

Implantabilni stimulatori srčanog ritma

Oprema

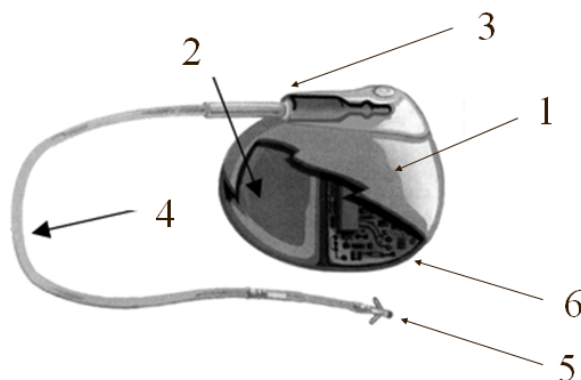
U ovoj vježbi potrebna je sljedeća oprema:

- Medtronic Adapta ADDR01 srčani stimulator
- Medtronic Analyzer programator
- Digital Storage Oscilloscope Tektronix

Teorijske napomene

Stimulatori srčanog ritma, implantabilni elektrostimulatori srca (*implantable cardiac pacemaker*) su protetski uređaji koji daju odgovarajući električki stimulus koji izaziva kontrakcije srčanog mišića. Stimulacija se može provesti postavljanjem elektroda na grudni koš ili direktno na srce. Stimulacija preko grudnog koša može biti samo privremena zbog problema oko postavljanja elektroda na dulje vremensko razdoblje, dodatne stimulacije mišića grudnog koša, velike snage potrebne za stimulaciju što uvjetuje velike dimenzije uređaja i elektroda, te mogućnosti pojave opekotina na mjestima na koja se elektrode postavljaju. Zbog toga se u slučaju trajnog poremećaja u radu srca stimulatori implantiraju.

Svaki implantabilni stimulator srčanog ritma sastoji se od nekoliko cjelina od kojih svaka predstavlja poseban tehnički i tehnološki problem pri realizaciji. Osnovne cjeline prikazane su slikom (Slika 1).



Slika 1. Glavni dijelovi implantabilnog pacemakera: (1) kućište, (2) izvor napajanja, (3) konektor, (4) elektrodni kateter, (5) elektrode, (6) elektronički sklopovi.

Zahvaljujući razvoju tehnologije i minijaturizaciji komponenata upravljački dio stimulatora ima male dimenzije. Tehnološki se u većini slučajeva izvodi u hibridnoj tehnici.

Implantabilni stimulatori srčanog ritma realiziraju se danas kao programabilni, što kao prednost ima univerzalnost i mogućnost promjene parametara shodno stanju pacijenta. Programiranje se može izvesti i nakon implantacije. Programiranje se vrši pomoću jakog, impulsno kodiranog magnetskog polja. Magnetski impulsi djeluju na reed relej čiji kontakti priključuju ulaz u jedno brojilo na napon napajanja. Izlaz iz brojila se dekodira i postavljaju se novi parametri stimulacije.

S obzirom na način rada upravljačkih sklopova, mogu se implantabilni stimulatori srčanog ritma podijeliti na asinkrone, sinkrone, stimulare na zahtjev i fiziološki adaptivne elektrostimulatore.

Asinkroni stimulatori (kompetitivni) su najjednostavniji. Rade na fiksnoj frekvenciji (obično 72 impulsa u minuti) i daju impulse bez obzira na to postoji li, ili ne, normalna aktivnost srca. Najčešće se upotrebljavaju kod totalnog bloka (prestanka rada) srca, kad nema nikakve aktivnosti srca. Mogu se realizirati kao astabilni multivibrator s različitom duljinom vođenja i ne vođenja izlaznog tranzistora.

Sinkroni stimulatori (ne-kompetitivni) se koriste kod bloka AV čvora, tj. kad postoji električka aktivnost i kontrakcija pretklijetki (P-val), a izostaje električka aktivnost koja dovodi do kontrakcije klijetki (vidi vježbu 5.). Stimulator senzira preko posebne elektrode električku aktivnost u pretklijetki i nakon detekcije P-vala s kašnjenjem od oko 100 do 200 ms daje impuls na elektrodu postavljenu u klijetki. Upravljački dio može se najjednostavnije realizirati pojačalom koje senzira aktivnost predklijetke (atrija), komparatorom, sklopom za kašnjenje i monostabilom.

Stimulatori srčanog ritma na zahtjev najčešće se implantiraju kod osoba s poremećajem kod rada srca, ali kod kojih povremeno postoji normalna aktivnost srca. U tom slučaju stimulator detektira aktivnost srca (ako R-zubac izostane dulje od određenog vremena, stimulator generira stimulacijski impuls.

Fiziološki, frekvencijski adaptivni elektrostimulatori prilagođavaju repeticiju stimulusa fizičkoj aktivnosti pacijenta.

Implantabilni stimulatori srčanog ritma izvode se danas gotovo isključivo s baterijskim napajanjem. Kod izbora izvora za napajanje od velike je važnosti da se napajanje održi kroz što dulji vremenski period bez potrebe za zamjenom (operativnim zahvatom), a da se pri tom zadrže prihvatljive dimenzije stimulatora. U velikoj većini slučajeva danas se koriste baterije na bazi litija, zbog velikog kapaciteta po jedinici volumena, (0,15 do 0,4 Ah/cm³), konstantnog napona (1,9 do 3,6 V zavisno od tipa baterije) i malog samopražnjenja (1 do 2% kapaciteta godišnje). Pri realizaciji izvora napajanja radi dobivanja dovoljnog napona za stimulaciju vežu se dvije do tri baterije u seriju. Izvor napajanja i danas predstavlja 2/3 do 3/4 volumena implantabilnog stimulatora i element je koji ima najmanju pouzdanost, te određuje životni vijek stimulatora.

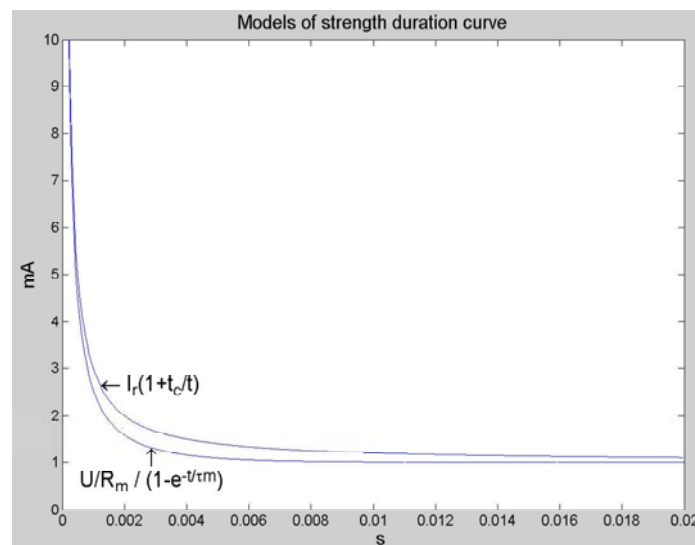
Baterije i upravljački dio najčešće su smješteni u metalno kućište od titanovih legura. Kućište osigurava mehaničku zaštitu, onemogućuje prodiranje agresivnih elektrolita iz ljudskog organizma u stimulator i služi kao neutralna elektroda kod unipolarne stimulacije. Legure koje se upotrebljavaju se biokompatibilne i kemijski inertne.

S obzirom na način postavljanja elektrode za stimulaciju postoje dvije izvedbe implantabilnih stimulatora i to: unipolarni i bipolarni. Kod **unipolarnih stimulatora** kućište stimulatora predstavlja jednu elektrodu (anodu, +) koja je bitno veće površine i obično se naziva neutralnom, a druga elektroda (katoda, -), aktivna, se uvodi u srce. Kod **bipolarne stimulacije** se obje elektrode postavljaju na srce, katoda je postavljena u vrh desne klijetke, a prstenasta anoda nalazi se na udaljenosti od 10-20 mm od katode. Bipolarna stimulacija zahtijeva manju snagu, ali je pouzdanost takve izvedbe manja. Naime, uz bateriju, najčešći uzrok kvara kod implantabilnih stimulatora su prekidi, dislokacije i povećanje prelaznog otpora elektroda. Stimulatori se kod implantacije ne postavljaju u neposrednoj blizini srca. Vodič (elektrodni kateter) koji se koristi za povezivanje stimulatora i elektrode mora biti dobro vodljiv i podnositi mehanička opterećenja koja se javljaju kod pokreta. Kao materijal koristi se obično platina ili platina-iridij. Žica od tih materijala se namata spiralno tako da je moguć veliki broj savijanja (kod normalnog ritma srca, to iznosi oko 30 miliona savijanja godišnje). Izolator mora također biti biokompatibilan odgovarajućih mehaničkih svojstava. Najčešće se koristi silikonska guma ili teflon.

Prema načinu pričvršćivanja elektrode dijelimo na: **epikardijalne** (na površini srca), **intramiokardijalne** (pričvršćene spiralnim vrhom u unutrašnju stjenku srca) i **endokardijalne ili intraluminarne** (pritisnute pasivnim pričvršćenjem na unutrašnju stjenku srca).

Elektroda se izrađuje od istog materijala kao i vodič. Veza između srčanog tkiva i elektroda, mora biti električki dobra i mehanički čvrsta kako bi prelazni otpor i disipacija na prelasku elektroda-tkivo bili što manji. Otpor tijekom vremena raste zbog stvaranja fibroznog, slabo vodljivog tkiva oko elektrode. U nekoliko tjedana poslije ugradnje raste impedancija elektrode i prag podražljivosti srčanog mišića.

Krivulja podražljivosti modelira se: hiperbolnim (eksperimentalnim modelom) ili eksponencijalnim (teorijskim) modelom što je prikazanom slikom (Slika 2). Prag podražljivosti mjeri se za vrijeme implantacije. Amplituda impulsa postavlja se na vrijednost jednaku dvostrukoj izmjerenoj vrijednosti praga podražljivosti za neko trajanje radi povećane pouzdanosti.



Slika 2. Hiperbolni i eksponencijalni model praga podražljivosti.

Parametri impulsa koji se koriste za stimulaciju srčanog mišića kod implantabilnih stimulatora su najčešće unutar reda veličine od:

- amplituda strujnih impulsa: 1 mA, 2 mA, 4 mA, 9 mA
- napon impulsa: 1V, 2V, 4V, 8V
- trajanje: 0.5 ms, 1 ms, 2 ms

Izvori napajanja za implantabilne stimulare imaju: veliku gustoću energije, stalan izlazni napon neopterećenog izvora od 2.8V koji se postiže serijskim spajanjem 2 do 3 članka i ukupnog kapacitet baterija od 1000 mAh do 3000 mAh. Litijeve baterije, kakve se koriste u implantabilnim stimulatorima imaju ovisnost napona o istrošenosti baterije gotovo linearni, sve dok istrošenost ne postigne cca 90% kapaciteta baterije. Nakon toga dolazi do gotovo skokovitog pada napona baterije na niži naponski plato. Stimulator se zamjenjuje kad kapacitet padne ispod 90 mAh. Prosječna potrošnja upravljačkog sklopovlja je 20 μ A, a svakog stimulusa oko $I_{SR} = I_P \times t_I \times f = 8\text{mA} \times 1\text{ms} \times 1\text{Hz} = 8\mu\text{A}$.

Međunarodno se način rada srčanog elektrostimulatora obilježava s 4 slova:

1. Srčana komora koja se **stimulira**
2. Srčana komora u kojoj se **senzira**
 - 0 = stimulacija nije uključena
 - A = atrij (pretklijetka)
 - V = ventrikul (klijetka)
 - D = obje komore (*dual*)
3. **Način rada** (s obzirom na senziranje)
 - 0 = senziranje isključeno
 - I = inhibirajući
 - T = okidni način rada
 - D = oba načina rada (I+T)
4. **Frekvencijska adaptivnost**
 - 0 = ne postoji
 - R = adaptivan (*rate modulation*)
 - P = programabilan
 - M = multi-programabilan
 - C = mogućnost telemetrije (*communicating*)

Telemetrijski su dostupni liječniku i kliničkom inženjeru sljedeći mjerni parametri:

- Prag podražljivosti
- Impedancija elektrode(a)
- Intrakardijalni ECG
- Napon baterije
- Unutarnji otpor baterije
- Periodi nepravilnog rada srca (pohranjeno u RAM-u)
- Broj stimulusa predan pacijentu (u određenom vremenu)
- Histogram patoloških događaja
- Podaci iz senzora adaptabilnih pacemakera, itd.

Senzori u frekvencijski adaptivnim srčanim elektrostimulatorima najčešće su:

- Akcelerometar – pomicanje tijela, tjelesna aktivnost
- Mikrofon – disanje – frekvencija disanja
- Impedancijski pletismograf:
 - promjena volumena srca (uslijed kontrakcija)
 - frekvencija disanja / dubina (volumen) disanja
- Intrakardijalni EKG (elektrode):
 - analiza QT segmenta
 - analiza R vala, površina
- Krvni tlak
- Termistori – temperatura krvi – protok
- pH – koncentracija plinova

Dvostruko senziranje – povećanje pouzdanosti.

Programiranje srčanog elektrostimulatora provodi se pomoću **programatora** koji formira jake magnetske impulse koji na ulaz u brojilo preko kontakata **reed releja** dovode napon napajanja u taktu magnetskih impulsa. Stanje brojila se dekodira i postavlja nove parametre stimulacije. Naime, frekvencija magnetskih impulsa za određenu grupu stimulatora je fiksna, reda veličine par stotina Hz, te nakon prvog uključivanja reed releja vremenski sklop dozvoljava brojenje impulsa samo određeno vrijeme. Minimalni broj impulsa koji može dovesti do promjene parametara stimulacije je obično 8. Ako su npr. dva jaka impulsa magnetskog polja neželjeno uključila dva puta reed relej, vremenski sklop nakon nekog vremena onemogućuje ulaz u brojilo, i budući da je broj impulsa manji od minimalnog, stanje brojila se poništava. Ipak se osobama s implantiranim stimulatorima srčanog ritma ne preporuča dolazak u blizinu jakih magnetskih polja (npr. u transformatorske stanice ili u blizinu radara).

Rad u laboratoriju

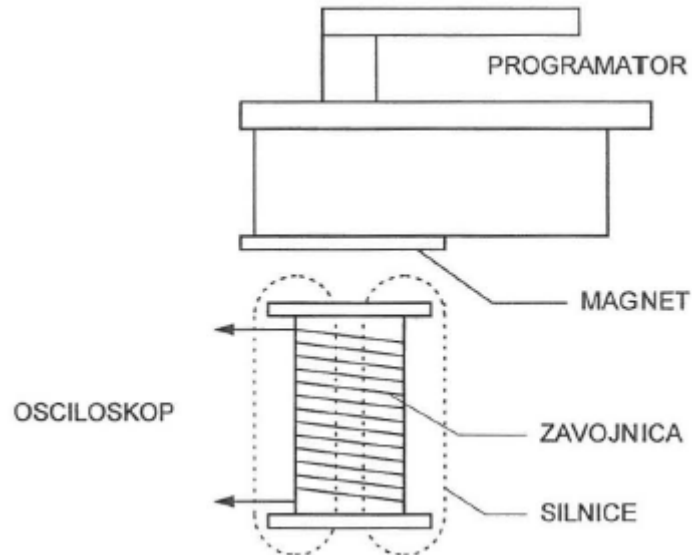
Na vježbi treba uočiti osnovne električke i fizičke karakteristike, te način programiranja implantabilnih stimulatora srčanog ritma. Suvremeni programator *Medtronic Analyzer* ima velike programske mogućnosti te treba uočiti koje se sve parametre može programirati i u kojim granicama.

- 1. Odredite koji se elektrostimulator koristi na vježbama te koje sve načine rada podržava? Kakve su elektrode priključene na njega? Opišite zapažanja.**

- 2. Prislonite telemetrijsku programsku glavu programatora (miš) na pacemaker i kliknite lijevi gumb kako bi se izvršila automatska identifikacija srčanog elektrostimulatora. Odaberite meni za podešavanje parametara „Param“ te zabilježite u kojem rasponu možete mijenjati parametre pacemaker-a. Opišite zapažanja.**

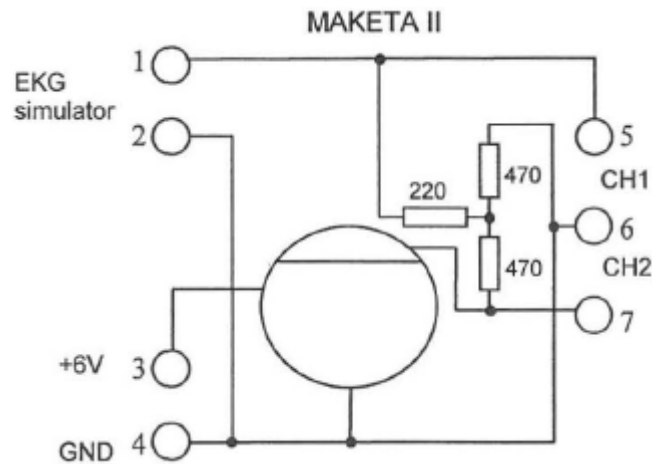
- 3. Odaberite „Data“ meni te odaberite opciju za mjerenje parametara baterije i elektroda („Battery and Lead Measurements“). Pokrenite mjerenje. Izmjerite napon i struju koju trenutno troši sklopovlje stimulatora, te procijenite kapacitet baterije uz navedeno minimalno, maksimalno i estimirano vrijeme trajanja baterije.**

6. Telemetrijsku glavu programatora postavite iznad zračne zavojnice. Uslijed magnetskog polja u zavojnici se inducira napon. Promatranjem induciranog napona na zastoru digitalnog osciloskopa moguće je uočiti razlike u trajanju paketa impulsa za različite parametre postavljene na programatoru, te uočiti frekvenciju magnetskih impulsa. Opišite zapažanje.

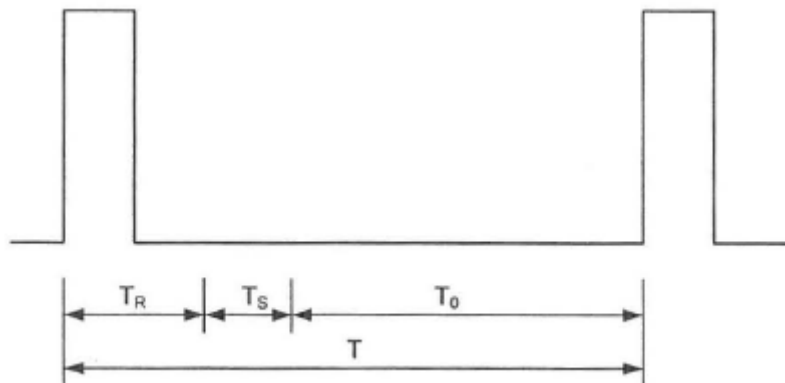


Slika 3. Shema spajanja.

7. Spojite elektrostimulator s simulatorom EKG signala prema shemi sa slike (Slika 4). Odaberite način rada pacemakera kao elektrostimulatora na zahtjev. Vremenski dijagram upravljačkog sklopa stimulatora na zahtjev prikazan je slikom (Slika 5).



Slika 4. Shema spajanja. EKG simulator spojite na kanal CH2. Za promatranje signala osciloskop spojite na CH1.



Slika 5. Vremenski dijagram upravljačkog sklopa stimulatora na zahtjev.

Za vrijeme dijela intervala označenog sa T_S (obično $1/8 T$), analizator signala "osluškuje" signale iz okoline, te formira upravljački signal za logička vrata i to:

1. ukoliko senzirajuće pojačalo ne registrira nikakav signal (npr. smetnje koje su posljedica vanjskog polja više frekvencije poput gradske mreže) formira se signal koji omogućuje da pojave spontane srčane aktivnosti (R-vala) u toku slijedećeg intervala, na slici označenoj s T_0 , resetira programabilno brojilo i otpočne novi ciklus brojenja;
2. ukoliko su smetnje prisutne, onemogućuje se resetiranje brojila bez obzira na spontanu aktivnost srca i na kraju intervala T formira se stimulus.

Stimulator na zahtjev priključuje se na simulator bioloških veličina koji na izlazu daje simulirani signal EKG-a s mogućnošću promjene frekvencije simuliranog signala od 0,5 Hz do 2,5 Hz.

Provjerite da li srčani elektrostimulator doista radi na zahtjev, skicirajte valne oblike te zapišite svoja zapažanja.