

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

SEMINAR

Elektrostimulacija srca

Branko Milanković

Voditelj: *Prof. dr. sc. Stanko Tonković*

Zagreb, travanj, 2011.

Sadržaj

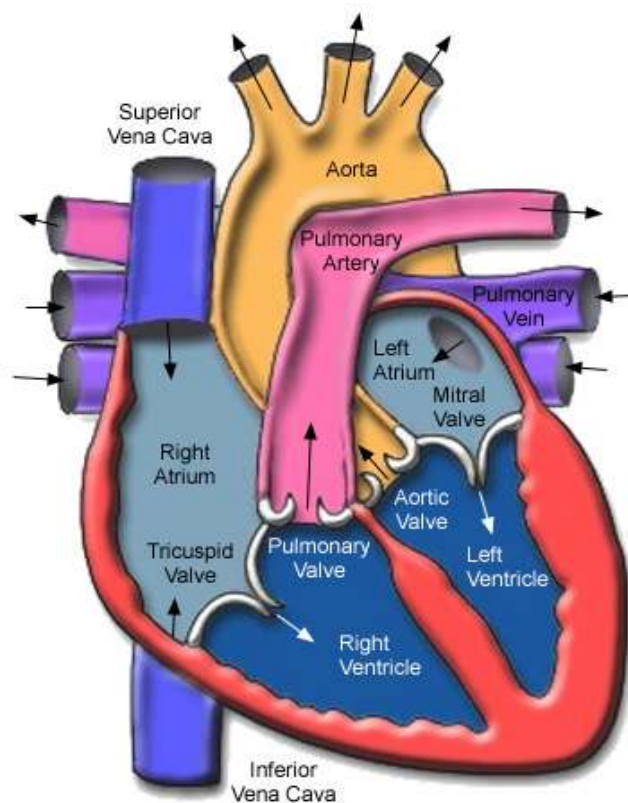
1. Uvod.....	0
2. Srce, anatomske podaci i fiziologija rada srca.....	1
3. Karakteristike elektrokardiograma (EKG).....	Error! Bookmark not defined.
4. Poremećaji rada srca	6
5. Elektrostimulacija srca.....	8
6. Povijesni razvoj	13
7. Suvremeni elektrostimulatori srca, mogućnosti i perspektive	17
8. Zaključak.....	19
9. Literatura	20

1. Uvod

Srce je jedan od najvažnijih organa ljudskog organizma, i esencijalno je za njegovo funkcioniranje. O tome koliko je ono značajno čovječanstvu možemo vidjeti iz samog značenja riječi srce. Srce simbolizira mnogo stvari, među kojima je najvažniji simbol života. I to nije bez razloga, jer znamo koliko nam je ono značajno, te kad srce prestane funkcionirati, prestaje i život. U prirodi čovjeka je da se pokušava održati na životu, tj živjeti, te tako konstantno pronalazimo načine liječenja bolesti ili ispravljamo nepravilnosti našega organizma, kako bismo omogućili, produžili ili poboljšali kvalitetu našega života. Razvoj moderne znanosti omogućava nam da u tome budemo još uspješniji, te otkrijemo nove i efikasnije metode. Trenutno veliki značaj imaju tehnološko-inženjerska dostignuća sa područja elektrotehnike, točnije njene grane elektronike. Spoj medicine i elektrotehnike rezultirali su konstrukcijom elektrostimulatora srca, takozvanim pacemakerom koji pridonosi normalizaciji rada srca. Pacemaker je prvi elektronički uređaj ikada ugrađen u ljudsko tijelo, te je najuspješniji terapijski uređaj ikad napravljen. Danas je bez pacemakera nezamislivo liječenje bolesnog srca. Naravno pacemakeri se konstantno unaprjeđuju, smanjuju im se dimenzije, poboljšavaju mogućnosti prilagodbe, a napretkom nanotehnologije stvaraju se baterije velikog kapaciteta, zbog kojih je broj operacijskih zahvata sveden na minimum. Na temelju trenutačnih spoznaja možemo opravdano predvidjeti daljnji razvoj takvih uređaja, kao i razvoj umjetnih organa, te općenito bioinženjeringa- relativno nove grane koja ima neograničeni potencijal za dobrobit čovječanstva.

2. Srce, anatomski podaci i fiziologija rada srca

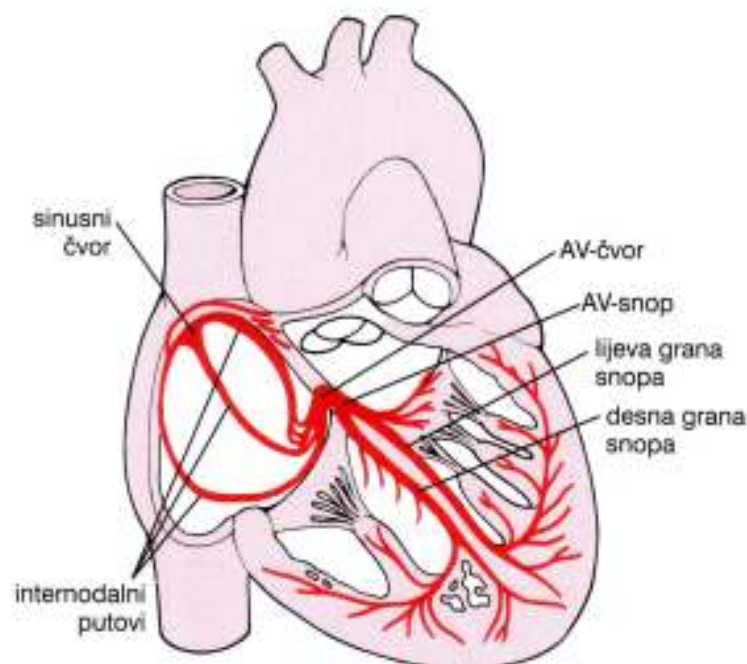
Srce je vitalan mišićni organ prosječne težine oko 300 g smješten u prsnoj koži. Svojim ritmičkim kontrakcijama tjera krv kroz žile sustavnog i plućnog krvotoka. Sustavni krvotok opskrbljuje krvlju cjelokupan organizam čime omogućuje izmjenu tvari, dok se u plućnom krvotoku omogućuje izmjena plinova preko pluća. Srce je mišićnim zidom (septumom) podijeljeno na lijevo (arterijsko) i desno (vensko) srce. Svaki dio je zasebno podijeljen, a sastoji se od pretkljetke (atrij) i kljetke (ventrikul). Krv ulazi u desnu pretkljetku preko donje i gornje šuplje vene (vena cava superior, vena cava inferior), a u lijevo preko plućnih vena. Kljetka i pretkljetka odvojene su srčanim zaliscima (valvula). Zalistak koji se nalazi između desne pretkljetke i kljetke zove se trikuspidna valvula (atrioventrikulska valvula), dok se lijeva valvula zove bikuspidna (mitralna) valvula. Funkcija zalistaka je da propuštaju krv u smjeru pretkljetka-kljetka ali ne u suprotnom.



Slika 1. Pojednostavljeni prikaz anatomije srca [5]

Na izlazu klijetki nalaze se semilunarni zalisci. Oni omogućuju samo izlazak krvi iz klijetki, ali ne i povratak. Ovisno o smještaju nazivaju se pulmonalna i aortalna valvula.

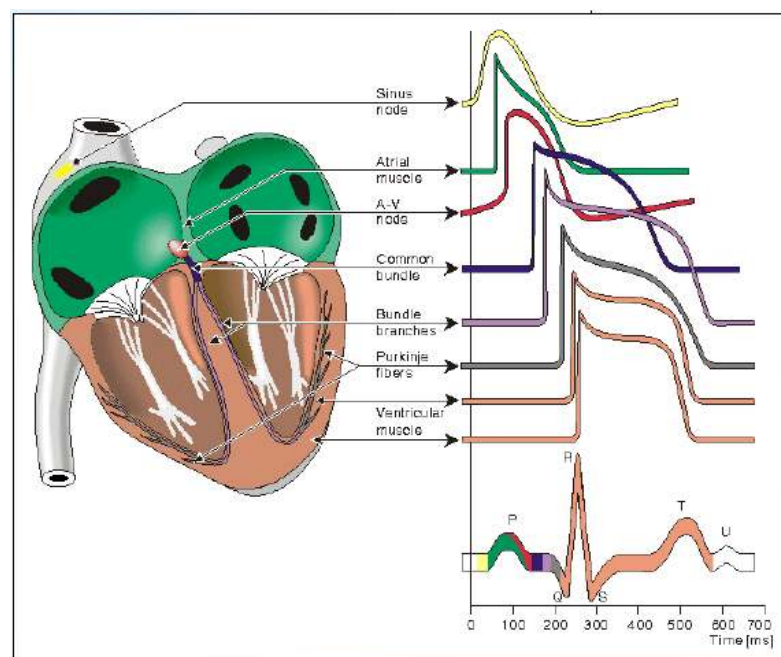
Konstantnu cirkulaciju krvotoka, srce ostvaruje kontrakcijom svoje muskulature. Poticaj se javlja u SA-čvoru (sinusno-atrijski čvor) u obliku akcijskog potencijala koji se širi sve do AV-čvora (atrioventrikulski čvor), izazivajući pri tome kontrakciju muskulature, koja se širi srčanim mišićem. Pri toj kontrakciji lijeva klijetka istiskuje krv u aortu i kroz ostale arterije i arteriole u cijelo tijelo, dok desna klijetka istiskuje krv u plućne arterije i pluća. Tu fazu nazivamo sistola, a tlak koji se pojavljuje u klijetki nazivamo sistolički tlak. Nakon toga slijedi diastola (faza relaksacije) u kojoj akcijski potencijal pada na nulu, nakon čega se i tlak u klijetki smanjuje, a nazivamo ga dijestolički tlak. U toj fazi srčani mišić je opušten, očekujući sljedeći podražaj. Da bi srce obavljalo rad, potrebna mu je hrana. Hranu srce opskrbljuje preko koronarnih arterija. Začepljenjem koronarne arterije, prestaje se dio srčanog mišića napajati hranom, što dovodi do odumiranja tkiva na tom mjestu. Tako nastaje srčani infarkt koji može biti smrtonosan. Zbog toga je veoma važno liječenje koronarne bolesti.



Slika 2. Posebna podražljiva vlakna koja prenose akcijski potencijal [5]

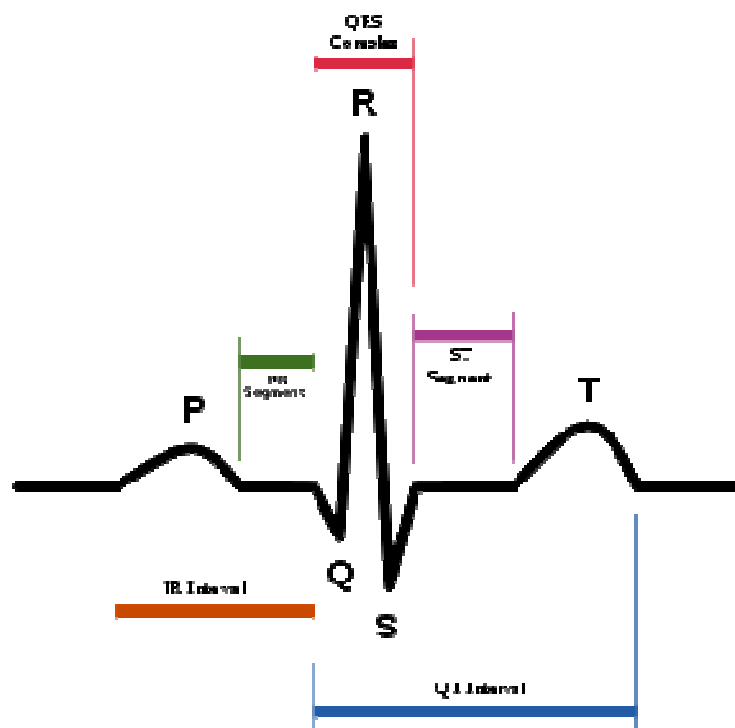
3. Karakteristike elektrokardiograma (EKG)

Elektrokardiografija je spoj mjerenja, snimanja i analize električnih signala koji se mogu pokupiti sa površine tijela koji su direktna posljedica akcijskih potencijala srca. Električna aktivnost srca snima se kako se javljaju promjene u električnom potencijalu tijekom srčanog ciklusa između dvije elektrode fiksirane na tijelo, ili jedna elektroda u kombinaciji sa drugima. Vremenski tijek tih potencijala prikazuje se EKG krivuljom, koja kada se analizira, omogućuje mnogo korisnih dijagnostičkih informacija. Elektrokardiografske tehnike su esencijalne u kardiologijskoj dijagnostici i praćenju srčanih funkcija težih bolesnika.



Slika 3. Akcijski potencijal raznih dijelova srca [10]

Srčani napon sastavljen je od valnog oblika dobivenog depolarizacijom i repolarizacijom pretklijetki i klijetki. Pri tome se repolarizacija pretklijetki poklapa sa depolarizacijom klijetki.



Slika 4. Elektrokardiogramski kompleks valova [6]

Na slici 4 prikazan je tipičan elektrokardiogram. On se sastoji od P, Q, R, S, i T vala. Valovi Q, R i S prikazuju se kao jedan i to se naziva QRS kompleks. Svaki od tih valova predstavlja naponsku razinu u kojoj se srce nalazi. Val P uzrokuje atrijska depolarizacija, QRS kompleks uzrokuje ventrikularna depolarizacija, te T val kojeg uzrokuje ventrikularna repolarizacija. Između P vala i QRS vala postoji PR interval koji označava vrijeme potrebno da se akcijski potencijal proširi kroz atrij i AV čvor. U dijelu PR intervala postoji PR segment u kojemu se ne detektira napon na površini tijela. Atrijske mišićne stanice tome dijelu su depolarizirane.



Slika 5. Prikaz aktivnosti srca na pojedinim intervalima[6]

Trajanje normalnog PR intervala je između 120 i 200 ms. Nakon što se akcijski potencijal prošao iz AV čvora ventrikularne stanice se depolariziraju i uzrokuju QRS kompleks. U R valu je najveći potencijal jer su sve ventrikularne stanice depolarizirane. QRS kompleks traje između 60 i 100 ms. Tijekom QRS vala istodobno dolazi do repolarizacije atrija, no nije uočljiva na EKG-u zbog male mišićne mase u odnosu na ventrikule. Slijedi ST segment u kojem nemamo napon na površini tijela jer se promjene membranskog potencijala ne događaju niti u jednoj stanici srca. Tada započinje repolarizacija ventrikula što se očituje u T valu. T val je šiti i manjeg potencijala nego R val jer je repolarizacija manje sinkrona nego depolarizacija. QT interval traje manje od 380 ms.

4. Poremećaji rada srca

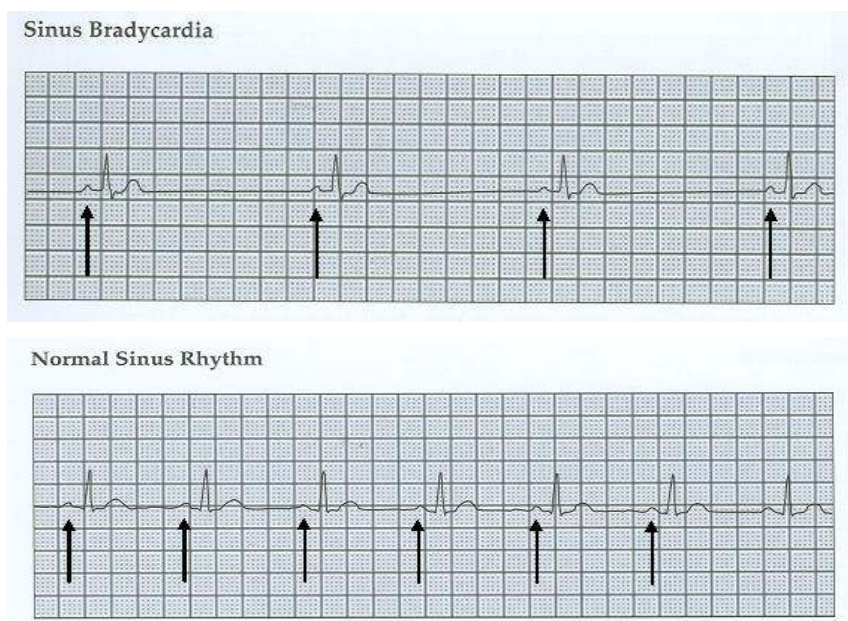
Poremećaji rada srca ili srčane aritmije, nastaju uslijed poremećaja u stvaranju ili prenošenju podražaja, ili kombinacije oba. Uzroci srčanih aritmija koji dovode do nepravilnosti su bolesti srca, bolesti drugih organa ili opći poremećaji. U ovisnosti o različitim nepravilnostima impulsa, poremećaji se dijele na : bradikardiju i tahikardiju.

Bradikardija

Pacijentima sa bradikardijom srčani otkucaji su prespori u odnosu na normalan srčani ritam, pa je smanjen volumni protok krvi. Može se pojaviti kao sinusna bradikardija ili AV ritam.

Atrioventrikularni spojni ritam (AV ritam)

Nastaje kada dođe do prekida prijenosa podražaja iznad AV-čvora. Tada AV-čvor preuzima ulogu pacemakera šaljući impulse brzinom manjom od 60 po minuti.

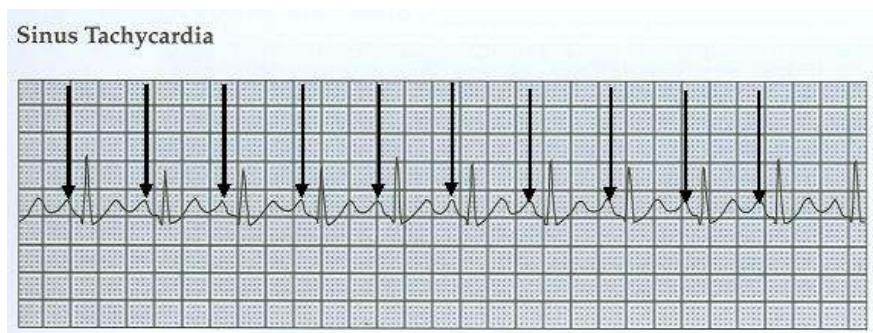


Slika 7. Usporedba normalnog sinusnog ritma sa sinusnom bradikardijom[5]

Tahikardija

Kod tahikardije otkucaji srca su ubrzani u odnosu na normalan srčani ritam. Kao i kod bradikardije to za posljedicu ima smanjeni volumni protok krvi. Javlja se u obliku atrijalne fibrilacije, paroksimalne supraventrikularne tahikardije, paroksimalne ventrikularne tahikardije i ventrikularne fibrilacije. Atrijalna fibrilacija nije smrtonosna, ali može prerasti u ventrikularnu fibrilaciju.

Paroksimalna tahikardija je vrsta tahikardije koja iznenada napada. Broj srčanih otkucaja je iznad 180/min i to je stanje životne opasnosti zato jer koronarne žile i mozak ne dobivaju dovoljno krvi, te dolazi do raznih komplikacija.

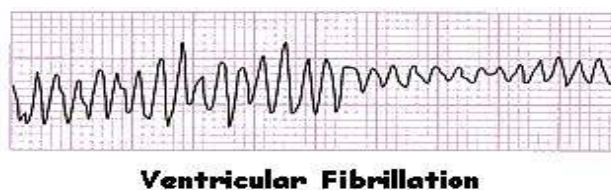


Slika 8. EKG kod sinusne tahikardije[5]

Ventrikularna fibrilacija (fibrilacija klijetki)

Stanje fibrilacije je stanje u kojem klijetke podrhtavaju, zbog čega ne mogu istiskivati krv iz srca. Cirkulatorni sustav staje, te vrlo brzo dolazi do smrti. Fibrilacija je uzrokovana nepravilnim podražajima na više mjesta u srcu. Može nastati kod srčanog infarkta ili tahikardije. Fibrilacija se može zaustaviti prolaskom jake struje kroz srce. U tom slučaju se koristi defibrilator koji svojom velikom strujom može zaustaviti fibrilaciju, nakon čega se srce može vratiti u normalni ritam.

Slika 9. Fibrilacija klijetki[5]



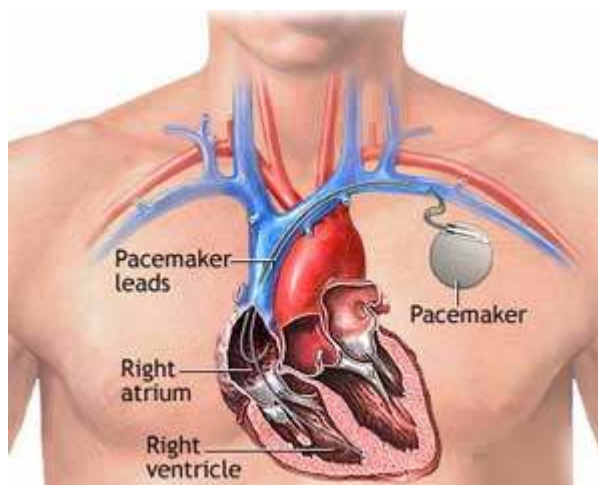
5. Elektrostimulacija srca

Među svim elektrostimulatorima danas se najčešće koristi elektrostimulator srca (pacemaker). Znamo da se akcijski potencijal širi se iz SA- čvora do AV- čvora, a zatim dolazi do daljnjeg brzog širenja impulsa na miokard preko Hissova snopa i Purkinjeovih niti. U tom širenju impulsa može doći do blokiranja daljnjeg širenja impulsa. Kod SA-bloka, AV- čvor preuzima ulogu stvaranja akcijskih potencijala, ali s manjim brojem otkucaja. Kod AV- bloka impulsi se stvaraju u samom Hissovu snopu sa znatno nižom frekvencijom od 15 do 40 u minuti, što ima za posljedicu nedovoljnu opskrbu organizma krvlju. U tom slučaju primjenjuje se elektrostimulator srca koji je izvor električnih impulsa 10% do 15% veće frekvencije od normalnog srčanog ritma.

Elektrostimulator srca sastoji se od:

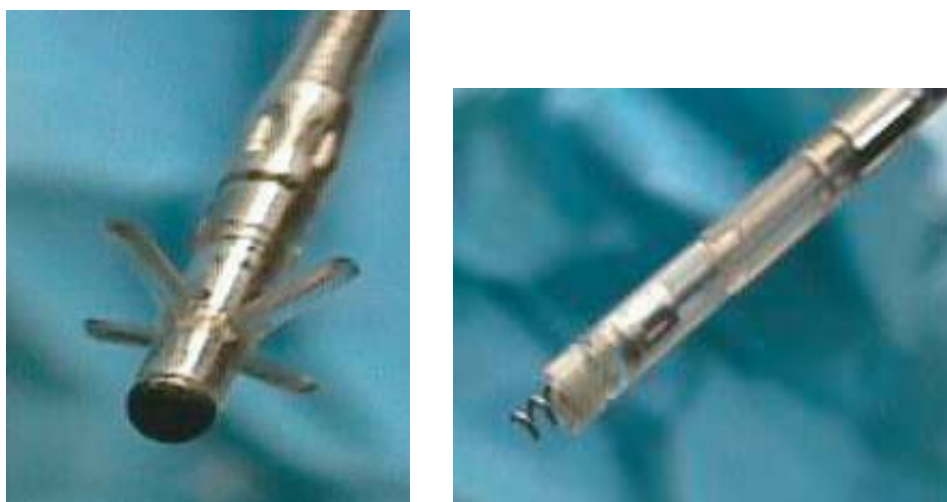
1. Generatorsa pulsa, koji proizvodi pobudni signal koji stimulira srce.
2. Od kabela koji na vrhu imaju elektrode kojim se povezuje generator pulsa sa srčanim tkivom
3. Baterije (smještena u kućište zajedno sa generatorom pulsa) koja napaja generator pulsa i ostalu elektroniku (neki elektrostimulatori imaju i programirajući sustav i složeniju elektroniku).

Elektrostimulator srca se postavlja u "džep" što ga kirurg napravi ispod ključne kosti, a elektroda se priključnim kabelom provlači kroz venu cavu superior do srca, prolazi kroz desnu pretkljetku i ulazi u desnu kljetku. Ponekad se smještaju dvije elektrode u kljetku i pretkljetku.

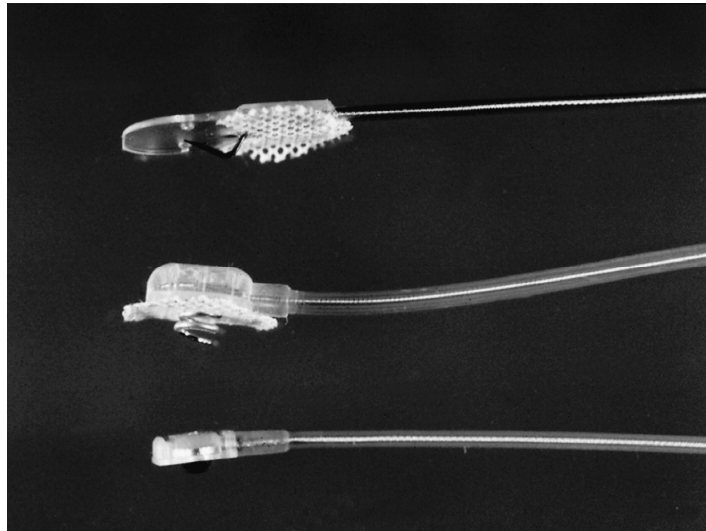


Slika 10. Implantacija srčanog stimulatora ispod ključne kosti[7]

Elektrode koje se uvode u klijetku imaju dvije osnovne izvedbe: monopolarnu i bipolarnu. Kod monopolarne elektrode drugu elektrodu čini metalni oklop od titana u koji je ugrađen pacemaker. Bipolarna elektroda ima dvije metalne elektrode u obliku prstena razmaknute jedna od druge, tako da struja teče između njih.



Slika 11. Elektroda sa hvataljkom i elektroda koja se pričvršćuje zavrtanjem[4]

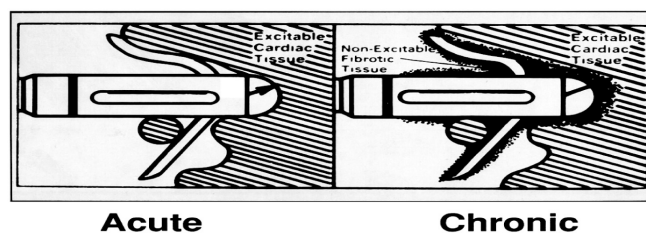


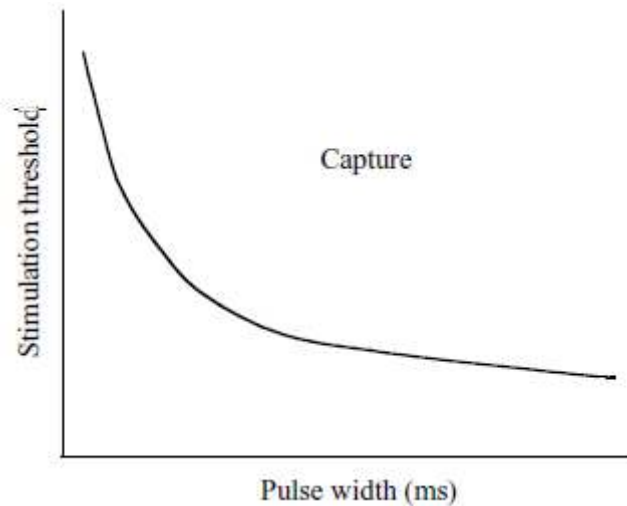
Slika 12. Elektrode koje se učvršćuju na vanjsku površinu srca[4]

Dovodni kabeli između elektroda i elektrostimulatora mogu biti uzrok prekida rada, pa se zbog toga izvode s posebnom pažnjom. Vodič se sastoji od 6 platinastih traka omotanih oko jezgara od poliestera. Svih 6 tih vodiča omotano je oko središnje jezgre od poliestera.

Stimulirajući impuls određen je prema intenzitetno-vremenskom zakonu koji vrijedi za stimulaciju srčanog mišića. Bolesnici se mogu stimulirati većom strujom i kraćim trajanjem impulsa ili obrnuto. Vrijeme trajanja impulsa najčešće je u području od 0.1 ms do 1.7 ms, dok se struja impulsa može kretati u području od 2 do 15 mA. Vrijednosti napona kreću se od 1.5 do 6V. Naponski izvor se češće upotrebljava jer ga je jednostavnije izvesti s obzirom na sklopovsku izvedbu. Struja kroz srce ovisi o otporu. Otpor srčanog mišića mijenja se na mjestu dodira elektrode i srčanog mišića, a iznosi između 45 i 550 ohma. Taj otpor najviše se mijenja u prvih 25 dana, zbog promjene tkiva na kontaktnoj površini elektrode srca.

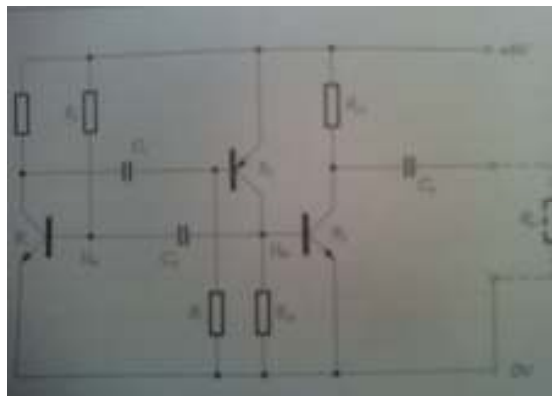
Slika 13. Nastanak fibroznog tkiva[4]





Slika 14. Intezitetno-vremenska krivulja stimulacije[4]

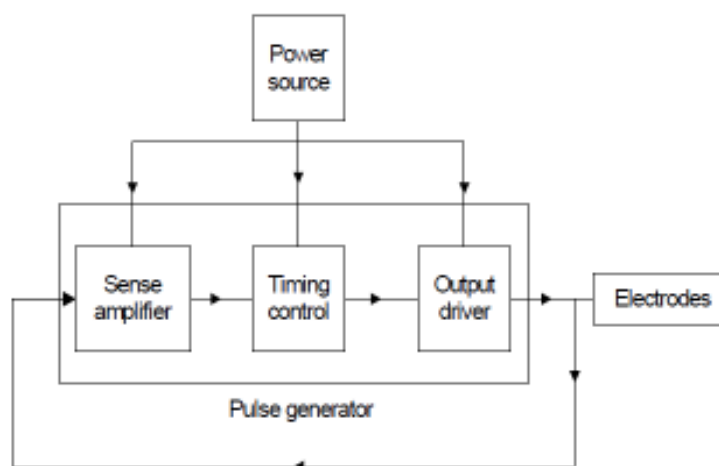
Najjednostavniji elektrostimulator srca je asinkroni pacemaker (elektrostimulator nepromjenjiva ritma). Takav tip elektrostimulatora se danas više ne proizvodi jer impulsi mogu djelovati u nepovoljno vrijeme. Ta vulnerabilna zona nalazi se između S-zupca i maksimuma T-vala, a ako se u njoj pojavi impuls, može doći do fibrilacije klijetki, što može završiti smrtnim ishodom.



Slika 15. Električna shema astabilnog pacemakera[1]

Takav pacemaker nije ništa drugo, nego astabilni multivibrator sa komplementarnim tranzistorima radi uštede energije. Uporabom baterije kapaciteta 0.5 Ah rad simulatora može trajati 14.8 godina, iako je u praksi potrošnja nešto veća pa baterija traje kraće.

Zbog tog opasnog nedostatka, gdje može doći do fibrilacije srca ako impuls padne u vulnerabilnu zonu, konstruiraju se elektrostimulatori koji rade na zahtjev (on demand). Ovaj tip elektrostimulatora ima još jednu osjetnu elektrodu koja se nalazi u klijetki i mjeri pojavu prirodnoga srčanog ritma. Osjetna elektroda za detekciju pojave srčanog ritma može biti ista ona elektroda kojom se stimulira, jer detekciju obavlja u vremenu kad nema impulsa. Nakon završetka impulsa za stimuliranje, pojačalo pojačava svaki napon koji će se pojaviti na elektrodi. Ako se pojavi R- zubac napona srca, on preko sklopa za inhibiciju, prekida astabilni rad odašiljača impulsa. Astabilni rad sa nepromjenjivom frekvencijom ponovno će se uspostaviti ako ne bude R-zupca. Takav tip elektrostimulatora naziva se elektrostimulator na zahtjev inhibirajućeg tipa. Druga izvedba on demand elektrostimulatora je da se u slučaju pojave R-zupca impuls stimulatora sinkronizira s R- zupcem. U tom slučaju impuls elektrostimulatora ostaje i dalje samo povlači sa sobom R-zubac sa nekim kašnjenjem manjim od 30 ms. Takva izvedba je sinkrona. Kako se ovdje cijelo vrijeme zadržava impuls, potrošnja energije je veća nego kod inhibirajućeg načina, gdje za vrijeme trajanja prirodnog srčanog ritma nema impulsa. Zbog veće potrošnje energije, trajanje implantantnih baterija je kraće, a time je potreba za operacijskim zahvatima češća. Zbog toga je sinkroni način nepovoljniji od inhibirajućeg.



Slika 16. Blok shema elektrostimulatora na zahtjev[16]

6. Povijesni razvoj

1958. godine Rune Elmqvist, inženjer elektrotehnike, u tvrtki Elma Schonander (Siemens-Elema), izradio je prvi ugradbeni elektrostimulator srca (pacemaker). Iste godine bio je i ugrađen. Prvi pacijent kojemu je ugrađen pacemaker bio je Arne Larsson. Arne Larsson doživio je duboku starost, 86 godina, iako mu je u 44 godine od prve implantacije 25 puta implantiran novi model pacemakera.



Slika 17. Arne Larsson sa prototipom prvog pacemakera[11]

Prvi ugradbeni pacemakeri radili su samo nekoliko sati zbog nesavršene tehnološke izvedbe, te kratkotrajnosti baterija koje su bile malena kapaciteta. To nije bilo dovoljno za dugotrajan radi pacemakera, pa su prvi modeli imali baterije s mogućnošću ponovnoga punjenja. Postupak dopunjavanja bio je za pacijente vrlo zahtijevan. Spajali su se na srce elektrodnim kateterom s elektrodom koja se postavljala na vanjsku površinu srca (epikardijalna elektroda). Još iste 1958 Seymour Furman predložio je uvođenje elektrodnog katetera u srce kroz venu. Takav način ugradnje danas je najčešći jer zahtjeva samo mali kirurški zahvat koji se odvija pod lokalnom anestezijom, te ga pacijenti dobro podnose.

Wilson Greatbatch projektirao je i napravio tranzistorski pacemaker s baterijama koje nisu trebale ponovno punjenje svakih nekoliko dana. 1960. kirurzi William Chardack i Andrew Gage implantirali su takav pacemaker. Takav pacemaker počeo se serijski proizvoditi i bio je zaštićen patentom.



Slika 18. Wilson Greatbatch; Dr. Andrew Gage, Dr. William Chardack i ing. Wilson Greatbatch u timu [11]

Ubrzo nakon toga, pacemakeri su postali prihvaćeni kao sredstva koja mogu spašavati živote, te su se počeli ugrađivati najprije pacijentima sa potpunim srčanim blokom, a zatim pacijentima sa niskim brojem otkucaja srca. Niz tvrtki počeo je proizvodnju ugradbenih pacemakera, a broj pacijenata sa ugrađenim pacemakerom rastao je iz godine u godinu širom svijeta.

U Hrvatskoj prvi je pacemaker bio ugrađen 1963. , a ugradio ga je kardijalni kirurg Miram Pasini na Klinici za kirurgiju na zagrebačkom Rebru.

Razvojem elektroničkih sklopova, povećanjem kapaciteta baterija, usavršavanjem mikroprocesora, smanjuju se dimenzije i masa, te poboljšava rad pacemakera. Izumljen je biokompatibilan materijal koje tijelo ne odbacuje, dok se na vrhu elektroda nalazi spremnik za steroidne hormone koji umanjuje upalni proces ugradnje elektrode u srce. Zbog svih tih usavršenja, trajanje implantiranih pacemakera povećano je na više od 15 godina.

Kako pacemakeri nisu od pomoći pri ozbiljnijim tahikardijama, te kod fibrilacija, postojala je potreba za razvojem defibrilatora. Prvi prijenosni defibrilator izradio je Prof. Frank Pantridge 1960. Sljedeći razvoj defibrilatora došao je izumom ugradbenog uređaja znanog kao ugradbeni kardioverter-defibrilator. Projektiran je u

bolnici Sinai u Baltimoru od tima kojeg su sačinjavali Stephen Heilman, Alois Langer, Jack Lattuca, Morton Mower, Michel Mirowski i Mir Imran



Slika 19. Michel Mirowski i Morton Mower[11,12]

U pedeset godina od prve implantacije pacemakera, u više od 4 milijuna ljudi ugrađen je pacemaker. U razvijenim zemljama danas iznosi od nekoliko desetaka do nekoliko stotina na milijun stanovnika. U 2003. Godini u svijetu je implantirano više od 80000 implantabilnih kardiovertera/defibrilatora, a broj implantacija raste.



Slika 20. Uređaji u 60-tima[17]



Slika 21. Uređaji u 70-tima[17]



Slika 22. Uređaji u 90-tima[17]

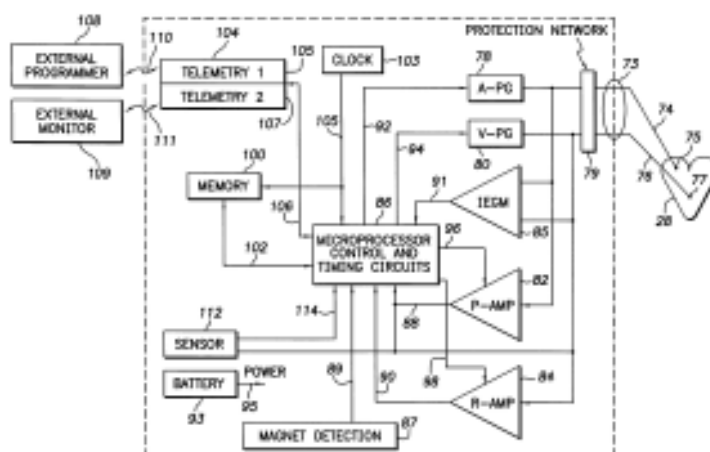


Slika 23. Današnji uređaji[17]

7. Suvremeni elektrostimulatori srca, mogućnosti i perspektive

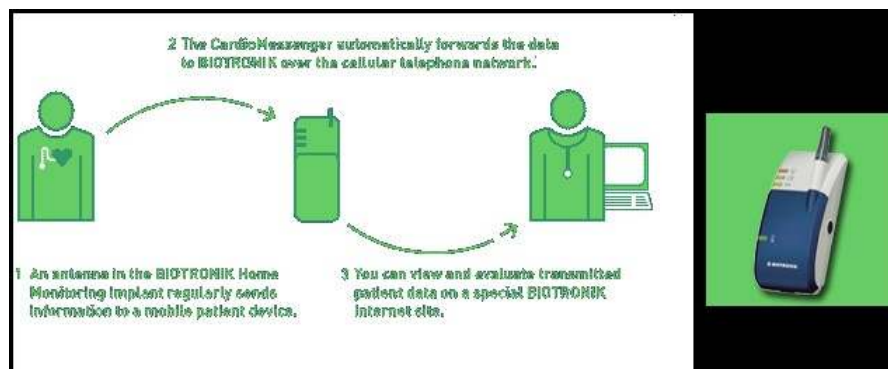
Od prvog pacemakera implantiranog 1958. Godine, pacemakeri su evoluirali u vrlo sofisticirane uređaje. Iza projektiranja i ugradnje, i kasnije praćenja rada pacemakera, stoji cijeli tim koji se sastoji od kardiologa kirurga, elektrofiziologa, bioinženjera, elektrotehničkih inženjera.

Danas su većinom svi pacemakeri programabilni, te prate trenutnu fizičku aktivnost osobe. Programabilni elektrostimulatori srca omogućuju promjenu bitnih parametara stimulacije srca u koje se ubraja amplituda napona i frekvencija stimulacijskih impulsa. Također je moguće i mijenjati način rada stimulatora. Na taj način može se optimalno prilagoditi veličina, frekvencija i duljina trajanja impulsa svakom pojedinom pacijentu i promjenama koje nastaju nakon implementacije stimulatora. Programabilni elektrostimulatori su sklopovski vrlo složeni, no zbog uporabe CMOS tehnologije kod integriranih krugova potrošnja je veoma mala.



Slika 24. Blok shema programabilnog pacemakera[15]

Kod ovakvih pacemakera postoji mogućnost telemetrije, te se telemetrijski mogu prenijeti vrijednosti frekvencije stimulacije, širinu i amplitudu stimulacijskog impulsa, izlazna struja, impedancija elektroda te energija i naboj stimulacijskog impulsa. Također može javljati serijski broj radi identifikacije, čime se dobivaju važni dijagnostički podaci koji mogu poslužiti u daljnjem liječenju.



Slika 25. Slanje podataka od pacijenta do liječnika[17]

Elektrostimulatori srca s odzivom na fizičku aktivnost imaju mogućnost da se njihova frekvencija impulsa mijenja u skladu s radom koji obavlja bolesnik. Oni prate fiziološke promjene koje se dešavaju u organizmu tijekom obavljanja raznih radnji, te se prilagođavaju, regulirajući frekvenciju i amplitudu impulsa. Mehanička osjetila s odzivom na opterećenje mogu biti izvedena s piezoelektričnim akcelometrom ili sa piezoelektričnim pretvornikom pomaka dijafragme. Također može se senzoricirati promjenom temperature ili mjerenjem pH vrijednosti. Iako su ovakve izvedbe elektrostimulatora veoma korisne, postoji problem lažnog alarma, tj pogrešno senzoriciranje napora.

Buduća poboljšanja usmjerena su na poboljšanja u senzoriciranju fizičke aktivnosti. Također radi se na poboljšanom komunikacijskom prijenosu između pacijenata i liječnika radi lakšeg praćenja stanja, te točnijih dijagnostičkih podataka. Radi se i na rješavanju problema elektromagnetskog utjecaja na elektrostimulatore, što stvara probleme osobama u blizini radio frekvencija, a posebno zbog nemogućnosti korištenja MRI-a.

Najnovija istraživanja rade na otkrivanju bio pacemakera, koji je dijelom električni, dijelom biološki. Radi se na uzgoju umjetnih organa potpuno biološki, što bi u skoroj budućnosti moglo potpuno istisnuti konvencionalnu uporabu pacemakera, te potaknuti potpunu revoluciju u liječenju bolesti.

8. Zaključak

Pacemaker je revolucionarno otkriće koje je nastalo spojem medicine i inženjeringa. To je bio prvi elektronički uređaj koji je ugrađen u ljudsko tijelo. Ta mala napravica zbog svoje je jednostavnosti i funkcionalnosti postala najuspješniji terapijski uređaj, koji je spasio, ili unaprijedio kvalitetu mnogih života i bez koje je danas nezamisliva učinkovita terapija srca. Kako prirodne i tehničke znanosti napreduju, napreduje i usavršavanje terapijskih metoda liječenja. Pacemakeri se usavršavaju, a nova grana inženjerstva- bioinženjerstvo ima sve veću ulogu u tome. Tako u skorijoj budućnosti možemo očekivati potpuno nove, revolucionarne metode liječenja.

9. Literatura

- [1] Ante Šantić, Biomedicinska elektronika, Školska knjiga, Zagreb (1995)
- [2] Božica Škulj, Ratko Magjarević; Što to tamo kuca?, Tehnički muzej, Zagreb (2009)
- [3] Grupa autora (Siemens), Handbook of elektromedicine, basic principles applications equipment, Siemens (1985)
- [4] Gerald E. Miller, Artificial Organs , Morgan & Claypool, (2006)

Sa interneta :

- [5] <http://www.pacemakerproject.net> (07/04/2011)
- [6] <http://www.perpetuum-lab.com> (12/04/2011)
- [7] <http://www.stetoskop.info> (12/04/2011)
- [8] <http://www.virtualmedicalcentre.com> (13/04/2011)
- [9] <http://www.medical.siemens.com> (07/04/2011)
- [10] <http://www.fer.hr> (predavanja)(12/04/2011)
- [11] [http:// www.nndb.com/people/ 893/000169386](http://www.nndb.com/people/893/000169386) (14/04/2011)
- [12] <http://webapps.jhu.edu/namedprofessorships> (14/04/2011)
- [13] http://en.wikipedia.org/wiki/Implantable_cardioverter-defibrillator (12/04/2011)
- [14] <http://amazingdata.com/mediadata23/Image> (15/04/2011)
- [15] <http://www.freepatentsonline.com> (15/04/2011)
- [16] http://www.disens.tudelft.nl/symposium2005/book/5_serdiijn.pdf (29/04/2011)
- [17] <http://www.impaedcard.com/issue/issue27/aquilinao2/aquilinao.htm> (30/04/2011)