

Možganski valovi in delovni spomin

Možgani so zelo zapletena funkcijska struktura, zato se moramo zavedati, da jih lahko raziskujemo na zelo različne načine in na zelo različnih »nivojih« – od nivoja makroanatomskih raziskav do molekularne biologije, biokemije in biofizike. Uporaba sodobnih slikovnih in elektrofizioloških metod je končno omogočila, da tudi pri živem in zdravem človeku lahko analiziramo, kje, kdaj in kako se v možganih spreminja njihova dejavnost v povezavi z določeno »duševno« dejavnostjo.

Simon Brežan

Metode, ki pokažejo »delovanje možganov«, delimo na:

- metode, ki pokažejo (strukturno) razporenost presnove možganov (funkcijske slikovne metode: pozitronska emisijska tomografija – PET, funkcijska magnetnoresonančna tomografija – fMR),
- metode, ki zelo natančno odražajo časovni potek možganske električne dejavnosti (elektrofiziološke metode: elektroencefalografija – EEG, metode izvabljenih potencialov, magnetoencefalografija – MEG itd.).

Glavna prednost zadnjih je dobra časovna ločljivost v primerjavi z drugimi funkcijskimi slikovnimi metodami, ki po drugi strani omogočajo boljše prostorsko prepoznavanje procesov v centralnem živčnem sistemu.

Snemanje bioelektričnih signalov na nivoju milisekund – s tem je povezana visoka občutljivost za zaznavanje hitrih funkcijskih sprememb v možganski dejavnosti – omogoča raziskovanje temeljnih mehanizmov obdelovanja informacij oz. osnove operacijskega sistema možganov in s tem samih miselnih procesov oz. »duševnosti«. Tovrstnih mehanizmov ni mogoče razložiti zgolj z uporabo že omenjenih funkcijskih slikovnih metod, ki temeljijo predvsem na prostorski opredelitvi možganske aktivacije med spoznavnimi (kognitivnimi) procesi. Osnovo raziskovanja v spoznavni elektrofiziologiji predstavlja uporaba ustreznih metod ob tem, ko preiskovanec rešuje določeno nalogo, ki »meri« tipičen in določen spoznavni proces.

ELEKTROENCEFALOGRAFIJA (EEG)

EEG je metoda, pri kateri z elektrodami, nameščenimi na površini glave, merimo pe-

riodične spremembe električnega potenciala, ki je seštevek električne dejavnosti celic možganske skorje. Na ta potencial vplivajo intrinzične lastnosti nevronov in medsebojno vplivanje med nevronskimi mrežji. Ker se sodelovanje med nevronskimi mrežji ne prestando spreminja celo brez zunanjih dražljajev, je EEG-signal posledica spreminjanja se vzorca sinhronizacije in desinhronizacije med posameznimi nevronskimi skupinami. Predstavlja vsoto ponavljajoče se periodične in električne dejavnosti velikega števila celic možganske skorje, ki jo predstavljajo zunajcelični električni tokovi, povezani s počasnimi postsinaptičnimi potenciali (ekscitacijski – EPSP in inhibicijski – IPSP). Ti povzročijo razlike v električnih potencialih pravokotno na površino glave (električni dipol), zato ionski tok steče med nabitimi deli membran živčnih celic. Zaradi upornosti kože, možganskih ovojnica in možganske tekočine (likvorja) ta električna dejavnost na poti iz globine (možganska skorja) na površino glave »oslabi«. Akcijski potenciali, ki omogočajo prevajanje signalov po živčnih vlaknih, neposredno ne prispevajo k samemu EEG-signalu. Metoda EEG nam služi predvsem za raziskovanje dinamike dogajanj z veliko časovno in hkrati s slabšo prostorsko ločljivostjo.

V EEG-zapisu lahko razberemo različne značilne vzorce električne dejavnosti (možganski ritmi, oscilacije, valovanja), kot so:

- različni normalni vzorci dejavnosti, ki ustrezajo različnim stanjem budnosti in spanja (npr. ritmi alfa, beta, gama, delta, theta),
- različni bolezenski vzorci (npr. pri epilepsiji, degenerativnih boleznih možganov, presnovnih motnjah, pri motnjah spanja, zastrupitvah, tumorjih, infekcijah možganov, komi itd.).

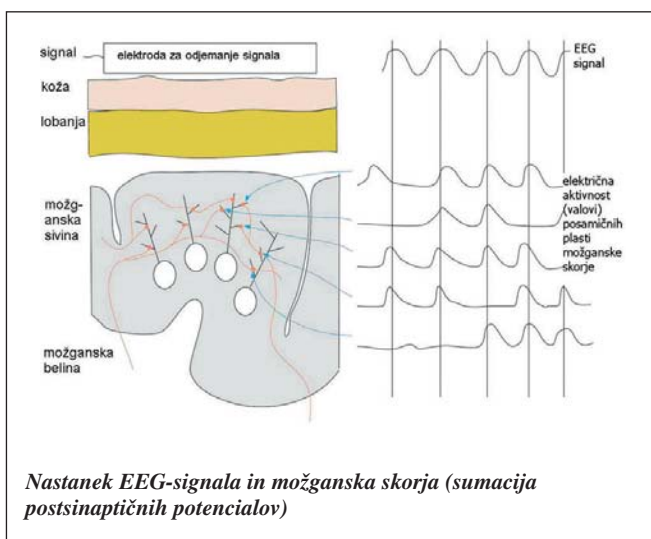
Značilne vzorce možganske dejavnosti razdelimo na več frekvenčnih pasov: ritem alfa (8–13 Hz), ritem beta (13–30 Hz), ritem delta (0,5–4 Hz) in ritem theta (4–7 Hz). Vsak od njih ima svoj značilni prostorski vzorec pojavljanja in vedenjski kontekst (npr. pozornost ali sproščenost, različne stopnje spanja, odprte ali zaprte oči), ki ga vzbudi. Glede izvora in pomena možganskih ritmov ostaja odprtih še veliko vprašanj. Za

sočasno aktivacijo celic možganske skorje je potreben generator in mehanizem, ki njegovo vzpodbudo razširi. Možno je, da imajo nekatere ritmične dejavnosti izvor v možganski skorji, za več drugih pa je dokazano, da izvirajo iz talamusa (npr. vretena spanja, stanje alfa). Pojavlja se vprašanje, ali so oscilacije v nevronskih mrežah, ki se kažejo kot možganska električna valovanja, lahko zgolj naključen so pojav ali pa imajo v resnici kakšno vlogo. Po najnovejših ugotovitvah naj bi oscilacijski mehanizmi omogočali preklape med različnimi funkcijskimi stanji celic oz. predelov možganske skorje s pomembno vlogo pri spodbujanju oz. zaviranju odgovarjajočih nevronskih mrežij. Torej predstavljajo nevronski ustreznik duševnih funkcij oz. mehanizem, ki jih posreduje.

Zanimivo vprašanje je, ali lahko vplivamo na lastne možganske ritme. Metodo EEG so namreč predlagali kot koristno orodje nekaterih terapevtskih postopkov »modulacije« naše duševnosti, npr. »neurofeedbacka« (angl. NFB; EEG-biofeedback). Ta terapevtska tehnika uporabniku v realnem času omogoča – po načelu povratne zanke – vpliv na lastno možgansko dejavnost. Običajno ne moremo vplivati na vzorce možganske dejavnosti, ker se jih ne zavedamo. Po številnih treningih naj bi bila oseba sposobna sama ustvarjati zelene EEG-valove, in sicer prek povečanega zavedanja njihovih lastnih fizioloških procesov in prek mehanizmov učenja z nagrado. Primeri uporabe NFB so sindrom hiperaktivnosti z moteno pozornostjo (ADHD), razne odvisnosti, tesnoba, depresija, bipolarni motnje, epilepsije, obsesivno-kompulzivne motnje ter optimizacija spoznavne uspešnosti zdravih posameznikov itd.

MOŽGANSKI VALOVI IN SINHRONE OSCILACIJE PRI SPOZNAVNIH PROCESIH

Najnovejša spoznanja pri razumevanju delovanja možganov prinaša raziskovanje t. i. problema povezovanja (angl. binding problem) v pretežno vzporednem operacijskem sistemu možganov. Višje možganske funkcije namreč zahtevajo združeno in

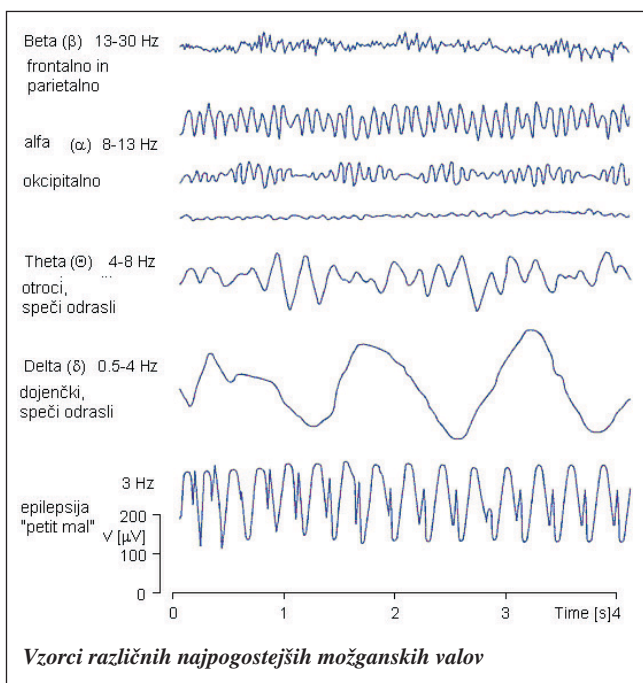


funkcija sloni na sinhroniziranem sodelovanju več (določenih) možganskih predelov. Poglavitno vprašanje torej predstavljajo mehanizmi, s katerimi v določeno funkcijo vpleteni predeli možganov koordinirajo svojo dejavnost, oz. narava dinamičnega sodelovanja med posameznimi distribuiranimi podsistemi, ki delujejo sočasno. Glavni predlagani kandidat za tovrstno združevanje oz. funkcijsko sklopitev so sinhrono (medsebojno usklajene) oscilacije nevronskih omrežij. S pomočjo tega mehanizma se vple-

usklajeno dejavnost več specializiranih nevronskih sistemov, kjer se posamezni vidiki informacije prostorsko ločeno obdelujejo. Koncept povezovanja se zdi uporaben pri teoretičnih razlagah mehanizmov spoznavnih funkcij, kot so prepoznavanje predmetov, usmerjena pozornost, spominske funkcije, jezikovna obdelava, senzomotorično združevanje in logično reševanje problemov ter nenazadnje celo človeška zavest. Vsi našti spoznavni procesi namreč zahtevajo posebno, od konteksta odvisno izbiro ustreznih informacij; le-ta pa prek dinamičnega povezovanja (kot mehanizma za izražanje posebnih odnosov med nevronskimi signali) lahko vodi k nastanku senzoričnega ločevanja in zavestnih sintaktičnih struktur ter k smiselnemu cilju usmerjenega vedenja.

Dandanes prevladujoči koncept »lokalizacije« duševnih procesov v možganih za zapletenejše funkcije pravi, da je njihov možganski zapis »lokaliziran« in hkrati tudi »razporejen« na številne možganske predele;

teni deli živčevja za določen čas lahko funkcijsko povežejo med seboj oz. sodelujejo. Glede pomena možganskih ritmov lahko torej rečemo, da v novejši nevrofiziološki teoriji vedno bolj prevladuje mnenje, da možganske električne oscilacije (možganski ritmi) v različnih frekvenčnih območjih služijo različnim funkcijam ter da so posa-



mezne spoznavne (duševne) funkcije posredovane z več sočasnimi, medprostorsko sinhronimi oscilacijami v različnih frekvenčnih pasovih in z različnimi prostorskimi vzorci. To torej pomeni velik preskok od starejših idej, da so možganski ritmi zgolj naključen sopojav možganske dejavnosti, »šum« ali epifenomen. Preverjanje domneve o vlogi oscilacij kot nevronskega ustreznika spoznavnih procesov (npr. spomina) omogočajo raziskave, ki ob uporabi tipičnih spoznavnih nalog hkrati spremljajo možgansko dejavnost na elektrofiziološki ravni s pomočjo elektroencefalografije (EEG) in pozneje še različnih metod analize signala, npr. z metodo EEG-koherence. To je v svetu novejša, pri nas pa v naši raziskovalni skupini pred kratkim na novo vpeljana raziskovalna metoda analize elektroencefalografskega signala. Pokaže nam »sinhronost« oz. fazno in močnostno sklopljenost (usklopljenost) električnih signalov (možganskih ritmov, oscilacij) med različnimi predeli možganske skorje kot mehanizem njihove funkcijske sklopitve. Z uporabo različnih vedenjskih vzorcev lahko tako proučujemo združevalne vidike različnih spoznavnih in drugih funkcij tako v zdravih kot v bolnih človeških možganih.

FIZIOLOGIJA DELOVNEGA SPOMINA

Vrsto kratkoročnega spomina zaradi njegove dejavne vloge imenujemo tudi delovni spomin. Je preplet spoznavnih procesov za vzdrževanje, upravljanje in uporabo informacij. Delovni spomin je zato osnova za naše vsakdanje delovanje, saj je nujno potreben za dejavnosti, kot so inteligentno, k cilju usmerjeno vedenje, mišljenje, jezik in reševanje problemov. Na novo naučeni podatki se najprej shranijo v kratkoročnem spominu, ki omogoča začasno pomnjenje. Nekateri dokazi potrjujejo tezo, da je kratkoročni spomin odvisen od elektrokemičnih sprememb v živčnih celicah in med njimi. Pri kratkoročnem spominu namreč nastopi kratkoročna sprememba v učinkovitosti /moči sinaptičnih povezav (oz. sinaptičnega prenosa), medtem ko je dolgoročni spomin pretežno posledica anatomskih/strukturnih in biokemičnih sprememb v možganih, kot so npr. tvorba novih sinaps in spremembe izražanja različnih »spominskih genov«, npr. CREB. To pomeni, da prihajajoči živčni impulz spodbudi prvi nevron, ta nato spodbudi drugega in tako naprej, pri tem pa ena veja drugega nevrona ponovno spodbudi prvi ne-

KNJIGA MESECA Tehniške založbe Slovenija

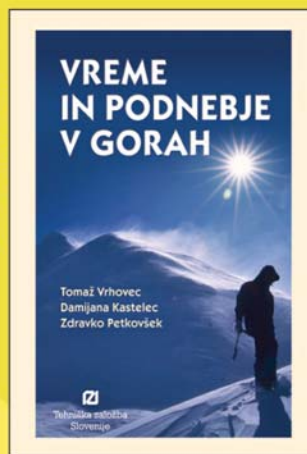
Vreme in podnebje v gorah

Knjiga je delo treh meteorologov in izkušenih planincev. Ob opisih in razlagah vremenskih dogajanj nas opozarjajo tudi na dogajanje okoli nas in na lokalne vremenske znake. Zato bo knjiga pozornemu bralcu lahko v veliko pomoč pri odločitvi za krajše ture, ko se vremenskim nevšečnostim lahko izognemo tudi v nestanovitnem vremenu. Posebno poglavje je namenjeno tudi podnebnim značilnostim gorstev po svetu. Besedilo je opremljeno s fotografijami, skicami in klimatskimi diagrami.

Redna cena: **29,99 €**

Cena za naročnike revije **ŽIT** je **20 €**

Če na naročilnici označite, da boste naročnik revije **ŽIT** še nadaljnjih **18** mesecev, je knjiga lahko vaša le za: **15 €**



Akcija velja do razprodaje zalog.

Naročilnica

vron. Informacija torej kroži ali odmeva v možganih; to je kratkoročni spomin. Persistentna (vztrajajoča) nevronska dejavnost specifičnih »delovno-spominskih« nevronov, selektivna glede na dražljaj, je bila prepoznana kot nevronska ustrezna začasna aktivna vzdrževanja informacij, ki morda predstavlja tako procese kot vsebino delovnega spomina. Te raziskave kažejo, da nevroni nosijo posebno, s ciljem povezano informacijo skozi obdobje časovnega zamika (retencije; angl. delay) – brez prisotnosti zunanjih dražljajev oz. informacije – z začetkom sproženja (AP) ali s povečanjem frekvence le-tega, pa tudi s kompleksnim uravnavanjem korelacij vzorcev sproženja med njimi. Nastopi na dražljaj selektivno tonično visokoaktivnostno stanje, ki se vzdržuje skozi vse obdobje, ko je treba informacije (npr. lokacijo) zadržati v delovnem spominu za doseg določenega odziva (npr. očesna sakada v določeno smer). Tako persistentna dejavnost oz. posledično shranjevanje kratkoročnih spominov morda omogočajo že omenjeni spodbujevalni (vzburljivi) nevronske krogi, v katerih lahko prek mehanizmov ponavljajočega se vzburljenja (postsinaptična facilitacija, reverberacijske povratne zanke) informacija v električnih

impulzih kroži dlje časa tudi po tem, ko je neki prvotni dražljaj že izginil. Po drugi strani raziskovalca J. E. Lisman in O. Jensen predlagata razlago, po kateri se vzdrževano sproženje, ki omogoča kratkoročni spomin, vrši s pomočjo od dejavnosti odvisnega intrinzičnega membranskega procesa nevronov, imenovanega postdepolarizacijski potencial (podobnost z generatorskim samohranjujočim potencialom, ki omogoča srčni ritem oz. pulz), ki vedno znova omogoča ponovno sproženje celice z določenim časovnim zamikom, ko je presežen prag. To sproženje se odvija znotraj ciklusa theta, ki omogoča osveževanje spominske sekvence, saj theta deluje kot zunanji »spodbujevalnik«, gama pa kodira posamezni spominski kod (specifičen set povezanih nevronov). Oscilacije theta in gama imajo v njenem modelu glavno vlogo. Ta mehanizem je drugačen od reverberatornih mehanizmov, ki vključujejo zanke povezanih nevronov oz. rekurentnih zank, ki jih je opisal že Hebb. Če govorimo o mehanizmi delovnega spomina na mikroravni (npr. nevrottransmitterjev in njihovih receptorjev), lahko rečemo, da je za delovni spomin in spoznavne izvršitvene funkcije pomembno medsebojno sodelovanje dopaminskega sistema z glutamatnim

Naročilnica ✂

KNJIGA MESECA

Knjigo **Vreme in podnebje v gorah** naročam:

- po redni ceni **29,99 €**;
- kot naročnik revije **ŽIT** po ceni **20 €**;
- po **akcijski ceni 15 €**, pri čemer potrjujem, da bom naročnik revije **ŽIT** še nadaljnjih 18 mesecev.

(S križcem označite svojo odločitev.)

Ime in priimek:

Ulica in hišna številka:

Poštna št.: Kraj:

Telefon: E-naslov: Datum:

Podpis:



Vaša udeležba pri poštnini je 2,99 €. Rok za reklamacijo je 8 dni. Morebitni odstop od naročila je 15 dni po prejemu pošiljke.

Naročilnico pošljite na naslov:
Tehniška založba Slovenije, p. p. 541, 1001 Ljubljana,
ali po faksu: **01/479 02 30.**
Naročila sprejemamo tudi na brezplačni tel. številki **080 17 90**
ali na: **www.tzs.si.**



Tehniška založba Slovenije

NMDA-receptorskim sistemom. Oba sistema imata že sama po sebi pomembno vlogo pri različnih spominskih procesih, tudi pri dolgoročnem spominu (NMDA-R, AMPA-R) in motivaciji oz. volji (dopamin), za katero so odgovorne kortikosubkortikalne zanke in možganski nagradni sistem.

Znano je, da so med procesi delovnega spomina sočasno dejavni številni možganski

Izsledki raziskav

Pomen določenih možganskih ritmov za delovni spomin, ki smo ga potrdili tudi v naših raziskavah:

- ritem alfa: procesi delovnega spomina, mentalni napor;
- ritem theta: procesi delovnega spomina (ponavljanje, vzdrževanje, skeniranje informacij), pozornost;
- ritem gama: procesi senzoričnega procesiranja posameznega dražljaja, pozornost.

Zmanjšanja koherence lahko predstavljajo funkcijsko odklopitev motečih medsebojnih vplivanj ali selektivno pozornost. Pri nalogah delovnega spomina smo med obdobji vzdrževanja spominske informacije dokazali povečano koherenco med frontalnimi (anteriornimi) predeli skorje (osveževanje, trenutno shranjevanje) in posteriornimi predeli (pasivno shranjevanje) v primerjavi s kontrolnimi nalogami v različnih frekvenčnih pasovih. Manipulacija v delovnem spominu je povezana z drugačnimi, močnejšimi vzorci koherence v določenih frekvenčnih pasovih; prav tako je koherenca odvisna od stopnje obremenitve delovnega spomina.

Naše ugotovitve se skladajo z mnogimi drugimi raziskavami in z modelom delovnega spomina A. Baddeleya. Opazovali smo tudi značilnosti možganske aktivacije in povezovanja med »mirovanjem« (kontrolna naloga: zgolj osredotočeno gledanje točke na zaslonu) ter ugotovili, da tudi v tem primeru možgani dejavno in povezano »delujejo« – morda celo bolj, kot se je včasih domnevalo. Med seboj so odvisna, povezana namreč nekoliko drugačna anterio-posteriorna omrežja, najverjetneje so povezana z notranjim miselnim tokom ali drugimi samo-referenčnimi, čustvenimi oz. spoznavnimi procesi.

predeli, predvsem v čelnem in zadajšnjem delu možganov. Toda kako med seboj sodelujejo prostorsko ločeni, a v isto funkcijo vpleteni možganski predeli (t. i. problem povezovanja)? Delovni spomin morda posreduje večje število sočasnih in sinhroniziranih oz. koherentnih (medsebojno povezanih, fazno in močnostno usklajenih) oscilacij v električni dejavnosti v različnih frekvenčnih pasovih z različnimi prostorskimi vzorci in funkcijami. Primer: sinhronizacija oz. povečanje koherence v frekvenčnem pasu theta med procesi delovnega spomina posreduje funkcijsko povezovanje zadajšnjih predelov možganov, kjer se informacija shranjuje, in sprednjih predelov, kjer se pomembna informacija vzdržuje, osvežuje in se z njo upravlja. Sinhronne oscilacije tako predstavljajo funkcijske nevronske ustrezničke višjih miselnih funkcij.

SKLEP

Za optimalno delovanje spomina potrebujemo spremembe in natančno nadzorovano uravnavanje v celotni poti do spomina, ne pa zgolj v delčku mozaika. To pomeni, da bi se morali v prihodnje osredotočiti na spominske mehanizme od mikronivoja posameznega nevrona, kot so elektrokemični procesi na nevronskih membranah, delovanje ionskih kanalčkov in uravnavanje membranskih potencialov, nadalje delovanja neurotransmiterjev, receptorjev in prevajanja impulzov po aksonih (akcijski potencial), pa do makronivoja, kjer je pomembna aktivacija spominskih nevronskih omrežij oz. sodelovanje, komunikacija med ciljnimi nevroni, torej njihova funkcijska koherenca (proces električne sinhronizacije), »meri« pa jo EEG-koherenca.

[http://...](#)

www.emedicine.com/neuro/index.shtml
en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalogram
faculty.washington.edu/chudler/ehceduc.html
thebrain.mcgill.ca/flash/index_i.html
thalamus.wustl.edu/course/
serendip.brynmawr.edu/bb/bbpaperindex.html#38