

RAZISKOVANJE MOŽGANOV: OD ELEKTRIKE DO SPOMINA

SIMON BREŽAN, VITA ŠTUKOVNIK

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

TEDEN MOŽGANOV 2006

PREGLED VSEBINE

- Raziskovanje v kognitivni nevroznanosti
- Elektroencefalografija (EEG): metoda merjenja električne aktivnosti možganov
- Višje živčne funkcije (spomin), model delovnega spomina in problem povezovanja
- EEG-koherenca: metoda analize EEG-signala za preučevanje funkcijske povezanosti možganov
- Raziskava: spremembe EEG-koherence pri procesih delovnega spomina
- Nevrofiziološka teorija spomina

RAZISKOVANJE V KOGNITIVNI NEVROZANOSTI

■ Kognitivna znanost

- preučevanje duševnih procesov kot obdelave informacij
- vse vede, ki se ukvarjajo s problemi spoznavnosti, mišljenja, zavesti, pa tudi čustev in vedenja

■ Kognitivna nevroznanost

- "nevrobiologija duševnih procesov" (Gazzaniga)
- "cilj je razumeti zavest" (Kandel)
- možganski oz. nevronske korelati višje živčne dejavnosti?

"Ultimativni cilj kognitivne nevroznanosti je razumevanje delovanja in interakcij funkcijskih in strukturnih komponent možganov tako dobro, da bi lahko sestavili mehanični model možganov oz. napisali računalniški program, ki bi simuliral možgane do potankosti." (Kosslyn, 1996)

DVA RAZISKOVALNA PRISTOPA K RAZUMEVANJU DELOVANJA MOŽGANOV

■ funkcijske slikovne metode

- funkcijska magnetna resonanca (fMR), pozitronska emisijska tomografija (PET)...
- (strukturna) razporejenost presnovno-žilnih sprememb ob aktivaciji možganov
- dobra prostorska ločljivost > anatomsko opredelitev funkcije

■ elektrofiziološke metode

- elektroencefalografija (EEG), znotrajcelična detekcija električnih potencialov, metode izvabljenih potencialov (ERP) ...
- časovni potek možganske električne aktivnosti
- dobra časovna ločljivost > procesi in mehanizmi obdelovanja informacij, operacijski sistem možganov

- novejša metode analize EEG-signalov: npr. močnostni spektri, EEG-koherenca

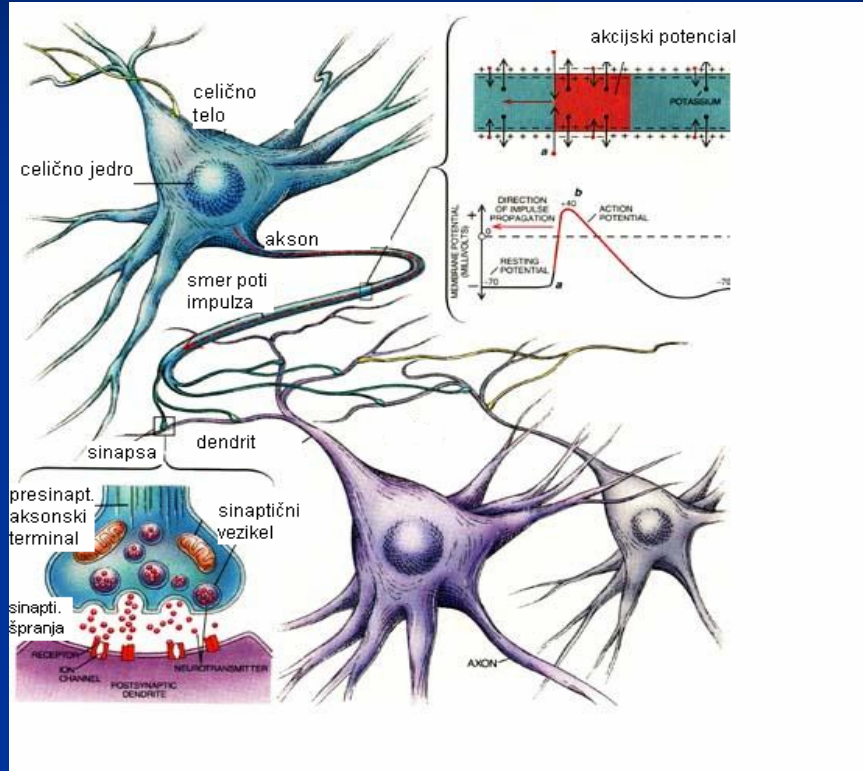
NEKAJ O MOŽGANIH

- Revija Science: najtrša neodgovorjena vprašanja v znanosti so tudi nevroznanstvena
- Možgani: 100 milijard nevronov, več kot 10^{16} sinaptičnih povezav?
- Najkompleksnejši sistem v vesolju?
- Relativna velikost, metabolizem
- Organiziranost povezav in obdelovanje informacij v nevronskih mrežjih
- Vloga možganske skorje
- Skokovit porast števila znanstvenih objav
- **21. stoletje: Stoletje možganov?**

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]

KOMUNIKACIJA MED ŽIVČNIMI CELICAMI



http://www.rhsmpsychology.com/Handouts/Neuroscience_handouts.htm

Princip električnega in kemičnega signaliziranja med nevroni

ŽIVČNA CELICA = NEVRON

DENDRIT: sporočila k telesu živčne celice

AKSON: sporočila k tarčni živčni celici

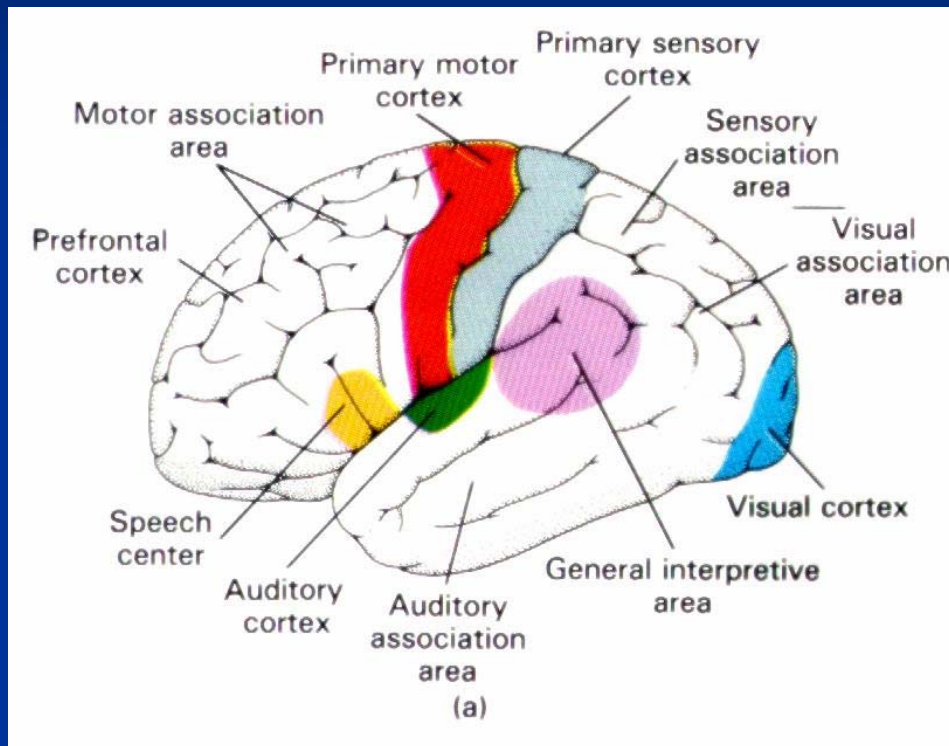
SINAPSA: živčni stik

NEVRON = ELEKTRIČNO VZDRAŽNA CELICA

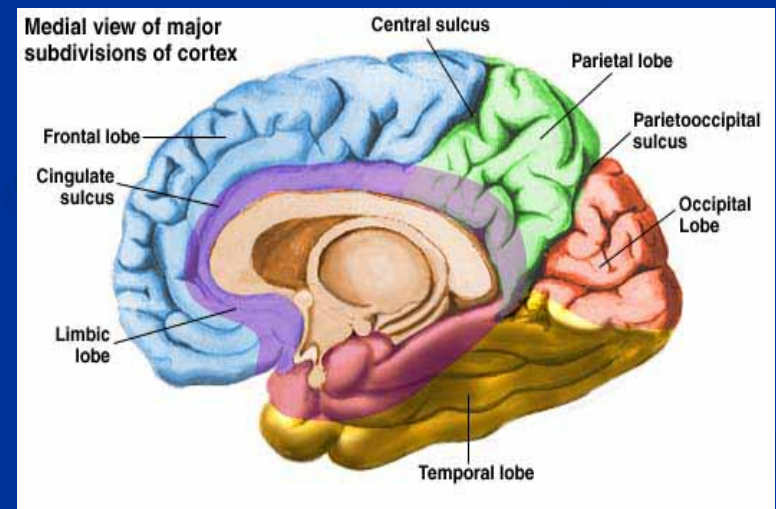
- ✦ LASTNOSTI CELIČNE MEMBRANE
- ✦ RAZLIKE V KONCENTRACIJAH IN PREVODNOSTIH IONOV
- ✦ MIROVNI MEMBRANSKI POTENCIAL
- ✦ SPREMEMBE PREPUSTNOSTI MEMBRANE > depolarizacija
- ✦ AKCIJSKI POTENCIAL > prevajanje impulza po vlaknu

→ ELEKTRIČNO PREVAJANJE: TOK IONOV ZARADI RAZLIK V ELEKTRIČNIH POTENCIALIH IN GRADIENTIH KONCENTRACIJ ZUNAJ IN ZNOTRAJ CELIC

MOŽGANSKA SKORJA (KORTEKS)

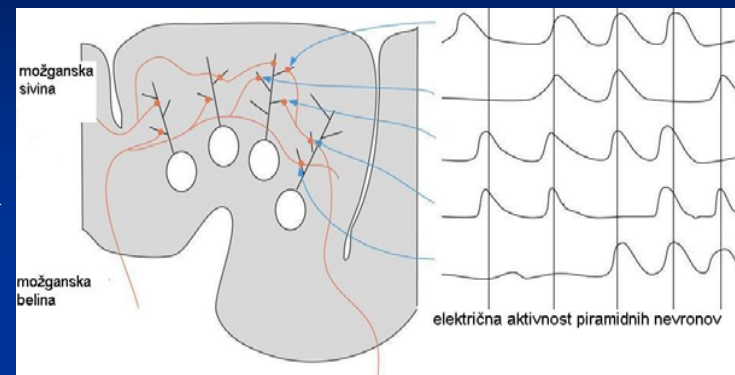
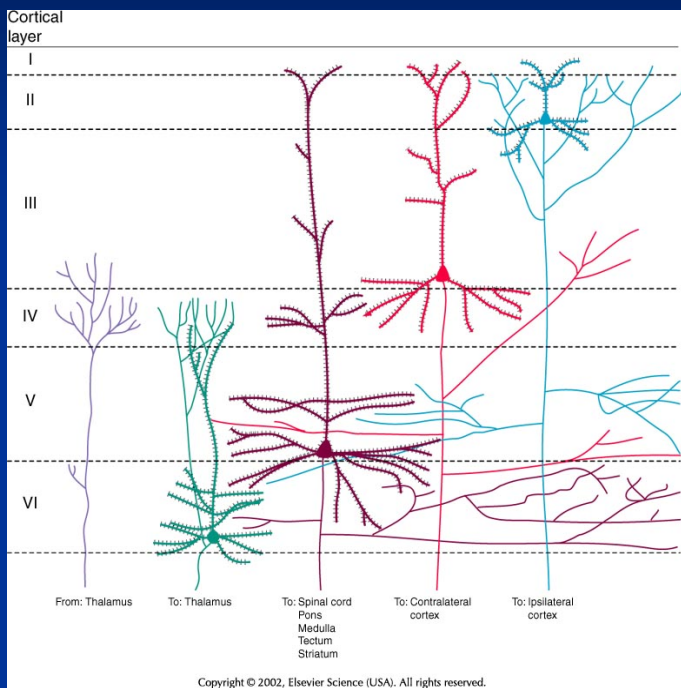


možganska skorja: lateralni pogled



možganska skorja: medialni pogled

ORGANIZACIJSKA STRUKTURA MOŽGANSKE SKORJE IN NJENA ELEKTRIČNA AKTIVNOST



Citoarhitektura in povezave med nevroni

- med področji skorje
 - aferentne
 - eferentne
- znotraj področij skorje
 - horizontalne
 - vertikalne

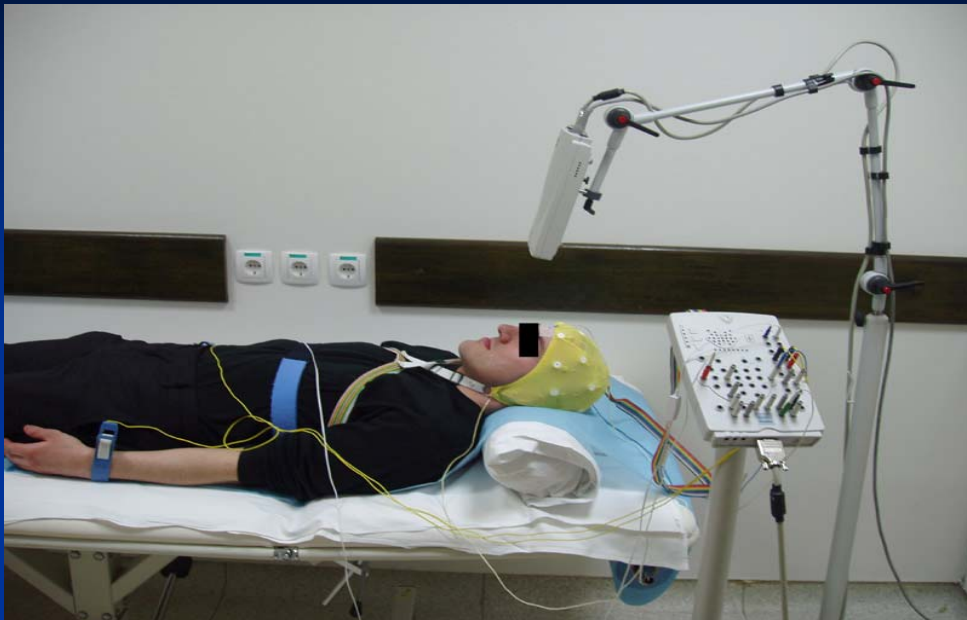
- piramidni nevroni
- pravokotna orientacija glede na površino
- aferentni sinaptični dotok
- postsinaptični potenciali, nevronska integracija
- različna stopnja sinhroniziranosti (fazne usklajenosti) električne aktivnosti piramidnih nevronov
- seštevanje električnih signalov

Princip nastanka električne aktivnosti možganske skorje drugačen kot električna aktivnost posameznih nevronov

MERJENJE ELEKTRIČNE AKTIVNOSTI MOŽGANOV: ELEKTROENCEFALOGRAFIJA (EEG)

- Metoda elektroencefalografije (EEG): neinvazivno odjemanje električne aktivnosti možganov na skalpu
- Zgodovina EEG:
 - 1875: elektrokortikografija pri opici
 - 1924: Hans Berger > prva registracija ritmične aktivnosti možganske skorje pri človeku
 - unikatna možnost razumevanja človeškega mišljenja?
 - Lopez da Silva: velika informativnost EEG-signalov (možnost upravljanja letala zgolj s pomočjo odgovarjajočega EEG-signalov)
- Klinična vrednost (diagnostika nevroloških bolezni: epilepsija, spanje...)
- Raziskovalna vrednost
- Prednosti: možnost neinvazivne analize funkcije možganov pri zdravih preiskovancih, možnost preučevanja funkcijskih motenj brez anatomskih lezij
- **IKN: nov 128-kanalni visokoločljivostni EEG-aparat**

SNEMANJE EEG



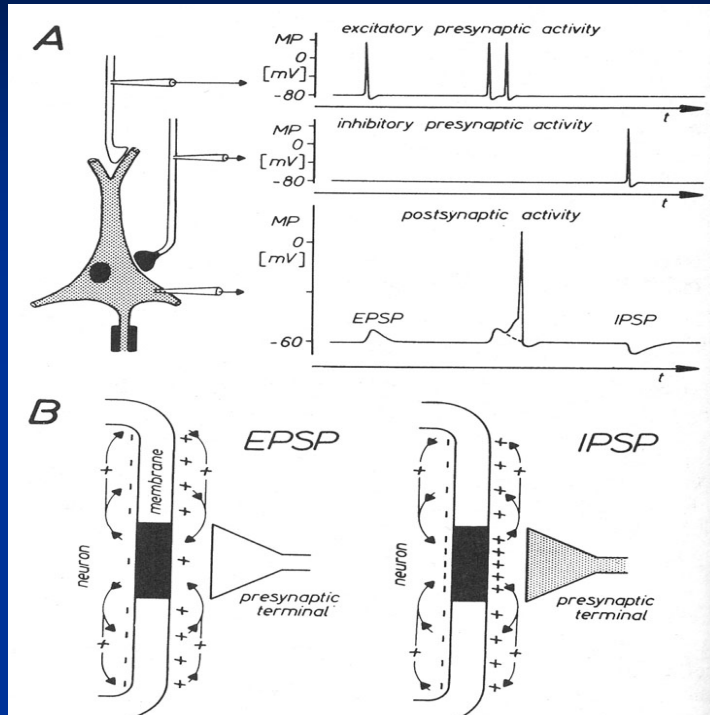
Elektroencefalografsko snemanje: EEG aparat na Inštitutu za klinično nevrofiziologijo, Klinični center Ljubljana (vir: osebni arhiv avtorjev)

- Električno aktivnost možganov v obliki EEG-signala odjemamo z elektrodami, nameščenimi na površini glave.
- Merimo potencialne razlike med pari elektrod v času (razlike aktivnosti med različnimi prostorskimi regijami) oz. glede na referenčno elektrodo
- Dobra časovna ločljivost (ms)
- Slabša prostorska ločljivost (10cm^2), nedostopnost določenih predelov možganske skorje
- Različne vezave elektrod, znane anatomske lokacije elektrod, lokalizacija izvora?

Dodatni izvori električne aktivnosti

- EOG (očesni gibi), EMG (mišična aktivnost) ..., izvori napetosti v okolici
- izločanje artefaktov

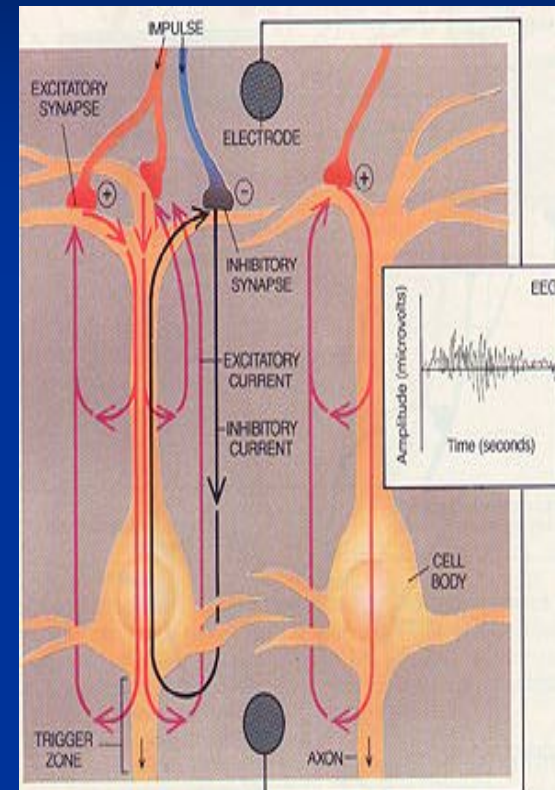
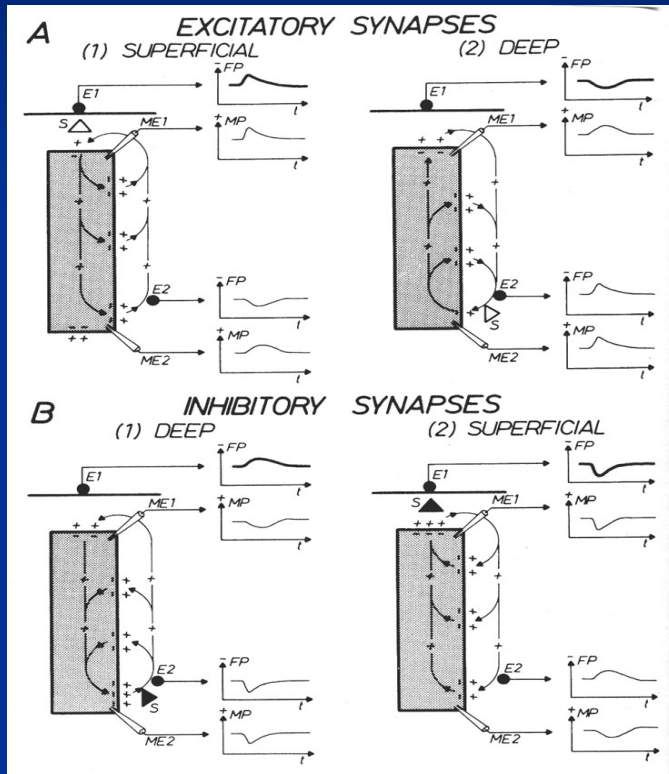
KAJ JE EEG-SIGNAL ?



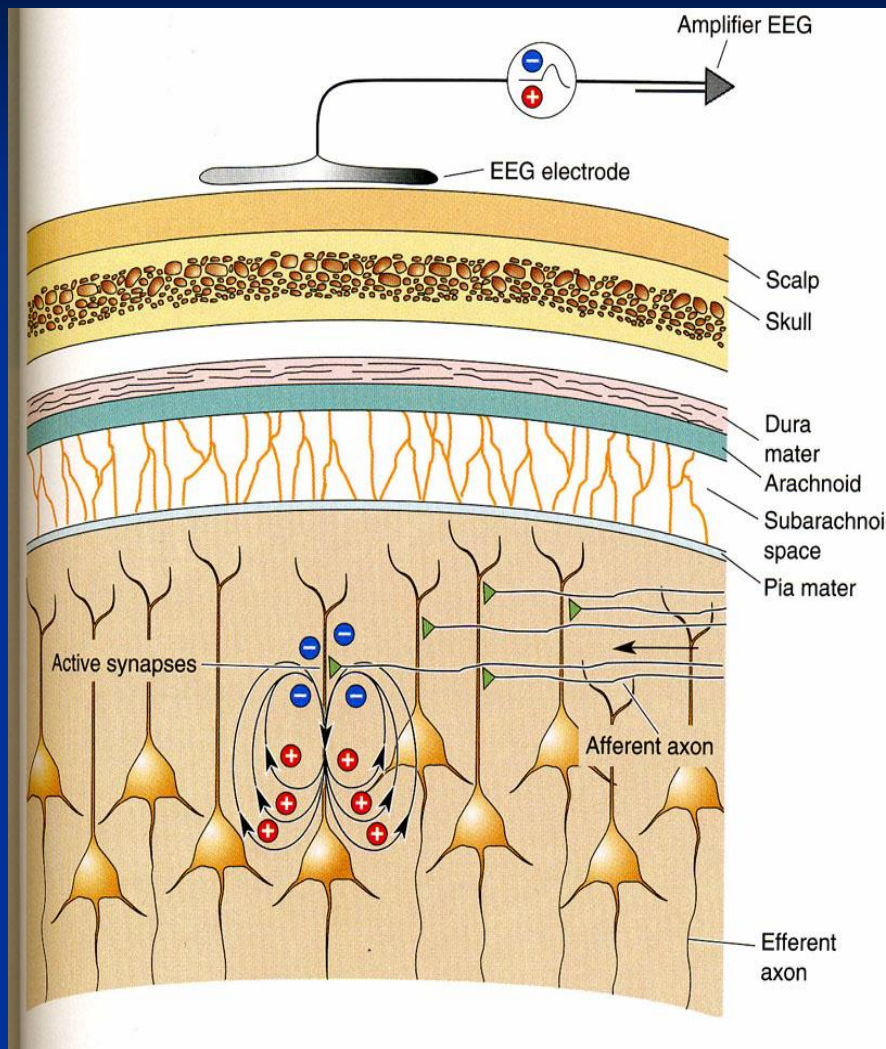
Postsinaptični potenciali (Vir: Niedermeyer in Lopez da Sliva, 2004)

- **EEG-signal:** periodična, sinhrona električna aktivnost velikega števila celic možganske skorje
- **IZVOR:** počasni postsinaptični dendritični potenciali (ekscitacijski – EPSP in inhibicijski – IPSP) in posledični zunajcelični ionski tokovi

TOKOVNE ZANKE in ELEKTRIČNA NAPETOST NA SKALPU



- zunajcelični tokovi – TOKOVNE ZANKE in "potencial polja"
- stalna fluktuacija napetosti v času
 - Akcijski potenciali: neposredno ne prispevajo k EEG-signalu

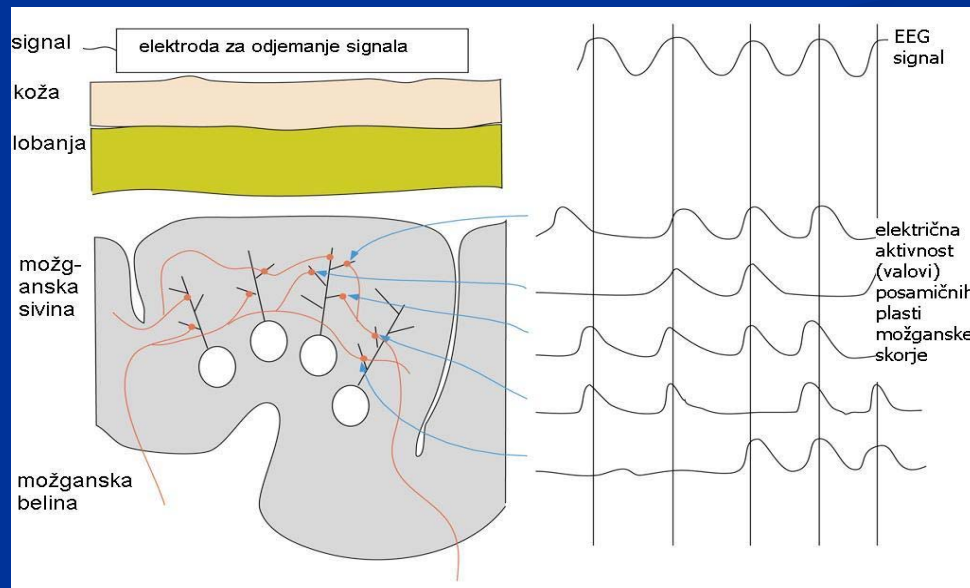


- Oslabitev signala na površini
 - upornost kože
 - možganske ovojnice
 - možganske tekočine- likvorja

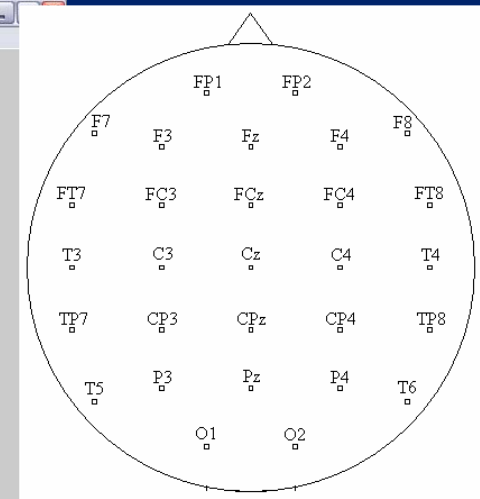
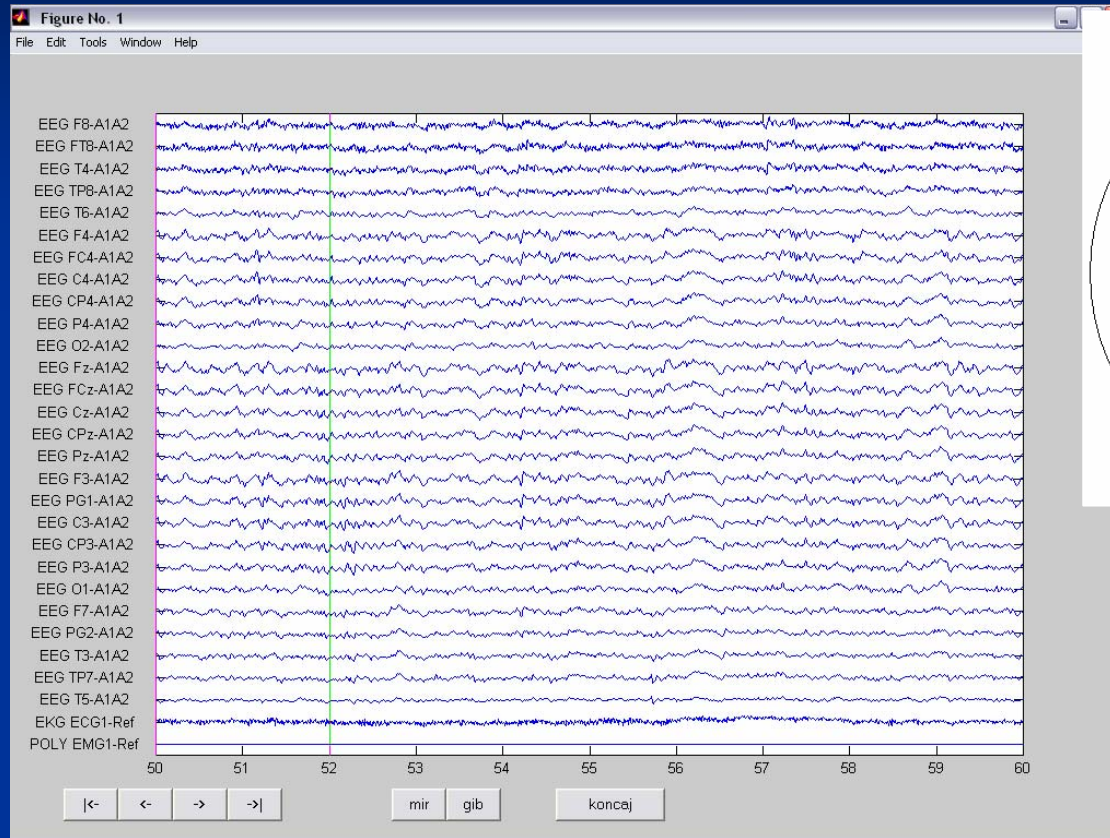
- Ojačevalci napetosti

SUMACIJA- NASTANEK EEG-SIGNALA NA POVRŠINI (MAKROPOTENCIAL)

- EEG izmeri lahko le bolj ali manj sinhron signal – aktiviranje velikega števila celic na podoben način bolj ali manj sočasno (v fazi) > večja kot je sinhronost, večja je amplituda napetosti (nasprotno bi se površinski signal izničil, če električni dipoli z obratno polariteto)
- Vplivi na dinamiko fluktuacij potencialov- signala na površini:
 - frekvenca/ sinhronost aferentnega dotoka, senzorični dotok, vpliv talamokortikalnih povezav
 - intrinzične generatorske lastnosti celic
 - spreminjajoče interakcije med nevronskimi mrežji (ekscitacija, inhibicija)
 - Vpliv neurotransmiterskih sistemov
 - Vpliv ascendentnih aktivacijskih sistemov možganskega debla
 - Vpliv cikla budnost- spanje, miselne aktivnosti, dozorevanje signala s starostjo



ELEKTROENCEFALOGRAM: ZAPIS IZMERJENE ELEKTRIČNE AKTIVNOSTI NA SKALPU



normalna aktivnost, snemalne elektrode - model glave

Vir: osebni arhiv avtorjev

MOŽGANSKI RITMI

- **EEG-zapis: različni značilni vzorci 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, zastrupitvah, tumorjih, infekcijah možganov, komi itd.).
- OSCILACIJE: RITEM, AMPLITUDA, FREKVENCA
- RITMIČNOST SIGNALA?
 - intrinzične lastnosti celic generatorjev, dinamične interakcije med nevronskimi mrežji, sinhronost > rednost ritma
- SINHRONOST SIGNALA?
 - spreminjajoč se vzorec sinhronizacije in desinhronizacije (izven faze) regionalnih nevronov > spremembe amplitude
- FREKVENCE: hitri vs. počasni ritmi

■ IZVOR MOŽGANSKIH RITMOV?

- Talamokortikalni izvor, povratne zanke; sinhronizacija taka, da tvori ritmično aktivnosti
- Kortikokortikalni nevroni- možganska skorja kot generator oscilacij
- Razširitev vzpodbude?

■ POMEN MOŽGANSKIH RITMOV?- aktualne raziskave

- Vsak svoj prostorski vzorec in vedenjski kontekst, ki jih vzbudi.
- Omogočali naj bi preklope med različnimi funkcijskimi stanji celic možganske skorje in posredovali aktivacijo ali inhibicijo odgovarjajočih nevronskih mrežij.

ZNAČILNOSTI POSAMEZNIH MOŽGANSKIH RITMOV

Hitri ritmi

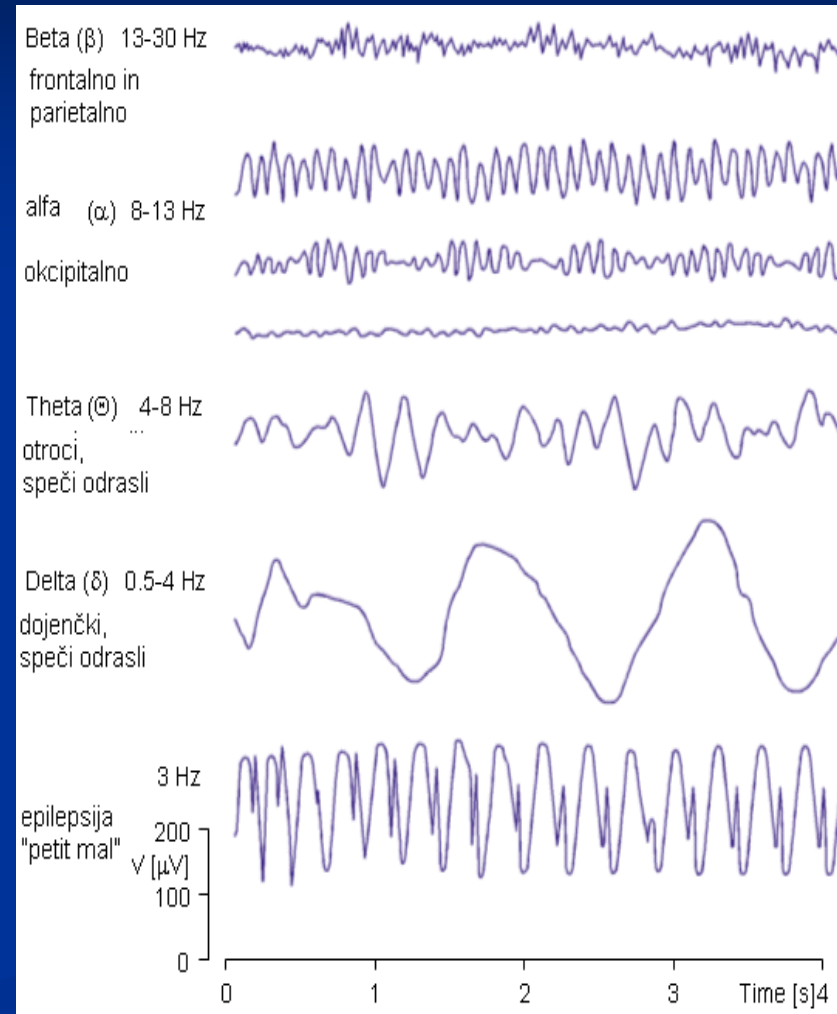
- **alfa** (8-13Hz, 50 μ V): budno stanje mentalne in fizične sproščenosti (zavre ga pozornost, fizični/mentalni napor); zadajšnji predeli glave
- **beta** (13-30Hz, 30 μ V): mentalna aktivnost, kognitivni procesi, motorika; čelno, centralno, difuzno
- **gama** (30-50Hz): kognitivni procesi, zaznavanje, pozornost

Počasni ritmi

- **theta** (4-7Hz): spanje, otroci, emocionalni in spominski procesi, bolezenska stanja.
- **delta** (0,5-4Hz): globoko spanje, dojenčki, organske bolezni možganov.

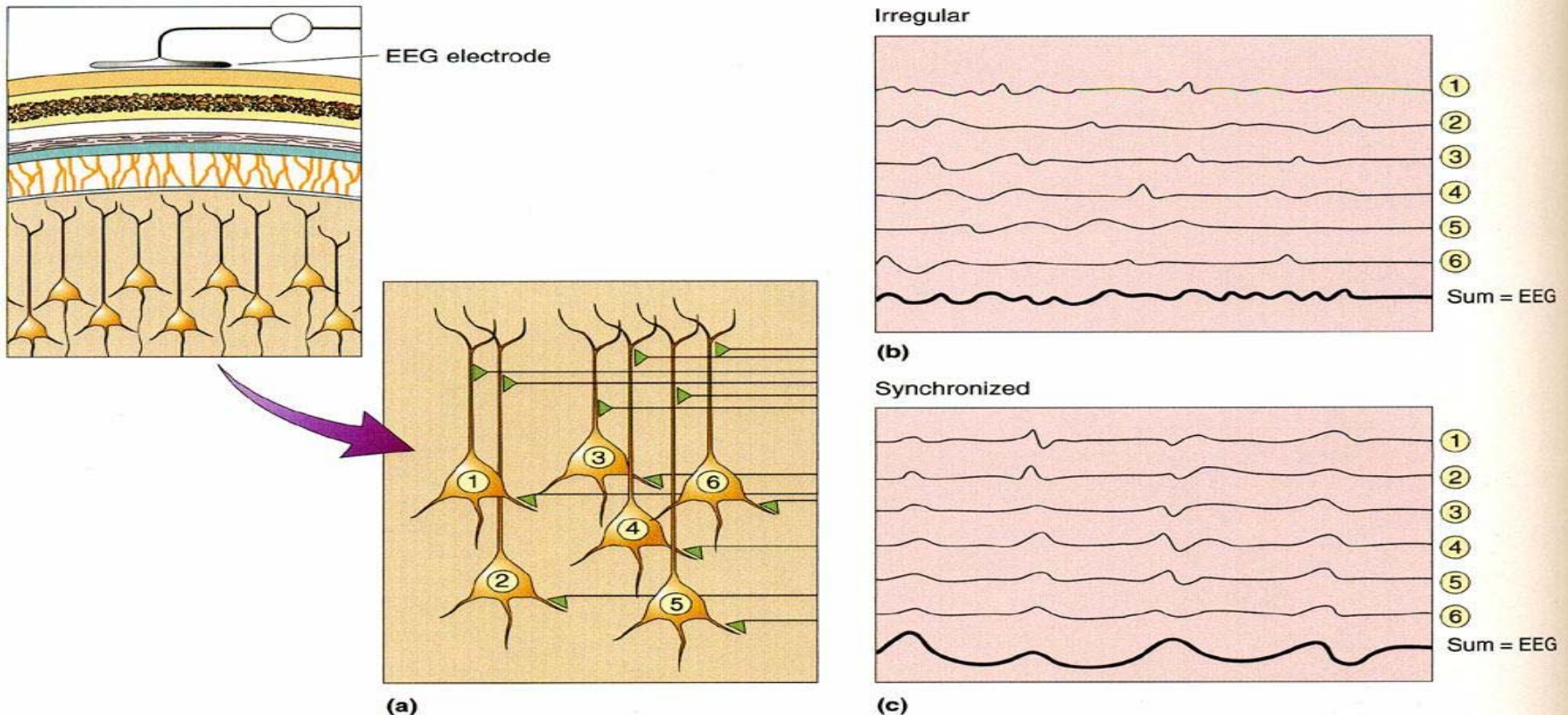
Reaktivnost

Ritem alfa – odpiranje oči, mentalni napor:
desinhronizacija v EEG-ju

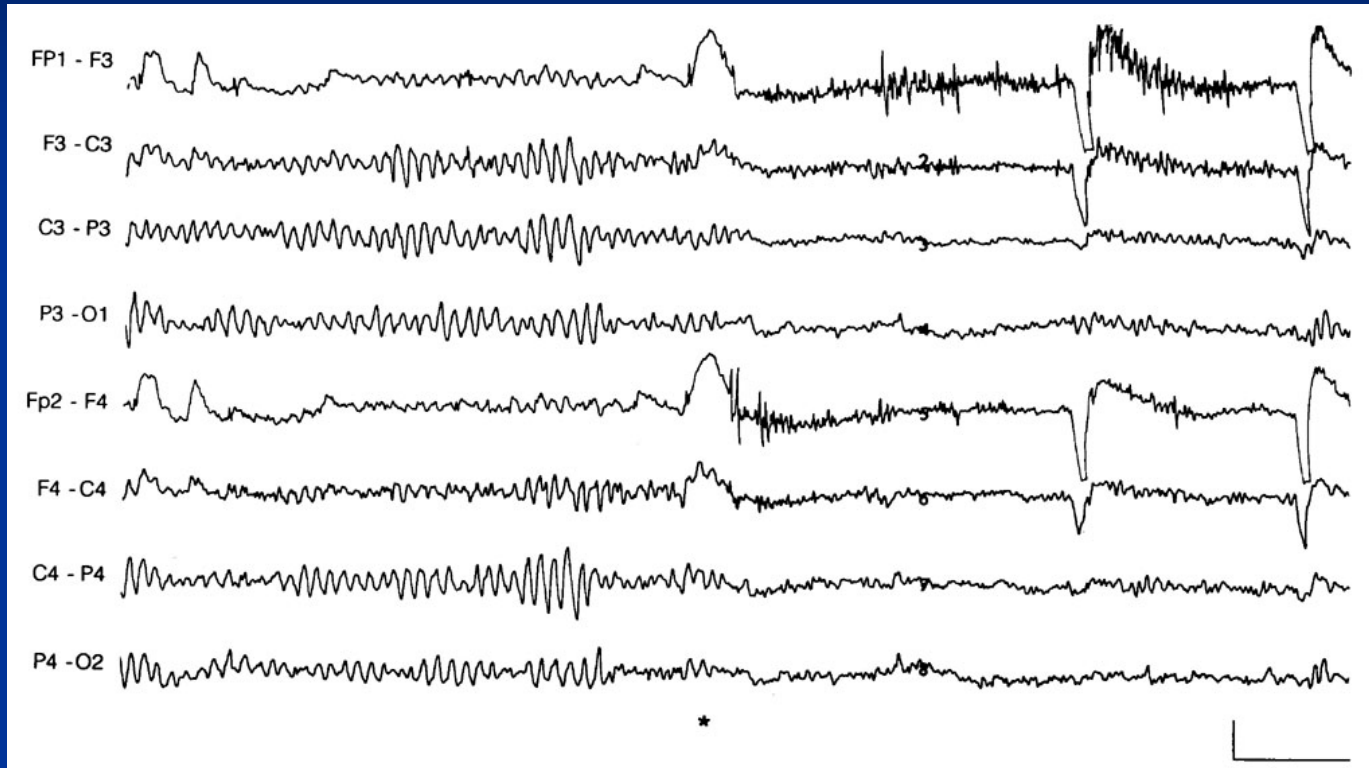


EEG: BUDNOST vs. SPANJE

- Budnost: velika splošna aktivnost možganov- bolj iregularen in desinhroniziran signal, nižje amplitude, višje frekvence (sinaptični inputi v korteks = izven faze, iregularni, odraža senzorični dotok v skorjo)
- Spanje: majhna splošna aktivnost, sinhroniziran signal, velike amplitude, počasne frekvence
- Negativna korelacija med velikostjo (amplitudo) EEG-signala in nivojem aktivnosti procesiranja v možganih



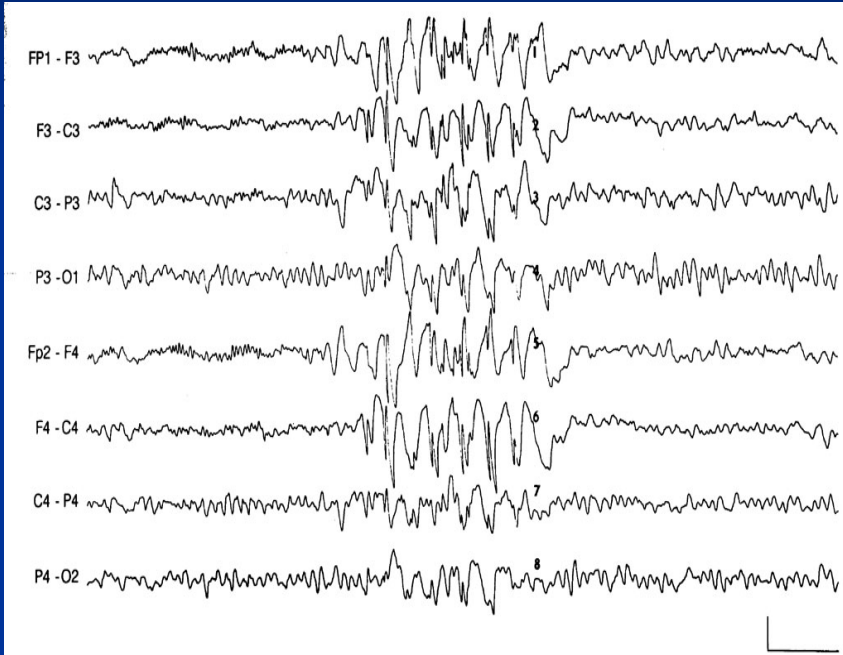
PRIMERI NORMALNIH EEG POSNETKOV



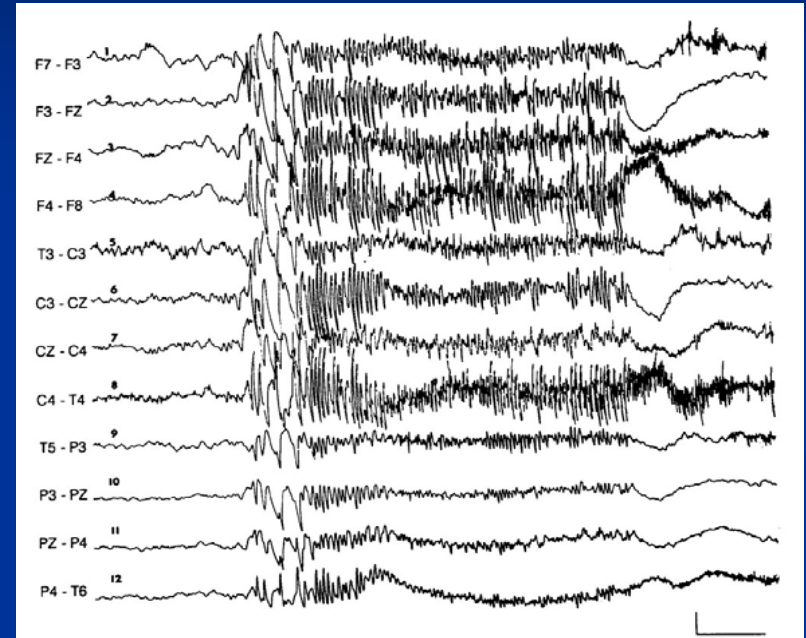
Zavrtje ritma alfa z odprtjem oči.

Odprtje oči (zvezdica) popolnoma odpravi alfa aktivnost, v tem primeru z nastopom centralnega (C3, C4) pretežno beta ritma

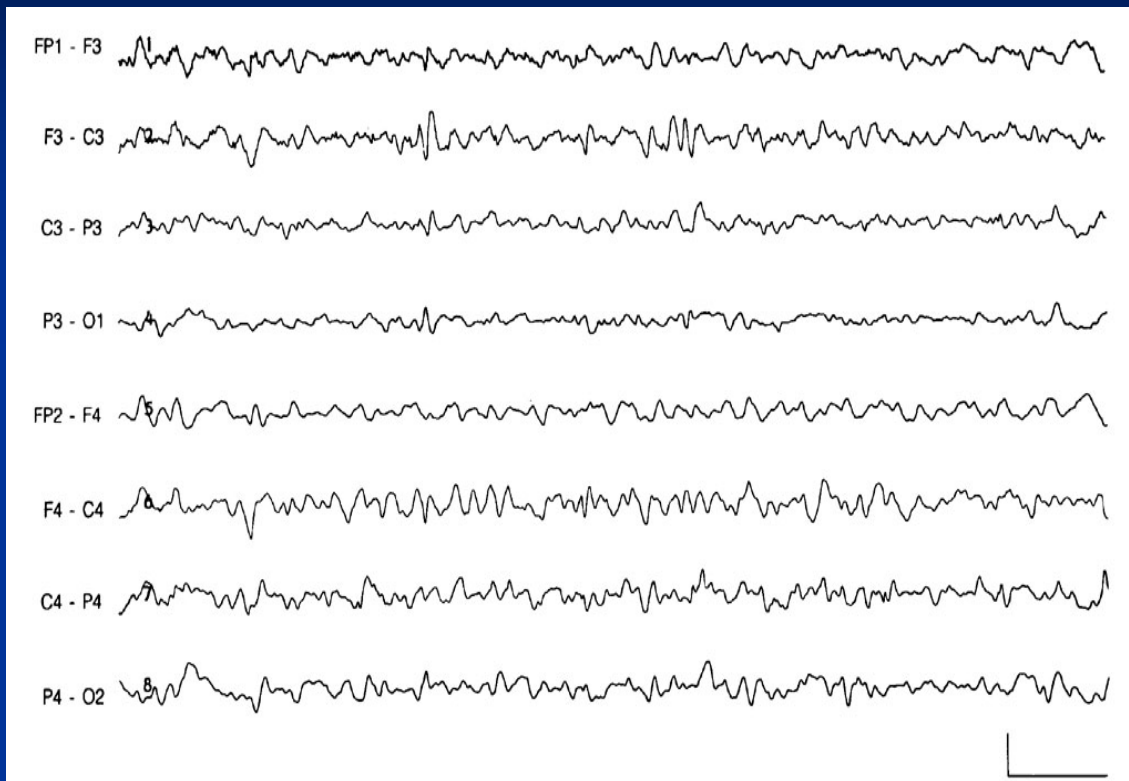
EEG IN DIAGNOSTIKA NEVROLOŠKIH BOLEZNI



Generalizirana epileptiformna aktivnost.
Klasični spike-val (trn)

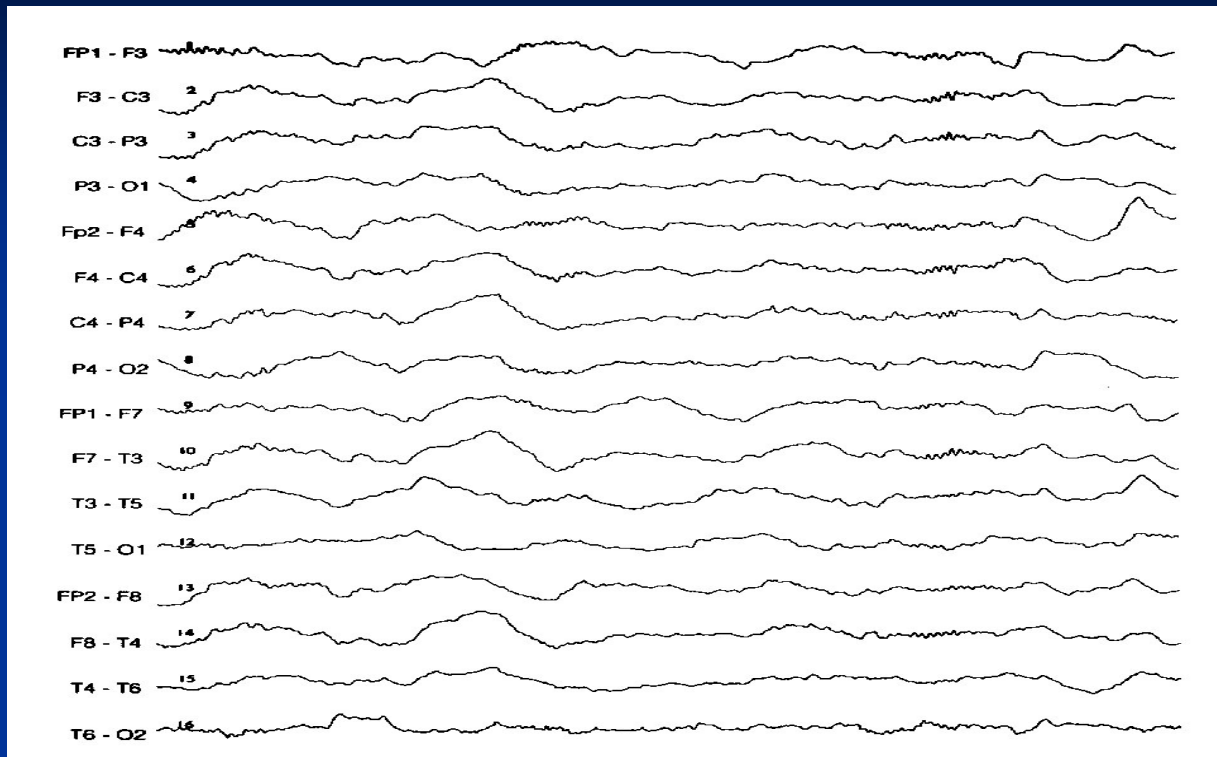


**Tonični napad z generaliziranim
spike-valom in polispike-i**



Creutzfeldt-Jakobova bolezen.

65 let. Čprav je pacient buden z odprtimi očmi, je ozadje počasno in dezorganizirano in presežek theta aktivnosti se pojavlja difuzno.



Koma

Spontana variabilnost in vretena. Počasna aktivnost. Nizko napetostni 5Hz in 1Hz aktivnosti s pridružujejo 14Hz vretena.

RAZISKOVANJE FUNKCIJE MOŽGANOV Z EEG

- Motorika
- Senzorika
- Višje živčne funkcije

VIŠJE ŽIVČNE FUNKCIJE

- DEFINICIJA: zbir sposobnosti in dejavnosti, oz. lastnosti človeškega živčevja, ki spoznajo, analizirajo in pomnijo podatke, načrtujejo in vodijo vedenje.
 - celostno: vedenje kot osebnost
 - motivacija, čustvovanje, spomin, spoznavanje, načrtovanje, večše gibanje, ustvarjanje abstraktnih idej
 - intelekt, ustvarjalnost, zmožnost načrtovanja, predvidevanja, estetski čut, etični čut.
- Kognitivna nevroznanost: OPREDELITEV MORFOLOŠKO-FIZIOLOŠKIH KORELATOV višjih živčnih funkcij
- Spomin (delovni spomin) kot višja živčna funkcija

SPOMIN

SPOMIN: sposobnost kodiranja, shranjevanja in priklica informacij

- **KODIRANJE:** dogodki med prezentacijo informacije za zapomnitev

Kratkoročno shranjevanje informacij

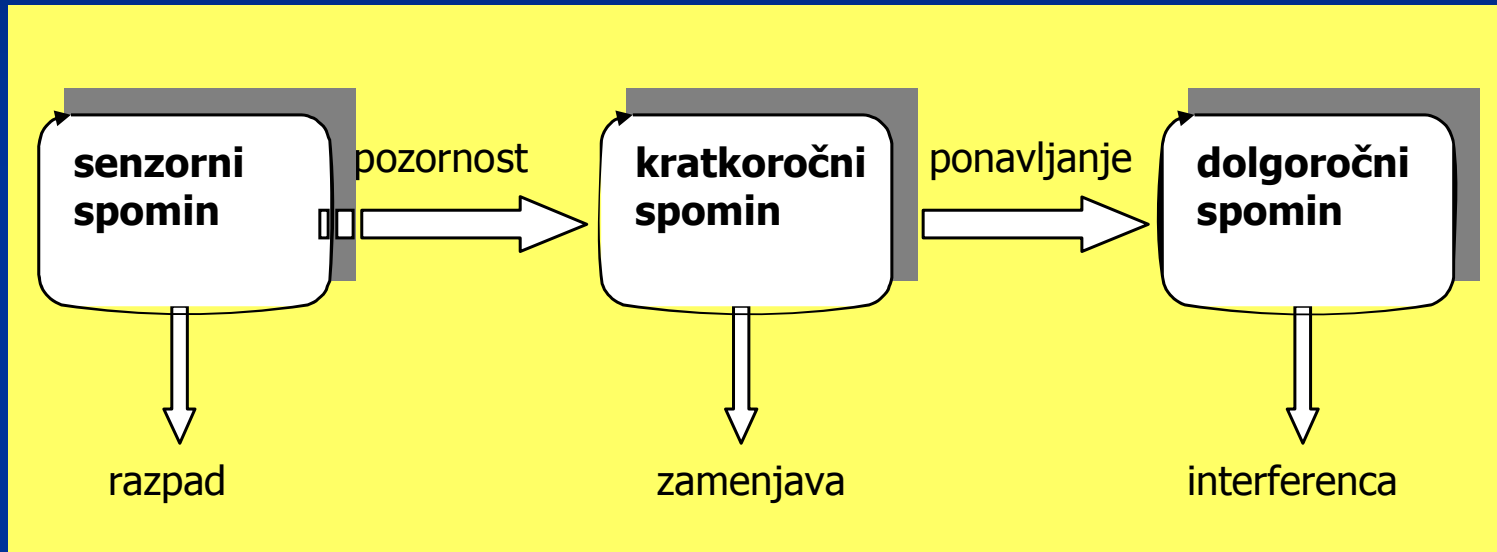
KONSOLIDACIJA: spreminjanje novo shranjene, še labilne informacije za stabilno trajno shranjevanje

- **SHRANJEVANJE:** dolgoročno zadržanje informacije v spominskem sistemu.
- **PRIKLIC:** obnovitev in uporaba shranjene informacije

I wondered if a memory is something you have or something you've lost.

[Woody Allen]

STRUKTURA SPOMINSKEGA SISTEMA



Osnovna shema spominskih procesov (*Atkinson in Shiffrin, 1968*)

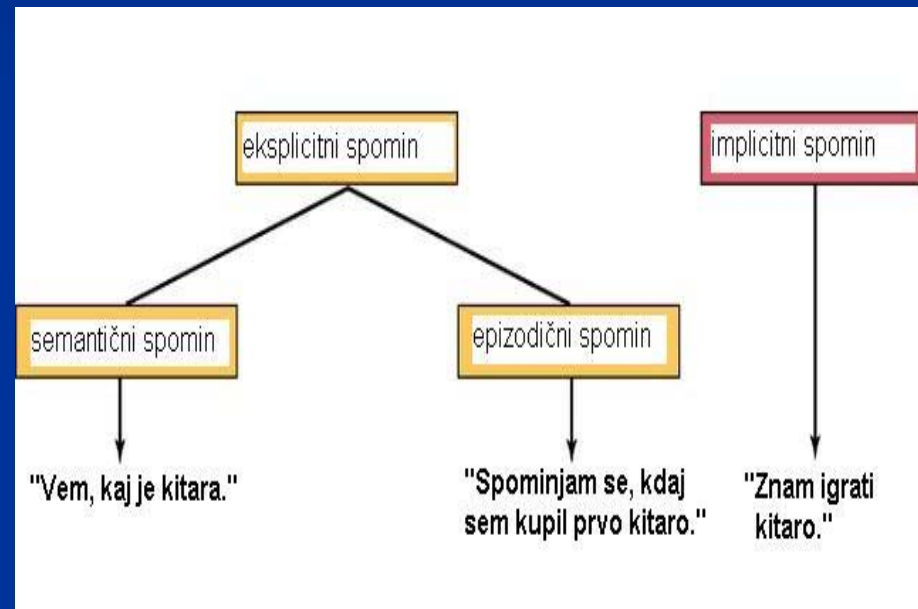
DOLGOROČNI SPOMIN: eksplicitni vs. implicitni spomin

Eksplicitni spomin: "VEDETI KAJ"

- epizodični spomin
- semantični spomin

Implicitni spomin: "VEDETI KAKO"

- proceduralni spomin
- asociativno učenje
- neasociativno učenje

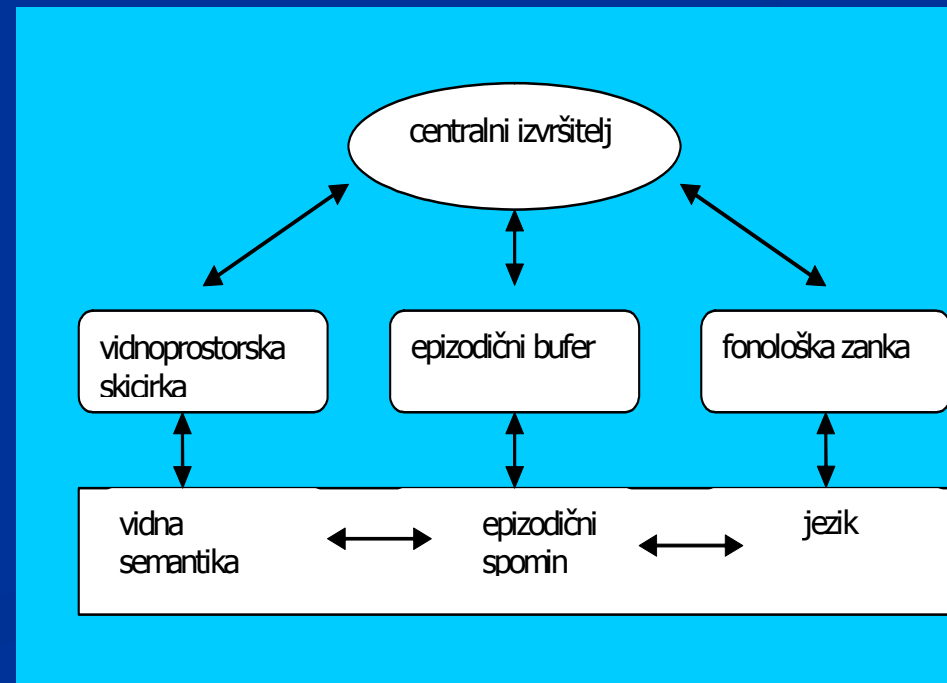


KRATKOROČNI SPOMIN KOT DELOVNI SPOMIN

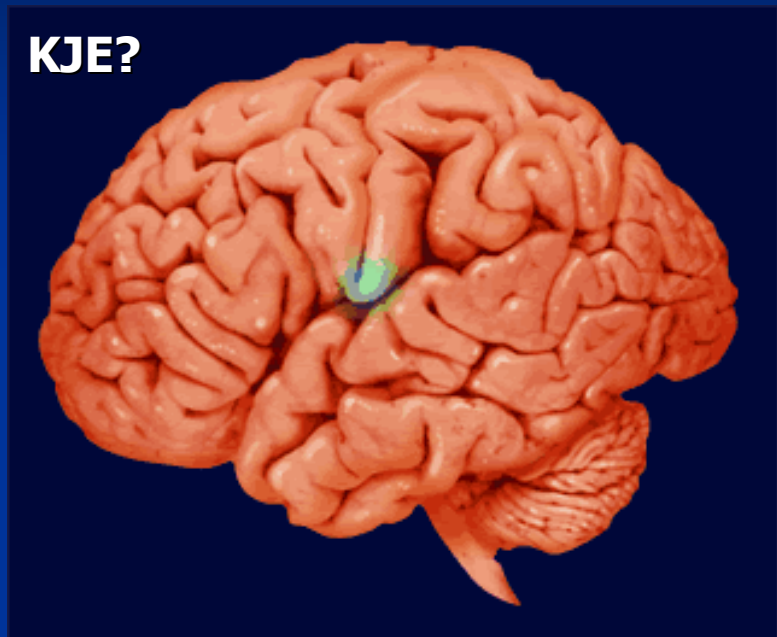
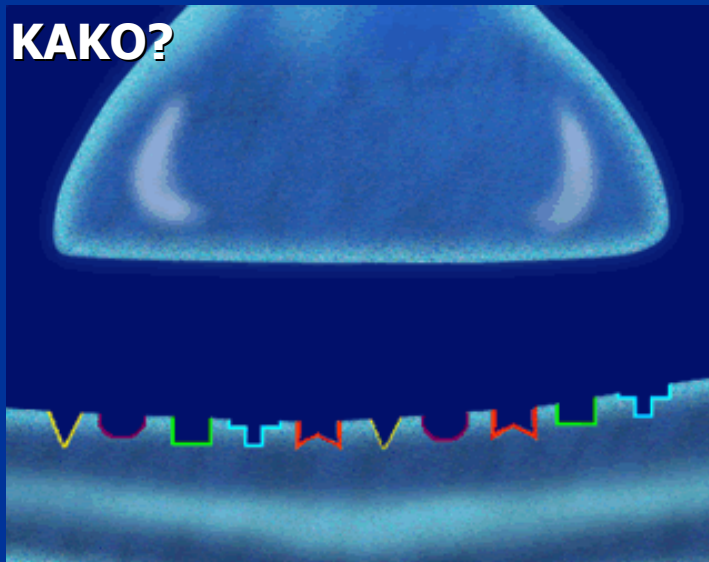
- **Aktiva vloga kratkoročnega spomina: delovni spomin**
- **DELOVNI SPOMIN:** kompleks kognitivnih procesov za vzdrževanje, upravljanje in uporabo informacij.
- Osnova za vsakodnevno funkcioniranje: inteligentno, k cilju usmerjeno vedenje, mišljenje, jezik, reševanje problemov.

Model delovnega spomina: Baddeley in Hitch (1974, 2000):

- **CENTRALNI IZVRŠITELJ:** pozornostni nadzor podsistemov, upravljanje z informacijami, načrtovanje, izbira strategij, inhibicija odzivov.
- **SUŽENJSKI PODSISTEMI:** shranjevanje in osveževanje informacij



SPOMIN IN MOŽGANI:

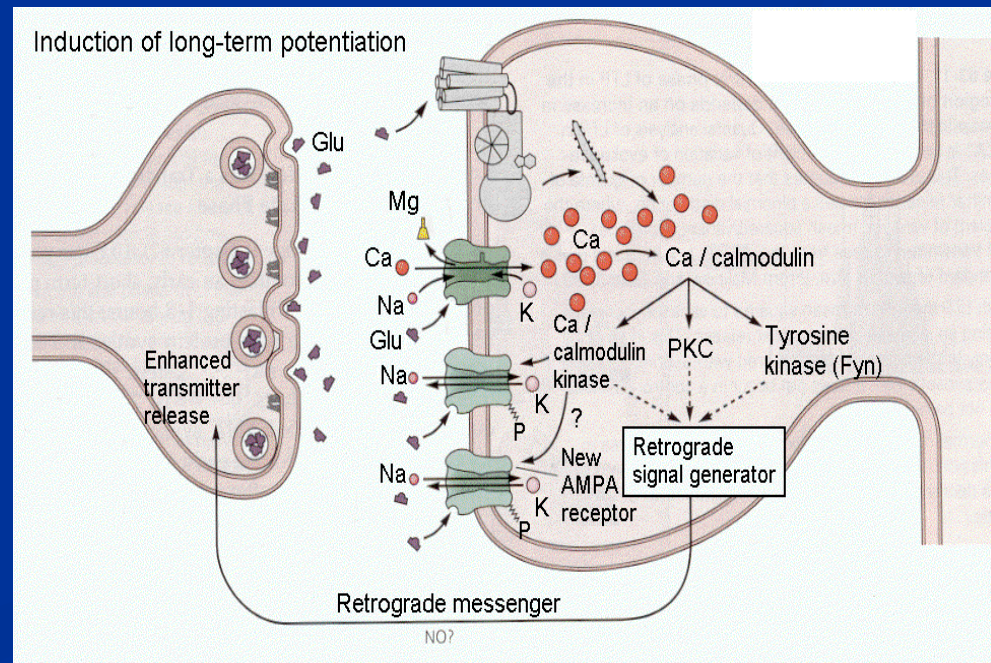


- Posamezni spominski podsistemi:
 - specifični nevrofiziološki korelati
 - specifični nevroanatomski korelati

NEVROFIZIOLOGIJA IN NEVROANATOMIJA

Dolgoročni spomin

- **Konsolidacija:** proces pretvarjanja kratkoročnih spominov v dolgoročno obliko
 - dolgoročna potenciacija ("long-range potentiation – LTP")
- **Biokemične spremembe v nevronih:**
 - genska ekspresija
 - sinteza novih proteinov
 - rast (krnitev) novih sinaptičnih povezav



Konsolidacija (eksplicitni spomin):

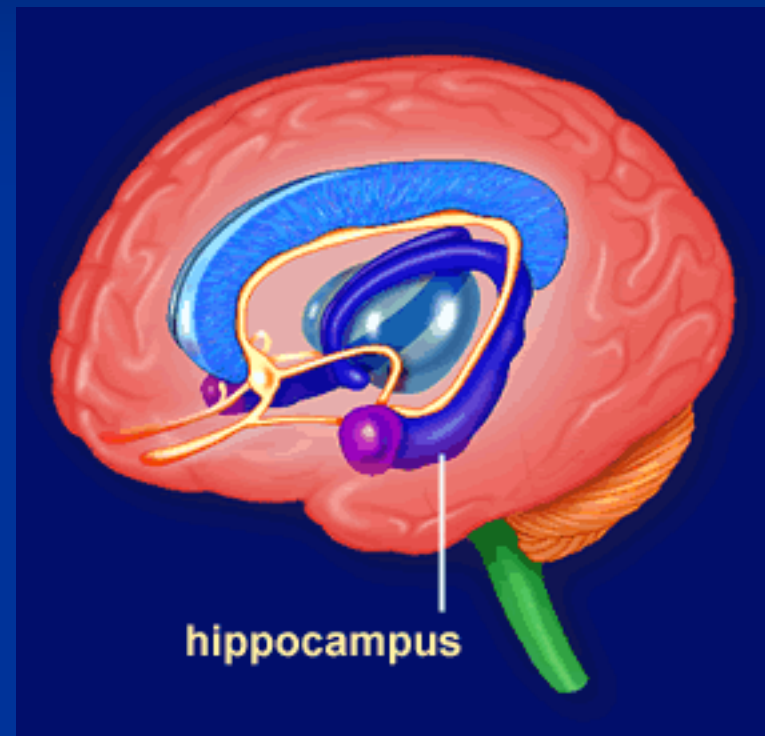
hipokampalni sistem kot mediator
začetnih korakov v dolgoročnem
shranjevanju informacij

Lezije v hipokampalnem sistemu:
nesposobnost shranjevanja **novih**
spominov

- primer: Alzheimerjeva bolezen

Trajno shranjevanje spominov:

- **Eksplicitni spomin:** na distribuiran način v neokorteksu
- **Implicitni spomin:** perceptualni, motorični in emocionalni krogi

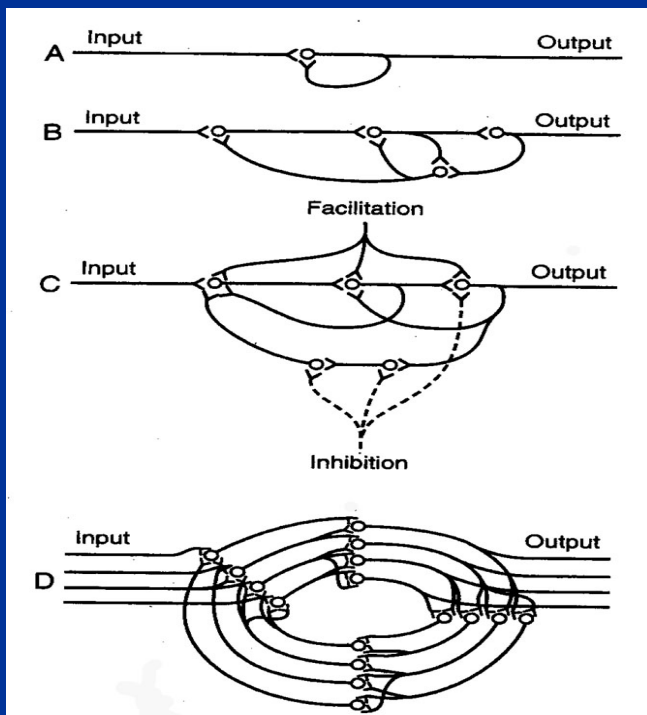


Delovni spomin

■ zadržanje informacije v nevronske tokokrogih

- reverberacijske zanke
- post-tetanična postsinaptična facilitacija
- podaljšana depolarizacija nevronov (elektrotonični dendritični potencialov)
- drugi vzburjevalni in zaviralni mehanizmi?, hoteno ponavljanje informacije v mislih

- kratkoročna sprememba v učinkovitosti sinaptičnih povezav (oz. sinaptičnega prenosa)

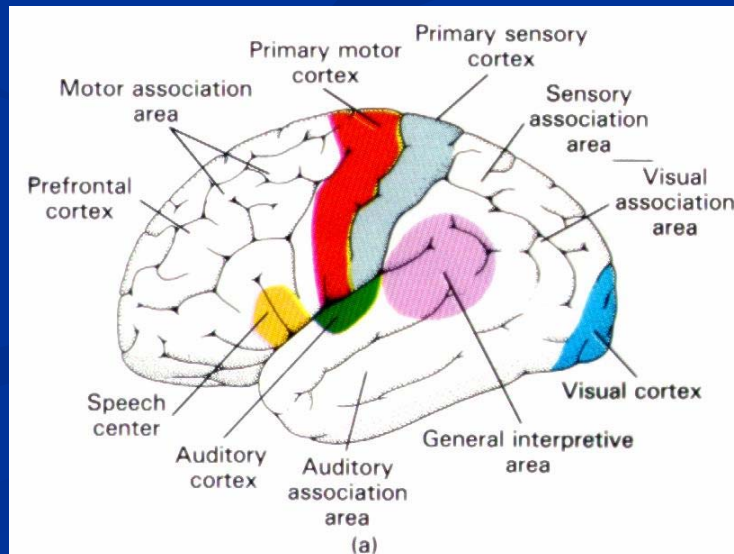


Guyton in Hall, 2006

Reverberacijske zanke v živčevju

Funkcijska anatomija delovnega spomina (celične elektrofiziološke študije, fMR študije)

- **prefrontalna skorja** (ventrolateralna čelna skorja, dorzolateralna čelna skorja, anteriorna čelna skorja)
- **premotorična skorja**
- **limbični predeli**
- **posteriorna asociacijska skorja**



FUNKCIJSKA SPECIALIZIRANOST STRUKTUR ČELNEGA REŽNJA

1.) teorija specifičnih domen

> specializirana področja za različne modalitete dražljajev (Goldman-Rakić, 1995; Levy in Goldman-Rakić, 2000)

2.) teorija specifičnih procesov

> funkcijska specializiranost področij glede na tip procesov, ki operirajo z dražljaji (Curtis in dr., 2000; Owen in dr., 1999)

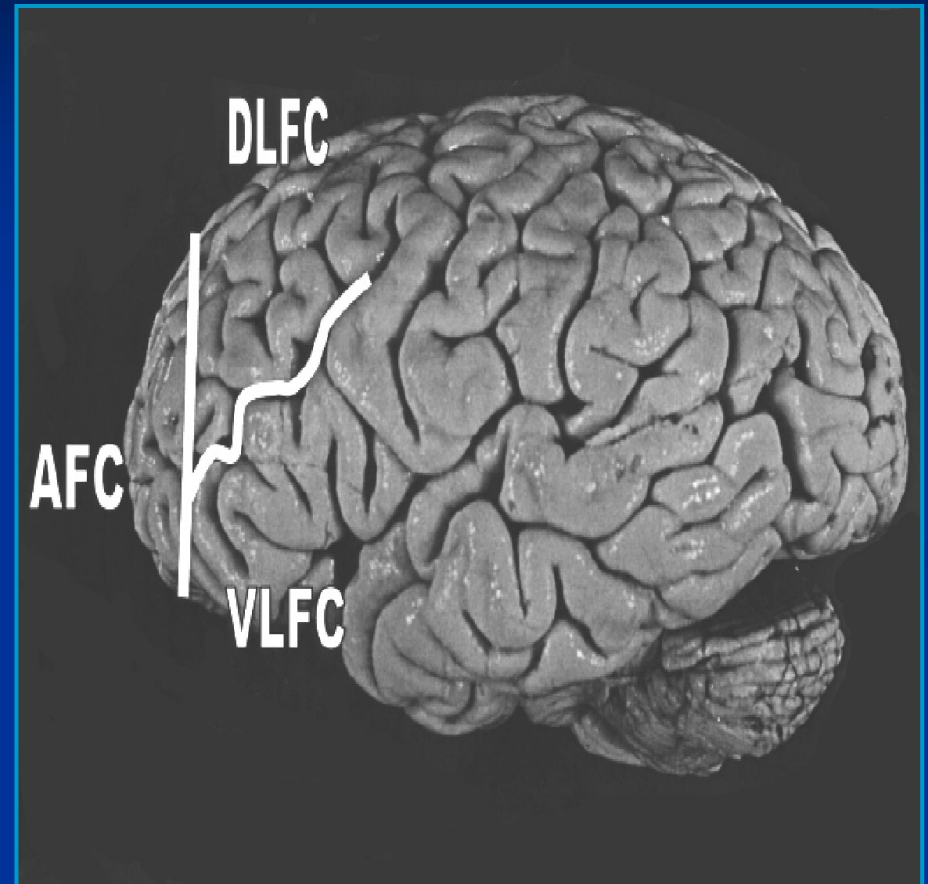
PERSPEKTIVA "ČLOVEŠKE" KOGNITIVNE PSIHLOGIJE: MODEL KOMPONENT DELOVNEGA SPOMINA

Komponente delovnega spomina > različni neuroanatomski korelati:

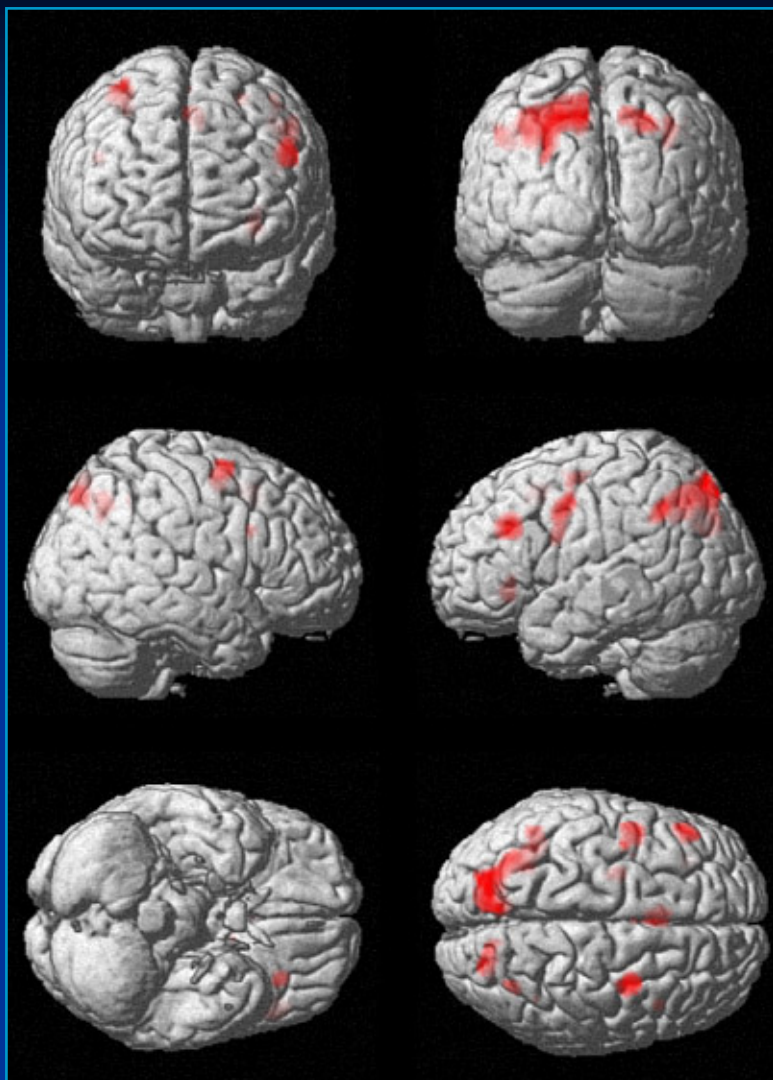
- **ventrolateralno področje (VLFC):** ohranjevanje, ponavljanje informacij (suženjski podsistem delovnega spomina)
- **dorzolateralno področje (DLFC):** manipuliranje, upravljanje z informacijami (centralni izvršitelj)
- **anteriorno področje (AFC):** kompleksne problemske naloge (centralni izvršitelj)

Hipotetična lateralizacija funkcij (Postle in dr., 2000):

- govorne informacije (fonološka zanka): **leva hemisfera**
- vidno-prostorske informacije (vidno-prostorska skicirka): **desna hemisfera**



Fletcher in Henson, 2001



Koritnik in dr., 2004

Funkcijsko magnetnoresonančno slikanje možganov (fMR) med nalogo delovnega spomina: aktivirana področja - rdeče

1. Procesi delovnega spomina: sočasna aktivacija številnih možganskih področij (predvsem čelni in zadajšnji predeli)

GLAVNE RAZISKOVALNE DILEME:

1. "KAKO" se informacija shranjuje? tonična ekscitacija > "delay period activity" selektivnost nevronov glede na dražljaj (npr. smer itd.)
2. "KAJ" je informacija, ki se shranjuje?
3. procesi manipulacije: dinamične interakcije med prefrontalnimi nevroni, procesi transformacije informacij?
4. medsebojna integracija in koordinacija vpletenih področij?

>> **problem povezovanja**

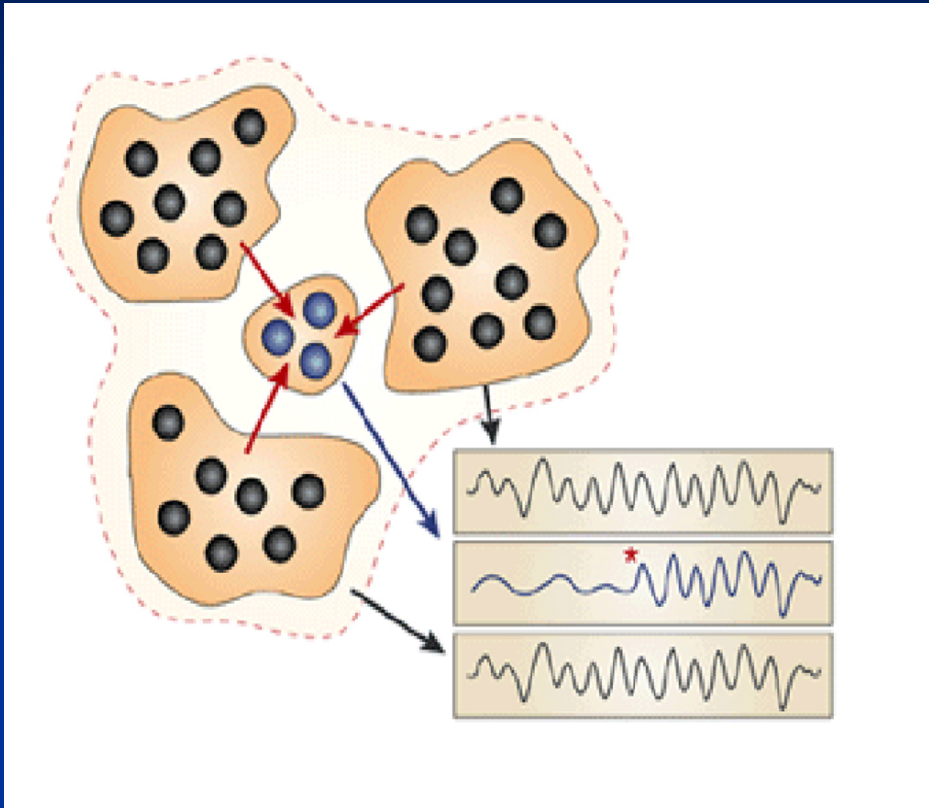
PROBLEM POVEZOVANJA ("BINDING PROBLEM")

- Vzporedno in distribuirano obdelovanje informacij v možganih
- Funkcija: sinhronizirana interakcija več (definiranih) možganskih predelov
 - vidna percepcija, kompleksni motorični vzorci, vidno-motorična integracija ...
- **KAKO MED SEBOJ SODELUJEJO PROSTORSKO LOČENA, A V ISTO FUNKCIJO VPLETENA MOŽGANSKA PODROČJA (»PROBLEM POVEZOVANJA«)?**

REŠITVE PROBLEMA POVEZOVANJA

1. Sinteza oz. kodiranje združevanja vidikov informacij prek procesov pozornosti (Treisman, 1988)
2. Postopna obdelava na hierarhičnih ravneh, celice s selektivno vzdražnostjo (teorija "grandmother neuron") (Gross in dr., 1981)
3. **"Sinhrone" oscilacije v električni aktivnosti med prostorsko ločenimi nevronskimi mrežji**

DRUGAČEN POJEM "SINHRONIZACIJE" OSCILACIJ

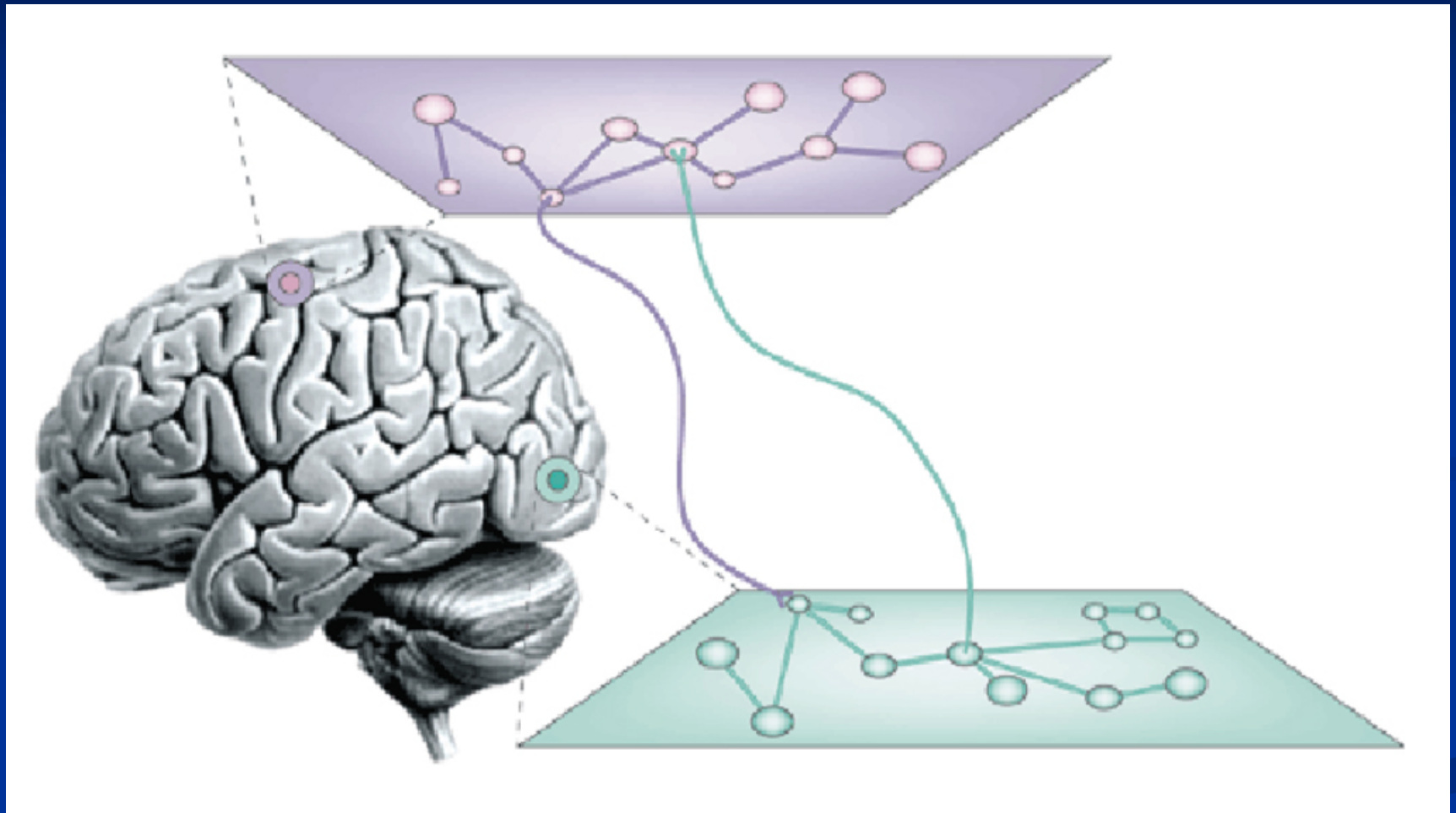


- **Razlike od pojma sinhronizacije kot osnove EEG-signala:**
 - prostorske skale
 - fazna in močnostna sklopljenost, stopnja konsistence signalov
 - mera podobnosti, korelacije dveh signalov
- **Mehanizem**
 - prenos električnih signalov prek hipotetičnih anatomskih povezav?
 - Indukcija- več načinov?
- **»Merjenje«: EEG-koherenca kot metoda analize signala**

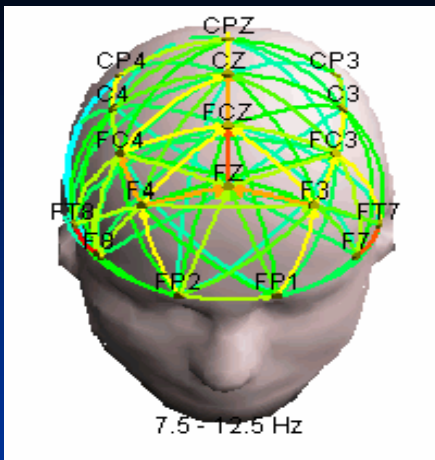
Vir:
http://www.sbg.ac.at/psy/people/klimesch/downloads/vo_eeg-oscillations/vo1abstract.ppt#1

"Sinhronizacija" električne nevronske aktivnosti med prostorsko ločenimi nevronskimi mrežji

Možgani kot »omrežje omrežij« - analogija z internetom?



EEG-KOHERENCA



NERA FUNKCIJSKE ŠKLOPLJENOSTI MED LOČENIMI MOZGANSKIMI PODROČJI

- >> metoda analize EEG-signalov med dvema možganskima področjema
- >> stopnja "sinhroniziranosti" oscilacij (med 0 in 1)
- >> časovno usklajeno naraščanje in upadanje zastopanosti (moči) specifične frekvence v frekvenčnem spektru

$$\Delta C_{xy} = C_{aktivnost} - C_{mirovanje}$$

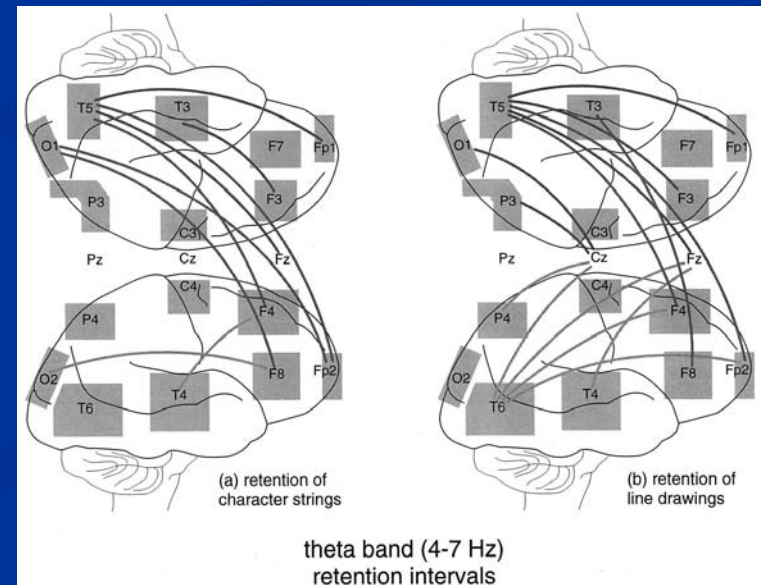
$$C_{xy}(\omega) = \frac{|\Phi_{xy}(\omega)|^2}{\Phi_{xx}(\omega) \cdot \Phi_{yy}(\omega)}$$

KOHERENCA: normiran križno-korelacijski močestni spekter med signaloma x in y:

- $C_{xy}(\omega)$ – vrednost koherence med signaloma x(k) in y(k)
- $\Phi_{xy}(\omega)$ – vrednost križno-korelacijskega močestnega spektra signalov x(k) in y(k)
- $\Phi_{xx}(\omega)$ – vrednost avto-korelacijskega močestnega spektra signala x(k)
- $\Phi_{yy}(\omega)$ – vrednost avto-korelacijskega močestnega spektra signala y(k)

KOHERENTNE OSCILACIJE: RAZISKOVANJE INTEGRATIVNIH FUNKCIJ MOŽGANOV

- specifični vedenjski konteksti
 - enostavni in kompleksni gibi, zaporedja gibov
 - obojerno učenje
 - prepoznavanje objektov
 - vidno-motorična integracija
 - kognitivne funkcije (delovni spomin, izvršitvene funkcije,...)
- sinhrona (koherentna) oscilacija:
 - specifični frekvenčni pasovi
 - specifični prostorski vzorci



Vir: Sarnthein, 1998

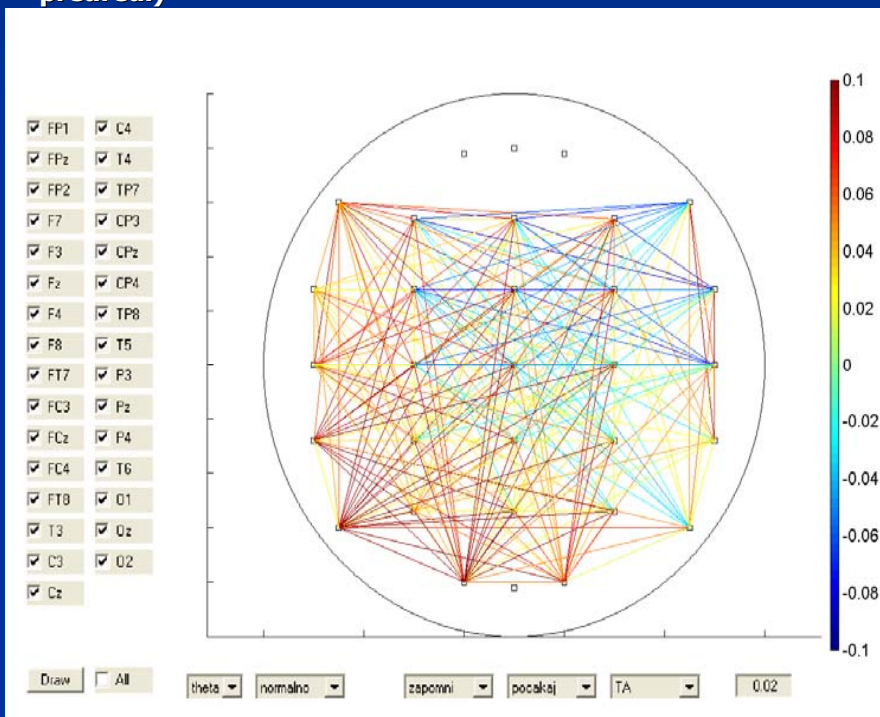
EEG-KOHERENCA in DELOVNI SPOMIN

- Različne eksperimentalne paradigme delovnega spomina: merjenje EEG-koherence med procesi delovnega spomina
 - **Povečanje EEG-koherence** v theta, alfa in gama frekvenčnem pasu med **procesi delovnega spomina** (Serrien in dr., 2003; Sauseng in dr., 2004; Sarthein in dr., 1998; Jensen in dr., 2002, Klimesch, 2000;...)
 - **Spremembe EEG-koherence** v odvisnosti od **obremenitve delovnega spomina** (Gevins in dr., 1997, Jensen, 2000, ...)

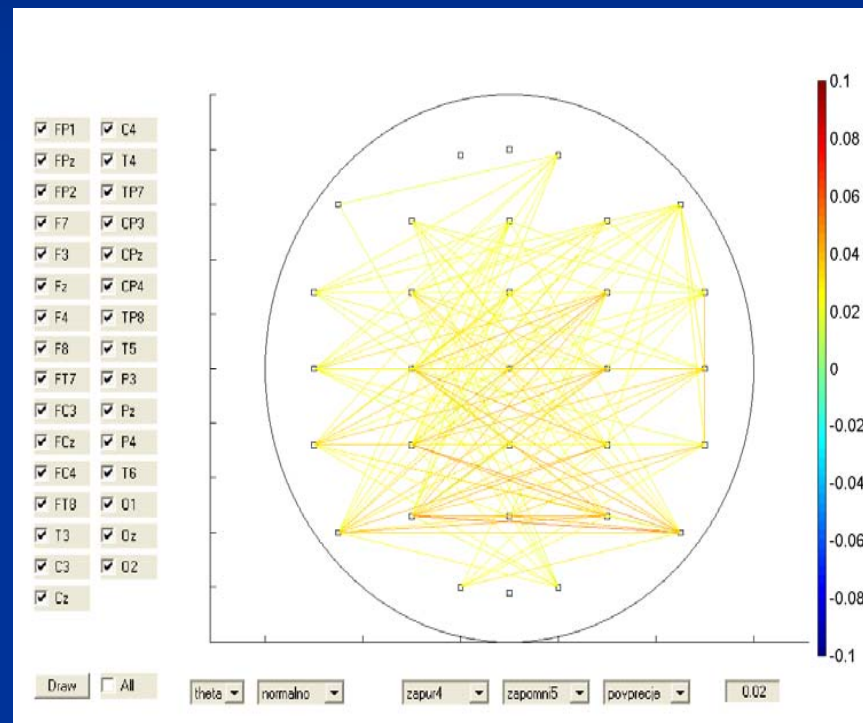
RAZISKAVA "SPREMEMBE EEG-KOHERENCE MED PROCESI DELOVNEGA SPOMINA": VZDRŽEVANJE vs. UPRAVLJANJE Z INFORMACIJAMI

Spremembe koherence: prikaz na modelu glave

STERNBERGOVA PARADIGMA DELOVNEGA SPOMINA (zapomni vs. preuredi)

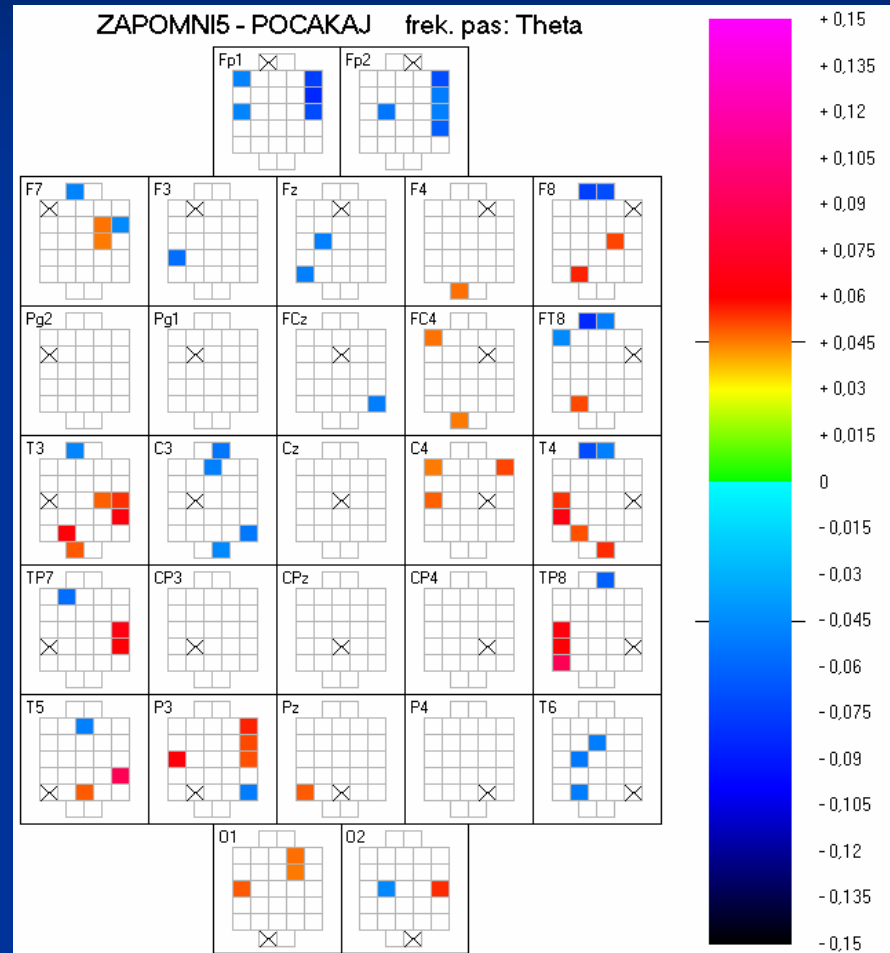


Delovni spomin: **vzdrževanje informacij**
(theta frekvenčni pas)



Delovni spomin: **upravljanje z informacijami**
(theta frekvenčni pas)

NATANČNA DOLOČITEV KOHERENCE MED PARI ELEKTROD



REZULTATI RAZISKAVE

- **Vzdrževanje informacij** vs. kontrola: obsežna anterio-posteriorna simetrična povečanja koherence v theta (4-7 Hz), alfa 1 (8-10 Hz), alfa 2 (10-12 Hz) and gama (30-50 Hz) frekvenčnem pasu (med čelnimi, senčnimi in temenskimi področji možganov).
- **Upravljanje z informacijami**: bilateralna daljna anterio-posteriorna povečanja koherence v theta in alfa 2 frekvenčnem pasu.
- **Vzdrževanje, upravljanje z informacijami**: tudi zmanjšanja koherence med nekaterimi možganskimi področji
 - **procesi delovnega spomina zahtevajo funkcijsko povezanost sprednjih in zadajšnjih predelov možganov, s specifičnimi procesi v povezavi s specifičnimi frekvenčnimi pasovi**

NEVROFIZIOLOŠKA TEORIJA SPOMINA IN DRUGIH MENTALNIH FUNKCIJ

- **Delovni spomin morda posredujejo multiple sinhronizirane (koherentne) oscilacije v električni aktivnosti v različnih frekvenčnih pasovih z različnimi prostorskimi vzorci in funkcijami.**

Primer: sinhronizacija oz. povečanje koherence v theta frekvenčnem pasu med procesi delovnega spomina posreduje funkcijsko povezovanje (usklajevanje) zadajšnjih predelov možganov, kjer se informacija shranjuje in čelnih predelov, kjer se relevantna informacija vzdržuje, osvežuje in se z njo upravlja (Baddeley-ev model)

- **Zmanjšanja koherence:** funkcijska odklopitev motečih interakcij, selektivna pozornost?
- **Izvršitvene funkcije (centralni izvršitelj):** večja integracija antero-posteriornih in interhemisfernih nevronske omrežij (ne gre zgolj za vpletenost prefrontalnega korteksa?)
- **Lateralizacija funkcij:** verbalne naloge - bolj leva hemisfera, vidnoprostorske bolj desna, v naši raziskavi nismo dokazali

FUNKCIJSKI KORELATI SPECIFIČNIH MOŽGANSKIH RITMOV PRI DELOVNEM SPOMINU

- **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 ...

**Sinhrona koherentna oscilacija električne aktivnosti
morda predstavlja
funkcijski nevronske korelat višjih mentalnih funkcij**

PERSPEKTIVE ŠTUDIJ KOHERENCE

- Izbira ustreznih kognitivnih/vedenjskih paradigem in nevropsiholoških testov omogoča študij fizioloških in patofizioloških vidikov kognitivnih, motoričnih in senzoričnih integrativnih funkcij možganov
- Perspektive tudi klinične: iskanje faktorjev oz. mehanizmov, ki motijo "povezanost" možganov in tako prispevajo k nekaterim nevrološkim in psihiatričnim boleznim

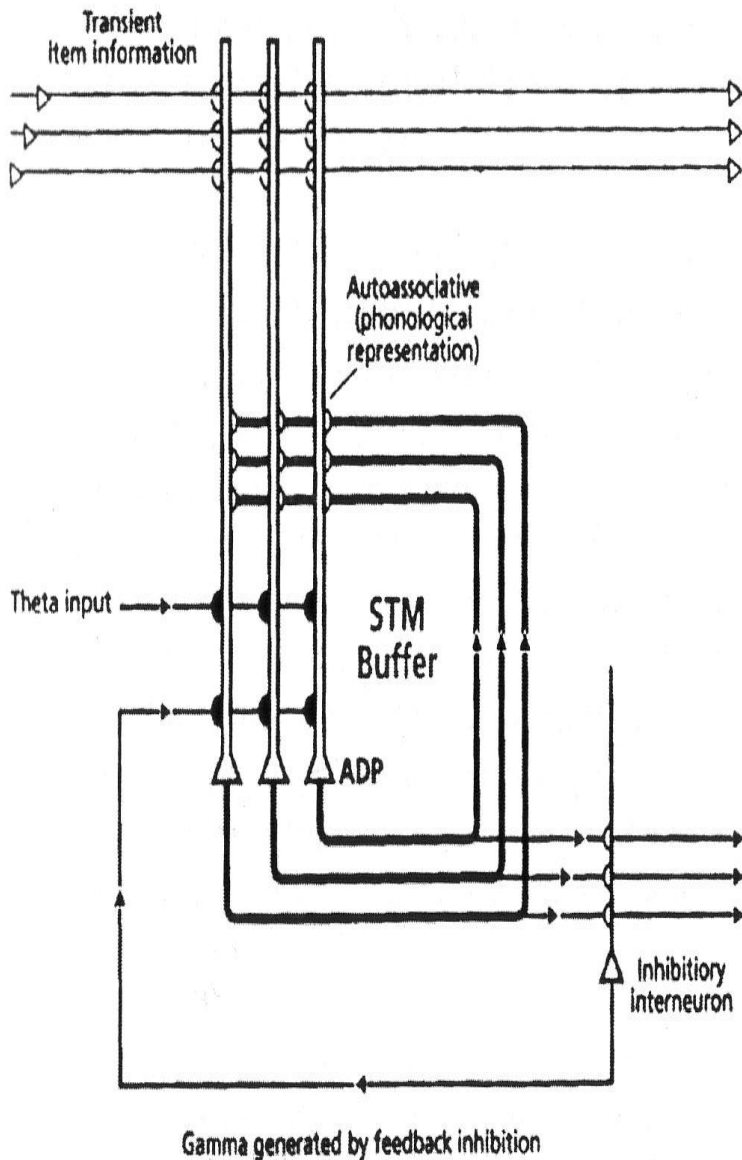
Je stara mama nevron?



NE SPRAŠUJTE MENE!

Hvala za pozornost!

LIJ (Lisman, Idiart, Jensen, 1998) MODEL delovnega spomina



Slika 4. LIJ model kot model omrežja, ki deluje kot multi-kodni bufer kratkoročnega spomina.

Theta in gama oscilacije igrajo glavno vlogo v modelu. »ADP (afterdepolarization)« nastane, ko se določen nevron/ nevronske vzorec primarno sproži (zaradi senzoričnega inputa) in povzroči depolarizacijsko stopnico/ odklon? (ramp), ki omogoča ponovno proženje istega nevrona po določenem časovnem zamiku. Ti depolarizacijski odkloni so časovno razmejeni (temporarily offset?) za različne spominske kode, kar omogoči da se različni kodi aktivirajo v različnih zaporednih gama ciklih. Glavna funkcija takega sistema- bufra je v tem, da omogoča tako obnavljanje proženja nevronov, ki hkrati obdrži tudi serijski red (»serial order«), informacijo o zaporedju različnih kodov. Čas ponovitve celotnega ciklusa je določen s theta oscilacijami oz. zunanjim theta inputom, ki tako posreduje kontekst delovnega spomina. Gama oscilacije pa nastanejo kot posledica izmenjavanja med ekscitacijo in medsebojno inhibicijo različnih nevronske kodov (celica oz. nevronske vzorec, ki ima največji depolarizacijski odklon, bo kot prva prožila ponovno) zaradi zaporedne, ločene aktivacije vsakokratno različnih spominskih kodov.