

# Vrste i obilježja mehaničke cirkulacijske potpore u kardiokirurških bolesnika

---

**Cvetković, Lorena**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2023**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, School of Medicine / Sveučilište u Zagrebu, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:584021>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-15**



*Repository / Repozitorij:*

[Dr Med - University of Zagreb School of Medicine Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
MEDICINSKI FAKULTET**

**Lorena Cvetković**

**Vrste i obilježja mehaničke cirkulacijske potpore u  
kardiokirurških bolesnika**

**Diplomski rad**



**Zagreb, 2023.**

Ovaj diplomski rad izrađen je na Odjelu za anesteziologiju, poslijeoperacijsko zbrinjavanje i intenzivnu medicinu kardiokururških i vaskularnih bolesnika Kliničkog bolničkog centra Zagreb i Medicinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod vodstvom dr.sc. Mirabela Mažara, dr.med. te je predan na ocjenjivanje u akademskoj godini 2022. / 2023.

## POPIS KRATICA S OBJAŠNJENJIMA

**Ao** -aorta

**ASD** -atrijski septalni defekt

**CABG** -coronary artery bypass grafting

**CRT** -cardiac resynchronization therapy

**CPR** -cardiopulmonary resuscitation, E-CPR -ECMO cardiopulmonary resuscitation

**DŠV** -donja šuplja vena

**DIK** -diseminirana intravaskularna koagulacija

**ECMO** -extracorporeal membrane oxygenation (izvantjelesna membranska oksigenacija)

**ECMO AV** -arteriovenski ECMO

**ECMO VV** - venovenski ECMO

**EF** -ejection fraction (istisna frakcija)

**Fr** -French (mjerna jedinica za promjer katetera)

**GŠV** -gornja šuplja vena

**HIT** – heparin induced trombocytopenia

**IABP**- intraaortna balon pumpa

**ICT** -invasive cardiovascular technology

**KKS** -kompletna krvna slika

**KŠ** -kardiogeni šok

**LA** -lijevi atrij

**LV** -lijevi ventrikul

**L** -litra

**MCP** -mehanička cirkulacijska potpora

**PA** -pulmonalna(plućna) arterija

**PE** -plućna embolija

**PEEP** -positive end expiratory pressure

**RA** -right atrium (desni atrij)

**RV** -right ventricle (desni ventrikul)

**TAH** -total artificial heart

**TEE** -transesophageal echocardiography

**VAD**- ventricular assist device, **HVAD** -Heartware VAD

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	5
SUMMARY .....	6
ZATAJENJE SRCA.....	7
MEHANIČKA CIRKULACIJSKA POTPORA (MCP).....	8
INDIKACIJE I KONTRAINDIKACIJE ZA MCP .....	9
OPĆENITE KOMPLIKACIJE KORIŠTENJA MCP .....	10
KOMPLIKACIJE VEZANE UZ SPECIFIČNE VRSTE POTPORE .....	11
PODJELE UREĐAJA PO NAMJENI I KARAKTERISTIKAMA .....	12
Klasifikacija uređaja po vrsti pogona: puslatilni i ne pulsatilni .....	13
Oblik srčane potpore.....	15
Oblici MCP (kategorizacija i karakteristike uređaja).....	16
VAD .....	17
Podjela VAD uređaja u tri generacije (tip pumpi) .....	18
Tandem Heart.....	20
Impella (2.5, CP, 5.0,5.5, RP) .....	21
CentriMag.....	23
IABP .....	24
ECMO.....	26
ProtekDuo .....	30
iVAC.....	32
IZVORI .....	34
ŽIVOTOPIS .....	36

## **SAŽETAK**

### **Vrste i obilježja mehaničke cirkulacijske potpore u kardiokirurških bolesnika**

**Lorena Cvetković**

Mehanička cirkulacijska potpora naziv je za skupinu uređaja koja se koristi kao potpora srcu u terapiji zatajivanja srca (i/ili pluća). Ovisno o namjeni i trajanju samog postupka, mehanička cirkulacijska potpora može biti kratkoročna ili dugoročna, koristiti se tijekom kardiokirurških intervencija ili do transplantacije srca. Mehanička cirkulacijska potpora ima široku primjenu. Osim terapije kroničnog srčanog zatajenja, mehanička cirkulacijska potpora poput ECMO se koristi kao most prema transplantaciji pluća i u stanjima reverzibilne respiracijske insuficijencije, u liječenju pacijenata u stanju hipotermije s tahiaritmijama, reanimaciji... Uređaji koji se koriste za kratkoročnu potporu su IABP, Impella, ECMO i VAD, dok su u dugoročnoj cirkulacijskoj potpori najprimjenjiviji VAD i TAH. Intrakorporalni uređaji ugrađuju se kirurški implantacijom pumpi u prsište, a perkutani i ekstrakorporalni uređaji rade na principu kanilacije većih vena i arterija do samog srca odakle dreniraju krv. Uređaji pružaju potporu jednom ili oba ventrikula. U praksi je moguća kombinacija jedne ili više vrsti uređaja za srčanu i/ili respiratornu potporu.

Ključne riječi: mehanička cirkulacijska potpora, zatajenje srca, IABP, Impella, ECMO, VAD

## **SUMMARY**

### **Types and characteristics of extracorporeal life support in cardiovascular surgery patients Lorena Cvetković**

Mechanical circulatory support (MCS) is a group of devices used for treatment of cardiac (and/or respiratory) failure. Depending of purpose and duration of therapy, we distinguish long-term and short-term MCS used during cardiac surgery interventions or as bridge to heart transplant. Mechanical circulatory support has wide range of uses. MCS like ECMO can be used as bridge to lung transplant, in cases of reversible respiratory insufficiency, as treatment of hypothermia with tachyarrhythmias, during reanimation... Devices used for short term support are IABP, Impella, ECMO and VAD, whereas VAD and TAH are mostly used during long-term circulatory support. Intracorporeal devices are positioned by implantation of pumps pericardially, while percutaneous and extracorporeal devices require cannulation of greater vessels, draining blood from the heart. In practise one or more type of devices can be combined for cardiac and/or respiratory support.

Key words: mechanical circulatory support, cardiac decompensation, IABP, Impella, ECMO, VAD

## ZATAJENJE SRCA

Zatajivanje srca je stanje u kojem srce ne može ispumpati dostatnu količinu krvi da bi zadovoljilo potrebe svih dijelova tijela za kisikom i hranjivim tvarima. Učestalost zatajivanja srca značajno raste zadnjih godina pa je postalo najčešći razlog bolničkog liječenja među osobama starijim od 65 godina i najčešći razlog ponovnog prijema u bolnicu unutar 30 dana. U Hrvatskoj čak 65-75 tisuća ljudi pati od zatajivanja srca, što ga čini značajnim javnozdravstvenim problemom. Zatajenje srca može zahvatiti desnu, lijevu ili obje strane srca. Zbog smanjene sposobnosti srca kao pumpe, može doći do zastoja krvi u drugim dijelovima tijela, kao što su jetra, probavni trakt i ekstremiteti (zatajenje desne strane srca) ili u plućima (zatajenje lijeve strane srca). Zatajivanje srca može biti akutno ili kronično. U akutno zatajivanje srca pripadaju akutna kardijalna dekompenzacija, plućni edem i kardiogeni šok. Kronično zatajivanje srca je kompleks multiorganskog oštećenja, a karakterizirano je oštećenjem srca, skeletne muskulature i bubrežne funkcije uz stimulaciju simpatičkog živčanog sustava (1). Terapija kroničnog zatajivanja srca može se podijeliti u nekoliko skupina: terapiju STEM stanicama (u fazi istraživanja), farmakoterapiju, ugradnju resinkronizacijskih-CRT uređaja ili kardioverter defibrilatora (ICD) i mehaničku cirkulacijsku potporu. Pristup liječenju i odabir oblika terapije ovisi o stadiju zatajenja srca i komorbiditetima. U ranijim stadijima zatajenja srca, farmakoterapija se koristi u liječenju bolesti koje predisponiraju zatajenju srca kao što su hipertenzija, dislipidemija, pretilost i diabetes mellitus (2).



## MEHANIČKA CIRKULACIJSKA POTPORA (MCP)

Za većinu pacijenata u kasnijim stadijima zatajenja srca, mehanička cirkulacijska potpora je najprikladniji oblik terapije, posebno ukoliko se terapija lijekovima pokazala neuspješnom. Mehanička cirkulacijska potpora s obzirom na terapijske ciljeve može poslužiti kao most prema transplantaciji srca (bridge to transplant) za pacijente na listi čekanja za srčanu transplantaciju, destinacijska terapija pacijenata nepodobnih za transplantaciju, most prema oporavku (bridge to recovery), ili terapija spašavanja (kod pacijenata koji ne odgovaraju na druge oblike terapije) (2).

Sukladno prethodnoj podjeli, mehanička cirkulacijska potpora može biti dugoročna (long term) tj. do transplantacije/ doživotna ili kratkoročna (short term) tijekom kardiogenog šoka i tijekom rizičnih kardiokirurških intervencija (rekonstrukcija srčanih zalistaka, premoštenje koronarnih arterija, operacija ventrikularne aneurizme ...). Kratkoročna mehanička cirkulacijska potpora koristi se nekoliko sati do tjedana, dugoročna nekoliko mjeseci do par godina. Uređaji koji se koriste za kratkoročnu potporu su IABP, Impella, ECMO i VAD, dok su u dugoročnoj cirkulacijskoj potpori najprimjenjiviji VAD i TAH. Umjetno disanje pozitivnim tlakom (PEEP) često se koristi u kombinaciji s MCP tijekom razvitka kardiorespiratornog zatajenja, u stanju hipoksemije, acidoze, kome...

Mehanička cirkulacijska potpora ima široku primjenu. Osim terapije kroničnog srčanog zatajenja, mehanička cirkulacijska potpora poput VV ECMO se koristi kao most prema transplantaciji pluća i u stanjima reverzibilne respiracijske insuficijencije. ECMO se može koristiti i u reanimaciji (E-CPR) nakon 15-20 minuta neuspješne reanimacije, odnosno maksimalno 60 minuta od srčanog zastoja. VA ECMO jedna je od terapijskih opcija u liječenju pacijenata u stanju hipotermije s tahiaritmijama (npr. poslije utapanja). Uređaji za mehaničku cirkulacijsku potporu počinju se koristiti na KBC Rebro od 2008. godine.

## INDIKACIJE I KONTRAINDIKACIJE ZA MCP

**Tablica 1.** Indikacije za kratkoročnu mehaničku cirkulacijsku potporu (3).

<b>INDIKACIJE ZA KRATKOROČNU MCP</b>
kardiogeni šok
visokorizična perkutana intervencija
most do LVAD ili transplantacije srca
akutno odbacivanje srčanog transplantata
nemogućnost odvajanja od kardiopulmonarnog bypassa

**Tablica 2.** Kontraindikacije za kratkoročnu mehaničku cirkulacijsku potporu (3).

<b>KONTRAINDIKACIJE ZA KRATKOROČNU MCP</b>
ozbiljno i ireverzibilno neurološko oštećenje
neuromuskularne bolesti
ireverzibilno jetreno ili bubrežno oštećenje
razvijena periferna vaskularna bolest, disekcija Ao, aneurizma Ao
aktivna sistemna infekcija, sepsa
karcinom u uznapredovalom stadiju
trombocitopenija, nemogućnost provedbe antikoagulacije
trikuspidna, aortalna regurgitacija (Impella, IABP)

## OPĆENITE KOMPLIKACIJE KORIŠTENJA MCP

Tablica 3. Općenite komplikacije korištenja mehaničke cirkulacijske potpore (3).

KOMPLIKACIJA	PREVENCIJA	MONITORING / DIJAGNOSTIKA	MENADŽMENT
komplikacije kanilacije: hematom fistula pseudoaneurizma	kanilacija pod kontrolom UZV, fluoroskopije	palpacija pulsa na mjestu kanilacije, otok distalno, hemodinamski parametri, UZV	monitoring ili kirurška intervencija
ishemija distalnog dijela uda	bypass kanila, evaluacija pozicije kanile pomoću UZV, CT i angiografije	odsutnost perifernog pulsa, hladnoća i cijanoza ekstremiteta	insercija bypass kanile
infekcija	sterilna tehnika kanilacije	crvenilo oko mjesta insercije katetera, leukocitoza	vađenje kanile, kontralateralna kanilacija, antibiotik širokog spektra
krvarenje	kanilacija mikropunkcijom	klinički znakovi krvarenja, KKS i Hb puls, hemodinamika	transfuzija krvnih pripravaka po potrebi
tromboza	sistemna antikoagulacija	infarkt	sistemna antikoagulacija
trombocitopenija (mehaničko oštećenje, HIT)	relativna kontraindikacija	<Tr, KKS krvarenje	transfuzija trombocita (ne prilikom HIT)

CT-kompjutorizirana tomografija UZV-ultrazvuk Hb- hemoglobin

HIT- heparinom inducirana trombocitopenija KKS- kompletna krvna slika

Tr- ukupan broj trombocita u krvi

Kao komplikacije kanilacije može se pojaviti i zračna embolija kao posljedica izvlačenja kanile. Opasnija je kod VA sustava jer se embolizira arterija, kod VV odlazi u plućnu cirkulaciju sa mogućim manjim posljedicama.

## KOMPLIKACIJE VEZANE UZ SPECIFIČNE VRSTE POTPORE

**Tablica 4.** Komplikacije vezane uz specifične vrste potpore

<b>ECMO</b>	<b>Impella</b>	<b>IABP</b>	<b>TandemHeart</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• dilatacija LV</li> <li>• povećan afterload LV</li> <li>• DIK</li> <li>• moždani udar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ventrikuarne aritmije</li> <li>• hemoliza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ishemija kralježničke moždine</li> <li>• Ao disekcija</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• rezidualni ASD</li> <li>• shunt Ao i RA</li> <li>• srčana perforacija</li> <li>• tamponada</li> <li>• imobilizacija pacijenta</li> </ul>

Ao- aorta ASD-atrijski septalni defekt LV -lijevi ventrikul RA -desni atrij

DIK -diseminirana intravaskularna koagulacija IABP -intraortna balon pumpa

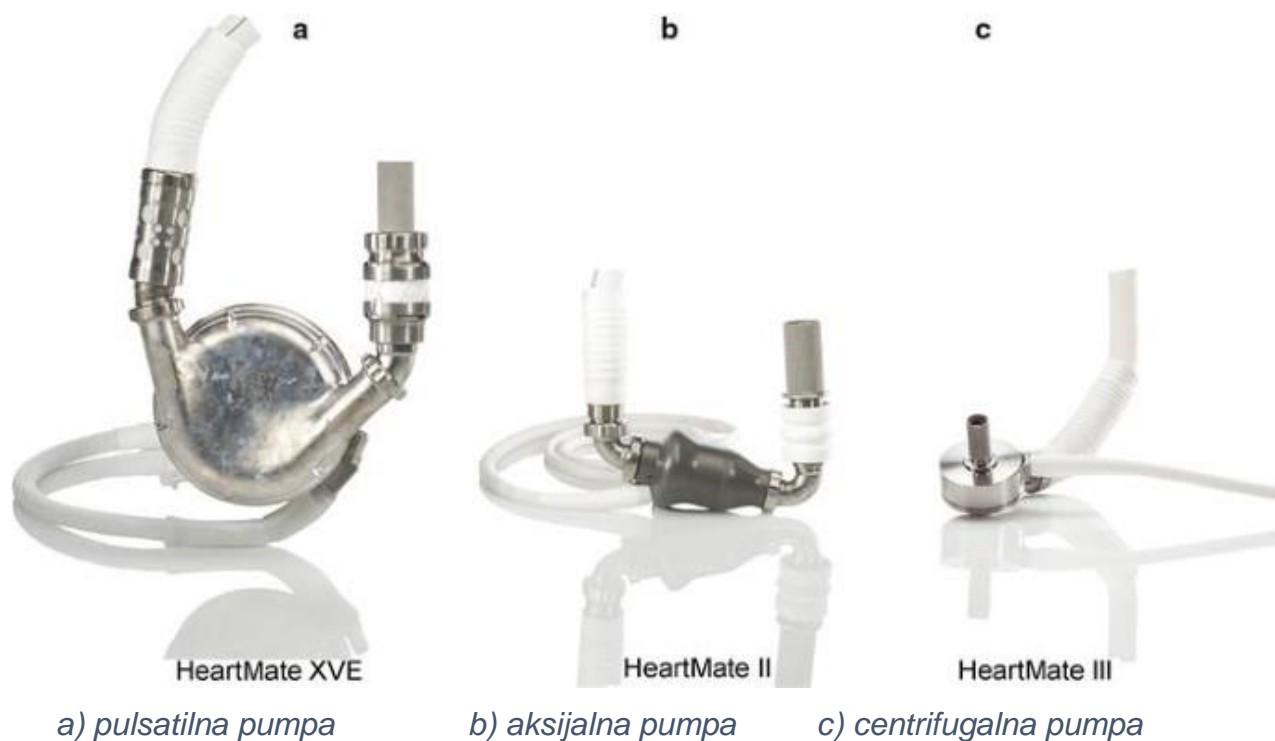
ECMO -ekstrakorporalna membranska oksigenacija

Tablica 5. Podjele uređaja MCP po namjeni i karakteristikama

<b>PODJELE UREĐAJA PO NAMJENI I KARAKTERISTIKAMA</b>		
<b>PODJELA</b>	<b>KLASIFIKACIJA</b>	<b>VRSTA UREĐAJA</b>
<b>OBLIK SRČANE POTPORE</b>	potpora LV	IABP, iVAC, Impella CP, HVAD...
	potpora RV	Protek Duo, Impella RP...
	biventrikularna potpora	VA ECMO (CardioHELP) BiVAD, Bipella, CentriMag
<b>NAMJENA I TRAJANJE POTPORE</b>	kratkoročna	VAD, ECMO, IABP, Impella
	dugoročna	VAD, TAH
<b>POZICIJA UREĐAJA (pumpe) I NAČIN UGRADNJE</b>	intratorakalno (centralno, perikardijalno)	VAD, TandemHeart, centralni ECMO, TAH
	periferno (kanilacija)	IABP TandemHeart, Impella VA-ECMO
<b>TIP PROTOKA</b>	<b>pulsatilni</b>	IABP, 1. generacija VAD
	<b>kontinuirani (ne pulsatilni)</b>	<b>aksijalni protok</b> Impella 2. generacija VAD
		<b>centrifugalni protok</b> TandemHeart VA-ECMO 3. generacija VAD

## Klasifikacija uređaja po vrsti pogona: puslatilni i ne puslatilni

Prvi konvencionalni uređaji za MCP bili su pokretani pulsatilnim pumpama (roler pumpa patentirana 1855. godine, u proizvodnji od 1887.godine), dok su se ne pulsatile pumpe pojavile 1989. godine (oko 100 godina kasnije). Uporabu pulsatilnih pumpi u kliničkoj praksi ograničavala je veličina samog uređaja i ograničena mehanička izdržljivost, pa je došlo do razvoja pumpi s kontinuiranim protokom koje su klasificirane kao aksijalne (Impella) i centrifugalne (VA ECMO, TandemHeart, CentriMag). Nabrojane ne pulsatile pumpe omogućuju cirkulaciju većih količina krvi, pošto ne generiraju puls, nekim pacijentima spojenim na uređaj s kontinuiranim protokom (LVAD) nije moguće palpirati periferni puls niti mjeriti periferni krvni tlak (moguće je invazivno mjerenje tlaka preko a.radialis). Moguća je kombinacija pulsatilnih i ne pulsatilnih uređaja. IABP je uređaj koji generira pulsatilni protok u skladu s fiziološkim ritmom srca, odnosno srčanim ciklusom (prema EKG). Moguća je kombinacija s „ne pulsatilnim“ VA ECMO.



**Slika 1.** Vrste pogona i mehanika pumpi (4).

Pulsatilne pumpe (a) oponašaju srčani protok, stvaraju pulsacije na temelju volumnog potiska klipića zrakom, što zahtijeva stalan dovod zraka u uređaj.

Pumpe kontinuiranog protoka (b,c) sadrže magnet unutar središnjeg rotora (ili je čitav središnji rotor magnet) koji pokreće motor na principu elektromagnetske indukcije, koriste električnu energiju. Aksijalne pumpe održavaju protok rotacijom spiralnog propelera. Centrifugalne pumpe rade na principu magnetske levitacije rotora, bez mehaničkih ležajeva ili brtvi, čime ne dolazi do trenja ili trošenja materijala.

## Oblik srčane potpore

**Tablica 6.** Podjela mehaničke cirkulacijske potpore po tipu srčane potpore (5).

<b>PODJELA MCP PO OBLIKU SRČANE POTPORE</b>		
<b>LV</b>	<b>RV</b>	<b>BiV</b>
<b>IABP</b>	<b>ProtekDuo</b>	<b>VA ECMO</b>
<b>iVAC</b> u kombinaciji s IABP	u kombinaciji s ostalim uređajima	<b>CardioHELP</b>
<b>LVAD</b>	<b>RVAD</b>	<b>BiVAD</b>
Impella CP	Impella RP	Bipella
CentriMag	CentriMag	CentriMag
<i>TandemHeart</i>	<i>TandemHeartRV</i>	<i>Tandem Heart</i>

LV-potpore lijevog ventrikula   RV- desnog ventrikula   BiV- biventrikularna potpora

MCP se koristi u svrhu poboljšanja funkcije dijela ili čitavog srca (umjetno srce). Budući da lijeva klijetka (LV) i desna klijetka (RV) mogu biti potpomognute odvojeno ili zasebno, VAD može biti potpora samo lijevoj klijetki (LVAD); desnoj klijetki (RVAD) ili obostrana potpora klijetkama (BiVAD). Potpora čitavog srca ne zahtijeva uvijek korištenje zasebne vrste uređaja, već se može postići kombinacijom uređaja za potporu LV i RV: BiVAD i Bipella primjer su takve potpore. Protek Duo je dvoluminalna kanila (RVAD) koja se koristi u kombinaciji s TandemHeartRV ili VA ECMO kao potpora desnom ventrikulu. iVAC je jednolumenski kateter s dvostranim zaliscima koji se koristi najčešće u kombinaciji s IABP kao potpora lijevom ventrikulu.

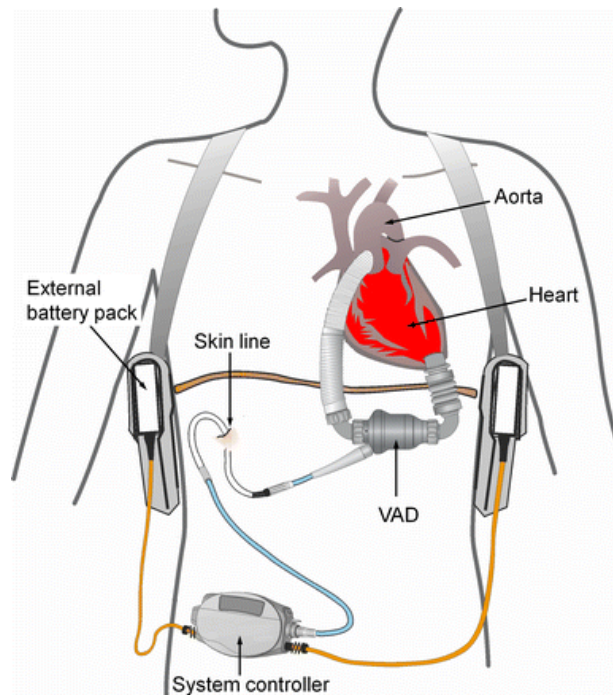


## **Oblici MCP (kategorizacija i karakteristike uređaja)**

Uređaji za MCP mogu se podijeliti na ekstrakorporalne ili perkutane, koji se postavljaju kanulacijom i intrakorporalne, koji se postavljaju kirurški perikardijalno. Prednosti uređaja u perkutanom pristupu su minimalna invazivnost, brzina implantacije (ponekad je potrebno svega 30 minuta ili manje do uspostavljanja cirkulacijske potpore), jednostavnosti u praćenju i logističkoj podršci, relativno lakoj obuci tima koji ih primjenjuje. Odluka o vrsti uređaja donosi se na osnovu kliničkog toka, stanja bolesnika, prisutnih komorbiditeta, prognoze i plana za dalje liječenje (6).

## VAD

Ventrikulska mehanička potpora (VAD - ventricular assist device) mehanička je potpora cirkulaciji koja se koristi u terapiji zatajenja srca, a spojena je na klijetku srca i pomaže u dovođenju dovoljne količine krvi do krajnjih organa. Uređaj ima funkciju rotirajuće pumpe s centrifugalnim protokom koji je povezan paralelno s prirodnim protokom (lijevi ventrikul - ascendentna aorta). VAD se napaja i kontrolira pomoću vanjske baterije i upravljačke jedinice. Veza između crpke, baterija i upravljačke jedinice održava se preko pogonskog voda - drivelinea koji sadrži izolirane žice za prijenos struje i telemetriju podataka pumpe (7).



**Slika 2.** Shematski prikaz VAD uređaja (4).

## Podjela VAD uređaja u tri generacije (tip pumpi)

Prva generacija VAD-a s pneumatskim ili električnim pogonom uključivala je veće pulsatilne uređaje poput HeartMate XVE (Thoratec, Pleasanton, SAD) i Berlin Heart EXCOR (Berlin Heart, Berlin, Njemačka) koji su korišteni za podršku pacijentima koji čekaju transplantaciju srca. Rane pulsatilne pumpe bile su mnogo veće, teže i upravljačka konzola ograničavala je pokretljivost pacijenata (7).

Pumpe druge generacije bile su za sedminu manje i četvrtinu lakše od originalnog HeartMate XVE uređaja. Ova radikalna promjena dizajna postignuta je ugradnjom aksijalne pumpe bez ventila s promjenjivim magnetskim poljem dizajniranim za brzo okretanje jednog rotora koji proizvodi kontinuirani protok usmjeren paralelno s osi rotacije. Najčešće upotrebljavane implantabilne pumpe ove generacije su HeartMate II i Jarvik 2000. Pumpe druge generacije (npr. Heartmate II) imaju vrlo dug vijek, često i mnogo više od 15 godina (7).

Pumpe treće generacije, odnosno radijalne rotacijske crpke su manje, manje reproduciraju buku, specifične su po manjoj vjerojatnosti infekcije, hemolitičkih komplikacija i trombotskih događaja, a kvaliteta pacijentova života je bolja (7).

**Tablica 7.** Podjela VAD uređaja po generacijama (tvornička imena) i imenima proizvođača uređaja ispod tablice (5).

	Prva generacija	Druga generacija	Treća generacija
pogon	pulsatilna pumpa	aksijalna pumpa	pumpa kontinuiranog protoka
LVAD uređaji	*XVE HeartMate IP1000 ●Novacor LVAD	*HeartMate II † INCOR ■Jarvik 2000 ◆DeBakey	*HeartMate3 □DuraHeart ◀HVAD

\*Abbott Laboratories, ●Baxter Healthcare Corp., †Berlin Heart, ■Jarvik Heart, ◆MicroMed Technologies, □ Medtronic, ◀Terumo Heart Corp.

**Tablica 8.** Mehanička cirkulacijska potpora: evolucija i pregled uređaja (8).

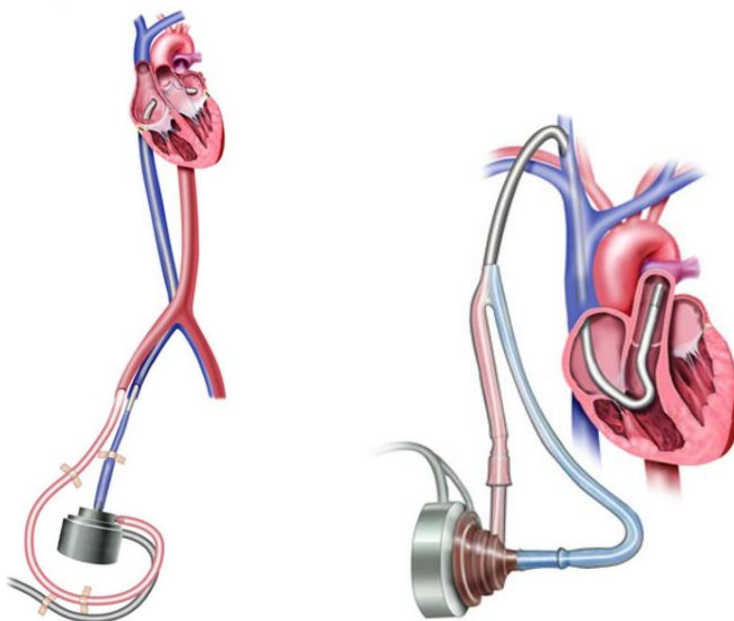
Tip potpore	Pulsatilne pumpe	Ne pulsatilne pumpe
<b>Extrakorporalne</b>		
Kratkoročna MCP	nedostupno	<i>TandemHeartPTVA</i> <i>CentriMag</i> <i>Abiomed Impella</i>
Dugoročna MCP	<i>EXCOR</i>	
<b>Intrakorporalne</b>		
Dugoročna MCP	<i>SynCardia</i> <i>t-TAH-t</i>	<i>HeartAssist 5</i> <i>HeartMate3</i> <i>HeartWare HVAD</i>

---

**MCSS odobreni u Europi i USA (tvornički nazivi VAD uređaja)**

## Tandem Heart

TandemHeart je perkutani VAD koji omogućuje protok krvi iz LA do femoralne arterije (nije potreban oksigenator). Radi kao bypass i u tandem s LV, kontraindiciran je kod aortalne regurgitacije, no može se koristiti kod tromba LV (pošto ulazna kanila nije u ventrikulu kao kod Impelle). Ujedno je prvi biventrikularni perkutani MCP uređaj na tržištu (5). Krv se drenira preko kanile koja je kroz femoralnu venu punkcijom interatrijskog septuma postavljena u LA, vraća se u cirkulaciju kanilom plasiranom u femoralnu arteriju (6). Uređaj posjeduje upravljačku konzolu, a pokreće ga kontinuirana centrifugalna pumpa protoka 3,5L/min. TandemHeart je terapijska opcija kod: teške disfunkcije LV (EF <35%), neuspjele potpore uređajem Impella 2.5 ili Impella CP, akutnih mehaničkih komplikacija IM: mitralna regurgitacija, ruptura ventrikularnog septuma. Može se koristiti od 6h do 30 dana. Za potporu RV, Tandem Heart se koristi u kombinaciji s ProtekDuo i oksigenatorom (kod respiratornog zatajenja) u desnostranom zatajenju poslije implantacije LVAD. Omogućuje protok iz desnog atrija u pulmonalnu arteriju. Koristan je nakon PE (5).



**Slika 3.** TandemHeart (lijevo) i TandemHeart s ProtekDuo (TandemHeart RV) (9).

## Impella (2.5, CP, 5.0,5.5, RP)

Impella je perkutani VAD uređaj koji koristi mikroaksijalnu pumpu protoka do 5 L/min.

Postoje tri klase uređaja koje pružaju potporu LV s obzirom na količinu protoka:

- 1) Impella 2.5 (2.5 L/min, 12 Fr), 2) Impella cardiac power (CP) (3.5 L/min, 14 Fr),
- 3) Impella 5.0 (5 L/min, 22 Fr) 4) 5.5 (6.0 L/min, 21 Fr) 5) Impella ECP (3,5L/min, 9Fr)

Impella 2.5 i CP ugrađuju se perkutano kanilacijom femoralne a. uz RTG dijaskopiju, dok Impella 5.0 i 5.5 zahtijevaju otvoren kirurški pristup i kanilaciju a. axillaris/subklavije.

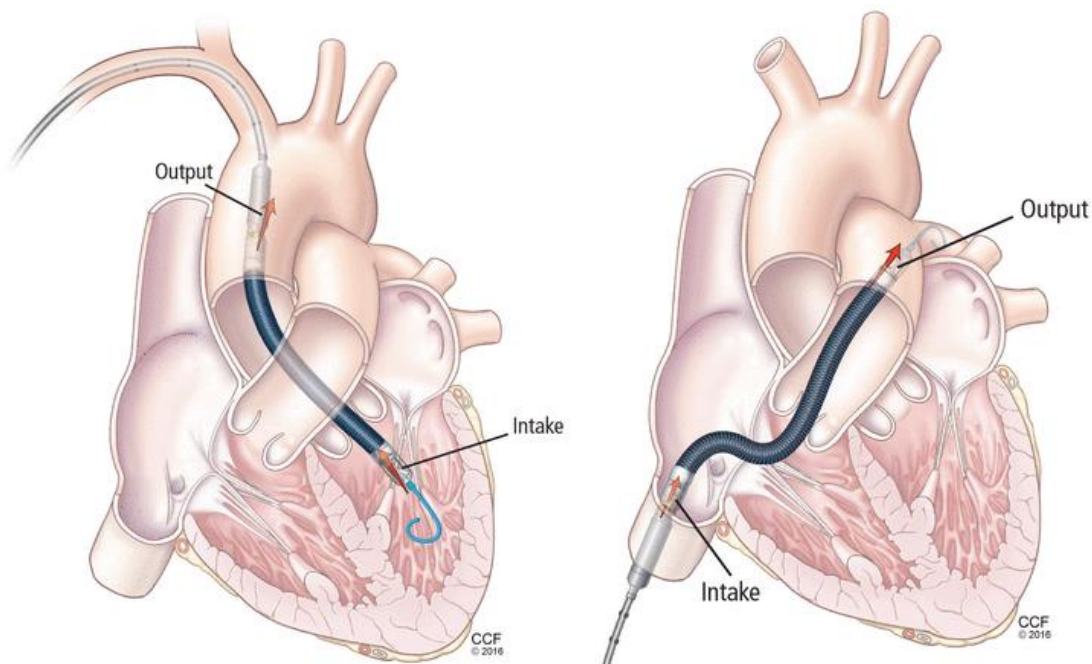
Impella ECP je (3,5 L/min, 9 Fr) je trenutno u fazi kliničkog ispitivanja za potporu LV(5).

Nabrojani uređaji omogućuju direktan protok krvi iz LV do korijena Ao. Postavljaju se u ventrikul retrogradno fiziološkom protoku. Povoljniji je pristup kroz lijevu a. axillaris ili a.

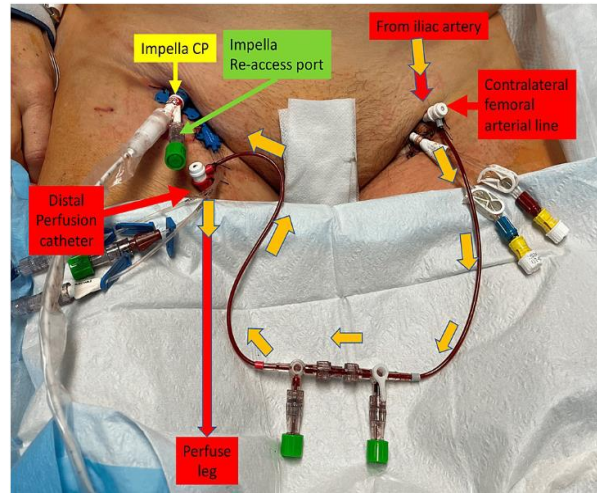
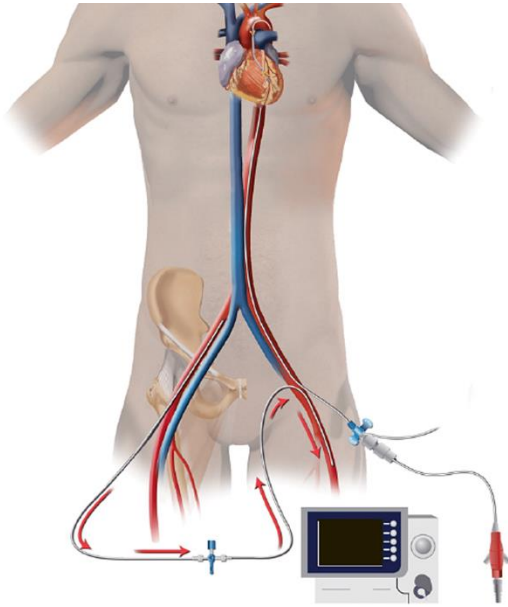
subklaviju putem a.inominata, nad femoralnim pristupom, jer omogućava mobilnost pacijenta (hodanje) i bolju stabilnost kanile(a time i uređaja u ventrikulu) postoperacijski

no zahtijeva kirurški pristup prilikom kanulacije, pa se u praksi češće koristi femoralni (perkutan) pristup. Pristup kroz a. inominatu zahtijeva izvođenje ministernotomije.

Kontraindikacije za ugradnju uređaja su značajna periferna vaskularna bolest, značajna aortalna stenoza ili insuficijencija, mehanički aortalni zalistak, tromb LV.



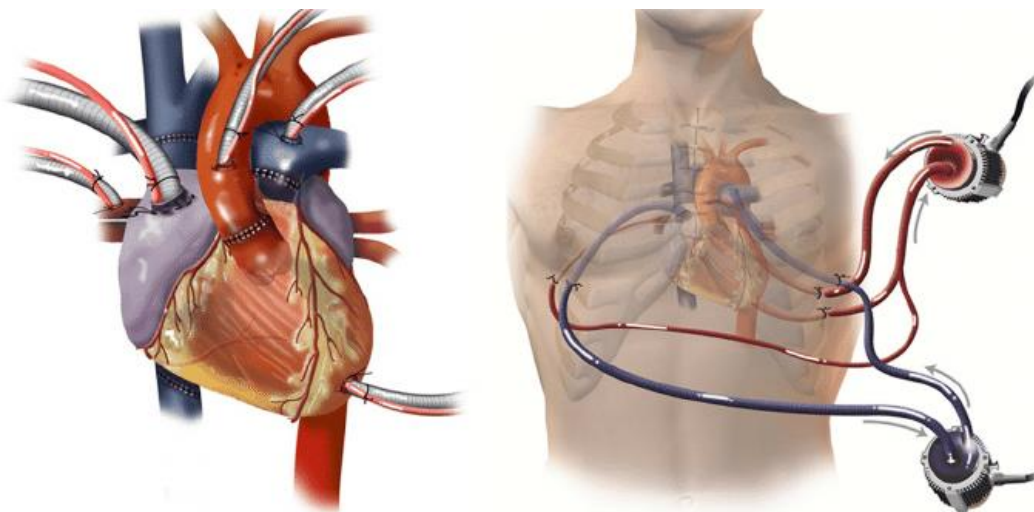
**Slika 4.** Impella drenira krv iz LV u Ao, Impella RP drenira krv iz DŠV u PA (10).



**Slika 5.** Impella CP u a.femoralis i distalni perfuzijski kateter- označen strelicama (11).

## CentriMag

CentriMag (Levitronix LLC, Waltham, MA) je uređaj za potporu klijetkama (VAD), koristi se često zbog mogućnosti duljeg trajanja mehaničke cirkulacijske potpore (odobren je za potporu do 30 dana). Za sad je jedina dostupna centrifugalna pumpa za kratkotrajnu cirkulacijsku potporu s tehnologijom magnetske levitacije rotora. Jedna od najvećih prednosti uređaja CentriMag u odnosu na izvantjelesnu membransku oksigenaciju (ECMO) sastoji se u tome što nije potreban oksigenator, tako da je posljedično potreban manji stupanj antikoagulacije te je uklonjen rizik od tromboembolijskih komplikacija vezanih uz korištenje oksigenatora (12). Impeler ove pumpe levitira u magnetnom polju, pa se rotacije odvijaju bez frikcije (nema hemolize) i bez džepova u kojima bi krv mogla stagnirati (nema rizika od tromboze). Impeler se rotira brzinom od 500 do 5500 okretaja u minuti, što omogućava protok do 10L/min u normalnim fiziološkim uvjetima (6). Centrimag je izvantjelesna pumpa. Može se brzo zamijeniti uz bolesničku postelju. Implantira se medijanom sternotomijom ili lijevom torakotomijom. Kanile CentriMag se implantiraju u LA i aortu tijekom potpore lijevom srcu ili RA i plućnu arteriju tijekom potpre desnom srcu, pod kontrolom TEE. CentriMag može poslužiti kao potpora lijevom, desnom ili oba ventriukla u kombinaciji. CentriMag moguće je dodati oksigenator, odnosno kombinirati s ECMO sustavom (5).



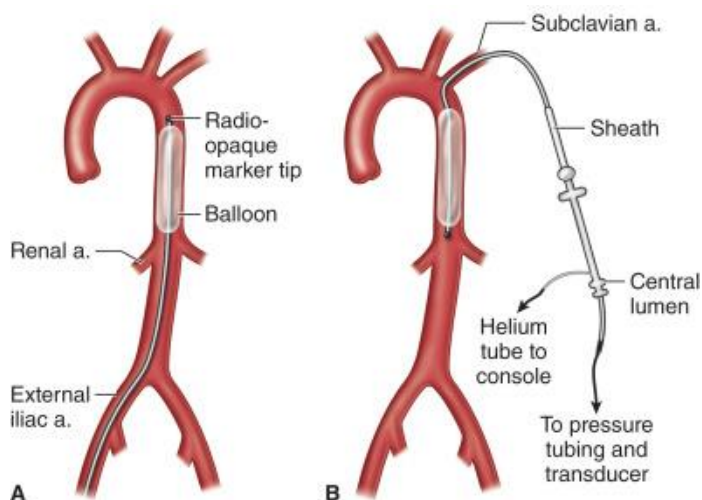
**Slika 6.** Shematski prikaz postavljene CentriMag (13).



## IABP

IABP je uređaj koji služi isključivo kao potpora LV poboljšavajući koronarnu perfuziju. Sastoji se od kontrolne konzole (s 12-kanalnim EKG-om, volumnom pumpom i plinskim spreminikom) i dvolumenskog katetera s cilindričnim poliuretanskim balonom i senzorom tlaka na distalnom kraju. Konzola se nalazi uz bolesničku postelju, odvajanje od samog uređaja provodi se prije izlaska iz bolnice. Dvolumenski katekter se perkutano ili kirurški umeće kroz femoralnu arteriju u silaznu torakalnu aortu pod kontrolom fluoroskopije. Moguć je i alternativni pristup kroz a.axillaris ili a. subklaviju. Nakon što je IABP postavljen, pacijent može osjetiti bol u prsima i nelagodu u prsima koja se obično povuče za nekoliko minuta.

Način funkcioniranja: balon se napuše u dijastoli (kontra pulsnom valu, povećavajući perfuzijski tlak i protok u koronarnim krvnim žilama) i ispuše se u sistoli (što dovodi do smanjenja otpora protiv kojeg srce istiskuje krv, smanjuje afterload LV). Plin koji se koristi za napuhavanje balona je helij (zamjenio ugljikov dioksid) jer omogućava brzo napuhavanje, a u slučaju deflacije ili curenja uzrokuje manje, čak nikakve komplikacije.

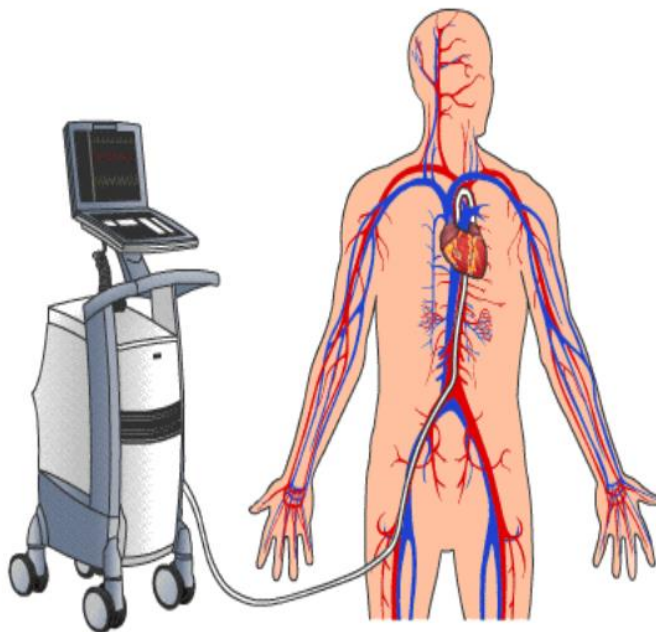


**Slika 7.** Prikaz femoralnog i subklavijalnog pozicioniranja IABP (14).

IABP se naziva i kontrapulzator jer napuhavanje balona prati zatvaranje aortnog zaliska, a ispuhavanje se događi prije otvaranja aortnog zaliska. Kontrapulzacija je ritmičko mehaničko pumpanje usklađeno s otkucajima srca (EKG).

IABP može povećati minutni volumen (svega) za oko 0,5 L/min. IABP ima nekoliko ograničenja; za adekvatno funkcioniranje balon-pumpe potreban je stabilan sinusni srčani ritam (IABP ne funkcionira kod bolesnika s tahikardijom i aritmijom). Osim toga, IABP zahtijeva neki stupanj rezidualne aktivnosti lijeve srčane komore (za razliku od ostalih tipova MCP), te je neučinkovit kod bolesnika s niskim minutnim volumenom ili u srčanom arestu. Kod pacijenata s teškim stupnjem KŠ, IABP nije dovoljna potpora koja će dovesti do hemodinamskog oporavka pacijenta (6).

IABP ima ulogu u liječenju nestabilne angine, infarkta miokarda i poboljšavanju ishoda CABG operacije. IABP ima pozitivan učinak na cerebralnu perfuziju.



**Slika 8.** Shematski prikaz IABP s konzolom (15)

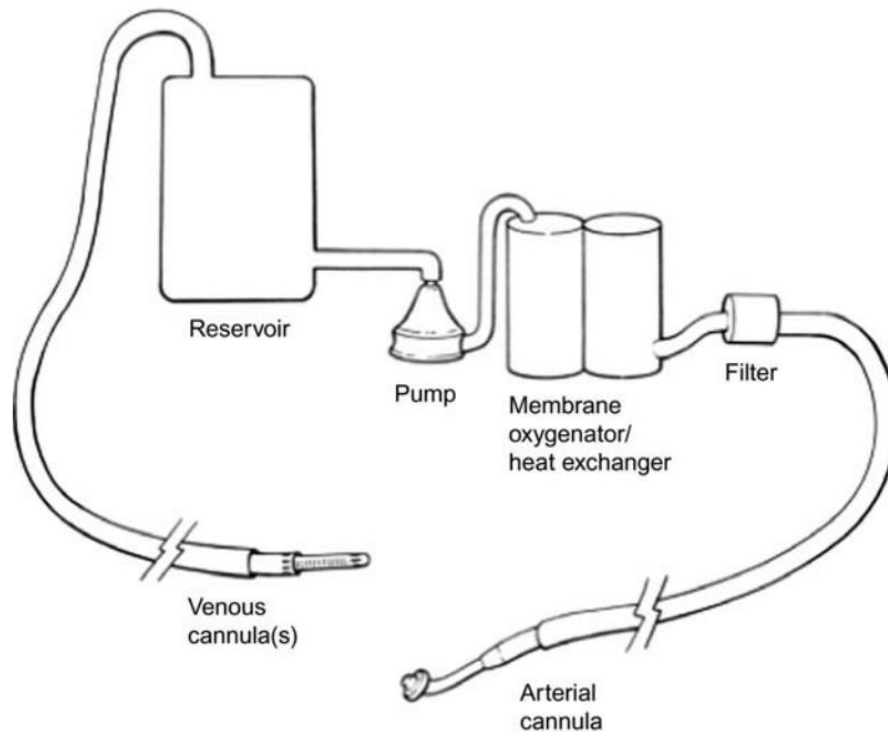
X-Plain Patient Education. **Shematski prikaz IABP s konzolom**

[slika s interneta]. [pristupljeno 5.7.2023.] Dostupno na:

[www.patedu.com/english/interactive/intra-aortic-balloon-pump/section4\\_page3](http://www.patedu.com/english/interactive/intra-aortic-balloon-pump/section4_page3)

## ECMO

ECMO (Extra Corporeal Membrane Oxygenation) je zatvoreni sustav čija se funkcija zasniva na korištenju vanjskog oksigenatora, izmjenjivača topline, centrifugalne pumpe koja omogućuje cirkulaciju krvi, kanila, plastičnih cijevi, a posjeduje i sustav monitoringa, venski rezervoar, arterijski filter ... Načinjen je tako da zadovoljava četiri glavne funkcije: oksigenaciju, eliminaciju ugljičnog dioksida, cirkulaciju krvi, sustavno hlađenje i grijanje krvi iz tijela te eliminaciju krvi iz kirurškog polja (16). Koristi se u slučajevima čiste plućne insuficijencije ili kada bolesnik sa srčanom ima i respiratornu insuficijenciju (6) .



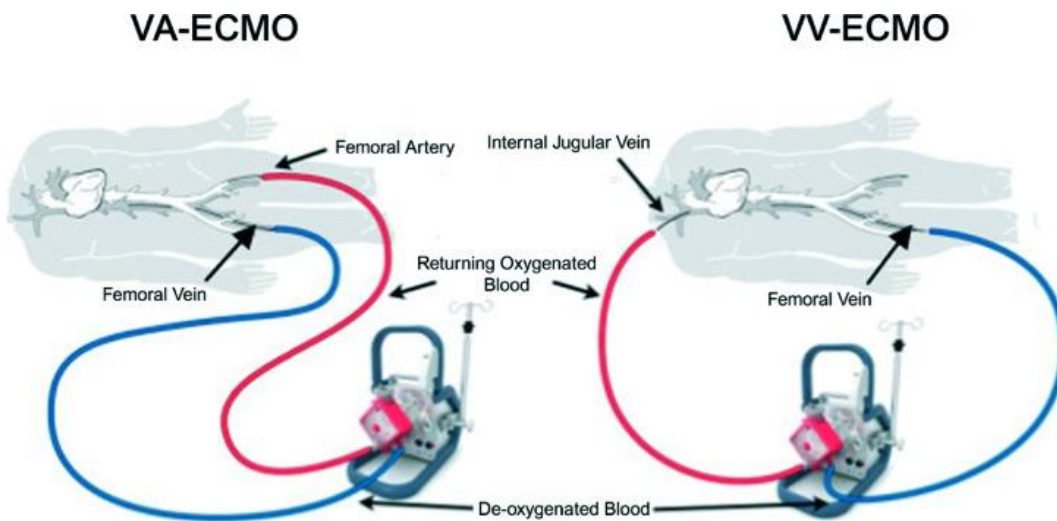
**Slika 9.** Shematski prikaz ECMO sustava: krv prolazi kroz mikro-filter prije nakupljanja u venski rezervoar (17).

Postoje različite indikacije za uporabu ECMO uređaja i posljedično različite konfiguracije, no dvije osnovne uloge ECMO sustava su: oponašanje funkcije pluća u oksigenaciji krvi (V-V) oponašanje funkcije srca prilikom propulzije oksigenirane krvi (V-A) (18).

Ukoliko postoji samo plućna insuficijencija, koristi se veno-venski ECMO (V-V), plasiranjem dvije venske kanile- jedne u donju, jedne u GŠV, blizu RA.

Koristi se kanila s dvostrukim lumenom, plasirana u GŠV (Avalon 27 Fr).

U slučaju srčane slabosti koristi se veno-arterijski ECMO (V-A) gdje je venska kanila u femoralnoj veni (RA), a arterijska kanila u femoralnoj (ili aksilarnoj) arteriji (Ao) (6).



**Slika 10.** Prikaz VA i VV ECMO (17).

**Tablica 9.** Indikacije za korištenje ECMO (19).

<b>INDIKACIJE ZA KORIŠTENJE ECMO</b>	
<b>V-V ECMO</b>	<b>V-A ECMO</b>
<p><b>stanja i patologije:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• teški oblik pneumonije</li> <li>• teški oblik astme/ status asthmaticus</li> <li>• ARDS</li> <li>• inhalacijske ozljede (opekline) pluća</li> <li>• kontuzije pluća</li> <li>• hemodinamski stabilna difuzna PE</li> </ul> <p><b>pedijatrijska stanja i patologije:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• aspiracija mekonija</li> <li>• kongenitalna dijafragmalna hernija</li> <li>• perzistentna plućna hipertenzija</li> </ul>	<p><b>stanja i patologije:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• plućna embolija, status asthmaticus</li> <li>• hipotermija</li> <li>• predoziranje lijekovima komplicirano KŠ</li> <li>• perzistentne srčane aritmije s hemodinamskim nestabilnošću</li> <li>• fluminantni miokarditis</li> <li>• infarkt miokarda</li> <li>• kardiogeni šok</li> </ul> <p><b>operacijski postupci:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• očuvanje i perfuzija donorskih organa</li> <li>• postavljanje VAD</li> <li>• pulmonalna embolektomija</li> <li>• endovaskularni grafting i operacije abdominalne aorte</li> <li>• zahvati na dušniku</li> </ul>

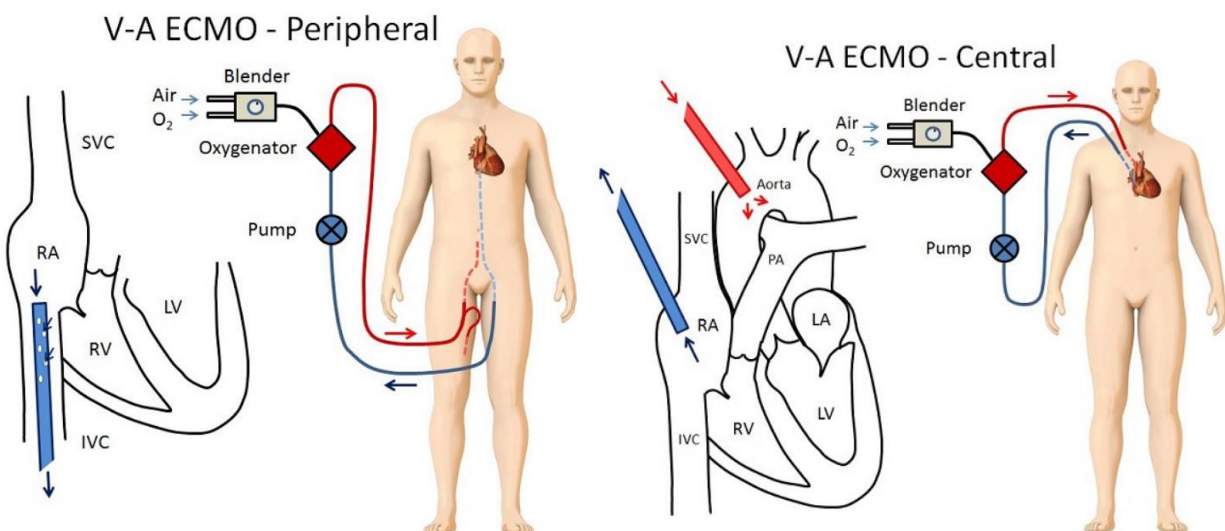
Ovisno o indikaciji, varira i kanulacijska tehnika pa razlikujemo periferni i centralni ECMO (6). V-V ECMO zahtijeva izvođenje različitim tehnika periferne kanulacije, dok V-A ECMO koristi periferni ili centralni pristup.

Centralni ECMO zahtijeva kirurški pristup pri postavljanju kanila, koje se postavljaju u desnu pretklijetku i uzlaznu aortu. Prednost centralne kanulacije jest u tome što mozak i koronarni krvotok dobivaju adekvatno oksigeniranu krv, jer je povratna kanila u ascendentnoj aorti, a ne nisko u abdominalnoj aorti kao kod periferne kanulacije. Time se izbjegava jedan od problema periferne kanulacije, tzv. clauding (formiranje oblaka ili mješanje oksigenirane i desaturirane krvi daleko od organa kojima je najpotrebnija – srca i mozga).

Periferna kanulacija podrazumijeva korištenje femoralne vene za dotok krvi i femoralne arterije za vraćanje krvi u cirkulaciju. Alternativno se mogu koristiti a. subclavia i v. jugularis interna (kombinacija femoralne vene i unutarnje jugularne arterije) (6).

**Tablica 10.** Mjesta kanilacije perifernog i centralnog VA ECMO (20).

VA ECMO			
PERIFERNI		CENTRALNI	
dovodna kanila (vena)	odvodna kanila (arterija)	dovodna kanila	odvodna kanila
v. femoralis v. jugularis interna	a. axillaris a. carotis communis  a. femoralis (Ao descendens)	RA (desni atrij)	Ao ascendens (uzlazna aorta)



**Slika 11.** Prikaz periferne i centralne kanulacije kod VA ECMO (21)

icuEcmo. Prikaz periferne i centralne kanulacije kod VA ECMO

[slika s interneta]. 26.7.2018. [pristupljeno 5.7.2023.] Dostupno na:

[http://icuecmo.ca/icuECMO\\_content/icuECMO\\_ECMO\\_configuration\\_VA.html](http://icuecmo.ca/icuECMO_content/icuECMO_ECMO_configuration_VA.html)

## ProtekDuo

ProtekDuo je dvolumenska kanila koja se umeće perkutano (Sledingerovom tehnikom) u desnu jugularnu venu i provodi krv od desnog srca do pulmonalne arterije (PA).

U pravilnoj poziciji proksimalne fenestracije kanile dreniraju vensku krv iz desnog atrija (RA) do samog uređaja gdje se oksigenira i vraća kroz distalne fenestracije u PA. Sama kanila premoštava desni ventrikul (RV), kao učinkovit perkutani VAD (RVAD).

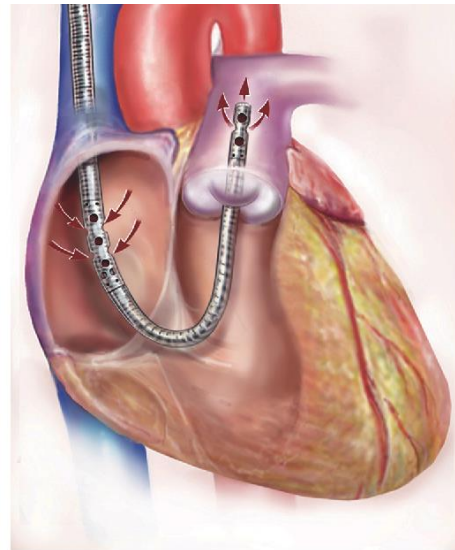
Fluoroskopija i/ili TEE daju slikovni prikaz i omogućuju utvrđivanje položaja same kanile tijekom insercije. Podržava protok centrifugane pumpe do 4L/min (22).

U medicinskoj literaturi, ProtekDuo se opisuje kao RVAD i LVAD.

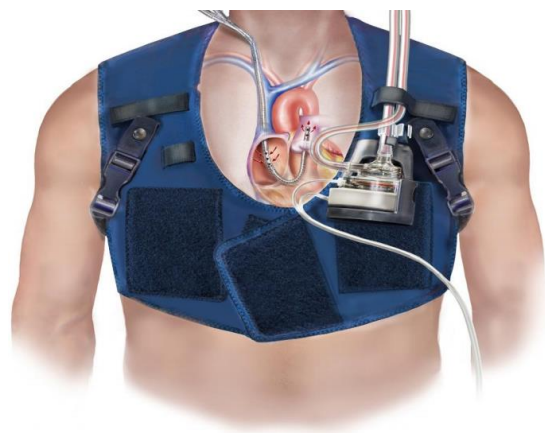
U kombinaciji s Impellom ili drugim LVAD uređajima (Tandem Heart) funkcionira kao BiVAD. Koristi se s perkutanim RVAD uređajima bez oksigenatora.

Protek Duo koristi se s oksigenatorom u V-P ECMO konfiguraciji.

Koristi se za kardiopulmonalni bypass, u veno-pulmonalnoj (VP), venovensko-pulmonalnoj (VV-P) i veno-venopulmonalnoj (V-VP) konfiguraciji ECMO sustava (23).



**Slika 12.** ProtekDuo kanula(24) i smjer protoka (25).

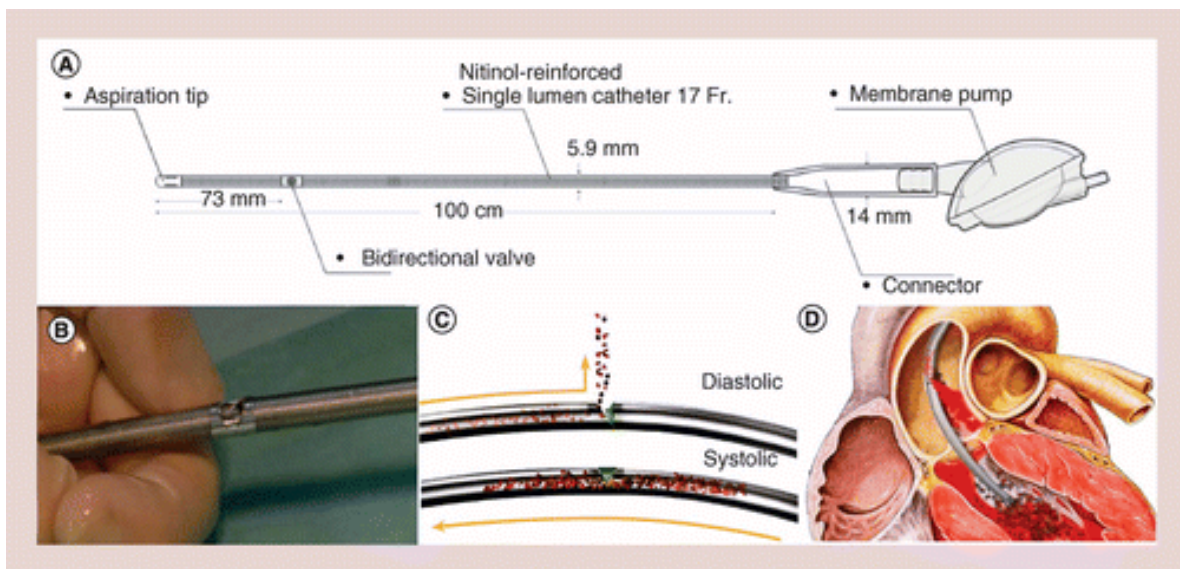


**Slika 13.** ProtekDuo i Tandem pumpa (24).



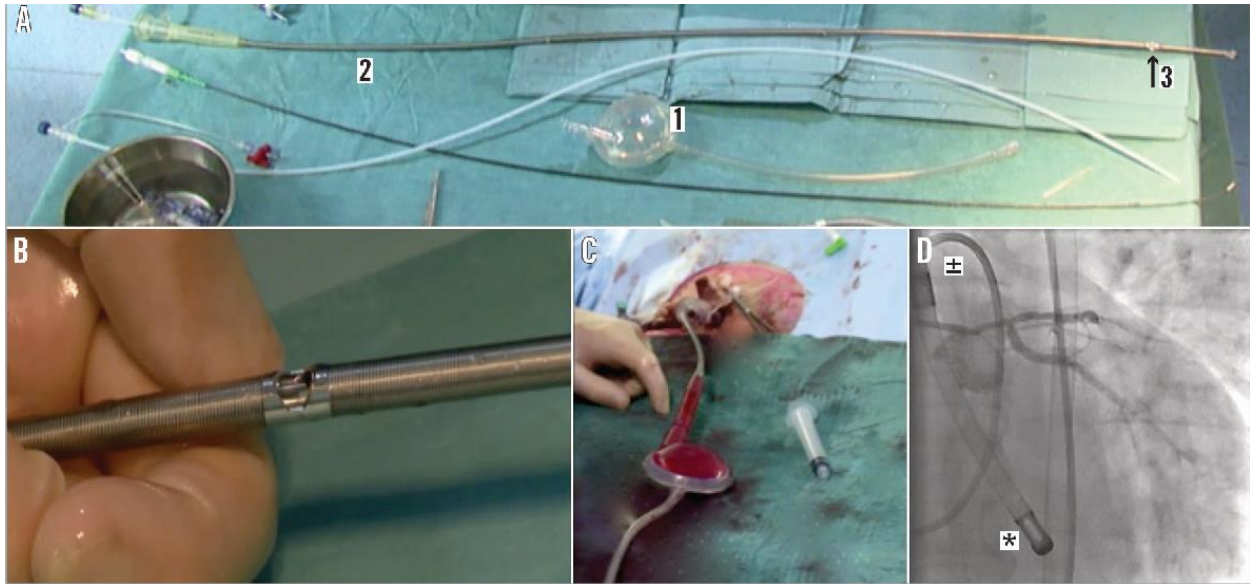
## iVAC

iVAC je jednolumenski 17Fr, 100cm dug kateter s rotirajućim dvostranim zaliskom, pruža dvosmjerni pulsatilni protok. Spaja se na standardnu IABP konzolu i služi kao potpora LV, odakle aspirira krv i izbacuje ju kontrapulzacijama u ascendentnu aortu. Namijenjen je za 24h potporu (28).



**Slika 14.** PulseCath iVAC2L: next-generation MCP (26).

iVAC 2L umeće se u LV putem femoralne arterije, dok se za iVAC 3L koristi pristup preko a. subklavije ili a. aksilaris (28).



- A) (1) ekstrakorporalna pumpa s 2 membranske komore ispunjene zrakom i krvlju  
(2) kateter za dvosmjerni protok (3) rotirajući dvosmjerni zalistak  
B) prikaz rotirajućeg dvosmjernog zaliska C) transmembranska pumpa ispunjena krvlju  
D) iVAC 2L in situ s distalnim dijelom (\*) u LV, dvosmjernim zaliskom iznad Ao valvule (±)

**Slika 15.** The PulseCath iVAC 2L (27).

## IZVORI

1. Balaban Kumpare M. Zatajivanje srca. Zagreb: PLIVAzdravlje.hr; 2019 [pristupljeno 28.5.2023.]. Dostupno na: <https://www.plivazdravlje.hr/aktualno/clanak/33160/Zatajivanje-srca.html>
2. Donato Britton B. Addressing the heart failure epidemic: from mechanical circulatory support to stem cell therapy [Internet]. OpenBU; 2014. [pristupljeno 28.5.2023.]. Dostupno na: <https://open.bu.edu/handle/2144/14677>
3. Dangi M, Albosta M, Butros H, Loebe M. Temporary mechanical circulatory support: left, right, and biventricular devices. *Curr Cardiol Rev.* 2023 Mar 15;19.
4. Pirbodaghi T, Asgari S, Cotter C, Bourque K. Physiologic and hematologic concerns of rotary blood pumps: What needs to be improved? *Heart Fail Rev.* 2014 Mar;19(2):259–66.
5. Atti V, Narayanan MA, Patel B, Balla S, Siddique A, Lundgren S, et al. A comprehensive review of mechanical circulatory support devices. *Heart Int.* 2022 Mar 4;16(1):37-48.
6. Miodrag Perić. Mehanička potpora cirkulacije. U Jović M, ur. *Kardiovaskularna anesteziologija.* Zagreb: Medicinska naklada; 2018. Str. 419-434.
7. Kunić M. Sustavne i lokalne infekcije povezane s izlaznim mjestom (drivelineom) kod mehaničke potpore lijevoj strani srca [diplomski rad]. Koprivnica: Sveučilište Sjever; 2021. [pristupljeno 25.5.2023.]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:318670>
8. Hetzer R, Javier MFD, Dandel M, Loebe M, Javier Delmo EM. Mechanical circulatory support systems: evolution, the systems and outlook. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2021 Feb;11(1):309-322.
9. Mandawat A, Rao S V. Percutaneous mechanical circulatory support devices in cardiogenic shock. *Circ Cardiovasc Interv.* 2017 May 1;10(5).
10. Shishebor MH, Moazami N, Tong MZY, Unai S, Tang WHW, Soltesz EG. Cardiogenic shock: from ECMO to impella and beyond. *Cleve Clin J Med.* 2017 Apr 1;84(4):287–95.
11. McDermott L, Cook G, Park J, Yang Q, Hirose H. Save the Leg: Utilization of Distal Perfusion Catheter With Impella CP® May Prevent Morbidity of Limb. *Cureus.* 2022 Oct 4;14(10):e29916.
12. Šef D, Bitunjac I, Mohite P, Šef AV, Raj B, De Robertis F, et al. Post-transplant outcomes in heart transplant patients after implantation of CentriMag™ ventricular assist device. *Lijec Vjesn.* 2022;144(11–12):386–91.
13. Kaczorowski DJ, Datta J, Kamoun M, Dries DL, Woo YJ. Profound hyperacute cardiac allograft rejection rescue with biventricular mechanical circulatory support and plasmapheresis, intravenous immunoglobulin, and rituximab therapy. *J Cardiothorac Surg.* 2013 Mar 16;8(1):48.
14. Reed AB. 42 - Complications of ECMO and IABP. U: Dryjski ML, Harris LM, editors. *Complications in Endovascular Surgery* [Internet]. Philadelphia: Elsevier; 2022. Str. 275–8. [pristupljeno 27.5.2023.]. Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978032354480000425>
15. X-Plain. Patedu IABP [Internet]. Coralville, USA: X-Plain Health Encyclopedia; C2023. [pristupljeno 27.5.2023.]. Dostupno na: <https://www.patient-education.com/contact.html>

16. Mažar M. Učinak hemodilucije na bubrežnu funkciju nakon izloženosti izvantjelesnom krvotoku [disertacija]. Zagreb: Medicinski fakultet; 2016 [pristupljeno 28.5.2023.]. Dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:105:780578>
17. Punjabi PP, Taylor KM. The science and practice of cardiopulmonary bypass: from cross circulation to ECMO and SIRS. *Glob Cardiol Sci Pract*. 2013 Sep;2013(3):32.
18. Farag J. Mechanical Circulatory Support [master thesis]. Melbourne: Monash University; 2019 August 30; str. 9.
19. Farag J. Mechanical Circulatory Support [master thesis]. Melbourne: Monash University; 2019 August 30; str. 13 -19.
20. Gameiro Goncalves S. Crash ECMO [Blog]. [pristupljeno 28.5.2023.]. Dostupno na: <https://thescrubnurse.com/crash-ecmo-cardiac/>.
21. icuECMO. V-V ECMO [Internet]. [pristupljeno 26.5.2023.]. Dostupno na: [http://icuecmo.ca/icuECMO\\_content/icuECMO\\_ECMO\\_configuration\\_VV.html](http://icuecmo.ca/icuECMO_content/icuECMO_ECMO_configuration_VV.html)
22. Maybauer MO, Capoccia M, Maybauer DM, Lorusso R, Swol J, Brewer JM. The ProtekDuo in ECMO configuration for ARDS secondary to COVID-19: a systematic review. *International Journal of Artificial Organs*. 2023 Feb 1;46(2):93–8.
23. Maybauer MO, Koerner MM, Swol J, El Banayosy A, Maybauer DM. The novel ProtekDuo ventricular assist device: Configurations, technical aspects, and present evidence. *Perfusion*. 2023 Jul;38(5):887-893.
24. Patel R, Fscai FF. Access for Mechanical Circulatory Support Devices [Internet]. 2019 Mar [pristupljeno 10.6.2023.]. Dostupno na: [https://www.crtonline.org/search/results?q=rajan%20patel%20&realmName=\\_UREALM\\_&wt=json&rows=10&start=0&sort=postDate\\_dt+desc&sort=postDate\\_dt+desc&sort=postDate\\_dt+desc](https://www.crtonline.org/search/results?q=rajan%20patel%20&realmName=_UREALM_&wt=json&rows=10&start=0&sort=postDate_dt+desc&sort=postDate_dt+desc&sort=postDate_dt+desc)
25. Schmack B, Farag M, Kremer J, Grossekkettler L, Brcic A, Raake PW, et al. Results of concomitant groin-free percutaneous temporary RVAD support using a centrifugal pump with a double-lumen jugular venous cannula in LVAD patients. *J Thorac Dis*. 2019;11:S913–20.
26. Bastos MB, van Wiechen MP, Van Mieghem NM. PulseCath iVAC2L: next-generation pulsatile mechanical circulatory support. *Future Cardiol*. 2020 Mar;16(2):103-112.
27. Van Mieghem NM, Daemen J, Lenzen MJ, Zandstra R, Malkin O, Van Geuns RJM. The pulsecath iVAC 2L left ventricular assist device: Conversion to a percutaneous transfemoral approach. *EuroIntervention*. 2015 Nov 1;11(7):835–9.
28. www.pulsecath.com. iVAC2L [Internet]. [pristupljeno 3.7.2023.]. Dostupno na: <https://www.pulsecath.com/products/ivac-2l/>

## **ŽIVOTOPIS**

Rođena sam 19.10.1998. u Zagrebu. Osnovnoškolsko obrazovanje završavam 2013. godine u OŠ Čazma. Iste godine završavam i Glazbenu školu Vatroslav Lisinski (u Čazmi). Pohađala sam Prirodoslovno-matematičku gimnaziju Bjelovar, nakon čega upisujem Medicinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu 2017. godine. Dobitnica sam Državne stipendije za studente u STEM područjima znanosti.