

David Eagleman

ŽIVO OMREŽJE

*Skrivnosti nenehno
spreminjajočih se možganov*

David Eagleman

Živo omrežje

SKRIVNOSTI NENEHNO
SPREMINJAJOČIH SE MOŽGANOV

Prevedel Niki Neubauer



Ljubljana 2023

David Eagleman

ŽIVO OMREŽJE

Skrivnosti nenehno spreminjajočih se možganov

LIVEWIRED

The Inside Story of the Ever-Changing Brain

Copyright © 2020 by David Eagleman

© za Slovenijo UMco, 2023. Vse pravice pridržane.

Prevod: Niki Neubauer

Izdajatelj in založnik: UMco, d. d.

Zbirka Angažirano

Odgovorni urednik: Samo Rugelj

Knjigo uredili: Renate Rugelj in Nika Hranjec

Številčenje kazala: Neža Vilhelm

Oblikovanje ovitka in postavitev: Aleš Cimprič

Slika na naslovnici: iStock

Tisk: Camera, d. o. o.

Naklada: 400 izvodov, 1. natis

Ljubljana 2023

Knjižno delo je izšlo v okviru programa, ki ga sofinancira
Javna agencija za knjigo Republike Slovenije.

V okviru določil Zakona o avtorski in sorodnih pravicah so brez pisnega dovoljenja založbe prepovedani reproduciranje, distribuiranje, javna priobčitev, predelava ali druga uporaba tega avtorskega dela ali njegovih delov v kakršnem koli obsegu ali postopku, v številni fotokopiranje, tiskanje in shranjevanje v elektronski obliki.

CIP - Kataložni zapis o publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana

612.82

EAGLEMAN, David

Živo omrežje : skrivnosti nenehno spreminjajočih se možganov /
David Eagleman ; prevedel Niki Neubauer. - 1. natis.
- Ljubljana : UMco, 2023. - (Zbirka Angažirano)

Prevod dela: Livewired : the inside story of the ever-changing brain
ISBN 978-961-7136-69-2
COBISS.SI-ID 146401539

UMco, d. d., Leskoškova 12, 1000 Ljubljana
tel.: 01 / 520 18 39, e-pošta: bukla-urednistvo@umco.si, www.bukla.si

Vsebina

- | | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Živa električna tkanina | 11 |
| | <i>Otrok s polovico možganov • Druga skrivnost življenja
• Če ti neko orodje manjka, ga ustvari • Nenehno spreminjajoči se sistem</i> | |
| 2 | Samo dodajte svet | 29 |
| | <i>Kako vzgojiti dobre možgane • Izkušnje so nujne •
Velika tvegana igra narave</i> | |
| 3 | Notranjost zrcali zunanost | 41 |
| | <i>Primer opic iz Silver Springa • Posmrtno življenje desne roke lorda Horatia Nelsona • Časovna usklajenost je vse • Kolonizacija je naloga za polni delovni čas • Čim več, tem bolje • Zaslepljujoče hitro • Kaj ima sanjanje opraviti z vrtenjem planeta? • Kakor zunaj, tako znotraj</i> | |
| 4 | Ovijanje okoli vnosov | 73 |
| | <i>Tehnologija g. Krompirjeglavca osvaja planet • Čutilna zamenjava • Vse po enem kopitu • Glasba za oči • Dobre vibracije • Krepitev obročnosti • Priklic novih čutil • Zamislite si novo barvo • Ste pripravljeni na novo čutenje?</i> | |

- 5 Kako do boljšega telesa 149**
Lahko resnični Doc Ock, prosim, dvigne roke? • Ni standardnih načrtov • Motorično brbljanje • Motorični korteks, penice in Luna • Samonadzor • Igračke smo mi • Eni možgani, neskončno telesnih načrtov.
- 6 Zakaj je razvrščanje po pomembnosti pomembno 187**
Perlmanov motorični korteks proti Aškenazijevemu • Oblikovanje pokrajine • Nepopustljivo • Omogočanje spreminjanja nepremičnine • Možgani digitalnega domorodca
- 7 Zakaj ljubezen ne pozna svoje globine vse do ure ločitve 213**
Konj v reki • Kako narediti nevidno pričakovano • Razlika med tem, kar ste mislili, da se bo zgodilo, in tem, kar se dejansko je • Iti proti luči. Ali sladkorju. Ali podatkom. • Prilagajanje za pričakanje nepričakovanega
- 8 Balansiranje na robu spremembe 233**
Ko ozemlje izgine • Kako enakomerno razporediti preprodajalce mamil • Kako nevroni širijo svojo družbeno mrežo • Koristi dobre smrti • Je rak izraz porušene plastičnosti? • Reševanje možganskega gozda
- 9 Zakaj je stare pse težje naučiti novih trikov? 257**
Rojeni kot mnogi • Občutljivo obdobje • Vrata se zapirajo različno hitro • Po vseh teh letih se še vedno spreminja

10	Zapomniti si kdaj	277
	<i>Pogovori s svojim prihodnjim jazom • Sovražnik spomina ni čas; pravi sovražnik so drugi spomini • Deli možganov učijo druge dele • Onstran sinaps • Nizanje časovnih razponov • Različne vrste spomina • Zgodovina spreminja</i>	
11	Volk in Mars Rover	309
12	Odkrivanje Ötzijsve davno izgubljene ljubezni	321
	<i>Spoznali smo spreminjevalce oblik – to smo mi</i>	
	Zahvale	329
	Končne opombe	331
	Priporočena literatura	385
	Imensko in stvarno kazalo	399

Živo omrežje

Vsak človek se rodi kot mnogo oseb in umre kot ena sama.

–MARTIN HEIDEGGER

ŽIVA ELEKTRIČNA TKANINA

Predstavljajte si naslednje: namesto da bi na Mars poslali dvesto kilogramov težko robotsko vozilo, bi na planet poslali eno samo kroglo, ki bi bila tako majhna, da bi jo lahko namestili na konec bucike. S pomočjo energije iz virov okoli sebe bi se krogla delila in namnožila v raznovrstno vojsko podobnih krogel. Krogle bi se nato oklenile druga druge in iz njih bi pognale različne značilnosti: kolesa, leče, temperaturni senzorji in popoln notranji sistem krmiljenja. Samo zijali bi od začudenja, ko bi gledali, kako se tak sistem sam razvije.

Vendar to lahko vidite v vsaki porodnišnici. Za steklom boste videli kopico jokajočih dojenčkov, ki so vsi nastali iz mikroskopsko majhnega oplojenega jajčeca in so zdaj v procesu razvijanja v ogromne ljudi, opremljeni z detektorji fotonov, dodatki z več sklepi, senzorji tlaka, črpalkami krvi in strojno opremo za presnavljanje energije iz okolja povsod okrog njih.

A to sploh ni najboljše pri ljudeh; obstaja nekaj še bolj osupljivega. Naša oprema ni v celoti vnaprej programirana, ampak se

sama oblikuje ob stikih s svetom okrog nas. Ko rastemo, nenehno na novo povezuje svoja možganska vezja, da se lahko spopadamo z izzivi, izkoriščamo priložnosti in razumemo družbene zgradbe okrog sebe.

Naša vrsta je uspešno zavzela vse koticke sveta, ker smo največji trik, ki ga je odkrila mati narava: nikoli ne naredi dokončnega načrta možganov; daj jim samo osnovne gradnike in jih spravi na svet. Jokajoči dojenček sčasoma preneha jokati, ogleduje si svet okrog sebe in ga vsrkava. Prilagodi se okolici. Kot goba vpija vse, od krajevnega jezika do širše kulture in svetovne politike. Prenaša prepričanja in predsodke tistih, ki ga vzgajajo. Vsak prijeten spomin, ki si ga ustvari, vsak poduk, ki se ga nauči, vsak drobec informacij, ki jih pridobi – vse to oblikuje njegova vezja, da razvijejo nekaj, kar ni bilo nikoli vnaprej načrtovano, ampak odraža svet okoli njega.

Ta knjiga vam bo pokazala, kako naši možgani nenehno preoblikujejo svoje omrežje in kaj to pomeni za naše življenje in našo prihodnost. Na tej poti bodo zgodbo osvetlila številna vprašanja: Zakaj so ljudje v osemdesetih letih prejšnjega stoletja (in samo v osemdesetih letih prejšnjega stoletja) videli knjižne strani rahlo rdeče? Zakaj je najboljši lokostrelec na svetu brez rok? Zakaj vsako noč sanjamo in kako je to povezano z vrtenjem planeta? Kaj ima odvajanje od drog skupnega s strtim srcem? Zakaj sovražnik spomina ni čas, temveč drugi spomini? Kako se lahko slepa oseba nauči videti z jezikom ali gluha oseba slišati s kožo? Bomo lahko morda nekoč iz mikroskopske strukture, izrisane v gozdu možganskih celic neke osebe, prebrali grobe podrobnosti o njenem življenju?

OTROK S POLOVICO MOŽGANOV

Ko se je Valerie S. pripravljala za odhod na delo, se je njen triletni sin Matthew zgrudil na tla.¹ Bil je nezavesten. Ustnice so mu pomodrele. Valerie je v paniki poklicala moža. »Zakaj kličeš mene?« je zavpil. »Pokliči zdravnika!«

Vožnji na urgenco je sledil dolg niz pregledov. Pediater je priporočil, naj Matthewu preverijo srce. Kardiolog ga je opremil s srčnim monitorjem, ki ga je Matthew vedno znova strgal s sebe. Noben pregled ni pokazal nič posebnega. Strah je povzročil enkratni dogodek. Tako so vsaj mislili. Mesec dni pozneje, ko je Matthew jedel, je njegov obraz dobil čuden izraz. Njegove oči so postale napete, desno roko je krčevito dvignil nad glavo, približno minuto je bil neodziven. Valerija ga je v naglici odpeljala k zdravniku, a tudi tokrat ni bilo jasne diagnoze.

Potem se je naslednji dan to spet ponovilo.

Nevrolog je Matthewa priključil na kapo z elektrodami, da bi mu izmeril možgansko dejavnost, in takrat je odkril značilne znake epilepsije. Matthew je začel dobivati zdravila proti epileptičnim napadom.

Zdravila so pomagala, vendar ne za dolgo. Kmalu je imel Matthew vrsto neobvladljivih napadov, ki so se najprej pojavljali vsako uro, nato na petinštirideset minut, kasneje pa trideset minut – kot se skrajšuje čas med porodnimi krči pri ženski ob porodu. Čez nekaj časa je imel napad vsaki dve minuti. Valerie in njen mož Jim sta Matthewa vsakič, ko se je začela takšna serija napadov, takoj odpeljala v bolnišnico, kjer so ga obdržali od nekaj dni do nekaj tednov. Po več ponovitvah sta rutinirano počakala, da so njegovi »krči« dosegli dvajsetminutno mejo, nato pa sta vnaprej obvestila bolnišnico, se vkrcala v

avto in na poti tja v restavraciji hitre prehrane Matthewu kupila nekaj za jesti.

Matthew se je medtem trudil uživati v življenju med napadi.

Družina se je v bolnišnici zglasila tudi po desetkrat na leto. Ta rutina je trajala tri leta. Valerie in Jim sta začela žalovati za izgubo zdravega otroka – ne zato, ker bi umrl, ampak zato, ker ne bo živel normalnega življenja. Prestala sta obdobje jeze in zanikanja. Njuna normalnost se je spremenila. Nazadnje so morali nevrologi med Matthewovim tritedenskim bivanjem v bolnišnici priznati, da je njegova težava večja, kot so jo zmožni obravnavati v krajevni bolnišnici.

Zato je družina z letalsko reševalno službo odpotovala iz domačega Albuquerqueja v Novi Mehiki v bolnišnico Johns Hopkins v Baltimoru. Tam so na enoti za pediatrično intenzivno nego ugotovili, da ima Matthew Rasmussenov encefalitis, redko kronično vnetno bolezen. Težava pri tej bolezni je, da ne prizadene le majhnega dela možganov, temveč celotno polovico. Valerie in Jim sta preverila možnosti in z zaskrbljenostjo ugotovila, da obstaja le eno znano zdravljenje Matthewove bolezni: hemisferektomija ali kirurška odstranitev celotne polovice možganov. »Ne znam vam povedati ničesar, kar so zdravniki rekli po tem,« mi je povedala Valerie. »Ko slišiš nekaj takega, se preprosto zapreš, tako je, kot da bi vsi govorili v tujem jeziku.«

Valerie in Jim sta poskusila tudi z drugimi pristopi, vendar so se izkazali za neuspešne. Ko je Valerie nekaj mesecev pozneje poklicala v bolnišnico Johns Hopkins, da bi se dogovorila za termin za hemisferektomijo, jo je zdravnik vprašal: »Ste prepričani?«

»Da,« je odgovorila.

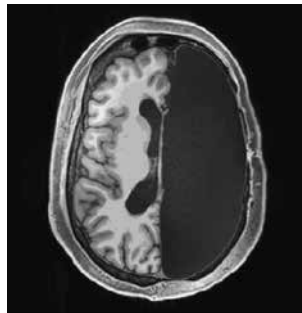
»Ali se lahko vsak dan pogledate v ogledalo in veste, da ste izbrali to, kar ste morali storiti?«

Valerie in Jim zaradi stiskajoče tesnobe nista mogla spati. Bo Matthew preživel operacijo? Je sploh mogoče živeti, če ti manjka polovica možganov? In tudi če je, ali ne bo odstranitev ene možganske poloble skrčila Matthewovo življenje na raven, ki ni vredna tveganja?

Toda drugih možnosti ni bilo. V senci številnih vsakodnevnih epileptičnih napadov normalno življenje ni mogoče. Starša sta se znašla v položaju, ko sta tehtala med gotovimi Matthewovimi pomanjkljivostmi in negotovim izidom operacije

Z letalom sta ga odpeljala v bolnišnico v Baltimoru. Matthew je pod majhno otroško masko utonil v anestezijo. Skalpel je previdno zarezal kožo na njegovem obritem lasišču. Vrtnik za kosti je v lobanjo izrezal okroglo luknjo.

Kirurg je v več urah potrpežljivega dela odstranil polovico nežne rožnate snovi, ki je bila osnova Matthewovega razuma, čustev, jezika, smisla za humor, strahov in ljubezni. Odstranjeno možgansko tkivo, neuporabno zunaj svojega biološkega okolja, so odložili v majhne posode. Prazna polovica



Matthewu so kirurško odstranili polovico možganov.

Matthewove lobanje se je počasi napolnila s cerebrospinalno tekočino, ki se je na računalniški sliki možganov pokazala kot črna praznina.²

V sobi za okrevanje sta njegova starša pila bolnišnično kavo in čakala, da bo Matthew odprl oči. Kakšen bo njun sin zdaj? Kakšen sploh je lahko, če ima samo polovico možganov?



Od vseh stvari, ki jih je naša vrsta odkrila na planetu, se nič ne more primerjati z zapletenostjo naših možganov. Človeške možgane sestavlja šestinosemdeset milijard celic, imenovanih nevroni: celic, ki bliskovito hitro prenašajo informacije v obliki potujočih napetostnih sunkov.³ Nevroni so med seboj gosto povezani v zapletena, gozdu podobna omrežja in skupno število povezav med nevroni v vaši glavi se meri v stotinah bilijonov (približno 0,2 bilijarde). Da bi dobili približno predstavbo, pomislite na to takole: v kubičnem milimetru tkiva možganske skorje je dvajsetkrat več povezav, kot je vseh ljudi na Zemlji.

Toda možgani niso tako zanimivi zaradi števila svojih delov, temveč zaradi načina, kako ti deli medsebojno delujejo.

V učbenikih, medijskih oglasih in popularni kulturi možgane ponavadi predstavljajo kot organ z različnimi območji, namenjenimi določenim nalogam. To območje je namenjeno vidu, tale del je potreben, da znamo uporabljati orodje, to območje postane dejavno, ko se upiramo sladkarijam, ta točka pa se prižge, ko razmišljamo o moralnem vprašanju. Vsa območja je mogoče lepo označiti in razvrstiti.

Vendar je tak učbeniški model neustrezen in zgreši najzanimivejši del zgodbe. Možgani so dinamičen sistem, ki stalno

spreminja svoja vezja, da bi se prilagodil zahtevam okolja in zmožnostim telesa. Če bi imeli čarobno videokamero, s katero bi lahko povečali živi, mikroskopski kozmos v lobanji, bi videli, kako se lovkam podobni podaljški nevronov oprijemajo, tipajo in trkajo drug ob drugega, ko iščejo prave povezave, ki bi jih vzpostavili ali opustili, kot se prebivalci neke države povezujejo v prijateljstva, zakonske zveze, soseske, politične stranke, krvna maščevanja in družbena omrežja. Možgane si predstavljajte kot živo skupnost bilijonov medsebojno prepletajočih se organizmov. Možgani so veliko bolj nenavadni od slike v učbeniku, bolj so podobni skrivnostni vrsti računalniškega gradiva, živi tridimenzionalni tkanini, ki se spreminja, odziva in prilagaja, da bi povečala svojo učinkovitost. Zapleten vzorec povezav v možganih – njihovo omrežje – je poln življenja: povezave med nevroni nenehno vznikajo, zamirajo in se preoblikujejo. Danes ste drugačna oseba, kot ste bili lani ob tem času, ker se je velikanska tapiserija vaših možganov stkala v nekaj novega.

Ko spoznate nekaj novega – lokacijo restavracije, ki vam je všeč, govorice o vašem šefu, novo uspešnico na radiu –, se vaši možgani fizično spremenijo. Enako se zgodi, ko doživite finančni uspeh, družbeni polom ali čustveno prebujenje. Ko mečete na koš, se ne strinjate s sodelavcem, z letalom potujete v novo mesto, gledate nostalgичno fotografijo ali slišite blagozvočne tone ljubljene glasbe, se ogromne, prepletene džungle vaših možganov oblikujejo v nekaj, kar je nekoliko drugačno od tistega, kar je obstajalo trenutek prej. Te spremembe lahko povzamemo kot vaše spomine: rezultat vašega življenja in ljubezni. Neštete možganske spremembe, ki se kopičijo v minutah, mesecih in desetletjih, vas ustvarijo.

Ali vsaj to, kar ste prav zdaj. Včeraj ste bili malo drugačni. Jutri pa boste spet nekdo drug.

DRUGA SKRIVNOST ŽIVLJENJA

Leta 1953 je Francis Crick planil v pivnico Eagle and Child. Presenečenim pivcem je naznanil, da sta z Jamesom Watsonom pravkar odkrila skrivnost življenja: dešifrirala sta dvojno vijačnico zgradbe DNK. To je bil eden največjih trenutkov v znanosti.

Vendar se je izkazalo, da sta Crick in Watson odkrila samo *polovico* skrivnosti. Druge polovice ne boste našli zapisane v zaporedju baznih parov DNK, prav tako je ne boste našli zapisane v učbeniku. Ne zdaj, ne nikoli.

Druga polovica je namreč povsod okoli vas. To je vsaka izkušnja, ki jo imate s svetom: tekture in okusi, božanje in prometne nesreče, jeziki in ljubezenske zgodbe.⁴

Da bi to razumeli, si predstavljajte, da ste se rodili pred trideset tisoč leti. Imate popolnoma enako DNK, vendar zdrsnete iz maternice in odprete oči v drugem časovnem obdobju. Kakšni bi bili? Bi uživali v plesu v živalskih kožah okoli ognja in se čudili zvezdam? Bi z vrha drevesa z glasnim rjojenjem opozarjali na bližajočega se sabljevobega tigra? Bi vas skrbelo glede spanja na prostem, ker bi se nad vami nabirali deževni oblaki?

Ne glede na to, kakšni mislite, da bi bili, se motite. To je zvijačno vprašanje. Kajti ne bi bili vi. Niti približno. Ta jamski človek s povsem enako DNK bi vam *bil* morda nekoliko podoben, ker bi imel enako genomsko knjigo receptov. Toda

ta jamski človek ne bi razmišljal kot vi. Prav tako ne bi tako kot vi snoval strategij, ljubil ali si predstavljal preteklosti in prihodnosti.

Zakaj? Ker so izkušnje jamskega človeka drugačne od vaših. Čeprav je DNK del zgodbe vašega življenja, je samo majhen del. Preostali del zgodbe sestavljajo bogate podrobnosti vaših izkušenj in okolja, ki skupaj oblikujejo obsežno mikroskopsko tapiserijo vaših možganskih celic in njihovih povezav. To, kar si predstavljamo da ste *vi*, je kot posoda z izkušnjami, v katero je vlit majhen vzorec prostora in časa. S svojimi čutili vsrkavate svojo krajevno kulturo in tehnologijo. Kar ste, je enako odvisno od okolice kot od DNK v vas.

Primerjajte to zgodbo s komodoškim varanom danes in komodoškim varanom pred trideset tisoč leti. Verjetno bi ju bilo na podlagi kakršnegakoli merila njunega vedenja veliko težje razlikovati.

V čem je razlika?

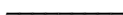
Komodoški varani se posvetujejo z možgani, ki se vsakič odzovejo s približno enakim izidom. Veščine, ki jih imajo v svojem življenjepisu, so večinoma vcepljene (*jesti! pariti se! plavati!*) in jim omogočajo, da zasedajo stabilno nišo v ekosistemu. Vendar so to neprilagodljivi delavci. Če bi jih z letalom iz njihovega doma v jugovzhodni Indoneziji preselili v zasneženo Kanado, komodoških varanov kmalu ne bi bilo več.

Nasprotno pa ljudje uspevamo v okoljih po vsem svetu in kmalu bomo tudi zunaj sveta. V čem je trik? Ne gre za to, da smo bolj žilavi, vzdržljivi ali trpežni kot druga bitja: po vseh teh merilih izgubimo v primerjavi s skoraj vsemi drugimi živalmi. Gre za to, da na svet pridemo z možgani, ki so večinoma nepopolni. Posledično imamo v otroštvu edinstveno dolgo

obdobje nemoči. Vendar se ta strošek izplača, saj naši možgani vabijo svet, naj jih oblikuje – zato tako željno vsrkavamo krajevni jezik, kulturo, modo, politiko, religijo in moralo.

Prihod na svet z napol pripravljenimi možgani se je za ljudi izkazal za zmagovalno strategijo. Zmagali smo v tekmi z vsemi drugimi vrstami na planetu: poselili smo kopno, osvojili morja in poleteli na Luno. Potrojili smo svojo življenjsko dobo. Skladamo simfonije, gradimo nebotačnike in vedno natančneje merimo podrobnosti svojih možganov. Nobeden od teh podvigov ni bil genetsko zakodiran.

Vsaj ne neposredno zakodiran. Namesto tega je naša genetika prinesla preprosto načelo: *Ne gradi neprilagodljive strojne opreme; zgradi sistem, ki se prilagaja svetu okoli sebe.* Naša DNK ni nespremenljiv načrt za izgradnjo organizma, temveč vzpostavlja dinamičen sistem, ki nenehno na novo zarisuje svoja vezja, da bi odražal svet okoli sebe in optimiziral svojo učinkovitost v njem.



Pomislite, kako bo šolar pogledal globus Zemlje in domneval, da so državne meje nekaj temeljnega in nespremenljivega. Nasprotno pa poklicni zgodovinar razume, da so državne meje odvisne od naključij in da bi se naša zgodba lahko odvijala tudi rahlo drugače: bodoči kralj umre v otroštvu, izognemo se krompirjevi lakoti ali pa se neka vojna ladja potopi in se bitka prevesi v prid druge strani. Majhne spremembe bi zaradi kaskadnega učinka pripeljale do drugačnih zemljevidov sveta.

In tako je tudi z možgani. Čeprav tradicionalna risba v učbeniku nakazuje, da so nevroni v možganih srečno zloženi drug

ob drugem kot žele bomboni v kozarcu, naj vas to ne zavede: nevroni so v medsebojnem tekmovanju za preživetje. Tako kot sosednji narodi tudi nevroni ogradijo svoja ozemlja in jih zagrizeno branijo. Za ozemlje in preživetje se borijo na vseh ravneh sistema: vsak nevron in vsaka povezava med nevroni se bori za vire. In medtem ko te obmejne vojne divjajo vso življenjsko dobo možganov, se zemljevidi izrisujejo na novo tako, da se izkušnje in cilji dane osebe vedno odražajo v strukturi njenih možganov. Če računovodkinja opusti svojo kariero in postane pianistka, se nevronska ozemlje, namenjeno njenim prstom, razširi; če postane laborantka, bo njen vizualni korteks razvil večjo ločljivost za majhne podrobnosti, ki jih išče pod mikroskopom; če postane parfumerka, se ji bodo povečala možganska območja, namenjena vonju.

Samo ob površnem pogledu z razdalje ponujajo možgani videz globusa z vnaprej določenimi in dokončnimi mejami.

Možgani razporejajo svoje vire glede na to, kaj je pomembno, to pa počnejo z bojem za obstanek med vsemi deli, ki jih sestavljajo. To osnovno načelo bo osvetlilo več vprašanj, s katerimi se bomo prav kmalu srečali: Zakaj imate včasih občutek, da vam je pravkar v žepu zabrnal prenosni telefon, potem pa ugotovite, da je na mizi? Zakaj ima v Avstriji rojeni igralec Arnold Schwarzenegger močan naglas, ko govori ameriško angleščino, medtem ko ga v Ukrajini rojena igralka Mila Kunis nima? Zakaj lahko otrok z avtističnim sindromom savanta reši Rubikovo kocko v devetinštiridesetih sekundah, ni pa sposoben normalnega pogovora z vrstnikom? Ali lahko ljudje s pomočjo tehnologije razvijejo nova čutila in tako neposredno zaznavajo infrardečo svetlobo, globalne vremenske vzorce ali dogajanje na borzi?

ČE TI NEKO ORODJE MANJKA, GA USTVARI

Konec leta 1945 se je Tokio znašel v hudih škripcih. V štiri-desetletnem obdobju, ki je obsegalo rusko-japonsko vojno in dve svetovni vojni, je Tokio intelektualne vire usmerjal v vojaško razmišljanje. To je narod opremilo s sposobnostmi, ki so bile najprimernejše za eno samo stvar: še več vojskovanja. Toda atomski bombi in utrujenost od bojov so zmanjšali njegove želje po osvajanjih v Aziji in na Tihem oceanu. Vojne je bilo konec. Svet se je spremenil in japonski narod se je moral spremeniti z njim.

Toda spremembe so prinesle težko vprašanje: Kaj narediti z velikim številom vojaških inženirjev, ki so se od začetka stoletja naprej usposabljali za izdelavo boljšega orožja? Ti inženirji se preprosto niso ujemali z novo odkrito željo Japonske po miru.

Tako se je vsaj zdelo. Toda v naslednjih nekaj naslednjih letih je Tokio spremenil svojo družbeno in gospodarsko krajino tako, da je svoje inženirje prerazporedil na nove naloge. Na tisoče so jih zadolžili za gradnjo hitrega vlaka, znanega pod imenom Šinkansen ali vlak-krogla.⁵ Tisti, ki so prej načrtovali aerodinamična mornariška letala, so zdaj izdelovali aerodinamične železniške vagoni. Tisti, ki so delali na lovskem letalu Mitsubishi Zero, so zdaj načrtovali kolesa, osi in tračnice, da bi zagotovili varno delovanje hitrega vlaka pri visokih hitrostih.

Japonska je svoje vire oblikovala tako, da so boljše ustrezali zunanjemu okolju. Svoje meče je prekovala v pluge. Svoje stroje je predelala, da so ustrezali zahtevam sedanosti.

Japonska je naredila to, kar počnejo možgani.

Možgani se vztrajno prilagajajo v odzivu na svoje izzive in cilje. Svoje vire oblikujejo tako, da ustrezajo zahtevam okolice. Če nimajo tega, kar potrebujejo, to izoblikujejo.

Zakaj je to dobra strategija za možgane? Navsezadnje je tehnologija, ki jo je zgradil človek, zelo uspešna, a pri njej uporabljamo povsem drugačno strategijo. Gradimo fiksne strojne naprave s programsko opremo, da na eleganten način dosežemo, kar potrebujemo. Kakšna bi bila prednost, če bi razblinili razlike med posameznimi plastmi, tako da bi se stroji nenehno preoblikovali kot posledica delovanja programov?

Prva prednost je hitrost.⁶ Na prenosnem računalniku tipkate hitro, ker vam ni treba razmišljati o podrobnostih položajev vaših prstov, usmeritev in ciljih. Vse poteka samo od sebe, na videz čudežno, saj je tipkanje postalo del vašega vezja. S preoblikovanjem živčnega omrežja se lahko tovrstna opravila avtomatizirajo, to pa omogoča hitro sprejemanje odločitev in delovanje. Milijoni let evolucije niso predvidevali pisnega jezika, še manj pa tipkovnice, vendar naši možgani brez težav izkoriščajo te novosti.

Primerjajte to z udarjanjem po pravih tipkah na glasbilu, ki ga še nikoli niste igrali. Pri tovrstnih nalogah, ki jih nismo vadili, se opiramo na zavestno razmišljanje, ki je primerljivo precej počasno. Ta razlika v hitrosti med amaterizmom in strokovnim znanjem je razlog, zakaj rekreativnemu nogometašu nenehno kradejo žogo. Nasprotno pa izkušeni igralec razbira signale nasprotnikov, spretno preigrava in ustrelji žogo z veliko natančnostjo. Nezavedna dejanja so hitrejša od zavestnega premišljevanja. Plugi orjejo zemljo hitreje kot meči.

Druga prednost specializiranja strojev za pomembne naloge je energetska učinkovitost. Novinec v nogometu preprosto ne

razume, kako se lahko vse to gibanje na igrišču poveže med seboj, medtem ko lahko poklicni igralec na veliko različnih načinov preigrava z žogo, da doseže gol. Čigavi možgani so dejavnejši? Morda ugibate, da so to možgani vrhunskega nogometaša, ki dosega zadetke kot za stavo – ker razume strukturo igre in bliskovito izbira med možnostmi, odločitvami in zapletenimi potezami. Toda vaša domneva bi bila napačna. Možgani vrhunskega nogometaša so razvili nevronska vezja, značilna za nogomet, ki mu omogočajo, da svoje poteze izvaja s presenetljivo malo možganske dejavnosti. V določenem pogledu je postal eno z igro. Nasprotno pa amaterjevi možgani kar prasketajo od dejavnosti. Poskuša ugotoviti, kateri gibi so pomembni. Razmišlja o različnih možnih razlagah situacije in poskuša ugotoviti, katere, če sploh, so pravilne.

Ker je nogomet vgrajen v njegovo vezje, je delovanje profesionalca obenem hitro in učinkovito. Svojo notranjo napeljavo je optimiziral za to, kar je pomembno v njegovem zunanjem svetu.

NENEHNO SPREMINJAJOČI SE SISTEM

Koncept sistema, ki ga lahko zunanji dogodki spremenijo – in nato ohrani svojo novo obliko –, je ameriškega psihologa Williama Jamesa spodbudil, da je uporabil izraz »plastičnost«. Plastičen predmet je tak, ki se ga lahko oblikuje in nato *obdrži* svojo obliko. Tako je material, ki mu pravimo plastika, dobil svoje ime: iz njega oblikujemo posode, igrače in telefone, material pa se ne stali nazaj v svojo prvotno obliko. In podobno je tudi z možgani: izkušnje jih spremenijo in možgani te spremembe ohranijo.

»Plastičnost možganov« (imenovana tudi nevroplastičnost) je izraz, ki ga uporabljamo v nevroznanosti. Vendar bom v tej knjigi ta izraz uporabljal le poredko, saj včasih obstaja nevarnost, da zgreši svoj pomen. Izraz »plastičnost« namreč, name-noma ali ne, nakazuje, da je ključna zamisel v tem, da nekaj izoblikujemo enkrat za vselej: ko plastično igračo izoblikujemo, je nikoli več ne spremenimo. Možgani pa ne delajo tega. Možgani se preoblikujejo vse življenje.

Pomislite na razvijajoče se mesto in bodite pozorni na način, kako raste, se optimizira in odziva na svet okoli sebe. Opazujte, kje mesto gradi postajališča za tovornjake, kako oblikuje svojo politiko priseljevanja, kako prilagaja svoj izobraževalni in pravni sistem. Mesto se nenehno spreminja. Urbanisti ne oblikujejo mesta kot plastični okrask, ki nato ostane tak za vse večne čase. Ne, mesto se neprestano razvija.

In tako kot mesta tudi možgani nikoli ne dosežejo končne točke. Življenje preživimo tako, da se k nečemu približujemo, čeprav se cilj premika. Pomislite na občutek, ko naletite na dnevniški zapis, ki ste ga napisali pred mnogimi leti. Predstavlja razmišljanje, mnenja in stališča nekoga, ki je bil nekoliko drugačen od tega, kar ste zdaj, in tista prejšnja oseba je včasih komajda še prepoznavna. Kljub istemu imenu in isti zgodnji zgodovini se je pripovedovalec v letih med vpisom in razlago spremenil.

Besedo »plastičen« je mogoče raztegniti, da ustreza temu pojmu nenehnega spreminjanja, in da bi ohranil povezavo z obstoječo literaturo, bom ta izraz občasno uporabil.⁷ Toda časi, ko smo se navduševali nad plastičnim oblikovanjem, so najbrž že mimo. Na tem mestu je naš cilj razumeti, kako ta živi sistem deluje, zato sem skoval izraz, ki bolje odraža bistvo:

»živo omrežje« (angl. livewired). Kot bomo videli, si možganov ni mogoče predstavljati kot nekaj, kar bi lahko razdelili na plasti strojne in programske opreme. Zato je za razumevanje tega dinamičnega, prilagodljivega sistema, ki stalno išče informacije, ustrežnejši koncept »živega omrežja«.

Da bi lahko dojeli moč organa, ki se sam sproti konfigurira, se vrnimo k Matthewovi zgodbi. Po odstranitvi celotne možganske poloble oziroma hemisfere je bil inkontinenten, ni mogel hoditi, ni mogel govoriti. Najhujši strahovi njegovih staršev so se uresničili.

Toda z vsakodnevno fizioterapijo in delom z logopedom se je počasi ponovno naučil jezika. Njegovo učenje je potekalo po enakih stopnjah kot pri dojenčkih: najprej ena beseda, nato dve, nato kratke fraze.

Tri mesece pozneje je bil na primerni razvojni stopnji za svojo starost – spet je bil tam, kjer bi moral biti.

Zdaj, mnogo let pozneje, Matthew ne more dobro uporabljati desne roke in pri hoji rahlo šepa.⁸ Sicer pa živi normalno življenje in skoraj nič ne kaže na to, da je prestal tako nenavadno pustolovščino. Njegov dolgoročni spomin je odličen. Tri semestre je hodil na fakulteto, vendar je zaradi težav pri pisanju zapiskov z desno roko študij opustil in začel delati v restavraciji. Tam odgovarja na telefonske klice, skrbi za stranke, streže jedi in pokriva skoraj vsa dela, ki jih je treba opraviti. Ljudje, ki ga srečajo, ne posumijo, da mu manjka polovica možganov. Kot pravi Valerie: »Če ne bi vedeli, ne bi vedeli.«

Kako lahko tako velika nevronska okvara ostane neopažena?

Takole: preostali del Matthewovih možganov se je dinamično preoblikoval, da je prevzel manjkajoče funkcije. Načrti njegovega živčnega sistema so se prilagodili tako, da so zasedli manjši del nepremičnine – s polovico razpoložljivih strojev so zaobjeli polnost življenja. Iz pametnega telefona ne bi mogli izrezati polovice elektronike in upati, da boste še vedno lahko koga poklicali, saj je strojna oprema krhka. Oprema živega omrežja pa je vzdržljiva.



Leta 1596 je flamski kartograf Abraham Ortelius pregledoval zemljevid Zemlje in doživel razodetje: Amerika in Afrika sta bili videti, kot dva ujemajoča se koščka sestavljanke. Očitno sta se celini prilegali druga drugi, vendar si ni znal predstavljati, kaj ju je »raztrgalo«. Leta 1912 je nemški geofizik Alfred Wegener domneval, da gre za drsenje celin: čeprav je dotlej veljalo, da celine nepremično ležijo vsaka na svoji legi, morda vendarle lebdiyo naokoli kot mamutski lokvanji. Drsenje je počasno (celine se premikajo z enako hitrostjo, kot rastejo vaši nohti), vendar bi na milijone let dolg posnetek sveta pokazal, da so celine del dinamičnega, tekočega sistema in se prerazporejajo v skladu s pravili toplote in pritiska.

Tako kot zemeljska obla so tudi možgani dinamičen, tekoč sistem, toda kakšna so njegova pravila? Število znanstvenih člankov o plastičnosti možganov se je povzpelo na več sto tisoč. Vendar tudi danes, ko opazujemo to čudno rožnato, samo-konfigurirajočo se snov, nimamo splošnega okvira, ki bi nam povedal, zakaj in kako možgani počnejo to, kar počnejo.

Ta knjiga postavlja tak okvir in nam pomaga bolje razumeti, kdo smo, kako smo nastali in kam gremo.

Ko začnemo razmišljati o živem omrežju, se zdijo naši sedanja stroji z nespremenljivimi vezji brezupno neprimerni za našo prihodnost. Navsezadnje je v tradicionalnem inženirstvu vse, kar je pomembno, skrbno načrtovano. Kadar avtomobilsko podjetje predela karoserijo nekega vozila, porabi več mesecev za izdelavo ustreznega motorja. Toda predstavljajte si, da bi spremenili karoserijo, kot bi želeli, in bi se motor sam prilagodil temu. Kot bomo videli, se lahko ob razumevanju načel našega živega živčnega omrežja opremo na genialnost mater narave in izdelamo nove stroje in naprave, ki dinamično določajo svoja vezja, tako da se optimizirajo glede na vhodne podatke in se učijo iz izkušenj.

Vznemirljivost življenja ni v tem, kdo smo, ampak v tem, kdo postajamo v procesu spreminjanja. Podobno tudi čar naših možganov ni v njihovih sestavnih prvinah, temveč v načinu, kako se te prvine nenehno prepletajo in oblikujejo dinamično, električno, živo tkanino.

Že po nekaj straneh te knjige so se vaši možgani spremenili: samo črke na tej strani so sprožile na milijone drobnih sprememb v ogromnih morjih vaših nevronskih povezav in vas preoblikovale v nekoga, ki je malce drugačen, kot ste bili na začetku tega poglavja.

SAMO DODAJTE SVET

KAKO VZGOJITI DOBRE MOŽGANE

Možgani se na svet ne rodijo kot prazne plošče. Namesto tega pridejo na svet opremljeni s pričakovanji. Pomislite na piščančka, ki se je pravkar izvalil: že čez nekaj trenutkov se opoteka na svojih majhnih nogicah ter nerodno teka in se izmika. V svojem okolju preprosto nima časa, da bi se mesece ali leta učil, kako se gibati.

Tudi človeški dojenčki so v veliki meri že vnaprej programirani. Vzemimo za primer dejstvo, da smo vnaprej pripravljene za sprejemanje jezika. Ali da dojenčki posnemajo odraslega, ki izteguje jezik, za kar je potrebna pretanjena sposobnost pretvarjanja vida v gibanje.¹ Ali da se vlaknom v očesu ni treba *učiti*, kako najti svoje cilje globoko v možganih; preprosto sledijo molekularnim signalom in zadenejo cilj – vsakič znova. Za vse tovrstne prirojene sposobnosti se lahko zahvalimo svojim genom.

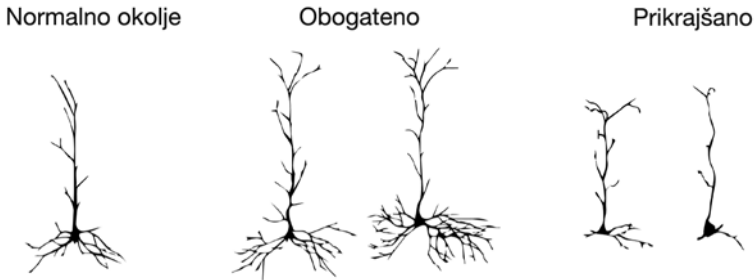
Vendar pa trdna genetska zasnova ne predstavlja celotne zgodbe, zlasti ne pri ljudeh. Organiziranost sistema je

preveč zapletena, genov pa je veliko premalo. Tudi če upoštevamo vse mutacije, ki privedejo do številnih različic istega gena, število nevronov in njihovih povezav močno presega število genskih kombinacij.

Zato vemo, da podrobnosti možganskega ožičenja vključujejo več kot le genetiko. In pred dvema stoletjema so misleci že začeli pravilno domnevati, da so pomembne tudi podrobnosti izkustva. Leta 1815 je fiziolog Johann Spurzheim predlagal, da je mogoče možgane, tako kot mišice, povečati z vadbo: menil je, da kri s seboj nosi hrano za rast in da se ta »obilneje prenaša v dele, ki so vznurjeni.«² Leta 1874 se je Charles Darwin spraševal, ali bi ta osnovna zamisel lahko pojasnila, zakaj imajo divji zajci večje možgane kot domači: menil je, da so divji zajci prisiljeni uporabljati svoj razum in čutila v večji meri kot domači in da temu sledi tudi velikost njihovih možganov.³

V šestdesetih letih prejšnjega stoletja so začeli raziskovalci resno proučevati, ali se lahko možgani merljivo spremenijo kot neposredna posledica izkušenj. Najpreprostejši način za proučevanje tega vprašanja je bil, da so podgane vzgajali v različnih okoljih – na primer v raznovrstnem okolju, polnem igrač in tekalnih koles, ali v puščobnem okolju prazne in osamljene kletke.⁴ Rezultati so bili presenetljivi: okolje je spremenilo zgradbo možganov podgan, to pa je bilo povezano z njihovo sposobnostjo učenja in pomnjenja. Podgane, ki so odraščale v obogatenu okolju, so bolje opravljale naloge, pri obdukciji pa so ugotovili, da imajo dolge in bujne dendrite (drevesnim vejam podobne izrastke, ki poganjajo iz celičnega telesa).⁵ Nasprotno pa so se podgane iz prikrajšanih okolij slabo učile in so imele nenormalno skrčene nevrone. Enak učinek okolja so

ugotovili pri pticah, opicah in drugih sesalcih.⁶ Za možgane je pomemben kontekst.



Neuron normalno raste kot razvejano drevo, kar mu omogoča povezovanje z drugimi neuroni. V obogatenem okolju je rast izrastkov bujnejša. V revnem okolju se izrastki skrčijo.

Ali se enako dogaja tudi pri ljudeh? V začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja so raziskovalci v Kaliforniji ugotovili, da lahko s pomočjo obdukcij primerjajo možgane tistih, ki so končali srednjo šolo, z možgani onih, ki so končali fakulteto. Po analogiji s študijami na živalih so ugotovili, da je imelo pri osebah z visokošolsko izobrazbo območje možganov, ki je vključeno v razumevanje jezika, bolj razvite dendrite.⁷

Prva lekcija je torej ta, da pretanjena zgradba možganov odraža okolje, ki so mu izpostavljeni. In ne gre le za dendrite. Kot bomo kmalu izvedeli, izkušnje iz sveta vplivajo na skoraj vse merljive podrobnosti možganov, od molekularnega obsega do njihove splošne anatomije.

IZKUŠNJE SO NUJNE

Zakaj je bil Einstein *Einstein*? Zagotovo je bila pomembna genetika, vendar je v naših zgodovinskih knjigah zapisan tudi zaradi vseh izkušenj, ki jih je doživel: izpostavljenost glasbi in violončelu, učitelj fizike v zadnjem letniku, košarica od dekleta, ki ga je ljubil, patentni urad, v katerem je delal, matematični problemi, za katere je bil pohvaljen, zgodbe, ki jih je prebral, in milijoni drugih izkušenj – vse to je oblikovalo njegov živčni sistem v biološki stroj, ki ga prepoznavamo kot Alberta Einsteina. Vsako leto se rodi na tisoče otrok s podobnimi zmožnostmi, vendar so izpostavljeni kulturnim, gospodarskim ali družinskim razmeram, ki ne dajejo dovolj pozitivnih povratnih informacij. In ne imenujemo jih Einsteini.

Če bi bila DNK edina pomembna stvar, ne bi bilo posebnega razloga za izvajanje smiselnih socialnih programov, ki otrokom prinašajo dobre izkušnje in jih ščitijo pred slabimi. Toda možgani potrebujejo pravo okolje, da se lahko pravilno razvijajo. Ko je bil na prelomu tisočletja dokončan prvi osnutek projekta Človeški genom, je bilo eno od velikih presenečenj, da ima človek samo približno dvajset tisoč genov.⁸ Za biologe je bilo to veliko presenečenje: glede na kompleksnost možganov in telesa so domnevali, da bi morali imeti več sto tisoč genov.

Kako torej iz tako majhne knjige receptov nastanejo izjemno zapleteni možgani s šestinosemdesetimi milijardami nevronov? Odgovor temelji na domiselni strategiji, ki jo izvaja genom: zgradi nepopolno in pusti, da zgradbo izboljšajo izkušnje iz sveta. Zato so možgani pri človeku ob rojstvu nenavadno nedokončani, za njihovo dokončanje pa so nujni stiki s svetom.

Pomislimo na cikel spanja in budnosti. Ta notranja ura, znana kot cirkadiani ritem, deluje v približno štiriindvajseturnem ciklu. Toda če se za več dni spustite v podzemno jamo – kjer ni nobenih iztočnic za svetla in temna obdobja kot na površju –, bo vaš cirkadiani ritem nihal med enaindvajsetimi in sedemindvajsetimi urami. To razkriva preprosto rešitev možganov: zgraditi nenatančno uro in jo nato nastaviti glede na sončni cikel. Zaradi tega elegantnega trika ni potrebe po genetskem kodiranju popolnoma navite ure. Svet jo navija sproti.

Prožnost možganov omogoča, da se dogodki v našem življenju vsijejo neposredno v nevronske tkivo. To je odličen trik matere narave, ki možganom omogoča, da se učijo jezikov, vozijo kolo in razumejo kvantno fiziko; vse pa zraste iz semen majhne zbirke genov. Naša DNK ni načrt; je le prva domina, ki sproži predstavo.

S tega vidika ni težko razumeti, zakaj se nekatere najpogostejše težave z vidom – kot je nezmožnost pravilnega zaznavanja globine – pojavijo zaradi neravnovesja v vzorcu dejavnosti, ki ga vizualnemu korteksu (območju možganske skorje za vid) posredujeta obe očesi. Če se otroci na primer rodijo s škilavostjo navznoter ali navzven, delovanje obeh oči ni dobro povezano (kot bi bilo pri poravnanih očeh). Če težave ne odpravimo, otrok ne bo razvil normalnega globinskega (stereo) vida – to je sposobnosti določanja globine na podlagi majhnih razlik med tem, kar vidi vsako oko. Eno oko bo postajalo čedalje šibkejšo, pogosto do slepote. K temu se bomo vrnili pozneje, da razložimo, kaj je treba narediti glede tega in zakaj. Za zdaj je pomembno, da je razvoj normalnih vidnih vezij odvisen od normalnih vidnih vnosov. *Odvisen je od izkušenj.*