indulatok között, amelyeket bizonyos alkotások keltenek bennünk, nagyon ősi reflexek is lehetnek.

„Az agy ugyanakkor nem a testünk egyetlen számítógépe – példának okáért a beleink is rendelkeznek ilyen szerkezettel, amelyet a pár milliárdnyi idegsejtből álló bélidegrendszer néven ismerünk –, azonban kétségkívül a legfontosabb, ha abból a szempontból tekintünk rá, hogy mi tesz minket, embereket egyedülállóvá.” Ne feledjük: „egyedülálló” voltunk egyik része nyilvánvalóan a képességünk a magasabb szellemi tevékenységekre, a másik viszont bizonytalansággal a sokoldalúságunk. Külön képzettség nélkül messze elmaradunk pl. a hódok „vízépítőmérnöki” képességeitől, szintúgy sok madárfaj fészeképítő „tudásától”, és sorolhatnánk. Ám míg egy-egy faj csak a maga, törzsfajlódás adta specializációjának a mestere, mi képesek vagyunk bizonyos határok között csaknem korlátlanul tanulni, sőt létre is hozni szerteágazóan újat és még újabbat.

*Az alkalmazkodás képessége:* „Akármi legyen is [agyunk biológiai funkciója], bizonyosan nagyon fontos lehet – bár az agy testtömegünknek mindössze 2%-át teszi ki, a testünk által felhasznált energia 20%-át emészti fel. Megtérül-e számunkra a hatalmas energiabefektetés, amit agyunk működtetésébe fektetünk? Erre a kérdésre a rövid válasz az, hogy cserébe megkapjuk az alkalmazkodás képességét. Éppúgy, ahogyan az emberi szervezet hihetetlenül sokféle étrendhez képes alkalmazkodni (az inuitok fókahús és bálnaszír diétájától a csendesóceáni szigetvilág lakóinak keményítőben gazdag zöldségekből, mint amilyen a tárógyökér álló menüéjig), az emberi agy is képes a kognitív környezeti tényezők és kihívások széles skálájához alkalmazkodni. Számos olyan élőlény él a Földön, amelyek jól alkalmazkodnak szélsőséges körülményekhez, azonban nagyon kevés olyan élőlényt ismerünk, amely olyan sokféle környezetben tud létezni, mint az ember.”

*Előrejelzés és tanulás a túlélésért:* „Meglátásunk szerint az agy alkalmazkodóképességének egyik kulcsa az, hogy képes előrejelzésre szolgáló modellt alkotni az elé táruló világról. Csak akkor vesszük észre, hogy valójában mennyire függünk előfeltevéseinktől, ha azok durván cserbenhagynak bennünket.

Az elmúlt időszakban számos kutatás igazolta, hogy az agy folyamatosan előrejelzéseket gyárt a világról, illetve felülvizsgálja azokat, ha tévesnek bizonyulnak. Tulajdonképpen pontosan az előrejelzések téves volta alkotja a tanulás lényegi elemét; ha tökéletesen viselkedünk és a világ pontosan az elvárásaink szerint halad, akkor miért is változtatnánk bármin? A dopamin nevű neurotranszmitter az egyik legfontosabb tényező, amely összekapcsolja a tanulást a téves előrejelzésekkel. A dopamin neuronok folyamatosan azt közvetítik az agy többi részének, hogy mennyire felel meg a világ működése az elvárásainknak, aktivitásuk megnő, ha az elvárásainknál jobban alakulnak a dolgok, és csökken, ha a világ csalódást okoz. Az idegtudomány egyik legnagyobb sikere annak az elméletnek a kidolgozása volt, amely összekapcsolja a dopamin 'predikációs hiba' feldolgozásában játszott szerepét azzal a képességünkkel, hogy a 'megerősítéses tanulásnak' nevezett folyamat révén kiigazítsuk az előrejelzéseinket. Mindezt részletesen tárgyaljuk majd a 7. fejezetben, az agy döntéshozó képességével összefüggésben.”

„Az agytól az elméig”: „Az agy olyasvalami, amelynek létezését senkinek sem okoz nehézséget felfogni: olyan szövetdarabról beszélünk, amelyet láthatunk, megmérhetünk, és – ha éppen idegsebészek vagyunk – meg is érinthetünk. De vajon mi az elme? Ösztönösen tudjuk, hogy mit jelent elmével rendelkezni, de vajon miből épül fel? (Ösztönösen? Mióta is tudja az ember, hogy elme lakik benne? Mióta van egyáltalán tudatában annak, hogy gondolkodik? Megdöbbenő felismerés lehetett, amikor az utóbbira rájött, hiszen ezzel arra is, hogy többé-kevésbé ura önmagának, életének és cselekedeteinek, s keresni kezdhetette, hogy ha mégsem, hát miért nem – Osman P.)

Ha történeti oldalról közelítünk a kérdéshez, a válasz az, hogy az elme egy másik síkon létezik. Descartes híres feltételezése szerint az elme (amely alatt ő a 'lelket' értette) az agy közepén található parányi képződményen, a tobozmirigyen keresztül érintkezik a fizikai valósággal. De vajon *hogyan képes egy fizikai megtestesülés nélküli dolog kapcsolatba lépni a fizikai valósággal? Ez a kérdés üldözte folyamatosan a dualizmus elméletét, amely arról beszél, hogy az elme nem része a fizikai világnak.*

„Minél többet tudunk meg az agy működéséről, annál világosabbá válik, hogy az elme és az agy valójában egy és ugyanaz.” – „Az elme és az agy ugyanaz” – ha nem a szellem és test dichotómia szerint gondolkodunk, akkor világos, hogy az elme az agy rendszerében létezik, s alighanem megragadható abban, hogy a magas szellemi működéssel járó és abból keletkező immateriális elemek és folyamatok összessége. Ugyanakkor valószínűleg sohasem jutunk el odáig, hogy az elme tartalmát egy az egyhez azonosítani tudjuk az agy fizikai vagy akár fiziológiai elemeivel, vagy működésének folyamatát az abban részt vevő agyi alkotóelemekkel – pl. hogy az utóbbiak közül melyek, hogyan hozzák létre az intuíciót. Nyers közelítéssel talán mondható, hogy az elme az agy működése alapján keletkező szinergikus immateriális többlet.

Az *agy és az elme azonosságáról* írja Poldrack, hogy „[e]nnek lenyűgöző példáját szolgáltatott az agy elektromos stimulációját alkalmazó kutatások”. Leírja, mi történt, amikor kísérletben stimulálták az alany agyának az „arcfelismerésért felelős” területét. „Az esetről publikált a tanulmánnyal együtt a videófelvételeket is nyilvánosságra hozták, melyekből jól látható, *egy egészen enyhe elektromos impulzus is megváltoztatja az érzékelésünket.*” – Ám megtaláljuk-e valaha is, pontosan hogyan tárolja és működteti az agy az arcfelismerés szoftverét – vagy épp azt, amely az archoz nevet tud kötni, s azt, amely a névhez arcot tud bennünk felidézni?

Poldrack is rámutat, hogy *a vonatkozó tudományágak is különböznek*: „Az imént amellet érveltem, hogy az agy és az elme egy és ugyanaz, amivel talán azt a látszatot keltettem, hogy az agy és az elme tanulmányozása ugyanazt jelenti, pedig nem egészen. *Az agyat tanulmányozó tudományágot 'idegtudománynak' nevezzük, az elmével foglalkozót pedig 'pszichológiának'. Még pontosabban kísérleti pszichológiának. A kísérleti pszichológia kísérleti mód-*

szerekkel teszteli arra vonatkozó hipotéziseit, hogy az emberek miként viselkednek egyes helyzetekben, ilyen módon igyekezve megérteni az elme működését. Eredetileg én is így képzeltem. Csak 1995-ben – amikor a Stanfordon lettem posztdoktori ösztöndíjas – fordultam az agy képalkotó eljárásokkal való tanulmányozása felé.”

Pokoli jó kérdés itt, vajon az agy és az elme közötti kapcsolat pontos ismerete nélkül hogyan tudunk az emberével felérő mesterséges intelligenciát építeni. A megalapozott választ alighanem még senki sem tudja, de talán az önfejlesztő rendszerek jelentik az egyik valószínű irányt.

Megjelenik egy meglepő tétel is: „Az agy működését tanulmányozhatjuk a viselkedésen keresztül is anélkül is, hogy magára az agyra akár egy pillantást is vetnénk.” – Az embernek itt óhatatlanul eszébe ötlük a tanmese, miszerint „a bolha a lábával hall” – merthogy miután a „kutatók” kitépték a lábait, többé nem ugrott vezényszóra. Poldrack is korrigál: „Ugyanakkor a pszichológiai kutatásokat végzők jelentős része mára úgy látja, hogy az elme legpontosabb megértéséhez a viselkedést és agyat egyszerre érdemes vizsgálni. Alapvetően erre az elgondolásra építenek a kognitív idegtudomány kutatói, akik közé magamat is sorolom.” – Vegyük ugyanakkor észre azt is, hogy Poldrack itt viselkedésről beszél, ami sokkal inkább megfigyelhető és elemezhető, mint pl. a gondolkodás vagy épp a kreatív tevékenységek belső folyamata.

„Az fMRI valószínűtlen sikere”: Az 1990-es években történt feltalálása óta (amely folyamattal részletesen a következő fejezet foglalkozik), az fMRI átvette a kognitív idegtudomány valamennyi egyéb módszerének szerepét, ideértve az agyi léziók tanulmányozását és a többi agyi képalkotó eljárás helyét. Visszatekintve ugyanakkor kész csoda, hogy az fMRI egyáltalán létezik. Sikere egy sor kémiai és biológiai dominón állt vagy bukott, amelyek mindegyikének meghatározott helyre kellett dőlnie ahhoz, hogy az eszköznek esélye legyen megszületni: mintha a természet titokban azon mesterkedett volna, hogy egy kicsivel megkönnyítse számunkra az agy működésének megértését (de épp csak egy hajszálnival).” – Az fMRI jelentősége a legegyszerűbben talán azzal érzékeltethető, ha elgondoljuk: egy működő rendszert, szerkezetet alaposan megismerni csak a működése közben lehet, nem pedig pusztán egy állóképének szemrevételezésével, bármilyen részletes is legyen az. Az fMRI mutatja meg a működés folyamatát és az alkotóelemek részvételét abban.

Az fMRI működését lehetővé tevő négy biológiai tény: „Az fMRI működését lehetővé tevő első biológiai tény az, hogy az idegsejtek kisülése viszonylag helyhez kötött az agyban. Úgy tűnik, az agy különböző részei különböző dolgokért felelősek, és – amint látni fogjuk – végső soron éppen a funkciók e helyhez kötöttségének köszönhető, hogy pusztán az agyi aktivitás vizsgálatával képesek lehetünk dekódolni, amit valaki éppen tesz vagy gondol (a dekódolás fogalmának használatát a korábbiakban már megindokoltam). Eljátszhatunk a



gondolattal, hogy mi lett volna, ha az evolúció során az agynak alapjaiban más felépítése alakult volna ki, amelyben az agy minden területe részt vett volna minden egyes funkció ellátásában.” – „Minden terület mindenben” – ez alighanem működésképtelenül bonyolult lett volna, és sokkal sérülékenyebb: bármely rész zavara az egész működésére kihatna. A jelenlegi „konstrukció” mellett szól az is, hogy ez így jelentős tartalékokkal rendelkezik a részek kiesésének esetére, a neuroplaszticitás révén. (L. Norman Doidge: *Hogyan gyógyul az agy? – Figyelemre méltó felfedezések és gyógyulások a neuroplaszticitás világából* – Park Kiadó, 2016, Iparjogvédelmi és Szerzői Jogi Szemle 2017. 1. sz.)

*A második:* „Az agy egy másik jellegzetessége, ami az fMRI működését lehetővé teszi, hogy az emberi agy felépítése minden egyén esetében viszonylagos hasonlóságot mutat. Ismét eljátszhatunk a gondolattal, mi lett volna, ha az evolúció az agyi területek ad hoc elrendezését hozta volna létre, ami egyénekenként változó, akárcsak a tarka házimacsák foltjainak mintázata. Ebben az esetben *komoly nehézségekbe ütköznénk*, ha az egyes személyek agyi képalkotó eljárásokkal nyert adatait akarnánk összevetni, amire gyakran van szükségünk, amikor átlagolással igyekszünk a statisztikai próbák erejét növelni. Nem vethetnénk össze ezeket az eredményeket az állatok vizsgálatából származó eredményekkel sem, amely segít jobban megérteni, hogy mi is történik pontosan egy adott agyterületen. Pedig *az állatokon végzett kutatások fontosak az fMRI-vel kapott eredmények validálásához*. Az egyes egyének közötti hasonlóság ugyan távolról sem tökéletes, de ahhoz elegendő, hogy a hasonlóságok alapján csoportokat képezve vizsgálhassuk az így nyert adatokat.”

*A harmadik alapvető biológiai tényező, hogy „az idegsejtek kisülése változásokat idéz elő a vér áramlásában, ami szintén lokalizált módon történik. Az agy egy adott területén aktiválódó idegsejtek közvetlen közelében a véráramlás erősebbé válik (bár egészen pontosan még nem értjük, hogy mindez miként megy végbe). Ha a folyamat nem lenne ennyire pontosan helyhez kötött, akkor hiába látnánk a véráramlás változását, nem tudnánk azt egyértelműen a változást okozó idegsejtekhez kötni. (Tehát, amíg pl. az EEG az agy elektromos aktivitását detektálja – úgy-ahogy, erősen integrált formában –, a CT és az MRI az agy állományát mutatja meg, az fMRI a működés folyamatában részt vevő részeket – Osman P.)*

*Az utolsó biológia dominó, hogy az aktív idegsejtek körül kialakuló erősebb véráramlás – egy nagyon lényeges szempontból – túlzott reakció: egészen konkrétan az oxigén szempontjából. A vér egy sor, az idegsejtek számára nélkülözhetetlen dolgot szállít, amelyek közül a két legfontosabb a glükóz és az oxigén. Tudjuk, hogy az agy megfelelő mennyiségű glükózt juttat az idegsejtekhez, hogy fedezze a kisüléskor elhasznált energiamennyiséget, ugyanakkor *oxigénből túl sokat juttat az idegsejtekhez az elhasznált kevés mennyiséghez képest*. Ennek a folyamatnak a pontos részletei továbbra is heves tudományos viták tárgyát képezik, de amit biztosan tudunk, az, hogy *az oxigénnel telített vér túlzott áramlása mutatja nekünk az utat az aktív idegsejtekhez az fMRI segítségével.*”*

*A túl sok oxigéntől annak mágneses detektálásáig:* „Azt a kémiai tényezőt, amely az fMRI működését lehetővé teszi, Linus Pauling Nobel-díjas kémikus fedezte fel az 1930-as években. Pauling az oxigén szállításáért felelős hemoglobin molekula mágneses tulajdonságait vizsgálta. A hemoglobin molekula szállítja az oxigént a vérben. Rájött, hogy az oxigént szállító, azaz oxigenizált hemoglobin (amely vörösre festi a friss vért) nem rendelkezik mágneses tulajdonságokkal, ugyanakkor az oxigént nem szállító, azaz deoxigenizált hemoglobin molekula 'paramágneses.' A paramágneses anyagok önmagukban nem mágnesek, de mágneses mező közelében mágneses tulajdonságokat vesznek fel. Elég egy gemkapocsra gondolnunk, amely magában nem mágneses, egy rúd mágnes közelébe helyezve azonban mágnessé válik. Az fMRI feltalálása az oxigénszint és a vér mágneses tulajdonságainak kapcsolatán alapult, amely kapcsolat megoldást kínált arra, hogy az MRI-berendezés segítségével észlelni lehessen a fenti különbségeket.”

„Mit nem mutat meg nekünk az agyi képalkotás?” „Bár az fMRI rendkívüli eredményekre képes, mégis, számos alkalommal használták fel arra, hogy olyasmit bizonyítsanak vele, amire valójában nem alkalmas.” – Ez egyrészt úgy természetes, hogy az ember feszegeti az eszközök alkalmazási lehetőségeinek határait, hogy új, hasznos lehetőségekhez jusson, másrészt úgy, hogy miért épp az fMRI-t ne használnák lelkiismeretlenül is, ha ettől hasznot remélnék?

*Alapvető jelentőségű megállapítás!* „Ebben a könyvben a továbbiak során még többször visszatérek majd a tényre, hogy nem lehet egy adott agyterületet közvetlenül megfeleltetni egyetlen pszichés funkcióval. Amint látni fogjuk, időnként lehetséges, hogy az fMRI segítségével dekódoljuk a vizsgált személy gondolatainak tartalmát, ehhez azonban nagyon alapos statisztikai elemzés és megfontolt értelmezés szükséges.” – „Dekódolni a gondolat tartalmát” – ismét a könyv egyik legfőbb kulcskérdése. *Intellektuális szinten ez még igen korlátozottan jelent gondolatolvasást*, amint Poldrack az itt következőkben is hangsúlyozza, statisztikai alapon. Jelenthet viszont bizonyos vezérlési funkciókat, pl. protézisek, eszközök használatában, aminek első példáiról már most is hallani.

Poldrack kutatási bizonyítékot tár elénk arra vonatkozóan, hogy „[a]z fMRI-adatokból dekódolhatók bizonyos mentális tartalmak” és „[l]ehetséges olyan statisztikai modelleket felállítani, amelyek segítségével meghatározhatjuk, hogy milyen pontossággal következtethetünk fMRI-adatokból egy személy gondolataira.” Sőt: „[k]ésőbbi kutatások még további bizonyítékokat szolgáltatnak arra, hogy az fMRI alkalmas lehet gondolatok kikövetkeztetésére, amit részletesen be is fogok mutatni a következő fejezetben.”

*Gondolatolvasás:* Az előzőekben említett fejezet a „Képes-e az fMRI gondolatolvasásra?” Ennek bevezetőjében ezt mondja: „Szerencsére – vagy sajnos, attól függően, ki hogy áll a kérdéshez – itt még nem tartunk. Mindenesetre a kutatások már annak a határát súrolják, amit sokan a gondolatolvasás valódi példájának tekintnének.” E rejtélyes – ígéretes, fenyegető vagy épp mindkettő – állítást rögtön egy roppant izgalmas rész követi: „Az elme nyelvének kibetűzése”.

*A teljes mondandó íve a fejezetcímekkel:*

- Gondolkodás 20 watton
- A látható elme
- Az fMRI felnő
- Képes-e az fMRI gondolatolvasásra?
- Hogyan változik idővel az agy?
- Bűn és hazugságok
- Döntéseink és az idegtudomány
- A mentális betegségek kizárólag az agy betegségei?
- Az agyi képalkotás jövője

S mindannak nyomán, ami itt élénk tárul, elgondolkodhatunk, mekkora teljesítmény, hogy az agy képes így mesélni önmagáról, egy szédületes kutatási háttérrel felölve Poldrack képes ezt úgy összerakni, hogy laikusként követni és érteni tudjuk a mondandóját. Mert a könyv valóban tökéletesen érthető, az érdeklődő embert igazán segíti, hogy jobban megismerje a fejében lévő csodaszervezetet, s netán még holmi *miérteken* és *hogyanokon* is eltöprengjen.

*Dr. Osman Péter*