

NEUROLOGIJA I SVIJEST

»Kad sve bude rečeno, i sve učinjeno, više će biti rečenog nego učinjenog.« —
Autor nepoznat.

Glavni cilj ovog oglada je iznijeti jedan od mogućih pristupa problemu svijesti za neuroznanstvenika te opisati relevantna tekuća eksperimentalna istraživanja. Nismo pokušali dati iscrpan pregled drugih pristupa.

Raščišćavanje terena

Pretpostavljamo da kad se govori o »svijesti« postoji nešto što treba objasniti. Iako većina neuroznanstvenika priznaje da svijest postoji i da je ona trenutno nešto tajanstveno, mali dio njih je pokušava proučavati, i to uglavnom iz jednog od sljedeća dva razloga:

(1) drže da je to filozofski problem pa ga je najbolje ostaviti filozofima;

(2) smatraju to znanstvenim problemom, ali misle da bi još bilo preuranjeno proučavati ga.

Mi smo zauzeli upravo suprotno gledište. Smatramo da većinu filozofskih vidova problema zasad treba ostaviti postrani i da je došlo pravo vrijeme da se započne znanstveni napad.

 Francis Crick
i Christoph Koch

Odmah možemo postaviti glavno pitanje na koje neurologija prvo treba odgovoriti: Vjerojatno u svakom trenutku neki aktivni procesi u živčanim stanicama u vašoj glavi koreliraju sa sviješću, a drugi ne; *koja je razlika među njima?* Posebice, pripadaju li te živčane stanice (ili neuroni) određenom tipu? Jesu li i po čemu posebne veze među njima? Postoji li nešto posebno, i što je to, u načinu na koji odašilju impulse, tj. okidaju? Neuronski korelat za svijest skraćeno nazivamo NCC. Kadgod je neka informacija predstavljena u NCC-u, ona postoji i u svijesti.

Pristupajući problemu tentativno smo pretpostavili da svi vidovi svijesti (primjerice, bol, vidna svijest, svijest o sebi, itd.) imaju isti temeljni mehanizam ili možda nekoliko takvih mehanizama. Kad bismo razumjeli mehanizam za jedan vid svijesti, prevalili bismo, nadamo se, velik dio puta prema razumijevanju svih.

Donijeli smo i osobnu odluku da nekoliko tema treba ostaviti postrani ili ih treba samo iznijeti bez rasprave, jer je iskustvo pokazalo da se inače može potratiti puno vremena razglabajući o njima, a da se ne dođe ni do kakvih zaključaka.

(1) Svatko ima općenitu zamisao o tome što znači biti svjestan. Zasad je bolje izbjegavati preciznu definiciju svijesti zbog opasnosti koje sa sobom nosi takva, preuranjena odredba. Sve dok ne budemo mnogo bolje razumjeli problem, svaki će pokušaj formalne definicije po svoj prilici navoditi u krivom smjeru ili će biti previše restriktivan. Ako se to nekome čini nejasno, neka pokuša definirati pojam »gen«. O genima se danas toliko zna da je svaka jednostavna definicija vjerojatno neadekvatna. Koliko li je tek onda teže odrediti biologijski pojam o kojem se zna malo.

(2) Plauzibilno je reći da neke životinjske vrste — osobito viši sisavci — posjeduju neke od bitnih značajki svijesti, iako ne nužno sve. Zbog toga bi odgovarajući

eksperimenti na takvim životinjama mogli biti relevantni pri pronalaženju mehanizama koji se nalaze u podlozi svijesti. Iz toga slijedi da sustav za jezik (one vrste kakvog nalazimo kod ljudi) nije bitan za svijest — to jest, netko može imati ključne značajke svijesti i bez jezika. Time se ne želi reći da jezik znatno ne obogaćuje svijest.

(3) Na ovom stupnju nije korisno raspravljati jesu li jednostavnije životinje (poput hobotnica, vinskih mušica ili nematoda) ili čak i biljke, svjesne. Vjerojatno je, međutim, da svijest do neke mjere korelira sa stupnjem složenosti živčanog sustava općenito. Kad budemo jasno razumjeli, načelno i u pojedinostima, što svijest uključuje u ljudi, doći će vrijeme i da razmotrimo problem svijesti u mnogo jednostavnijih životinja. Iz istog razloga nećemo pitati imaju li neki dijelovi živčanog sustava posebnu, izoliranu, vlastitu svijest. Ako kažete: »Naravno da je moja kralježnica svjesna, ali mi to neće reći«, mi, na ovom stupnju, nećemo trošiti vrijeme svađajući se s vama. A nećemo ga trošiti ni na raspravu o tome bi li digitalno računalo moglo biti svjesno.

(4) Postoji više oblika svijesti, poput onih povezanih s vidom, mišljenjem, emocijama, boli, i tako dalje. Svijest o sebi — to jest autoreferentni vid svijesti — po svoj prilici je zaseban aspekt svijesti. Prema našem mišljenju, najbolje ga je zasad staviti na stranu, osobito zato što bi bilo teško proučavati svijest o sebi na majmunu. Različita druga neuobičajena stanja, kao što su hiponotiziranost, pričanje i hodanje u snu, na ovom mjestu nećemo razmatrati jer nam se ne čini da posjeduju posebne značajke koje bi ih učinile eksperimentalno poželjnima.

Vidna svijest

Kako znanstveno pristupiti svijesti? Svijest ima mnogo oblika, ali za početni znanstveni napad obično je najisplativije koncentrirati se na onaj oblik koji izgleda najlakši za proučavanje. Mi smo izabrali vidnu svijest jer su ljudi veoma vizualna bića i naši vidni opažaji su posebno živi i bogati informacijama. Osim toga, vidni ulazni podaci su često vrlo dobro strukturirani i lako ih je kontrolirati.

Sustav za vid ima još jednu prednost. Postoji puno eksperimenata koje se iz etičkih razloga ne može izvoditi na ljudima, ali ih je moguće izvesti na životinjama. Srećom, sustav za vid u primata se čini prilično sličan našem i mnogi pokusi s vidom su već izvedeni na životinjama, primjerice s makaki majmunom.

Sustav za vid je naš osobni izbor. Drugi neuroznanstvenici će možda radije odabrati sustave za druge osjete. Naravno, vrlo je važno raditi na potpuno prisebnim životinjama. Vrlo blaga anestezija možda neće biti jako važna za odziv neurona u kortikalnom području V1 makaki majmuna, ali će sigurno biti važna za neurone u područjima kore kao što je V4 (inferotemporalno područje).

Zašto smo svjesni?

Biološka korist od vidne svijesti u ljudi je u tome što daje najbolju trenutnu interpretaciju vizualne scene u svjetlu prošlog iskustva, bilo vlastitog ili iskustva naših predaka utjelovljenog u našim genima, i čini tu interpretaciju neposredno raspoloživom dovoljno dugo da dijelovi mozga mogu razmisliti o njoj i isplanirati motorički odgovor ove ili one vrste, uključujući i govor.

Filozofi su, na svoj bezbrižan način, izmislili stvorenje nazvano »zombij« koje bi se, prema Davidu Chalmersu, trebalo ponašati poput normalnih ljudi ali bi pritom bilo potpuno nesvjesno. Čini nam se da je to znanstveno posve neodrživa zamisao, ali uistinu postoje uvjerljivi dokazi da se dio mozga ponaša kao zombij. To jest, u nekim slučajevima čovjek može od vidnog inputa proizvesti relevantan motorički output a da pritom ne može reći što je vidio. Milner i Goodale ističu da žaba ima barem

dva nezavisna sustava za djelovanje. Oni bi lako mogli biti nesvjesni. Žaba koristi jedan dok gleda male predmete kao što je lovina, a drugi kad bježi od velikih diskova koji se nadvijaju nad njom. Zašto se i naš mozak ne bi mogao jednostavno sastojati od niza takvih specijaliziranih zombijskih sustava?

Smatramo da je takav ustroj neučinkovit kad je potrebno veoma mnogo takvih sustava. Bolje je proizvesti jedinstvenu, ali složenu predodžbu i učiniti je dostupnom toliko dugo da odgovarajući dijelovi mozga mogu izabrati jedan od mnogih različitih ali mogućih planova djelovanja. Upravo se o tome, prema našem mišljenju, radi kad je riječ o vidu. Kako ističu Ramachandran i Hirstein, razumno je imati jednu svjesnu interpretaciju vizualne scene kako bismo izbjegli neodlučnost.

Milner i Goodale smatraju da u primata postoje dva sustava, koje ćemo nazvati on-line sustav i sustav za vid. Sustav za vid je svjestan, a on-line sustav, koji radi mnogo brže, nije. Opće značajke ta dva sustava i dio dokaznog materijala za njih bit će dani u nacrtu u dijelu o on-line sustavu. Postoji i anegdotalni dokaz iz sporta. Često se kaže da dobro istrenirani igrač tenisa nema vremena da vidi lopticu kad vraća jaki servis; viđenje dolazi tek poslije. Slično, vjeruje se da sprinter počinje trčati prije nego što svjesno čuje startni pištolj.

Narav vidne predstave

Da bi mozak bio svjestan predmeta ili događaja, on mora konstruirati višeslojnu, eksplicitnu, simboličku interpretaciju dijela vizualne scene. Kad kažemo višeslojnu, mislimo u psihologijskim terminima na različite razine slične onima koje odgovaraju, primjerice, ravnoj crti, očima ili licu. U neurološkim terminima, mislimo na, grubo rečeno, različite razine u hijerarhiji sustava za vid.

Važna misao je da informacija mora biti predstavljena eksplicitno. Pod eksplicitnom predstavom smatramo dosta malu skupinu živčanih stanica koje koriste takozvano grubo kodiranje kako bi predstavile određeni aspekt vizualne scene. U slučaju da je to neko poznato lice, svi ti neuroni mogu okinuti na nešto nalik licolikim predmetima. Postulirat ćemo da će jedan skup takvih neurona biti istog tipa (recimo, tipa piramidne stanice u određenom sloju ili podsloju moždane kore), da će se, nadalje, nalaziti dosta blizu jedni drugima, i da će svi slati svoje impulse, ili projicirati, na otprilike isto mjesto. Ako sve takve skupine živčanih stanica (može ih biti nekoliko, posloženih jedna na drugu) budu uništene, čovjek neće vidjeti lice, iako bi mogao vidjeti dijelove lica, oči, nos, usta, itd. Možda, kako navode Adolphs i suradnici, postoje i druga mjesta u mozgu koja eksplicitno predstavljaju druge aspekte lica, kao što je osjećaj koji lice izražava.

Primijetimo da, iako su informacije potrebne za predstavljanje lica sadržane u okidanju ganglijskih stanica u mrežnici, tamo, u našim terminima, nema eksplicitne predstave lica.

Koliko bi neurona moglo biti u takvoj skupini? To se još ne zna, ali možemo pretpostaviti da je broj onih koji predstavljaju jedan aspekt vizualne scene vjerojatno bliži sto do tisuću nego deset tisuća ili milijun.

Predstava predmeta ili događaja obično će se sastojati od predstava mnogih njegovih aspekata, i one će vjerojatno biti raspodijeljene, do nekog stupnja, po različitim dijelovima sustava za vid.

Obično je potrebna velika živčana aktivnost da bi mozak mogao konstruirati predstavu. Veći dio te aktivnosti je, po svoj prilici, nesvjestan. Možda se pokaže korisnim gledati na nesvjesnu aktivnost kao na proračune potrebne za pronalaženje najbolje interpretacije, dok bi se na samu interpretaciju moglo gledati kao na rezultat tih proračuna, pri čemu smo svjesni samo nekih od njih. Sudeći po našoj percepciji, rezultati se vjerojatno bar djelomice donose po načelu *najbolji nosi sve*.

Za radnu hipotezu smo pretpostavili da će samo neke vrste specifičnih neurona predstavljati neuronski korelat za svijest (NCC). Poznato je, o čemu ćemo više govoriti u odjeljku o bistabilnim opažajima, da okidanje mnogih stanica u kori ne odgovara onome što životinja vidi u tom trenutku. Alternativna mogućnost je da je NCC nužno globalan. U ekstremnom obliku to bi značilo da bi u ovom ili onom trenutku svaka živčana stanica mogla predstavljati NCC. Čini nam se da je na ovoj razini plodnije istraživati jednostavniju hipotezu — da samo pojedine vrste neurona predstavljaju NCC — prije negoli se upustimo u globalnije hipoteze. Bilo bi šteta propustiti jednostavniju ako je istinita. Kao grubu analogiju zamislite tipičnu stanicu u sisavca. Način na koji geni kontroliraju i utječu na složeno ponašanje stanice može se smatrati uglavnom globalnim, ali njezine genetske instrukcije su lokalizirane i kodirane na relativno jednostavan način.

Gdje se nalazi vidna predstava?

Svjesna vidna predstava je vjerojatno raspoređena u više nego jednom području moždane kore, a možda i unutar određenih subkortikalnih struktura. Smatramo da se u primata, nasuprot većini tradicionalnih mišljenja, ona ne nalazi u primarnom vidnom području — V1 (zvanom i strijati korteks ili Brodmannovo područje 17). Poslije ćemo naznačiti dio eksperimentalnih potvrda te hipoteze. To ipak ne znači da ono što se događa u V1 nije važno, čak i ključno, za veći dio oblika žive vidne svijesti. Time samo želimo reći da živčana aktivnost koja tamo postoji nije neposredno korelirana s onim što vidimo.

Razmišljali smo i o tome je li vidna predstava uglavnom sadržana u određenim neuronima nižih slojeva kore (petom i šestom). Ta je hipoteza još uvijek u spekulativnoj fazi.

Što je bitno za vidnu svijest?

Termin »vidna svijest« gotovo sigurno pokriva mnoštvo procesa. Dok gledamo neku vizualnu scenu, imamo vrlo živ doživljaj. To treba kontrastirati s mnogo manje živim i detaljnim slikama proizvedenim pri pokušajima da se prisjetimo te iste scene. (Takvo živo sjećanje se obično zove halucinacija.) Ovdje ćemo se ponajprije baviti normalnim živim iskustvom. (Moguće je da su glavni razlog zbog kojega je vidno sjećanje nejasno povratni neuronski putovi u hijerarhiji sustava za vid koji se u ranijim fazama sustava ponašaju nasumično.)

Neki oblik vrlo kratkotrajnog pamćenja se čini gotovo bitnim za svijest, ali takvo pamćenje može biti sasvim prolazno, u trajanju od samo djelića sekunde. Da bi to naglasio, Edelman je uporabio izraz »zapamćena sadašnjost«. Postojanje ikoničkog pamćenja, kako se ono zove, eksperimentalno je veoma dobro potvrđeno.

Psihofizičke potvrde kratkotrajnog pamćenja sugeriraju da ako ne obratimo pozornost na neki dio ili neki aspekt vizualne scene, naše sjećanje na nju će biti veoma kratkog vijeka i može biti precrtano (maskirano) vidnim podražajima koji će uslijediti. To vjerojatno objašnjava u velikoj mjeri naše blijedo sjećanje na vožnju automobilom poznatim putem. Ako obraćamo pozornost (ako, primjerice, neko dijete trči pred auto) naše pamćenje može biti dugotrajnije.

Ljudi imaju varljiv osjećaj da u svakom trenutku vrlo jasno i detaljno vide čitavu vizualnu scenu, djelomice zbog neprekidnog kretanja očiju, a djelomice zbog naše sposobnosti da koristimo samu sliku kao oblik pamćenja koji nam je uvijek na raspolaganju — u brojnim okolnostima scena se, naime, u kratkom roku promijeni prilično malo.

Iako radna memorija proširuje vremenski odsječak svjesnosti, nije očito da je to samo po sebi bitno za svijest. Nama se čini da je radna memorija mehanizam kojim se predmet, ili kratki slijed predmeta, dovodi u živu

svijest, primjerice govorenjem u sebi ili naglas. Slično, epizodno pamćenje koje omogućuje sustav hipokampusu nije bitno za svijest, iako bi osoba bez mogućnosti epizodnog pamćenja bila ozbiljno hendikepirana.

Svijest, dakle, biva obogaćena vizualnom pozornošću, iako pozornost nije bitna za pojavljivanje vidne svijesti. Općenito, postoje dva tipa pozornosti: odozdo–nagore, čiji uzrok je osjetni input; i odozgo–nadolje, koji proizvode dijelovi mozga zaduženi za planiranje. To su složena pitanja i mi ovdje nećemo pokušati sažeti sve eksperimentalne i teorijske radove o toj temi.

Vizualna pozornost može biti upravljena ili na neki položaj u vidnom polju ili na jedan ili više (pokretnih) predmeta. Još uvijek se raspravlja o tome kojim se točno živčanim mehanizmima to postiže. Mozak, da bi interpretirao vidni input, mora doći do *koalicije* živčanih stanica čija okidanja predstavljaju najbolju interpretaciju vizualne scene, i koji često imaju konkurenciju u drugim mogućim, ali manje vjerojatnim interpretacijama; postoje dokazi da mehanizmi pozornosti na neki način utječu na konkurente.

Recentni eksperimentalni rezultati

Nećemo pokušavati detaljno opisati sve eksperimentalne rezultate od neposredne važnosti za potragu za neuronskim korelatima vidne svijesti. Umjesto toga, naznačit ćemo neke od njih i uputiti čitatelje na potpunije opise.

259
3. program
hrvatskog
radija

Klasični slijepi vid

To će biti poznato većini neuroznanstvenika. O toj se temi, uz druge relevantne, raspravlja u izvanrednoj Weiskrantzovoj knjizi *Consciousness lost and found* (Izgubljena i pronađena svijest). Slijepi vid se pojavljuje kod ljudi (gdje je rijedak) pri ozbiljnom oštećenju kortikalnog područja V1; to je eksperimentalno reproducirano i na majmunima. U tipičnom slučaju pacijent može, daleko iznad razine slučajnog, pokazati smjer pokreta svjetlosne točke unutar određene brzine, a da i dalje tvrdi da ništa ne vidi. Ako su pokreti manje izražajni, njegov uspjeh pada na razinu slučajnosti; ako su izražajniji (to jest, svjetliji ili brži), pacijent može izvijestiti da je imao nekakav slabo definiran vidni osjet, znatno drukčiji od normalnog. Drugi pacijenti mogu razlikovati velike, jednostavne oblike ili boje.

Još nije utvrđeno o kojem se neuronskom putu radi. Najvjerojatniji je onaj od gornjeg kolikula do središnjeg dijela talamusa — pulvinara, a odatle do dijelova kore zaduženih za vid; u obzir dolazi i nekoliko poznatih slabih anatomskih putova od mrežnice koje zaobilaze V1. Snimanje funkcionalnom magnetskom rezonancijom slijepog pacijenta G. Y. izravno implicira da je gornji kolikul aktivan *na specifičan način* kad G. Y. ispravno razlikuje smjer pokreta nekog podražaja, a da ga nije svjestan.

On–line sustav

Opća obilježja dva hipotetska sustava — on–line sustava i sustava za vid — kao i detaljnu raspravu o njima, čitatelj može pročitati u knjizi Davida Milnera i Melvyna Goodalea *The Visual Brain in Action* (Vidni mozak na djelu). On–line sustav može imati više podsustava (primjerice, podsustav za pokretanje oka, za pokret ruke, za prilagođavanje položaja tijela, i tako dalje). Dva sustava normalno rade paralelno, i doista postoje dokazi da u nekim slučajevima sustav vida može interferirati s on–line sustavom.

Značajni dokazni materijal za on–line sustav daju istraživanja na pacijentici D. F. koja su proveli Milner, Perret i njihovi kolege. Ona je pretrpjela difuzna oštećenja mozga trovanjem ugljičnim monoksidom. Dobro vidi boju i teksturu, ali je veoma deficijentna pri opažanju položaja i oblika.

Unatoč tome, vrlo dobro može uhvatiti loptu. Može »postaviti« svoju ruku ili kartu u određeni pretinac, iako ne može reći u kojem se položaju pretinac nalazi.

Očigledno, važno je otkriti razliku između on-line sustava, koji je nesvjestan, i sustava za vid, koji je svjestan. Milner i Goodale vjeruju da on-line sustav uglavnom rabi dorzalni vidni tok. Taj tok, smatraju, prenosi podatke o opaženom predmetu, a ne o njegovu položaju u vidnom polju. To bi moglo značiti da je sva aktivnost u dorzalnom toku nesvjesna. Za ventralni sustav, s druge strane, smatraju da je velikim dijelom svjestan. Alternativni prijedlog je da su izravne projekcije od parijetalnog dijela kore u predmotorička područja nesvjesne, dok su projekcije prema predmotoričkim područjima preko predfrontalnog dijela kore povezane sa svijesću.

Sumnjičavi smo prema tim prijedlozima jer smatramo da su, iako na ispravnom putu, vjerojatno previše pojednostavnjeni. Ono malo što se zna o neuroanatomiji kaže nam da vjerojatno postoji više kortikalnih tokova, povezanih brojnim anatomskim vezama. Ukratko, neuroanatomija ne ukazuje na to da postoji jedinstveni put koji ide prema najvišim razinama sustava za vid, i odatle do najviših razina predfrontalnog dijela i onda dolje do motoričkog outputa. Postoje brojni putovi koji vode od većine srednjih razina sustava za vid do srednjih čeonih područja. Stoga predlažemo općenitu hipotezu: da se mozak uvijek trudi koristiti *najbrži pogodni put* u danoj situaciji. Tek treba otkriti kako točno ta zamisao u pojedinostima izgleda. Možda je riječ o natjecanju pa pobjeđuje najbrži tok. Postulirani on-line sustav bi bio najbrži od takvih hipotetskih kortikalnih tokova. I to bi onda bio vaš zombijski dio.

Bistabilni opažaji

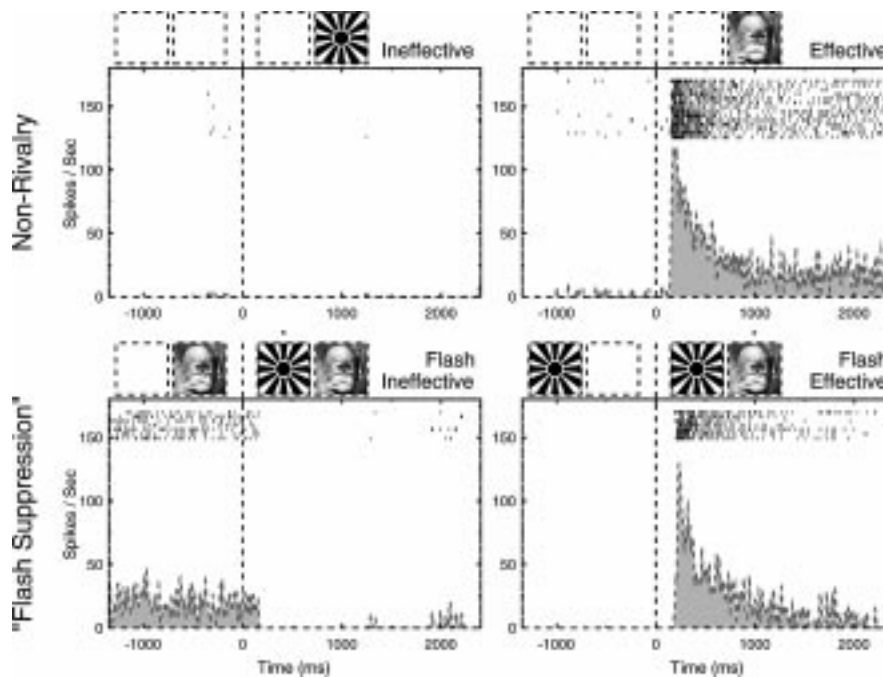
Danas možda najvažniji eksperimentalni pristup pronalaženju neuronskog korelata za svijest je proučavanje ponašanja pojedinih živčanih stanica u majmunovom mozgu dok on gleda nešto što proizvodi bistabilni opažaj. Vidni input, osim manjih pokreta oka, je stalan, ali ispitanih opažaj može imati jedan od dva alternativna oblika. To se, primjerice, događa kad gledamo crtež poznate Neckerove kocke.

Nije očito gdje bismo u mozgu trebali tražiti dvije alternativne predodžbe Neckerove kocke. Allman predlaže praktičniju mogućnost: proučavati odgovore u sustavu za vid tijekom binokularnog suparništva. Ako je vidni input različit za svako oko, ali se perpcijski preklapa, obično ga opažamo kao da smo ga vidjeli prvo jednim okom, a onda drugim. Input je stalan, ali se opažaj mijenja. Koji neuroni u mozgu slijede input, a koji opažaj?

Pioniri tog pristupa su Niklas Logothetis i njegovi kolege koji rade na sustavu za vid makaki majmuna. Oni su izvještali majmuna da izvješćuje koji od dva inputa vidi. Ti su eksperimenti teški i treba se osigurati da majmun ne vara. Značajna sličnost razdiobe vremena prekapćanja snažno ukazuje na to da majmuni i ljudi percipiraju bistabilne opažaje na isti način.

Prvi skup eksperimentata čine oni koji proučavaju neurone u mediotemporalnom području kore (također zvanom i područje V5) s obzirom na to da oni obično odgovaraju na pokret. Podražaj su bile paralelne crte koje se kreću gore-dolje. Zabilježen je samo prvi odgovor. Od relevantnih neurona samo oko 35% je bilo modulirano u skladu s opažajem o kojem je majmun izvijestio. Začudo, polovica ih je odgovarala smjeru suprotnom od očekivanog.

U drugom skupu eksperimenata korištene su nepomične crte. Položaj im se odabirao posebno za svaki slučaj tako da bude optimalan za proučavanu živčanu stanicu a za drugo oko pod pravim kutom. Zabilježeno je kako su neuroni okidali tijekom nekoliko promjena izviještenog opažaja. Neuroni su bili u područjima V1 i V2, te u V4. Skup neurona koji je odgovarao opažaju bio je sličan i u mediotemporalnom (V5) i u inferotemporalnom (V4) području, ali u područjima V1 i V2 odgovarala je znatno manja skupina neurona. Neke stanice u V4 su bile obratno korelirane s podražajem, a u V1 i V2 niti jedna.



Rezultati trećeg skupa eksperimentata bili su osobito značajni. U ovom slučaju vidni input je uključivao slike ljudi, majmuna, divljih životinja, leptira, gmazova i različitih predmeta koje je stvorio čovjek. Druga, suparnička slika je bio jednostavni geometrijski uzorak nalik na sunce. Ako bi nova slika bljesnula u jedno oko dok je drugo oko bilo fiksirano na drugi uzorak, uvijek je bio percipiran novi podražaj. Mjerenja su obavljena u gornjim i donjim dijelovima gornje temporalne brazde i u infero-temporalnom dijelu kore. Općenito, oko 90% zabilježenih neurona u tim područjima je pouzdano predviđalo opažajno stanje životinje. Štoviše, mnogi od tih neurona su odgovarali gotovo jednoznačno, okidajući jako za jedan opažaj, a samo na razini šuma za drugi.

Prošle godine Bradley i suradnici su proučavali drukčiji bistabilni opažaj u mediotemporalnom području makaki majmuna. Opažaj su, naime, proizvodili pokazujući majmunu na zaslonu dvodimenzionalnu projekciju prozirnog točkastog rotirajućeg cilindra, a da nisu dali nikakve informacije o stereoskopskom disparitetu. Ljudi uočavaju strukturu iz pokreta i vide trodimenzionalni cilindar koji se okreće oko svoje osi. Ako se dodatno ne naznači, smjer rotacije nije jasan pa promatrači najprije govore o jednom, a par sekundi poslije o drugom smjeru, i tako dalje. Trenirani majmun također daje naizmjenične odgovore o smjeru koji vidi. Oko polovice relevantnih neurona koje su Bradley i suradnici zabilježili je slijedilo opažaj (a ne »konstantan« podražaj na mrežnici).

Sve su to uzbudljivi pokusi, ali se još uvijek nalaze u ranoj fazi. To, da određeni neuron slijedi opažaj ne implicira automatski da je njegovo okidanje dio NCC-a. Neuroni NCC-a se možda nalaze i drugdje, možda na višim razinama hijerarhije sustava za vid. Očigledno je važno otkriti koji neuroni slijede opažaj za svako područje kore. To jest, o kojoj je vrsti neurona riječ, u kojem se području ili potpodručju kore nalaze, na koji način okidaju, i, što je najvažnije, *kamo projiciraju*? U ovom je trenutku tehnički teško to učiniti, ali je bitno posjedovati to znanje jer će bez njega biti gotovo nemoguće razumjeti neuralnu prirodu svijesti.

Električna stimulacija mozga

Alternativni pristup, koji ima korijene još u Penfieldovim istraživanjima iz 1958. godine, uključuje neposrednu stimulaciju moždane kore ili s njom povezanih struktura kako bi se izazvao opažaj ili bihevioralni čin. Benjamin Libet i njegovi kolege su s velikim uspjehom rabili tu tehniku na somatosenzornom sustavu pacijenata. Utvrdili su da podražaj, na samom pragu osjeta ili blizu njega, dan preko elektrode smještena na

površinu somatosenzornog dijela kore ili u ventrobazalni dio talamusa, zahtijeva minimalno trajanje (između petine i polovice sekunde) da bi bio svjesno zamijećen. Kraći podražaji nisu bivali primijećeni, iako su se korištenjem metode alternativnog izbora mogli zabilježiti s vjerojatnošću iznad slučajnosti. Čini se da razlika leži u količini i vrsti neurona odabranih za perifernu stimulaciju u odnosu na količinu i vrstu neurona pri neposrednoj centralnoj stimulaciji. Uporabom događaja opažanja kao markera Libet je također utvrdio da i događaji koji imaju uzrok u neposrednoj kortikalnoj stimulaciji kasne u odnosu na početak razdoblja stimulacije.

U nizu klasičnih eksperimenata Newsome i suradnici su proučavali kako makaki majmun ispunjava veoma zahtjevnju zadaću koja uključuje razlikovanje vizualnog pokreta. Utvrdili su kvantitativni odnos između majmunovog uspjeha i neuronskog pražnjenja neurona u mediotemporalnom dijelu moždane kore (MT). U 50% svih zabilježenih stanica, psihometrijska krivulja — temeljena na ukupnom ponašanju životinje — bila je statistički nerazlučiva od neurometrijske — temeljene na prosječnom okidanju jedne stanice u MT. U drugom nizu eksperimenata stanice u MT su bile neposredno stimulirane preko izvanstanične elektrode. Pod tim uvjetima životinjin se uspjeh mijenjao na predvidiv način, sukladno zamisli da stimulaciju malog mozga uzrokuje okidanje dostatno velikog broja neurona u MT, koji daju kôd za pokret u određenom smjeru, čime se utječe na konačnu odluku koju će životinja donijeti. Međutim, nije jasno do koje mjere je riječ o vidnoj svijesti kod upravo te zadaće koju obavljaju upravo ti, i previše istrenirani majmuni.

Hipoteza V1

Smatramo da nismo neposredno svjesni obilježja koja iskazuje aktivnost neurona u primarnom vidnom području. Aktivnost u V1 je možda nužna za živu i veridičku vidnu svijest (kao što je to slučaj s aktivnošću u mrežnicama), ali ne vjerujemo da okidanje bilo kojeg neurona u V1 izravno korelira s onim što svjesno vidimo.

Zašto? Na svakom stupnju hijerarhije sustava za vid uvijek se mogu zabilježiti eksplicitni vidovi postulirane predodžbe. Također smo pretpostavili da svaki neuron koji izražava neki aspekt NCC-a mora izravno, iako to nismo zabilježili, projicirati na bar neke dijelove mozga koji su zaduženi za planiranje voljnog djelovanja — smatramo, naime, da vid služi upravo tome. Mislimo da se to planiranje odvija u određenim dijelovima čeonog područja kore.

Neuroanatomija makaki majmuna pokazuje da stanice iz V1 ne projiciraju izravno ni na jedan dio čeonog područja kore, kao ni na repastu jezgru (nucleus caudatus) bazalnih ganglija, intralaminarne jezgre talamusa, klastrum, ni moždano deblo, s iznimkom slabog projiciranja od perifernog dijela V1 na pons. Vjerojatno je, iako ne i utvrđeno, da taj nedostatak povezanosti vrijedi i za ljude.

Strategija potvrđivanja ili obaranja te i s njom povezanih hipoteza je u tome da se kvantitativno poveže percepcija sa značajkama receptivnog polja pojedinih neurona iz V1 ili nekog drugog područja. Ako struktura osjeta ne odražava značajke receptivnog polja u stanicama iz V1, nije vjerojatno da iz tih neurona neposredno izvire svijest. Bez korelacije između osjetnog iskustva i značajki receptivnog polja u jednoj ili više skupina stanica iz V1, nije jasno koreliraju li te stanice samo sa sviješću ili svijest doista iz njih neposredno izvire. U tom slučaju treba izvesti daljnje pokuse kojima će se do kraja razjasniti odnos neurona i percepcije.

Jedan primjer bi to mogao objasniti. Dobro je poznato da na to kako opažamo boju na određenom položaju u vidnom polju utječu valne duljine svjetla koje ulazi u oko iz susjednih dijelova vidnog polja. Ta vrsta (djelomične) stalnosti boje se obično zove Landov učinak. Na majmunu pod potpunom anestezijom je otkriveno da neuroni u V4 pokazuju Lan-

dov učinak, a neuroni u V1 ne. Koliko nam je poznato, ne postoje odgovarajuće informacije za budne majmune. Ako bi isti rezultat bio dobiven i za budnog majmuna, slijedilo bi da on nije *neposredno* svjestan »neurona za boju« u V1.

Nešto eksperimentalne potpore

U posljednje dvije godine brojne su psihofizičke fiziološke studije, kao i studije snimanja, dale potporu za našu pretpostavku, iako još u nedostatnoj mjeri da bi ona bila i dokazana. Razmotrimo ukratko dvije od njih.

Kad se izmjenjuju dvije izoluminantne boje s učestalošću većom od 10 Hz, ljudi zamjećuju samo jednu, miješanu boju s minimalno opaženim treperenjem. Unatoč percepciji miješanja boja, stanice koje reagiraju na boju u primarnom vidnom području dva budna makaki majmuna slijede visokofrekventno treperenje daleko iznad učestalosti heterokromatske fuzije. Drugim riječima, neuronska aktivnost u V1 može jasno predstavljati određenu stimulaciju na mrežnici a da ne bude zamijećena. To potvrđuju recentne studije snimanja magnetskom rezonancijom kod ljudi koje su obavili Engel i suradnici.

Studija Hea i suradnika temelji se na zajedničkom vidnom post festum učinku (*aftereffect*). Ako ispitanik neko vrijeme zuri u jasan vodoravni crtkani uzorak a nakon toga bude testiran na nejasnom uzorku s istim položajem u vidnom polju, imat će smanjenu osjetljivost za opažanje vodoravnog uzorka. Ta adaptacija ovisi o orijentaciji — osjetljivost na okomit crtkani uzorak je gotovo nepromijenjena i ubrzo posve nestaje. Autori studije su projicirali jedan dio uzorka na zaslon računala nekih 25 stupnjeva od točke u koju ispitanik zuri. Uzorak je bio jasno vidljiv i ispitanici u iskazali predvidivi učinak adaptacije ovisne o orijentaciji uzorka. Dodavanjem jednog ili više sličnih dijelova uzorka s obje strane početnog uzorka — koji je ostao nepromijenjen — vrste uzorka su prestale biti vidljive; uzorak je postao »maskiran«. Subjektivno, ispitanik još uvijek vidi »nešto« na mjestu početnog uzorka, ali ne može razaznati njegovu orijentaciju, čak i ako mu se za to daje neograničeno vrijeme. Ali, unatoč nemogućnosti da »vidi« podražaj na koji je adaptiran, post festum učinak je bio jednako izražen i jednako ovisan o orijentaciji »nevidljivog« uzorka kao što je bio slučaj i s vidljivim. Ono što se time pokazuje, a ranijim je pokusima ostalo nejasno, jest da se vidna svijest u takvim slučajevima pojavljuje na mnogo kasnijim razinama hijerarhije sustava za vid nego adaptacija. Smatra se da je taj post festum učinak posredovan orijentiranim neuronima u području V1 i iza njega, što znači da se, barem u tom slučaju, neuroni koji posreduju vidnu svijest moraju nalaziti iznad te razine.

Naše ideje o nedostatku NCC-a u kortikalnom području V1 nisu opovrgnute eksperimentima u kojima su se rabile snimke dobivene tomografijom pozitronskom emisijom (PET) koje pokazuju da je kod nekih ljudi V1 aktiviran u zadaćama stvaranja slika, iako su teška oštećenja V1 kompatibilna sa stvaranjem slika u pacijenata. Ne postoji očit razlog zašto takvi učinci odozgo ne bi dosizali do V1. Takva aktivnost V1 ne bi, sama po sebi, dokazala da smo je *neposredno* svjesni, ništa više nego što bi to dokazivala aktivnost V1 koja se stvara kad otvaramo oči. Nadamo se da će daljnji rad na neuroanatomiji učiniti našu hipotezu plauzibilnom i za ljude, i da će pokazati da je istinita za većinu primata. Ako je točna, ona sužava potragu na područja mozga daleko od osjetne periferije.

Hipoteza čeonog režnja

Kako je više puta spomenuto, pretpostavljamo da neuronski korelat za svijest mora imati pristup eksplicitno kodiranim vidnim informacijama te da izravno projicira u razine mozga zadužene za planiranje, povezane s čeonim (ili frontalnim) režnjevima općenito, a osobito s prefrontalnim dijelom moždane kore. Stoga predviđamo da pacijenti koji su imali ne-

sreću izgubiti cijeli prefrontalni dio kore na obje strane (uključujući i Brocaovu regiju) neće biti vidno svjesni, iako bi pritom mogli imati dobro očuvane, ali nesvjesne vidno–motoričke sposobnosti. Ne znamo ni za jednog takvog pacijenta (takvima ne pripada čak ni slavni Bricknerov). Vidne sposobnosti bilo kojeg takvog »pacijenta čeonog režnja« trebaju se pažljivo vrjednovati uporabom čitave baterije prikladnih psihofizičkih testova.

Istraživanje Saharica i suradnika funkcionalnom magnetskom rezonancijom na slijepim pacijentima pruža nesposredan dokaz u prilog našem gledištu. Oni su otkrili da su prefrontalna područja 46 i 47 aktivna kad je pacijent G. Y. vidno svjestan pokretnog podražaja.

Nedavni pronalazak neurona u donjem prefrontalnom dijelu kore makaki majmuna koji selektivno odgovaraju na sliku lica — i koji izravno primaju input iz područja oko gornje temporalne brazde i donje temporalne vijuge za koje je poznato da sadrže takve neurone — također je veoma ohrabrujuć u tom pogledu. Time se postavlja pitanje zašto se neuroni koji selektivno odgovaraju na slike lica nalaze i u inferotemporalnom i u donjem prefrontalnom dijelu kore. Razlikuju li se ta područja po nečem važnom?

Pokusi s nanošenjem velikih lezija na mozgu majmuna ukazuju na to da nedostatak čeonih režnjeva vodi do potpune sljepoće. Nadamo se da će budući eksperimenti na majmunima reverzibilno deaktivirati pojedina prefrontalna područja i pokazati specifične gubitke sposobnosti povezane s vidnom percepcijom dok će vidno–motoričko ponašanje — posredovano on–line sustavom — ostati netaknuto.

Bit će važno proučavati shemu povezanosti između najviših razina hijerarhije vidnoga sustava — kao što je inferotemporalni korteks — i predmotoričkog i prefrontalnog dijela moždane kore. I napose, otkriva li anatomija bilo kakve petlje povratne sprege koje bi mogle potaknuti aktivnost između inferotemporalnih i prefrontalnih neurona? Ne postoje uvjerljivi dokazi da se projekcije koje iz prefrontalnog dijela kore putuju natrag u inferotemporalni zaustavljaju u četvrtom sloju moždane kore, ali to se još mora izravno istražiti.

Gama oscilacije

Mного se očekuje od postojanja oscilacija u gama području (tj. između 30 i 70 Hz) u potencijalu lokalnih područja i u višestrukom snimanju vidnog i motoričkog sustava mačaka i primata. Postojanje takvih oscilacija ostaje dvojbeno u višim područjima vidnog dijela moždane kore. Ostajemo agnostici s obzirom na relevantnost tih oscilacija za svjesnu percepciju. Moguće je da one služe za uspostavu obrisa u ranoj fazi vidnog procesiranja.

Filozofska pitanja

Trenutno ne postoji općeprihvaćen filozofski odgovor na problem svijesti, osim što većina živućih filozofa nisu kartezijanski dualisti — tj. ne vjeruju u nematerijalnu dušu, različitu od tijela. Čini nam se da ni većina neuroznanstvenika ne vjeruje u dualizam, s najpoznatijom iznimkom pokojnog Sir Johna Ecclesa.

Ovdje nećemo opisivati različita mišljenja filozofa. Recimo samo da, iako su filozofi u prošlosti postavljali zanimljiva pitanja i ukazivali na moguće pojmovne nejasnoće, povijesno imaju vrlo slabe rezultate u dolaženju do valjanih znanstvenih odgovora. Iz tog razloga, neuroznanstvenici trebaju slušati pitanja koja filozofi postavljaju, ali ne bi trebali biti zastrašeni njihovim raspravama. Posljednih nekoliko godina količina rasprava o svijesti je dosegla apsurdne razmjere u usporedbi s količinom relevantnih eksperimentalnih istraživanja.

Problem qualia

Što zapravo čudi filozofe? Općenito, to su qualia — plavetnilo plavog, bolnost bola, i tako dalje. Isto muči i laike. Kako živu vizualnu scenu koju ste upravo vidjeli možete objasniti u terminima okidanja neurona? Argument da se svijest ne može objasniti djelovanjem dijelova mozga dade se pratiti bar do Leibniza u sedamnaestom stoljeću. Ali usporedimo to s analognom tvrdnjom: da nije moguće objasniti »živost« živih bića (kao što su, primjerice, bakterije) djelovanjem »mrtvih« molekula. Ta tvrdnja, iz mnogih razloga, danas zvuči nevjerojatno šuplje. Znanstvenici razumiju enormnu moć prirodnog odabira. Oni poznaju kemijsku prirodu gena i znaju da je nasljeđe stvar pojedinačnih osobina, a ne njihova miješanja. Oni razumiju veliku suptilnost, sofisticiranost i raznolikost proteinskih molekula, složenu narav kontrolnih mehanizama koji gene aktiviraju i deaktiviraju, i složene načine na koje bjelančevine međudjeluju s drugim bjelančevinama i mijenjaju ih. Posve je moguće da nas na sličan način vrlo složena priroda neurona i njihovih interakcija, mnogo složenija nego što to većina ljudi zamišlja, navodi na krivi smjer i kad je riječ o svijesti.

Neki filozofi (primjerice John Searle i Daniel Dennett) prilično su skloni toj analogiji »živosti« i »svjesnosti«, a i mi smo; ali, kako naglašava David Chalmers, analogija je samo analogija. On daje filozofske razloge zbog kojih misli da je ova pogrešna. Neuroznanstvenici znaju samo mali dio osnova neuroznanosti, kao što je priroda potencijala za djelovanje i kemija većine sinapsi. Što je najvažnije, ne postoji sveobuhvatna, opća teorija moždane aktivnosti. Ako želimo pokazati da je analogija ispravna, moramo je ispuniti mnogim eksperimentalnim detaljima i snažnim općim idejama. Mnogo toga još uvijek nedostaje.

265
3. program
hrvatskog
radija

Taj problem qualia Chalmers naziva »težak problem«: to je potpuno objašnjenje načina na koji subjektivno iskustvo nastaje iz moždanih procesa. Kako mi to vidimo, težak problem se može razbiti na nekoliko pitanja, od kojih je prvo glavni problem: Kako uopće svjesno osjećamo bilo što? Što vodi do osobitog svjesnog iskustva (kao što je plavetnilo plavog)? Koja je funkcija svjesnog iskustva? Zašto je neke aspekte subjektivnog iskustva nemoguće prenijeti drugima (drugim riječima, zašto su privatna)?

Vjerujemo da imamo odgovore na posljednja dva pitanja. Već smo objasnili čemu mislimo da služi svijest. Da je vidna svijest velikim dijelom privatna, držimo, neizbježna je posljedica načina rada mozga. (Kad kažemo da je svijest »privatna«, mislimo da je inherentno nemoguće u komunikaciji egzaktno prenijeti narav onoga čega smo svjesni.) Da bismo bili svjesni, u mozgu mora postojati eksplicitna predstava svakog aspekta vidne svijesti. Na svakoj sljedećoj razini u vidnom području moždane kore se bilježi ono što je eksplicitno. Za proizvodnju motoričkog outputa, kao što je govor, informacije treba isponova kodirati tako da ono što je izraženo motoričkim neuronima bude povezano, ali ne identično, s eksplicitnom reprezentacijom izraženom okidanjima neurona povezanih s, primjerice, iskustvom boje na nekoj razini hijerarhije sustava za vid.

Zbog toga nije moguće riječima egzaktno obuhvatiti narav subjektivnog iskustva. Moguće je, međutim, opisati *razliku* između subjektivnih iskustava — razlučiti crveno od narančastog, primjerice. To je moguće zato što se razlika u višim razinama vidnog kortikalnog područja još uvijek može povezati s razlikom na razini motorike. To implicira da drugim ljudima nikada ne možemo objasniti narav bilo kojeg svjesnog iskustva, nego samo, u nekim slučajevima, odnos jednog prema drugim iskustvima.

Ima li smisla pitati je li plava boja što je subjektivno vidite ista kao i plava boja koju vidim ja? Ako se pokaže da je neuronski korelat za plavo potpuno isti u vašem mozgu kao i u mojemu, bilo bi znanstveno plauzibilno zaključiti da vi vidite plavo isto kao i ja. Problem je u onome »potpuno isti«. Koliko će preciznosti biti potrebno ovisi o detaljnom poz-

navanju relevantnih procesa. Ako neuronski korelat za plavo na neki važan način ovisi o mojem prošlom iskustvu, a moje iskustvo je značajno različito od vašega, onda možda neće biti moguće deducirati da i jedno i drugo vidimo plavo na potpuno isti način.

Bi li se taj problem mogao riješiti povezivanjem dva mozga na neki razrađeni način? U ovom trenutku, ni u doglednoj budućnosti, to nije moguće. Utoliko smo u iskušenju uporabiti filozofovo omiljeno oruđe, misaoni eksperiment. Nažalost, taj pothvat je prepun opasnosti jer se njime neizbježno unaprijed pretpostavlja kako se mozak ponaša, a mnoge od tih pretpostavki imaju tako malo eksperimentalne potvrde da su zaključci temeljeni na njima bezvrijedni.

Problem značenja

Važan problem kojega neuroznanstvenici zanemaruju jest problem značenja. Neuroznanstvenici su skloni pretpostaviti da ako mogu vidjeti da je okidanje neurona koliko-toliko korelirano s nekim aspektom vizualne scene, kao što je vodoravna ili okomita crta, onda okidanje mora biti dio neuronskog korelata za opaženu crtu. Oni pretpostavljaju da ako su oni, kao izvanjski promatrači, svjesni korelacije, onda okidanje mora biti dio NCC-a. To nikako ne slijedi, kako smo argumentirali na slučaju neurona u području V1.

Ali to nije glavni problem. Glavni problem je sljedeći: kako drugi dijelovi mozga znaju da okidanje neurona (ili skupa sličnih neurona) proizvodi svjesni opažaj, recimo, lica? Kako mozak zna što znači okidanje tih neurona? Drugim riječima, kako mozak stvara značenje?

Problem ima dva vida. Kako izraziti značenje u terminima neurona? I kako nastaje taj izraz značenja? Čini nam se da značenje potječe i od prije opisanog koreliranog okidanja i od veza s odnosnim reprezentacijama. Primjerice, neuroni koji se odnose na određeno lice mogu biti povezani s neuronima koji izražavaju ime osobe čije je to lice kao i s drugima za njezin glas, sjećanja u vezi s njim itd. u ogromnu mrežu asocijacija, sličnu rječniku ili relacijskoj bazi podataka. Ostaje nejasno kako to točno radi u pojedinostima.

Ali odakle potječu te korisne asocijacije? Očigledna zamisao je da jako ovisi o konzistentnosti interakcija s okolinom, osobito tijekom ranog razvoja. Značenje se također može steći poslije u životu. Uobičajeni primjer je slijepac sa štapom. On s vremenom počne osjećati i ono što štap dodiruje, a ne samo štap. Domišljatu su demonstraciju po sličnim crtama izveli Ramachandran i Hirstein u njihovom ogledu nedavno objavljenom u *Journal of Consciousness Studies*.

Budući eksperimenti

Iako pokusi o pažnji, kratkotrajnoj i radnoj memoriji, koreliranom okidaju neurona i slični mogu olakšati potragu za NCC-om, u ovom trenutku najviše obećavaju eksperimenti s bistabilnim opažajima. Ti pokusi bi se morali nastaviti u mnogim područjima kore i talamusa te bi se trebali proširiti tako da obuhvate i druge opažaje. Također je važno otkriti *koji* neuroni izražavaju NCC u kojem slučaju (koji neuronski podtip, u kojem području, itd.), kako okidaju, i napose, kamo projiciraju. Potporu tim otkrićima moralo bi dati detaljnije poznavanje neuroanatomije povezanosti. To je relativno lako učiniti s makaki majmunima, ali je teško kod ljudi. Osim toga, važno je otkriti kako rade različiti on-line sustavi kako bi se moglo usporediti njihovu (nesvjesnu) neuronsku aktivnost s NCC-om.

Bit će nužno usporediti istraživanja na majmunima sa sličnim istraživanjima na ljudima, rabeći kako psihofizičke eksperimente tako i metode funkcionalnog snimanja kao što su tomografija pozitronskom emisijom (PET) ili funkcionalna magnetska rezonancija. Slično, eksperimenti funkcionalnim snimanjem na normalnim ispitanicima ili pacijentima, koji bi, primjerice, pokazivali uključenost prefrontalnih područja u vidnoj per-

cepciji, mogu pružiti osnovu za odgovarajuća elektrofiziološka istraživanja na majmunima. Značajnu pomoć dala bi i detaljnija arhitektonička istraživanja moždane kore i talamusa, s obzirom na to da ona mogu biti obavljena post mortem na i majmunima i na ljudima. Iznimno brz ritam napredovanja u molekularnoj biologiji bi uskoro trebao pružiti bogatstvo novih čimbenika koji će pomoći u tom pothvatu.

Za razumijevanje veoma složenog nelinearnog sustava bitno je moći na njega utjecati specifično i delikatno. Veliki utjecaj molekularne biologije će po svoj prilici provizorno dati metode za deaktivaciju svih neurona određenog tipa. Idealno, to bi trebalo učiniti reverzibilno na odraslim životinjama. U ovom trenutku to je praktično jedino na miševima i štakorima, ali možemo se nadati da će u budućnosti biti pronađene metode primjenjive i na odraslim majmunima (možda uporabom viralnog vektora), jer su takve metode potrebne i za medicinski tretman ljudi.

Kao primjer, razmotrimo pitanje jesu li kortikalni povratni putovi — koji polaze iz viših vidnih područja i projiciraju na niža — bitni za normalnu vidnu svijest. Postoje barem dva različita tipa povratnih putova: jedan, od gornjih slojeva kore ide samo nekoliko koraka unatrag u hijerarhiji sustava za vid; drugi, od nižih slojeva, može ići natrag na veće razdaljine. Voljeli bismo da možemo selektivno deaktivirati te putove, pojedinačno i sve skupa, kod odraslog makaki majmuna. Današnje metode nisu dostatno specifične da bi se to učinilo, ali nove metode molekularne biologije s vremenom bi to mogle omogućiti.

Neće biti dosta pokazati da određeni neuroni utjelovljuju neuronski korelat za svijest u određenim — ograničenim — vizualnim situacijama. Potrebno je pronaći NCC za sve tipove vidnih podražaja, ili barem za njihov dostatno velik i dostatno reprezentativan uzorak. Primjerice, kad netko trepne, kapci zakratko (na 30 — 50 ms) pokriju oči, pa ipak vidni osjet jedva da biva prekinut. Stoga je za očekivati da na NCC neće utjecati treptaji oka (tj. aktivnost okidanja ne bi trebala primjetno opasti za vrijeme treptaja), ali bi na NCC moglo utjecati umjetno zastiranje vizualne scene u istom trajanju. Drugi primjer je veliki broj vidnih iluzija. Ljudi, primjerice, pod odgovarajućim okolnostima jasno opažaju post festum učinak tranzijentnog pokreta. Na temelju snimki funkcionalne magnetske rezonancije pronađeno je da se ljudski ekvivalent mediotemporalnog kortikalnog područja aktivira post festum učinkom pokreta (u odsutnosti bilo kojeg pokretnog podražaja). Trajanje te iluzije paralelno je trajanju aktivnosti očitane funkcionalnom magnetskom rezonancijom. Da bismo uistinu imali NCC, moramo identificirati pojedine stanice koje izražavaju te i slične post festum učinke. Pretpostavili smo da je vidni NCC kod ljudi vrlo sličan NCC-u u makaki majmuna, uglavnom zbog sličnosti njihovih sustava za vid. Konačno, potrebno je pronaći vezu između neurona i percepcije kod ljudi.

Problem značenja i pitanje kako ono nastaje je teži, jer do danas još ne postoji niti okvirna formulacija tog problema u neurološkim terminima. Primjerice, ovise li višestruke asocijacije o učincima tranzijentnog prvenstva? Kakvo god objašnjenje bilo, prijeko je potrebno proučavati životinju u razvoju kako bi se pokazalo kako nastaje značenje; i napose koliko je ugrađeno epigenetički, a koliko se stvara iskustvom.

Na dugi rok, pronalaženje NCC-a neće biti dostatno. Potrebna je potpuna teorija svijesti koja će uključivati i funkcijsku ulogu svijesti. S nešto sreće, njome će biti rasvijetljen i problem qualia. Tada će znanstvenici po svoj prilici prestati rabiti pojam svijesti, osim u vrlo općenitom značenju. Na kraju, biolozi više ne trebaju brinuti jesu li sjeme ili virus »živi«. Oni samo žele znati kako su evoluirali, kako se razvijaju, i što rade.

Završnica

Nadamo se da smo uvjerali čitatelje da je problem neuronskog korelata za svijest danas zreo za izravan znanstveni napad. Predložili smo jedan mogući okvir za razmišljanje o problemu — drugima možda više odgovara drukčiji pristup: naravno, i naše će se vlastite zamisli vjerojatno s vremenom mijenjati. Okvirno smo opisali nekoliko eksperimenata koji se neposredno tiču našeg problema te smo ukratko spomenuli druge vrste eksperimenata koji bi se mogli obaviti u budućnosti. Nadamo se da će neki od mlađih neuroznanstvenika ozbiljno razmotriti mogućnost rada na tom fascinantnom problemu. Na kraju, bilo bi prilično čudno raditi na sustavu za vid i ne brinuti o tome što se točno događa u našem mozgu kad nešto »vidimo«. Objašnjenje svijesti je jedan od glavnih neriješениh problema moderne znanosti. Nakon nekoliko tisuća godina spekulacije, bilo bi veoma lijepo na njega pronaći i odgovor.

