

Bioelektrični procesi u ljudskom organizmu

Prof. dr Milan Kovačević

Uvodne napomene

- Bioelektrični procesi igraju važnu ulogu u medicini.
- Ovi procesi su od izuzetne važnosti za razumevanje funkcionisanja organizma.
- U osnovi, postoje dva aspekta izučavanja elektriciteta i magnetizma u medicini:
 - električni i magnetni efekti generisani u ljudskom organizmu (biostruje, biopotencijali, biomagnetna polja),
 - primena elektriciteta i magnetizma na ljudski organizam u cilju dijagnostike ili terapije.

Električni signali u organizmu

- Svaka funkcija ljudskog organizma ili njegovih delova praćena je odgovarajućom promenom rasporeda naelektrisanja.
- Ta promena se može prostirati kroz nervni sistem u vidu električnih signala.
- Mnogobrojni električni signali se neprekidno generišu i transportuju kroz nervni sistem.
- Selektivnim merenjem parametara specifičnog signala, mogu se dobiti korisne dijagnostičke informacije o pojedinim funkcijama.

nastavak...

- Ljudski organizam takođe može (namerno ili ne) biti izložen dejstvu spoljašnjeg električnog ili magnetnog polja ili se kroz njega može propuštati električna struja.
- Proučavanje i registrovanje odgovora organizma na dejstvo električne struje i uticaj električnog i magnetnog polja može se uspešno upotrebiti u dijagnostici i terapiji.

Ukratko o strukturi nervnog sistema

- Nervni sistem (NS) ima fundamentalnu ulogu u skoro svim funkcijama organizma.
- Komunikacioni sistem: mozak kao centralni kompjuter prima unutrašnje i spoljašnje signale i šalje odgovore.
- Informacije se u oba smera prostiru u vidu električnih signala duž nerava.
- Velika brzina upravljanja sa više miliona informacija istovremeno.

NS – podela

- Podela prema morfologiji: *centralni nervni sistem* (CNS) i *periferni nervni sistem* (PNS).
 - CNS čine mozak i kičmena moždina.
 - PNS se sastoji od moždanih nerava i kičmenih nerava.
- U funkcionalnom smislu NS se deli na *somatski* (voljni) i *autonomni* (nevoljni) nervni sistem.
 - Somatski NS deluje pod uticajem volje i svesti čoveka.
 - Autonomni ili vegetativni NS deluje izvan naše volje i upravlja svim vitalnim procesima ćelija, tkiva i organa.

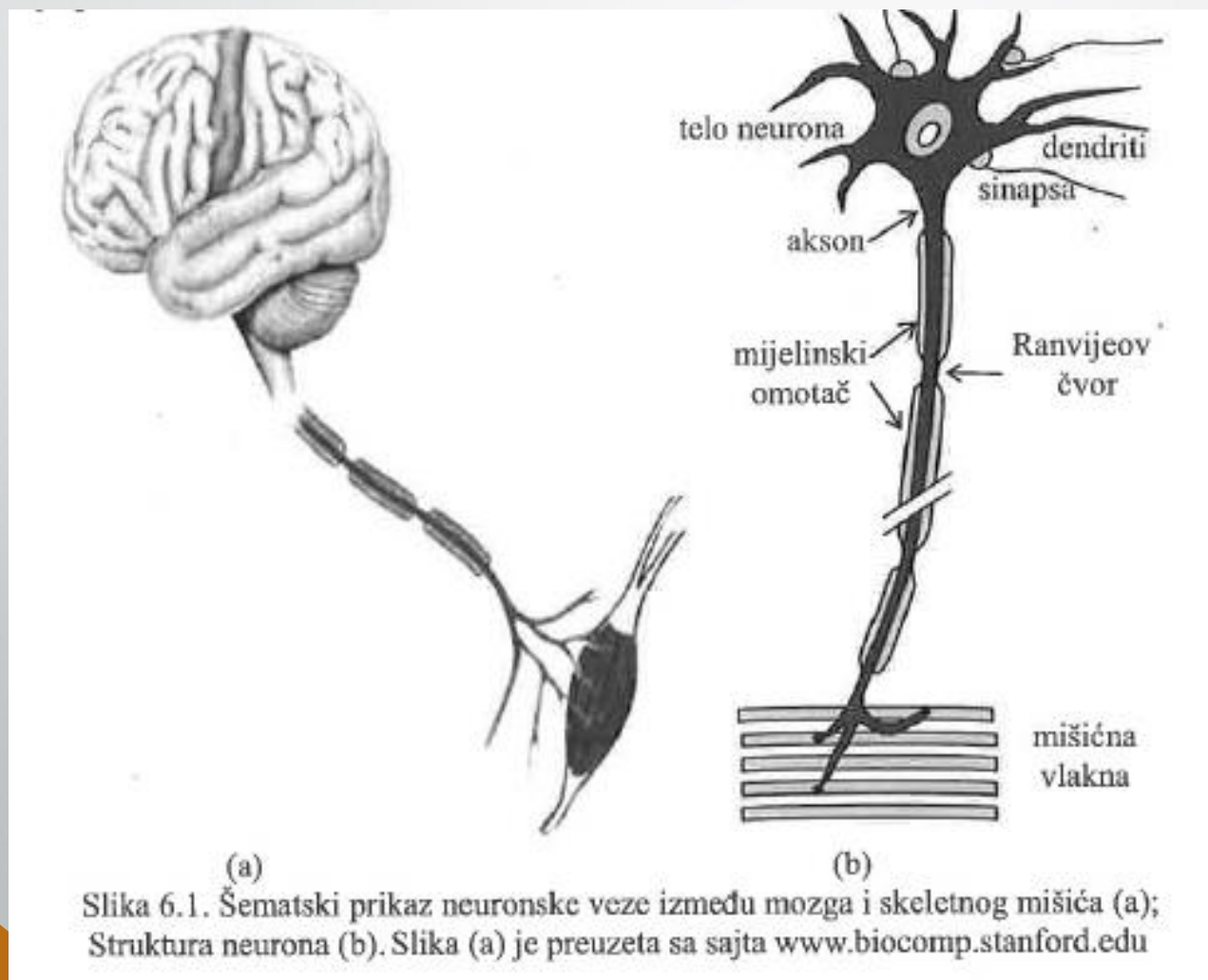
NS - struktura

- Osnovna strukturna jedinica je neuron – nervna ćelija specijalizovana za prijem, interpretaciju i prenos električnih poruka.
- Aferentni nervi prenose senzorsku informaciju mozgu i kičmenoj moždini.
- Eferentni nervi prenose informaciju od mozga i kičmene moždine ka određenim mišićima ili žlezdama.

Neuron

- Sastoji se od:
 - tela, koje prima električne poruke od drugih neurona preko sinapsa lociranih na njemu ili njegovim dendritima, i
 - aksona, nervnog vlakna (može biti dugačko i do 1m) koje prenosi električne signale drugim neuronima, mišićnim vlaknima ili žlezdama. Akson se na kraju deli na grane, na čijem se kraju nalaze nervni završetci u obliku pločica.

Šematski prikaz neuronske veze



Akson


- Akson može, u principu, da prenosi električne signale u oba smera. Međutim signal se po pravilu prenosi od tela neurona ka sinapsama.
- Sinapse, sa svoje strane, dozvoljavaju transport signala samo u smeru od sopstvenog neurona ka drugom neuronu.
- Akson je obično obavijen mijelinom, materijalom koji ima osobine izolatora.
- Mijelinizovana nevena vlakna malog dijametra (~10 nm) omogućavaju veliku brzinu prostiranja signala od oko 10m/s.

Nerv

- S obzirom na mali dijametar, veliki broj vlakana (oko 1000) može biti upakovan u svežanj (*nerv*) poprečnog preseka od svega 1 – 2 mm². Na taj način se na malom prostoru obezbeđuje veliki broj kanala za simultano provođenje električnih signala.

Ranvije-ovi čvorovi

- Na rastojanju od po nekoliko milimetara nalaze se Ranvije-ovi čvorovi, gde dolazi do prekidanja mijelinskog omotača.
- Signal koji je stigao u Ranvije-ov čvor oslabljen je usled otpora aksona.
- Zato ovaj čvor deluje kao pojačavač za restauraciju električnog signala na njegovu prvobitnu veličinu i oblik.
- Na taj način, bez obzira na dužinu puta koji pređe, informacija koju nosi signal stiže na kraj nervnog stabla praktično nepromenjena.



Fizičke osnove membranskog i akcionog potencijala

Podsetnik

- Na difuziju naelektrisanih čestica kroz membranu ćelije osim razlike koncentracija utiče i razlika potencijala.
- Oko svakog naelektrisanja se stvara *električno polje* takvo da ma koje drugo naelektrisanje koje se u njemu nađe oseća delovanje tog polja.
- Potencijal (φ) tog električnog polja definiše se kao energija koju treba uložiti da bi se jedinično naelektrisanje (q) dovelo iz beskonačnosti u datu tačku polja. Potencijal polja predstavlja energiju po naelektrisanju, a meri se i izražava u jedinicima V (volt). $\varphi = E/q$
- Razlika električnih potencijala dve tačke označava se kao napon i obeležava se simbolom U . ($U = \varphi_2 - \varphi_1$)
- Jačina struje (simbol I) je količina naelektrisanja koja protekne kroz provodnik u jedinici vremena i izražava se u jedinicima A (amper).
- Omov zakon za linijske provodnike $I = U/R$, gde je R električni otpor provodnika.

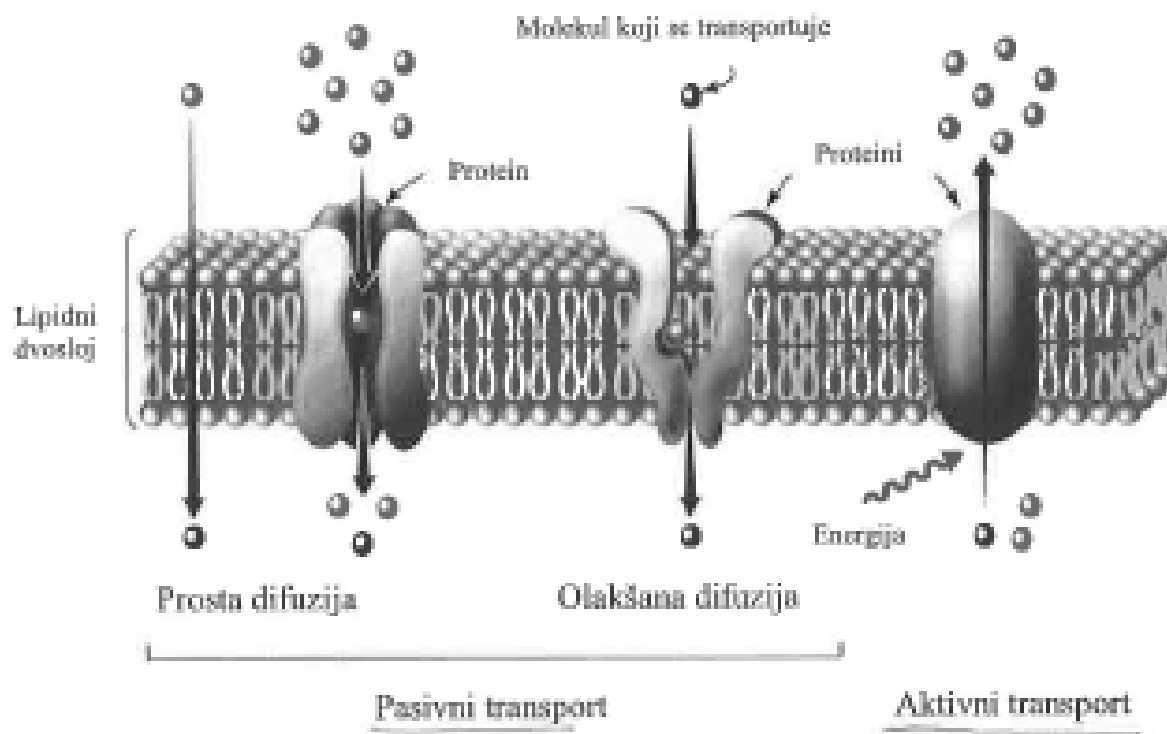
Membranski potencijal

- *Membranski potencijal* (potencijal mirovanja), tj. razlika potencijala postoji na membranama skoro svih ćelija organizma. Ona potiče od razlike u koncentraciji jona koje se na njima održavaju.
- Razlike koncentracije su posledica selektivne propustljivosti mebrane, odnosno razlike u permeabilnosti membrane za različite jone.
- Nastaje kao posledica ravnoteže dva simultana transportna procesa difuzibilnih jona kroz ćelijsku membranu: aktivnog i pasivnog transporta (difuzije).
- Dogovor je da se znak membranskog potencijala računa u odnosu na unutrašnjost membrane. Membranski potencijal je pozitivan ako je pozitivniji sa unutrašnje strane membrane.

Transport supstancije kroz biomebrane

- Pasivni transport – spontana difuzija čestica kroz membranu iz sredine sa višom u sredinu sa nižom koncentracijom čestica
- Olakšani transport – u kome se takođe transportuju čestice sa mesta više ka mestu niže koncentracije, ali uz pomoć molekula nosača koji se nalaze u membrani i koji je ne napuštaju.
- Aktivni transport – kada maseni tok ide iz sredine niže u sredinu više koncentracije prinudnim procesom, u kome se sistemu mora dovesti energija spolja.

Šematski prikaz transporta kroz biološku membranu



Slika 5.7. Šematski prikaz tri vrste transporta kroz biološku membranu.
Slika preuzeta sa sajta www.cwx.prenhall.com

Memranski potencijal - objašnjenje

- Unutrašnjost – *intracelularna tečnost* žive ćelije, kao i njegova okolina – *ekstracelularna tečnost*, sadrže različite elektrolite nejednakih koncentracija.
- Pored različitih koncentracija nedifuzibilnih anjona (A^-), *ekstracelularna tečnost* sadrži velike količine natrijumovih a male količine kalijumovih jona, dok je u intracelularnoj tečnosti obrnuto.
- Ovakav odnos je neophodan za život ćelije.
- Ćelija taj odnos održava pre svega aktivnim transportom jona natrijuma i kalijuma kroz membranu.
- Ti mehanizmi se nazivaju *natrijumova* i *kalijumova* “pumpa”.

Natrijumova i kalijumova “pumpa”

- Ovim mehanizmima se izbacuju joni natrijuma Na^+ iz ćelije, a ubacuju joni kalijuma K^+ .
- Međutim, transport natrijumovih jona je nekoliko puta intenzivniji od transporta kalijumovih, što dovodi do razlike u koncentraciji pozitivnog naelektrisanja sa jedne i druge strane ćelijske membrane, odnosno do stvaranja potencijalne razlike.
- Zato je tečnost u okolini spoljne strane membrane pozitivna, dok intracelularna tečnost negativna.
- *Kako se može izračunati vrednost potencijalne razlike, koja postoji s jedne i druge strane membrane, za pojedine vrste jona?*

Šta dalje?

- Razlika u koncentracijama dovodi spontano do difzije – pasivnog transporta jona, koji se odvija suprotno smeru dejstva natrijumove i kalijumove pumpe.
- Veličina transporta zavisi od propustljivosti ćelijske membrane koja je selektivna u odnosu na različite jone pa je propustljivost za jone natrijuma 50-100 puta manja nego za jone kalijuma. Zbog toga će se manji broj natrijumovih jona vraćati u ćeliju, a veći broj kalijumovih jona biti izbačen iz ćelije.
- Rezultat: dinamička ravnoteža u kojoj se sa spoljne strane ćelijske membrane nalazi višak pozitivnog naelektrisanja koji uzrokuje membranski potencijal od -60 do -90 mV zavisno od vrste ćelija.

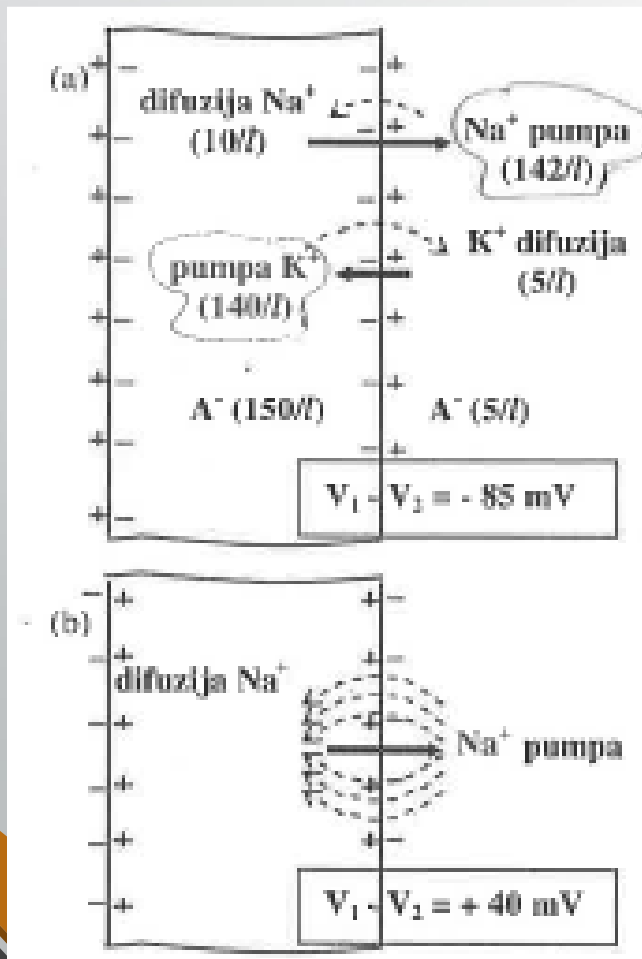
Akcioni potencijal

- Dejstvo električne, mehaničke, hemijske i druge prirode može dovesti do povećanja propustljivostu ćelijske membrane za jone natrijuma, usled čega veliki broj jona vrlo brzo difunduje u unutrašnjost ćelije.
- Zbog toga unutrašnja površina membrane postaje pozitivna, a spoljašnja negativna, što dovodi do promene vrednosti membranskog potencijala.
- Kod aksona se vrednost menja od -85 mV do $+40$ mV. Taj proces se naziva depolarizacija membrane.

nastavak...

- Sa prestankom podražaja polarizacija membrane se vraća u prvobitno stanje. Ovaj deo procesa se naziva repolarizacija membrane.
- Nastali poremećaj (depolarizacija i repolarizacije membrane, kao i njena hiperpolarizacija) predstavlja akcioni potencijal koji se u vidu električnog signala prenosi od mesta nastajanja duž membrane u oba smera.
- Svi potencijali koji nastaju u živom organizmu nazivaju se *bipotencijali*, a struje koje oni izazivaju *biostuje*.

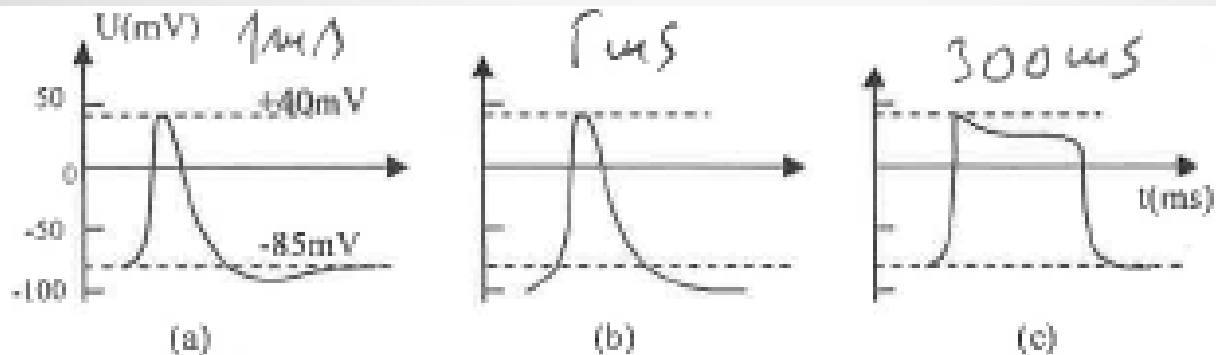
Šematski prikaz transporta jona natrijuma i kalijuma kroz membranu aksona



Slika 6.2. Pri dinamičkoj ravnoteži u transportu jona kroz membranu aksona nastaje membranski potencijal od -85 mV ; broj jona po litru dat je u zagradama (a); Nagla difuzija natrijumovih jona u ćeliju menja vrednost potencijala na $+40 \text{ mV}$ (b).

Oblici akcionog potencijala

- Nastajanje akcionog potencijala odvija se po principu sve ili ništa. Da bi se pojavio, potrebno je da spoljni podražaj ima intenzitet iznad praga podražaja i dovoljno vreme trajanja.
- Ako su ti uslovi ispunjeni, akcioni potencijal će imati uvek jednaku amplitudu i isti oblik.



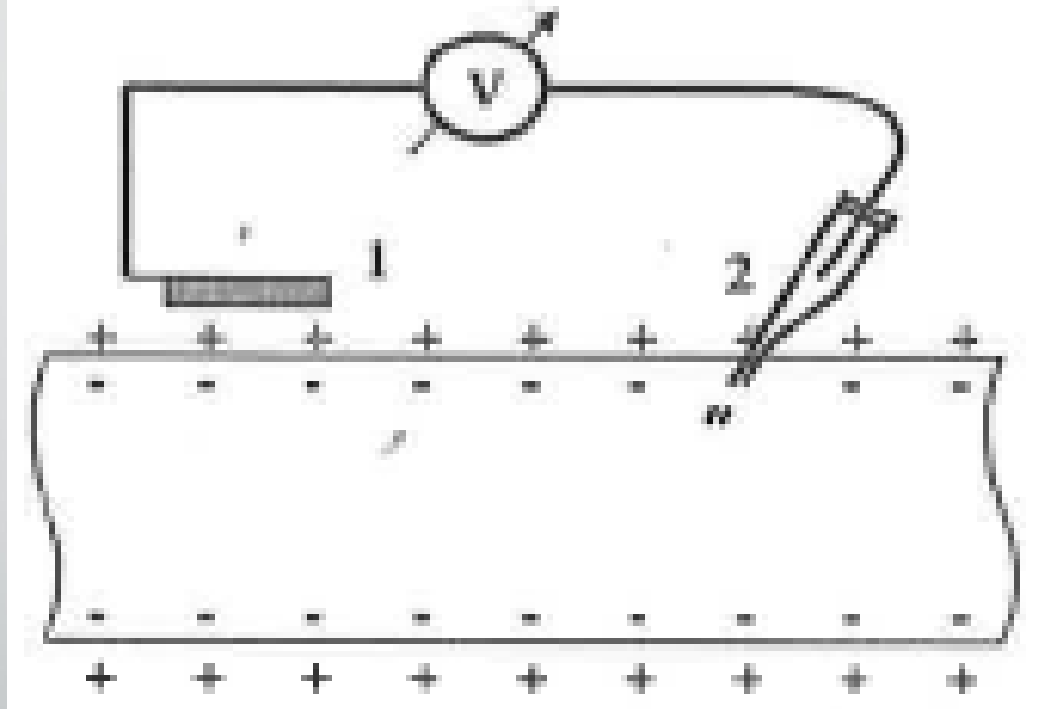
Slika 6.3. Oblici akcionog potencijala: aksona nervne ćelije (a), ćelije skeletnog mišića (b) i ćelije srčanog mišića (c).

Akcioni potencijali aksona nervne ćelije, ćelije skeletnog i ćelije srčanog mišića. Oni se razlikuju i po amplitudi i po obliku. Vreme nastajanja ovih potencijala je različito.

Registrowanje električnih signala

- Merenje biopotencijala i jačina biostruja, kao i struja koje se propuštaju kroz organizam u cilju dijagnostike ili terapije i odgovora organizma, vrši se pomoću električnih instrumenata koji su sa biološkim sistemom povezani preko elektroda.
- Elektrode mogu biti različitog oblika i sastava.
- Uglavnom su u obliku metalne pločice, ili elektrolit, obično 3% KCl, koji se nalazi u staklenoj cevčici. U elektrolit je uronjena žica od srebra.

Mikroelektroda za registrovanje membranskega potenciala aksona



Kako se realizuje merenje?

- Kapilarni deo mikroelektrode (staklene cevi), koji se uvodi u unutrašnjost ćelije, ima veoma mali unutrašnji ($0.2 \mu\text{m}$) i spoljašnji ($0.6 \mu\text{m}$) dijametar.
- Električni kontakt između tkiva i srebrne žice ostvaruje se preko jona kalijuma i hlora, koji nastaju disocijacijom KCl.
- Vodeni rastvor jona kalijuma i hlora je, kao i tkivo, provodnik drugog reda te u njihovom kontaktu ne nastaju nikakvi nepoželjni efekti, što je prednost mikroelektroda.

Problemi sa metalnim elektrodama

- Elektrode napravljene od metala su provodnici prvog reda.
- Tkiva u organizmu su ispunjena rastvorima elektrolita, te predstavljaju provodnike drugog reda.
- Na dodirnoj površini između metalnih elektroda i tkiva javljaju se nepoželjni efekti, koji utiču na tačnost merenja. To su:
 - Elektrohemijski procesi
 - Kontaktni potencijal
 - Polarizacija elektroda

FUNKCIONALNA DIJAGNOSTIKA

- Funkcionalna dijagnostika se bavi električnim registrovanjem i analizom određenih parametara u cilju dobijanja podataka o funkcionisanju pojedinih organa i delova organizma. Deli se na:
 - 1) elektrografiju
 - 2) električno registrovanje neelektričnih parametara
 - 3) edometrija i radimetrija (bavi se registrovanjem parametara u šupljinama ljudskog organizma, direktno ili na daljinu).

Elektrografija

- Biopotencijali se javljaju u ćelijama, tkivima i organima kao rezultat životnih funkcija (membranski potencijal).
- Promene ovih velčina se manifestuju kao kratkotrajni impulsi stalnog ili promenljivog znaka i nazivaju se akcioni potencijali ili potencijali dejstva.
- Potencijali pojedinih ćelija se sabiraju i formiraju zajedničku potencijalnu razliku, koja se može meriti između pojedinih tačaka organa ili tkiva.
- Registrovanje vremenskih promena ovih potencijala i njihova analiza daju vredne podatke o funkcionisanju pojedinih organa ili tkiva.

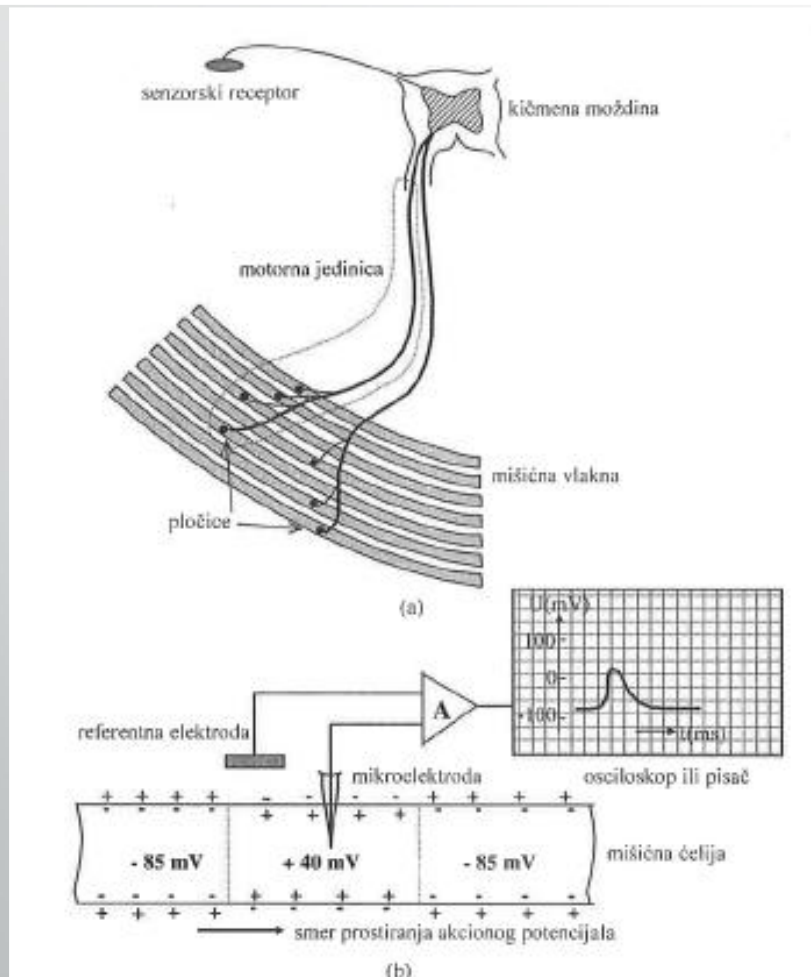
Elektromiogram

- Električni signal mišića – merenje njegove električne aktivnosti.
- Snimak promene potencijala mišića u toku kontrakcije i relaksacije naziva se elektromiogram ili EMG.

Primer jedne motorne jedinice

- Mišić se sastoji od velikog broja mišićnih vlakana.
- Određen broj vlakana (od 25 do 2000) povezan je preko jednog nerva sa mozgom ili kičmenom moždinom, formirajući motornu jedinicu.
- Svako vlakno je u kontaktu sa jednom granom nerva preko nervnog završetka u obliku pločice (tzv. motorička pločica).

Slika 6.11. Šematski prikaz neurona koji polazi od kičmene moždine i završava se na mišićnim vlaknima; isprekidanim linijama je označena motorna jedinica (a). Aranžman instrumenata za merenje akcionog potencijala jednog mišićnog vlakna; referentna elektroda se nalazi u tečnosti koja okružuje vlakno (b).



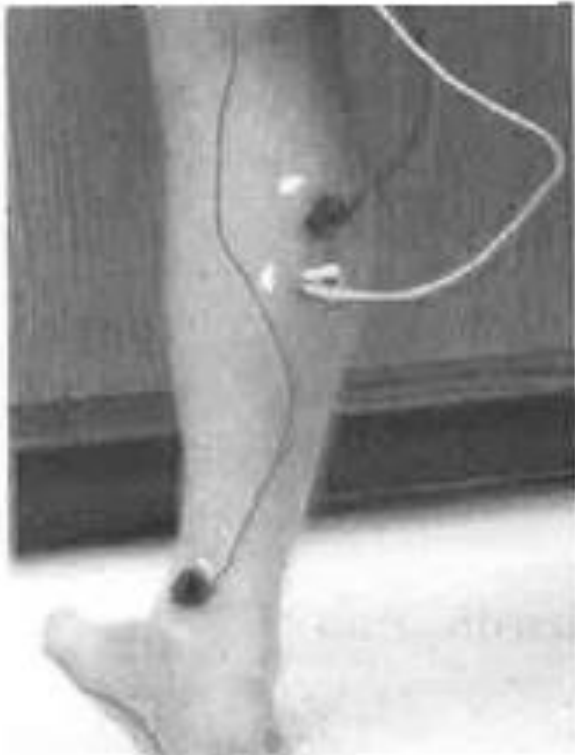
EMG mišića

- Potencijal mirovanja na membrani mišićnog vlakna je po obliku i vremenu trajanja sličan potencijalu mirovanja neurona, odnosno aksona.
- Aktivnost mišića se inicira akcionim potencijalom, koji putuje duž aksona, transmituje se preko pločica u mišićno vlakno i u njemu izaziva kontrakciju.
- Referentna elektroda je u obliku metalne pločice, dok se za drugu elektrodu koristi mikroelektroda.
- U praksi se retko snima akcioni potencijal jednog mišićnog vlakna. Obično se registruje električna aktivnost velikog broja vlakana istovremeno, kada je i druga elektroda u obliku pločice.

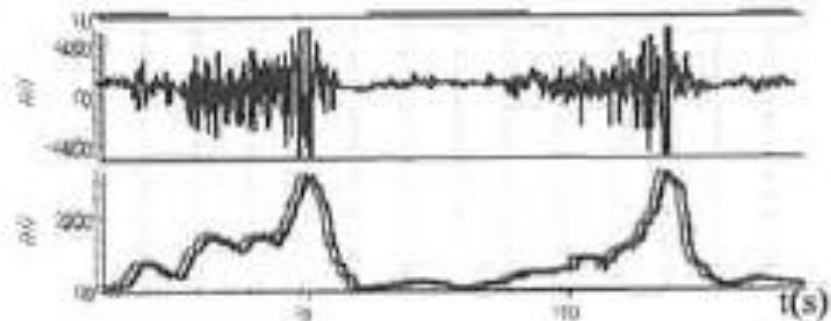
Električna stimulacija mišića

- EMG se može dobiti električnom stimulacijom mišića ili motornih jedinica.
- Ovaj način stimulacije je bolji u odnosu na kontrakciju inicirano centralnim nervnim sistemom, koja se širi na nekoliko motornih jedinica u vremenskom period od oko 100 ms i sa različitim intenzitetom pa se motorne jedinice ne iniciraju istovremeno i na isti način.
- Pri električnoj stimulaciji je vreme stimulacije dobro definisano, tako da se sve motorne jedinice aktiviraju skoro istovremeno.
- EMG motorne jedinice ima veoma komplikovan oblik, pa se često za analizu koristi EMG u integralnom obliku.

EMG mišića noge pri hodanju



Na slici 6.12. je prikazano merenje električne aktivnosti mišića noge pri hodanju. Pozitivna (crvena) i negativna (bela) elektroda postavljene su na mišić, dok crna elektroda služi za uzemljenje. Plavi zapis je apsolutni EMG mišića, dok crni zapis predstavlja EMG u integralnom obliku.

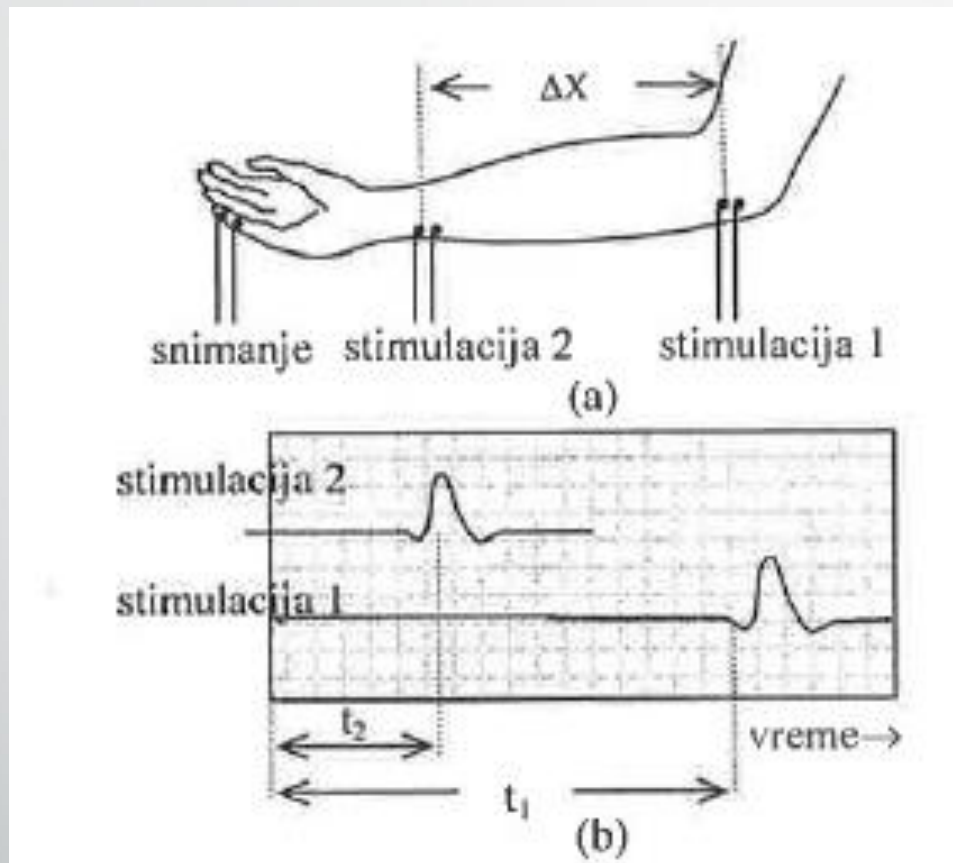


Slika 6.12. Elektromiogram mišića noge pri hodanju: apsolutni EMG – plavi zapis i integralni EMG – crni zapis.

EMG i brzina prostiranja akcionog potencijala

- Pomoću EMG dobijenog električnom stimulacijom može se odrediti brzina proticanja akcionog potencijala.
- Merenje se može izvršiti na podlaktu tako što se istovremeno i sa istim intenzitetom stimulišu dve tačke na određenom rastojanju Δx .
- Impulsi nastali istovremeno putem stimulacija 1 i 2 registruju se na malom prstu pomoću elektroda.
- Latentni period t_1 za registrovanje impulsa nastalog stimulacijom 1 je duži od latentnog perioda t_2 za registrovanje impulsa nastalog stimulacijom 2, jer prvi impuls prelazi duži put.
- Brzina prostiranja impulsa za normalno vlakno je od 40 – 60 m/s. Ako padne ispod 10 m/s smatra se da je nerv ozbiljno oštećen.


Merenje brzine provođenja impulsa



Vreme putovanja impulsa između mesta stimulacije 1 i 2 iznose

$$\Delta t = t_1 - t_2$$

Brzina prostiranja impulsa će biti $v = \Delta x / \Delta t$

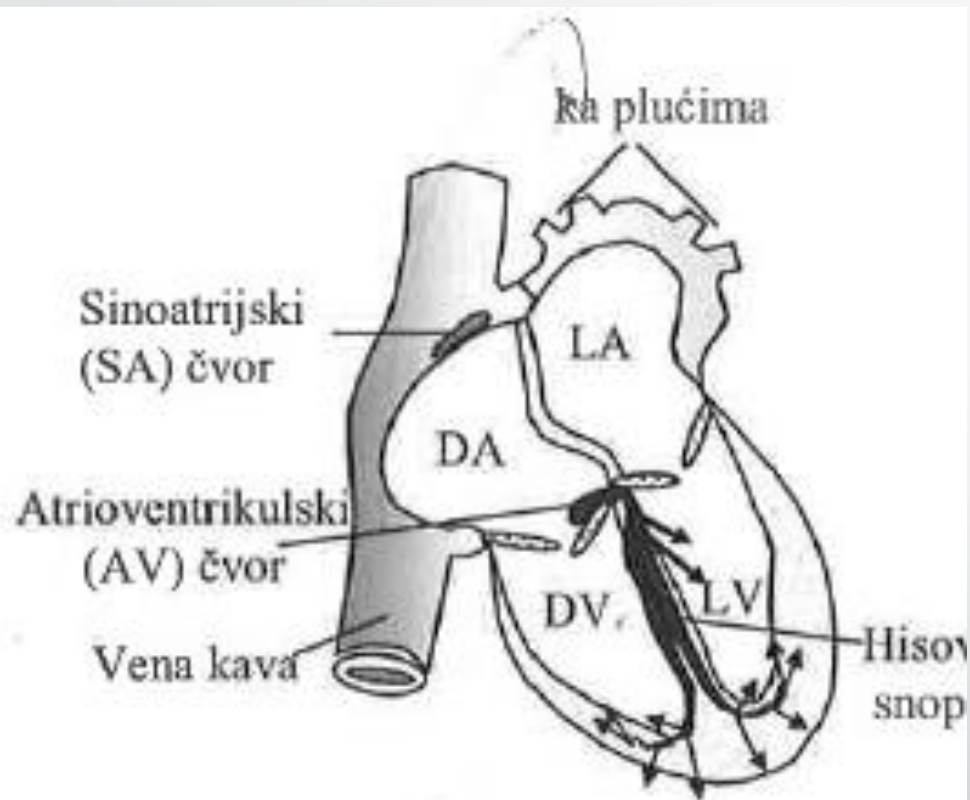


Električni signali srca - elektrokardiogram

Ukratko o ❤️

- ❤️ je dvostruka pumpa, koja se sastoji od četiri komore, levog i desnog atrijuma (LA, DA) i levog i desnog ventrikula (LV, DV).
- DA prima krv iz tela kroz gornju šuplju venu, kontrahuje se i pumpa krv u DV. Kontrakcijom DV pumpa se krv u pulmonalni krvotok.
- U plućima se krv oksigenizuje, a zatim vraća u LA. Kontrakcija LA potiskuje krv u LV, koji se kontrahuje i pumpa krv u sistemski krvotok i to prvo kroz aortu, arterije i arteriole zatim kroz kapilare i na kraju kroz vene odakle se vraća u DA.

Šematski prikaz

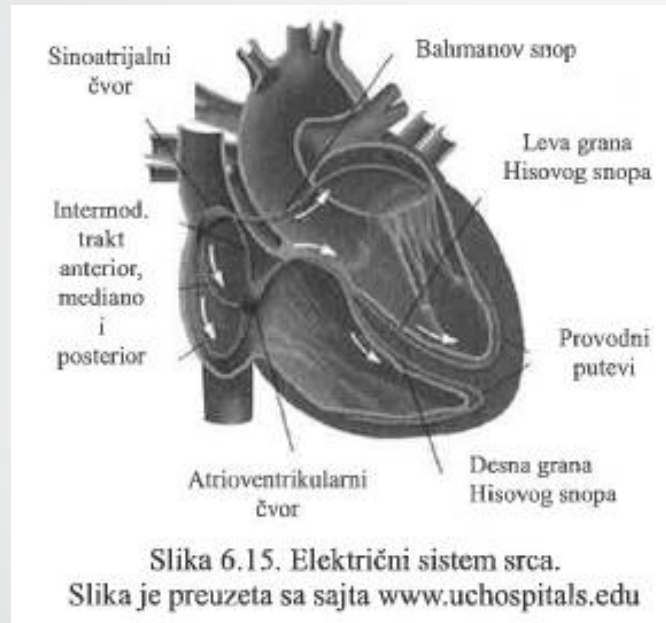


Slika 6.14. Šematski prikaz srca; LA i DA označavaju levi i desni atrijum (predkomoru), a LV i DV levi i desni ventrikul (komoru). Radi jednostavnosti aorta nije prikazana na slici.

Električni sistem srca

- Kontrakcija LA i DA je sinhronizovana, a isto tako i kontrakcija LV i DV.
- Ritmička aktivnost srca inicirana je i kontrolisana električnim signalom, koji se generiše u specijalizovanim mišićnim ćelijama.
- Ove ćelije formiraju *sinoatrijski (SA) čvor*, koji predstavlja prirodni pejsmejker.
- U SA čvoru se generiše akcioni potencijal (oko 72 puta u minuti) i prostire duž celog srčanog mišića po tačno definisanom putu izazivajući depolarizaciju mišićnih ćelija.

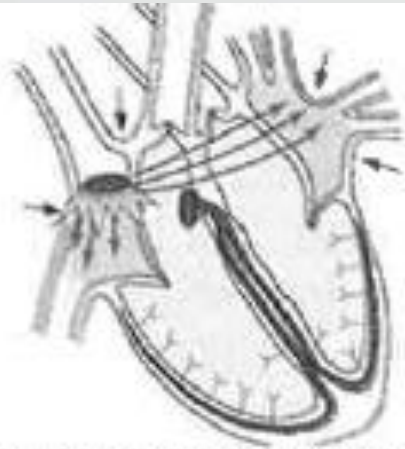
Električni sistem - šema



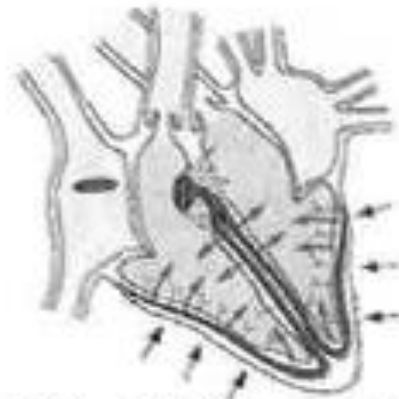
- Depolarizacioni talas (DT) putuje kroz mišićno tkivo atrijuma približno brzinom 1 m/s i izaziva simultanu kontrakciju LA i DA i pumpanje krvi u ventrikule.
- Iza toga nastaje repolarizacija i relaksacija mišića atrijuma.
- DT stiže do dela koji odvaja atrijume od ventrikula – fibrozno vezivno tkivo, koje nije provodno.

nastavak...

- Atrioventrikularski čvor (AV) – jedina provodna struktura.
- Kada električni signal stigne do AV čvora, on inicira dalje prostiranje DT duž Hisovog snopa.
- Talas se zatim deli duž leve i desne grane, koje su intimno povezane sa miokardom putem mrežaste strukture koja se završava Purkinjeovim ćelijama.
- Ove ćelije formiraju poslednju vezu između provodnog sistema i samog miokarda.
- To su individualni prenosiooci informacije koja inicira depolarizaciju LV i DV praćenu njihovom kontrakcijom i pumpanjem krvi u sistemski, odnosno pulmonalni krvotok.
- Nakon toga dolazi do repolarizacije mišića ventrikula i njihove relaksacije, a zatim počinje novi ciklus.



Slika 6.16.a. Akcioni potencijal se iz SA čvora prostire duž atrijuma i izaziva njihovu kontrakciju.



Slika 6.16.b. AV čvor se aktivira, šalje impulse duž provodnih vlakana i izaziva kontrakciju levog i desnog ventrikula.

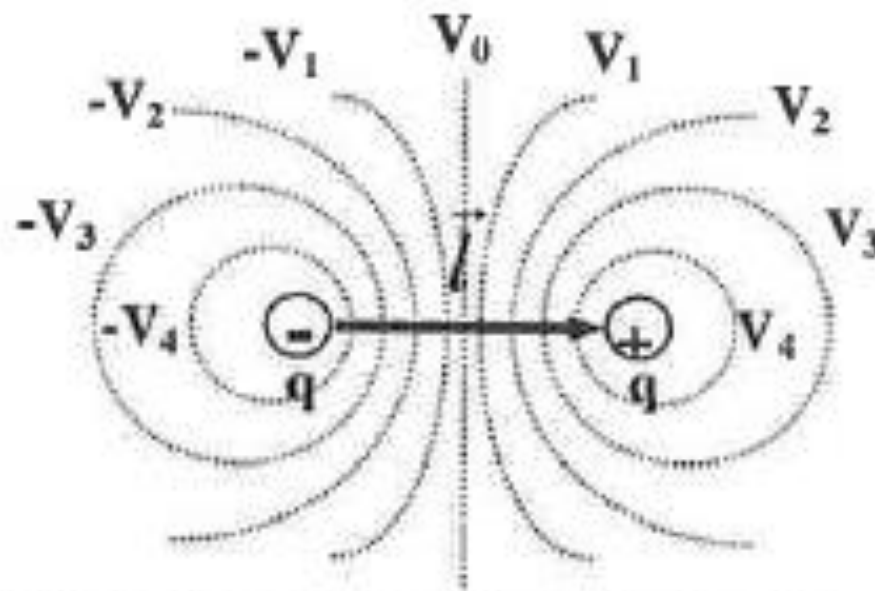
- Očigledno da su električna aktivnost srca i njegovo mehaničko kretanje povezani.
- Naime, svaki mišić srca može da se kontrahuje jedino pod dejstvom električne struje koja kroz njega protiče.
- To znači da se praćenjem i registrovanjem vremenske promene potencijala mogu dobiti dragoceni podaci o mehaničkom funkcionisanju srca.

Srce kao električni dipol

- Merenje promena biopotencijala *in vivo* se ne izvode direktno na srcu, već na površini grudnog koša.
- U tom cilju srce se posmatra kao električni dipol.
- Moment dipola $q\ell$ (q je apsolutna vrednost naelektrisanja, a ℓ je dužina dipola).
- U električnom polju oko dipola svaka tačka ima određenu vrednost potencijala.
- Površine na kojima su vrednosti potencijala u svakoj tački iste, su ekvipotencijalne površine.
- U preseku ekvipotencijalnih površi i neke zamišljene ravni dobijaju se ekvipotencijalne linije, koje povezuju tačke istih vrednosti potencijala.

Ekvipotencijalne linije oko dipola

- Za tačkasta naelektrisanja u dipolu, ekvipotencijalne površine su raspoređene u obliku acentričnih sfera, a linije u obliku acentričnih krugova.

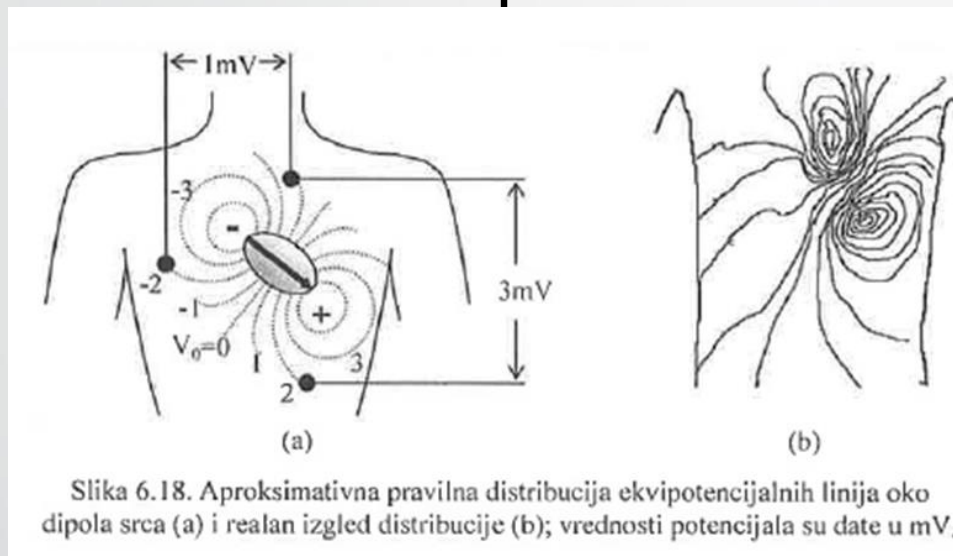


Slika 6.17. Distribucija ekvipotencijalnih linija oko dipola

Srce kao dinamički dipol

- Srce se može posmatrati kao dinamički dipol (dipol koji u prostoru menja svoj položaj i moment).
- Potencijali pojedinih ćelija srca se mogu sabirati pa je srce, posmatrano u celini, na jednom kraju (osnova srca) negativno naelektrisano, a na drugom kraju (vrh srca) pozitivno naelektrisano.
- To znači da se oko srca formiraju ekvipotencijalne površine sa vrednostima potencijala koji se mogu meriti na površini grudnog koša.

Približna raspodela ekvipotencijalnih linija oko dipola srca



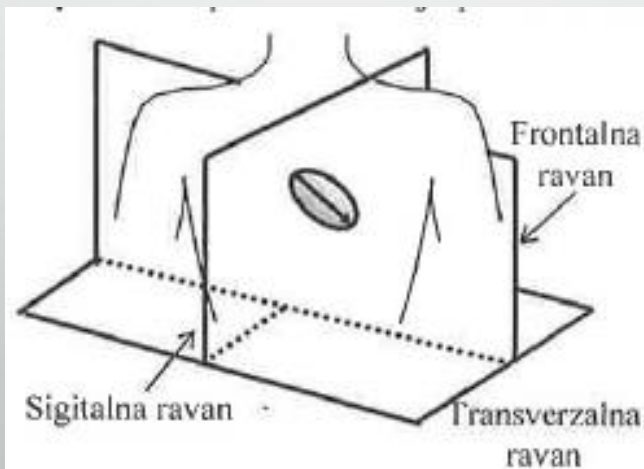
- Razlika potencijala između odabranih tačaka u kojima su postavljene elektrode odgovara položaju dipola srca u jednom trenutku
- Usled mehaničke aktivnosti srca, pri kojoj se samo vrh srca pomera, (kontrakcija i relaksacija atrijuma i ventrikula), položaj pozitivnog kraja dipola se neprekidno menja pa sam tim i pravac i veličina samog dipola.

Razlika potencijala

- Zapis koji se dobija snimanjem promena vrednosti potencijala između dveju fiksiranih tačaka na telu u toku vremena naziva se elektrokardiogram (EKG).
- Važno je da se odabrani položaj elektroda u toku vremena ne menja, jer će EKG za svaki par tačaka imati drugačiji oblik.

Vektor dipola srca

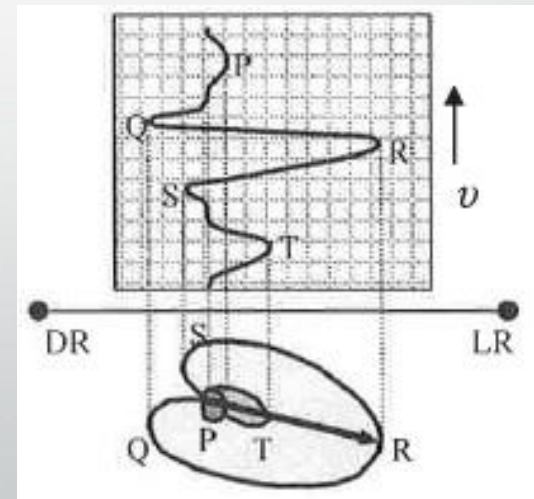
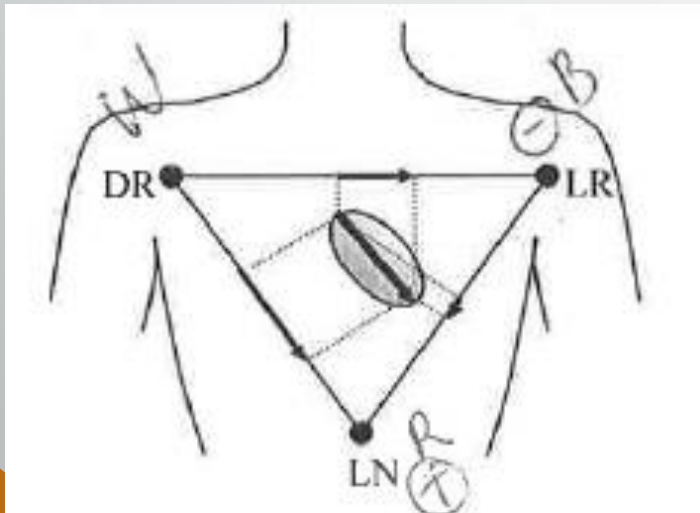
- Struktura srca se najčešće prikazuje u tri elektrokardiografske ravni, koje su uzajamno normalne.
- Vektor dipola srca leži skoro u frontalnoj ravni našeg tela. Za rutinska merenja električne aktivnosti srca odstupanje vektora dipola od frontalne ravni se može zanemariti i pretpostaviti da on leži u frontalnoj ravni.



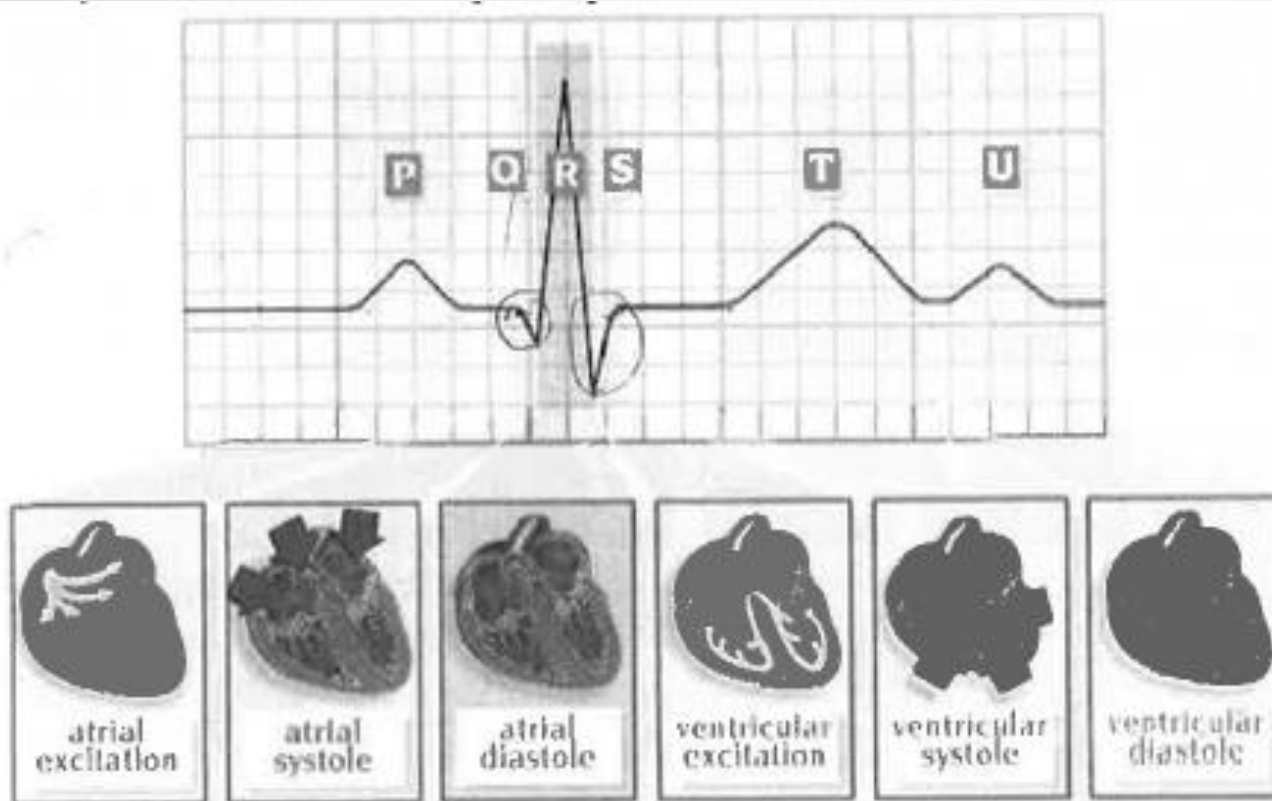
Slika 6.19. Tri elektrokardiografske ravni.

Ajnthoven-ov trougao


- Elektrode se postavljaju na DR, LR i LN.
- Ovim načinom se mere promene tri projekcije vektora dipola na pravce DR-LR, DR-LN i LR-LN.
- Vektori projekcija se menjaju u toku vremena samo po intenzitetu, dok se vektor dipola menja i po intenzitetu i po smeru



Tipičan EKG



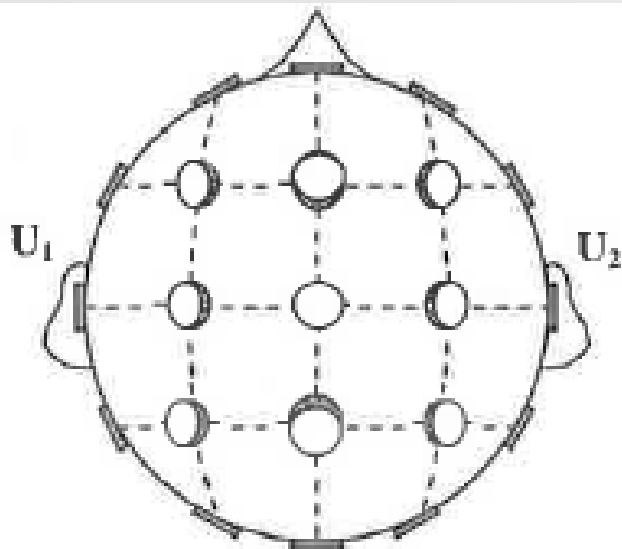
Slika 6.21. Veza između elektrokardiograma i odgovarajuće ekscitacije, sistole i dijastole atrijuma i ventrikula. Slika je preuzeta sa sajta www.mbob.tripod.com



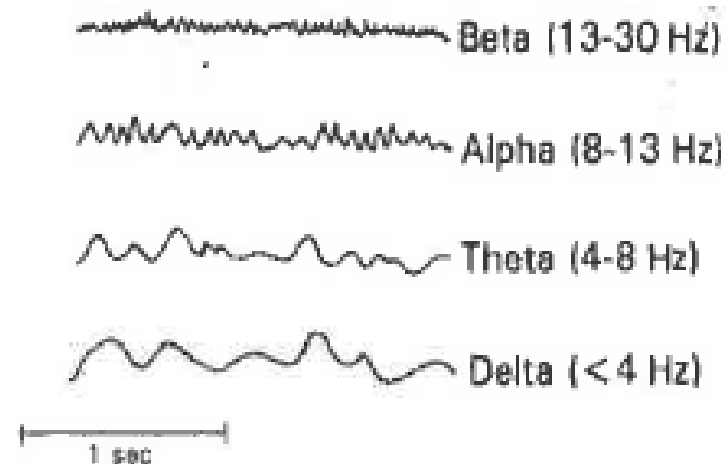
Električni signali mozga – elektroencefalogram (EEG)

EEG

- EEG predstavlja snimak električne aktivnosti pretežno neurona u korteksu mozga.
- Mozak sadrži milijarde neurona koji generišu i propuštaju električne signale.
- Ukupna električna aktivnost rezultira signalima, koji se mogu detektovati i zabeležiti izvan mozga.
- Električna aktivnost mozga se manifestuje kao slabi kompleksni električni signali, koji se mogu registrovati pomoću elektroda.



Slika 6.26. Klasični raspored elektroda na poglavini pri snimanju EEG; U_1 je referentna elektroda a U_2 elektroda vezana za zemlju.



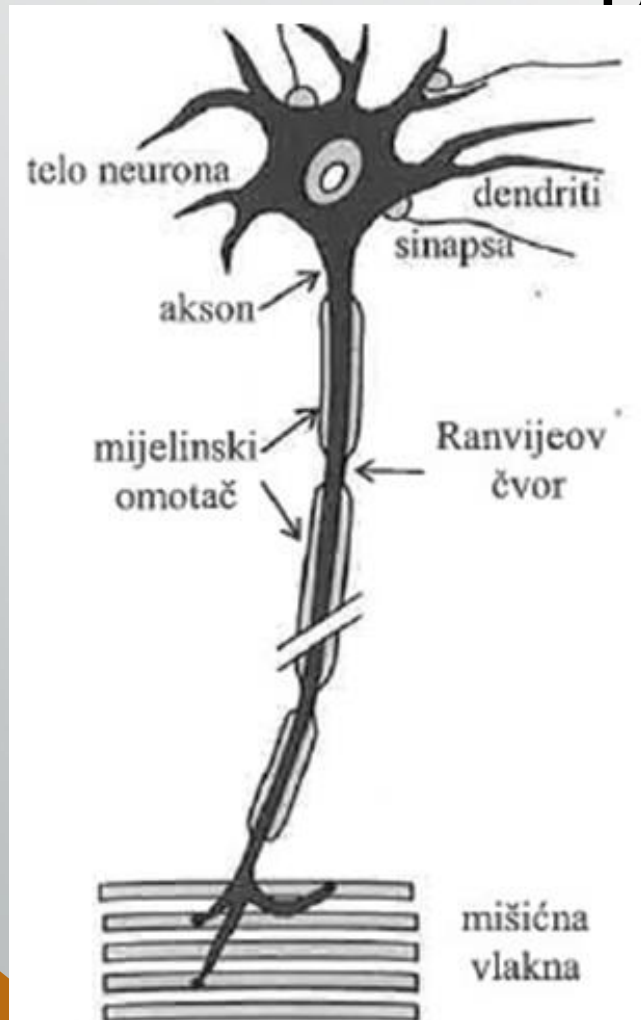
Slika 6.27. Normalni oblik beta, alfa, teta i delta moždanih talasa.

- Amplitude potencijala u EEG su male i iznose oko $50 \mu\text{V}$. Zbog toga je preciznost snimanja često ugrožena uticajem spoljnih električnih signala ili nevoljnim pokretima tela.
- Frekvencije signala su niske i različite.

Pitanja i zadaci

- Izvući odgovore na sva pitanja sa ove prezentacije koristeći se sadržajima sa predavanja.
- Naučiti odgovore na postavljena pitanja.
- Ukoliko ima teškoća u pripremi ispita, konsultacije su putem *Zoom* aplikacije, i/ili putem *emaila*, ili *Skype* sistema (moj *Skype* nalog: kovac_bb).
- Ispitni test će sadržati određeni broj pitanja sa ove prezentacije.

Pitanje 1



- Šematski prikazati strukturu neurona. Naznačiti osnovne delove i objasniti njihovu funkciju u prenosu električnih signala (sematski prikaz dat na ovom slajdu treba da se zna)

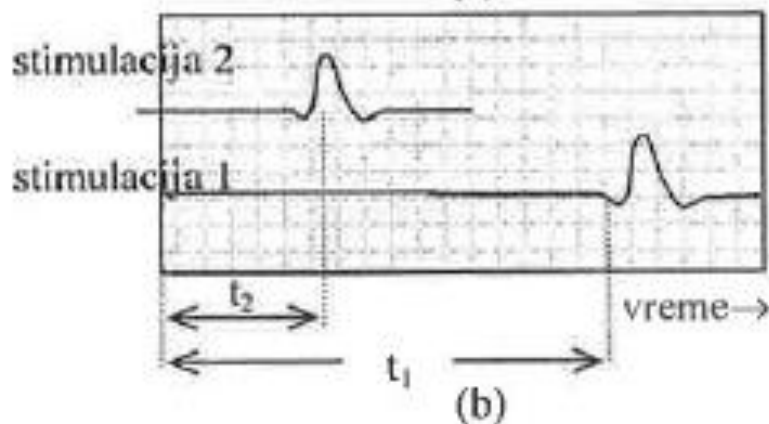
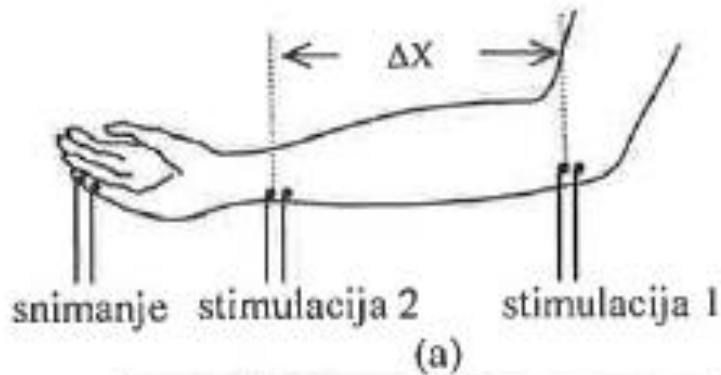
Pitanje 2

- Objasniti mehanizam nastanka membranskog potencijala koji se javlja na membranama skoro svih ćelija organizma.
- Šematski prikazati vrste i intenzitet transporta jona natrijuma i kalijuma kroz membranu aksona.

Pitanje 3

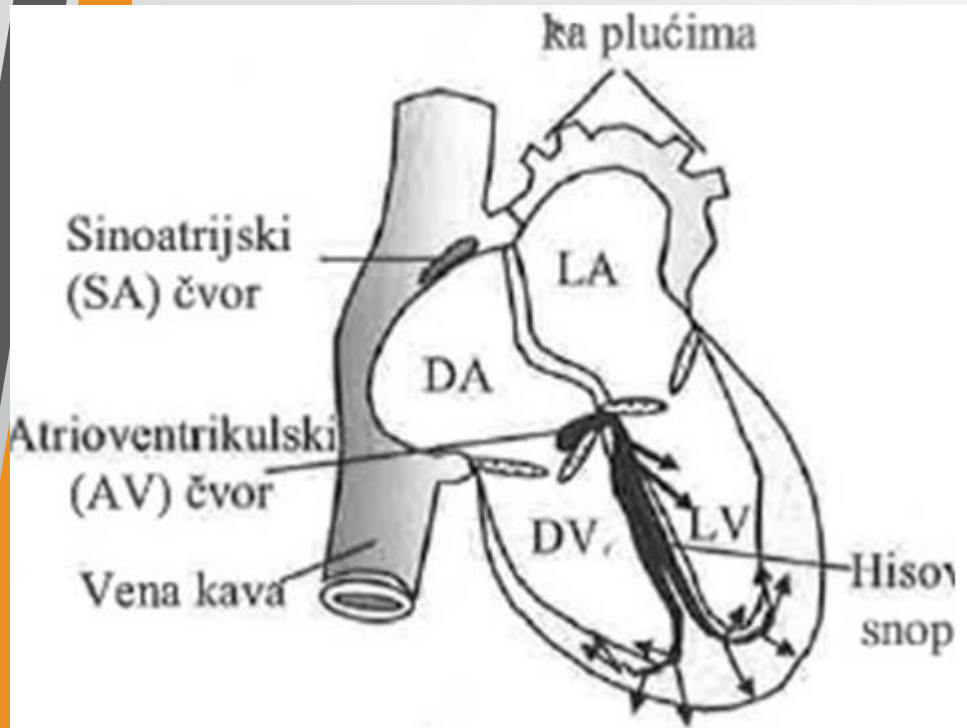
- Objasniti šta predstavlja akcioni potencijal.
- Skicirati oblike akcionih potencijala akosna nervne ćelije, ćelije skeletnog mišića i ćelije srčanog mišića. Šta možete reći o obliku i vremenu nastajanja ovih akcionih potencijala?

Pitanje 4



- Šta je elektromiogram?
- Na slici je prikazan jedan od načina merenja brzine provođenja impulsa motorne jedinice. Objasniti princip.

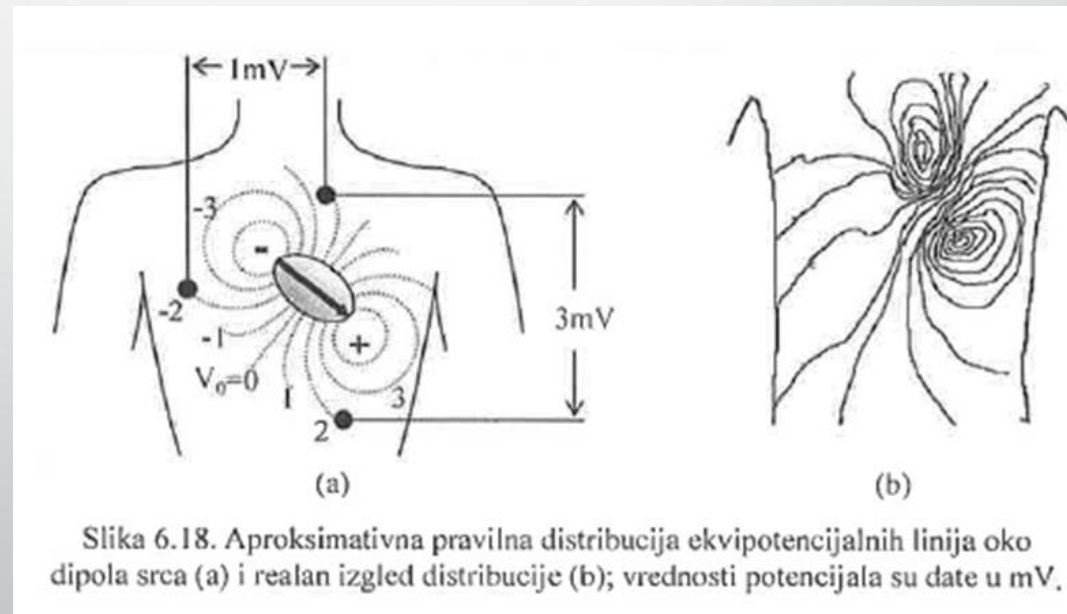
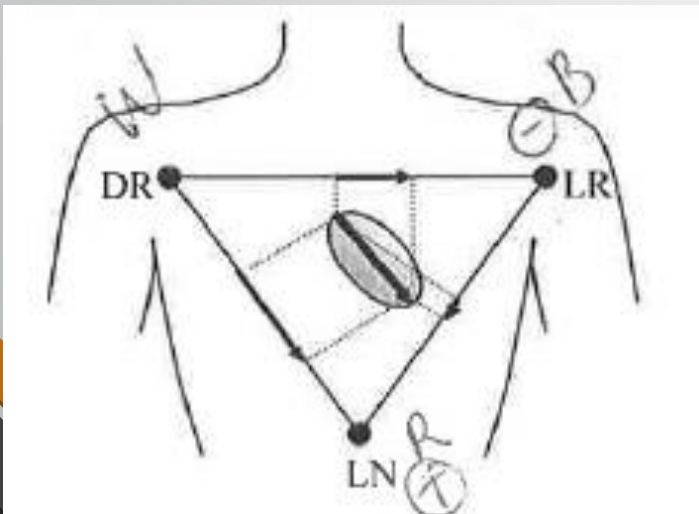
Pitanje 5



- Električni signali srca – elektrokardiogram. Ukratko dati kvalitativnu analizu.
- Srce kao električni dipol (dinamički dipol) objašnjenje.

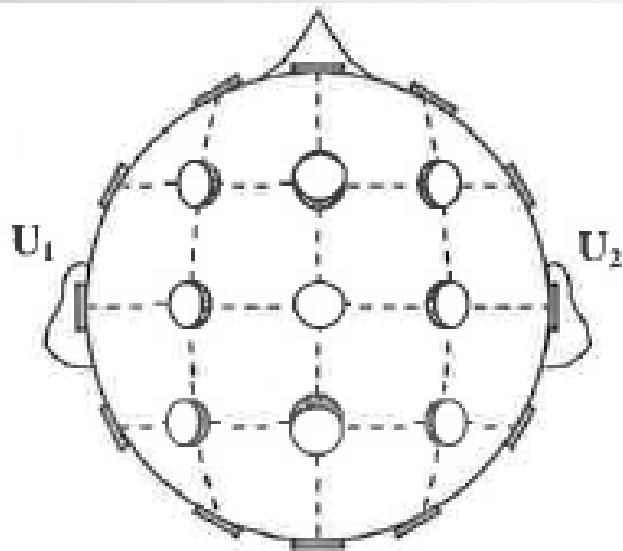
Pitanje 6

- Elektrokardiogram – ukratko objasniti šta predstavlja elektrokardiogram.

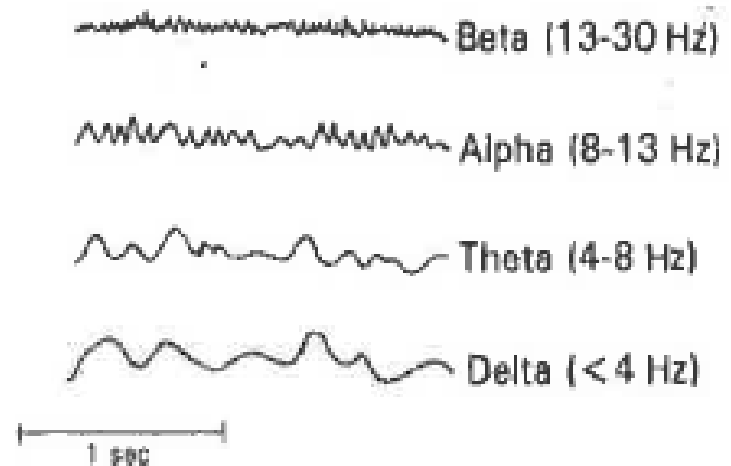


Pitanje 7

- Električni signali mozga – elektroencefalogram (EEG). Dati ukratko opis.



Slika 6.26. Klasični raspored elektroda na poglavini pri snimanju EEG; U_1 je referentna elektroda a U_2 elektroda vezana za zemlju



Slika 6.27. Normalni oblik beta, alfa, teta i delta moždanih talasa.