

Poglavlje 1

ŠTA NAS ČINI ŽIVIMA?

Pre više milijardi godina, delovanjem zvezda, nastali su atomi od kojih smo izgrađeni. Mnogi od tih atoma su sada privremeno povezani u celinu da bi poprimili ljudski oblik. Kad umremo, atomi će se ponovo razdvojiti i vratiti se u prirodu. Ta spoznaja nas ostavlja s pitanjem – šta čini razliku između živog i neživog? Očito je da isti atomi mogu biti, u različitim vremenima, ugrađeni u živu i neživu materiju.

Sa stanovišta hemije i biohemije moguće je da o nama razmišljamo kao o neverovatno složenom sistemu. Taj sistem je sazdan od strukturalnih proteina, enzima, koenzima, molekula građenih od azotnih baza sa uskladištenim informacijama kao što je DNK, zatim od fosfolipida, sfingolipida, šećernih struktura, signalnih molekula, te mnogih drugih molekula i njihovih međusobnih elektrohemijskih reakcija. Taj sistem trajno koristi kiseonik, vodu i hranu u cilju svog samoodržanja. Stoga je razmišljanje o životu kroz prizmu fizike ili hemije izuzetno složeno. Zato smo se do sada najviše držali razmišljanja o našem organizmu iz perspektive biologije. Na organizam gledamo kao na skup hiljada milijardi naših sopstvenih ćelija i još hiljada milijardi bakterijskih ćelija, koje takođe obitavaju u ljudskom telu.

Pre nego što bi naučnici mogli da se posvete analizi prepreka koje stoje na putu prema značajnom produženju životnog veka, bilo bi korisno da najpre razumeju šta nas to čini živima, ukoliko hoćemo da odložimo neumitnu smrt. Očigledno, živi smo jer su naše ćelije žive i uredno

funkcionišu. Ali naše ćelije se neprestano dele. Mogu li tako unedogled? Koliko dugo živi svaka naša ćelija? Kako i kada umire? Ako različite grupe ćelija imaju različit životni vek, kako možemo da merimo koliko smo mi, kao organizam, stari?

Pre nego što odgovorimo na ta teška pitanja, možda bi trebalo da nakratko napustimo Zemlju. Osvrnemo li se oko sebe, moramo priznati da u Sunčevom sistemu nismo otkrili tragove života na nebeskim telima koja su naše svemirske sonde dosad posetile. To verovatno znači da život nije preterano česta pojava u svemiru i da ga ne treba očekivati na svakom nebeskom telu. Znamo samo da život postoji na Zemlji. Život istražuje nauka koju nazivamo biologija. Biolozi će reći da su za život neophodni biološki procesi kao što su samoodržanje ili signalni putevi. Neživo stanje karakteristično je za objekte poput kamena, koji nikad nisu pokazivali obeležja života, ili za ostatke životinja i biljaka, koje su u jednom trenutku bile žive, ali su njihove funkcije prestale.

Već nam postaje jasnije koliko je teško definisati šta je to živo u odnosu na neživo. Razdvajanje tih pojmova još je teže ako uzmemo u obzir razmnožavanje virusa, viroida, priona ili čak sintetičkih oblika života, za koje nije sasvim jasno treba li da ih smatramo živima ili ne treba. Nema, dakle, opšteg konsenzusa u nauci oko toga kako da definišemo živo. Iz iskustva znamo da su živi organizmi otvoreni sistemi koji održavaju svoju unutrašnju organizaciju, tj. homeostazu. Građeni su od ćelija, svojih osnovnih strukturnih i funkcijskih delova. Imaju životne cikluse u kojima rastu i razvijaju se, razmnožavaju se, a zatim stare i umiru. Uz to, imaju i sopstveni metabolizam, u stanju su da se prilagođavaju okolini i odgovaraju na stimuluse. Život je, prema tome, obeležje nečega u prirodi što ima sposobnost da održava i unapređuje svoje postojanje u datoj sredini. Ta definicija mogla bi da bude korisna ukoliko pronađemo negde drugde u svemiru bilo šta što podseća na život.

Posebna zanimljivost u vezi s pojavom života u naizgled neživom svemiru jeste to što je život neverovatno precizno uređena pojava. Ali prema zakonima termodinamike, „neuređenost“, merena entropijom, trebalo bi da se stalno povećava unutar tog svemira koji je mrtav. Kako uskladiti pojavu života na Zemlji, pogotovo spontanu, s tim temeljnim zakonima termodinamike? Tim pitanjem su se, između ostalih, bavili i fizičari Džon Bernal, Ervin Šredinger, Eugen Vigner i Džon Ejveri.

Oni su zaključili da život pripada klasi fenomena u prirodi u kojima neki fizičko-hemijski sistemi, koji su u interakciji sa svojom okolinom, nastoje da se organizuju kako bi smanjili svoju unutrašnju entropiju. Da bi to postigli, potrebna im je prilično velika energija. Nju dobijaju iz materije – ili slobodne energije – koja već postoji u njihovom okruženju, tj. od hrane, vode i kiseonika, a zatim ih odbacuju u razgrađenom obliku. To bi značilo da supstance koje unosimo u organizam, a zatim ih razgrađene vraćamo okolini izdisajem, kroz mokraću i stolicu, zapravo daju neophodnu energiju. Ta energija se koristi kako bi uređenost organizma prkosila neizbežnoj entropiji, raspadu i haosu.

Nekoliko Nobelovih nagrada je dodeljeno za detaljnije uvide u to kako se ćelije, naši osnovni gradivni elementi, održavaju u životu i kako funkcionišu. U 2001. godini američki naučnik Loland H. Hartvel, britanski biohemičar ser Ričard Timoti Hant i engleski genetičar ser Pol M. Ners nagrađeni su za svoja otkrića o životnom ciklusu naših ćelija. Da bi višećelijski živi organizam normalno funkcionisao, deoba njegovih brojnih ćelija mora se odvijati tačno određenim vremenskim tempom. Deoba ćelija se odvija u nekoliko faza: G1 označava prvobitni rast; S označava sintezu; G2 označava nastavak rasta; M označava mitozu, tj. deobu ćelije na dve nove ćelije. Hartvel, Hant i Ners otkrili su proteine ciklin i ciklin-zavisnu kinazu (engl. *cyclin-dependent kinase*, CDK), koji u ljudskim ćelijama kontrolišu prelazak iz jednog stadijuma ćelijskog ciklusa u drugi. Te proteine smatramo svojevrsnim kontrolorima. Oni proveravaju da li su faze završene na zamišljen način i da li se ćelija ispravno podelila. Ako se ćelija ne podeli ispravno, drugi proteini pokušaću da je poprave. Ukoliko im to ne uspe, oni će uništiti ćeliju. Time sprečavaju veće i ozbiljnije probleme, jer ako se u ovom procesu pojavi greška – recimo, u slučaju da se ćelija pogrešno podeli, a uspe da preživi – ćelija može da izazove rak i druge ozbiljne bolesti.

Hartvel je uticao da se razjasni način na koji se upravlja ćelijskim ciklusom. Istražujući ćelije kvasca, pronašao je stotine gena koji upravljaju deobom ćelije. Pokazao je i da se ćelijski ciklus odmah zaustavlja ako nastane oštećenje molekula DNK. Hant je istraživao morske ježeve i pronašao zanimljive proteine – cikline. Oni se nakupljaju tokom različitih faza ćelijskog ciklusa, a zatim se razgrađuju, pri čemu imaju važne uloge u kontroli tih faza. Ners je pronašao gen *cdc2* u kvascima. Taj gen kontroliše prelaz ćelije iz faze G1 u fazu S, kada ćelija raste pripremajući

se za udvajanje svog DNK molekula, a zatim i iz faze G₂ u fazu M, kada se ćelija deli. Pokazao je i da postoji analogni gen kod ljudi, a to je gen CDK1. Ti geni zaustavljaju i pokreću enzim ciklin-zavisnu kinazu tako što mu dodaju ili oduzimaju fosfatne grupe.

Već godinu kasnije, 2002 godine, nagrađeni su i južnoafrički biolog Sidni Brenner, američki biolog H. Robert Horvic i britanski biolog ser Džon E. Salston. Oni su doprineli razumevanju genetičke regulacije razvoja organa i programirane smrti ćelije.

Znamo da se ćelije tokom rasta i razvoja organizma neprestano dele. Ipak, potrebno je i da neke od njih počnu da umiru kako bi održavale ravnotežu u broju ćelija neophodnu za svaku fazu razvoja i života organizma. Proces umiranja ćelije je pod kontrolom gena, a naziva se programirana smrt ćelije ili apoptoza. Proučavanjem sićušnog crva latinskog naziva *Caenorhabditis elegans*, Brenner je povezao razne gene s deljenjem ćelije i razvojem organa. Istražujući isti organizam, *C. elegans*, Horvic je pronašao dva gena potrebna za programiranu smrt ćelije: ced-3 i ced-4. Štaviše, pokazao je da gen ced-9 štiti ćeliju od programirane smrti interakcijom s prethodna dva gena. Otkrio je i niz gena koji upravljaju procesom eliminacije mrtvih ćelija.

I Salston je proučavao *C. elegans* i pokazao kako se ćelije tog crva dele i sazrevaju preuzimajući određene uloge. Važno je da je pokazao kako je smrt pojedinačnih ćelija na neki način programirana u normalan razvoj organizma. Salston je dokumentovao razvoj čitavog organizma *C. elegans* iz prve ćelije, čime je ovaj crv postao prvi viševićijski organizam u kojem je poreklo baš svake ćelije poznato. To mu je omogućilo praćenje mutacija koje su se nakupljale u ćelijama tokom njihovog razvoja, uključujući i one u genima zaduženim za programiranu smrt ćelije.

Za zanimljiv nastavak ove priče pobrinule su se australijsko-američka naučnica Elizabet H. Blekberner, američka naučnica Kerol V. Grajder i američko-kanadsko-poljski naučnik Džek V. Šostak. Oni su dobili Nobelovu nagradu 2009. za otkriće uloge telomera na kraju hromozoma i enzima telomeraze. Visoko organizovane informacije uskladištene u genima unutar dugih molekula DNK umotane su u hromosome koji se nalaze u jedru ćelija. Kada se ćelija podeli, važno je da se hromozomi potpuno kopiraju, kao i to da nisu oštećeni. U tu svrhu, na kraju svakog hromozoma leži kapica – telomera – koja ga štiti. Blekbernerova je najpre otkrila da telomere imaju svoju posebnu DNK. Zatim je, zajedno

sa Šostakom, dokazala da taj DNK sprečava da se hromozomi razgrade na manje delove. Naposletku, radeći s Kerol Grajder, otkrila je enzim telomerazu, koji izgrađuje DNK svake telomere.

Iz opisanih naučnih uvida važno je upamtiti kako smrt svake ćelije može biti i programirana, kao deo velikog plana razvoja organizma. Dakle, ćelijska smrt ne mora nastupiti samo zbog trošenja i raspada, eliminacije od strane imunskog sistema ili pak zbog fizičke traume. U zavisnosti od funkcije različitih vrsta ćelija u organizmu, postoji velika razlika između njihovog očekivanog životnog veka. Najkraće žive ćelije sluzokože creva, tek oko četiri dana, a nove ćelije stalno ih zamenjuju stvarajući se iz matičnih ćelija. Ćelije površine kože obnavljaju se otprilike svake dve nedelje. Crvene krvne ćelije, koje vežu kiseonik, traju oko četiri meseca. Ćelije jetre, koje detoksikuju organizam, požive od oko 10 do 18 meseci. Ćelije kosti žive nešto više od 10 godina, a ćelije ostatka creva, koje nisu sluzokoža, traju oko 15 godina. Međutim, ćelije sive moždane mase i, na primer, oka, uopšte se ne menjaju i ostaju funkcionalne od rođenja do smrti. One se ne zamenjuju čak ni kada same odumru.

Zbog toga je prosečno doba naših ćelija u telu samo desetak godina, uz izuzetak naše moždane kore. To ima smisla, jer moždana kora čuva sećanje na celokupno naše postojanje, inače bismo redovno zaboravljali svoj dotadašnji život ukoliko bi se te ćelije delile ili odumirale. Izuzetna važnost otkrića Elizabet Blekbern i njenih kolega u vezi s telomerama u tome je što smo stekli uvid u to kako se prosečna ćelija ljudskog organizma može podeliti od 50 do 70 puta pre nego što umre, a pri svakoj njenoj deobi skraćuju se telomere na kraju hromozoma. Verovatno je i to da tempo deobe ćelija varira među ljudima, baš kao i visina ili težina. Zato neki naučnici smatraju kako bi ljudsko doba trebalo da merimo prema tome koliko nam je deoba ćelija još preostalo, uvidom u stanje telomera, a ne prema vremenu koje je proteklo od našeg rođenja. Ipak, izuzetak od tog pravila su ćelije tumora. Kod njih su mehanizmi ćelijskog rasta i deobe grubo poremećeni, pa tako i funkcija telomeraze, što omogućuje ćelijama raka da u ćelijskim kulturama nastave da se dele unedogled.

Kad sve to znamo u vezi sa životom i smrću pojedinačnih ćelija u našem organizmu, šta onda čini smrt jednog organizma ako on sadrži trilionne svojih ćelija, a onda još i trilionne bakterijskih? Postoji li „opšta“ smrt čitavog organizma ili tu smrt čine pojedinačne smrti svake njegove

ćelije? Iskustveno je poznato da je smrt trajan prestanak funkcije i odvijanja svih bioloških procesa u organizmu ili u ćeliji. Ipak, nije lako odgovoriti na pitanja kada smrt jednog kompleksnog organizma uopšte nastupa i na osnovu kojih kriterijuma. Zato se ovim pitanjima vrlo intenzivno bave pravni stručnjaci, koji nastoje da utvrde definicije kojima se koriste u sudskim procesima.

Kao rezultat ovih nedoumica, verovatno ne iznenađuje što su tokom istorije ljudi patili od *tafefobije* – straha od toga da se bude živ zakopan. Prestanak funkcija u izuzetno kompleksnom višćelijskom organizmu nije simultan u svim sistemima organa. Čini se da, nakon prestanka rada mozga, srca i pluća, smrt „putuje“ organizmom ubijajući ćeliju po ćeliju, zavisno od toga koliko su već stare, u kakvom su stanju i koliko su otporne na manjak hrane i kiseonika. U raznim razdobljima ljudske istorije cvetala je industrija mrtvačkih sanduka sa ugrađenim alarmom, koji se mogao čuti iznad zemlje, baš zato što se znalo da smrt nije sasvim jednostavno tačno utvrditi.

ŠTA NAS ČINI SVESNIMA?

To što smo grupa ćelija u prostoru, tačno određenog oblika i precizne funkcije svake ćelije, još uvek ne znači da bi ta grupa od više triliona članova trebalo da bude i svesna same sebe. Zaista je tako, ako nismo samo grupa sopstvenih ćelija. U svom organizmu mi smo domaćini i trilionima bakterijskih ćelija. Mi, dakle, ličimo na nekakvu vreću mešovitog ćelijskog sadržaja – i naših domaćih i onih tuđinskih – koje na okupu, već opisanim mehanizmima, drži naš imunski sistem. Zašto onda o sebi razmišljamo kao o jednom, jedinstvenom biću? Zato što je svakom od nas data svest o vlastitom postojanju kao jedinke. Štaviše, rođeni smo sa sposobnošću pamćenja svega što nam se dogodilo u vremenu. I naša svest i naše pamćenje ukorenjeni su u mreži ćelija našeg nervnog sistema. Mozak, središte tog sistema, neprekidno upija informacije koje mu stižu iz svakog delića tela do kojeg se nervi i njihovi tanani ogranci prostiru.

Kolika je važnost mozga za našu svest o sebi govori sledeći primer. Ljudi u raznim nesrećnim okolnostima mogu da ostanu bez ekstremiteta. Zbog trauma ili bolesti mogu im biti odstranjeni slezina, bubreg, plućno krilo, može im biti premošćen dobar deo creva ili presađivanjem zamenjeni srce, jetra, bubrezi ili drugi organi. Dakle, možemo ostati bez mnogih delova tela, uključujući i milijarde ćelija u tim delovima. I pored toga i dalje ćemo zadržati svest o sebi kao jedinstvenom biću. Jedini deo tela koji ne možemo da uklonimo ako i dalje želimo da budemo svesni

jesto mozak. Njegovo oštećenje, kao i oštećenje kičmene moždine ili nerava, još uvek ne umemo da popravimo. Za ostale organe u našem telu način funkcionisanja sada nam je već prilično jasan pa smo za sve uspeli da objasnimo funkciju na prilično mehanicistički način. Sve što se zbiva u drugim organima podseća na vrlo elegantno osmišljen biološki mehanizam. Prirodu misli i svesti kao i njihovu materijalnu osnovu, nauka još uvek ne uspeva da dokuči.

U remek-delu *2001: Odiseja u svemiru* (1968) Stenli Kjubrik je vizi onarski ukazao na problem koji bi se mogao pojaviti ako čovečanstvo nastavi da razvija sve složenije tehnologije ne razumevajući pritom šta je to svest i kako ona nastaje. Scenario su zajedno napisali Kjubrik i Artur Klark, vodeći autor naučne fantastike tog doba. Predvideli su, pedeset godina pre vremena, problem koji danas zaokuplja mnoge naučnike: smemo li nastaviti da razvijamo računare i veštačku inteligenciju a da pritom nedovoljno razumemo materijalnu podlogu svesti? U Kjubrikovom kultnom filmu, svemirskim brodom upravlja računar Hal 9000. Hal je trebalo da bude nepogrešiv, ali je tokom putovanja počeo da ispoljava znakove sopstvene svesti. Ubrzo je prestao da se povinuje naredbama ljudi. U nadmudrivanju člana posade i Hala, računar je, gubeći bitku, počeo da pokazuje i emocije, poput straha da će biti isključen. Ova zanimljiva priča, koja se 1968. godine činila naučnom fantastikom, razvila se u realnu bojazan mnogih naučnika današnjice. Nedavno preminuli fizičar Stiven Hoking, inovator Ilon Mask, direktor istraživanja u Googleu Piter Norvig, kao i osnivači kompanija zasnovanih na veštačkoj inteligenciji – DeepMind i Vicarious – potpisali su, uz oko sto pedeset naučnika, u januaru 2015. otvoreno pismo. Time su, između ostalog, zajednički upozorili društvo na opasnost od razvoja nečeg nad čime bismo mogli da izgubimo kontrolu.

Osnova straha od veštačke inteligencije je baš u tome što današnja nauka još uvek ne razume šta je to svest, kako ona nastaje i kako bismo uopšte mogli da je istražujemo. U prirodi postoje emergentni fenomeni, koji se spontano pojavljuju kad nešto u njihovoj osnovi postane dovoljno složeno. Tako u velikom žitnom polju, zbog brojnosti klasja, počnu da se ocrtavaju talasi vetra, dok dovoljno velika jata ptica stvaraju prekrasne talasaste figure u vazduhu. Mnogi savremeni naučnici iskazuju bojazan da je i svest možda emergentni fenomen i posledica brojnosti naših neurona, njihovih međusobnih veza i električnih impulsa u

mozgu. Ako je to tačno, tada bi sve kompleksniji moderni računari koji podržavaju veštačku inteligenciju mogli u nekom trenutku takođe steći svest i otkazati nam poslušnost. Već sada se pokazuje da je veštačka inteligencija superiorna nad ljudskom u mnogim područjima, pa bi takav razvoj događaja mogao da bude katastrofalan po čovečanstvo. Stoga je od velikog interesa moderne nauke da se što pre pronikne u materijalnu osnovu svesti.

U vezi s tim je proteklih godina objavljeno nekoliko zanimljivih istraživanja. U nekima su praćeni pacijenti sa ozledama moždanog stabla, dela nervnog sistema koji povezuje mozak s kičmenom moždinom, za koje se pretpostavlja da krije tajnu stanja budnosti organizma. Neki pacijenti sa ozledom moždanog stabla sasvim su bez svesti, u dubokoj komi, dok drugi uspevaju da sačuvaju svest uprkos ozledama. Dubinskim snimcima njihovih ozleda naučnici povezuju očuvanost funkcije delova moždanog stabla sa zadržavanjem svesti, a ozleđenost povezuju s komom nastojeći da otkriju „gde“ je svest fizički pozicionirana u nervnom sistemu. Ali svest se ne može lako definisati, iako svi intuitivno znamo šta ona znači. Ona, naime, nije samo stanje budnosti i reakcije na spoljne stimulse već uključuje i utisak o sopstvenom postojanju. Odakle taj utisak dolazi?

Ostaje i pitanje: kako se i zašto svest „pali“ i „gasi“ pri buđenju i spavanju, i kako je moguće čitav mozak ujutro staviti u funkciju direktno iz punog sna u deliću vremena s obzirom na sve njegove kompleksne delove? Jedan je od mogućih odgovora u nedavnom pronalaženju divovskih neurona koji kreću od klaustruma, područja mozga u kom je koncentracija različitih puteva i veza najveća pa se smatra možda i najvažnijim integratorom signala u mozgu. Ti divovski neuroni omotani su oko celog mozga kao „kruna od trnja“ i u interakciji su sa svim spoljnim površinama mozga, tj. svuda su gde se nalazi siva masa. Zato bi oni mogli da, na neki način, čitav mozak „pale“ i „gase“. Ali zašto svest uopšte treba paliti i gasiti? Kakva je njena materijalna, tj. biološka, fizička i hemijska osnova? O tome još uvek vrlo malo znamo. Možemo se samo nadati da će se razumevanje tog pitanja znatno povećati narednih godina kako bismo sprečili ili barem naučili da kontrolišemo razvoj svesti u sve kompleksnijim računarima koje izrađujemo.

Dotad možemo na ovom mestu samo da podsetimo na sve dosadašnje značajne uvide i pomake učinjene u području istraživanja nervnog

sistema. Uprkos napretku, bilo bi još uvek neprimereno tvrditi da danas jasno razumemo na koji način nervni sistem tačno funkcioniše i kako nam daje osećaj da postojimo, kao i osećaj da je čitav organizam, građen od tolikih sićušnih delova, jedinstven.

Pomenimo najpre dva velikana – italijanskog patologa Kamila Goldđija i španskog patologa Santjaga Ramona i Kahala – koji su Nobelovu nagradu za fiziologiju ili medicinu dobili 1906. Tokom 19. veka naučnici su tek učili kako da oboje tkiva da bi se mogla bolje videti i istraživati pod mikroskopom. Goldđi je otkrio kako se ćelije nervnog tkiva, neuroni, mogu obojiti srebro-nitratom. To je dovelo do prvih značajnih otkrića o strukturi i funkciji nervnog sistema. Goldđi je smatrao da sve nervne ćelije u organizmu čine kontinuiranu mrežu i da su međusobno fizički povezane u nju. Ramon i Kahal se nije slagao, iako je koristio Goldđijevu metodu bojenja. On je dokazao da je svaka nervna ćelija sasvim nezavisna od drugih i da ne pripada jedinstvenoj fizičkoj mreži, već da impulsi koje nervi prenose putuju kroz sinapse tj. mesta komunikacije međusobno odvojenih nervnih ćelija.

Na iduću Nobelovu nagradu u ovom području trebalo je čekati više od četvrt veka, a dodeljena je 1932. engleskim neurofiziolozima ser Čarlsu Skotu Šeringtonu i baronu Edgaru Daglasu Adrijanu. Oni su znali da su funkcije našeg tela pod kontrolom nervnog sistema, koji se sastoji od mnogih nervnih ćelija, tj. neurona i njihovih produžetaka, tvoreći sistem veza među njima i povezujući mozak, kičmenu moždinu i ostatak tela. Stimulacija nervnih ćelija može, u određenim slučajevima, dovesti do pokretanja mišića bez uticaja naše volje na njih. To je neuobičajeno jer su mišići pod voljnom kontrolom, pa zato takve nekontrolisane pokrete nazivamo refleksima. Šerington je pokazao na koji način stezanje mišića prati opuštanje i kako su razni mišićni refleksi tek deo vrlo kompleksnog sistema. U tom sistemu, kičmena moždina i mozak procesuiraju impulse koji im stižu. Bez uloge voljne komponente pretvaraju ih u nove impulse, koji se zatim šalju u mišiće i organe.

Adrijanova zasluga se ogleda u njegovim zaključcima o signalima unutar nervnog sistema, koji se prenose vrlo slabim električnim strujama. Adrijan je uspeo da razvije metode za merenje električnih signala u nervnom sistemu. Shvatio je da je struja u nervnim vezama uvek iste jačine, i da to važi i za signale koji njima putuju. Način na koji podražaj iz okoline doživljavamo kao jači ili slabiji ne zavisi od jačine te struje, već od

učestalosti slanja tih električnih signala, kao i od brojnih nervnih završetaka kroz koje se signali šalju.

Godine 1936. engleski fiziolog ser Henri Halet Dejl i nemački farmakolog Oto Levi nagrađeni su Nobelovom nagradom za svoja otkrića u vezi s hemijskim prenosom nervnih impulsa. Zahvaljujući svojim prethodnicima, oni su znali da se nervni signali šire električnim impulsima. Međutim, nije bilo jasno jesu li i hemijski procesi važni u prenosu signala nervnim sistemom. Dejl je otkrio da acetilholin stimulira parasimpatički deo nervnog sistema, koji umiruje aktivnost srca i druge procese. Levi je pokazao kako je upravo acetilholin važan posrednik između nerava i organa, na njihovim dodirnim tačkama. Dokazao je to tako što je stimulisao srce žabe električnim i hemijskim podražajima. Na ove značajne spoznaje nadovezalo se još jedno otkriće zahvaljujući kojem su američki neurofiziolozi Džozef Erlanger i Herbert Spenser Gaser 1944. godine takođe dobili Nobelovu nagradu. Oni su vrlo temeljno proučavali obeležja i raspodelu nervnih ogranaka po telu. Na osnovu toga, podelili su nervna vlakna u dva tipa, različite debljine, i pokazali kako deblji nervi provode impuls znatno brže od onih vrlo tankih.

Nakon tih važnih koraka napred, ponovo je naišlo zatišje u ovom području nauke i trajalo je četvrt veka. Zatim je usledila faza nagrađivanja otkrića neurotransmitera – hemijskih supstanci koje su važne za prenos informacije u nervnom sistemu i njegovu ispravnu funkciju. Godine 1970. nemačko-australijski lekar ser Bernard Kac, švedski fiziolog Ulf fon Ojler i američki biohemičar Džulijus Akselrod nagrađeni su za otkrića nekoliko ključnih neurotransmitera u nervnom sistemu i mehanizama njihovog skladištenja, otpuštanja i utišavanja. Brojni neuroni imaju svoje izdanke – nervna vlakna. Ovim vlaknima putuju signali zahvaljujući vrlo slabim električnim impulsima, ali i signalnim supstancama, neurotransmiterima. Prenos impulsa s jednog neurona na drugi događa se na sinapsama.

Kac je istraživao kako impulsi iz neurona voljno aktiviraju mišiće, mereći razlike u električnim naponima. Uz to, pokazao je da se neurotransmitter acetilholin otpušta iz sinapsi. Fon Ojler je otkrio neurotransmitter norepinefrin, koji je vrlo važan u signaliziranju impulsa za borbu ili beg. Pokazao je da se norepinefrin stvara i skladišti unutar mehurića i takođe šalje signal s jednog neurona na drugi pomoću sinapsi. Akselrod je istraživao noradrenalin, signalnu supstancu koja podstiče pojačanu

aktivnost u slučaju agresije ili opasnosti. Pokazao je da se višak noradrenalina otpušta u krv kao odgovor na signale iz nerava, a zatim se vraća na mesto na kom se skladišti.

Na prelazu vekova, 2000. godine, za dalja otkrića neurotransmitera u nervnom sistemu nagrađeni su švedski neurofarmakolog Arvid Karlson, američki neuronaučnik Pol Gringard i američko-austrijski neuronaučnik Erik R. Kandel. Karson je otkrio dopamin u mozgu, kao i njegovu ulogu u sposobnosti kretanja, objašnjavajući tako i simptome Parkinsonove bolesti te omogućavajući nove strategije u lečenju. Gringard je razjasnio na koji način funkcionišu signalne supstance u nervnom sistemu, pokazavši kako one najpre utiču na poseban receptor na površini ćelije. Zatim se menjaju proteinski molekuli, dodavanjem ili oduzimanjem fosfatnih grupa, čime se regulišu brojne funkcije u ćeliji. Kandel je istraživao kako se skladišti pamćenje. Istražujući morskog puža s vrlo jednostavnim nervnim sistemom, shvatio je da i puž uspeva da uči. To se dešava zato što hemijski signali menjaju strukturu veza između nervnih ćelija tj. sinapsi. Na osnovu toga je pokazao i kako se kratkotrajno i dugotrajno pamćenje mogu formirati pomoću različitih signala. Ovaj mehanizam je zajednički svim bićima koja uče, od morskog puža do čoveka.

Svi ovi uvidi pomogli su u razumevanju nekih najfundamentalnijih principa i mehanizama rada nervnog sistema, kao i njegove interakcije sa organima. Međutim, još uvek je prilična tajna kako funkcionise sam mozak u mnogim svojim ulogama. Švajcarski fiziolog Valter Rudolf Hes dobio je 1949. Nobelovu nagradu za otkriće funkcionalne organizacije međumozga (lat. *diencephalon*), kao koordinatora aktivnosti unutrašnjih organa. U svojim eksperimentima uvodio je vrlo tanku metalnu žičicu u različite delove međumozga anestetizirane mačke. Kad se mačka probudila, mogao je da kod nje izazove različita ponašanja pomoću vrlo slabih električnih impulsa. Pritom je opažao ne samo jednostavne reakcije već i prilično kompleksna ponašanja – između ostalog, odbrambeno ili agresivno ponašanje, ili situacije u kojima se mačka sklopča i spava.

Za značajno otkriće u vezi s radom mozga zaslužan je i američki neurofiziolog Rodžer V. Speri, nagrađen Nobelovom nagradom 1981. On je znao da mozak ljudi i životinja ima dve polovine s ponešto različitim ulogama. Speri je nastojao da shvati ulogu svake polovine, istražujući bolesnike kod kojih su nervi, koji su povezivali dve polovine mozga, bili namerno oštećeni. U to vreme bio je to jedan od oblika lečenja teških

epileptičkih napada. U svojim opažanjima Speri je došao do zaključka da je leva polovina više angažovana u apstraktnom i analitičkom razmišljanju, računanju i jezičkom izražavanju i učenju jezika. Desna polovina je važnija u snalaženju u prostoru, kao i u razumevanju složenih zvukova i zvučnih poruka, poput muzike.

U 21. veku iz godine u godinu stičemo sve više saznanja o tome kako mozak funkcioniše. Možda je najambiciozniji upravo projekat Evropske komisije vredan milijardu evra, koji bi trebalo da izradi računarski model dela moždane kore, a zatim simulira način na koji sve te veze među svim neuronima funkcionišu, kao i šta zapravo rade. Uporedo s tim, pojavljuju se i nove teorije svesti, za koje tek treba osmisliti metodu eksperimentalne provere. Ipak, utisak je da smo, za razliku od vrlo značajnog napretka u razumevanju svih drugih naših organa i sistema organa, i dalje prilično daleko od shvatanja šta je, u stvari, svest, kakva joj je materijalna osnova i kako funkcioniše ljudski mozak. Za značajne napretke u tom području deliće se, verovatno, barem neke Nobelove nagrade u 21. veku.

Poglavlje 3

SIMFONIJA ČULA

Mozak ima zadivljujuću sposobnost analize podataka koji u njega stižu iz unutrašnjosti organizma i iz spoljašnjeg sveta. Takođe, dobro ih i dugoročno skladišti i pamti. Ali kakva bi bila korist od mozga kad on ne bi neprekidno bio hranjen novim informacijama? Šta radi takav mozak, odsečen od svih čula, kao i od ostatka tela? On bi možda i mogao da razmišlja, ali ako je veoma mlad onda nema o čemu jer nikada ništa nije video, čuo, osetio, niti je mogao išta da upamti. Ova hipotetička situacija je donekle slična sa situacijom s ljudima u komi koji zadrže svest, ali ne i kontakt s ostatkom tela i okolinom, pa ostaju godinama tako zarobljeni u vlastitom telu, ali oni barem imaju sećanja. Očigledno, za stvarnu korist od mozga potrebno je da ga „prikopčamo“ na signale koji mu stižu iz unutrašnjosti organizma, kao i iz spoljašnjeg sveta. Na taj način mozak postaje svestan zbivanja u organizmu i situacije u kojoj se nalazi u spoljašnjem svetu, ali za to su mu potrebna čula.

I unutar i izvan našeg organizma mnogo toga se neprestano zbiva i menja. Međutim, mi nismo opremljeni da bismo mogli da osetimo i doživimo baš sve. Imamo samo pet glavnih čula i još čitav spektar pomoćnih. Ta čula sama po sebi ne percipiraju sve što bi mogla. Ona reaguju samo na relativno uske delove spektra stimulusa koji stižu iz okoline, a pritom nedvosmisleno daju prednost onima koji su najvažniji za preživljavanje celog organizma. Naših pet glavnih čula razvilo se kako bi nam pomoglo

da preživimo što duže na Zemlji. Iako naša planeta lebdi u nezamislivo golemom svemiru, mi svoje živote provodimo ograničeni na relativno tanak stvrdnuti sloj kore malene plave planete, u zagrljaju takođe vrlo tankog sloja atmosfere koja nam osigurava kiseonik, i magnetnog polja koje nas štiti od kosmičkog zračenja. U svemiru, na primer, uopšte nema vazduha, pa nam tamo sluh i njuh ne bi ni bili potrebni jer tamo nema ni zvuka ni mirisa. Vidljivi spektar svetlosti, ulovljen našim očima, samo je mali deo svih talasa u prostoru koje bismo mogli da uočimo pošto naše oči ne mogu da vide, recimo, zrake infracrvenog ili ultraljubičastog spektra.

Jasno je da su čula evoluirala kako bi nam pomogla da se krećemo našim ograničenim staništem, a ne zato da bismo proučavali i razumeli misterije svemira. Ukoliko prihvatimo to gledište, brzo ćemo doći do zaključka da ne možemo znati šta sve postoji izvan domašaja naših čula. Kada ne bismo imali čulo sluha, i dalje bismo bili u stanju da preživljavamo, ali teško bi nam bilo da zamislimo kako se vazduhom šire zvukovi i muzika. Za istraživanje i spoznavanje svega što postoji izvan dosega naših čula potrebno je izraditi posebne uređaje koji omogućavaju istraživanja i onoga što datim čulima ne možemo spoznati, kao što je posmatranje bakterija mikroskopom ili divljenje dalekim galaksijama koje gledamo teleskopom.

Zaista je neverovatno da su se iz naše prve ćelije razvile desetine milijardi ćelija koje čine mozak i da su se mnoge druge – takođe nastale iz te prvobitne ćelije – specijalizovale za dostavljanje informacija mozgu o stanju u unutrašnjosti organizma ili pak o spoljašnjem svetu. Uz pet osnovnih čula – vida, sluha, mirisa, ukusa i dodira – u organizmu imamo i čitav niz drugih. Sva ona pomažu mozgu da održava organizam u životu i da dođe u situaciju da se razmnožava, a zatim i štiti potomstvo. Pošto postoji priličan broj dodatnih čula, sama definicija „čula“ postaje izazov. Čulo, pritom, možemo najšire definisati kao fiziološku sposobnost organizma da dođe do informacija o sebi ili okolini. Ipak, teško je povući granicu između svega što bi trebalo smatrati čulom i onoga što ne bi. Za primer, imamo i čulo za temperaturu vazduha ili vode u kojima se nalazimo, zatim, kinestetičko čulo ili propriocepciju, koje nam ukazuje na to gde se u kom trenutku nalazi svaki deo našeg organizma u odnosu na drugi, čak i kada su nam oči zatvorene, potom čulo bola, ravnoteže, vibracije i raznih unutrašnjih stimulusa iz organizma. U ove potonje

ubrajamo razne hemoreceptore, na primer, karotidni glomus koji prati koncentracije kiseonika i ugljen dioksida u krvi i dojavljuje ih centru za disanje u mozgu. Imamo i čula za glad i žeđ.

Postoje i brojna dodatna unutrašnja čula, kao što je ono za stepen rastegnutosti pluća i creva, nivo šećera u krvi, zapaljenja zida želuca i jednjaka ili ispunjenost bešike i creva. Neki naučnici smatraju da postoji i čulo za seksualnu stimulaciju, koje uključuje erogene zone kao receptore. Tu je, zatim, čitav niz fizioloških reakcija na razne stimulse seksualnog partnera. Ovo čulo je važno za ljude kao vrstu jer je usko povezano sa seksualnom reprodukcijom. Zanimljiv je i osećaj za protok vremena jer većina ljudi ima jako dobar osećaj za količinu vremena koje je proteklo. Neki ljudi mogu da se probude u tačno određeno vreme, posle nekoliko sati spavanja.

Treba reći da čula nisu univerzalna i da je u evolutivnoj kockarnici svaka vrsta, slučajnim mutacijama, razvila ona koja su joj najkorisnija u datoj sredini. Neke vrste imaju ista čula kao i mi, ali znatno bolje razvijena. Na primer, orao ima mnogo bolji vid, dok pas ima znatno bolji njuh, a zečevi i antilope sluh. Pojedine vrste imaju čula koja mi uopšte nemamo. Slepí miševi imaju eholokaciju, sposobnost orijentacije u odnosu na druge objekte interpretacijom odbijenog zvuka, tj. jeke, baš poput sonara, i koriste je za navigaciju u uslovima bez osvetljenja. Možda još više zadivljuje to što nekoliko vrsta morskih životinja ima sposobnost elektrocepcije, tj. čula za promenu električnih potencijala u njihovoj neposrednoj blizini. Ptice i pčele usmeravaju svoj let magnetocepcijom, osećajući usmerenje Zemljinog magnetskog polja. Sipe osećaju polarizovanu svetlost i koriste je za orijentaciju tokom oblačnih dana. Biljke imaju čulne organe koji registruju vibracije, svetlost, vodu i mirise, pa čak i određene hemikalije u prirodi. Različite vrste razvile su čitav niz sopstvenih čula kako bi stekle informacije o spoljašnjem svetu i nastojale da u njemu prežive.

Od svih pet osnovnih čula, mnogi bi rekli da bi se najteže odrekli čula vida. Za prvi važan napredak, nagrađen Nobelovom nagradom 1911, zaslužan je švedski oftalmolog Alvar Gulstrand. Naša sposobnost da vidimo svet u kom se nalazimo zasniva se na tome što sočivo u oku prelama svetlost koja na njega pada iz spoljašnjeg sveta i pretvara ga u obrnutu sličicu na zadnoj strani oka. Sličica se projektuje na ćelije mrežnjače osetljive na svetlost, koje su u stanju da pretvore svetlost

u nervne impulse. Ti impulsi putuju do centra za vid u mozgu, koji ih na kraju percipira kao trodimenzionalne slike. Zato je sposobnost vida uistinu neverovatna, tim više što mozak mora da ispravi sličicu projektovanu naopako. Kada se ljudima stave naočari koji čitavu sliku spoljašnjeg sveta izvrnu pre nego što ona padne na sočivo, mozak isprva zaista vidi sve naopako, iako je sličica na mrežnjači u tom trenutku ispravno orijentisana. Međutim, mozak s vremenom ponovo sam sebe nauči šta je „gore“, a šta „dole“, pa prevrne tu sliku kako bi uskladio informacije iz oka s onima koje mu stižu iz drugih čula.

Matematički proračun tačnog puta koji svetlosni zraci prolaze unutar oka kako bi formirali sliku na mrežnjači, vrlo je složen jer sočivo oka sadrži više slojeva. Svaki sloj različito prelama svetlost. Uz to, sočivo može da menja oblik i da se prilagođava količini svetla. Ipak, koristeći naprednu matematiku, Alvar Gulstrand je uspeo da odredi dioptriju oka. Na osnovu tih proračuna, izrađivao je stakla naočara koja su mogla izuzetno dobro da koriguju kratkovidost i dalekovidost. To je označilo ogroman napredak u oftalmologiji, s praktičnom primenom koja od tada donosi korist mnogim ljudima.

Velika otkrića u razumevanju čula vida uvek su imala dobru prođu pri dodeli Nobelovih nagrada. Godine 1967. finsko-švedski naučnik Ragnar Granit, američki fiziolog Holden Kefer Hartlajn i američki naučnik Džordž Vold nagrađeni su za značajan napredak na tom polju. Granit je koristio vrlo sofisticirane elektrode kako bi istražio električne impulse iz ćelija mrežnjače. Utvrdio je da su te ćelije, osetljive na svetlost, sastavljene od uglavnom dva tipa ćelija: štapića i čepića. Štapići se aktiviraju pri slabijem svetlu i osiguravaju crno-beli vid, dok su čepići aktivni pri dnevnom svetlu i omogućuju opažanje boja. Hartlajn je analizirao kako kod potkovičaste krabe primarni svetlosni signali, koji padaju na osetljive ćelije mrežnjače, bivaju zatim procesuirani u mreži nervnih ćelija. Shvatio je da pri aktivaciji osetljive ćelije u mrežnjači signali iz okolnih ćelija bivaju umanjeni. To omogućava znatno bolje kontraste u slici i veću jasnoću vida. Vold je pak pokazao da je vitamin A važna komponenta rodopsina, osetljive supstance u ćelijama mrežnjače. Eksperimentima je pokazao da rodopsin menja svoj oblik pod uticajem svetlosti. Ta promena podstiče signale u složenoj mreži neurona dovodeći do stvaranja brojnih veza i do transformacija sve dok signali ne dopru do mozga gde stvaraju utisak trodimenzionalne slike.

Sva ova otkrića objašnjavaju kako svetlosni zraci iz spoljašnjeg sveta putuju kroz oko i nerve sve do mozga. Ali kako nam moždana kora omogućava da sagledamo sliku tog sveta iz nervnih impulsa? Obradu informacija u centru za vid u mozgu razjasnili su kanadski neurofiziolog Dejvid H. Hjubel i švedski neurofiziolog Torsten N. Vixel, za šta su 1981. nagrađeni Nobelovom nagradom. Taj čudesni zadatak obavlja se pomoću visokospecijalizovanih ćelija koje imaju specifične sposobnosti. One pažljivo interpretiraju kontraste, obrasce i pokrete. Nagrađeni naučnici su pokazali i da se ta sposobnost moždane kore razvija tek kod novorođenčeta, neposredno nakon rođenja, jer u materici nije bilo svetlosnih stimulusa koji bi mogli da podstaknu takav razvoj.

Na sličan način su vrednovani i značajni prodori u razumevanju funkcije ostalih ljudskih čula. Mađarski biofizičar Đerđ fon Bekeši dobio je 1961. Nobelovu nagradu za svoja otkrića fizičkog mehanizma stimulacije u pužu unutrašnjeg uva (lat. *cochlea*). Mi čujemo ograničeni deo zvučnog spektra iz okoline jer se zvučni talasi u pužu uva pretvaraju u vibracije u membranama i kostima. Te vibracije registruju posebno osetljivi nervni završeci, koji ih zatim pretvaraju u električne impulse i prenose ih u mozak, a on ih pretvara u percepciju zvuka. Fon Bekeši je objasnio kako ti procesi u pužu unutrašnjeg uva bivaju pretvoreni u nervne impulse, koji zatim nastavljaju put nervima do mozga. Za taj uspeh bile su mu potrebne dve decenije izvođenja različitih eksperimenata. Vibracije u membranama proučavao je pod mikroskopom i na nizovima fotografija. Merio je i oscilacije u električnim nabojima unutar receptora nervnog sistema.

Osim za čulo sluha, unutrašnje uvo važno je i za čulo za ravnotežu. Ovo čulo je još i pre razumevanja samog sluha razjasnio austrougarski otolog Robert Baranji, koji je 1914. godine nagrađen jednom od ranih Nobelovih nagrada za medicinu. Kako je to bilo u osvit Prvog svetskog rata, Baranji se prijavio u austrijsku vojsku kao hirurg. U ratu su ga zarobili Rusi. U vreme kad je objavljeno da je dobio Nobelovu nagradu bio je ratni zarobljenik u Rusiji, verovatno jedini u takvom statusu među svim dobitnicima nagrade za fiziologiju ili medicinu u istoriji. Pušten je tek 1916, a nagradu je primio naknadno. Njegova zasluga bila je razumevanje funkcije čula za ravnotežu u unutrašnjem uvu, tzv. vestibularnog aparata. Nadraživanje unutrašnjeg uva izaziva vrtoglavicu i fenomen nistagmusa, poznatog i kao titranje očiju. Radi se o ritmičkim, nevoljnim trzajima

očnih jabučica, koji se mogu pojaviti, na primer, pri vožnji na ringišpilu. Baranji je pokazao da oči titraju u jednom smeru kada se u uvo špricom ulije hladna voda, a u drugom kada se ulije topla. Ispravno je zaključio da su promene temperature dovele do toga da se nivo tečnosti u kanalima vestibularnog aparata u unutrašnjem uvu podigne ili spusti.

Odbor za dodelu Nobelove nagrade prepoznao je i napredak koji su američki molekularni biolozi Ričard Aksel i Linda B. Bak postigli u razumevanju čula mirisa. Njima je nagrada dodeljena 2004. godine. Oni su otkrili kako stotine gena u našem molekulu DNK kodiraju za senzore mirisa, koji su smešteni u čulnim neuronima za miris u nosu. Svaki receptor je protein koji se hemijski menja kada dođe u dodir s nekim mirisom u vazduhu. Spajanje mirisa i senzora mirisa dovodi do slanja električnih signala u mozak. Vrlo male razlike između senzora mirisa određuju kako će tačno mirisi uzrokovati otpuštanje signala iz određenih receptora. Mirisi u vazduhu se mogu sastojati od velikog broja različitih supstanci, a mozak pretvara signale iz receptora za miris u čulo za specifične mirise.

Godine 2014. nagrađeni su američko-britanski neuronaučnik Džon O’Kif i norveški neuronaučnici Mej-Brit Mozer i Edvard I. Mozer. Oni su otkrili ćelije koje formiraju sistem pozicioniranja u mozgu. Razume se da su svest o vlastitoj lokaciji u prostoru i način pronalaženja puta do drugih mesta ključni za preživljavanje ljudi i životinja. Kako bi istražio sposobnost životinja da se orijentišu u prostoru, O’Kif je proučavao kretanje pacova i uporedo s tim signale iz nervnih ćelija u njihovom hipokampusu, području koje se nalazi u središnjem delu mozga. Ustanovio je da se određene ćelije aktiviraju kada je pacov na određenom mestu u prostoriji. Međutim, kada se prebaci na drugo mesto u istoj prostoriji, aktiviraju se druge ćelije. Na osnovu tih opažanja zaključio je da ćelije, očigledno, oblikuju neku vrstu unutrašnje mape prostorije. Na njegov rad nadovezao se i bračni par Mozer, koji je zajednički otkrio tip ćelija važan za određivanje položaja u prostoru. Te ćelije su se nalazile blizu hipokampusa i podudarale su se s O’Kifovim opažanjima. Supružnici su otkrili i da se aktiviraju nervne ćelije koje obrazuju svojevrni koordinatni sistem za navigaciju kada pacov prođe određene tačke raspoređene u šestougaoj mreži u prostoru. Isto tako, pokazali su i kako te različite vrste ćelija međusobno saraduju kako bi omogućile posebnu orijentaciju organizmu u pokretu.

Razumevanje funkcionisanja ljudskih čula bio je jedan od najuspešnijih pristupa za dobijanje Nobelove nagrade za fiziologiju ili medicinu. Za razumevanje čula vida već su dodeljene tri nagrade, za sluh i ravnotežu po jedna, za miris takođe jedna, a nagrađeno je čak i razjašnjenje snalaženja u prostoru. Verovatno bi, doslednosti radi, trebalo nagraditi i naučnike koji su doprineli razumevanju čula dodira ili ukusa.

Nobelova nagrada, dodeljena 2021. godine američkom naučniku Dejvidu Džulijusu i libansko-američkom istraživaču Ardemu Pataputijanu za njihovo otkriće receptora za temperaturu i dodir, ide u prilog tome da razumevanje naših čula verovatno vodi dobijanju nagrade. Naš osećaj za toplo i hladno te za dodir, suštinski je važan za preživljavanje i zaštitu od povreda. Džulijus i Pataputijan su objasnili kako nervni impulsi opažaju temperaturu i pritisak. Džulijus je koristio kapsaicin iz ljutih papričica kako bi izazvao osećaj žarenja i ustanovio koji nervni senzor na koži reaguje na toplotu. Pataputijan je koristio ćelije osetljive na dodir kako bi otkrio nervne senzore koji reaguju na mehaničke stimulacije u koži i unutrašnjim organima.

Ipak, Nobelove nagrade vrlo je teško dobiti i neophodno je da se stekne mnogo povoljnih okolnosti za dobitnike. Ponekad je previše teško izdvojiti samo nekolicinu jasnih predvodnika istraživanja koji su doveli do napretka, a ponekad za nagradu vlada previše jaka konkurencija jer i velika otkrića iz drugih područja fiziologije ili medicine takođe treba nagraditi.

Poglavlje 4

KRALJEVSTVO SNOVA

Ko god je gledao profesionalne akrobate u cirkusu, žonglere na ulici, klizače na ledu, pijaniste ili violončeliste morao je primetiti do koje mere ljudi mogu stalnim vežbanjem iz dana u dan razviti razne sposobnosti. Ali malo kome je palo na pamet da razvija svoju sposobnost aktivnijeg učestvovanja u vlastitim snovima tokom noći. Psiholozi sa Univerziteta Adelejd u Australiji odlučili su da pokušaju baš to: da razviju tehnike kojima mogu da se povećaju šanse za lucidne snove, u kojima se jako intenzivno sanja, pri čemu je osoba svesna onog što joj se dešava i ima utisak kontrole nad tim iskustvom.

Prva tehnika je razvijanje navike o testiranju stvarnosti. Osoba treba da stekne naviku da što više puta dnevno proverava svoju okolinu i zaključi da li se nalazi u snu ili na javi kako bi mozak to nastavio po navici da čini i u snu. Druga tehnika je namerno buđenje nakon pet sati sna, kad osoba ostane budna nekoliko minuta, a zatim nastavi da spava uz pripremu na verovatne lucidne snove u REM fazi koja bi trebalo da usledi. Treća tehnika je nazvana MILD (engl. *mnemonic induction of lucid dreams*), kad se osoba takođe probudi posle pet sati sna, a zatim ponavlja više puta frazu „idući put kada zaspim, zapamtiću tačno šta sanjam“, uz zamišljanje o čemu će san biti.

Kombinovanje ovih tehnika kod skoro svake pete osobe dovelo je do postizanja željenog efekta – lucidnih snova uz aktivno učešće osobe. Ali sama MILD tehnika je čak kod polovine osoba koje su uspele da zaspe za

samo nekoliko minuta, dovela do lucidnih snova. Ova tehnika se zasniva na *prospektivnom memorisanju*, tj. sposobnosti pamćenja obaveza koje treba obaviti u budućnosti. Ponavljanje rečenice „idući put kada zaspim, zapamtiću tačno šta sanjam“, stvara nameru. Kada mozak dođe u stanje lucidnog sna, oseća obavezu da upamti sve što se zbiva i učestvuje aktivno u tome.

U SVOM RADU NAUČNICI sve češće posežu za konceptom nazvanim *građanska nauka* (engl. *citizen science*), u kom se istraživanje u jednom svom delu prepušta ljudima koji nisu naučnici. Raznolikost njihovih iskustava i ideja može rešiti probleme tamo gde naučnici zapnu. Nedavno sam se na Facebooku uverio koliko je taj novi koncept potencijalno koristan.

Podelio sam s pratiocima misao kako je šteta što ionako relativno kratke živote moramo dodatno skraćivati spavanjem. Zašto organizam mora da se redovno „isključuje“ i šta zapravo radi za to vreme – još uvek je jedna od najvećih nepoznanica moderne nauke. Teorija je mnogo, od toga da konsoliduje nova sećanja i dugotrajno ih skladišti, do toga da se oporavlja i dovodi imunski sistem u red, odstranjujući pritom i sve štetno iz organizma. Sigurno se zna da sva složenija živa bića, od najmanje vinske mušice, do najvećega plavog kita, moraju da spavaju da bi živela. Ali u kontekstu evolucije i preživljavanja kao vrste, spavanje je vrlo opasno – prepuštamo se na milost i nemilost grabljivicama i bez mogućnosti hranjenja ili parenja. Kad tako razmišljamo, pitanje je kako je navika spavanja uopšte opstala u prirodi.

Pratiocima na Facebooku preneo sam i informaciju da su naučnici s Kalteka u Pasadeni pokazali da je jednoj vrsti meduza (*Cassiopea*), koja nema centralni nervni sistem već samo nervne ogranke, noću takođe potrebna neka vrsta spavanja. Na osnovu tog opažanja zaključili su da je spavanje evolutivno starije od mozga. Često su ovakva neobična otkrića okidač za potpuno nov pristup razmišljanju o nekom problemu, a spavanje je zaista prilična zagonetka. Zahvaljujući toj informaciji, odjednom se otvorio prostor za moguće nove hipoteze, pa se tokom noći i jutra razvila spontana rasprava na mom zidu na Facebooku. Jedan od mojih Facebook prijatelja nagovestio je da je spavanje možda nastalo i pre nego što su živi organizmi počeli da evoluiraju. Stoga je moguće da živimo kako bismo spavali, i da za to vreme obavljamo možda i važniji deo naše

ovozemaljske misije. Ponudio je mogućnost da je spavanje možda starije i od evolucije te da je moglo postati još u vreme nastanka života.

I drugi su, zatim, nastavili da dodaju svoje hipoteze: kako je spavanje možda naš stvaran život, a ono što nam se čini poput jave, to je možda tek strogo kontrolisana halucinacija. Treći su pretpostavili da u snovima možda prelazimo u paralelne svemire, gde takođe živimo. Četvrti da smo možda u video-igrici s ograničenom memorijom, pa nam se svake noći „učitava“ nov nivo za idući dan. Peti su se nadovezali na tu misao rekavši da je možda obrnuto i da smo svi u nekom *Matriksu*, a za vreme spavanja informacije koje smo tokom dana skupljali unose se u *oblak*.

Neki su se uhvatili činjenice kako izlaganje hormonu sreće i ljubavi, oksitocinu, smanjuje potrebu za snom, što možda znači da su oksitocin i san podudarne stvari, pa je san možda univerzalna potraga za srećom. Ostalima je zanimljivo bilo i što živo biće bez sna ne bi moglo da funkcioniše, ali bez stanja budnosti bi moglo ako osiguramo snabdevanje energijom – kao u slučaju osoba koje su u stanju dugotrajne kome. Stoga je san, a ne budnost, pogodno stanje za dugi transport kroz svemir. To je dovelo do ideje da su u početku možda svi samo spavali i došli tako na Zemlju negde iz svemira, a da su se vid i budnost razvili tek kasnije, pod uticajem sunčeve svetlosti.

Zaista, zašto i meduze imaju cikluse dana i noći kao da im je svetlost važna? Čudno je i zašto nisu sve životinje razvile noćni vid već samo neke vrste. Noću je na planeti pre izuma električne struje bio mrkli mrak i noćni vid davao bi neverovatnu prednost svakoj grabljivici. Neko iz moje Facebook zajednice je zaključio da je možda noću bilo previše dosadno svima, pa su svi prešli u „stanje štednje energije“ dok čekaju da opet svane. To je otvorilo nova pitanja pošto se spavanje sada skraćuje kod ljudi jer koristimo veštačko svetlo, pametne telefone, tablete i prenosne računare, što sve utiče na to da se ponašamo suprotno od načina na koji smo evoluirali. Neko je negde pročitao i da delfini spavaju samo s polovinom mozga, i to naizmenično s jednom pa drugom, tako da su stalno budni. Bebe pak spavaju nasumično, nezavisno od dana i noći, a zavisno od hranjenja, i tek kasnije usvoje dnevne ritmove.

Kada bih proveo čitave sedmice razmišljajući o spavanju, teško da bih razvio količinu ideja o tom pitanju koje su moji prijatelji na Facebooku razvili u samo jednoj noći, primenjujući pomenuti koncept građanske nauke. Neko je čak upitao i šta je s čovečjim ribicama, koje žive u mraku,

a drugi su dodali da speleolozi koji ostanu duže vreme u pećinama brzo počnu da spavaju u vrlo neobičnim ritmovima. Pomalo je zastrašujuće saznanje da gotovo trećinu svog života provodimo spavajući, tj. više od 20 godina, a o razlozima još uvek tako malo znamo.

ŠTA, ZAPRAVO, ZNAMO O SPAVANJU? Tokom istorije, razne civilizacije su upoređivale spavanje sa smrću. U grčkoj mitologiji, bog spavanja Hipnos (Ίπνος) i bog smrti Tanatos (Θάνατος) bili su deca boginje noći, Nikte (Νύξ). U moderno doba, razvila se čitava grana medicine koja se bavi isključivo spavanjem i njegovim poremećajima te povezanošću sa zdravljem i bolestima. Opšteprihvaćeno je kako je spavanje prirodno stanje uma i tela koje je potrebno za život i stalno se ponavlja. Tokom spavanja se menja svest osobe, ne postoji aktivnost čula, svi mišići na koje možemo voljno uticati izvan su funkcije, a nemamo ni mogućnost komunikacije s okolinom. Kad spavamo, nemamo sposobnost da reagujemo na stimuluse, ali za razliku od kome, koja je drugačija, buđenje iz normalnog spavanja znatno je lakše.

Za vreme spavanja većina biohemijskih mehanizama u telu prebacuje se na anabolizam, tj. opštu metaboličku biosintezu. Ona pomaže da se imunski, nervni, skeletni i mišićni sistem vrate u što bolju funkciju za naredni dan. Radi se o životno važnim procesima, koji su ključni za održavanje raspoloženja, pamćenja, razmišljanja, normalne hormonske ravnoteže i kvalitetnog imunskog odgovora. Unutrašnji, cirkadijalni ritam, koji se održava u ćelijama, promovise svakodnevno spavanje u noćnim satima. Međutim, ljudi mogu da pate od različitih poremećaja spavanja, na primer od nesаницe, preteranog spavanja, omamljenosti, poremećenog disanja tokom spavanja, mesečarenja i poremećaja pomenutih cirkadijalnih ritmova. Poznato je da problemi sa spavanjem mogu da s vremenom dovedu i do psihijatrijskih poremećaja, poput depresije i bipolarnog poremećaja, ali i alkoholizma. Čak devet od deset odraslih osoba s depresijom imaće i određene poteškoće sa spavanjem.

Na osnovu naučnih istraživanja u vezi sa spavanjem ipak je sasvim sigurno ustanovljeno da postoje barem neki tragovi ili elementi koji bi mogli da nam pomognu u boljem razumevanju uloge spavanja. Dok spavamo, mozak koristi znatno manje energije nego tokom budnog stanja. To je posebno slučaj u jednoj od dve karakteristične faze spavanja

– neREM spavanju. Mozak se pritom puni adenozin-trifosfatom (ATP), molekulom koji služi za skladištenje i prenos energije. U budnom stanju, mozak je odgovoran čak i za petinu ukupne potrošnje energije tela, što je veliki udeo u ukupnoj potrošnji energije. Zanimljivo je da u snu prag čula raste, posebno sluha, pa smo u stanju da ignorišemo informacije koje u naša čula i dalje stižu. Ipak, na vrlo glasne zvukove ili snažne ble-skove svetla svejedno ćemo reagovati i probuditi se.

Sigurno je takođe i da tokom spavanja dolazi do promena u izlučiva-nju raznih hormona, a još uvek nije dovoljno poznato kakve su posledice tih promena. Smatra se da područje mozga – suprahijazmatsko jedro – sadrži važan deo mehanizma našeg „unutrašnjeg časovnika“. Ovo jedro ima jasnu neuronsku vezu s epifizom, žlezdom koja tokom noći oslobađa hormon melatonin. Hormon rasta izlučuje se u talasima tokom pojedinih faza sna, a prolaktin se luči i tokom dnevnog i noćnog sna, pogotovo kod žena. Nivo kortizola, hormona povezanog sa stresom, uglavnom je povećan tokom cele noći, a na vrhuncu je u vreme buđenja, dok se danju smanjuje.

Tokom spavanja izmenjuju se i dve vrlo različite faze. Jednu od njih, pomenutu neREM fazu, smatramo dubokim snom. U ovoj fazi temperatura tela i brzina otkucaja srca padaju, mozak koristi manje energije pa smo verovatno vrlo malo svesni samih sebe. Ali ta faza tokom spavanja presecana je zanimljivim kraćim razdobljima, REM spavanjem (engl. *rapid eye movement* – uočenih brzih pokreta očima u ovoj znatno aktivnijoj fazi sna). Za vreme REM spavanja, poznatog i kao paradoksalno spavanje, možemo da očekujemo svesnost i snove, a takođe i noćne more. Talasi električnog potencijala koje očitava elektroencefalogram (EEG) sasvim su različiti u tim dvema fazama spavanja. Svaki REM – neREM ciklus traje oko sat i po, a tokom svake noći ovaj ciklus se može ponoviti između četiri i šest puta. Buđenje obično nastupa ili tokom REM faze ili nakon njenog završetka. Tokom buđenja na EEG-u se očitava pojačana električna aktivacija u mozgu, koja počinje u talamusu i širi se na moždanu koru.

Danas je jasno i da je mozak organ kome je posebno potrebno spavanje da bi se obnovio, dok se u ostatku organizma procesi obnove mogu odvijati i tokom mirovanja u budnom stanju. Smatra se da mozak za vreme spavanja uklanja otpadne proizvode metabolizma znatno brže nego u budnom stanju. Nedostatak sna svakako utiče negativno i na

efikasnost imunskog sistema. S druge strane, otkriveno je i da pokretanje imunskog sistema tokom imunske odbrane organizma od zaraznih bolesti utiče na spavanje.

U MODERNO DOBA spavanje se znatno izmenilo u odnosu na sva prethodna razdoblja ljudske istorije. Nije sasvim jasno kakve bi to posledice moglo da ima po zdravlje svih nas. Danas mnoge ljude budi u tačno određeno vreme alarm, a spavaju različito u radne dane i tokom vikenda. Sve to može dovesti do poremećaja njihovih unutrašnjih cirkadijalnih ritmova, tj. pravilne izmene budnosti i spavanja.

Cirkadijalni ritmovi posebno su zanimljivi jer njih održavaju i podešavaju ciklusi svetla i tame. Međutim, osobe koje su izolovane od spoljašnjeg, prirodnog svetla i ostavljene dugo u uslovima gde svetla uopšte nema, poput podzemnih pećina, ili gde je svetlo stalno upaljeno, kao u podmornici, nastaviće da spavaju. Održaće se i njihovi dnevni ciklusi, povezani s metabolizmom i lučenjem hormona, ali trajanje tih ciklusa postajace lagano sve duže od 24 sata. Ipak, svako ponovno izlaganje prirodnom svetlu vratiće taj naš unutrašnji, cirkadijalni sat u dvadesetčetvoročasovni ritam. Tokom tih dnevnih ciklusa i telesna temperatura osciliraće između 36°C i 37°C.

Unutrašnji sat je vrlo osetljiv na svetlo. Ako smo tokom noći izloženi svetlosti, to može da potisne izlučivanje melatonina, a da poveća telesnu temperaturu i budnost. Pritom, plavo svetlo ima najjači efekat jer dovodi do bojazni da elektronski uređaji koji se sada uveliko koriste pre spavanja mogu ometati normalno spavanje. U moderno doba ljudi često dolaze u situacije gde se zbunjuje i remeti njihov unutrašnji sat – zbog noćnih smena na poslu, putovanja u druge vremenske zone te zbog osvetljenja u domovima. Pre tih velikih promena, mlada i zdrava odrasla osoba tokom najvećeg dela godine zaspala bi nekoliko sati nakon zalaska sunca, doživela minimalnu telesnu temperaturu oko 6 sati ujutru i probudila se nekoliko sati posle izlaska sunca.

Zanimljive su i kulturološke razlike među narodima i civilizacijama u načinima spavanja. Neki spavaju u jednom komadu, dok drugi spavaju po dva ili više puta tokom dana, što je deo njihove kulture. Kada se, u eksperimentima pod zemljom, ljudi izoluju od ikakvog osećaja za doba dana, oni spontano počinju da češće izmenjuju razdoblja sna i budnosti

u okviru 24 sata, tj. spavaju nekoliko puta tokom dana ukoliko se nečim ne zabave. Pre industrijske revolucije, u mnogim društvima ljudi su imali naviku da spavaju tokom noći, ali i popodne. S industrijskom revolucijom i preseljenjem u gradove sve je više ljudi preuzelo model spavanja u jednom komadu, tj. jednofazno spavanje.

Posebno zanimljive eksperimente u vezi s „normalnim“ ljudskim unutrašnjim ritmom spavanja sprovodio je čuveni francuski speleolog Mišel Sifr. Ovaj istraživač podzemnih pećina, avanturista i naučnik, diplomirao je na Sorboni i, između ostalog, 1962. je osnovao Francuski institut za speleologiju. Provodio je po nekoliko meseci u podzemnim pećinama poput Skarasona ili u pećinama u Teksasu bez ikakvog pojma o vremenu na površini. Organizovao je slične ekspedicije i za druge speleologe. Na osnovu svojih istraživanja, primetio je da je nekoliko speleologa, na prilično iznenađenje, razvilo četrdesetosmočasovne cikluse spavanja, umesto dvadesetčetvoročasovnih. Rezultate njegovih eksperimenata koristila je i NASA jer je i nekoliko astronauta potvrdilo Sifrove zaključke. Jedno posebno zanimljivo opažanje bilo je i kako izolovanost od praćenja spoljašnjeg vremena može dovesti do gubitka kratkotrajnog pamćenja. Taj unutrašnji, cirkadijalni ritam je nesumnjivo zanimljiva tema, a za razumevanje molekularnih mehanizama tog procesa u ćelijama živih bića američki naučnici Džefri Hol, Majkl Rosbeš i Majkl Jang nagrađeni su 2017. Nobelovom nagradom za fiziologiju ili medicinu.

Osim kulturoloških navika čitavih naroda, i osobe se međusobno umnogome razlikuju u svojim navikama spavanja – od dužine spavanja, pri čemu su nekome potrebna samo četiri sata spavanja dnevno, a nekima i po dvanaest sati, pa do toga kada najviše vole da spavaju. Poznati su ranoranioci i noćne ptice, i ta navika spavanja s obzirom na doba dana naziva se *lični hronotip*. I geni verovatno imaju značajan uticaj na hronotip jer jednojajčani blizanci, s identičnim genetičkim informacijama, imaju znatno sličnije navike pri spavanju od dvojajčanih.

Možda i najzanimljivije obeležje spavanja jesu sami snovi – doživljaji u kojima osećamo da postojimo i u kojima susrećemo poznate i nepoznate osobe. Snovi mogu imati elemente koji bi u budnom stanju bili nemoćni. Sigmund Frojd je pretpostavljao da su snovi simbolični izraz frustracija i želja koje su bile potisnute u nesvesni deo uma. Koristio se tumačenjem snova u psihoanalizi nastojeći da osvesti te potisnute želje.

Danas mnogi podržavaju mišljenje naučnika Džona Alana Hobsona i Roberta Makarlija. Oni sugerišu da snovi nastaju nasumičnim „okidanjem“ neurona u moždanoj kori tokom REM faze spavanja. Prednji deo mozga zatim počinje da stvara priču, pokušavajući da pomiri nasumične i besmislene senzorne informacije koje mu se predstavljaju. Snovi bi se, dakle, pojavili dok prednji deo mozga pokušava da sve te informacije poveže u priču koja izgleda da ima osnova u poznatom kontekstu. Ova teorija je stekla popularnost jer pomaže da se objasni i očigledna iracionalnost uma tokom REM razdoblja spavanja, kao i zašto snovi mogu da imaju tako neobične priče u svojoj podlozi.