



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI
FAKULTET
DEPARTMAN ZA FIZIKU



Elektrokardiografija na *Biopac* sistemu

- diplomski rad -

Mentor: Dr Olivera Klisurić

Kandidat: Malešević Vladimir

Novi Sad, Avgust 2016

Ovim putem bih želeo da se zahvalim mom mentoru dr Oliveri Klisurić zato što mi je u svakom momentu izašla u susret ne samo u izradi diplomskog rada već u toku celih osnovnih studija. Takođe hvala svim profesorima koji su se uvek trudili da mi olakšaju i pomognu u savladavanju prepreka.

Hvala i svim kolegama koji su me naučili da još uvek uprkos svemu i ovde ima divnih i vrednih ljudi.

Najveću zahvalnost dugujem mojim roditeljima a pogotovo mojoj supruzi Ireni bez čije pomoći i podrške ceo ovaj poduhvat ne bi bio izvodljiv.

Ovaj rad posvećujem svojoj kćerkici Luni.

Sadržaj:

1. Uvod -----	4
1.1. Srčani mišić-----	5
1.2. Akcioni potencijali u srčanom mišiću-----	7
1.3. Srčani ciklus-----	8
1.4. Odnos elektrokardiograma i srčanog ciklusa -----	9
1.5. Pretkomore i komore kao pumpa -----	9
2. Ritmička ekscitacija srca-----	9
2.1. Sinusni čvor -----	10
2.2. A-V čvor -----	12
2.3. Kontrola ekscitacije i provođenja u srcu -----	13
2.4. Simpatička i parasimpatička kontrola rada srca -----	15
3. Elektrokardiografija -----	17
3.1. Napon i vreme kalibracije elektrokardiograma -----	18
3.2. Elektrokardiografski izvodi-----	19
3.3. Prekordijalni izvodi-----	20
3.4. Uvećani unipolarni izvodi -----	21
4. Elektrokardiograf: vektorska analiza -----	22
4.1. Ose standardnih bipolarnih i svakog unipolarnog izvoda-----	23
4.2. Vektorska analiza bipolarnih izvoda-----	24
4.3. Depolarizacija pretkomora-P talas -----	26
4.4. Vektorska analiza QRS kompleksa -----	27
4.5. Repolarizacija T talas-----	28
5. Biopac sistem -----	30
5.1. Merenja i obrada podataka-----	31
5.2. Vežba 5: Elektrokardiografija I-----	31
5.3. Vežba 6: Elektrokardiografija II-----	39
5.4. Vežba 7: EKG i puls -----	45
6. Zaključak -----	50
7. Literatura-----	51

1. Uvod

Elektrokardiografija je metod koji meri razliku potencijala na tačno određenim mestima u oklini srca, te se iz tih rezultata dobija slika mehaničke funkcije srca.

Fiziologija i elektricitet dele zajedničku istoriju, u kojoj su pionirske radove u svakom polju obavili grof Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta i Luigi Galvani. Grof Volta je izumeo bateriju i u njegovu čast je jedinica za napon dobila naziv [V]. Ovi rani istraživači su proučavali „životinjski elektricitet“ i bili su među prvima koji su shvatili da ako se električni signal primeni na izolovani životinjski mišić to će uzrokovati trzanje mišića.

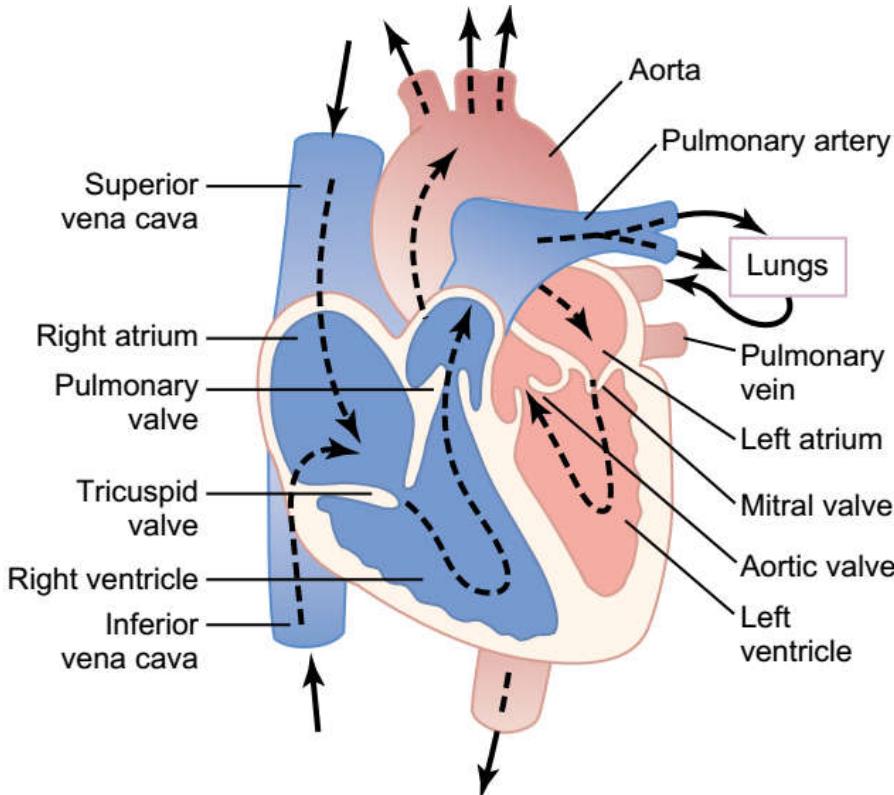
Snimljeni EKG predstavlja grafik algebarskog zbiru akcionalih potencijala srčanog mišića, registrovanih na tačno definisanoj površini tela do koje su od srca preneseni posredstvom unutrašnjeg tkiva. Njihovo registrovanje ostvaruje se elektrodama postavljenim na ovoj površini. Ovim se stvaraju uslovi za njihovu dalju obradu u elektrokardiografima i za njihovo zapisivanje pisačima sadržanim u njima. EKG zdravog srca ima karakterističan i prepoznatljiv talasni oblik, koji se usled bolesti srca značajno menja. Zato se posmatranjem njegovog oblika i mogu otkriti razni poremećaji nastali u srčanom ritmu, u snabdevanju srčanog mišića krvlju, razna njegova zadebljanja, itd.

Pod elektrokardiogramom (EKG) smatra se grafički ili elektronski zapis vremenski promenljivih naponskih produkata srčanog mišića registrovanih za vreme jednog srčanog ciklusa.

Ovaj rad ima za cilj da prikaže da rad na *Biopac* sistemu za studentske vežbe pomaže da se lakše shvati fiziologija organizma jer koristeći slične principe kao i gore navedeni istraživači, približava koncept protoka struje kroz organizam i mogućnost njenog merenja.

1.1. Srčani mišić

Sa ovim poglavljem započinjemo diskusiju o srcu i cirkulatornom sistemu. Srce (slika 1.1) čine u stvari dve odvojene pumpe: desno srce koje pumpa krv kroz pluća i levo srce koje pumpa krv kroz periferne organe. Svako od njih je pulsirajuća dvokomorna pumpa koja se sastoji od pretkomore (atrium) i komore (ventriculus). Svaka pretkomora je slaba primarna pumpa za komoru i pomaže da krv uđe u komoru. Komore zatim iniciraju glavnu silu pumpanja koja šalje krv dalje ili u plućni krvotok ako je u pitanju desna odnosno u periferni krvotok ako je u pitanju leva komora.



Slika 1.1 Građa srca

Specijalni mehanizmi u srcu uzrokuju kontinualni niz srčanih kontrakcija nazvanih srčana ritmičnost, prenoseći akcione potencijale kroz srčani mišić da bi izazvali ritmične otkucaje srca. Ovaj sistem kontrole srca će biti objašnjen malo kasnije, za sad ćemo objasniti kako srce radi kao pumpa.

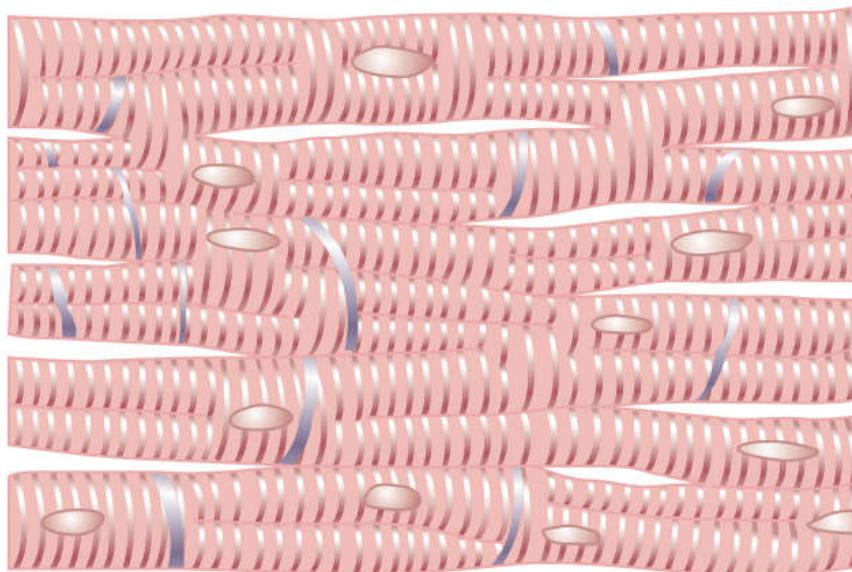
Srce je sastavljeno od tri glavna tipa srčanih mišića: atrijalni mišići, ventrikularni mišići i eksitaciona i provodna mišićna vlakna. Atrijalni i ventrikularni mišići se kontrahuju isto kao i skeletni mišići, osim što je trajanje kontrakcije mnogo duže. S druge strane, specijalizovana eksitaciona i provodna vlakna se kotrahuju slabo zato što imaju vrlo malo kontraktilnih vlakana. Umesto toga oni izlažu ili automatsko ritmičko električno pražnjenje akcionalih potencijala ili provođenje akcionalih potencijala kroz srce, obezbeđujući ekscitacioni sistem koji kontroliše ritmične otkucaje srca.

Slika 1.2 prikazuje tipični histološki izgled srčanog mišića, demonstrirajući mišićna vlakna poređana u rešetku, sa vlaknima koja se dele, rekombinuju i zatim ponovo šire. Može se takođe primetiti sa slike da je srčani mišić prugast na isti način kao i tipičan skeletni mišić. Dalje, srčani mišić ima tipične miofibrile koje sadrže aktinska i miozinska vlakna skoro identična kao ona kod skeletnih mišića. Ova vlakna leže jedna do drugih i klize jedna preko

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

drugih tokom kontrakcija na isti način kao kod skeletnih mišića, ali na sve ostale načine srčani mišić se, kao što ćemo videti, razlikuje od skeletnih mišića.

Srčani mišić je sincitium¹. Tamna područja koja prelaze preko vlakana srčanog mišića na slici 1.2 se zovu umetnuti diskovi, oni su ustvari ćelijske membrane koje odvajaju individualne ćelije srčanog mišića jedne od drugih tj. vlakna srčanog mišića se sastoje od mnogo individualnih ćelija povezanih u snopove paralelne jedne drugima.



Slika 1.2 Srčani mišić

Na svakom umetnutom disku ćelijske membrane se međusobno spajaju formirajući trajne komunikacione spojeve takve koji su skoro sasvim slobodni za difuziju jona. Tako da se sa funkcionalne tačke gledišta joni lako kreću kroz intraćelijsku tečnost duž longitudinalnih osa vlakana srčanog mišića tako da akcioni potencijali putuju lako sa jedne na drugu ćeliju mišića prolazeći umetnute diskove. Srčani mišić je sincitium mnogo ćelija vezanih tako da kad se jedna eksituje akcioni potencijal se širi preko svih ćelija šireći se od jedne do druge kroz rešetkaste interkonekcije. Srce se zapravo sastoji iz dva sincitiuma: atrialnog sincitiuma koji čini zidove dve pretkomore i ventrikularnog sincitiuma koji čini zidove dve komore. Pretkomore su od komora odvojene fibroznim tkivom koje okružuje atrioventrikularne (A-V) valvule između pretkomora i komora.

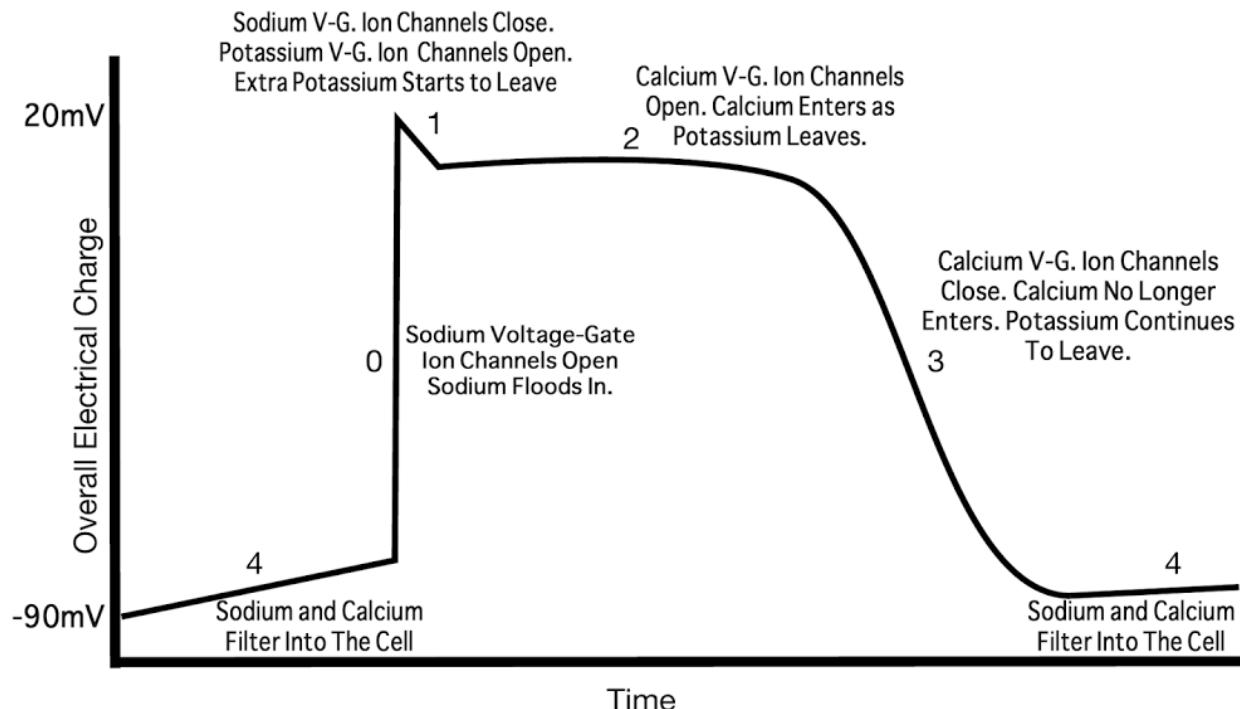
U normalnim slučajevima potencijali se ne provode od pretkomornog sincitiuma do komornog sincitiuma direktno kroz ovo fibrozno tkivo. Umesto toga provode se samo kroz specijalizovani provodni sistem koji se zove A-V snop. Snop provodnih vlakana nekoliko milimetara u prečniku koji će biti detaljnije opisan.

Ovakva podela srčanog mišića u dva funkcionalna sincitiuma omogućava pretkomorama da se kontrahuju kratki vremenski period pre komora što je veoma važno za funkcionisanje i uspešnost rada srca kao pumpe.

¹Sincitium-ćelija ili citoplazmatična masa koja sadrži nekoliko jedara, nastala ili spajanjem nekoliko ćelija ili deobom jedara

1.2. Akcioni potencijali u srčanom mišiću

Akcioni potencijal snimljen na mišiću komore (slika 1.3) ima vrednost od oko 105 mV, što znači da potencijal u ćeliji raste od veoma negativne vrednosti od oko -85 mV, između otkucaja do skoro +20 mV tokom svakog otkucaja.



Slika 1.3 Akcioni potencijal

Nakon početnog pika, membrana ostaje depolarizovana otprilike 0,2 s, zbog toga se pojavljuje plato na grafiku. Zatim na kraju platoa dolazi do strme repolarizacije. Pojava platoa u akcionom potencijalu uzrokuje da ventrikularna kontrakcija traje i do 15 puta duže nego kod skeletnih mišića.

Sada treba da se zapitamo: zašto akcioni potencijal srčanog mišića traje toliko dugo i ima plato a kod skeletnih mišića nema? Akcioni potencijal skeletnih mišića je uzrokovani skoro isključivo naglim otvaranjem velikog broja brzih Na kanala koji dozvljavaju velikom broju Na jona da uđu u mišićno tkivo iz ekstracelularne tečnosti. Ovi kanali se nazivaju brzim jer ostaju otvoreni samo nekoliko hiljaditih delova sekunde nakon čega dolazi do njihovog zatvaranja i repolarizacije, tako da se akcioni potencijal završava u hiljaditom delu sekunde.

U srčanom mišiću akcioni potencijal je izazvan putem dve vrste kanala: isti brzi Na kanali kao i kod skeletnih mišića, ali i spori Ca kanali koji se zajedno zovu $Ca-Na$ kanali. Ovaj drugi skup kanala se razlikuje od prvog tako što se sporije otvara i što je još bitnije ostaje otvoren nekoliko destih delova sekunde. Tokom ovog vremena veliki broj i Ca i Na jona putuju kroz ove kanale u unutrašnjost vlakana srčanog mišića i to održava produženo vreme depolarizacije stvarajući plato u akcionom potencijalu.

Brzina provođenja ekscitacionog akcionog potencijala duž atrijalnog i ventrikularnog mišićnog tkiva je između 0,3 do 0,5 m/s, ili oko 1/250 brzine u velikom nervnom vlaknu, ili oko 1/10 brzine u skeletnim mišićima.

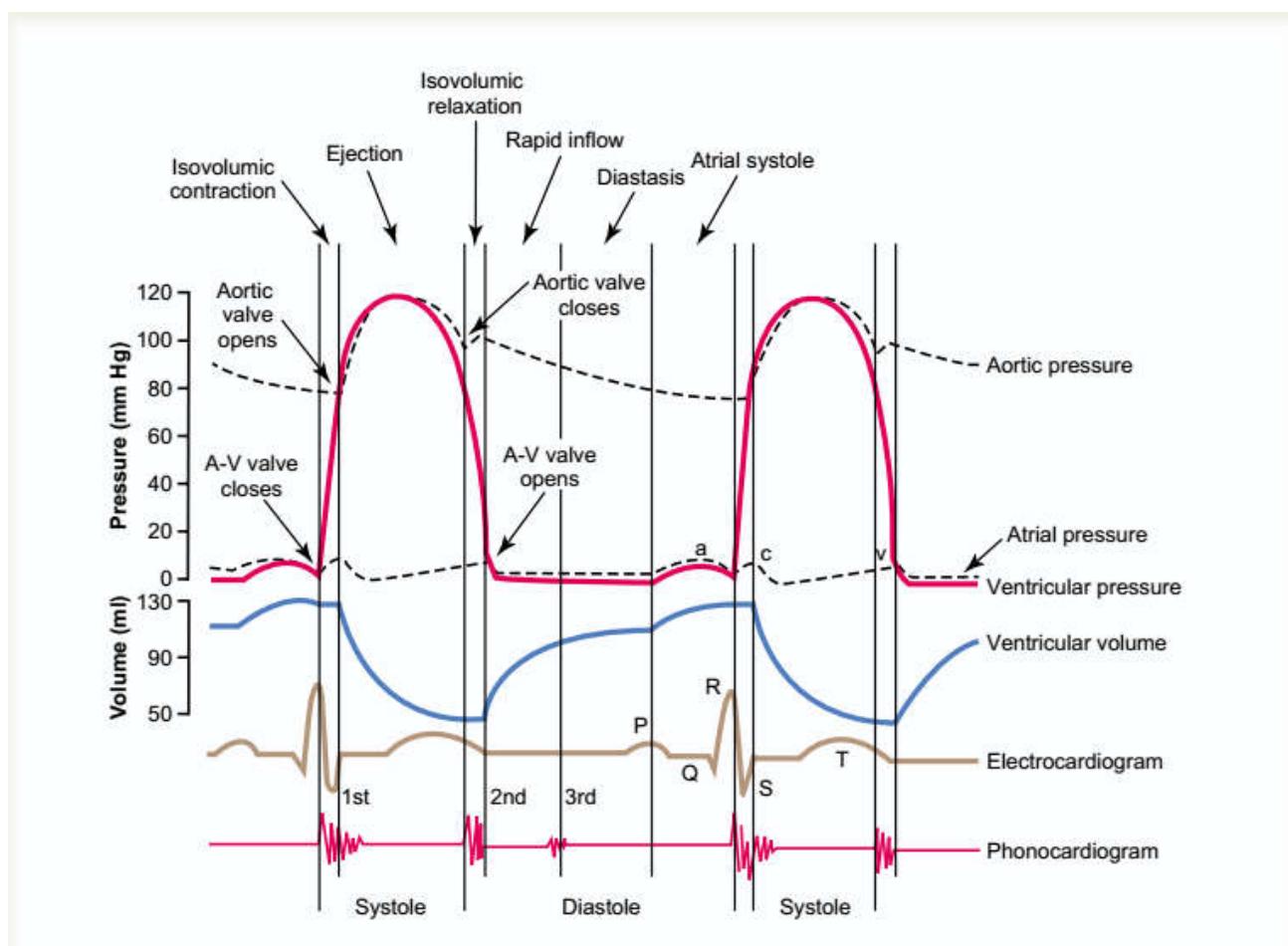
Brzina provođenja u specijalizovanom provodnom sistemu u Purkinjeovim ćelijama je i do 4 m/s u najvećem delu sistema što dozvoljava razumno brzo provođenje ekscitacionog signala u različite delove srca.

1.3. Srčani ciklus

Svi događaji koji se javljaju od početka jednog otkucaja do početka sledećeg se zovu jedan srčani ciklus. Svaki ciklus je izazvan spontanim generisanjem akcionog potencijala u sinusnom čvoru. Taj čvor je lociran na gornjem lateralnom zidu desne pretkomore blizu otvora gornje šuplje vene. Odavde akcioni potencijal brzo putuje kroz obe pretkomore, kroz A-V čvor do komora. Zbog ovakvog provođenja iz pretkomora u komore dolazi do odlaganja od više od 0,1 s tkom prelaska srčanog impulsa iz pretkomora u komore.

Ovo omogućava pretkomorama da se kontrahuju pre kontrakcije komora, tako pretkomora ustvari radi kao predpumpa za komoru koja zauzvrat obezbeđuje glavnu silu koja pomera krv kroz vaskularni sistem.

Srčani ciklus se sastoji iz perioda relaksacije koji se naziva dijastola kada se srce puni krvljom koji prati period kontrakcije koji se naziva sistola tokom koje se krv izbacuje iz srca u krvotok. Slika 1.4 pokazuje različite događaje tokom srčanog ciklusa u levoj strani srca. Gornje tri krive pokazuju promenu pritiska u aorti, levoj komori i levoj pretkomori respektivno. Četvrta pokazuje promene u zapremini leve komore, peta je elektrokardiogram i šesta fonokardiogram koji se dobija snimanjem zvuka rada srca.



Slika 1.4 Različiti procesi tokom srčanog ciklusa

1.4. Odnos elektrokardiograma i srčanog ciklusa

Elektrokardiogram na slici 1.4 pokazuje P,Q R S i T talase koji će biti malo detaljnije objašnjeni kasnije. To su električni impulsi generisani od strane srca i snimljeni elektrokardiografom na površini kože.

P talas nastaje širenjem depolarizacije kroz pretkomore za kojim sledi kontrakcija pretkomore koja uzrokuje blagi porast na krivoj atrijalnog pritiska odmah nakon P talasa.

Otprilike 0,16 s posle P talasa pojavljuje se QRS kompleks kao rezultat depolarizacije komora i njihove kontrakcije i takođe uzrokuje porast ventrikularnog pritiska što se takođe vidi na slici 1.4. Tako QRS kompleks počinje tik pre ventrikularne sistole.

Na kraju vidimo ventrikularni T talas koji predstavlja fazu repolarizacije komora kad njihova mišićna vlakna počinju da se opuštaju, tako da se T talas pojavljuje tik pre kraja ventrikularne kontrakcije.

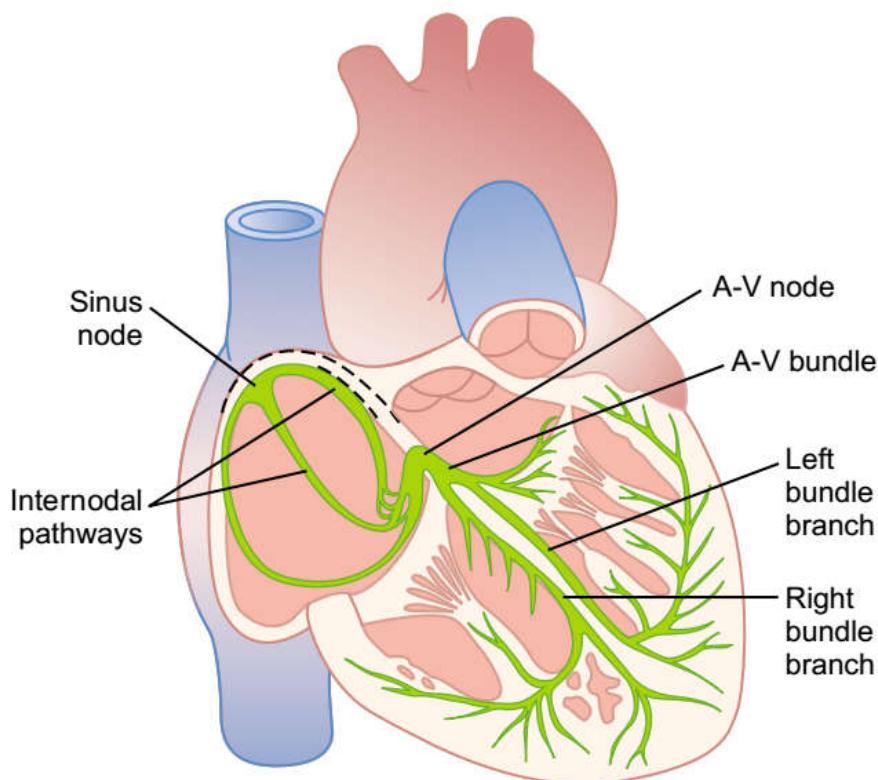
1.5. Pretkomore i komore kao pumpa

Krv normalno kontinualno teče iz velikih vena u pretkomore, oko 80% krvi teče direktno iz pretkomora u komore čak i pre kontrakcije. Zatim kontrakcija pretkomore izbacuje onih preostalih 20% krvi ispunjavajući komoru. Tako pretkomora jednostavno funkcioniše kao predpumpa koja u stvari povećava efikasnost pumpanja komore čak i do 20%. Ipak srce može da nastavi da funkcioniše i bez tih 20% efikasnosti jer u normalnim uslovima ima mogućnost pumpanja 3 do 4 puta više krvi nego što to zahteva telo u mirovanju. Zato kad pretkomora zakaže razlika verovatno neće biti primećena osim pri naporu kada se akutni znaci nepravilnosti rada javljaju, obično kratak dah.

Za vreme ventrikularne sistole velika količina krvi se akumulira u levoj i desnoj pretkomori zato što su zatvoreni A-V zalisci. Zbog toga čim se završi sistola i ventrikularni pritisak opadne ponovo na svoju dijastolsku vrednost, umereno povećan pritisak u pretkomorama odmah gura A-V zaliske koji se otvaraju i dozvoljavaju krvi da ulazi brzo u komore. Ovo se naziva period brzog punjenja komora i on traje otprilike prvu trećinu dijastole. Tokom druge trećine samo mala količina krvi koja se sliva u pretkomore iz vena normalno ulazi u komore, zatim tokom zadnje trećine dijastole pretkomora se kontrahuje i ubacuje još oko 20% zaostale krvi u komoru.

2. Ritmička ekscitacija srca

Slika 2.1 pokazuje specijalizovani ekscitacioni i provodni sistem srca koji kontroliše srčane kontrakcije. Slika prikazuje sinusni čvor (takođe se naziva sinoatrijalni ili S-A čvor), u kome se generiše, u normalnim uslovima, ritmički impuls, zatim međučvorni put koji provodi impuls od sinusnog čvora do atrioventrikularnog (A-V) čvora, zatim A-V čvor u kom se impuls iz pretkomore odlaže pre prolaska do komore, zatim A-V snop koji provodi impuls iz pretkomore u komoru i leve i desne grane Purkinjeovih vlakana koja provode impuls do svih delova komora.



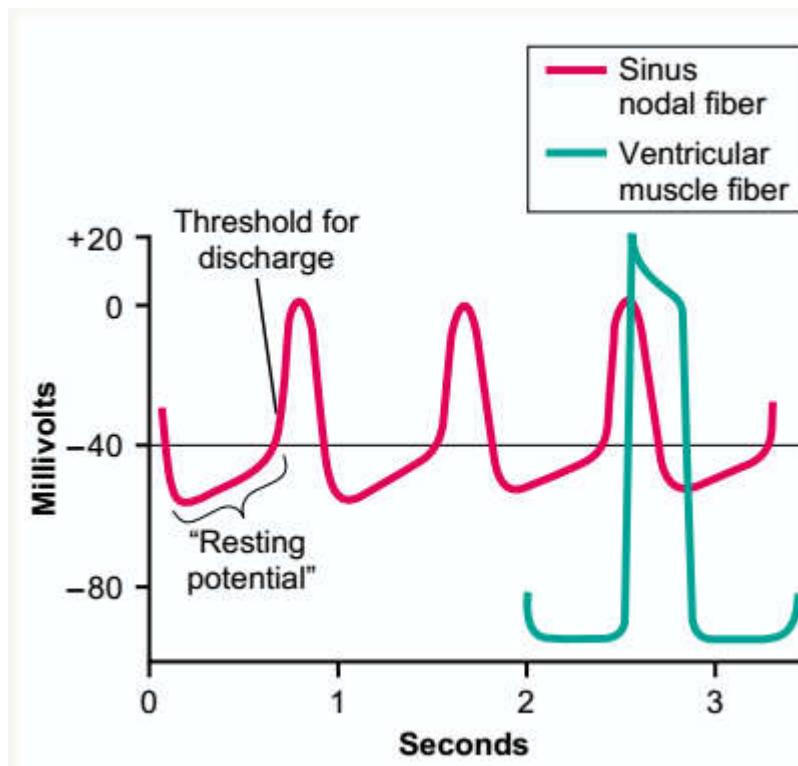
Slika 2.1 Električni sistem srca.

2.1. Sinusni čvor

Sinusni čvor (često se naziva i sinoatrijalni čvor) je mala pljosnata elipsoidna traka specijalizovanog srčanog mišića široka oko 3 mm, dugačka oko 15 mm i debela oko 1 mm. Lociran je na gornjem posterolateralnom zidu desne pretkomore odmah ispod i malo lateralno od otvora gornje šuplje vene.

Mišićna vlakna ovog čvora gotovo da i nemaju kontraktilnih mišićnih elemenata i dimenzija su samo 3 do 5 μm u prečniku, za razliku od mišićnih vlakana pretkomore koja ih okružuju a koja su dimenzija 10 do 15 μm u prečniku. Ipak mišićna vlakna sinusnog čvora su direktno povezana za vlakna pretkomore tako da se svaki akcioni potencijal koji počinje u sinusnom čvoru momentalno širi po pretkomornom mišićnom zidu.

Neka srčana vlakna imaju mogućnost samoekscitacije, proces koji omogućuje automatsko ritmičko pražnjenje i kontrakciju. Ovo posebno važi za vlakna specijalizovanog provodnog sistema srca uključujući i vlakna sinusnog čvora. Iz ovog razloga sinusni čvor kontroliše ritam otkucanja celog srca.



Slika 2.2 Akcioni potencijal u sinusnom čvoru i u ventrikuli

Slika 2.2 pokazuje akcioni potencijal snimljen u mišićnom vlaknu sinusnog čvora tokom tri otkucaja srca koji je zatim upoređen sa samo jednim akcionim potencijalom iz ventrikularnog mišićnog vlakna. Primetimo da membranski potencijal mišićnog vlakna sinusnog čvora između otkucaja ima negativnu vrednost od oko -55 do -60mV za razliku od -85 do -90 mV koliko iznosi vrednost potencijala ventrikularnog mišićnog vlakna.

Uzrok ove manje negativnosti je to što su ćelijske membrane mišićnih vlakana sinusnog čvora prirodno propustljivije za Na i Ca jone i njihova pozitivnost neutrališe prirodnu negativnost unutar ćelijskog prostora. Da se podsetimo, srčani mišić ima tri tipa membranskih jonskih kanala koja imaju važnu ulogu u promeni napona kod akcionalih potencijala. To su: brzi Na , spori $Na-Ca$ i K kanali.

Otvaranje brzih Na kanala u 10^{-4} delu sekunde je odgovorno za brzi uspon i pik akcionalog potencijala posmatrano u mišiću komore, zbog brzog upliva pozitivnih Na jona u unutrašnjost ćelija vlakna. Zatim je „plato“ akcionalog potencijala uzrokovani primarno zbog sporijeg otvaranja sporih $Na-Ca$ kanala koji traje oko 0,3 s. Konačno otvaranje K kanala omogućuje difuziju velike količine pozitivnih K jona u suprotnom pravcu kroz membranu ćelije i vraća je u njen mirujući potencijal.

Zbog visoke koncentracije Na jona u vanćelijskom prostoru izvan čvornih vlakana kao i zbog umerenog broja već otvorenih Na kanala pozitivni Na joni teže da uđu unutar ćelija. Zbog toga između otkucaja upliv pozitivno nanelektrisanih Na jona uzrokuje slab porast mirujućeg membranskog potencijala u pozitivnom pravcu. Tako da se mirujući potencijal postepeno povećava između svaka dva otkucaja kao na slici 2.2.

Kada potencijal dostigne vrednost od oko -40 mV $Na-Ca$ kanali se aktiviraju uzrokujući akcioni potencijal. Tako da u osnovi inherentna propustljivost vlakana sinusnog čvora za Na i Ca jone uzrokuje njihovu samoekscitaciju.

Krajevi vlakana sinusnog čvora su direktno povezani sa pretkomornim mišićnim vlaknima koja ih okružuju. Zbog toga akcioni potencijali generisani u sinoatrijalnom čvoru putuju van njega u ovo okružujuće pretkomorno mišićno tkivo. Ovako se akcioni potencijali šire kroz celu mišićnu masu pretkomora i zatim stižu u A-V čvor. Brzina provođenja u većini pretkomornih mišića je 0,3 m/s osim u nekoliko malih traka atrijalnih vlakana gde je brzina provođenja 1 m/s. Jedna od njih koja se naziva prednja interatrijalna traka prolazi kroz donji zid u levu pretkomoru.

I još tri male trake krivudaju kroz prednji, bočni i zadnji zid pretkomornih zidova i završava u A-V čvoru. Prikazani na slici 2.1 oni se zovu prednji, srednji i zadnji međučvorni putevi. Uzrok mnogo veće brzine provođenja u ovim trakama je prisustvo specijalizovanih provodnih vlakana. Ova vlakna su slična još provodljivijim Purkinjeovim vlaknima u komorama.

2.2. A-V čvor

Atrijalni provodni sistem je organizovan tako da srčani impuls ne putuje iz pretkomore u komoru previše brzo, i upravo ovo odlaganje obezbeđuje dovoljno vremena da pretkomore izbace svu krv u komore pre nego što počne ventrikularna kontrakcija. U stvari su A-V čvor i njegova okolna provodna vlakna zaslužni za ovo odlaganje.

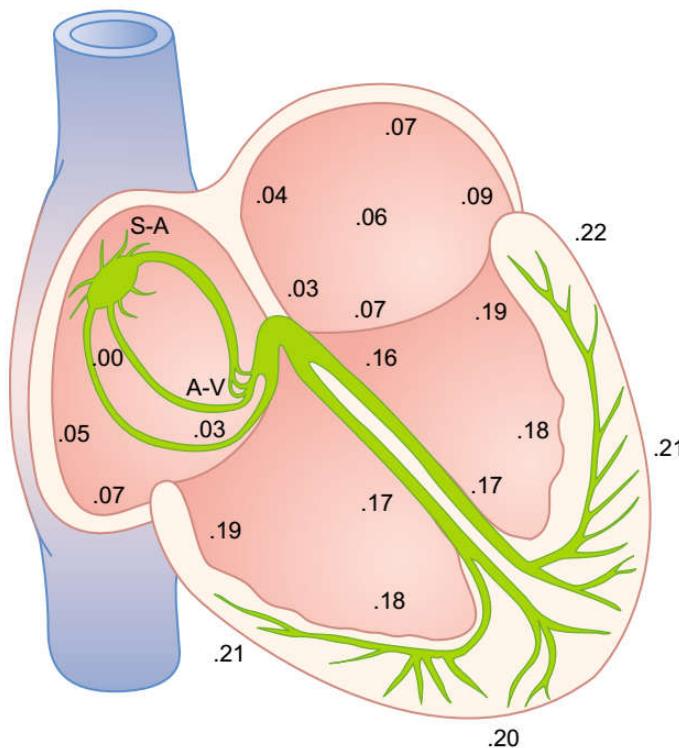
A-V čvor je lociran na zadnjem zidu desne pretkomore odmah iza trikuspidnog zalisca kao na slici 2.1

Srčani impuls posle prolaska kroz međučvorni put dolazi do A-V čvora otprilike 0,03 s nakon nastanka u sinusnom čvoru. Zatim tu je odlaganje od još 0,09 s u samom A-V čvoru pre nego što impuls uđe u prodorni deo A-V snopa gde ulazi u komoru. Zadnje odlaganje od 0,04 s se javlja uglavnom u ovom prodornom A-V snopu koji je sastavljen od višestrukih malih snopića koji prolaze kroz fibrozno tkivo razdvajajući pretkomore od komora. Prema tome ukupno odlaganje u A-V čvoru i A-V snopu je 0,13 s što sa inicijalnim zakašnjenjem od 0,03 s koliko signalu treba da stigne iz sinusnog čvora d A-V čvora čini 0,16 s dok signal konačno ne stigne do kontraktilnih mišića ventrikula.

Specijalizovane Purkinjeove ćelije vode od A-V čvora preko A-V snopa do komora. Osim početnog dela ovih vlakana gde probijaju A-V fibroznu barijeru, imaju funkcionalnu karakteristiku potpuno suprotnu od one koju imaju vlakna A-V čvora. Ona su veoma velika vlakna, čak veća i od normalnih komornih vlakana i provode akcioni potencijal brzinom od 1,5 do 4 m/s, brzinom koja je 6 puta veća nego u normalnim komornim vlaknima i oko 150 puta veća nego u A-V čvoru.

Ovo omogućuje skoro trenutnu transmisiju srčanog impulsa kroz ostatak komornog mišića. Brza provodnost akcionog potencijala kroz Purkinjeove ćelije je uzrokovana, kako se veruje, visokim stepenom permeabilnosti između međuprostornih spojeva u umetnutim diskovima, između pojedinih ćelija koje čine Purkinjeova vlakna.

Zbog toga joni lako prelaze sa jedne na drugu ćeliju tako povećavajući brzinu transmisije. Purkinjeova vlakna takođe imaju vrlo malo miofibrila, što znači da se one kontrahuju ili veoma malo ili nikako tokom procesa prenošenja impulsa.



Slika 2.3 Transmisija električnog impulsa kroz srce

Na slici 2.3 je predstavljen rezime transmisije srčanog impulsa kroz srce. Brojevi na slici predstavljaju vremenske intervale (u delovima sekunde) koji proteknu od momenta nastajanja u sinoatrijalnom čvoru do mesta na kom se trenutno nalaze na svom putu do komornih mišića.

Primetimo da se impuls širi umerenom brzinom kroz pretkomore ali se kasni više od 0,1 s u A-V čvoru a zatim se velikom brzinom širi po Purkinjeovim vlaknima po celim endokardionim površinama komora. Takođe impuls se malo sporije širi kroz ventrikularni mišić do epikardijalnih površina.

Veoma je važno da studenti shvate da poznavanje preciznih vremena prolazaka impulsa kroz srce ima veliku važnost u razumevanju elektrokardiografije koju ćemo dalje analizirati.

2.3. Kontrola eksitacije i provođenja u srcu

U dosadašnjoj diskusiji nastanka i transmisije srčanog impulsa kroz srce, videli smo da u normalnim uslovima impuls nastaje u sinoatrijalnom čvoru. U nekim abnormalnim uslovima ovo nije slučaj. Nekoliko drugih delova srca mogu izazvati unutrašnju ritmičku ekscitaciju na isti način kao i sinusni čvor. To posebno važi za A-V čvor i Purkinjeova vlakna.

Vlakna A-V čvora kad nisu stimulisana iz nekog drugog izvora, u našem slučaju Purkinjeova vlakna sa frekvencijom 15-40 puta/min. Sinusni čvor ima frekvenciju od 70-80 puta/min.

Zbog toga sinusni čvor kontroliše ritam srca jer je period njegovog ritmičnog pražnjenja brži nego kod bilo kog drugog dela srca koji je sposoban za to isto. I zbog toga je sinusni čvor uvek *pacemaker* zdravog srca.

Ponekad neki drugi delovi srca razviju veću brzinu ritmičnog pražnjenja od sinusnog čvora. To se dešava u A-V čvoru ili Purkinjeovim vlaknima kada neka od njih postanu abnormalna. U

svakom slučaju pacemaker srca se pomeri iz sinusnog čvora do A-V čvora ili eksitovanih Purkinjeovih vlakana.

U redim slučajevima neko mesto u atrijalnim ili ventrikularnim mišićima razvije preteranu mogućnost eksitacije i postane pacemaker.

Pacemaker koji se nalazi negde van sinoatrijalnog čvora naziva se ektopički pacemaker. Ektopički pacemaker uzrokuje abnormalni ritam kontrakcija različitih delova srca i može znatno da oslabi pumpanje.

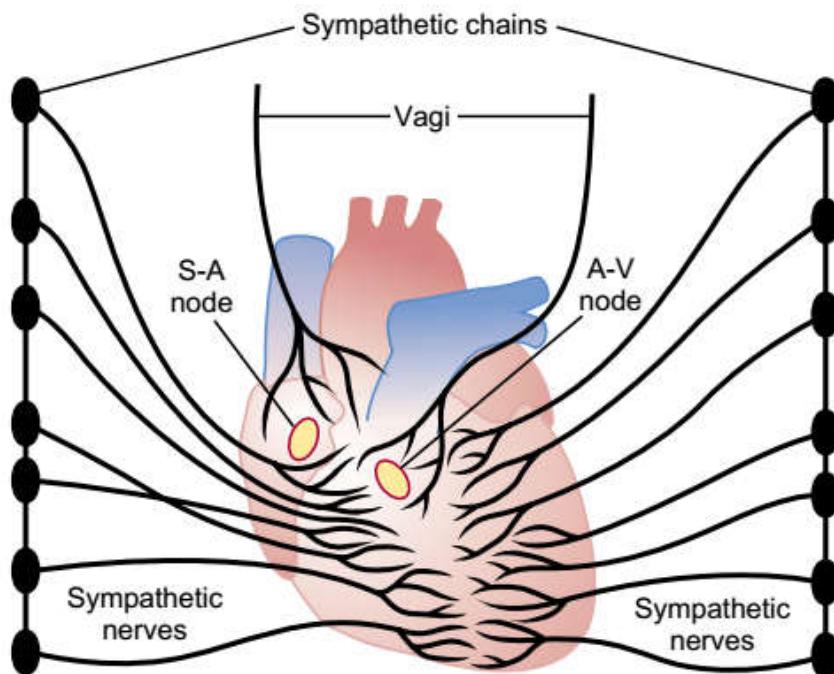
Drugi razlog premeštanja pacemaker-a je blokiranje transmisije signala iz sinusnog čvora u druge delove srca. Novi pacemaker se tada najčešće premešta u A-V čvor ili u prodirućem delu A-V snopa na putu ka komorama.

Kada se desi A-V blokada, odnosno ne dolazi do prenosa impulsa iz atriuma u ventrikule kroz A-V čvor, pretkomore nastavljaju da pumpaju normalnim sinusnim ritmom a novi pacemaker se razvije obično negde u Purkinjeovim vlaknima u ventrikulama i kontrahuje ventrikularni mišić novom frekvencijom od 15-20 puta/min. Nakon naglog A-V blokiranja Purkinjeov sistem ne počinje da emituje svoje unutrašnje impulse do nekih 5-20 s kasnije, zbog toga što je pre blokade Purkinjeov sistem bio „premošćen“ brzim sinusnim impulsima i kao posledica toga je bio u potisnutom stanju. Tokom ovih 5-20 s ventrikule ne uspevaju da pumpaju krv i osoba gubi svest u prvih 4-5 s zbog manjka dotoka krvi u mozak. Ovo odloženo hvatanje ritma srca se naziva Stokes-Adams-ov sindrom. Ako je period kašnjenja preveliki može da dovede do smrti.

Takođe ako iz nekog razloga dođe do otkazivanja sinoatrijalnog čvora, njegovu ulogu preuzima A-V čvor ali sa manjom frekvencijom. Ako otkaže i A-V čvor srce će i dalje raditi ali opet sa manjom frekvencijom jer dalje ulogu pacemaker-a preuzimaju Purkinjeova vlakna.

2.4. Simpatička i parasimpatička kontrola rada srca

Srce je snabdeveno i simpatičkim i parasimpatičkim nervima kao što se vidi na slici 2.4.



Slika 2.4 Simpatički i parasimpatički nervi srca

Parasimpatički nervi (vagi) su povezani uglavnom sa sinoatrijalnim čvorom, atrioventrikularnim čvorom manje se šire po mišićima pretkomora i veoma malo su spojeni direktno sa mišićima komora.

Simpatički nervi su nasuprot njima povezani sa svim delovima srca posebno ventrikularnim mišićima.

Stimulaciju srca od strane parasimpatičkih nerava uzrokuje hormon acetilholin. Ovaj hormon ima dva glavna efekta na srce: prvo usporava ritam sinusnog čvora i smanjuje ekscitivnost spojeva A-V sistema između pretkomore i A-V čvora tako usporavajući transmisiju srčanog impulsa u komore. Slaba do umerena parasimpatička stimulacija usporava ritam srčanog pumpanja skoro na pola normalnog. Jaka parasimpatička stimulacija može potpuno da zaustavi ritmičku stimulaciju sinusnog čvora ili blokiranje kompletne transmisije srčanog impulsa iz pretkomore u komoru. U oba slučaja ritmički eksitacioni signali ne dolaze do komora. Komore prestaju da kucaju 5-20 s, ali onda Purkinjeova vlakna razviju sopstveni ritam od 15-40 puta/min. Ovaj fenomen se naziva ventrikularni beg.

Mehanizam parasimpatičnih efekata je sledeći: acetilholin povećava permeabilnost na K^+ jone u membranu u vlaknima što dozvoljava brz izlaz K^+ jona iz provodnih vlakana. Ovo uzrokuje povećanu negativnost u vlaknima i efekat koji se naziva hiperpolarizacija što čini ovo tkivo manje eksitaciono.

U sinusnom čvoru hiperpolarizacija smanjuje mirujući potencijal membrana u tkivima sinusnog čvora na nivo znatno manji od uobičajenog: -65 do -75 mV umesto uobičajenih -55 do -60mV. Zbog toga početnom rastu potencijala membrana sinusnog čvora, uzrokovanih ulaskom Na^+ i Ca^{2+} jona, treba mnogo više vremena da dostigne prag eksitacije. Ovo u mnogome

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

smanjuje stopu ritmičnosti čvornih vlakana. Ako je parasimpatička stimulacija dovoljno jaka moguće je da u potpunosti zaustavi ritmičku samopobudu ovog čvora.

U A-V čvoru stanje hiperpolarizacije uzrokovano parasimpatičkom stimulacijom otežava malim pretkomornim vlaknima koja ulaze u čvor generisanje dovoljno elektriciteta da bi pobudila vlakna čvora. Zbog toga se „sigurnosni faktor“ za transmisiju srčanog impulsa kroz provodna vlakna do A-V čvora smanjuje. Umereno smanjenje uzrokuje odlaganje provođenja impulsa, ali veliko smanjenje potpuno blokira provođenje.

Simpatička stimulacija izaziva potpuno suprotne efekte na srce od onih koji su izazvani parasimpatičkom stimulacijom: prvo povećava stopu pražnjenja sinusnog čvora i drugo povećava stopu provodnosti kao i nivo pobude u svim delovima srca, treće povećava silu kontrakcije i pretkomora i komora.

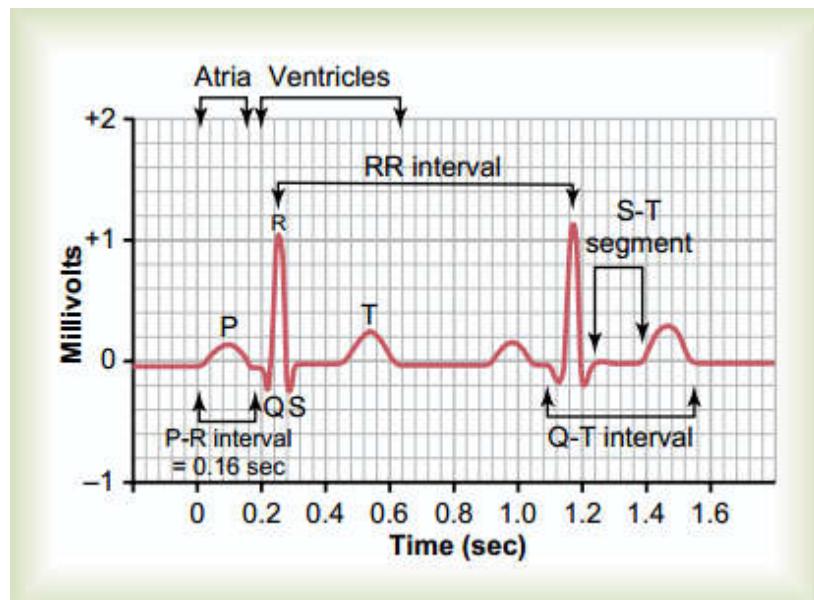
Ukratko simpatička stimulacija povećava ukupnu aktivnost srca. Maksimalna stimulacija može skoro da utrostruči frekvenciju otkucaja i poveća snagu kontrakcije skoro dvostruko. Mehanizam simpatičke stimulacije je sledeći: stimulacija simpatičkih nerava ispušta hormon norepinefrin. Precizni mehanizam na koji hormon deluje na srčani mišić je donekle nejasan ali se veruje da povećava permeabilnost membrana na Na i Ca jone. U sinusnom čvoru to povećanje permeabilnosti uzrokuje pozitivniji mirujući potencijal i takođe uzrokuje povećanu stopu porasta dijastoličnog potencijala membrane prema pragu samopobude tako ubrzavajući samopobudu a samim tim i ritam otkucaja srca.

U A-V čvoru i A-V snopu povećana $Na-Ca$ permeabilnost čini lakšim akcionom potencijalu da pobudi svako naredno provodno vlakno tako smanjujući vreme provođenja iz pretkomora u komore.

Povećanje permeabilnosti za Ca jone na kraju je delom odgovorno za povećanje kontraktilne snage srčanog mišića pod uticajem simpatičke stimulacije, zato Ca joni igraju važnu ulgu u pobudi kontraktilnog procesa miofibrila.

3. Elektrokardiografija

Kada srčani impuls prolazi kroz srce, električna struja se takođe širi kroz srce do tkiva koja ga okružuju. Mali deo te struje dolazi i do površine kože. Ako stavimo elektrode na kožu sa suprotnih strana srca, električni potencijali koje generiše srce mogu biti snimljeni. Takav snimak je poznat pod nazivom elektrokardiogram.



Slika 3.1 Elektrokardiogram

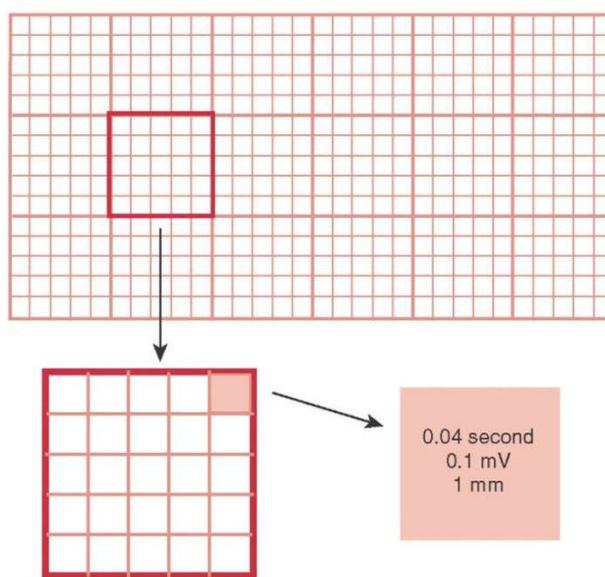
Normalni elektrokardiogram prikazan na slici 4.1 se sastoji od P talasa, QRS kompleksa i T talasa. QRS kompleks često, ali ne uvek, čine tri odvojena talasa: Q talas R talas i S talas. P talas nastaje prilikom depolarizacije pretkomora pre početka kontrakcije. QRS kompleks nastaje usled depolarizacije komora pre kontrakcije. Tako da su i P talas i komponente QRS kompleksa u stvari depolarizacioni talasi. T talas je uzrokovani potencijalima koji se generišu tokom „oporavka“ komora iz stanja depolarizacije. Ovaj proces se javlja u komornim mišićima 0,25 – 0,35 s posle stanja depolarizacije. T talas je poznat kao repolarizacioni talas. Znači elektrokardiogram se sastoji i iz depolarizacionih i repolarizacionih talasa.

Pre nego što je kontrakcija moguća, depolarizacioni talas mora da se proširi po mišiću da bi inicirao hemijske procese kontrakcije. Slika 3.1 pokazuje da se depolarizacioni P talas javlja pre kontracije atriuma a QRS depolarizacioni kompleks javlja pre kontracije ventrikula. Ventrikule ostaju kontrahovane sve dok se ne završi repolarizacija odnosno do kraja T talasa. Pretkomora se repolarizuje od 0,15 – 0,2 s posle završetka P talasa. To je otprilike u isto vreme kada se QRS kompleks registruje na elektrokardiogramu, pa je stoga repolarizacija ili atrijalni T talas u stvari maskiran mnogo jačim QRS kompleksom. Iz tog razloga se atrijalni T talas retko posmatra na elektrokardiogramu.

3.1. Napon i vreme kalibracije elektrokardiograma

Svi snimci elektrokardiograma se prave na papiru koji je pogodno kalibriran. Kalibracione linije su ili već unapred iscrtane kao na papiru koji koriste pen detektori ili se snimaju u isto vreme kad i elektrokardiogram što je slučaj kod fotografskih detektora.

Sa slike 3.2 vidimo da su horizontalne linije tako iscrtane da u pravcu y ose deset podeoka predstavlja 1 mV i to i u pozitivnom i u negativnom smeru y ose. Vertikalne linije su vremenski intervali. Svaki inč predstavlja jednu sekundu i obično nosi pet podeoka na papiru koji su odvojeni tamnjim vertikalnim linijama. Intervali između ovih linija iznose 0.2 s. Zatim su i ti intervali od 0.2 s podeljeni na pet manjih intervala sa tanjim linijama koji iznose po 0.04 s.



Slika 3.2

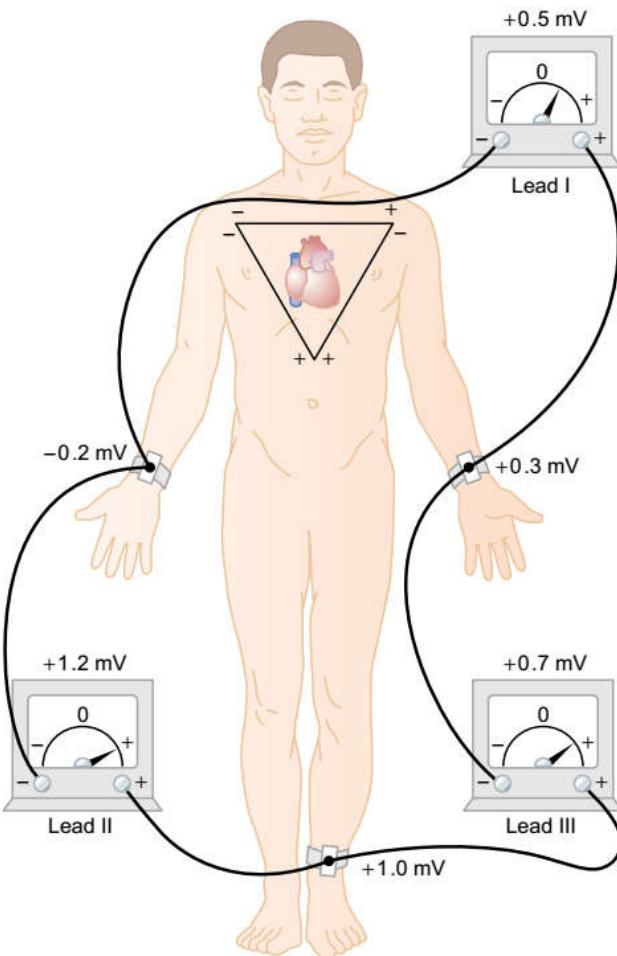
Snimljeni naponi talasa u normalnom elektrokardiogramu zavise od načina na koji se elektrode postave na površinu tela kao i od toga koliko su elektrode blizu srca. Kada se jedna elektroda postavi direktno na ventrikule a druga negde drugo na telu, dalje od srca, snimljeni napon QRS kompleksa iznosi do 3-4 mV. Čak i to je malo u poređenju sa monofaznim akcionalim potencijalom od 110 mV snimljenom direktno na srčanom mišiću. Kada se elektrokardiogram snima sa elektroda koje se nalaze na rukama ili na ruci i nozi napon QRS kompleksa je obično između 1-1.5 mV od vrha R talasa do dna S talasa, napon P talasa iznosi 0.1-0.3 mV, a T talasa 0.2-0.3 mV.

Vreme pre početka P talasa i pre početka QRS kompleksa je interval pre početka električne pobude atria i ventrikula respektivno. Ovaj period se naziva P-Q interval. Normalni P-Q interval je 0.16 s. Često se naziva i P-R interval.

Kontrakcija ventrikula traje skoro od početka Q talasa do kraja T talasa ovaj interval se naziva Q-T interval i traje 0.35 s.

Iz elektrokardiograma se lako može utvrditi srčani ritam jer je srčani ritam u stvari recipročna vrednost vremenskog intervala između dva uzastopna otkucaja. Ako je period između dva otkucaja 1 s srčani ritam je 60 otkucaja u minuti. Normalni interval između dva uzastopna QRS kompleksa kod odrasle osobe je oko 0.83 s što znači da je normalni srčani ritam oko 72 otkucaja u minuti.

3.2. Elektrokardiografski izvodi



Slika 3.3 Elektrokardiografski izvodi I, II i III

Slika 3.3 pokazuje električnu vezu između pacijentovih udova i elektrokardiografa koja se naziva standardni bipolarni izvodi. Pojam bipolarni vodi iz činjenice da se elektrokardiogram snima iz dve elektrode locirane na dve različne strane srca u ovom slučaju na udovima. Znači izvod nije jedna žica spojena sa telom već kombinacija dve žice i njihovih elektroda koje stvaraju zatvoren kolo između tela i elektrokardiografa.

Izvod I.

Kod snimanja prvog izvoda negativni pol elektrokardiografa je povezan za desnu ruku a pozitivni za levu ruku. Zato kada je tačka gde se desna ruka spaja sa grudima elektronegativna u odnosu na mesto gde se leva ruka spaja sa grudima a koja je elektropozitivna elektrokardiograf snima pozitivno odnosno iznad linije nultog napona. Kada je obrnuto snima ispod linije nultog napona.

Izvod II.

Da bi se snimio drugi izvod negativni pol se povezuje za desnu ruku a pozitivni na levu nogu. Tako kada je desna ruka negativna u odnosu na levu nogu elektrokardiograf snima pozitivno.

Izvod III.

Da bi se snimio treći izvod negativni pol se povezuje za levu ruku a pozitivni za levu nogu. To znači da elektrokardiograf snima pozitivno ako je leva ruka negativna u odnosu na levu nogu.

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

Trougao koji je nacrtan oko srca na slici 3.3 se naziva Einthoven-ov trougao. To ilustruje da dve ruke i leva nogu formiraju tri temena trougla oko srca. Gornja dva temena predstavljaju tačke na kojima se dve ruke električno spajaju sa fluidima oko srca a donje teme mesto gde se leva nogu povezuje sa fluidima.

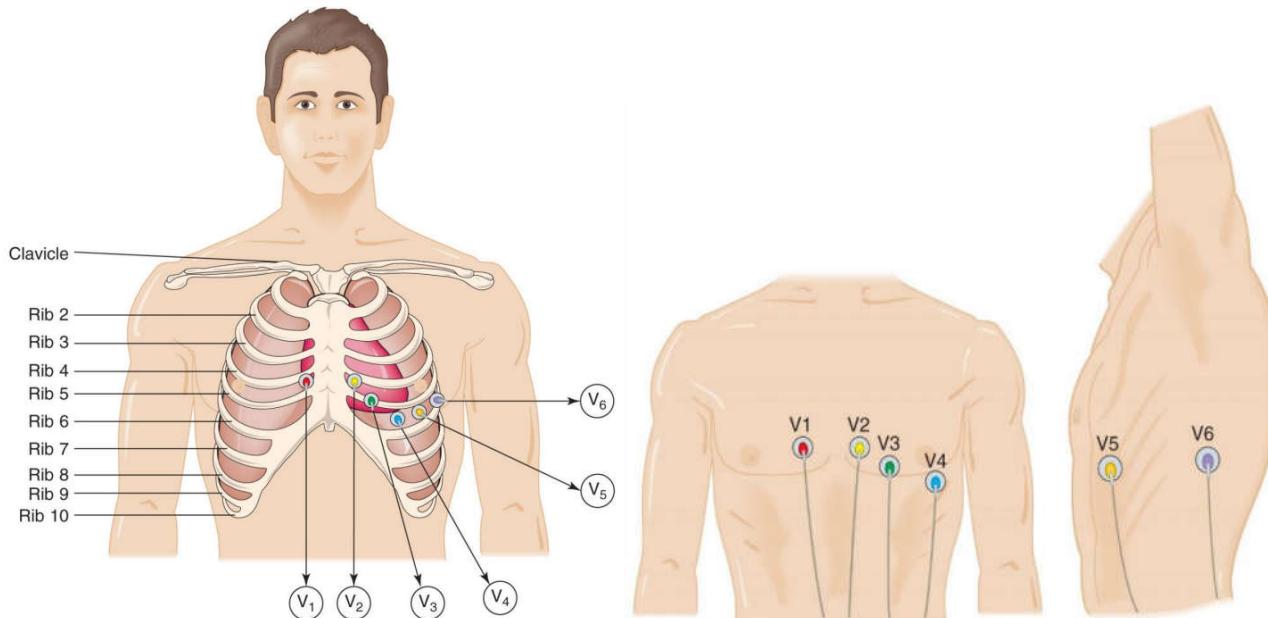
Einthoven-ov zakon kaže: ako su poznate vrednosti električnih potencijala bilo koja dva od tri električna izvoda u bilo kom trenutku, treći se može matematički odrediti jednostavno sumiranjem prva dva (naravno mora se voditi računa o znaku prilikom ovog sumiranja). Na primer predpostavimo na osnovu slike 3. da je desna ruka negativna u odnosu na prosečni potencijal tela -0.2 mV , da je leva ruka pozitivna +0.3 mV i da je leva nogu pozitivna +1.0 mV. Možemo videti da bi prvi izvod pokazivao pozitivni potencijal +0.5 mV, jer je to razlika između 0.3 mV na levoj ruci i - 0.2 mV na desnoj ruci, slično treći izvod bi snimio pozitivni potencijal + 0.7 mV, a drugi izvod +1.2 mV jer su to trenutne potencijalne razlike između parova udova respektivno.

Sad primetimo da je suma napona prvog i trećeg izvoda jednaka drugom izvodu, tj.

$$0.5 \text{ mV} + 0.7 \text{ mV} = 1.2 \text{ mV}$$

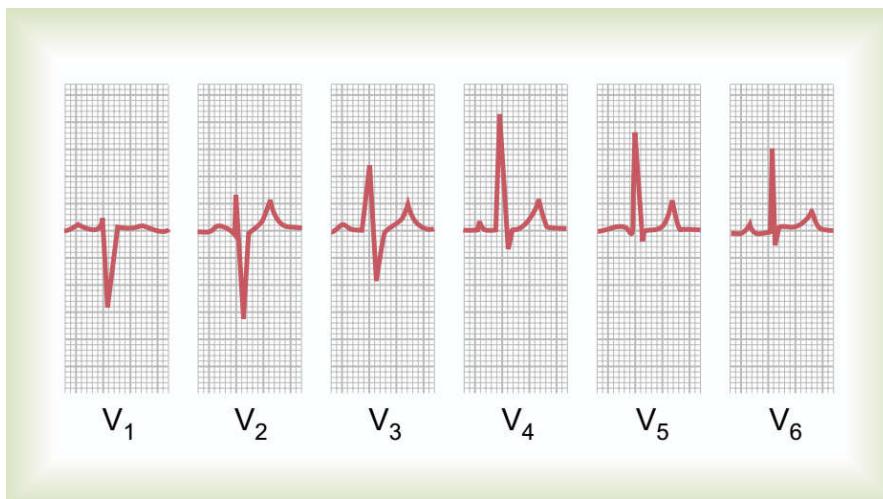
3.3. Prekordijalni izvodi

Često se elektrokardiogrami snimaju sa jednom elektrodom postavljenom na prednju stranu grudi direktno iznad srca na mestima označenim na slici 3.4.



Slika 3.4 Prekordijalni izvodi

Ova elektroda je povezana za pozitivni terminal elektrokardiografa a negativna elektroda koja se zove indiferentna elektroda je povezana preko jednakih otpora za desnu ruku, levu ruku i levu nogu sve u isto vreme. Obično se snima šest standardnih grudnih (prekordijalnih) izvoda, svaki posebno. Od prednjeg grudnog zida grudne elektrode se postavljaju sekvencijalno na šest tačaka kao što je prikazano na slici 3.4. Oni su poznati kao izvodi V₁, V₂, V₃, V₄, V₅, i V₆.

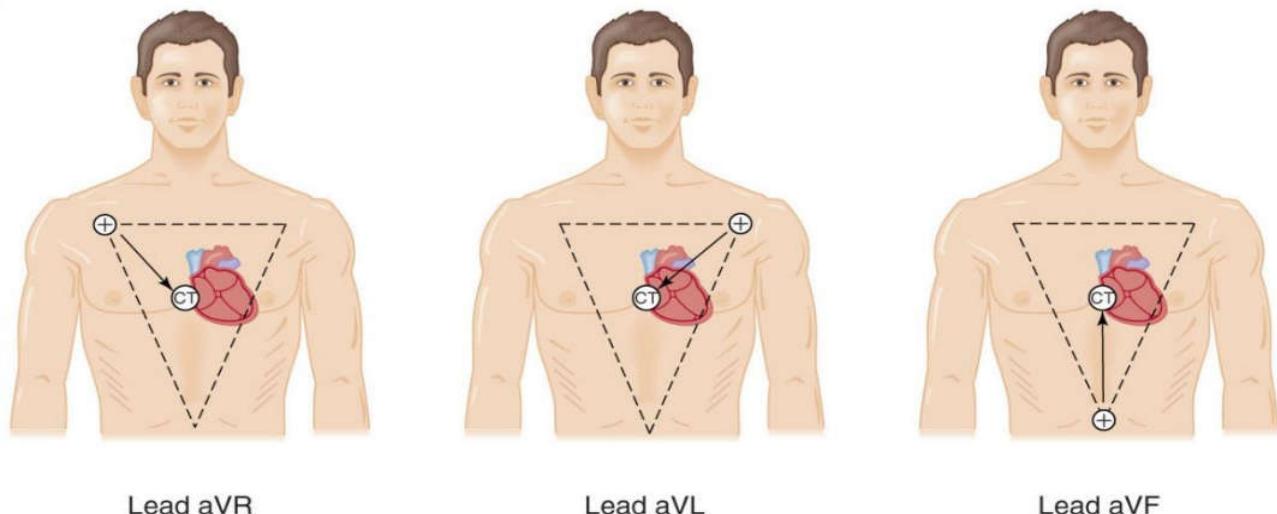


Slika 3.5 Elektrokardiogram snimljen prekordijalnim izvodima

Slika 3.5 ilustruje elektrokardiogram snimljen sa šest standardnih grudnih izvoda. Zato što je površina srca blizu grudnog zida svaki izvod snima električne potencijale srčanog mišića direktno ispod elektrode. Zato relativno male abnormalnosti u komorama pogotovo na prednjem komornom zidu mogu izazvati promene elektrokardiogramima koji su snimljeni u individualnim grudnim izvodima. U izvodima V₁ i V₂ snimci QRS kompleksa su uglavnom negativni jer je elektroda bliža bazi srca nego temenima u ovim izvodima, a baza je u pravcu elektronegativnosti većinom procesa depolarizacije komora. Takođe iz suprotnog razloga su ostali izvodi uglavnom pozitivni.

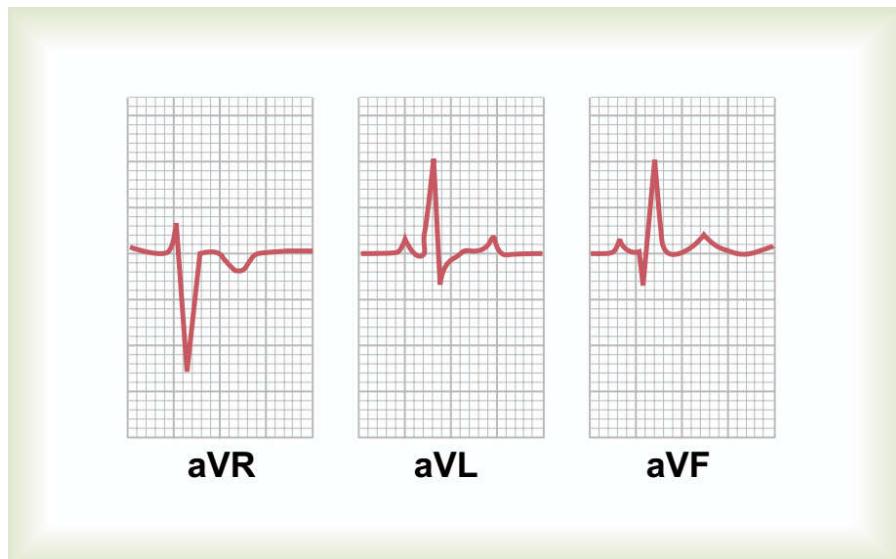
3.4. Uvećani unipolarni izvodi

Još jedan sistem izvoda koji se nalazi u širokoj upotrebi zove se uvećani unipolarni izvod (slika 3.6). U ovom tipu snimanja dva uđa se vezuju preko električnih otpora za negativni terminal elektrokardiografa a treći ud za pozitivni. Kada je pozitivni terminal na desnoj ruci izvod je poznat kao aVR izvod, na levoj ruci aVL izvod, i na levoj nozi aVF izvod.



Slika 3.6 Uvećani unipolarni izvodi

Normalni snimak uvećanog unipolarnog izvoda se može videti na slici 3.7

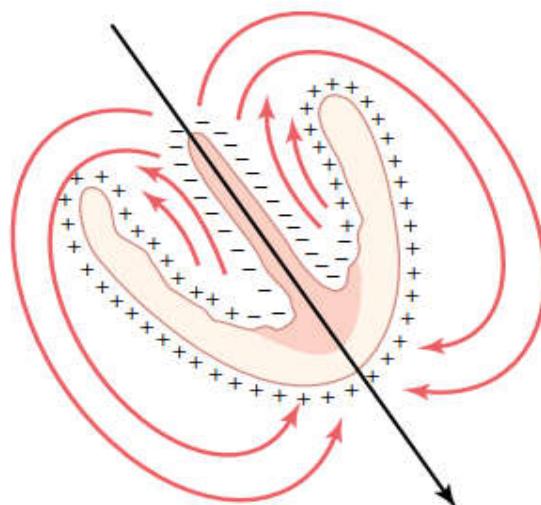


Slika 3.7 Uvećani unipolarni izvodi

4. Elektrokardiograf: vektorska analiza

Pre nego što shvatimo kako srčane abnormalnosti deluju na konture elektrokardiograma, moramo prvo upoznati koncept vektora i vektorske analize i način na koji se ona upotrebljava na električne potencijale u i oko srca.

Nekoliko puta u prethodnim poglavljima je pomenuto da struja u srcu teče u određenom smeru u datom momentu srčanog ciklusa. Vektor na slici 4.1 je strelica koja pokazuje pravcu električnog potencijala generisanog tokom struje, vrhom okrenuta u pozitivnom smeru. Takođe, po konvenciji dužina strelice se crta proporcionalno veličini potencijala.



Slika 4.1 Glavni vektor delom depolarizovanih komora

Slika 4.1 pokazuje, u osenčenim delovima sa negativnim znakom, depolarizaciju ventrikularne šupljine i delova temenog endokardijalnog zida dve ventrikule. U ovom trenutku srčane pobude električna struja teče između depolarizovanih površina unutar srca i nedepolarizovanih površina van srca, što je prikazano dugačkim eliptičnim strelicama. Deo struje takođe teče unutar srčanih komora direktno iz depolarizovanih prema još uvek polarizovanim površinama. Sve u svemu, mnogo je veći tok struje iz baze srca ka temenu. Zbog toga se rezultujući vektor generisanih potencijala u tom trenutku naziva trenutni glavni vektor i predstavlja se dugačkom srunom strelicom nacrtanom kroz centar ventrikula u pravcu od baze ka temenu. Zbog toga što je zbir struja kvantitativno značajan i potencijal je veliki, pa je intenzitet vektora veliki tj. strelica kojom je predstavljen je dugačka.

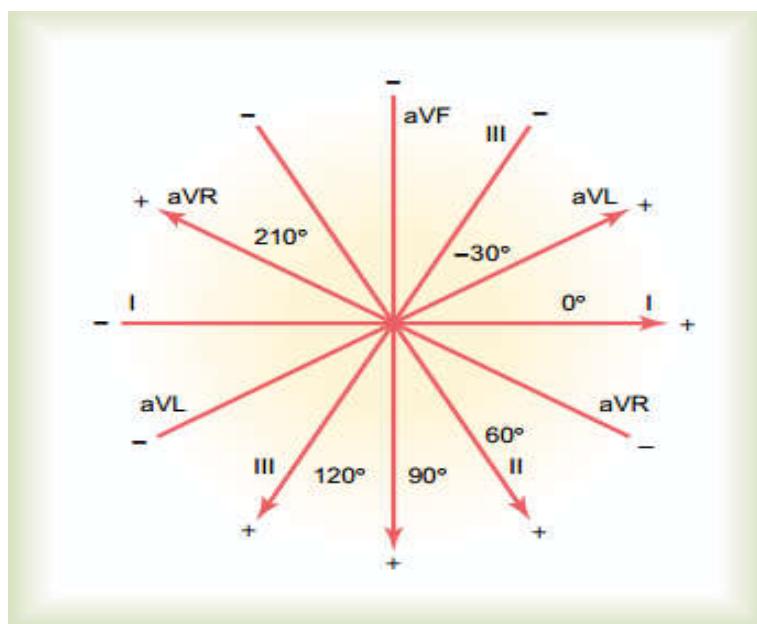
Kada je vektor postavljen horizontalno i okrenut ka levoj strani osobe, tada se kaže da se vektor pruža u pravcu od 0° .

Iz te nulte tačke, skala vektora rotira u pravcu kazaljke na satu. Kada se vektor pruža od gore ka dole kažemo da se nalazi na $+90^\circ$, kada se pruža sa leve strane osobe na desnu ima pravac $+180^\circ$, a kada se pruža odozdo na gore ima pravac -90° (ili $+270^\circ$). U normalnom zdravom srcu prosečni pravac vektora tokom širenja depolarizacionog talasa kroz ventrikule, koji se naziva glavni QRS vektor je oko $+59^\circ$.

To znači da tokom većine trajanja depolarizacionog talasa teme srca ostaje pozitivno u odnosu na bazu srca.

4.1. Ose standardnih bipolarnih i svakog unipolarnog izvoda

U glavi 3. su objašnjena tri standardna bipolarna i tri unipolarna izvoda. Svaki izvod je u stvari par elektroda povezan na telo sa suprotnih strana srca. Pravac od negativne do pozitivne elektrode se naziva osa izvoda. Prvi izvod se snima sa dve elektrode postavljene respektivno na dve ruke. Zato što elektrode leže tačno u horizontalnom pravcu a pozitivna elektroda je na levoj ruci, pravac ose prvog izvoda je 0° .



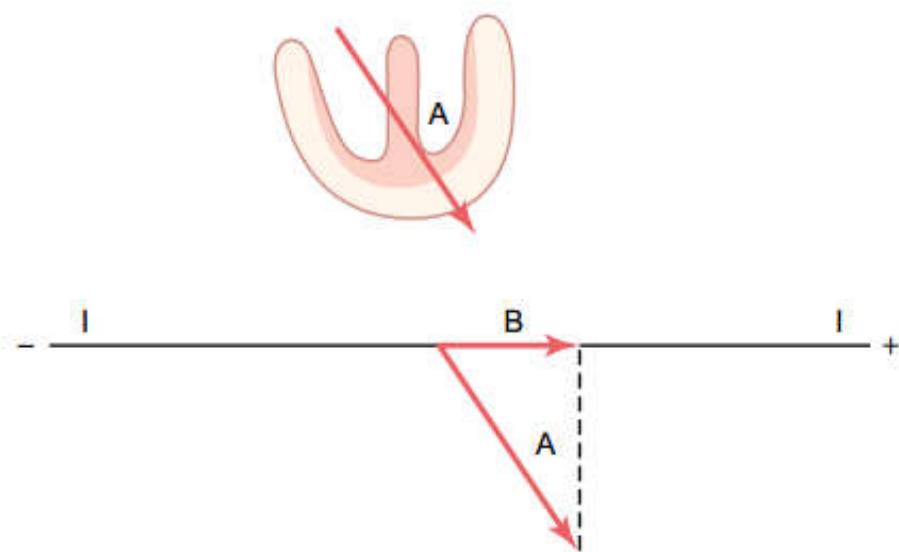
Slika 4.2 Pravci osa bipolarnih i unipolarnih izvoda

Kod snimanja izvoda II elektrode su na desnoj ruci i levoj nozi, tako da je negativna desna ruka, pa je pravac ose izvoda II $+60^\circ$. Sličnom analizom se može doći do zaključka da je pravac ose izvoda III $+120^\circ$, izvoda aVR $+210^\circ$, izvoda aVF $+90^\circ$ i izvoda aVL -30° (ili $+320^\circ$).

Pravci osa svih izvoda su prikazani na slici 5.2 koja je poznata i kao heksagonalni referentni sistem. Polariteti elektroda su prikazani kao plus i minus znaci na dijagramu.

4.2. Vektorska analiza bipolarnih izvoda

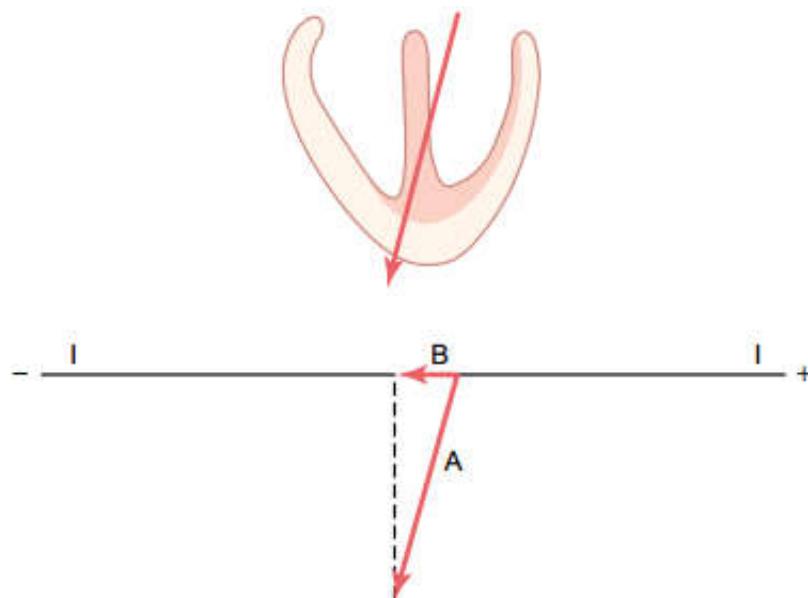
Sad kad smo diskutovali konvencije predstavljanja potencijala kroz srce putem vektora i drugo, osa izvoda moguće je koristiti ih zajedno da bi se odredio trenutni potencijal koji će snimiti elektrokardiogram na svakom izvodu za dati vektor srca kao što sledi.



Slika 4.3. Određivanje projektovanog vektora B duž ose izvoda I

Slika 4.3 predstavlja parcijalno depolarizovano srce, vektor A predstavlja trenutni srednji pravac toka struje kroz komore. U ovom trenutku pravac vektora je $+55^\circ$ a napon je srazmeran dužini strelice vektora A i iznosi 2 mV. Na dijagramu ispod srca se nalazi osa izvoda I u pravcu 0° . Da bi odredili koliki će napon vektora A biti snimljen na elektrokardiogramu na izvodu I, crtamo normalu od vrha vektora A na osu izvoda I. Dobijamo projekciju vektora koji je na slici predstavljen vektorom B, čiji vrh pokazuje prema pozitivnoj strani ose izvoda I što znači da će vrednost elektrokardiograma snimljena u tom trenutku na izvodu I biti pozitivna.

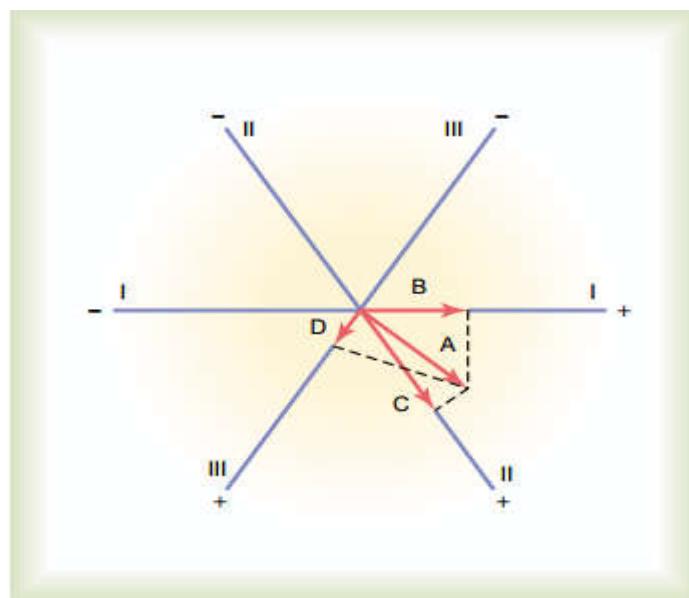
Vrednost napona će biti $\frac{\text{dužina vektora } B}{\text{dužina vektora } A} \cdot 2 \text{ mV}$ ili oko 1 mV.



Slika 4.4. Određivanje projektovanog vektora B duž ose izvoda I

Slika 4.4 pokazuje drugi primer vektorske analize. U ovom primeru vektor A predstavlja električni potencijal i njegovu osu u datom trenutku tokom ventrikularne depolarizacije u srcu u kojem se leva strana srca depolarizuje brže nego desna. U ovom slučaju trenutni vektor ima pravac $+100^\circ$ i napon je takođe 2 mV.

Da bi odredili koji se potencijal zapravo snimi na izvodu I, crtamo normalu od vrha vektora A na osu izvoda I i tražimo projektovani vektor B. Vektor B je veoma kratak i ovaj put je okrenut u negativnom smeru pokazujući u ovom specijalnom slučaju da će snimak na izvodu I biti negativan (ispod nulte linije elektrokardiograma), a napon će biti mali oko -0.3 mV. Ova slika pokazuje da ako je vektor u srcu skoro normalan na osu izvoda snimljeni napon je izuzetno mali, odnosno ako se pravac srčanog vektora skoro poklapa sa osom izvoda ceo njegov potencijal će biti snimljen.



Slika 4.5. Položaj vektora srca u odnosu na bipolarne izvode

Na slici 4.5 vektor A predstavlja trenutni električni potencijal delom depolarizovanog srca. Da bi utvrdili potencijal koji je snimljen na elektrokardiogramu u određenom trenutku za svaki od tri standardna bipolarna izvoda, povlačimo normale iz vrha vektora A na svaku od osa tri standardna bipolarna izvoda kao na slici.

Vektor B, koji je projekcija vektora A na osu izvoda I, predstavlja potencijal koji je snimljen tog trenutka na izvodu I. Vektor C predstavlja potencijal na izvodu II i vektor D predstavlja potencijal na izvodu III.

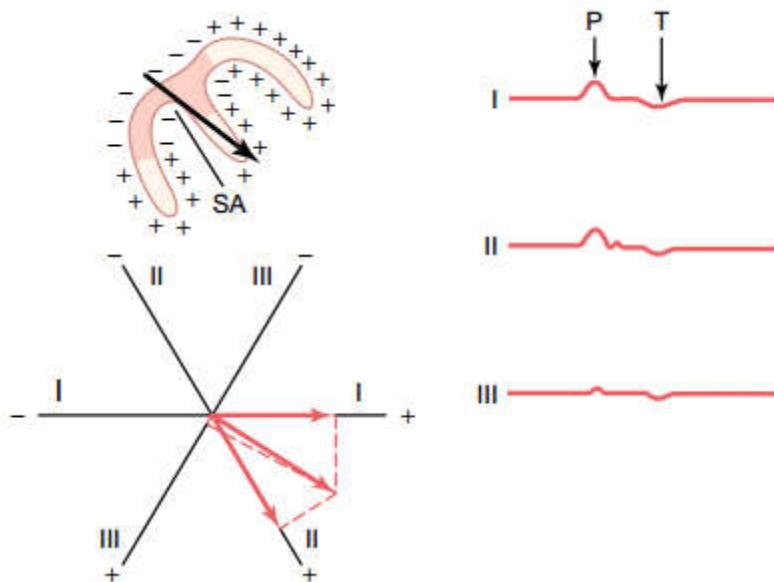
Na svakom od njih snimak na elektrokardiogramu je pozitivan odnosno iznad nulte linije zato što su projekcije vektora A na svim osama usmerene ka pozitivnom potencijalu za sve izvode. Potencijal u izvodu I (vektor B) čini otprilike polovinu pravog potencijala u srcu (vektor A), u izvodu II (vektor C) je skoro jednak pravom potencijalu srca, i u izvodu III (vektor D) čini otprilike trećinu od onog koji je u srcu.

Identična analiza se može upotrebiti da bi se odredili potencijali u uvećanim unipolarnim izvodima samo što se umesto osa bipolarnih izvoda koje su na slici 4.5 upotrebljavaju ose unipolarnih izvoda kao na slici 4.2.

4.3. Depolarizacija pretkomora-P talas

Depolarizacija pretkomora počinje u sinoatrijalnom čvoru i zatim se širi u svim pravcima u pretkomorama. Zbog toga je tačka originalne elektronegativnosti pretkomorama otprilike na tački ulaska gornje šuplje vene gde leži sinusni čvor, a pravac inicijalne depolarizacije je predstavljen crnim vektorom na slici 4.6.

Štaviše, vektor generalno ostaje u ovoj poziciji tokom procesa normalne atrijalne depolarizacije. Zato što je pravac ovog vektora kod normalne depolarizacije uglavnom pozitivan na osama sva tri bipolarna izvoda, elektrokardiogram snimljen tokom depolarizacije pretkomora je takođe uglavnom pozitivan u sva tri bipolarna izvoda kao što se vidi na slici 5.8. Ovakav snimak atrijalne depolarizacije je poznat kao P talas.



Slika 4.6 Depolarizacija atriuma

Širenje depolarizacionog talasa kroz mišiće atriuma je mnogo sporije nego kod mišića ventrikula jer pretkomore nemaju Purkinjeov sistem za brzo provođenje depolarizacionog signala. Zbog toga se muskulatura oko sinusnog čvora depolarizuje mnogo pre udaljenih delova pretkomora. Zato se područje oko sinusnog čvora prvo i repolarizuje ali je vektor obrnut u odnosu na vektor depolarizacije. Takozvani T talas je na slici 4.6 prikazan kako prati P talas sa 0.15 s zakašnjenja, ali je ispod nulte linije. U normalnom elektrokardiogramu atrijalni T talas se javlja otprilike u isto vreme kad i QRS kompleks. Zbog toga je skoro uvek maskiran njime, mada se pojavljuje u nekim abnormalnim stanjima.

4.4 Vektorska analiza QRS kompleksa

Kada srčani impuls ulazi u komore putem AV snopa, prvi deo komora koji se depolarizuje je leva endokardijalna površina septuma. Zatim se depolarizacija širi veoma brzo i zahvata obe endokardijalne površine septuma kao što se vidi na osenčenim delovima komora na slici 4.7 A. Zatim se depolarizacioni talas širi kroz endokardijalne površine do ostataka dve komore kao na delu slike 4.7 B i C.

Najzad se širi kroz mišiće komore do spoljnog dela srca kao na slici 4.7. C, D i E. Na svim delovima slike trenutni srednji potencijal je predstavljen vektorom na komori. Svaki od ovih vektora je zatim analiziran metodom predstavljenom u prethodnom delu da bi odredili kolika voltaža će biti snimljena na svakom od tri standardna elektrografska izvoda. Na desnom delu svakog segmenta slike 4.7 se vidi progresivni razvoj elektrokardiografskog QRS kompleksa.

Treba imati na umu da će pozitivni vektor u izvodu uzrokovati snimak elektrokardiograma iznad nulte linije, a negativan vektor ispod nje.

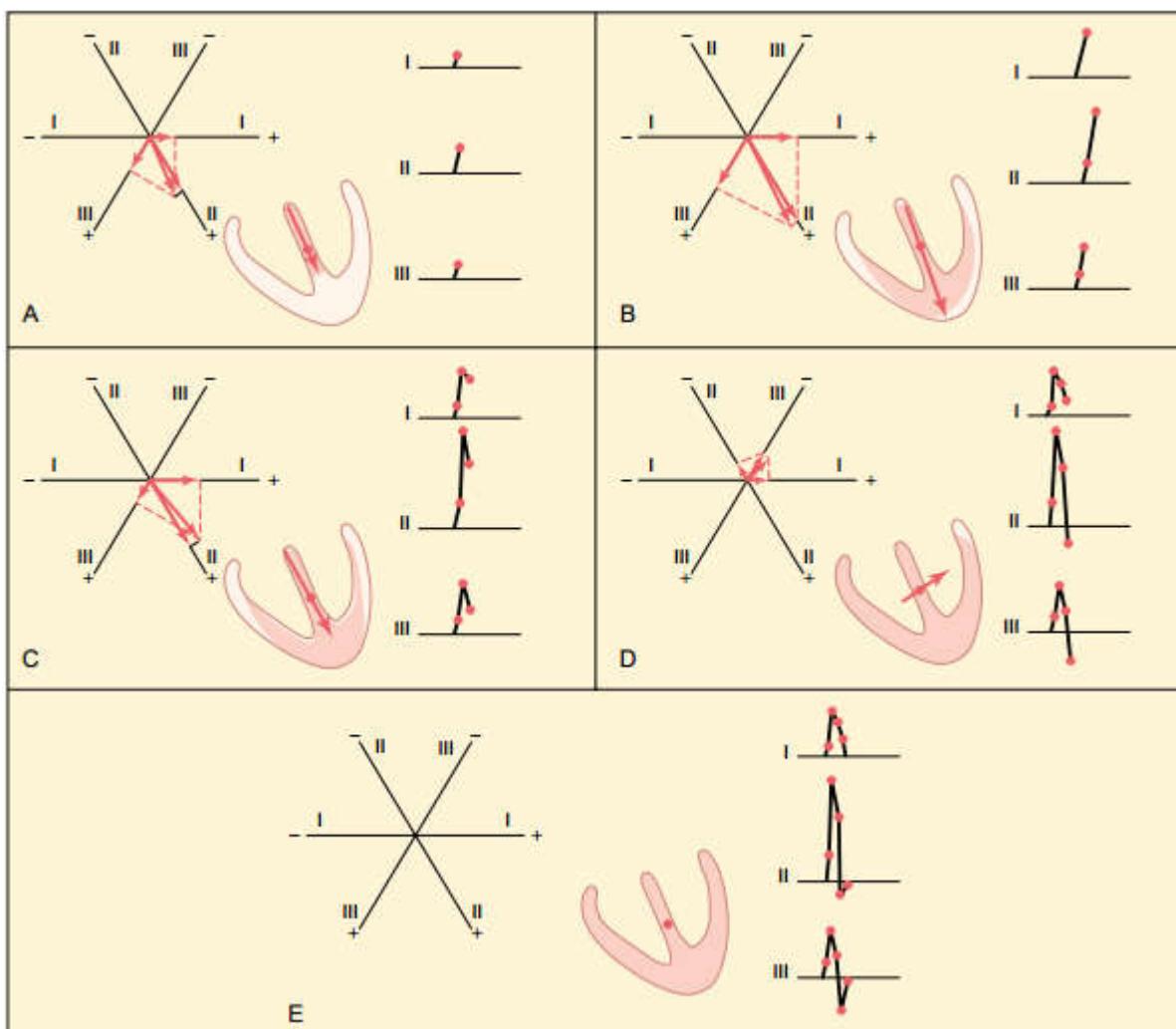
Na slici 4.7 A mišić komore je tek započeo depolarizaciju, i predstavljen je u trenutku 0.01 s nakon početka depolarizacije. U ovom trenutku vektor je kratak jer je samo mali deo komorne šupljine depolarizovan. Zbog toga je napon koji je snimljen nizak kao što se vidi u desnom delu segmenta A. Napon na izvodu II je nešto viši nego na izvodima I i III zato što vektor u tom trenutku uglavnom ima pravac ose izvoda II.

U delu B koji predstavlja trenutak 0.02 s nakon početka depolarizacije vektor srčanog dipola je dugačak jer je većina mišićne mase komora zahvaćena depolarizacijom. Zbog toga su se naponi koji su izmereni u svim elektrokardiografskim izvodima povećali. Na delu C slike 0.035 s nakon početka depolarizacionog talasa vektor smanjuje intenzitet i snimljeni naponi postaju niži jer sada spoljašnjost vrha srca postaje elektronegativna, neutrališući veliki deo elektropozitivnosti ostalih epikardijalnih površina srca. Takođe osa vektora počinje da se pomera ka levoj strani grudi jer se leva strana malo sporije depolariše nego desna. Zbog toga se napon u izvodima I i III povećava.

Na delu D 0.05 s posle početka procesa, vektor srca se nalazi u pravcu baze leve komore i kratak je zbog toga što je samo mali deo mišića komore još uvek polarizovan pozitivno. Zbog pravca vektora u ovom trenutku, snimci sa izvoda II i III su negativni tj. ispod linije su gde je napon na izvodu I još uvek pozitivan.

Na delu E slike 4.7 0.06 s nakon početka depolarizacije, ceo ventrikularni mišić je depolarizovan tako da nema struje koja teče oko srca i ne generiše se električni potencijal. Stoga i vektor uzima nulli pravac i potencijali imaju vrednost nula u svim izvodima. Tako se QRS kompleks kompletira u tri standardna bipolarna izvoda.

Ponekad QRS kompleks ima blagu negativnu depresiju na svom početku u jednom ili više izvoda, koja nije prikazana na slici 4.7, ova depresija je Q talas. Kada se pojavi uzrokovana je inicijalnom depolarizacijom leve strane septuma koja nastupa pre desne strane i koja formira vektor slabog inteziteta a koji se pojavljuje delić sekunde pre nego što nastane normalni baza-vrh vektor. Najveći deo pozitivnog skretanja na slici 4.7 je R talas a finalno negativno skretanje je S talas.



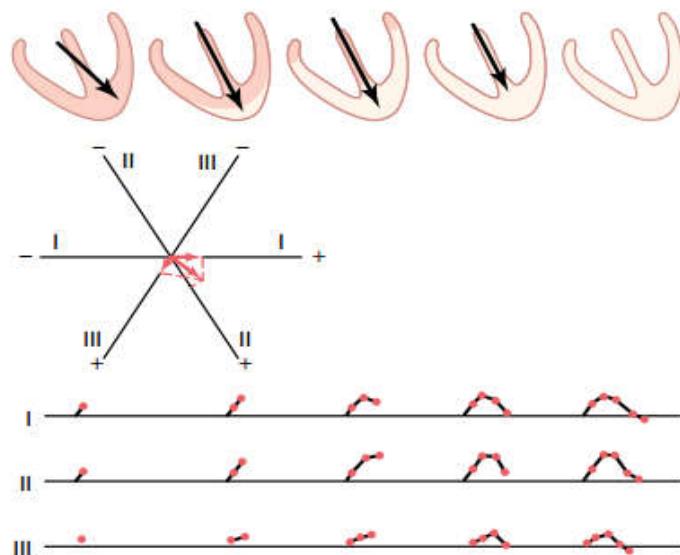
Slika 4.7. Analiza QRS kompleksa

4.5. Repolarizacija-T talas

Nakon što mišić komore postane depolarizovan (0.15 s posle depolarizacije) počinje repolarizacija i traje do 0.35 s. Repolarizacija uzrokuje T talas na elektrokardiogramu. Zato što se septum i endokardijalne površine prve depolarizuju logično bi bilo očekivati da se prve i

repolarizuju. Međutim to nije slučaj jer septum i endokardijalni delovi imaju duži period kontrakcije nego većina spoljnih površina na srcu. Zbog toga je najveći deo mase mišića komora koji se prvi repolarizuje upravo njihova spoljna površina posebno ona blizu vrha srca. Endokardijalni deo se repolarizuje zadnji. Veruje se da je ovaj segment repolarizacije uzrokovani visokim krvnim pritiskom u komorama tokom kontrakcije, koji umnogome smanjuje protok krvi ka endokardiju i tako usporava repolarizaciju endokardijalnih delova. Zbog toga što se spoljne površine vrha srca repolarizuju pre unutrašnjih, pozitivni kraj vektora komore tokom repolarizacije je okrenut ka vrhu srca.

Kao rezultat toga normalni T talas u sva tri bipolarna izvoda je pozitivan kao što je to i polaritet većine normalnog QRS kompleksa. Na slici 4.8 pet faza repolarizacije su označene progresivnim povećanjem belih površina, repolarizovanih površina. U svakoj fazi vektor se produžava od baze srca ka vrhu dok ne nestane u zadnjoj fazi. U početku je vektor relativno slabog intenziteta, jer je repolarizovana površina mala.



Slika 4.8 Pet faza repolarizacije

Kasnije vektor ima veći intenzitet zbog većeg stepena repolarizacije. Na kraju intenzitet vektora opet slabi jer još uvek postoje depolarizovane površine tako da dolazi do smanjenja ukupnog protoka struje. Ove promene ukazuju na to da je intenzitet vektora najveći kada je oko polovina srca repolarizovana a druga polovina depolarizovana.

Promene elektrokardiograma tri standardna bipolarna izvoda tokom repolarizacije primećuju se na svakoj komori i opisuju progresivna stanja repolarizacije. Prema tome, tokom 0.15 s koliko je potrebno da se ceo proces završi, generiše se T talas na elektrokardiogramu.

5. *Biopac sistem*

Biopac student lab sistem je proizведен od strane *BIOPAC Systems Inc. Goleta, California*. Predstavljen je 1995. god kao zamena za zastarele pisače i osciloskope koji su bili u širokoj upotrebi u studentskim laboratorijama. Napredak jeftinijih personalnih kompjutera je značio da starije analogne tehnike mogu biti zamjenjene sa moćnijim i ne tako skupim kompjuterizovanim alternativama.

Studenti u laboratorijama koriste *Biopac* sistem da snimaju podatke sa svojih tela, životinja ili tkivnih preparata. *Biopac* sistem integriše hardver, softver i raspored za preko šezdeset eksperimenata koje studenti koriste za proučavanje kardiovaskularnog sistema, mišića, plućnih funkcija, autonomnog nervnog sistema i mozga.

Biopac sistem sadrži hardver za skupljanje podataka sa ugrađenim univerzalnim pojačivačima za snimanje i obradu električnih signala iz srca, oka, mišića, živaca, mozga, respiratornog sistema i tkivnih preparata. Ovaj sistem za prikupljanje podataka dobija signale iz elektroda i transdžusera². Električni signal je jako mali sa amplitudama ponekad i reda veličine μV , zato hardver pojačava taj signal, filtrira neželjenu električni šum ili smetnje, ikonverte signale u set brojeva koje kompjuter može da pročita. Zatim te brojeve prikazuje na monitoru u formi talasa.

Sistem za prikupljanje podataka se povezuje za PC koji koristi Windows ili Macintosh putem USB priključka. Elektrode i transdžuseri imaju senzore koji dozvoljavaju softveru da osigura da studenti koriste prave dodatke i uzimaju dobre podatke. Softver vodi studente putem instrukcija na ekranu i detaljnog uputstva koje prati naučni metod. Kada studenti prikupe podatke onda koriste analitičke alate za merenje amplituda i frekvencija i širokog spektra drugih parametara električnih signala. Proces obrade podataka omogućava studentima da prave opšta poređenja podataka. Mogu da porede svoje rezultate sa normalnim vrednostima parametara u organizmu, ili vrednosti pre nego što subjekt obavi neki zadatak i posle toga. Takođe mogu da porede rezultate i sa ostalim studentima u laboratoriji. Softver je dostupan na engleskom, francuskom, španskom, italijanskom, japanskom i kineskom jeziku.

Hiljade fakultetskih laboratorijskih širom sveta, pa tako i laboratorijske Departmane za fiziku na Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu, koriste *Biopac* student lab sistem za učenje: fiziologije, farmakologije, biologije, neurologije, psihologije, psihofiziologije, medicinskog bioinženjeringu i medicinske fizike. Proizvođač je takođe obezbedio i teorijske pripreme i detaljna uputstva za izvođenje vežbi kao i obradu podataka. Takođe sistem ima najveći stepen *user friendly* odlika sa kojima se autor ikada susreo tokom studija.

² Aparat koji varijacije neke fizičke veličine, npr. pritiska ili svetlosti, konvertuje u električni signal i obrnuto.

5.1. Merenja i obrada podataka

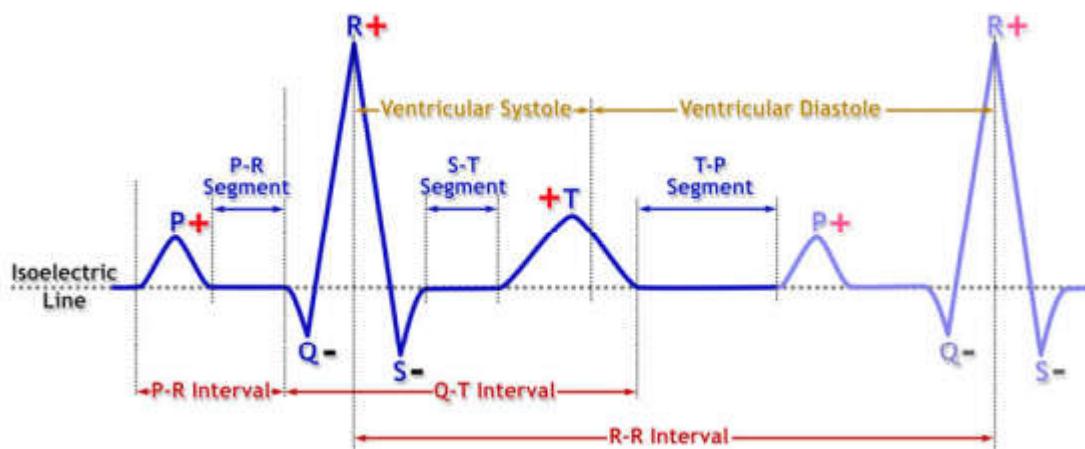
Kao glavni zadatak ovog diplomskog rada navedena je analiza elektrokardiograma na *Biopac* student lab sistemu. Da bih na najbolji način pokazao analizu funkcija rada srca odabrao sam da izvedem merenja i obradu podataka tri studentske vežbe i u ovom poglavlju ću ih prezentovati.

Merenja su izvršena u laboratoriji na departmanu za fiziku, a obrada podataka se sastoji iz odgovora na specifičan set pitanja koja su pripremljena od strane proizvođača u sklopu *Biopac* student lab sistema. Obradene su studentske vežbe 5,6 i 7.

5.2. Vežba 5: Elektrokardiografija I

Uvod:

Snimak električne aktivnosti srca naziva se elektrokardiogram (EKG): Pomoću njega se može pratiti mehanička aktivnost srca.



Slika 5.2.1 Elementi elektrokardiograma

Glavni elementi elektrokardiograma:

- Izoelektrična linija-pokazuje periode u kojima nema električne aktivnosti
- Interval-vremenski period u kome postoje talasi i/ili kompleksi
- Segment-vremenski period koji ne uključuje talase i/ili komplekse

U ovoj vežbi merenja se rade u izvodu II, što znači da se pozitivna elektroda nalazi na levoj nozi, negativna na desnoj ruci a uzemljenje na desnoj nozi.

Tipične vrednosti koje se dobijaju na izvodu II su date u tabeli 5.2.1.

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

Tabela 5.2.1. Glavni elementi elektrokardiograma

Ekg komponente	Oblast merenja	Predstavlja	Trajanje[s]	Amplituda[mV]
Talasi	P	Početak i kraj na izoelektričnoj liniji	Depolarizaciju pretkomora	0.07-0.18 <0.25
	QRS kompleks	Početak i kraj na izoelektričnoj liniji od početka Q do kraja S talasa	Depolarizacija komora	0.06-0.12 0.10-1.50
	T	Početak i kraj na izoelektričnoj liniji	Repolarizacija komora	0.10-0.25 <0.5
Intervali	P-R	Od početka P talasa do početka QRS kompleksa	Vreme od početka depolarizacije pretkomora do deplarizacije komora	0.12-0.2
	Q-T	Od početka QRS kompleksa do kraja T talasa	Kontraktivni period komora	0.32-0.36
	R-R	Između pikova susednih R talasa	Vreme između dve deplarizacije komora	0.80
Segmenti	P-R	Od kraja P talasa do početka QRS kompleksa	Vreme provođenja impulsa iz A-V čvora do komora	0.02-0.1
	S-T	Između kraja S talasa i početka T talasa	Period početka repolarizacije komora	<0.2
	T-P	Od kraja T talasa do početka narednog P talasa	Vreme između repolarizacije komora i depolarizacije atria	0.0-0.40

Cilj vežbe:

1. Upoznati se sa elektrokardiogramom kao osnovnim alatom pri proceni električne aktivnosti srca
2. Povezati električne aktivnosti, EKG koji vidimo na monitoru sa mehaničkim radom srca tokom srčanog ciklusa
3. Posmatrati promene u radu i ritmu srca na EKG-u povezane sa položajem tela i disanjem

Aparatura:

- BIOPAC Electrode Lead Set (SS2L)
- BIOPAC jednokratne elektrode (EL503), 3 elektrode po ispitaniku
- BIOPAC gel za elektrode (GEL1) i abrazivnu pločicu ili sredstvo za čišćenje kože
- Madrac, prostirku ili laboratorijski sto i jastuk za ležeći položaj
- Biopac student lab sistem BSL4 softver, MP36, MP35, MP45 hardver
- Kompjuterski sistem (Windows 8,7,Vista, XP,Mac 10.5-10.8)



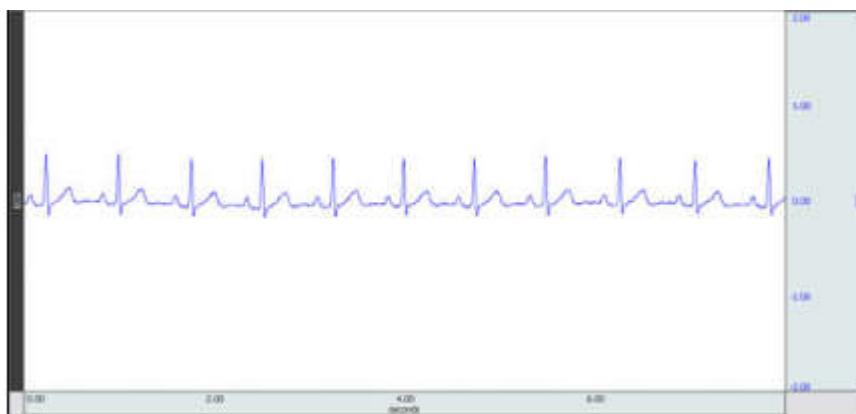
Slika 5.2.2. Izgled aparature

Način rada:

Prvo uključujemo kompjuter i Biopac student lab. Zatim pristupamo čišćenju kože ispitanika jer koža mora biti čista i odmašćena. Koristimo abraziv ili sredstvo za čišćenje kože. Zatim stavljamo gel na elektrode i nameštamo ih na mesto.

Zatim pristupamo kalibraciji da bi ustanovili važne parametre rada srca ispitanika. Kalibracija se vrši u ležećem polažaju sa zatvorenim očima u opuštenom stanju, traje osam sekundi.

Elektrokardiografija na Biopac sistemu



Slika 5.2.3 Izgled kalibracionih podataka

Snimamo četiri slučaja: ležeći položaj, sedeći položaj, pri dubokom disanju i posle opterećenja.

Obrada podataka:

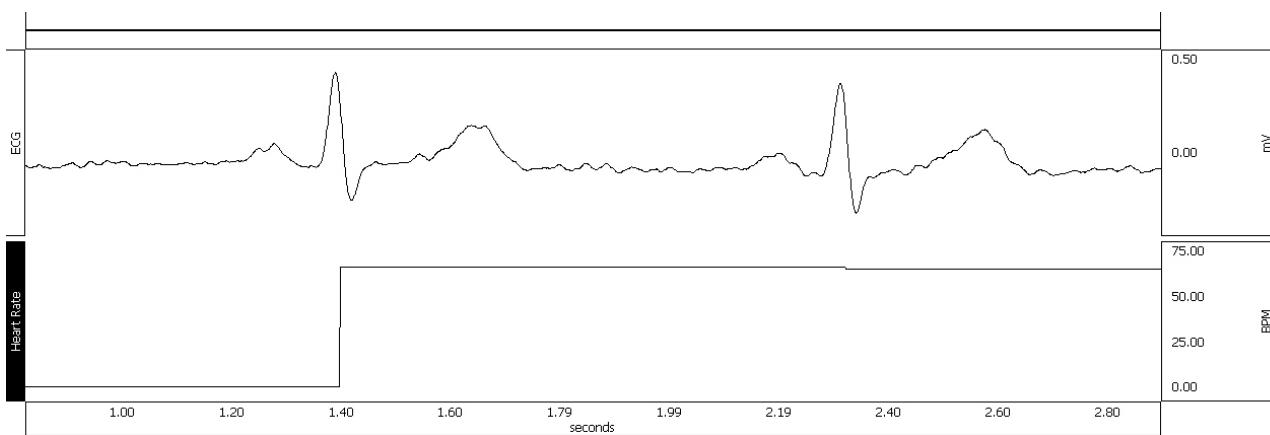
Ime ispitanika: Vladimir Malešević
Starost: 38 god Pol: Muški

Visina: 174
Težina: 80 kg

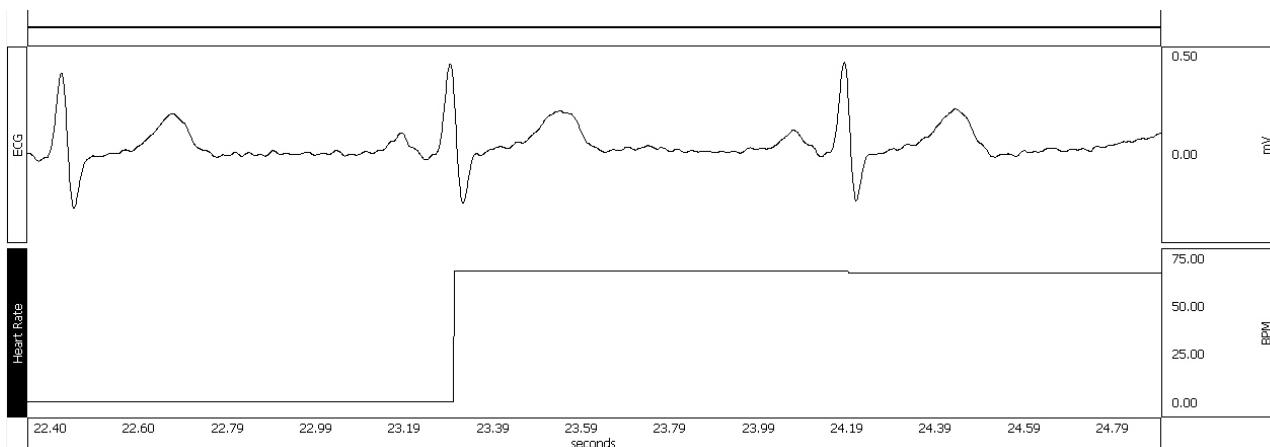
Podaci o ispitaniku su identični u sve tri vežbe.



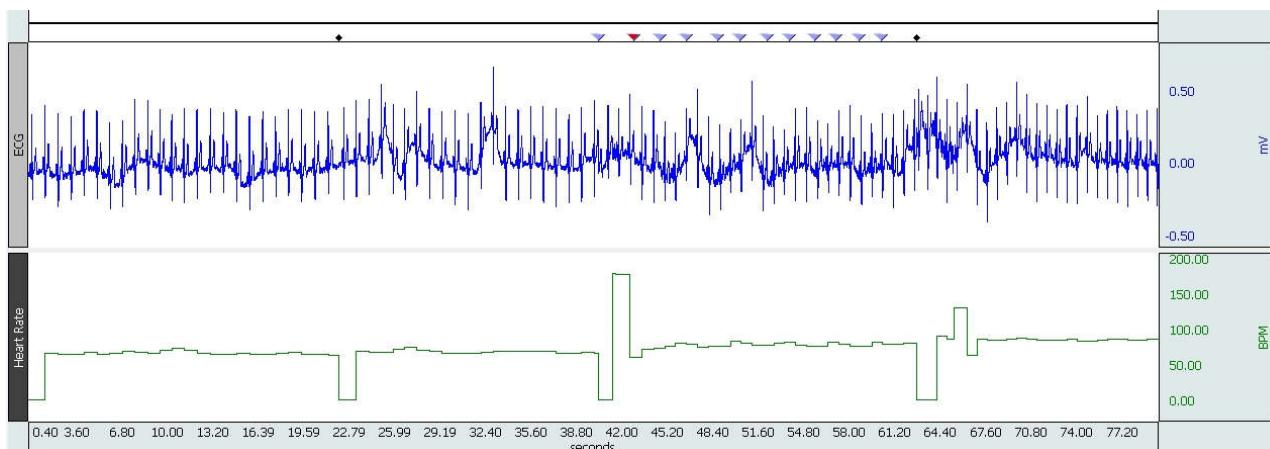
Slika 5.2.4. Položaji tela pri snimanju



Slika 5.2.5 Snimljeni EKG u ležećem položaju



Slika 5.2.6 Snimljeni EKG u sedećem položaju



Slika 5.2.7 Integralni snimak EKG

Na slikama 5.2.5 i 5.2.6 su prikazani podaci EKG-a u ležećem i sedećem položaju u opuštenom stanju. Na gornjoj liniji se jasno vide P talas zatim QRS kompleks i T talas, donja linija predstavlja srčani ritam u BPM (otkucaja u minuti).

Slika 5.2.7 predstavlja integralni snimak EKG-a u vežbi sa svim prikazanim markerima koji označavaju promene položaja tela i početak uzdaha i izdaha.

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

Tabela 5.2.2. Srčani ritam

Položaj	Ciklus 1 [BPM]	Ciklus 2 [BPM]	Ciklus 3 [BPM]	Srednja vrednost [BPM]
Ležeći	65	65	67	65.67
Sedeći	74	71	68	71
Početak udisaja	73	75	77	75
Početak izdisaja	80	82	82	81.33
Posle opterećenja	86	87	86	83.33

Tabela 5.2.3. Ventrikularna sistola i dijastola

Položaj	Trajanje [ms]	
	Ventrikularna sistola	Ventrikularna dijastola
Ležeći	291	636
Posle opterećenja	255	448

Tabela 5.2.4. Komponente EKG-a

EKG komponenta	Normativne vrednosti		Trajanje[ms]				Amplituda[μ V]			
			1	2	3	Srednja vred.	1	2	3	Srednja vred.
Talasi	Trajanje [s]	Amplituda [mV]								
P	0.07-0.18	<0.2	77	114	125	105.33	92	99	130	107
QRS kompleks	0.06-0.12	0.1-0.15	91	99	99	96.33	576	594	608	593
T	0.1-0.25	<0.5	192	225	181	199.33	172	205	219	199
Intervali	Trajanje[s]									
P-R	0.12-0.2		125	109	139	124.33				
Q-T	0.32-0.36		396	378	353	375.67				
R-R	0.8		697	702	712	703.67				
Segmenti	Trajanje[s]									
P-R	0.02-0.1		35	35	36	35.33				
S-T	<0.2		85	100	85	90				
T-P	0-0.4		236	220	258	238				

Tabela 5.2.5.

Položaj: posle opterećenja				
EKG komponenta	Normativne vrednosti		Trajanje [ms]	Amplituda [mV]
Talasi	Trajanje [s]	Amplituda [mV]		
P	0.07-0.18	<0.20	111	0.130
QRS kompleks	0.06-0.12	0.10-1.5	109	0.569
T	0.10-0.25	<0.5	158	0.166
Intervali	Trajanje [s]			
P-R	0.12-0.2		122	
Q-T	0.32-0.36		352	
R-R	0.8		700	
Segmenti	Trajanje [s]			
P-R	0.02-0.1		42	
S-T	<0.2		92	
T-P	0-0.4		257	

Pitanja:

D. Objasnite promene u srčanom ritmu između različitih položaja tela. Opišite fiziološki mehanizam koji ih uzrokuje.

Prilikom svake promene položaja tela u položaj koji zahteva više napora dolazi do ubrzanja srčanog ritma. Do toga dolazi zbog toga što svaki napor zahteva bolju prokrvljenost i snabdevenost kiseonikom, pa i srce brže pumpa. Do toga dolazi pod dejstvom simpatičkog odnosno parasimpatičkog sistema, gde simpatički sistem ubrzava pobudu S-A čvora pa samim tim i brzinu rada i obrnuto, parasimpatikus ga usporava. Na srčani ritam utiču i gravitacija i baroreceptori.

E. Ima li razlike u srčanom ciklusu sa respiratornim ciklusom?

Ima razlike. Kod početka udaha pod uticajem kontrakcije mišića za udah grudni koš se širi, pritisak unutar grudnog koša se smanjuje dozvoljavajući venama da se rašire što uzrokuje nagli pad pritiska i automatski ubrzava rad srca. Kod izdaha dolazi do povećanja pritiska u arterijama i ubrzavanja rada srca u fazi ranog ekspirijuma, dok kod kasnog ekspirijuma srčana frekvencija opada.

F. Koje se razlike pojavljuju tokom sistole i dijastole između stanja odmaranja i posle opterećenja?

Trajanje sistole kao i trajanje dijastole izmađu ova dva stanja se skraćuje što automatski znači da srce brže radi.

G. U poređenju sa odmaranjem da li se trajanje EKG intervala i segmenata smanjuje tokom vežbanja? Objasniti.

Da smanjuje se zbog bržeg rada srca u istom vremenskom periodu ima više otkucaja

Uporedite vaš EKG sa normativnim vrednostima, objasnite razlike: Sve vrednosti izmerene u našem eksperimentu „upadaju“ u normativne vrednosti

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

H. Da bi srce kucalo treba mu tri tipa ćelija. Opišite ćelije i njihovu funkciju.

1. Generatori ritma, koji proizvode električni signal (SA čvor)
2. Provodnici električnog signala i
3. Kontraktilne ćelije (miokardijum) da mehanički pumpaju krv

I. Navedite počevši od normalnog *pacemaker*-a elemente srčanog provodnog sistema:

1. SA čvor
2. Atrialni miokard
3. Internodalni putevi
4. AV čvor
5. AV snop
6. Leva i desna grana
7. Purkinjeova vlakna
8. Miokard komore

J. Opišite tri srčana efekta povećane simpatičke odnosno parasimpatičke aktivnosti.

Simpatička ubrzava rad srca, takođe povećava električnu provodljivost srca i povećava silu atrioventrikularne kontrakcije.

Parasimpatička upravo suprotno usporava rad srca, smanjuje električnu provodljivost srca i smanjuje silu atrioventrikularne kontrakcije.

K. Kod normalnog srčanog ciklusa pretkomora se kontrahuje pre komore. Gde se ovo vidi na EKG-u?

Vidi se kao P talas (depolarizacija pretkomora praćena kontrakcijom).

L. Na šta se misli kad se kaže AV odlaganje i koja mu je uloga?

Misli se na kašnjenje signala koje se dešava u AV čvoru da bi se dalo vremena pretkomori da se kontrahuje.

M. Šta je izoelektrična linija na EKG-u

Izoelektrična linija pokazuje na kojim intervalima elektrode ne registruju električni signal.

N. Koje komponente EKG-a se mere duž izoelektrične linije?

Mere se segmenti, talasi i intervali.

5.3. Vežba 6: Elektrokardiografija II

Ose bipolarnih izvoda se mogu koristiti da se formira jednakostranični trougao koji se zove Einthoven-ov trougao u čijem centru leži srce. Svaka stranica trougla predstavlja jedan bipolarni izvod. Pozitivne elektrode sva tri izvoda se nalaze na otprilike jednakom rastojanju od nulte referentne tačke srca. Tako da se stranice trougla mogu pomerati desno, levo i dole bez promene ugla njihove orientacije sve dok se njihova središta ne presekaju u centru srca. Na ovaj način se formira standardni bipolarni vektorgraf gde svaka od glavnih osa formira ugao od 60° sa susednom.

Vektor može da predstavlja električnu aktivnost srca u određenom trenutku vremena. Srednja električna osa je suma svih vektora tokom srčanog ciklusa.

Kako QRS kompleks predstavlja većinu električne aktivnosti srca srednji vektor može se aproksimirati samo posmatranjem ovog intervala, prvo samo amplitude R talasa, a zatim kombinaciju Q R i S talasa. Rezultujući vektor, koji se naziva QRS osa, aproksimira srednju električnu osu srca.

Prva aproksimacija srednje ose u frontalnoj ravni se može izvršiti ucrtavanjem maksimalne vrednosti R talasa i izvoda I i III.

Crtamo normalu na vektore na glavnim osama, zatim tražimo presek tih normala i na mestu preseka od (0,0) do mesta preseka ucrtavamo vektor.

Pravac rezultujućeg vektora je aproksimativno srednja osa srca. Dužina vektora predstavlja srednji potencijal srca.

Cilj vežbe:

- Snimiti EKG sa izvoda I i III u: ležećem, sedećem i sa dubokim disanjem u sedećem položaju
- Uporediti izračunati EKG izvod II sa snimljenim EKG izvodima I i III i koristiti amplitude R talasa za potvrdu Einthoven-ovog zakona
- Aproksimirati srednju električnu osu ventrikula u frontalnoj ravni koristeći vektore amplituda EKG izvoda I i III

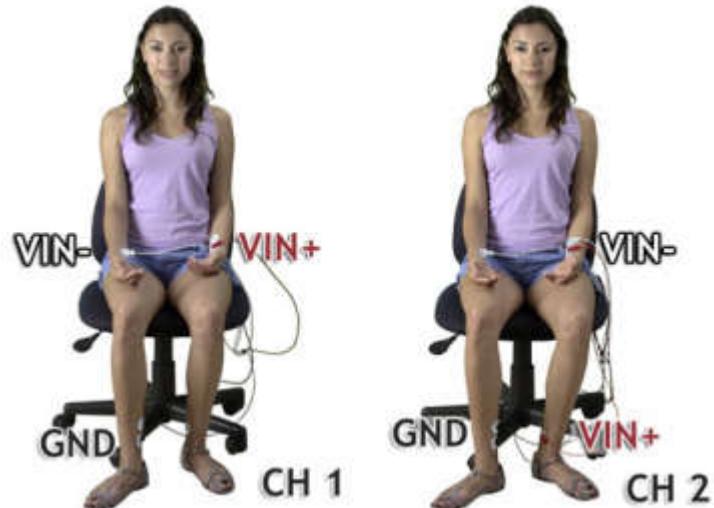
Aparatura:

- Biopac Electrode Lead Set 2 kom (SSL2)
- Biopac jednokratne elektrode (EL503), 6 elektroda po ispitaniku
- Biopac gel za elektrode ili sredstvo za čišćenje kože
- Madrac, strunjača ili laboratorijski sto za ležeći položaj
- Uglomer
- Dve olovke različitih boja
- Biopac Student lab System: BSL 4 software, MP36, MP35 or MP45 hardware
- Operativni sistem (Windows 8, 7, Vista, XP, Mac OS X 10.5 – 10.8)

Elektrokardiografija na Biopac sistemu



Slika 5.3.1. Izgled aparature



Slika 5.3.2 Postavljanje elektroda za izvode I i III

Obrada podataka:

Tabela 5.3.1. Amplituda srčanog ciklusa iz bipolarnih izvoda

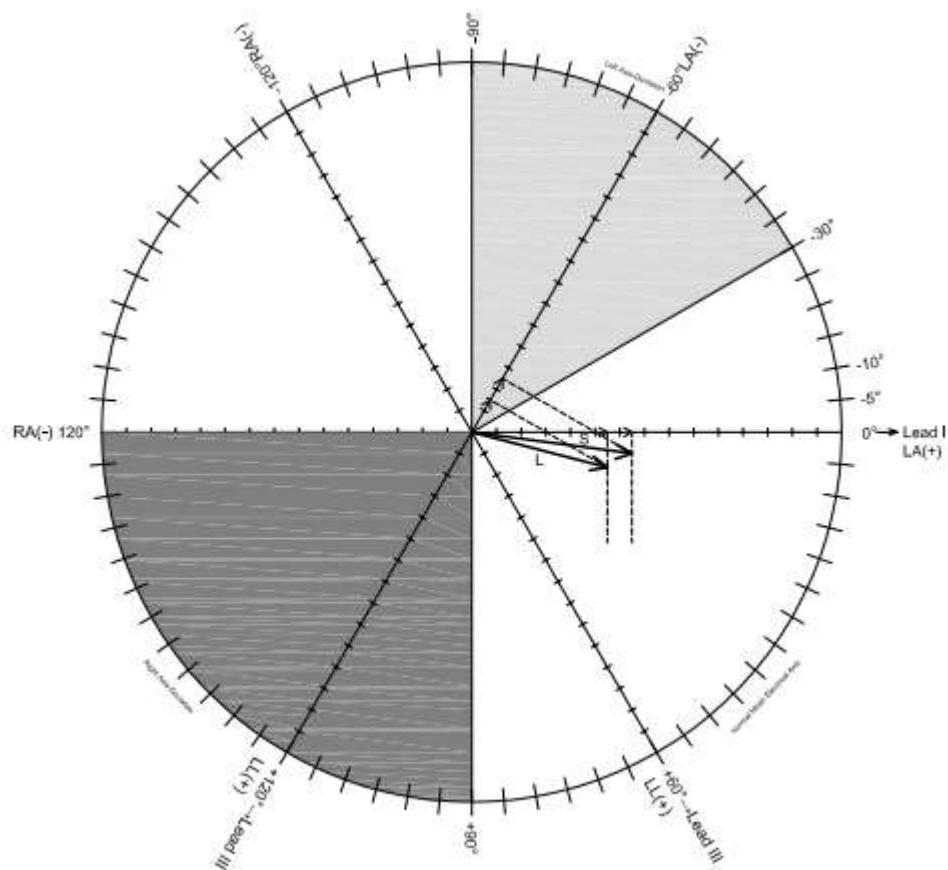
Izvod	Zajednički srčani ciklus	Amplituda [mV]
Izvod I	1 Delta	0.573
Izvod III	2 Delta	-0.134
Izvod II	40 Delta	0.438

Iz ovih podataka se vidi da je potvrđen Einthoven-ov zakon

$$I + III = II \quad \text{izraženo u brojnim vrednostima} \quad 0.573 + (-0.134) = 0.439$$

Tabela 5.3.2. Amplituda QRS kompleksa u različitim položajima tela

Položaj	QRS [mV]	
	Izvod I	Izvod III
Ležeći	0.573	-0.134
Sedeći	0.666	-0.252
Početak udaha	0.374	-0.123
Početak izdaha	0.688	-0.257



Grafik 1: Ležeći i sedeći položaj

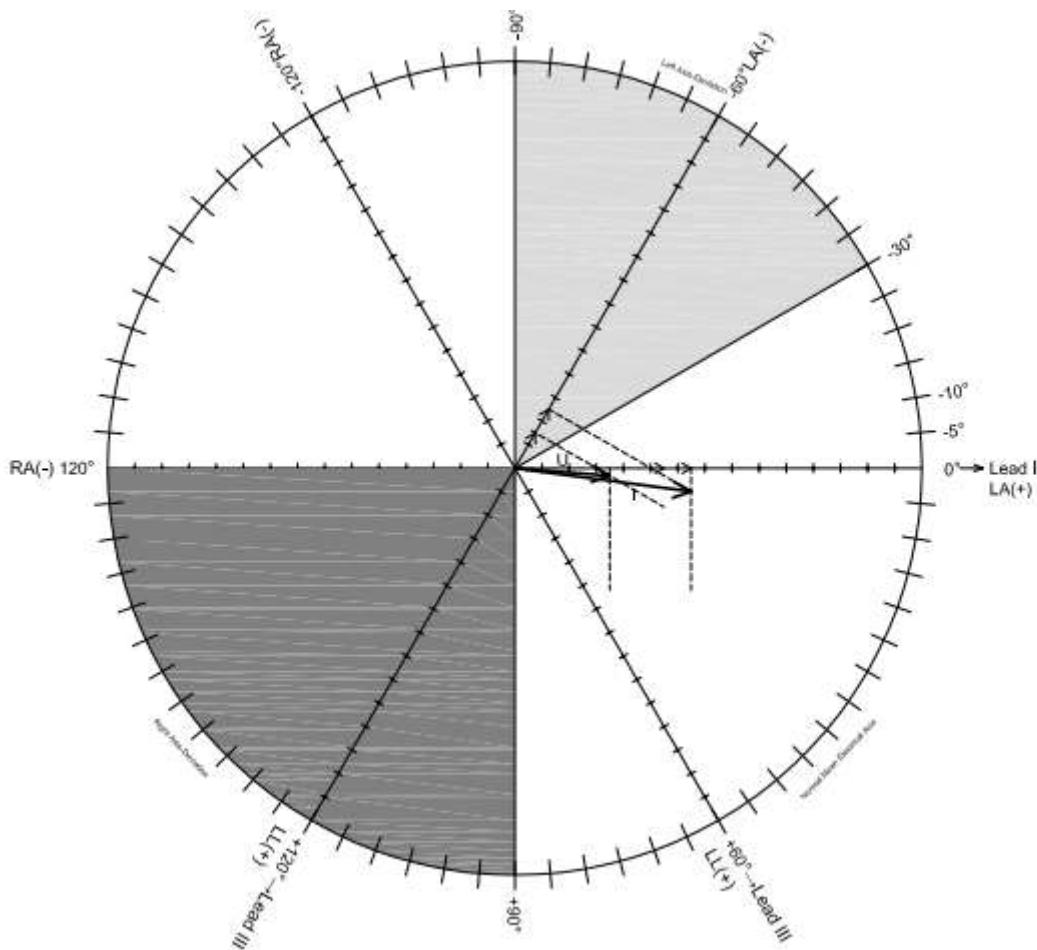
Elektrokardiografija na Biopac sistemu

Sa grafika odrediti:

Položaj	Srednji potencijal [mV]	Srednja osa(QRS)[°]
Ležeći	0.51	12
Sedeći	0.65	6

Objasnite razlike u srednjem potencijalu i srednjoj osi u navedena dva stanja:

Postoje male razlike koje su uzrokovane baš promenom položaja tela zato što srce mora jače da pumpa krv kod sedećeg položaja.



Grafik 2: Udah-izdah

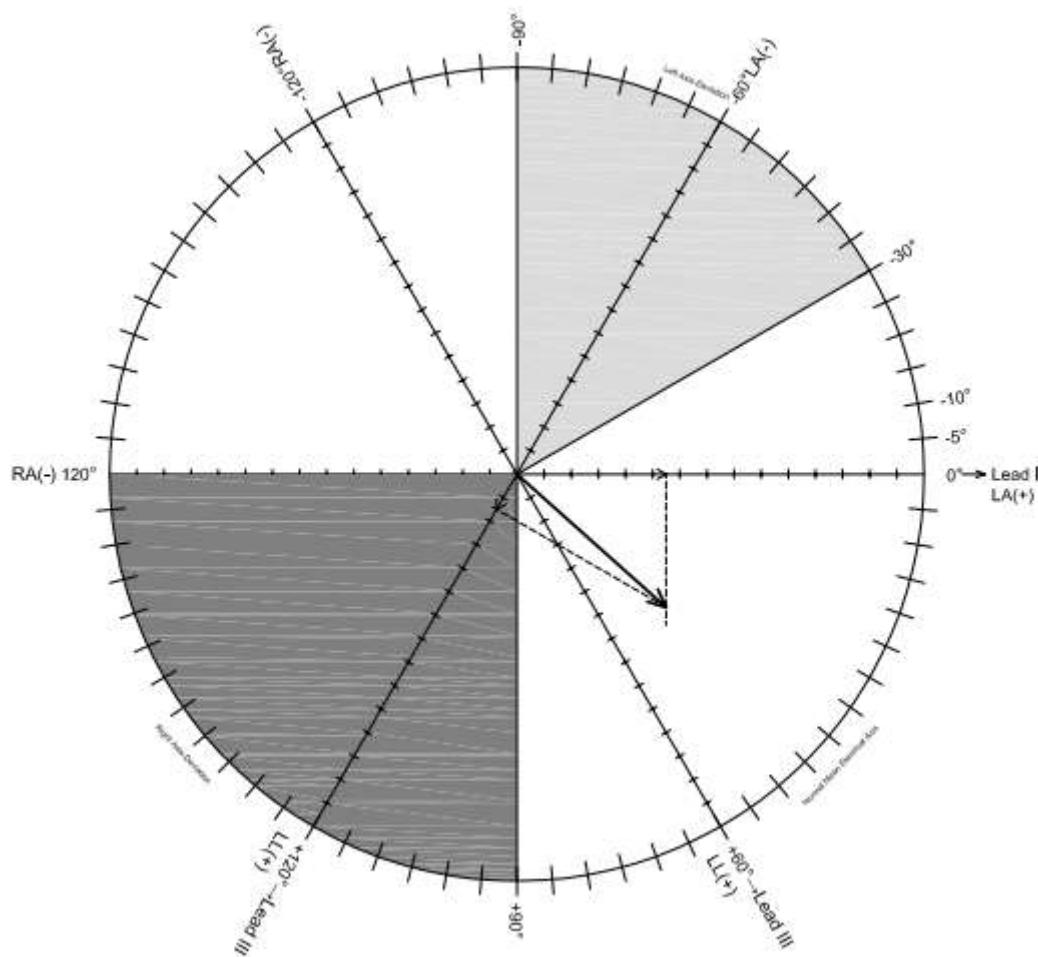
Sa grafika odrediti:

Stanje	Srednji potencijal [mV]	Srednja osa (QRS) [°]
Početak udaha	0.35	5
Početak izdaha	0.62	7

Objasni razlike ukoliko postoje: Isto kao i u prethodnom slučaju srce brže radi u periodu dok se suzdržava dah zato je amplituda veća kod početka izdaha.

Tabela 5.3.3. Amplituda delova QRS kompleksa na izvodu I i III

Potencijal	Izvod I [mV]	Izvod III [mV]
Q	-0.05	0.069
R	0.525	-0.09
S	0.04	-0.012
QRS	0.515	0.141



Grafik 3: Sedeći položaj

Sa grafika očitati:

Položaj	Srednji potencijal [mV]	Srednja osa (QRS) [°]
Sedeći	0.7	40

Objasniti razlike između veličina na ovom i na grafiku jedan: Na grafiku 1 smo posmatrali samo R talase, a na ovom posmatramo ceo QRS kompleks.

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

Pitanja:

D. definisati EKG:

Ekg je snimak električnog rada srca.

E. Definišite Einthoven-ov zakon:

Suma električnih struja u bilo koja dva bipolarna izvoda jednaka je struji u trećem izvodu.

F. Definišite Einthoven-ov trougao i dajte primer primene:

Od osa bipolarnih izvoda može da se napravi jednakostranični trougao koji se naziva Einthoven-ov trougao i služi za snimanje projekcija vektora osa i potencijala srca.

G. Koji faktori normalno utiču na promenu orijentacije srednje ventrikularne (QRS) ose?

Faktori koji utiču na promenu orijentacije su oni koji čine da je potrebno više vremena za depolarizaciju ventrikula (npr. hipertrofija leve ili desne komore).

H. Definišite devijaciju leve ose (LAD) i šta je uzrokuje:

Devijacija leve ose je pomeranje pravca ose iz normalnog u područje između -30° i -90°, a uzrokuje je hipertrofija leve komore.

I. Definišite devijaciju desne ose i šta je uzrokuje:

Devijacija desne ose je izmeštanje pravca iz normalnog u područje između +90° i +180°, a uzrokuje je hipertrofija desne komore.

J. Koji faktori utiču na amplitudu R talasa u različitim izvodima?

Smer struje u odnosu na pol ose izvoda.

5.4. Vežba 7: Ekg i puls

Glavna uloga srca u organizmu je da pumpa krv kroz telo. Da bi pumpalo krv, srce ima ritmične sekvence i električnih i mehaničkih događaja, srčani ciklus. Ova vežba se koncentriše na rad leve komore koja ima ulogu da pumpa krv u sistemski krvotok izazivajući puls.

Kontrakcija komore ili ventrikularna sistola se dešava na kraju R talasa, a završava na kraju T talasa. Ventrikularna dijastola ili period odmora komore počinje na kraju sistole i traje do narednog R talasa. Tako da se vreme srčanog ciklusa može meriti između pikova R talasa.

Kontrakcija komore gura određenu zapreminu krvi u krvotok (udarni volumen). Iz leve komore krv ulazi u aortu i zatim u ostatak organizma. Pumpanje takođe inicira talas pritiska koji se prenosi kroz zidove arterija. Pritisak se povećava sa sistolom a smanjuje sa dijastolom. Kada se pritisak prenese na periferiju npr. vrh prsta javlja se puls.

Cilj vežbe:

- Upoznati princip pletismografije³ i njene korisnosti u proceni periferalne promene zapremine krvi
- Posmatrati i meriti promene u periferalnoj zapremini krvi i pulsa u raznim eksperimentalnim i fiziološkim uslovima
- Odrediti približnu brzinu pulsog talasa na putu od srca do vrha prsta.

Aparatura:

- Biopac Electrode Lead Set (SS2L)
- Biopac jednokratne elektrode (EL503), 3 elektrode po ispitaniku
- Biopac pulsni transdijucer (SS4LA or SS4L)
- Lenjir ili traka za merenje
- Ledena ili topla voda u plastičnoj kofi
- Biopac gel za elektrode i sredstvo za čišćenje kože
- Biopac Student Lab sistem: BSL 4 software, MP36 or MP35 hardware
- Operativni sistem (Windows 8, 7, Vista, XP, Mac OS X 10.5 – 10.8)

³ Pletismografija-procedura merenja promena zapremine organa ili celokupnog organizma, obično na osnovu fluktuacija količine krvi u njima

Elektrokardiografija na Biopac sistemu



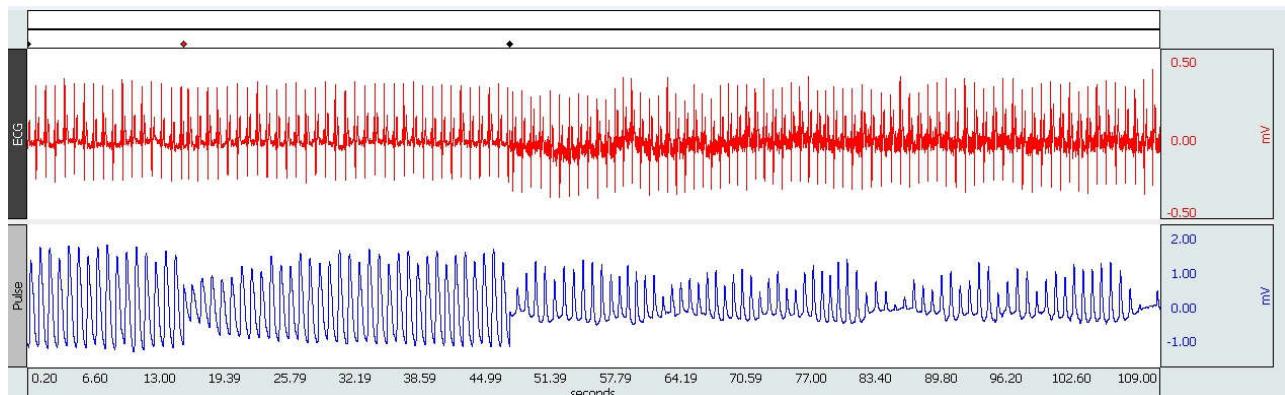
Slika 5.4.1. Izgled aparature



Slika 5.4.2 Snimanje EKG i pulsa

Snimanje se radi u tri različita položaja i to sa opuštenom rukom, podignutom rukom i sa promenom temperature. To se radi zbog toga što brzina protoka krvi pa samim tim i pulsa zavisi od dosta faktora koji su direktno povezani sa položajem tela i promenom temperature kao što su: sposobnost srca da se jako kontrahuje, krvni pritisak, relativna elastičnost arterija i dijametar sistemskih arterija i arteriola.

Obrada podataka:



Slika 5.4.3 Uporedni snimak EKG i pulsa

Tabela 5.4.1. Poređenje EKG-a sa pletismogramom

Stanje	Oblast	Veličina	Ciklus 1	Ciklus 2	Ciklus 3	Srednja vr.
Opuštena ruka	R-R interval	Δt [s]	0.94	0.95	0.955	0.945
	Ritam srca	BPM[min ⁻¹]	63.8	63.15	62.82	63.26
	Interval pulsa	Δt [s]	0.97	0.985	0.97	0.975
	Ritam pulsa	BPM[min ⁻¹]	61.8	60.09	61.85	61.24
Promena temperature	R-R interval	Δt [s]	0.965	0.985	0.975	0.975
	Ritam srca	BPM[min ⁻¹]	62.17	60.91	61.53	61.54
	Interval pulsa	Δt [s]	1.01	1.014	1.00	1.008
	Ritam pulsa	BPM[min ⁻¹]	59.11	59.11	60.00	59.41
Ruka podignuta	R-R interval	Δt [s]	0.94	0.94	0.95	0.943
	Ritam srca	BPM[min ⁻¹]	63.83	63.83	63.15	63.60
	Interval pulsa	Δt [s]	0.95	0.94	0.945	0.945
	Ritam pulsa	BPM[min ⁻¹]	63.16	63.82	63.49	63.49

Na slici 5.4.3 su snimljeni podaci EKG i pulsa u tri slučaja: sedeći, sedeći sa promenom temperature i sedeći sa podignutom rukom. Podaci su uneti u tabele 5.4.1 i 5.4.2.

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

Tabela 5.4.2. Poređenje QRS amplitude sa relativnom pulsnom amplitudom

Veličina	Opuštena ruka	Temperaturna promena	Podignuta ruka
QRS amplituda [mV]	0.585	0.585	0.595
Relativna pulsna amplituda [mV]	2.93	2.73	1.76

C. Izračunavanje brzine pulsa:

Rastojanje između ispitanikovog sternuma i ramena? 28 cm

Rastojanje između ispitanikovog ramena i vrha prsta? 73 cm

Ukupna razdaljina 101 cm

Podaci za opuštenu ruku:

Vreme između R talasa i pulsног pika? 0.410 s

Brzina 246.34 cm/s

Podaci za podignutu ruku:

Vreme između R talasa i pulsног pika? 0.455 s

Brzina 221.98 cm/s

Pitanja:

D. Prema prvoj tabeli podaci su slični ili variraju?

Blago variraju.

Objasnite zašto:

Zato što faktori koji utiču na promenu zapremine krvi zavise od položaja tela i promene temperature.

E. Prema drugoj tabeli, koliko se QRS amplituda menja u između stanja?

Ekstremna temperatura-opuštena ruka? 0 mV

Podignuta ruka-opuštena ruka? 0.01 mV

F. Prema drugoj tabeli koliko se menja pulsna amplituda između stanja?

Ekstremna temperatura-opuštena ruka? 0.2 mV

Podignuta ruka-opuštena ruka? 1.17 mV

G. Prema drugoj tabeli da li se QRS amplituda menja sa pulsnom amplitudom? Zašto?

QRS amplituda ostaje ista jer amplituda zavisi samo od električnog impulsa koji je uvek isti bez obzira na položaj tela.

H. Opišite jedan mehanizam koji izaziva promene u zapremini krvi na vrhu prsta.

Na primer elastičnost krvnih sudova, što su krvni sudovi krući to je brzina pulsног talasa veća.

I. Prema podacima iz sektora C. Kako bi objasnili razliku u brzini ako postoji?

Zato što faktori koji utiču na promenu zapremine krvi zavise od položaja tela.

J. Koje komponente srčanog ciklusa su primetne na snimanju pulsa?

Najprimetnija je ventrikularna sistola.

6. Zaključak:

U ovom radu smo upoznali principe rada srčanog mišića, kao i mehanizme njegove električne pobude. Analizirali smo elektrokardiogram i njegove delove. Videli smo metode analize elektrokardiograma i njegovu važnost u fiziologiji i medicini kao pokazatelj zdravlja srčane pumpe.

Zatim smo se upoznali sa Biopac student lab sistemom, koji je potpuno nov i revolucionaran koncept učenja na našem fakultetu. Stvoren je da bi zamenio zastarele pen pisače i osciloskope koji su se do sada koristili na studentskim vežbama širom sveta. Na žalost ne pripadam generaciji studenata koji su radili laboratorijske vežbe iz predmeta Fizika ljudskog organizma na Biopac student lab sistemu, ali radeći ovaj rad shvatio sam koliko je značajno imati uvid u praktični deo bilo koje nauke. Kao što sam već naveo u prethodnom poglavljiju ovaj sistem ima najveći stepen *user friendly* karakteristika od svih sistema na kojima sam radio tokom studija.

U eksperimentalnom delu smo naučili na koji način je moguće izračunati brzinu pulsa, kao i da rad srca u mnogome zavisi od položaja u kojem se telo u tom trenutku nalazi i napora kojem je izloženo, zatim predstavljanje rada srca na vektogramu, trajanje pojedinih elemenata elektrokardiograma itd.

Na kraju bih samo poželeo budućim generacijama studenata medicinske fizike da pokušaju da uživaju u radu na ovom sistemu bar kao i ja tokom izrade ovog rada.

7. Literatura:

1. Arthur C. Guyton M.D., John E. Hall Phd, Textbook of Medical Physiology, jedanaesto izdanje, 2006. god
2. Dr. Ferdo Licul, Elektrodijagnostika i elektroterapija, Zagreb 1981. god
3. Slobodanka Stanković, Fizika ljudskog organizma, Novi Sad 2006. god
4. Sears, Francis W, Electricity and Magnetism 1946. god
5. Raymond A. Serway, Physics for Scientists and Engineers, 2005. god
6. www.biopac.com 07.07.2016.

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:

RBR

Identifikacioni broj:

IBR

Tip dokumentacije:

Monografska dokumentacija

TD

Tip zapisa:

Tekstualni štampani materijal

TZ

Vrsta rada:

Diplomski rad

VR

Autor:

Malešević Vladimir

AU

Mentor:

Dr. Olivera Klisurić

MN

Naslov rada:

Elektrokardiografija na Biopac sistemu

NR

Jezik publikacije:

srpski (latinica)

JP

Jezik izvoda:

srpski/engleski

JI

Zemlja publikovanja:

Republika Srbija

ZP

Uže geografsko područje:

Vojvodina

UGP

Godina:

2016

GO

Izdavač:

Autorski reprint

IZ

Mesto i adresa:

Prirodno-matematički fakultet, Trg Dositeja Obradovića 4,

Novi Sad

Fizički opis rada:

6 poglavlja/50 strana/35 slika/10 tabela/3 grafika

FO

Naučna oblast:

Elektrokardiografija

NO

Naučna disciplina:

Medicinska fizika

ND

Predmetna odrednica/ ključne reči:

Elektrokardiografija, Biopac sistem

PO

UDK

Čuva se:

Biblioteka departmana za fiziku, PMF-a u Novom Sadu

ČU

Važna napomena:

nema

VN

Izvod:

U radu su izvršena merenja elektrokardiograma u tri studentske vežbe na Biopac student lab sistemu

IZ

Datum prihvatanja teme od NN veća: 01.07.2016.

DP

Datum odbrane: 12.08.2016.

DO

Članovi komisije:

KO

Predsednik: Dr Maja Stojanović, vanredni profesor

član: Dr. Olivera Klisurić, vanredni profesor

član: Dr. Jovana Nikolov, docent

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Malešević Vladimir

AU

Mentor/comentor:

Dr. Olivera Klisurić

MN

Title:

Electrocardiography with Biopac System

TI

Language of text:

Serbian (Latin)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Republic of Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2016

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg

PP

Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

Physical description:

6 chapters/50 pages/35 pictures/10 tables/3 graphics

PD

Scientific field:

Electrocardiography

SF

Scientific discipline:

Medical physics

SD

Subject/ Key words:

Electrocardiography, Biopac system

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg

HD

Dositeja Obradovića 4

Note:

none

N

Abstract:

AB

Main theme of this thesis is electrocardiography, measurements were taken from three student exercises with Biopac student lab system

Accepted by the Scientific Board:01.07.2016

ASB

Defended on:12.08.2016.

DE

Thesis defend board:

DB

President:Dr. Maja Stojanović, Associate Professor

Member:Dr. Olivera Klisurić, Associate Professor

Member: Dr. Jovana Nikolov, Assistant Professor