

PRIMENA PUMPI U UREĐAJIMA ZA OLAKŠAN RAD SRCA ILI POTPUNU ZAMENU SRCA

PUMPAPPLICATION IN THE DEVICE, TO FACILITE THE WORK OF HEART OR COMPLETE HEART REPLACEMENT

Aleksandra Vulović¹⁾, Nikola Jovanović²⁾, dr Slobodan Savić³⁾

Rezime: U ovom radu je prikazana primena pumpi u medicini, njihova mogućnost da pomognu čoveku sa srčanim problemima, da spasu nečiji život ili da ga znatno produže. Opšte je poznato da postoji veliki problem sa brojem srčanoobolelih osoba, kao i sa stopom smrtnih ishoda u slučaju bolesti. Nakon srčanog udara, samo manji broj ljudi uspe da se u potpunosti oporavi pomoću neinvazivnih medicinskih metoda, dok je za veliku većinu potrebna pomoć u vidu hirurške intervencije. U slučaju da dođe do srčanog udara, za pravilan oporavak srčanog mišića je prvenstveno bitan period neposredno nakon srčanog udara. U slučaju blažeg srčanog udara dovoljno je pomoći srcu pri pumpanju krvi, odnosno smanjiti napor koji je potreban za pumpanje krvi. U slučaju težeg srčanog udara sa težim posledicama pri kojima može doći do totalnog otkaza rada srčanog mišića, postoji mogućnost primene veštačkog srca.

Shodno tome, u prvom delu rada je dat kratak opis srčanog mišića, predmeta primene pumpi, sa njegovim osnovnim delovima. Nakon toga, kao prvi primer date su balon pumpe koje služe da asistiraju srcu pri radu, odnosno da olakšaju njegov rad. Kao drugi primer dat je "Ventricular assist device" (u daljem tekstu VAD). I kao treći, najznačajniji primer primene pumpi u medicini, dato je rešenje veštačkog srca "AbioCor Implantable Replacement HeartB" (u daljem tekstu ACIRH). Za sve primere dat je opis tehničkog rešenja, princip rada, mesto postavljanja i način ostvarivanja veze.

Ključne reči: pumpa, srce, čovek

Abstract: This paper shows how pumps are used in medicine to help patients with a heart disease, to save someone's life, or extend it considerably. It is generally known that there are many people with heart diseases and that the rate of death caused by these diseases is enormously high. After a heart attack, only a small number of patients can be successfully treated and fully recovered using only non-invasively methods, while the great majority has to undergo surgical procedures. The first few days after a heart attack are the crucial period for a full recovery of the heart muscle. In the case of a less severe heart attack, it is enough to help heart pump the blood, i.e. reduce the effort required to pump blood. In the case of a severe heart attack, there is a possibility to use an artificial heart.

The first part of the paper gives a short description of the heart muscle, applications of pumps, and their basic parts. Balloon pumps, which serve to assist the heart in pumping blood and make its work easier, are described as the first example. Ventricular assist device (VAD) is given as the second example, and finally, as the most important, an artificial heart - AbioCor Implantable Replacement Heart (ACIRH) is presented. Descriptions of technical solutions, working principles, installation, and connection are given for all the examples.

Key words: pump, heart, man

1. SRCE

Srce je mišićni organ, koji se nalazi u sredini grudnog koša, neposredno iza grudne kosti između levog i desnog plućnog krila, sa vrhom okrenutim nadole i koso ulevo. Donjom stranom srce naleže na dijafragmu. Sa spoljne strane srce je obmotano tankom dvoslojnom membranom - srčanom kesom,

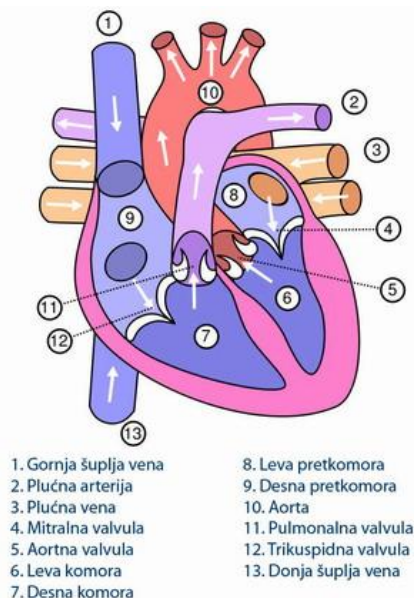
koja ga štiti od raznih unutrašnjih i spoljnih uticaja.

Srce je približno veličine stisnute pesnice, mase između 300 i 350 grama u proseku. Za jedan minut, u toku 60 do 80 srčanih kontrakcija, kroz srce protekne 5 do 6 litara krvi, dok dnevni protok iznosi oko 8000 litara, u zavisnosti od aktivnosti čoveka.

1) Aleksandra Vulović, Fakultet inženjerskih nauka, Sestre Janjić 6, mail:aleksandra.vulovic@ymail.com
2) Nikola Jovanović, Fakultet inženjerskih nauka, Sestre Janjić 6, mail: kum.n.dzoni@gmail.com
3) dr Slobodan Savić, Fakultet inženjerskih nauka, Sestre Janjić 6, mail: ssavic@kg.ac.rs

Srce predstavlja dvostruku mišićnu pumpu, sastavljenu iz dva odvojena dela koji, zajedno, deluju kao pumpa za krv. Svaka polovina sastavljena je iz dve šupljine: pretkomore i komore. Leva i desna pretkomora ili atrijumi i leva i desna komora ili ventrikuli, međusobno su odvojene komornom i međukornom pregradom, koje sprečavaju mešanje krvi levog i desnog srca. Pretkomore i komore na levoj strani srca čine levo srce, a pretkomore i komore na desnoj strani desno srce. U desnu stranu srca dolazi krv iz čitavog organizma. To je krv siromašna kiseonikom (dezoksigenisana krv), jer ga je organizam iz nje već uzeo i potrošio. U levu stranu srca dolazi krv iz pluća a ta krv je, kroz proces disanja, obogaćena kiseonikom (oksigenisana krv).

Na slici 1 je prikazan model srca sa označenim delovima.



Slika 1 - Model srca

Kao bilo koji motor ili pumpa, i srce, takođe, može da postane manje efikasno ili čak da prestane sa radom, ukoliko se ne vodi računa o njemu. Ukoliko do toga dođe, potrebno je učiniti sve da se pacijentu pomogne. To je razlog zašto se vrše istraživanja u oblasti stvaranja veštačkog srca.

2. PUMPE

Pumpa je uređaj koji se koristi za transport tečnosti. Pumpa transportuje tečnost iz područja nižeg pritiska u područje višeg pritiska. Razliku u pritiscima, koja postoji, pumpa prevazilazi dodajući energiju sistemu.

Danas pumpe nalaze veliku primenu u skoro svim oblastima života, pa zbog toga i ne čudi što su primenu našle i u medicini, gde se koriste za pomoć organu koji omogućava čoveku život.

U ovom radu biće prikazane pumpe koje trenutno nalaze primenu u medicini.

2.1 Balon pumpa

Balon pumpa je mehanički uređaj koji omogućava srcu da pumpa krv kroz telo. Sastoji se iz dva dela, jednog koji se nalazi u čovekovoj aorti i drugog koji se nalazi van tela. Deo koji se nalazi u aorti (kroz koju teče krv od srca do ostatka tela) naziva se balon. Balon je napravljen od polietilena, i kada se pravilno postavi u aortu, nalazi se približno 2 cm od leve subklavijalne arterije (slika 2). On se prazni u fazi sistole, čime se povećava protok krvi, dok se u fazi dijastole on aktivno naduvava, povećavajući protok krvi u koronarnim arterijama preko retrogradnog protoka.

Ova pumpa se koristi u slučajevima kada srce ne može samostalno da pumpa dovoljno krvi. Pomenuti uređaj pomaže srcu da pumpa krv ali ga ne zamenjuje, pa predstavlja samo kratkoročno rešenje.

Balon se kompjuterski kontroliše pomoću mehanizma, koji naduva balon helijumom iz cilindra tokom dijastole. Helijum ovde nalazi primenu zbog male viskoznosti, što omogućava veliku brzinu kretanja kroz dugačke cevi. Osim toga, korišćenjem helijuma umesto vazduha, za slučaj rupture balona, smanjuje se rizik od embolije. Balon se smešta unutar aorte kada se srčani mišić odmara. Pre početka pumpanja krvi, balon je ispumpan, što omogućava da krv teče iz srca. Pumpa se ugrađuje u aortu kroz femoralnu arteriju u nozi, tokom operacije srca.

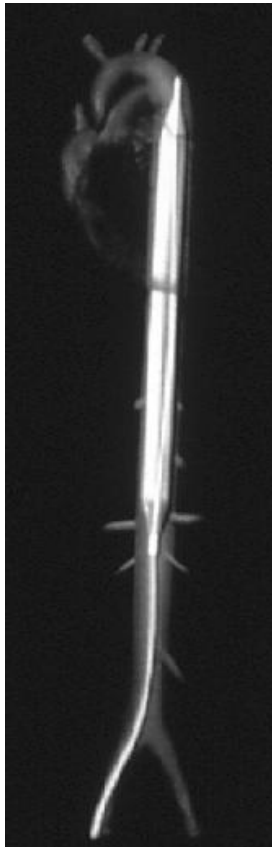
Ova pumpa se ugrađuje kod pacijenata koji pate od ozbiljnih srčanih problema, uključujući one sa infarktima ili kardiomiopatijom, kao i kod pacijenata koji se oporavljaju od operacije na otvorenom srcu ili koji čekaju transplataciju srca.

Balon pumpa je za veoma kratko vreme postala jedna je od najpopularnijih. Razlog tome može biti laka ugradnja, koja je moguća i bez operacije pomoću lokalne anestezije. Takođe, ono što je veoma bitno je da ovaj uređaj ima alarme u slučaju da dođe otkazivanja pumpe, što omogućava pravovremenu reakciju doktora.

Mana ovog uređaja je ta što je nakon ugradnje pumpe neophodno ležanje, tokom celog perioda dok je pacijent priključen na pumpu. Naslon kreveta se može veoma malo pomerati kako ne bi došlo do nekih problema pri protoku krvi. Takođe, pacijent mora držati ispruženu nogu kroz čiju je femoralnu arteriju balon uveden, kako ne bi došlo do savijanja cevi i do ugrožavanja života.

Uređaj se postavlja u femoralnu arteriju i aortu. Može da dovede do ishemije - stanje u organizmu izazvanog lokalnim prekidom krvotoka, u kojem pojedina tkiva ne primaju dovoljnu

količinu kiseonika iz krvi zbog narušene cirkulacije u krvnim sudovima.



Slika 2 - Položaj balon pumpe u aorti

2.2 Ventricular assist device (VAD)

VAD (ventricular assist device) je mehanička pumpa koja se koristi za podršku funkcije srca i protok krvi kod ljudi koji imaju oslabljena srca. Uređaj funkcionira tako što iz nižih komora preuzima krv, a zatim pumpa kroz telo do vitalnih organa, kao što bi to činilo zdravo srce. Neki uređaji su namenjeni za kratkoročnu upotrebu, tipično za pacijente koji se oporavljaju od srčanog napada ili operacije srca, dok su drugi namenjeni za dugotrajnu upotrebu (do nekoliko godina, a u nekim slučajevima i doživotno).

Od VAD-a koriste osobe kod kojih jedna ili obe komore ne rade dobro zbog bolesti srca. Može se koristiti za vreme ili posle operacije, dok se srce ne oporavi, kao i kod pacijenata koji čekaju na transplantaciju srca. Takođe, VAD može biti dugoročno rešenje kod pacijenata koji ne zadovoljavaju uslove za transplantaciju.

Pumpe koje se koriste za VAD se mogu podeliti u dve kategorije: pumpe koje oponašaju rad srca i pumpe koje omogućavaju kontinuirani protok krvi.

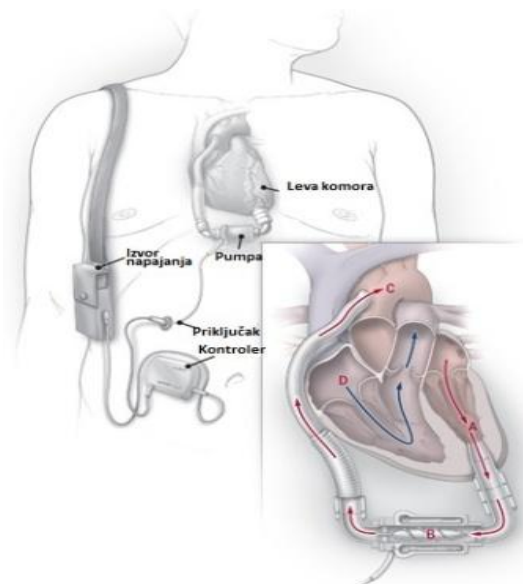
Dve osnovne vrste VAD-a su: LVAD (koji se ugrađuje u levu komoru) i RVAD (koji se ugrađuje u desnu). Ukoliko se obe vrste koriste u isto vreme, onda je reč o BIVAD uređaju.

RVAD se obično koristi za kratkoročnu podršku desne komore, LVAD se koristi posle operacija i predstavlja najčešće korišćen VAD uređaj. BIVAD može da se koristi ako obe komore ne rade dovoljno dobro da zadovolje potrebe organizma.

VAD uređaji imaju dva osnovna dizajna:

1. VAD uređaj čija se pumpa i napajanje nalaze van tela. Cevi povezuju pumpu kroz male rupe na stomaku. Ovaj tip može da se koristi za kratkoročnu podršku za vreme ili posle operacije.
2. VAD uređaj čija pumpa se nalazi unutar tela, a izvora napajanja van tela. Kabl povezuje pumpu na izvor napajanja kroz malu rupu u stomaku. Koriste se uglavnom za ljude koji čekaju na transplantaciju srca ili kao dugoročno rešenje za ljude koji ne mogu da imaju transplantaciju srca.

Na slici 3 je prikazan LVAD. Ovaj uređaj se sastoji iz četiri osnovna dela: pumpe, priključka, kontrolera i izvora napajanja.



Slika 3 - LVAD

Jedan deo pumpe je direktno implantiran u levu komoru, dok je drugi deo priključen na aortu. Krv bogata kiseonikom se transportuje iz leve komore (A) do pumpe (B). Dalje pumpa šalje krv do aorte (C) a zatim i kroz ostatak tela. Desna strana srca nastavlja da funkcioniše normalno. Uređaj ima izvor napajanja koji se povezuje sa kontrolnom jedinicom, koja prati funkcije. U slučaju lošeg napajanja ili lošeg rada uređaja, ta kontrolna jedinica daje upozorenja.

Prvi VAD su oponašali rad srca pomoću procesa kojim se krv naizmenično usisavala u pumpu u levoj komori, a zatim se slala dalje do aorte. Noviji uređaji su više skoncentrisani na neprekidan protok krvi, a pumpe koje se koriste se mogu kategorisati kao centrifugalne pumpe ili aksijalne pumpe pogonjene rotorom. Ove pumpe su jednostavnije i imaju veću pouzdanost. Neželjeni efekat je taj što korisnik neće imati puls, ili će intenzitet pulsa biti ozbiljno redukovan.

Velika mana ovih uređaja je veliki rizik od infekcija koje se veoma teško leče. Najmanji uređaj je HeartMate II, težak je oko 0,45 kg i veličine 7,6 cm.

2.3 Veštačko srce

Do nedavno jedina mogućnost za spašavanje života čoveka, nakon otkaza srca, bila je transplatacija srca. Međutim to je komplikovan proces, a postoji i problem nedostatka organa za transplataciju. U SAD-u, zemlji vodećoj u ovoj oblasti, godišnje se obavi oko 2000 transplatacija što je apsolutno nedovoljno. Još od početka druge polovine XX veka radi se na stvaranju veštačkog srca. Prvo potpuno operativno veštačko srce je ugrađeno pacijentu jula 2001. godine. Naziv tog veštačkog srca je *AbioCor Implantable Replacement Heart* (ACIRH, slika 4).



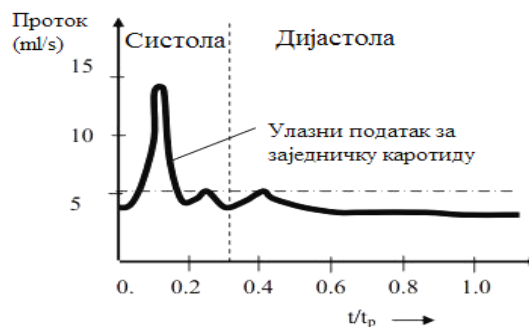
Slika 4 - ACIRH

2.3.1 Faze srčanog ciklusa

Da bi veštačko srce uspelo da zadovolji potrebe ljudskog organizma, potrebno je da zadovolji određene uslove. Protok krvi kroz ACIRH treba da bude jednak protoku kroz pravo srce i da se njegov rad poklapa sa fazama srčanog ciklusa, koliko je to moguće.

Faze srčanog ciklusa su sistola i dijasola (slika 5).

U toku sistole srčani mišići se grče i srce pumpa krv, nakon čega dolazi do relaksacije srčanih mišića i srce se puni krvlju. Gledano kroz rad delova srčanog mišića postoje dve faze sistole:



Slika 5 - Faze srčanog ciklusa

- u prvoj fazi leva i desna pretkomora srca se skupljaju u istom trenutku i pumpaju krv u odgovarajuće komore.
- u drugoj fazi komore se kontrakuju i ispumpavaju krv iz srca.

Srce se zatim opušta i pre sledećeg otkucaja i pretkomore se pune krvlju.

Pacijenti kojima je ugrađen ovaj uređaj i dalje imaju dve pretkomore, koje se kontrakuju u istom trenutku, ali ACIRH može da potiskuje samo iz jedne komore u istom trenutku. Zbog toga je napravljen izuzetak tako da, za razliku od pravog srca, ACIRH šalje krv prvo u pluća a zatim se krv sprovodi dalje u aortu.

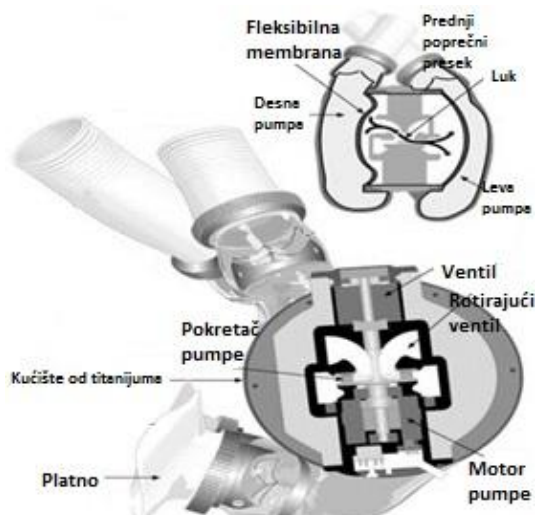
Iako je ceo mehanizam jako sofisticiran, jezgro mehanizma čini hidraulična pumpa koja pumpa krv naizmenično, prvo u jednu pa zatim u drugu stranu.

2.3.2 Komponente sistema ACIRH

Hidraulična pumpa – osnova konstrukcije pumpe je jako slična ostalim hidrauličnim pumpama. Sila koja deluje na jedan deo se prenosi na drugi deo putem nestišljivog fluida. Potrebna sila se dobija preko pritiska koji stvara zupčanik koji se obrće brzinom od 10000 o/min. Unutrašnji presek pumpi dat je na slici 6.

Propusni otvor se naizmenično otvara i zatvara, da bi se omogućilo kretanje fluida sa jedne strane ACIRH-a na drugu stranu. Kada se fluid pomera u desno, krv se pumpa u pluća kroz veštačku komoru. Kada se fluid pomera u levo krv se pumpa u ostatak tela.

Sistem napajanja - ovaj sistem se sastoji od dva namotaja, jednog unutrašnjeg i jednog spoljašnjeg. Ovako postavljeni namotaji omogućavaju da se energija prenosi putem magnetnog polja pomoću indukcije, sa spoljašnjeg izvora (baterije) kroz kožu, bez oštećenja same kože. U unutrašnjem namotaju se indukuje električna energija koja se zatim prenosi do unutrašnje baterije i kontrolnog uređaja.



Slika 6 - Unutrašnji presek ACIRH-a

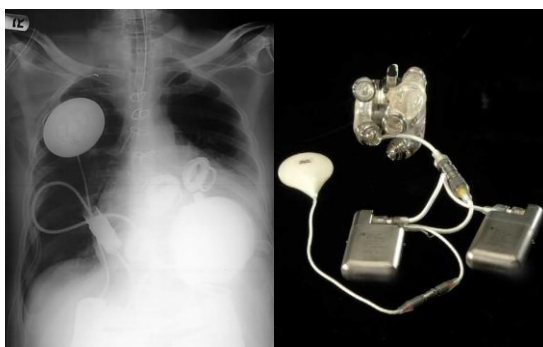
Unutrašnja baterija - Postavljena je u telu pacijenta. Ona omogućuje da se pacijent odvoji od spoljašnjeg izvora napajanja u trajanju od 30 do 40 minuta kako bi se pacijentu omogućile određene aktivnosti.

Spoljašnja baterija - Pacijent je nosi sa sobom, pomoću pojasa, pri čemu svako punjenje omogućava 4 do 5 sati konstantnog izvora napajanja.

Kontrolni uređaj - služi da upravlja procesom rada pumpe, kontroliše brzinu pumpe. Nalazi se unutar pacijenta u predelu abdomena.

ACIRH je spojen sa telom na četiri mesta, a to su: 1. desna komora; 2. leva komora; 3. aorta; 4. plućna arterija.

Izgled celokupnog sistema, i njegovog položaja u telu dat je na slici 7.



Slika 7 - Sistem ACIRH-a i njegov položaj u telu

3. ZAKLJUČAK

Sa razvojem nauke i tehnike, povećavaju se mogućnosti da se kvalitet života u značajnoj meri popravi. Svedoci smo sve češćih kardiovaskularnih oboljenja koja su posledica stresa i nepravilnog načina života. Problemi otkazivanja srca i čekanja na transplantaciju su sve češći tako da bi ovi uređaji mogli u velikoj meri da poboljšaju kvalitet života pacijenata. U slučaju da transplantacija srca iz bilo kog razloga nije moguća, oni u izvesnoj meri mogu da produže život. Ovi uređaji, sve manjih dimenzija, ulivaju sve veću nadu da će u budućnosti ovaj veliki problem društva biti značajno smanjen.

LITERATURA

- [1] Filipović, N.: Osnovi bioinženjeringa, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, Kragujevac, 2012.
- [2] <http://sr.wikipedia.org/sr/Српсe>
- [3] <http://www.nhlbi.nih.gov/health/health-topics/topics/vad/>
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Ventricular_assist_device
- [5] <http://www.aarp.org/health/conditions-treatments/info-12-2011/how-heart-pump-works.html>
- [6] http://www.health.harvard.edu/newsletters/Harvard_Heart_Letter/2011/January/tiny-pumps-can-help-when-heart-failure-advances
- [7] <http://science.howstuffworks.com/innovation/everyday-innovations/artificial-heart.htm>
- [8] <http://www.texasheartinstitute.org/Research/Devices>
- [9] <http://allaboutroboticsurgery.com/heartpumpsystems/vad/heartpumpsystemsnews.html>