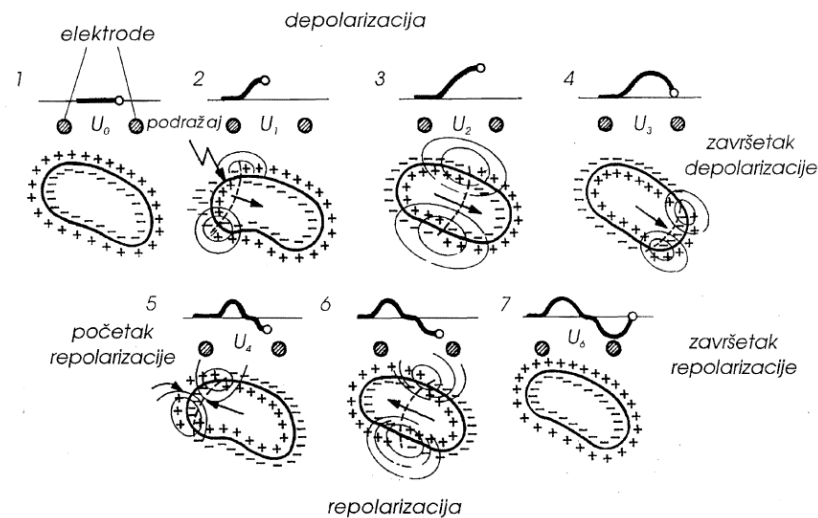


Elektrokardiografija

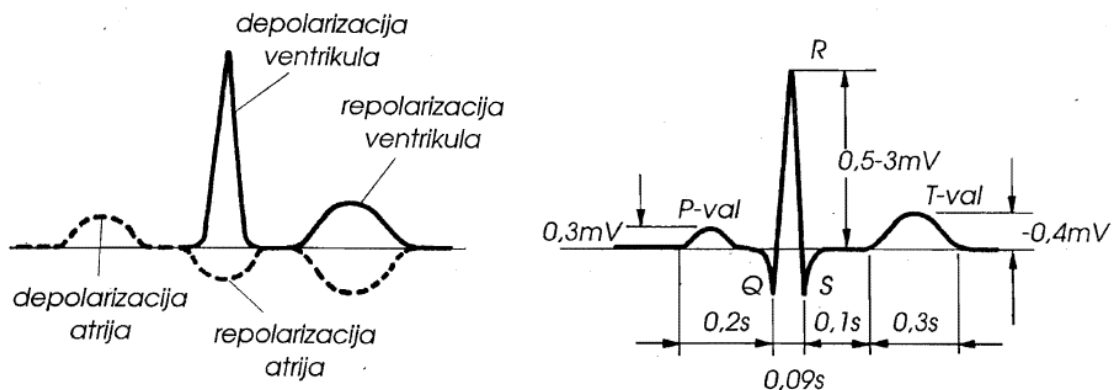
Teorijske napomene:

Mjerenje i prikaz napona srca ima veliku dijagnostičku vrijednost. Broj dijagnoza koje se mogu utvrditi veći je nego pri mjerenju bilo kojega drugoga biološkog napona. Da bi se približno utvrdio valni oblik napona srca, možemo zamisliti srce sastavljeno od dvije kuglaste nakupine stanica. Prva odgovara atrijima, a druga ventrikulima, tako da se proces zbiva na način kako je to prikazano na slici (Slika 1).



Slika 1. Prikaz depolarizacije i repolarizacije stanice nakon podražaja.

Kako proces stvaranja akcijskog potencijala počinje li sinusno-atrijskom čvoru, to se proces depolarizacije i poslije repolarizacije širi najprije preko atrija, a zatim tek preko klijetki. Srčani napon je sastavljen od valnog oblika dobivenoga depolarizacijom i repolarizacijom pretklijetki i zatim klijetki. Pri tome se repolarizacija pretklijetki preklapa s depolarizacijom klijetki.

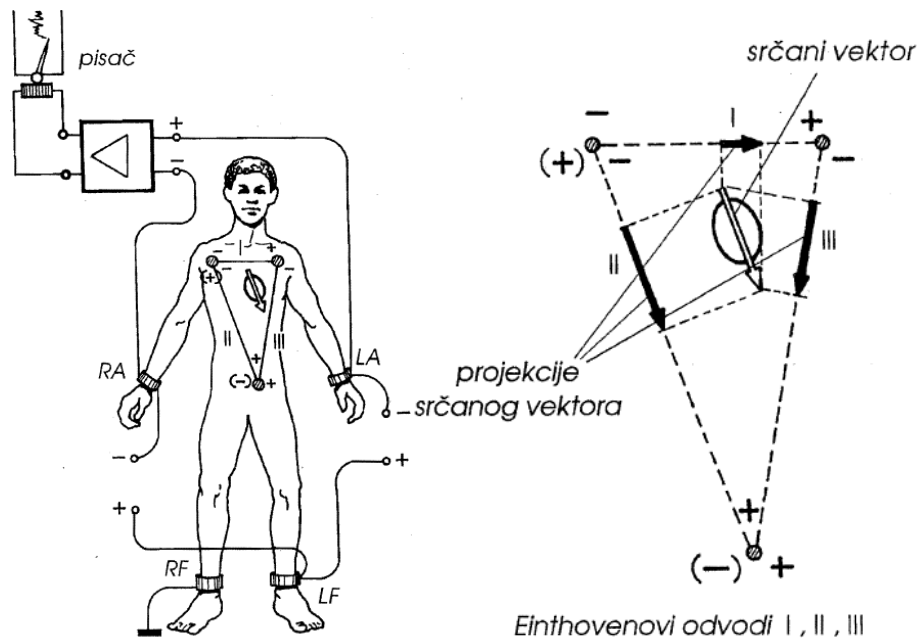


Slika 2. Napon srca (elektrokardiogram).

Na slici 2 pokazano je kako je napon srca sastavljen kao i njegovi osnovni parametri. Napon koji potječe od kontrakcije atrija predočen je na slici 2 crtano, a onaj od klijetki punom crtom. Ovdje se uočava odstupanje od do sada rečenog, jer repolarizacija klijetke ne daje negativan napon, kako se moglo očekivati, nego je pozitivan. To znači da repolarizacija

klijetki ne počinje na mjestu gdje je započela depolarizacija, nego na mjestu gdje je završila nakon nekoga refraktarnog vremena. Razlog tom nenormalnom ponašanju repolarizacije jest visok tlak u klijetkama za vrijeme njihove kontrakcije (sistola) koji ne dopušta repolarizaciju na mjestu gdje je započela depolarizacija, nego na mjestu gdje je završila. Također je uočljiva vrlo brza i kratkotrajnija depolarizacija klijetke koja uzrokuje nagli porast tlaka u klijetki i predstavlja sis tolu. Na prikazanom valnom obliku napona srca uočljiv je P-val koji odgovara depolarizaciji pretklijetke, depolarizaciji klijetke koja se zbiva u isto vrijeme kada i repolarizacija pretklijetke. Ovdje se pojavljuje pozitivni šiljak, tzv. R-zubac s dva negativna zupca Q i S. Repolarizacija klijetke prikazana je T-valom.

Da bismo izmjerili napon srca mogli bismo elektrode postaviti bilo gdje u blizini srca. No tada bi se dobili i nešto drugačiji valni oblici napona srca prema položaju elektroda. Zbog toga je Einthoven predložio da se elektrode postave u vrhove trokuta s osnovom smještenom gore (Einthovenov trokut). To je pokazano na slici 3. No budući da su ruke i noge dobri vodiči, to elektrode ne moramo postaviti u vrhove trokuta, nego, što je mnogo jednostavnije, na zapešće lijeve i desne ruke i gležanj lijeve noge. Desna noga služi kao uzemljenje. Ulazne priključnice pojačala koje pojačava napone srca postavljaju se na sve tri postavljene elektrode tako da se mjere tri napona srca.



Slika 3. Postavljanje elektroda i Einthovenovi odvodi I, II, III.

Srce za vrijeme depolarizacije i repolarizacije pretklijetki i klijetki predstavlja električni dipol koji se može predočiti vektorom, kao što je prikazano na slici 3. Naponi koji se mjere na pojedinim elektrodama projekcije su vektora srčanog dipol a na stranice trokuta. Naponi koji se mjere između pojedinih elektroda zovu se odvodi i odgovaraju stranicama trokuta. Tako je prvi odvod mjerjen između lijeve i desne ruke, drugi između lijeve noge i desne ruke, a treći između lijeve noge i lijeve ruke. Ako ulaznu priključnicu pojačala koja otklanja pisaljku pisača prema gore obilježimo sa (+), vidimo da vrh vektora srca svojim vrhom odgovara toj pozitivnoj priključnici za I. i III. odvod, a ne i za II, što znači da bi pisač prikazivao napon u negativnom smislu. Da se to izbjegne i da svi odvodi prikazuju napon srca u istom smjeru, Einthoven je zamijenio priključak elektroda u drugom odvodu, kao što je to naznačeno na slici 3.

Einthovenovi odvodi su bipolarni. Ako se pak potencijal jednog vrha trokuta uspoređuje sa srednjom vrijednosti potencijala drugih dvaju vrhova, onda je to monopolarni

način mjerenja bipotencijala. Takvi odvodi poznati su kao povećani (*augmented*) odvodi ili Goldbergerovi odvodi. Nulti potencijal zapravo se definira kao zbroj svih potencijala elektroda. Budući da se u elektrokardiografiji upotrebljavaju tri elektrode, to se može napisati da je zbroj njihovih potencijala 0: $e_1 + e_2 + e_3 = 0$. Povećan odvod elektrode na desnoj ruci jest razlika potencijala na toj ruci e_1 i srednjeg potencijala između suprotne lijeve ruke i noge:

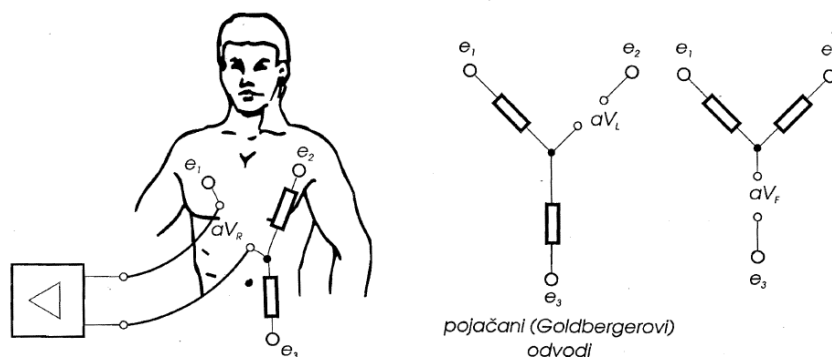
$$aV_R = e_1 - \frac{e_1 + e_2}{2}$$

$$aV_R = e_1 + \frac{e_1}{2} = 1.5e_1$$

Isto tako se mogu odrediti povećani odvodi preostalih elektroda, pa je $aV_L = e_2 + \frac{e_2}{2} = 1.5e_2$, te je

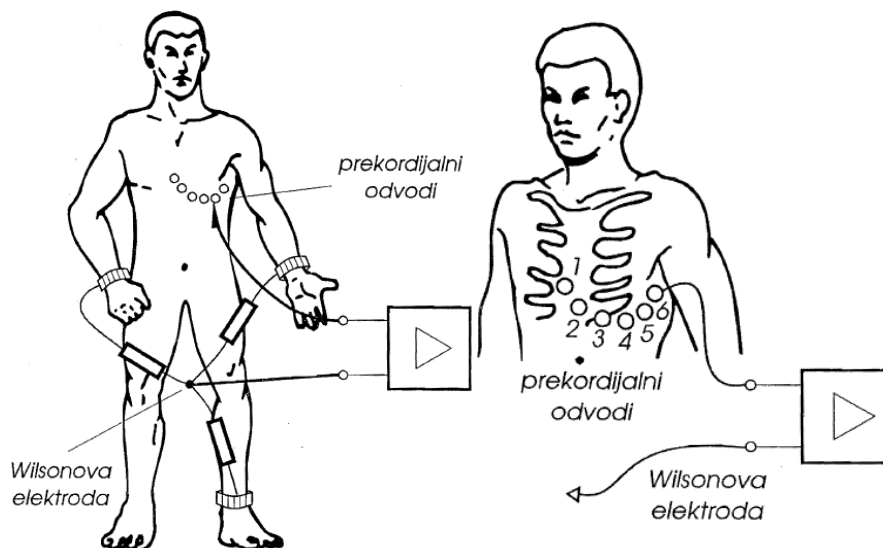
$$aV_F = e_3 + \frac{e_3}{2} = 1.5e_3$$

Povećani odvodi aVL i aVF su pozitivni, dok je aVR negativno orijentiran.



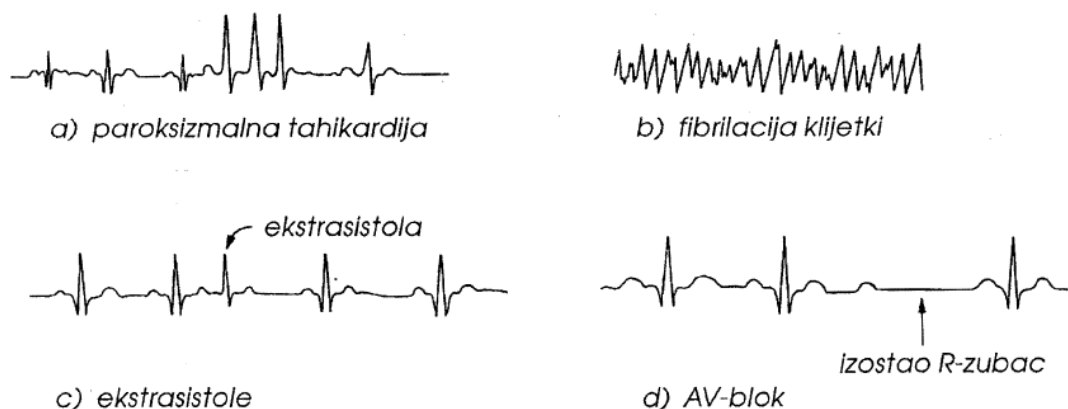
Slika 4. Pojačani (Goldbergerovi) odvodi.

Treći rutinski odvodi su prekordijalni odvodi. Ti su odvodi monopolarni, a napon se mjeri na šest mjesta ispod lijeve dojke i zajedničke elektrode na nultom potencijalu. Nulti se potencijal dobiva tako da se sve tri elektrode preko otpora od $5\text{ k}\Omega$ spoje u jedno čvorište. Prema jednadžbi proizlazi da je potencijal u tom čvorištu 0. Na tih šest mjesta pomiče se obično jedna elektroda. Ovdje je QRS kompleks na prvoj i drugoj elektrodi najčešće negativan.



Slika 5. Prekordijalni odvodi.

Naponi srca omogućuju utvrđivanje najvećega broja dijagnoza u usporedbi s naponima drugih izvora. Ti naponi imaju najpravilniji valni oblik. Analizom valnih oblika napona srca mogu se utvrditi gotovo svi teži poremećaji rada srčanog mišića, kao i većina aritmija. Pod aritmijama razumijevamo sva odstupanja od normalnog srčanoga ritma. Usporeni srčani ritam zove se bradikardija, a ubrzani tahikardija. Na slici 5 prikazana je ventrikulska paroksizmalna tahikardija, a izgleda kao uzastopni slijed QRS kompleksa. Ona je opasna jer može lako prouzročiti fibrilaciju klijetki, kojoj je, ako se ne zaustavi, redovito smrtni ishod. Razlog tome je pojava različitih izvora davača takta srčanog ritma kao posljedica smanjenog praga podražljivosti na tim mjestima, tzv. ektopičnim centrima, koji su već opisani. Nepravilni valni oblik u slučaju fibrilacije vidljiv je na slici 5. Naponi fibrilacije u početku su visoke frekvencije i amplitude oko 1 mV, ali već nakon dvadesetak sekunda amplituda se smanjuje na 0,2 do 0,3 mV. Smanjenje amplitude nastavlja se i dalje dok srce ne prestane raditi. Ako se takva ektopična žarišta pojavljuju povremeno, pojavljuje se dodatni QRS kompleks, tzv. ekstrasistola, kao što je to na slici 5c i prikazano. Prema tome, ekstrasistolu možemo smatrati prijevremenim otkucajem srca, kada se normalno ne očekuje. Smanjen broj otkucaja srca pojavljuje se kada se prekine provođenje impulsa iz atriya u ventrikule, pri čemu nakon pojave P-vala izostaje QRS kompleks. To je tzv. atrioventrikulski blok. U tom slučaju imamo znatno veći broj kontrakcija atriya II minuti nego ventrikula, kako je na slici 5a pokazano. Broj otkucaja ventrikula može biti od 20 do 40 u minuti. Na taj način ventrikuli izmaknu kontroli atriya (bijeg ventrikula) za neko vrijeme. U takvom slučaju, dok AV ventrikulski čvor ne uspostavi svoj normalni ritam, ventrikuli tijekom 5 do 10 s uopće ne kontrahiraju, a zbog smanjene opskrbe mozga krvlju može nastupiti nesvjestica. To je tzv. Stokes-Adamsov sindrom.



Slika 6. Valni oblici napona srca vezani za neke srčane bolesti: a) paroksizmalna tahikardija; b) fibrilacija klijetki (ventrikula); c) ekstrasistole; d) AV-blok.

