

BOROS JÁNOS

# NEUROTUDOMÁNYOK ÉS A TUDAT

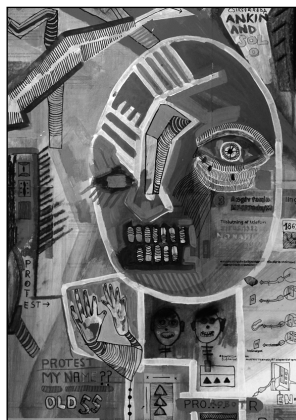
Informatika, fiziológia, filozófia

## Agy és elme

■ „A hegyeket megmászták, a sivatagokat átszelték, a mélytengereket feltérképezték, és a naprendszert átkutatták. Egy sötét kontinens azonban ellenáll a felfedezésnek, amely nem valahol kint van, hanem itt bent: az emberi gondolkodás szerve az utolsó terra incognita. Még mindig tágra nyílt szemekkel állunk a csoda előtt, hogyan képes másfél kiló szürke anyag a legszebb (és legyengeelméjűbb) gondolatokat és érzéseket előállítani, és hogyan tud játszva megoldani olyan dolgokat, amelyeknél minden csúciszámítógép kudarcot vall”<sup>1</sup> – így kezdődik egy írás az agykutatásról a német *Zeit* folyóiratban.

A tudomány és a filozófia előtt álló egyik legnagyobb kihívás és feladat az emberi agy és tudat megértése.<sup>2</sup> Az emberi agy neurotudományi (neuroinformatikai, neurofiziológiai) kutatása hatalmas sebességgel halad és fog is előrehaladni az elkövetkező évtizedekben. Az Európai Unió két összetett, nagy kutatási tervet támogat kiemelten, egy-egy milliárd euróval; az új anyag, a graphen előállíthatóságának kutatását, valamint az emberi agy kutatását szolgáló projektet (Human Brain Project), az előbbi vezetője Jari Kinaret (Göteborg), míg az utóbbié Henry Markram (Lausanne). Az Egyesült Államokban pedig a „Brain Activity Map Project”-et, vagyis az „agytevékenység-térkép projekt”-et indították el a 2013. év elején, melynek várható költsége több milliárd dollár lesz.<sup>3</sup>

A tanulmány a TÁMOP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0005, Jól-lét az információs társadalomban (SROP-4.2.2.C-11/1/KONV-2012-0005, Well-being in the Information Society) pályázat támogatásával készült.



Sehol semmi jele annak, hogy e két kutatási irány közeledne egymáshoz. Akik próbálkoztak a közelítéssel, olyan eredményekre jutottak, amelyeket mind az elmefilozófusok, mind az agykutatók elvetettek.

A human genom program után, mely az emberi génszerkezetet volt hivatott feltérképezni, a tudományos és tudománypolitikai közvélemény figyelme az agykutatás felé fordult. A tudomány alapvető kérdése az ember és a világ megismerése, működési elvének, eredetének feltárása, megértése. Az emberi mivolt és tudat kutatását – a „mi az ember?” Szókratész által feltett kérdésre adott válaszok kereséseitől, vagyis a klasszikus filozófiától – egyre inkább átveszi a filozófiából kifejlődő, akár empirikus filozófiának is nevezhető oksági alapú, matematizált, technikaiává váló természettudomány.

Kant szerint három tapasztalással megközelíthetetlen, azaz a tudományok által tagolhatatlan és kutathatatlan eszménk van, a világ egésze, az ember mivolta (vagyis a „lélek” mint szubsztancia) és Isten. Ezek közül a teljes világ (azaz minden létező) és Isten azért nem tárgyai a természettudományoknak, mert egyik sem értelmezhető annak módszereivel. Nem látjuk őket, nem tudunk fizikai kísérleteket végezni velük, nem részei az oksági világnak. Ezek az eszmék Kant szerint a kutatást vezérlik, amely mögött az ember vágya áll, hogy „mindent” megértsen és átlásson. Az ember azonban *itt van* (hely és jelen idejű létezés: nagyon is problematikus fogalmak) előttünk, mi magunk emberek vagyunk, vagy eszmei értelemben azzá válhatunk, az egyedi embert érinthetjük, beszélhetünk vele, önmagunkat önmagunkban és önmagunk által érzékelhetjük, érezhetjük, észlelhetjük (hogyan mit érzékelünk, érzünk, észlelünk, gondolunk magunkról, és ez hogyan viszonyul ahhoz, ami valójában „ott” vagy „idebent” van – itt nem tárgyalható, rendkívül összetett kérdés). Az ember tapasztalható, de vajon tapasztalható-e *interszjektív*e maga az individuális tapasztalás, azaz maga a tapasztalásban lévő tapasztaló, az, aki magában érez, magát érzi, azt mondja: „én”, aki gondolkodik, mondván: „én gondolkodom”, emlékezik, „én emlékezvén”? Ameddig ez utóbbiak nem vezethetők vissza interszjektív tapasztalati nyelvre, vagyis mindenki által a közös nyelvi kommunikációban közönsnek deklarált tapasztalásra, addig nehezen fogalmazhatunk meg olyan kutatási programokat, melyek természettudományos módszerekkel feltárhatnák ezt az önmagát tapasztaló, önmagát belülről észlelő és önmagát az „én vagyok”, „én gondolkodom” kifejezéssel illető lényt, az emberi tudatot, az ember lelkét vagy akár „szubsztanciáját”.

A *Zeith*ből idézett írás végén a szerző arra a terjedőben lévő felismerésre utal, mely szerint lehetséges, hogy minden egyedi agy teljesen individuális, és nem lesz megragadható valamiféle általános leírással, elmélettel, „képlettel”. Felteszi a kérdést, hogy „vajon (az agykutatással) varázstalanodni fogunk?” Válasza: „Inkább nem.” Ezzel az általam is képviselt tézist támasztja alá, mely szerint az elmével szemben az agy mint az individuum hordozója maga is individuális, miközben soha nem lesz individuálható a természettudományok objektívistikus, általánosító, fiziológiai, komputertudományi, kémiai, elektronikai nyelvén. Ezek a nyelvek képtelenek „én”-t mondani, ahogy „én” mondom. Mint folytatja, „már most az mutatkozik meg, hogy nincs egyetlen, minden agyra érvényes általános terv, hanem mindegyik gondolkodási szerv annyira individuális, mint a hozzá tartozó ember. Lehetséges, hogy a neuroprojektek a végén arra a belátásra vezetnek, hogy szellemi világegyetemünk ugyanolyan kikutathatatlan, mint a valós világegyetem, és hogy egy idegen gondolatvilág megismerése ugyanolyan lehetetlen marad, mint a párhuzamos világegyetembe való utazás.”<sup>4</sup>

## Az ember megértése

■ Akárcsak a régi időknek, a kortárs tudománynak és filozófiának is a legnagyobb kihívása az ember megértése. Mivel az embert saját tudata, elméje és mindaz, amit ezzel létrehoz (miközben a létrehozott alakítja is az őt létrehozót) teszi emberré, aki

azt akarja tudni, „mi az ember”, annak az ember elméjét kell elsősorban kutatni. Ezt az imperatívuszt akár a Bibliából is vehetjük. Mózes első könyvében Isten azt mondja: „teremtünk embert képmásunkra, magunkhoz hasonlóvá” (Gen 1,26), és ezt a teológusok és filozófusok a történelem folyamán elsősorban úgy értelmezték, hogy Isten ésszel, értelemmel, azaz elmével bíró lényt akart teremteni, akivel össze tudja magát hasonlítani, aki az ő képmása, akivel ebből következően közösségre, kommunióra lép, és akivel így kommunikálni is tud. Ugyanakkor az embert a jahvista hagyomány szerint „a föld porából” alkotta, orrába lehelve „az élet leheletét”. (Gen 2,7) Az embert a teremtéstörténet az első pillanattól két világ határára helyezi, két világ polgárává teszi: nem az oksági világhoz, hanem Istenhez tartozik, Isten képe, így annak kiemelt teremtménye, de az oksági, természettudományokkal kutatható világhoz is, hiszen Isten a világ porába lehelte az élet leheletét, a lelket (ha tetszik, saját leheletét, hiszen Isten, ha lehel, csak saját leheletét tudja adni), mintegy strukturálóként a porba lehelte az istenképiséget hordozó elmét.

A tudat és a tudat fiziológiai-fizikai helyének tekintett agy kutatása így közvetlenül kapcsolódik a Teremtés könyvéhez, két értelemben is. 1. Ha az ember Istenhez abban hasonlít, hogy elméje van, akkor saját magának mint elmével rendelkezőnek a megértése annak megértése, hogy Isten milyennek akarta őt teremteni. 2. Önmaga, tehát saját elméje megismerése közvetve Isten megértéséhez is vezethet, amennyiben elméje Isten képmása. Talán nem túlzás állítani, hogy aki meg akarja érteni a teremtéstörténetet, a Bibliát vagy Isten teremtő szándékát és üzenetét, annak a régi bibliai szövegek és vallások tanulmányozása vagy akár a modern teológiai elméletek megismerése mellett legalább annyira foglalkoznia kell az elme modern kutatásával, akár az elmefilozófiával, akár az agykutatással.

A két világhoz tartozást a teremtéstörténet és a Biblia szerzőin túl filozófusok is felismerték, Platóntól Kantig és a huszadik századi gondolkodókig. Az ember kétvilágiságának kifejeződése, hogy a gondolkodó, elmével rendelkező embert, a tágabb értelemben vett elmét két irányból is megközelíthetjük: a szűkebb értelemben vett elme, az „istenképiség” hordozója felől, azaz a gondolkodás, a fogalmiság, a belátás, az „én-mondás”, a személyes élmények felől, és az elme „hordozója”, a bibliai „por”, a modern tudományok fizikai világa felől. Diszciplinárisan ma ez abban fejeződik ki, hogy filozófusok az „elme filozófiáját” művelik, melynek segítségével a gondolkodó, belátó, fogalomhasználó, „én”-t mondó tudatot kívánják feltárni, mint amely valamilyen módon az agyhoz kapcsolódik. Az agykutatók pedig az agyat fiziológiai-fizikai szempontból közelítik meg, annak oksági, atomi, molekuláris, sejt-, szövet-, idegpályaszintű működését vizsgálva.

## Az elme filozófiája

■ E kutatások előtt jelenleg hatalmas, beláthatatlan kimenetelű feladatok állnak. A tudatossággal, a szubjektív tapasztalatokkal, a fogalmi hozzáállással és mindazzal, ami együtt jár azzal, hogy személyként vagy megismerőként a világot tapasztaljuk, és azon gondolkodunk, az elme filozófiája (Philosophy of Mind, Bewusstseinsphilosophie, Philosophie des Geistes) foglalkozik. Az agyat mint fizikai létezőt pedig az agykutatás vizsgálja. Sehol semmi jele annak, hogy e két kutatási irány közeledne egymáshoz. Akik próbálkoztak a közelítéssel, olyan eredményekre jutottak, amelyeket mind az elmefilozófusok, mind az agykutatók elvetettek. Az elmefilozófiának olyan irányzatai vannak, mint például a karteziánizmus, behaviorizmus, elmétudat azonosságelmélet, funkcionálizmus, reprezentacionálizmus, intencionálizmus, redukcionizmus és eliminativizmus, nem reduktív fizikalizmus, hogy csak néhányat nevezünk meg.<sup>5</sup> Az agykutatók körében szintén számos irányzat, módszer

terjedt el, matematikusok, biológusok, kémikusok, fizikusok mind a saját kialakított metodológiájukat alkalmazzák. Az elmefilozófia kérdéseiről korábban írtam,<sup>6</sup> ezért itt nem az elmefilozófia irányzatait tekintem át, hanem a legújabb agykutatási irányzatokra vetek egy pillantást.

## Az agykutatás néhány módozata

■ Az említett Human Brain Project koordinátora, Henry Markram az emberi agyat szeretné mesterségesen felépíteni, azaz előállítani, mégpedig a sejtek és a molekulák szintjén, vagyis minden egyes agysejtnek és a sejtben lévő minden egyes molekulának megfelelne egy számítógépes elem, mely arra hivatott, hogy ugyanúgy működjön és ugyanúgy legyen képes kapcsolatokat létrehozni a többi elemmel, mint az emberi agy sejtjei, illetve molekulái.<sup>7</sup> Kérdés természetesen, hogy ez a számítógépes elem hardver vagy szoftver jellegű lenne-e. Ha hardver, akkor ugyanannyi „kemény anyag” egységet kellene létrehozni, amennyit a sejtek tesznek ki (vagyis százmilliárdos nagyságrendűt), továbbá mint a sejteken belüli molekulák és a sejteken kívüli szinapszisok száma. A molekulák, azok kapcsolatai, a molekulák felépülése makromolekulákká, majd sejtekké, a sejtek, azok kapcsolatai, a szinapszisok folyamatos változásban vannak. A folyamatos változást kellene az említett nagyságrend exponenciálisan nagyobb dimenzióiban megvalósítani. Ez hardver szintjén jelenleg kivitelezhetetlennek tűnik, marad a feltételezés, hogy az agy informatikai másolása a szoftver szintjén történne.

A Lausanne-i Műszaki Egyetemen (École Polytechnique Fédérale de Lausanne) Markram a Blue Brain Project („kék agy projekt”) keretében neuron- és szinapszis-halmaz-adatait táplálta be egy nagy teljesítményű számítógépbe, és modelljének viselkedését összehasonlította a valós agyi működéssel. Munkája során azonban csak tízezres nagyságrendű sejtszámmal dolgozott, az emberi agyban pedig százmilliárdnyi a neuronok száma, és ehhez járulnak a szinapszisok. A hatalmas számú idegsejt kapcsolódásainak lehetséges számát a valószínűségi számítás technikáival kalkulálhatnánk, és olyan számokat kapnánk, melyeknek pusztá leírása a jelenlegi leggyorsabb komputer számára is több időbe telne, mint amióta a világegyetem létezik.

## Neuroinformatika: szilikon vs. szén

■ További kérdés, hogy a nem szén, hanem szilikon alapú rendszerek képesek lesznek-e, a molekuláris szintű vegyi folyamatokat matematikai eljárásokkal pótolva, hasonló módon viselkedni, mint a valós agy. Képes a matematikával és elektromossággal működtetett szilícium alapú szoftver azt a rugalmasságot, plaszticitást, fluiditást biztosítani, ami az agy működésére jellemző? Mint Markram mondja, „egy 60 Watt teljesítményen működő, másfél kilós tömeg a fejünkben nagyobb teljesítményű, mint egy számítógép, amely több ezer gigawattot használ, és dollármilliárdokba kerül”.<sup>8</sup>

A molekuláris szintű vegyi folyamatok, melyek együttesen létrehozzák a sejteket, vajon modellálhatók matematikailag? A matematika mindig szükségszerűségekkal dolgozik. Egy folyamat a valóságban vagy lezajlik, vagy sem, a modellben azonban elő kell írni, hogy lezajljék vagy sem. Vagyis a modell „normatív”, a valóság viszont nem az. A molekulák úgy viselkednek, ahogy „akarnak”, sehol sincs bizonyíték arra, hogy számítási-matematikai normativitásnak engedelmessé válnának. Nagy számuk miatt kérdéses, hogy egyenkénti modellelemként megragadhatók-e, avagy statisztikailag kell-e őket kezelni. De ha statisztikai módszerrel kezeljük a sok molekulát, akkor lehetséges, hogy éppen azokat a finom molekuláris, atomi vagy szubatomi változásokat nem tudjuk figyelembe venni, amelyek az egyedi atomok-

ban, molekulákban zajlanak, és amelyek lehetséges, hogy az egész működését egyenként befolyásolják. Mivel sok milliárdan vannak „egyenként”, a lehetséges apró eltérések kiszámíthatatlanok, jósolhatatlanok lesznek.

A számítógép persze tud „véletlent” produkálni. Matematikai véletlent. Paradox módon a matematikailag generált véletlen „ténylegesen” véletlen, még akkor is, ha a számítógép „determinisztikus”. Ugyanis véletlen csak a matematikában és matematikai modellekben létezik, a valóságban a véletlen megfigyelésünk elégtelenségének tükré.<sup>9</sup> A fizikában, a biológiában nincs véletlen, hiszen a véletlen ontológiai elfogadása a kauzalitás, azaz a természeti folyamatok megértése alapvető elvének elvetését jelentené. Ezért állíthatjuk, hogy a természetben zajló véletlenek nem valódi véletlenek, hanem csak mi hisszük azt, hogy véletlenek, mivel nem ismerjük teljes mértékben a mélyben játszódó folyamatokat. A véletlen ismeretelméleti és nem ontológiai vagy metafizikai fogalom. (A kvantumfizika matematikai véletlenjét itt zárójelbe helyezem, mivel annak fizikai tartalmáról mindmáig viták vannak.)

A nagy számok miatt szükség van a valószínűségi számítási és a statisztikai modellek alkalmazására, ám ez mindig populációs algebra marad, márpedig a valódi megértéshez a populáció egyedeit (az agysejteket, a sejtekben lévő molekulákat) egyenként és real time-ban is értenünk, modellezni tudnunk kellene.

Adatelemzéseknél lehet „statisztikai” módszereket alkalmazni, de vajon lehet-e egy konkrét folyamatra (ami az agy működésének folyamata) statisztikai elveken működő modellt alkalmazni? Statisztikával nem lehet kezelni a kérdést, hogy a milliárdnyi sejt közül éppen melyik mit csinál. Márpedig az agy működése esetében valószínűleg ennek is jelentős szerepe van.

Visszatérve a szén-szilikát hordozó problémájára, a szilikát alapú chipekben matematikailag felépített modelleket futtatunk. Az agyban viszont szén alapú sejtekben molekuláris szintig lebontható kémiai folyamatok zajlanak. Miként lehetséges a szilikát-matematika páros és az atomok-molekulák-sejtek-szinapszisok folyamatai közt teljesen egy-egy értelmű leképezést létrehozni? Hogyan tudjuk garantálni, hogy a matematika „sejt” (vagy molekula) szinten (vagy a „matematikai sejt”) ugyanazt fogja „lépni”, mint a valódi atom, a molekula vagy a sejt? És mindezt nem egy lépésben, hanem milliárdnyiban és azok hatványaiban.

Az elemi kémia által leírható, felépülő/felépítő elemi folyamatok élő anyagot hoznak létre – mindez pontosan modellálható lenne matematikai módszerekkel? Modellálható az a sajátos lépés vagy pillanat, amikor a vegyi folyamatok összessége egyszerre életjelet (táplálkozás, szaporodás) produkál? Mert a programok felépítésénél éppen ezt kellene tudni megoldani. És mi lenne az „élet” minőségi jele, jegye a matematikában? Az „élet” egészen más a valóságban, mint a „nem élet” (nem az életerő régi problémájáról van szó, pusztán arról a fenomenológiai állapotról és a produkált életjelenségekről, amelyek makroszkopikus szinten, ahol körbenézünk, az életet alkotják): a matematika tudja jelölni és működtetni önmagában ezt a különbséget? És nemcsak a különbséget, hanem azt a lépést, azt a „pillanatot”, amikor a nem élő élővé válik? Ez egy képlet lesz? A táplálkozás és a szaporodás megjelenése? Ám ezt önkényesen vezetjük-e be, avagy sikerül azt az emergenciát és minőségi változást produkálnunk, amit a valódi atomok és molekulák produkálnak?

Az életjelet (táplálkozás, szaporodás) nem mutató kémiai folyamatokból egyszer csak életjelet mutató folyamatok lesznek. A kérdés tehát az, vajon lehetséges-e a kémiai folyamatokat molekuláris szinten úgy modellezni, hogy ezek működése egy magasabb szervezetszerű szinten táplálkozást és szaporodást végző modelleket és a modellek egyedi megvalósulásait generálják. Meg kellene oldani a kémiai és termodinamikai molekuláris mozgások pontos „egy molekula(vagy sejt)/egy komputációs (hardver vagy szoftver) elem” leképezését.

Továbbá: ha azt vesszük, hogy százmilliárd neuron, ha nem is teljesen tetszőlegesen, de mégis nagy szabadsággal létesít bármelyik másikkal kapcsolatot (persze főként a közvetlen szomszédaival), akkor a kapcsolatok számát tekintve számítógéppel követhetetlen exponenciális robbanás következik be.

Az új és új tudományos eredmények, matematikai felfedezések és technikai lehetőségek révén természetesen egyre mélyebbre hatolunk az idegpályák működésének feltárásában. Találékony kutatók korábban elképzelhetetlen megközelítésmódokat, eljárásokat fejlesztettek ki a neuronális szerkezetek megismerésében.

## Mit kutatnak az agykutatók?

■ További kérdés, hogy a neuronokon kívül mit kutatnak, milyen kapcsolat létesíthető a neuronális állapotok és a tudati állapotok közt, ez pedig szoros és szigorú értelemben meghaladja a neurotudós kompetenciáját. Az agykutatók hatalmas összegek fölött rendelkeznek, pontosabban hatalmas összegeket kaptak megbízóiktól, az adófizető polgároktól, és ezért válaszolniuk is kell azoknak, akik erőforrásaik egy részét átadják nekik kutatásra, hogy milyen vonatkozásban vannak kutatásaik és eredményeik az emberek egyéni és közösségi életére, kultúrájára, civilizációjára, ön- és világmegértésére. Az agytudósok nagy része ugyanakkor visszautasítja a kérdés megválaszolását, hogy vajon mi köze az agynak a tudathoz, mondván, ezt nem tudja saját tudománya módszerével megfogalmazni. Ezzel azonban visszautasítja, hogy válaszoljon azok kérdésére, akik kutatásaihoz a pénzt adják. Ugyanis nem egy biofizikai szerkezet érdekli a legtöbb embert, hanem saját élete, sorsa, betegségek gyógyítási lehetősége; azt azért sejtí mindenki, hogy agyunk-elménk feltárása, szerkezetének minél jobb megismerése jelentősen javíthat életminőségünkön, kezdve a robotok, mesterséges intelligenciák életet megkönnyítő szerepével egészen a különféle mentális és agyi betegségek gyógyíthatóságáig.

A természettudósok általában visszafogottak filozófiai kérdéseket illetően. Részen iskolázottságuk, részben metodológiai korrektségük miatt. Ha elhagyják vagy elhagynak a neuronok világát, és azoknak a tudati állapotokkal való kapcsolatáról kezdenének spekulálni, akkor azt már nem saját természettudományos módszerükkel tennék, hanem át kellene térniük a humán tudományokból ismert módszerekre, az értelmezés, az ismeretelmélet, a pszichológia, a nyelv, a nyelv és a gondolkodás viszonyának a problémáival való foglalkozásra. Ez utóbbi területeknek azonban már nem feltétlenül és kizárólagosan művelői a természet kutatói. A természettudományok egy-egy értelmű megfeleltetésekkel dolgozó vagy arra törekvő fizikalista nyelvével kellene lefordítani a humán tudományok redukálhatatlan, interpretált és interpretáló nyelvére. A humán tudósok érdeklődésére önmagukat, módszereiket, eredményeiket védve a természettudósok azt válaszolják, hogy kérik a kérdéseket saját laboratóriumi körülményeikre, nyelvezetükre és módszereikre lefordítani, ami után ők hipotéziseket tudnak fölállítani, és kísérletek, mérések elveit tudják kidolgozni.

Ezért sok filozófus úgy véli, hogy a természettudósoktól nem várhatunk lényeges összefüggéseket a tudat megértéséhez. Richard Rorty egyenesen tagadta, hogy a természettudománytól valaha is érdekes válaszokat kaphatunk önmegértésünk, sorunk, világértelmezésünk vonatkozásában.

## Új utak

A *Spiegel* 2012. december 12-i száma fiatal agykutatókat mutatott be, akik az agy és a tudat megértéséhez új utakon próbálnak közelíteni. Úgy vélik, a kutatások zsákutcába jutottak, új irányokat kell keresni.<sup>10</sup> A gén- és a kozmológiai kutatás mellett a



neurotudományi kutatás a mai tudomány harmadik nagy zászlóshajója, senki nem kételkedik alapvető fontosságában és abban, hogy nagy eredmények várhatók erről a területről. Tény azonban, hogy mind a mai napig nem sikerült a kérdés megválaszolásának közelébe sem jutni, hogy mi a kapcsolat az elme és az agy között, illetve hogyan lesznek a koponyába zárt szürke anyagból tudat, öntudat, érzelmek, vágyak, emlékek, gondolkodás, személyiség, emberi sors. A legfontosabb elmebetegségek (autizmus, skizofrénia, hiperaktivitás, depresszió) magyarázataira sem képesek még.

Moritz Helmstädter, a müncheni Max Planck Intézet munkatársa egy cukorkristály nagyságú agyanyagot néhány ezer szeletre vágott, elektronmikroszkóppal lefényképezte, és aztán komputerrel újra összeállította. A számítógépen tetszés szerint tud utazni ebben a közegben. Az agydarabka egértől származik, és ahhoz a részhez tartozik, amely az egér bajsza által küldött jeleket dolgozza föl. A fél milliméter oldalhosszúságú kocka nagyságú darabkában negyven méter hosszú idegszál rejlik. Az első kérdés, hogyan lehet megállapítani, az egyes szálak mint ágacskák hova kapcsolódnak. Kiderült, hogy ezt a komputer nem tudja feltárni, túl sokat téved, gyakran összetéveszti az egymás melletti idegszálakat. Csak az ember tudná megkísérelni, hogy választ adjon erre a kérdésre azáltal, hogy az egymás melletti rétegeket ábrázoló felvételeket összehasonlítja, ám e kis darab átvizsgálása 200 000 munkaórát jelentene, amennyit egy ember egész életében sem dolgozik. Helmstädter az internethez fordult. Néhány komputeres kollégával kitalálták a Brainflight („agyrepülés”) nevű komputerjátékot, amely bárki számára lehetővé teszi, hogy utazzék az agyban. A játékos egy szimulált repülőgép pilótafülkéjéből navigál a valódi agyszövetseleteken keresztül. Az kapja a legtöbb pontot, aki a legsikerebben repül át az idegkötegeken. A játék 2013 márciusában kerül föl az internetre, és ha kellő számú játékos belép, az egér bajzához kapcsolódó agydarab képe akár néhány hét alatt is kész lehet.

Helmstädter szerint az agyat nemcsak az egyes elemei, a sejtek és szövetek felől kell kutatni, hanem figyelembe kell venni, hogy bonyolult kötelékű hálózatról van szó. Az egyedi idegsejtek kutatása számos eredményt produkált, megvizsgálták, mikor és melyik molekuláris csatorna nyílik ki a sejt falon, mely üzenetet hordó anyag milyenfajta kapcsolódásokban kerül forgalomba, és hogyan adnak az idegszálak elektromos jeleket.

Nyilvánvaló, hogy az egyedi sejtekhez nem lehet minden további nélkül tudatfolyamatokat rendelni, működésükből gondolkodásra, érzelmekre, személyes identitásra következtetni. Nem nehéz arra a sejtésre, feltételezésre vagy következtetésre jutni, hogy ha meg akarjuk érteni az agyi és tudati folyamatokat, akkor a sejtek összekapcsolódásait, a sejteknek szinapszissokká váló alakulását, ezek összefüggésrendszerét és kémiai, elektromos és akár további egyéb, talán még felfedezendő jellegű kommunikációját kell figyelembe venni. A sejtek összekapcsolódása alapvető szerepet játszik az agyi folyamatok és tágabban a tudati állapotok kialakulásában. Az agysejtek összekapcsolódását kifejező újabb vezérszó – a genom mintájára alkotott – a connectome, mellyel az idegsejtek, idegpályák közti kapcsolatok kutatását jelölik. Az Amerikai Egyesült Államok máris 40 millió dollárt adott a Human Connectome Project címszó alatt futó kutatásokra. Honlapja szerint a projekt „célja, hogy az idegi adatok eddig nem látott összesítését nyújtsa, olyan interface-t, amely grafikailag irányítja ezeket az adatokat és azt a lehetőséget, hogy teljesen új következtetéseket vonhassunk le az élő emberi agyról”.<sup>11</sup> A projekt alapja az idegpályák tomográffal történő lefényképezése és térbeli ábrázolása, ám a legjobb tomográf sem tud a sejtek szintjéig behatolni. Német kutatók (Helmstädter, Winfried Denk) éppen ezért azzal próbálkoznak, hogy az egyes sejteket vizsgálják elektronmikroszkóp segítségével.

A teljes idegi kapcsolatrendszer feltérképezése hatalmas feladat. Egyetlen egy milliméter hosszú féreg (*Caenorhabditis elegans*) 302 neuronjának teljes felmérése egy kutatócsapat számára tizenkét évet vett igénybe. Az emberi agy idegpályáinak hosszát öt millió kilométerre becsülik, ennek sejtről sejtire történő feltérképezése a mai technikai feltételek mellett végeláthatatlan feladat. Ráadásul a sejt szintű feltérképezés csak az első lépés, az analízis után következik a szintézis, az egyenként feltárt, leírt sejteket aztán újra össze kell kapcsolni, ahol az egyenkénti egymáshoz való kapcsolódások nemcsak sejtről sejtire lehetnek különbözőek, de a különböző kapcsolódások maguk is folyamatosan változhatnak, a nullától bizonyos nagyságig, arról nem beszélve, hogy maguk a sejtek önmagukban sem statikus létezők, hanem belsejükben is folyamatos változás zajlik.

A Human Connectome Project résztvevői biológusok, orvosok, matematikusok, informatikusok, kémikusok, szinte valamennyi természettudomány képviselői. Van Weeden matematikus az agy idegpályáinak hálózatait kutatja úgynevezett diffúziós tomográffal. A magspin tomográfhoz hasonlóan a mágneses mezőbe került atomokat detektálja, és megállapítja azok haladási irányát. Mivel a molekulák az idegszálakon haladnak, így pontosan látni tudja azok kötegeltségét. Százmilliárd idegsejt, melyek közül valamennyi ezer szinapszist, vagyis kapcsolatot képes létrehozni. Nincs az a mai számítógép, amely ezt a kapcsolatrendszert akár csak megközelítőleg is modellezni tudná. Weeden feltárta, hogy az idegszálak nem összevissza, hanem rendezetten, kötegekben helyezkednek el, rácsozathoz hasonlóan, ahogyan a Földet berácsoltuk a hosszúsági és szélességi körökkel – csak éppen milliárdszor nagyobb számú kör van itt, három dimenzióban. A fizikus Winfried Denknek filozófiai problémái vannak Van Weeden felfedezéseivel. Szerinte Van Weeden tényleg lát valamit, csak éppen az a baj, hogy nem tudja, mit. (Ez a fő probléma a legtöbb mai agykutatóval.) Lefényképezi az adatáramlás útvonalait, de nem látja a sejtek közti kommunikációt. De nemcsak itt vannak nehézségek, hanem szinte minden fronton. Egy egér agyának 30 nanométer vékony rétegének hagyományos elektronmikroszkópos lefényképezése egy évszázadot venne igénybe. A legdrágább most kifejlesztett nagy teljesítményű Zeiss elektronmikroszkópnak egy évre lenne szüksége. Egyetlen emberi agy adatforgalma nagyobb, mint a teljes éves internetkommunikáció.

Sebastian Seung, az MIT professzora szerint mi magunk connectome-ok vagyunk.<sup>12</sup> Jelmondata: „You are your connectome” – azonos vagy saját connectome-oddal. Valamennyi emlékünknél, tudásunknál, érzelmünk neuronálisan kódolt, és a technika fejlődésével el fogunk jutni az emberi agy teljes feltérképezéséhez, valamint a tudati tartalmak agyállapotokkal való azonosításához. Merészen olyan téziseket képvisel, mint például hogy az emberi agy szoftverjét meg fogjuk találni, és így magát az embert mint személyiséget valamennyi tudat- és érzemeltartalmával komputerre tudjuk majd feltölteni. Ez a tudatos ember vagy az emberi tudat halhatatlanságát fogja garantálni. Seung tézise éppen annak ellentéte, amely tézist ezen írás elején felvázoltam. A transzhumanizmus, az emberi tudat átlépése egy másik hordozóba csak akkor lesz lehetséges, ha a felsorolt módszertani, ismeretelméleti, kémiai-matematikai problémákat megoldottuk. De ha meg is oldottuk, és a szuperszámítógépünk elkezdi majd mondani, hogy „én vagyok”, és „én gondolkodom” – el fogjuk hinni „neki”? Ahogyan egymás elméjébe nem látunk bele, és oda soha nem is léphetünk be, csak elhisszük a másik emberről, a másik embertől, hogy ugyanúgy „én”, mint én „én” vagyok, el fogjuk ezt valaha hinni egy számítógépről? Erre a kérdésre ma egyetlen agy, egyetlen elme és egyetlen számítógép sem tud válaszolni. Lehetséges, hogy Isten képe ugyanolyan titokzatos és megfeythetetlen, mint a kép más eredetije?



