

MOŽGANI - OD ELEKTRIKE DO SPOMINA

SIMON BREŽAN, VITA ŠTUKOVNIK

Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani
Inštitut za klinično nevrofiziologijo, Klinični center Ljubljana

Možgani vsebujejo milijarde nevronov. A kaj nevroni sploh so? Samo celice. Dokler se med njimi ne vzpostavijo povezave, ni v možganih nobenega znanja. Vse, kar vemo in vse, kar smo, izvira iz načina, kako se naši nevroni povezujejo med seboj.

[Tim Berners-Lee, 1999]

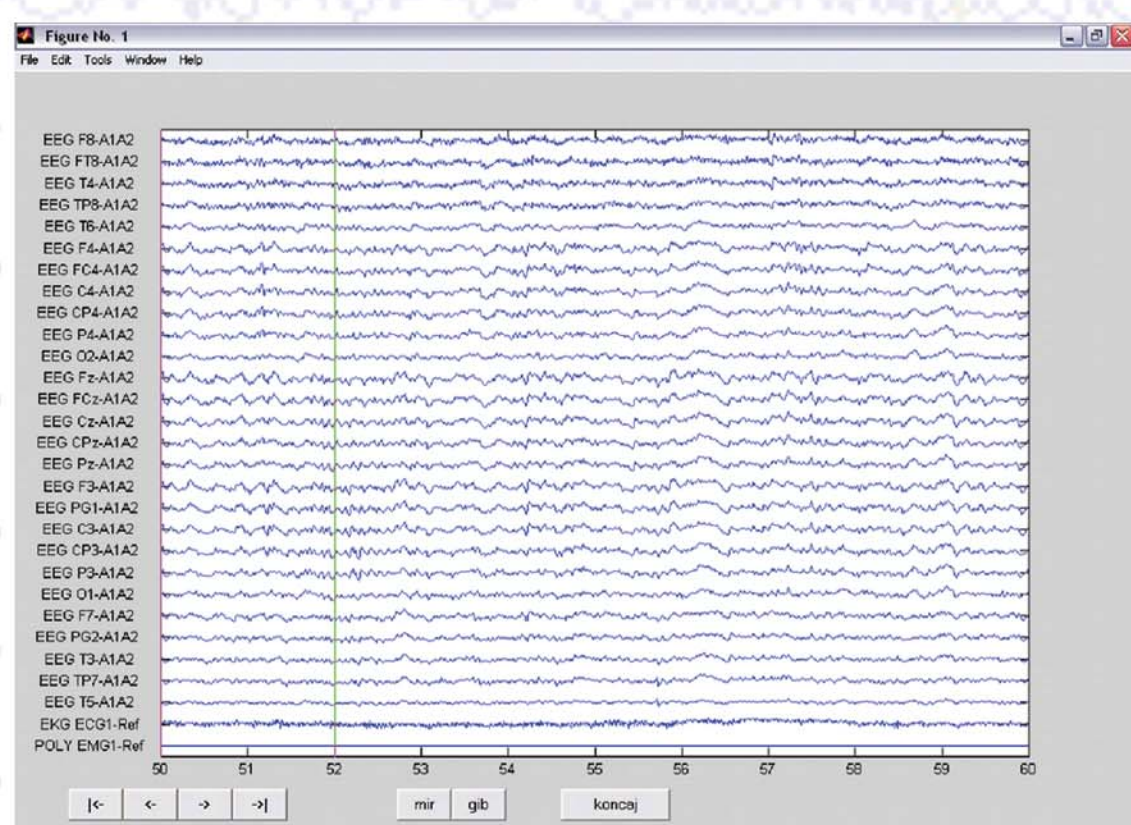
Kognitivna nevroznanost raziskuje, kako in kje so v možganih »zapisani« kompleksni duševni procesi, npr. delovni spomin. »Merjenja« funkcije možganov se nevroznanstveniki lotevamo s pomočjo različnih metod. Elektroencefalografija (EEG) kot ena izmed elektrofizioloških metod omogoča raziskovanje funkcije možganov na nivoju njihove električne aktivnosti z visoko časovno ločljivostjo, zato daje vpogled v osnovne mehanizme obdelovanja informacij in sam operacijski sistem možganov. Z najmodernejšimi postopki, npr. s kombinacijo slikovnih (npr. funkcijsko magnetnoresonančno slikanje, fMR) in elektrofizioloških metod, skušamo pokazati ne samo natančno lokalizacijo določene »funkcije« v možganih, ampak tudi časovni potek aktivacije posamičnih možganskih predelov. EEG-koherenca, novejša metoda za analizo EEG signala, omogoča študij funkcijskega povezovanja prostorsko ločenih predelov možganov, ki so odgovorni za določen duševni proces. Temelji na ugotavljanju usklajenosti (»sinhronosti«) električne aktivnosti živčnih celic med različnimi možganskimi predeli kot možnega mehanizma njihovega sodelovanja. Tovrstna »sinhronost« odseva vzporedni način obdelovanja informacij v možganih.

MERJENJE ELEKTRIČNE AKTIVNOSTI MOŽGANOV NA MAKROSKOPSKEM NIVOJU: ELEKTROENCEFALOGRAFIJA (EEG)

EEG (elektroencefalografija): neinvazivna metoda za merjenje možganske električne aktivnosti. Električno aktivnost možganov v obliki EEG-signala odjemamo z elektrodami, nameščenimi na površini glave.



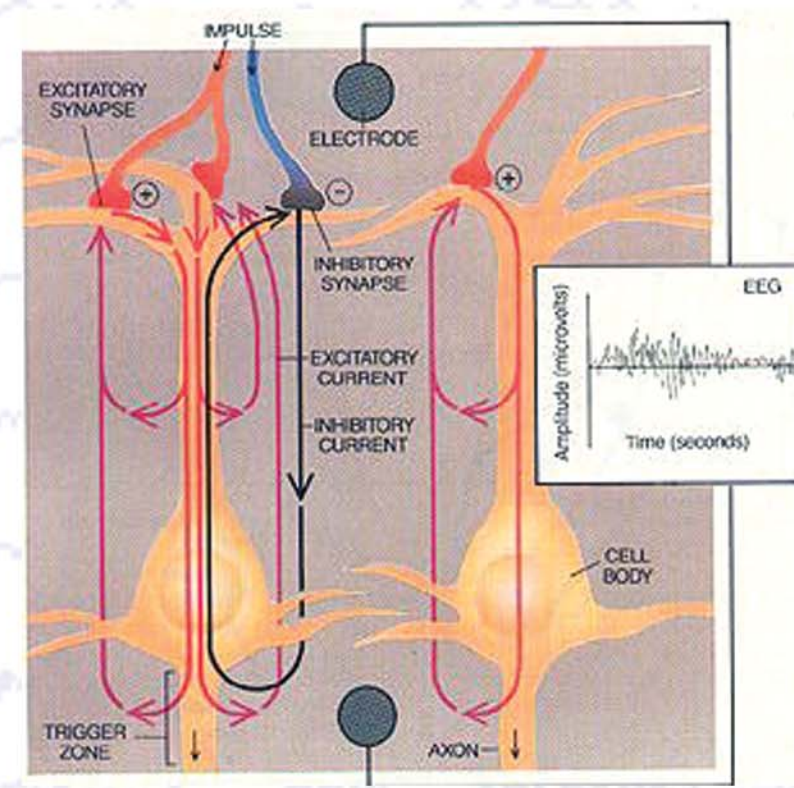
Elektroencefalografsko snemanje: EEG aparat na Inštitutu za klinično nevrofiziologijo, Klinični center Ljubljana (vir: osebni arhiv avtorjev)



Elektroencefalogram: zapis izmerjene električne aktivnosti (vir: osebni arhiv avtorjev)

KAKO NASTANE EEG-SIGNAL?

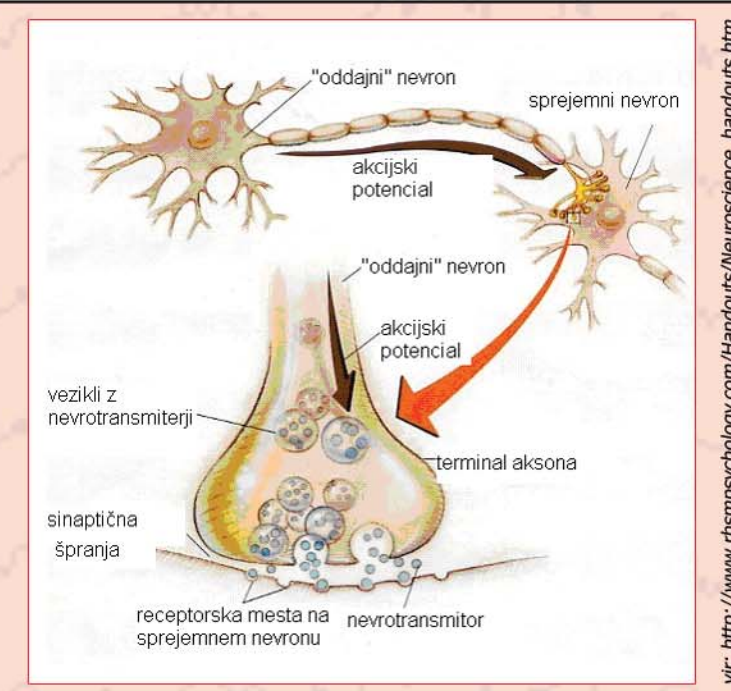
EEG-signal: vsota ponavljajoče se, periodične in sinhronne električne aktivnosti velikega števila celic možganske skorje, ki jo predstavljajo zunajcelični električni tokovi, povezani s počasnimi postsinaptičnimi potenciali (ekscitacijski – EPSP in inhibicijski – IPSP). Ti povzročijo razlike v električnih potencialih pravokotno na površino glave (električni dipol), zato steče ionski tok med nabitim deli membran živčnih celic. Zaradi upornosti kože, možganskih ovojnic in možganske tekočine-likvorja se ta električna aktivnost na poti iz globline (možganska skorja) na površino glave »oslabi«. Akcijski potenciali, ki omogočajo prevajanje signalov po živčnih vlaknih, k samemu EEG-signalu neposredno ne prispevajo.



vir: <http://www.hhtuebingen.de/typo3temp/pics/>

KAKO KOMUNICIRAJO ŽIVČNE CELICE?

Nevron (živčna celica) v možganih ima posebne podaljške: dendriti prinašajo sporočila k telesu živčne celice, aksoni pa posredujejo sporočila v smeri od celice k njenim tarčam. Sporočanje med posameznimi živčnimi celicami lokalno poteka prek živčnih stikov (sinaps): informacija iz prve celice, zapisana v obliki električnega signala (akcijski potencial), pripotuje do sinapse in se tukaj pretvori v kemični signal v obliki sproščanja kemičnih prenašalcev (nevrotransmitorjev). Ti po vezavi na posebna mesta (receptorje) na sosednji sprejemni celici spreminijo njeno električno vzdržnost, kar ponovno ustvari električno aktivnost, tokrat v sprejemni celici. Po časovnem in prostorskem »seštevanju« tovrstne aktivnosti se informacija v obliki električnega signala lahko prenaša naprej po aksonu proti drugi ciljni živčni celici.



vir: <http://www.hhtuebingen.de/typo3temp/pics/>

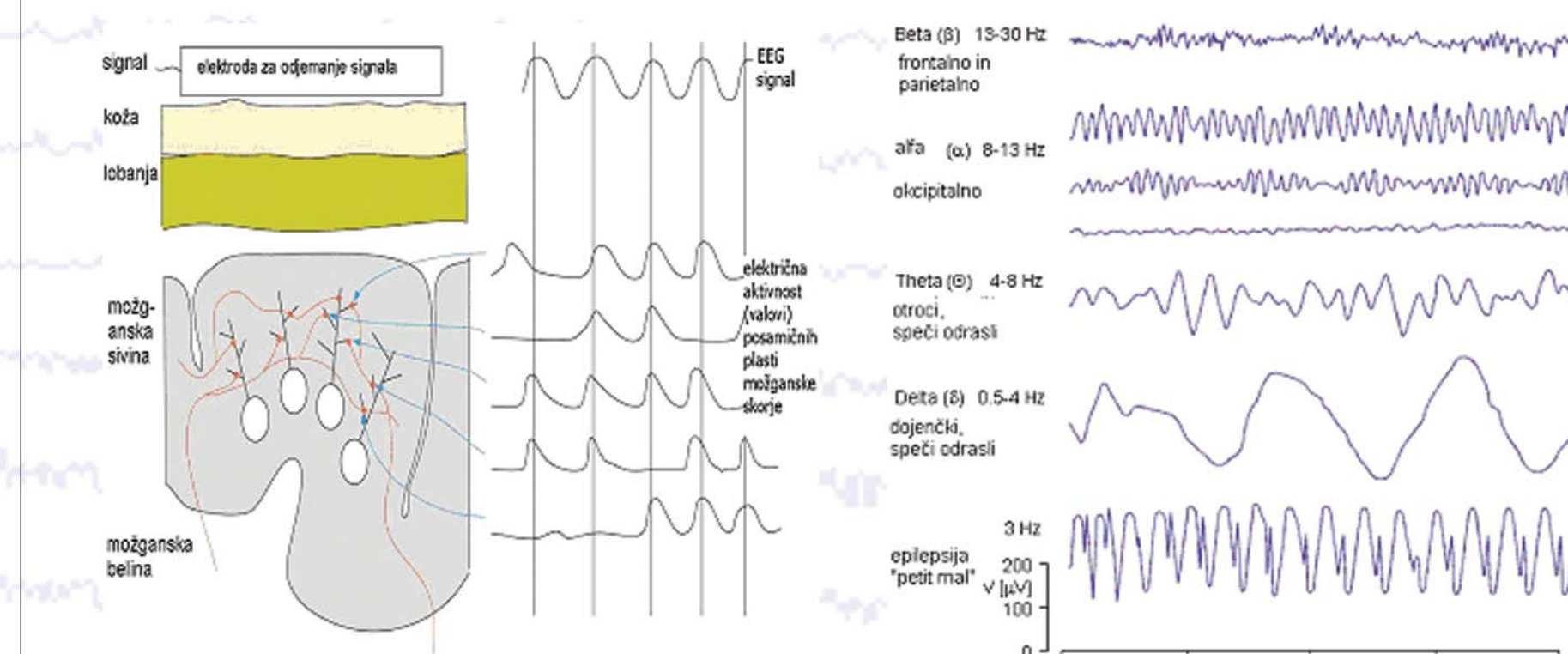
MOŽGANSKI RITMI

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

- različni normalni vzorci aktivnosti, ki ustrezajo različnim stanjem budnosti in spanja
- različni bolezenski vzorci (npr. pri epilepsiji, degenerativnih boleznih možganov, presnovnih motnjah, pri motnjah spanja, zastupitvah, tumorjih, infekcijah možganov, komi itd.).

Ti ritmi imajo vsak svoj prostorski vzorec in vedenjski kontekst, ki jih vzbudi. Omogočali naj bi preklape med različnimi funkcijskimi stanji celic možganske skorje in posredovali aktivacijo ali inhibicijo odgovarjajočih nevronske mreži.

Možganske ritme razdelimo v več frekvenčnih pasov: ritem gama (30-50 Hz), ritem beta (13-30 Hz), ritem alfa (8-13 Hz), ritem theta (4-8 Hz), ritem delta (0,5-4 Hz).



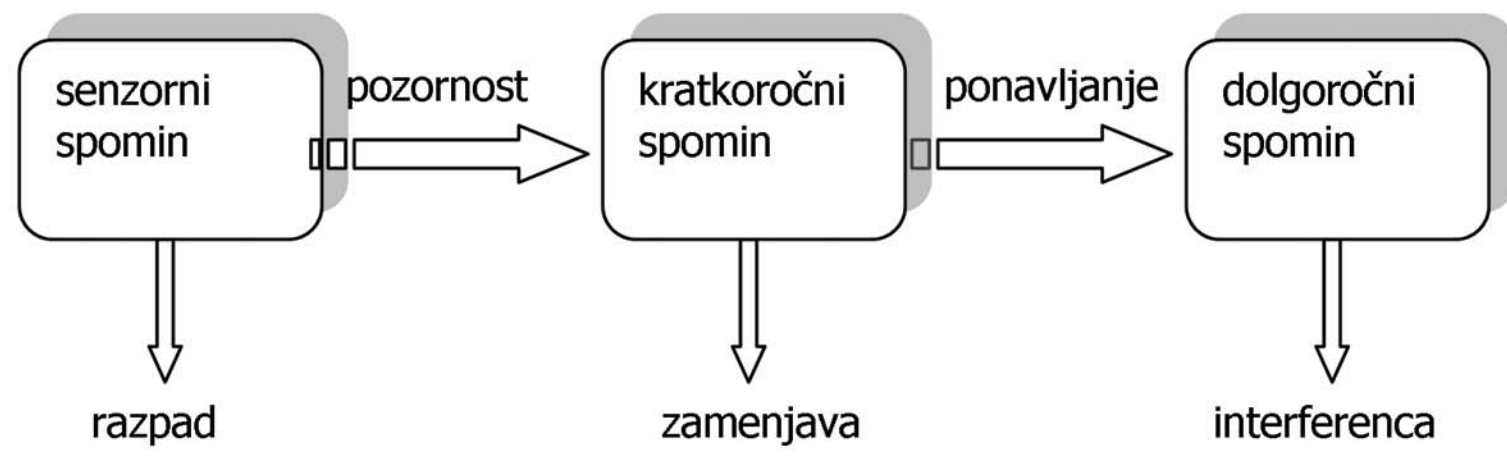
vir: <http://www.yourfamilyclinic.com/eegebrainwave.html>

RAZISKOVANJE VIŠJIH ŽIVČNIH FUNKCIJ Z EEG

Elektroencefalografija poleg diagnostike nevroloških bolezni omogoča tudi raziskovanje različnih duševnih funkcij, kot so spomin, zaznavanje, pozornost in reševanje problemov, tako pri zdravih ljudeh kot pri bolnikih z določenimi okvarami teh sposobnosti.

SPOMIN

Spomin je sposobnost možganov za shranjevanje in kasnejšo uporabo shranjenih informacij. Zgradbo spominskega sistema lahko v grobem opišemo s tremi spominskimi shrambami: senzornim, kratkoročnim in dolgoročnim spominom.



Osnovna shema spominskih procesov (vir: Atkinson in Shiffrin, 1986)

Kaj je delovni spomin?

Kratkoročni spomin zaradi njegove aktivne vloge imenujemo tudi delovni spomin. Je kompleks kognitivnih procesov za vzdrževanje, upravljanje in uporabo informacij. Poleg začasnega shranjevanja informacij omogoča torej tudi aktivno upravljanje z njimi. Delovni spomin zato predstavlja osnovo za naše vsakdanje delovanje, saj je nujno potreben za aktivnosti, kot so inteligentno, k cilju usmerjeno vedenje, mišljenje, jezik in reševanje problemov.

NALOGA DELOVNEGA SPOMINA

Preberite spodaj napisane številke (v intervalu po eno sekundo) ter jih nato v enakem vrstnem redu ponovite na glas, ne da bi jih ponovno pogledali:

4 9 3 7 8 1

Preberite spodaj napisane številke (v intervalu po eno sekundo) ter jih nato v obratnem vrstnem redu ponovite na glas, ne da bi jih ponovno pogledali:

5 2 3 9 7 1

Ponovitev prebranih števil omogoča spominski proces shranjevanja informacij v delovnem spominu, proces upravljanja z informacijami v delovnem spominu pa je poleg shranjevanja potreben, da lahko informacije v mislih tudi preurejamo (npr. v mislih »beremo« nazaj)

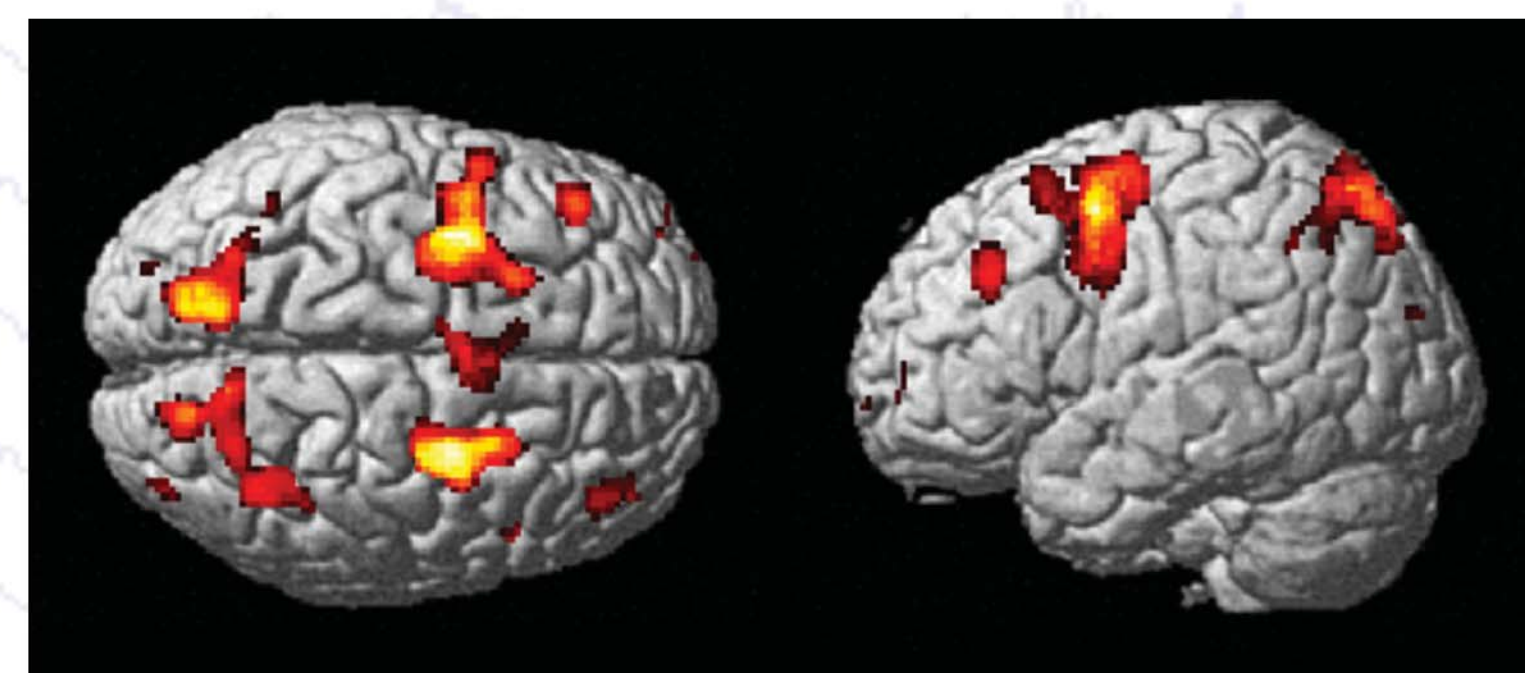
KAKO IN KJE JE DELOVNI SPOMIN ZAPISAN V MOŽGANIH?

Nevrofiziologija kratkoročnega spomina

Shranjevanje kratkoročnih spominov morda omogočajo ti. ekscitacijski nevronske krogi, v katerih lahko preko mehanizmov ponavljajočega se vzburljenja (postsinaptična facilitacija, reverberacijske povratne zanke) informacija v električnih impulzih kroži dlje časa, tudi po tem, ko je nek prvotni dražljaj že izginil. Na vztrajanje impulzov lahko vplivajo še drugi vzburljalni in zaviralni mehanizmi med nevroni, pa tudi hoteno ponavljanje oz. vzdrževanje informacije v mislih.

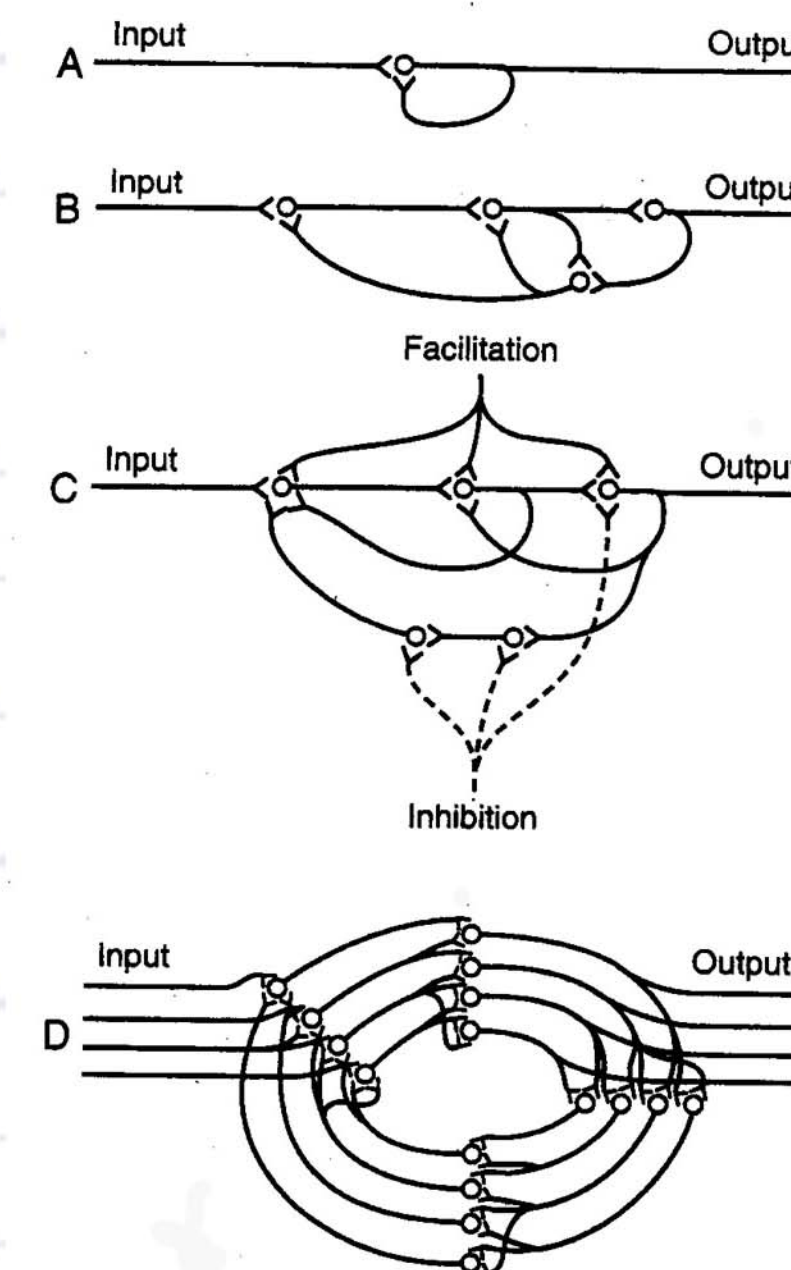
Funkcijska anatomija možganov

Med procesi delovnega spomina so sočasno aktivirana številna možganska področja, predvsem v čelnih in zadajšnjih predelih možganov.



posnetek funkcijsko magnetnoresonančnega slikanja možganov - fMR (vir: Bon in dr., 2005)

Slika prikazuje aktivirana področja možganov (rdeče in rumeno) med procesi delovnega spomina



vir: Gayton, 2004

KAKO MED SEBOJ SODELUJEJO PROSTORSKO LOČENA, A V ISTO FUNKCIJO VPLETENA MOŽGANSKA PODROČJA?

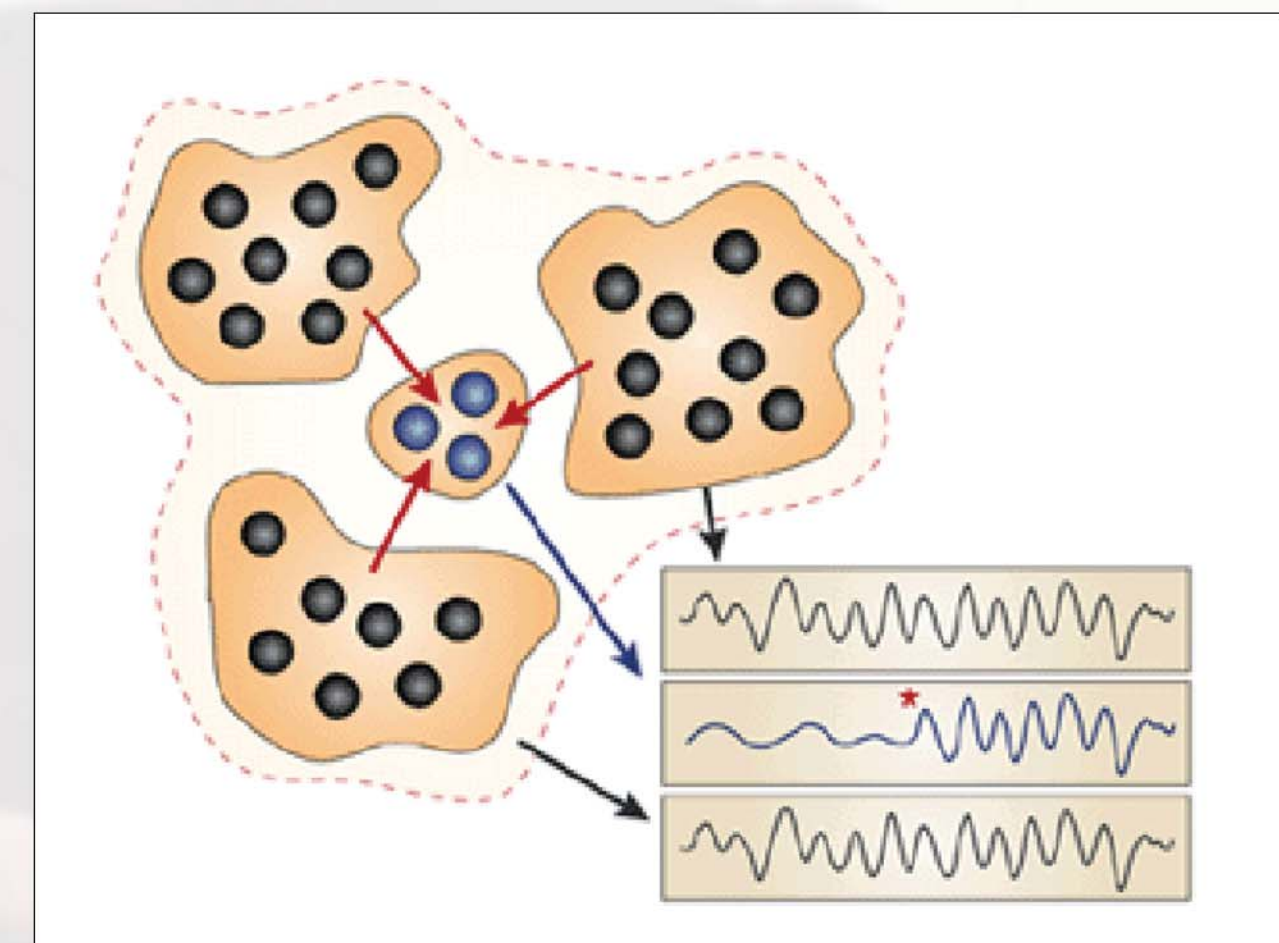
Višje možganske funkcije: možganski substrat je »lokaliziran«, a tudi »razporejen« na številne možganske predele. Funkcija sloni na sinhronizirani interakciji več (definiranih) možganskih predelov.

Glavni kandidat za funkcijsko povezovanje (»binding«): **sinhronne oscilacije v električni aktivnosti nevronske mreži.**

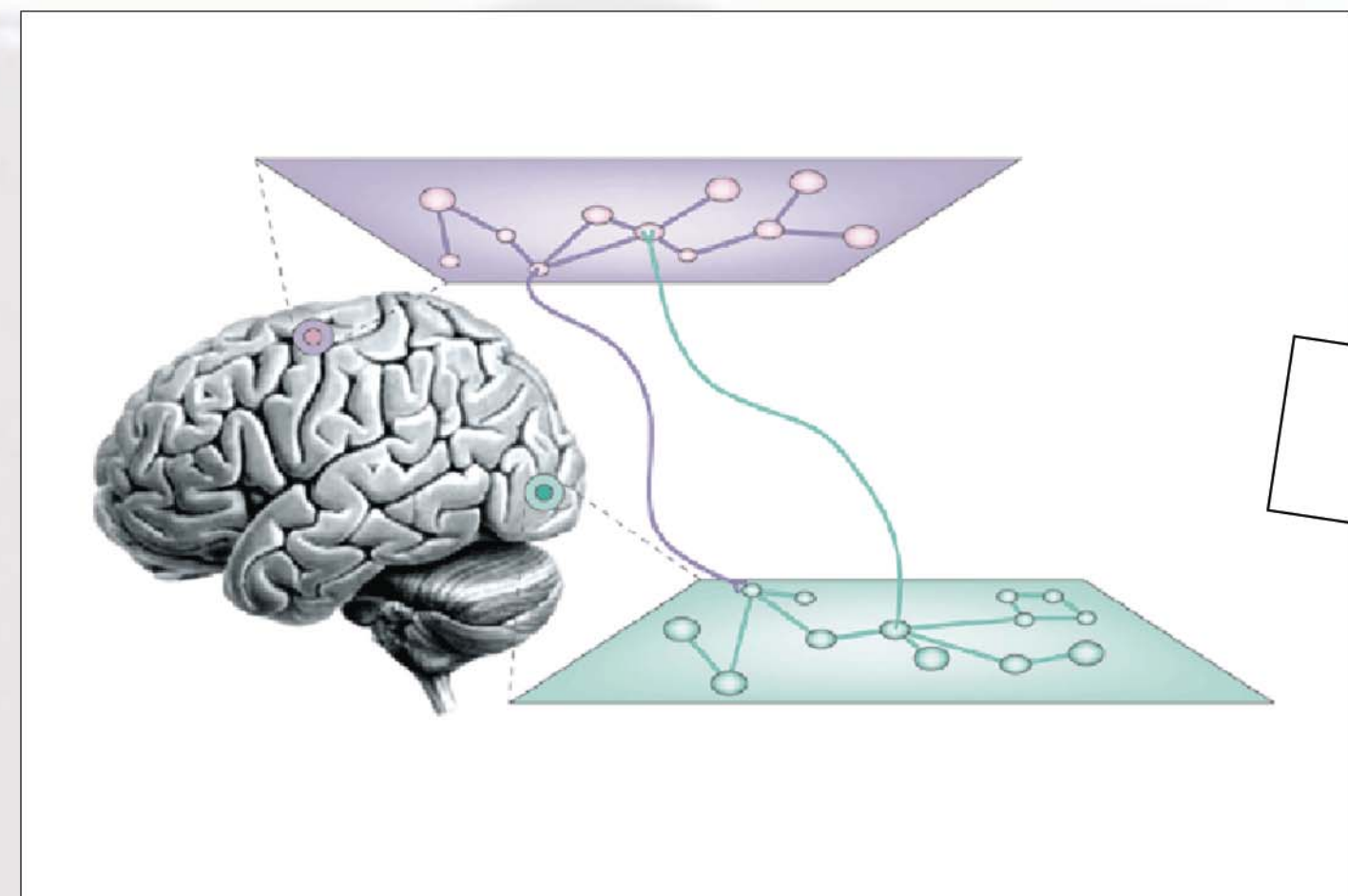
EEG-KOHERENCA: raziskovalna metoda analize EEG-signala

»Meri« sinhronost električnih oscilacij med prostorsko oddaljenimi možganskimi predeli (nevronske mreži)

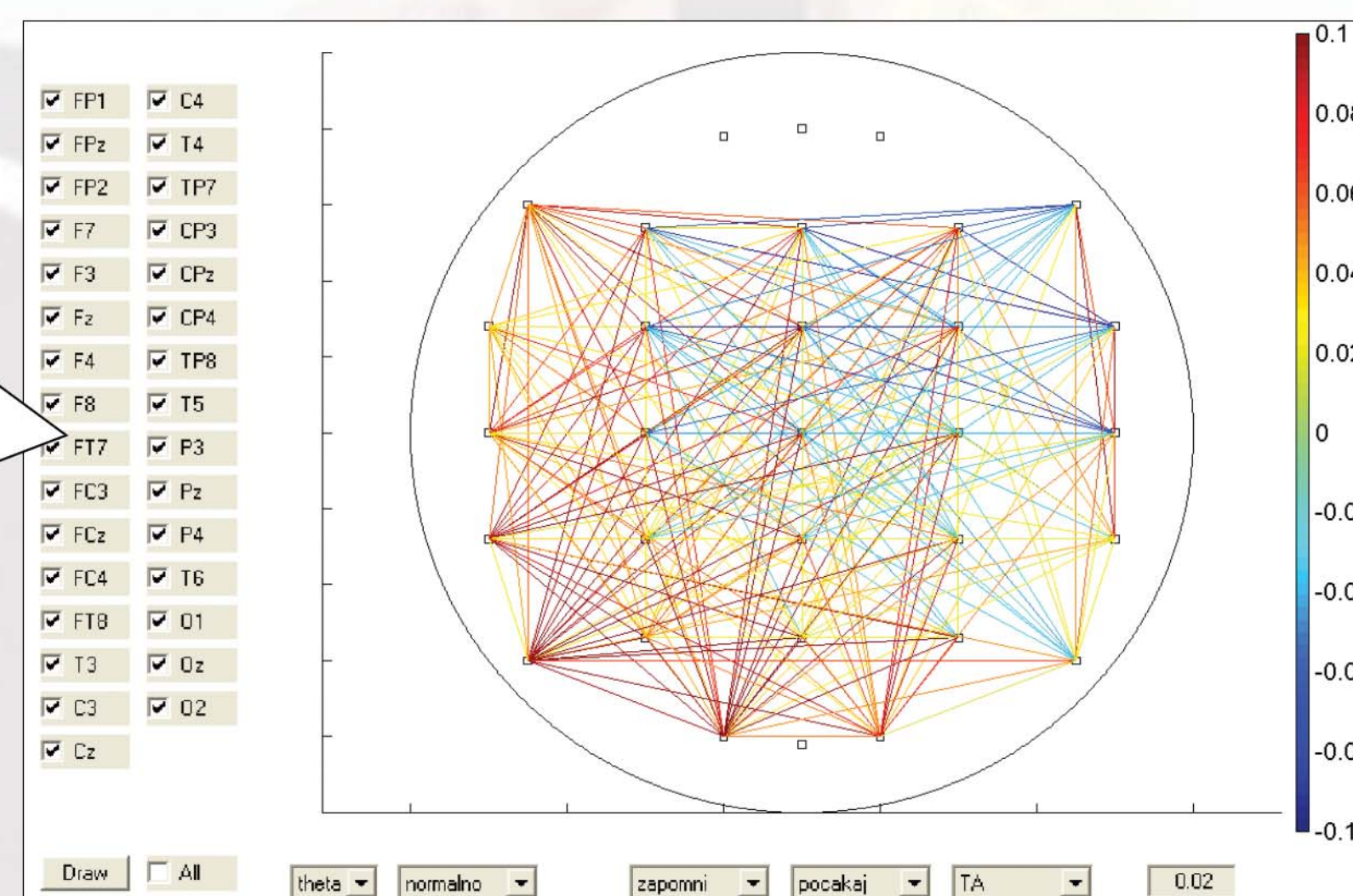
--> **POVEČANJE KOHERENCE JE ODRAZ FUNKCIJSKEGA POVEZOVANJA (SKLOPITVE) MED SODELUJOČIMI PREDELI MOŽGANOV**



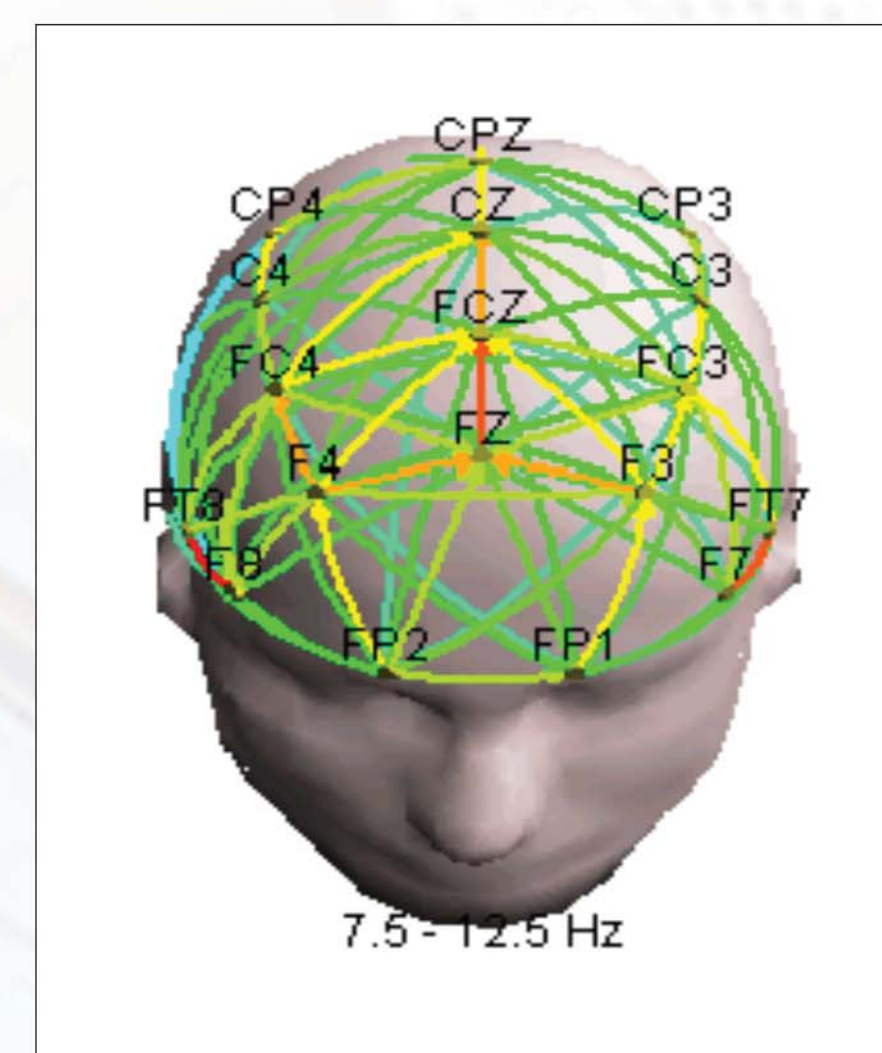
Sinhronizacija električne nevronske aktivnosti med prostorsko ločenimi nevronske mreži (prenos električnih signalov prek hipotetičnih anatomskih povezav?). »Merimo« jo s pomočjo metode EEG-koherence.



Možgani kot »omrežje omrežij« - analogija z Internetom?



Prikaz izračuna EEG-koherence na računalniškem modelu glave. Slika kaže povečanja (rdeča barva) in zmanjšanja koherence (modra barva) v theta frekvenčnem pasu med oddaljenimi možganskimi področji oz. pari elektrod na glavi pri procesu shranjevanja informacij v delovnem spominu. EEG snemanje je bilo opravljeno med reševanjem eksperimentalne paradigme za merjenje procesov delovnega spomina (vir: Brežan in dr., 2005).



vir: <http://www.hhtuebingen.de/typo3temp/pics/>

POMEN SPECIFIČNIH MOŽGANSKIH RITMOV ZA DELOVNI SPOMIN

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