

# Izazovi sestrinske skrbi u multidisciplinarnom timu kod bolesnika na izvantjelesnoj membranskoj oksigenaciji - ECMO

---

Zrinski, Katarina

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:003184>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-17**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij sestrinstva**



DIPLOMSKI RAD br.152/SSD/2022

**IZAZOVI SESTRINSKE SKRBI U  
MULTIDISCIPLINARNOM TIMU KOD  
BOLESNIKA NA IZVANTJELESNOJ  
MEMBRANSKOJ OKSIGENACIJI - ECMO**

Student:  
Katarina Zrinski, mat.br.1003053835

Varaždin, rujan 2022.



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij sestrinstva**



DIPLOMSKI RAD br.152/SSD/2022

**IZAZOVI SESTRINSKE SKRBI U  
MULTIDISCIPLINARNOM TIMU KOD  
BOLESNIKA NA IZVANTJELESNOJ  
MEMBRANSKOJ OKSIGENACIJI - ECMO**

Student:  
Katarina Zrinski, mat.br.1003053835

Mentor:  
doc. dr. sc. Ivo Dumić Čule

Varaždin, rujan 2022.

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za sestrinstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Sestrinstvo - menadžment u sestrinstvu

PRISTUPNIK Zrinski Katarina

MATIČNI BROJ 1003053835

DATUM 14.6.2022.

KOLEGIJ Sustavi upravljanja kvalitetom u zdravstvu

NASLOV RADA Izazovi sestrinske skrbi u multidisciplinarnom timu kod bolesnika na izvantjelesnoj membranskoj oksigenaciji- ECMO

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU The challenges of nursing in a multidisciplinary team in patients with extracorporeal membrane oxygenation - ECMO

MENTOR Doc.dr.sc. Ivo Dumić Čule

ZVANJE Docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. izv.prof.dr.sc. Marijana Neuberg, predsjednik
2. doc.dr.sc. Ivo Dumić Čule, mentor
3. doc.dr.sc. Diana Rudan, član
4. doc.dr.sc. Ivana Živoder, zamjenski član
5. \_\_\_\_\_

## Zadatak diplomskog rada

BROJ 152/SSD/2022

OPIS

Izvantjelesna membranska oksigenacija (ECMO) je tehnika pružanja produžene potpore srca i dišnog sustava osobama čije srce i pluća nisu u stanju osigurati odgovarajuću količinu izmjene plinova ili perfuzije za održavanje života. Izuzetno je složena i visokorizična intervencija u kojoj bolesnici zahtijevaju učinkovitu skrb svih zdravstvenih djelatnika u multidisciplinarnom timu koji sudjeluju u skrbi za bolesnika, uključujući medicinske sestre.

Pozitivni rezultati bolesnika na ekstrakorporalnoj membranskoj oksigenaciji (ECMO) zahtijevaju najprihvatljiviji način interdisciplinarnog upravljanja u svim procesima multidisciplinarnog tima. Razumijevanje složenosti procesa sestrinske skrbi za bolesnika na ECMO uređaju i interakcija unutar zdravstvenog tima ključno je za promjene u sestrinskoj ulozi i kompetentnosti, izazova s kojima se susreću u okviru zdravstvene njege i pružanju poticajnog okruženja koje je ključno za promjenu sestrinske prakse.

Cilj ovog rada je prikazati izazove sestrinskog pristupa u liječenju visokorizičnih bolesnika, njihove kompetencije i izazove kako bi još više unaprijedili i poboljšali skrb za bolesnike u akutnoj ugroženosti.

ZADATAK URUČEN

24.07.2022.



## **Predgovor**

Zahvaljujem mentoru doc. dr. sc. Ivo Dumić Čule na ukazanom povjerenju prihvaćanjem mentorstva te potpori, savjetima i uputama u pisanju diplomskog rada. Posebno se zahvaljujem svim djelatnicima kardiovaskularne anestezije i kardijalne kirurgije KB Dubrava na dugogodišnjem zajedničkom radu, uz čije sam znanje i iskustvo stekla specifične vještine prikazane u ovom diplomskom radu.

Također, hvala mojoj obitelji za svu potporu tijekom studiranja na Sveučilištu Sjever.

## **Sažetak**

Izvantjelesna membranska oksigenacija (ECMO) ima dugu povijest i s vremenom je evolvirao u kliničkoj primjeni. Nova era primjene ECMO-a započela je na prijelazu tisućljeća tijekom epidemije gripe H1N1 te dolaskom nove tehnologije i protokolima za prevenciju komplikacija. Ekspanzija primjene ECMO-a postala je izraženija 2020. godine pojavom pandemije uzrokovane korona virusom SARS-CoV-2 (COVID-19).

2020. godine stvorila se potreba za brzom i učinkovitim obukom velikog broja dodatnih ECMO tehničara, kao što su medicinske sestre, perfuzionisti i liječnici. Iako trenutno još uvijek ne postoje jasne smjernice u postupanju u vezi s ovlastima i odgovornostima medicinskog osoblja koje liječi bolesnike na ECMO-u, utvrdila se prijevika potreba za istim. Tradicionalno, liječenje bolesnika na ECMO-u provodi multidisciplinarni tim koji uključuje kombinaciju liječnika, kirurga, stručnjaka za transport, medicinskih sestara i/ili perfuzionista. Potrebe bolesnika rješavaju se djelovanjem u kojem svi članovi tima djeluju zajednički i od vitalne je važnosti da se svaki postupak izvodi u skladu sa standardima prakse svake profesije.

Potrebno je definirati ovlasti i odgovornosti medicinskih sestara, što bi im omogućilo da postanu proaktivne, steknu veću razinu znanja i ovladaju potrebnim vještinama te ojačaju vodstvo u sestrinstvu, osiguravajući njihovu ulogu u razvoju politike zbrinjavanja bolesnika na ECMO-u. Učinkovita i sigurna sestrińska skrb kod bolesnika na ECMO-u može se pružiti samo ukoliko medicinske sestre steknu specifična znanja i vještine. Djelokrug rada medicinskih sestara obuhvaća sveobuhvatnu fizikalnu procjenu, prevenciju i minimiziranje komplikacija te pružanje podrške obitelji bolesnika. Pojavom COVID-19 pandemije postalo je jasno za potrebom specijaliziranih medicinskih sestara koje skrbe o bolesnicima na ECMO-u.

**KLJUČNE RIJEČI:** izvantjelesna membranska oksigenacija, zdravstvena skrb, edukacija

## **Abstract**

Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) has a long history and has evolved over time in clinical application. A new era of ECMO application began at the turn of the millenium during the H1N1 flu epidemic and with the advent of a new technology and protocols to prevent complications. The expansion of the application of ECMO became more pronounced in 2020 with the emergence of the pandemic caused by the SARS-CoV-2 (COVID-19) corona virus.

In 2020 , there was a need for rapid and efficient training of a large number of additional ECMO technicians, such as nurses, perfusionists and doctors. Although currently there are still no clear guidelines in action regarding the powers and responsibilities of medical staff treating patients on ECMO, an urgent need has been identified. Traditinally, treatment of patients on ECMO is performed by multidisciplinary team that includes a combination of physicians, surgeons, transport specialists, nurses, and/ or perfusionists. The patient's needs are addressed by actions in which all team members work together and it is vitally important that each procedure is performed in accordance with the practice standards of each profession.

It is necessary to define the powers and responsibilites of nurses, which would allow them to become proactive, acquire a greater level of knowledge and master the necessary skills, and strengthen nursing leadreship, ensuring their role in development of ECMO patient care policy. Effective and safe nursing care for patients on ECMO can only be provided if nurses acquire specific knowledge and skills. The nurses scope of work includes a comprehensive physical assesment, prevention and minimization of complications, and providing support to the patient's family. During the COVID-19 pandemic it become clear that there is a need for specialized nurses who care for patients on ECMO.

**KEY WORDS:** extracorporeal membrane oxygenation, health care, education



## Popis korištenih kratica

|                  |   |
|------------------|---|
| ECMO             | Izvantjelesna membranska oksigenacija (eng. Extracorporeal membran oxygenation)                 |
| ARDS             | Akutni respiratorni distress sindrom  |
| ELSO             | Organizacija za izvantjelesno održavanje života (eng. Extracorporeal life support Organization) |
| ECLS             | Izvantjelesno održavanje života (eng. Extracorporeal life support)                              |
| VV               | Veno-venski   |
| VA               | Veno-arterijski   |
| LV               | Lijeva klijetka   |
| SaO <sub>2</sub> | Arterijska saturacija kisikom   |
| SvO <sub>2</sub> | Mješovita venska zasićenost kisikom   |
| PMP              | Polimetilpenten   |
| HPF 4            | Heparin/trombocitni faktor 4  |
| HIT II           | Heparinom inducirana trombocitopenija tipa II   |
| ACT              | Aktivirano vrijeme zgrušavanja (eng. Activated clotting time)                                   |
| APTV             | Aktivirano parcijalno tromboplastinsko vrijeme  |
| IABP             | Intra-aortna balonska pumpa (eng. Intra-aortic balloon pump)                                    |
| CPB              | Kardiopulmonalna prenosnica (eng. Cardiopulmonary bypass)                                       |
| VAD              | Mehanička potpora radu ventrikla (eng. Ventricular assist device)                               |
| TAH              | Umjetno srce (eng. Total artificial heart)  |
| TEE              | Transezofagealna ehokardiografija   |
| TEG              | Tromboelastogram  |
| PEEP             | Pozitivni tlak na kraju izdisaja (eng. Positive end-expiratory pressure)                        |
| JIL              | Jedinica intenzivnog liječenja  |
| CO <sub>2</sub>  | Ugljikov dioksid  |
| O <sub>2</sub>   | Kisik   |
| PIP              | Vršni inspiracijski tlak (eng. Peak inspiratory pressure)                                       |
| FiO <sub>2</sub> | Udisajna frakcija kisika (eng. Fraction of inspired oxygen)                                     |

## Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. Uvod.....   | 7  |
| 1.1. Povijest.....   | 9  |
| 2. Razrada teme.....   | 13 |
| Indikacije za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.....   | 13 |
| Izvantjelesna membranska oksigenacija kod zatajenja srca.....  | 13 |
| Izvantjelesna membranska oksigenacija kod zatajenja disanja.....                                       | 16 |
| Kontraindikacije za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.....   | 16 |
| 2.1. Modaliteti izvantjelesne membranske oksigenacije.....   | 17 |
| Veno-arterijska izvantjelesna membranska oksigenacija.....   | 18 |
| Veno-venska izvantjelesna membranska oksigenacija.....   | 21 |
| 2.2. Pumpe za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.....   | 23 |
| 2.3. Oksigenatori za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.....  | 26 |
| 2.4. Kanile i cijevi za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.....                                     | 28 |
| Bioaktivni premazi komponenti izvantjelesnog kruga.....  | 28 |
| Izmjenjivači topline.....  | 29 |
| 2.5. Primjena antikoagulantne terapije kod izvantjelesne membranske oksigenacije<br>.....              | 30 |
| Aktivirano vrijeme zgrušavanja.....  | 30 |
| Tromboelastogram.....  | 31 |
| Aktivirano parcijalno tromboplastinsko vrijeme.....  | 31 |
| 2.6. Upravljanje uređajem za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.....                                | 33 |
| 2.7. Komplikacije izvantjelesne membranske oksigenacije.....   | 35 |
| Hematološke komplikacije.....  | 36 |
| Lokalne komplikacije.....  | 37 |
| Infekcije.....   | 39 |
| Hemodinamska nestabilnost.....   | 39 |
| Neurološke komplikacije.....   | 40 |
| 2.8. Odvikavanje od izvantjelesne membranske oksigenacije.....   | 41 |
| 3. Rasprava.....   | 43 |
| 3.1. Uloga medicinskih sestara.....  | 44 |
| Odgovornosti medicinskih sestara i perfuzionista.....  | 44 |
| 3.2. Odgovornosti medicinskih sestara kod bolesnika na izvantjelesnoj<br>membranskoj oksigenaciji..... | 46 |

|  |    |
|--|----|
| Upravljanje mjestom postavljanja kanile.....             | 48 |
| Očuvanje integriteta kože.....                           | 49 |
| Rana mobilnost i fizikalna rehabilitacija.....           | 50 |
| Rano otkrivanje i prevencija sustavnih komplikacija..... | 52 |
| Bubrežne i abdominalne komplikacije.....                 | 52 |
| Hematološke komplikacije.....                            | 53 |
| Infektivne komplikacije.....                             | 54 |
| Kardiopulmonalne komplikacije.....                       | 55 |
| Neurološke komplikacije.....                             | 55 |
| 4. Zaključak.....  | 57 |
| 5. Literatura.....                                       | 58 |
| Popis slika.....   | 72 |
| Popis tablica.....                                       | 73 |

# 1. Uvod

Uređaj za izvantjelesnu cirkulaciju prvi je predstavio Dr. John Gibbon 1937. godine, a tek 1956. godine Dr. Clarence Davis izveo je prvu operaciju uz pomoć uređaja. Od tog vremena do danas razvijene su brojne izvedenice sustava za izvantjelesnu cirkulaciju: izvantjelesna membranska oksigenacija (*eng. extracorporeal membran oxigenation, ECMO*), mehanička potpora radu ventrikla (*eng. ventricular assist device, VAD*) i kompletno umjetno srce (*eng. total artificial heart, TAH*) (1).

Od prve uspješne primjene uređaja za izvantjelesnu cirkulaciju pa sve do danas, uloženi su veliki naponi u unapređenje tehnologije samih uređaja kako bi se omogućila sigurna i produljena upotreba u jedinicama intenzivnog liječenja (JIL) (2). ECMO koristi klasičnu tehnologiju kardiopulmonalne premosnice za potporu cirkulacije, omogućuje kontinuirani, nepulsirajući minutni volumen i izvantjelesnu oksigenaciju (3).

Izvantjelesna cirkulacija označava odvođenje venske krvi iz organizma, oksigenaciju u izvantjelesnom sustavu te povrat oksigenirane krvi u organizam. Ovisno o kojoj se vrsti kirurške intervencije radi, kanile se postavljaju u desni atrij, gornju i donju šuplju venu ili femoralnu venu. Venska kanila odvodi krv do oksigenatora („pluća“), u kojem se krv oksigenira i filtrira te uz pomoć pumpe („srce“) vraća u organizam kroz kanilu postavljenu u aortu, aksilarnu ili femoralnu arteriju (4).

ECMO je privremeni i isplativ oblik održavanja života koji omogućava produljenu biventrikularnu cirkulacijsku i plućnu potporu kod bolesnika sa plućnim i srčanim zatajenjem, a kod kojih konvencionalna terapija nije bila učinkovita. Venovenski ECMO (VV ECMO) postavlja se ukoliko je potrebna pulmonalna potpora, kod bolesnika s potencijalno reverzibilnim srčanim ili pulmološkim pogoršanjem, a kod kojih standardni terapijski modaliteti nisu pokazali učinkovitost, dok veno-arterijski ECMO (VA ECMO) postavlja se ukoliko je potreba za kardiopulmonalnom potporom (1).

Pokretanje ECMO-a zahtijeva organizirani, unaprijed planirani i koordinirani napor svih članova multidisciplinarnog tima. Budući da je ECMO kompleksan, visokorizičan i skup modalitet, provodi se u centrima s dovoljno iskustva i stručnosti

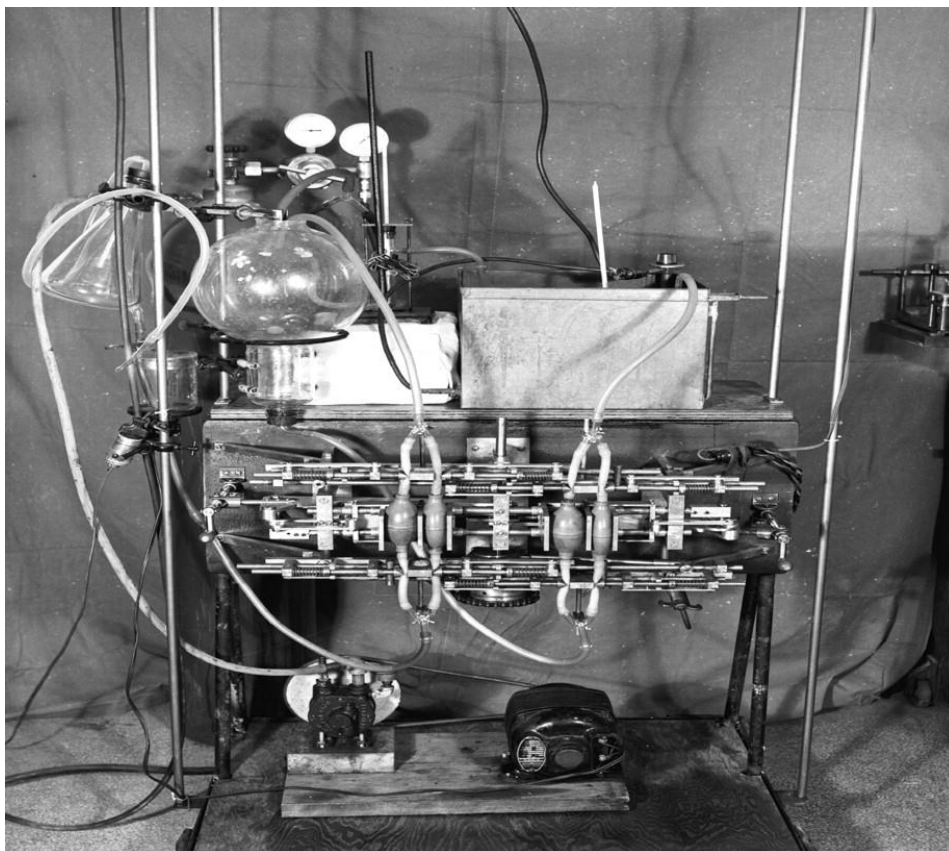
kako bi se osiguralo sigurno korištenje. Kod primjene ECMO-a važno je osigurati sigurnu i stručnu primjenu, osiguravajući buduća istraživanja u procjeni primjene ECMO-a pod homogenim i optimalnim uvjetima (5).

Medicinske sestre stoje pred izazovom novih napredaka u primjeni ECMO tehnologije, stvara se potreba za novim formalnim sustavima edukacija prilagođenim medicinskim sestrama kako bi se osigurala sigurna primjena zdravstvene skrbi oboljelima kojima je indicirana primjena ECMO-a.

## 1.1. Povijest

Zapol i sur. 1979. godine proveli su prvo randomizirano istraživanje o učinkovitosti ECMO uređaja. U njihovom istraživanju nije dokazano veće preživljavanje bolesnika na ECMO-u te je primjena istog bila popraćena uz visoku stopu komplikacija (**Slika 1.**) (6, 7).

Nakon objavljivanja ovog rada, dugi niz godina nije se provelo niti jedno randomizirano istraživanje, tek 1994. godine Morris i sur. objavili su drugo randomizirano istraživanje u kojem su usporedili ventilaciju inverznog omjera kontrole tlaka naspram izvantjelesnog uklanjanja ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>) kod akutnog respiratornog distres sindroma (*eng. Acute respiratory distress syndrome, ARDS*), njihovi rezultati istraživanja su upućivali da je preživljavanje bolesnika na ECMO-u bilo manje od 10% bez značajnih razlika u usporedbi s kontrolnom skupinom (8).



**Slika 1.** Stroj srce-pluća koji su razvili Cowan CR i Mustard W. (Izvor: Stoney WS. Evolution of cardiopulmonary bypass. *Circulation*. 2009;119(21):2844-53)

Sadašnje spoznaje ukazuju da su prva dva randomizirana ispitivanja imala arhaičnu ECMO tehnologiju, neprovjerene protokole liječenja, neadekvatno upravljanje ventilatorom i visoku stopu komplikacija (infekcije i krvarenja) (1). Razvojem ECMO tehnologije (**Slika 2.**) omogućila se dulja primjena samog uređaja s manjom stopom komplikacija. Tradicionalno, ECMO ciklusi bili su ograničeni hemolizom, krvarenjem i infekcijama. Integracija centrifugalnih pumpi rezultirala je smanjenom incidencijom komplikacija (hemoliza), potrebe za primjenom heparina i krvnih produkata (5, 9).



**Slika 2.** ECMO aparat na jedinici intenzivnog liječenja. (Izvor: Bridge to Transplantation. TeachMeSurgery. [Internet]. 2022 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://teachmesurgery.com/cardiothoracic-surgery/general-principles/bridge-to-transplantation/>)

Nova era promjene paradigme ECMO-a započela je na prijelazu tisućljeća tijekom epidemije gripe H1N1 i dolaskom nove tehnologije te protokolima za prevenciju komplikacija. U tom periodu započela su istraživanja s ciljem usporedbi konvencionalne ventilacijske potpore naspram ECMO-a za tešku respiratornu insuficijenciju odraslih (10, 11).

CESAR istraživanje uspoređivalo je konvencionalnu ventilaciju naspram ECMO-a kod bolesnika s teškim ARDS-om. Primarne mjere ishoda pokazale su smanjenje smrti ili teške invalidnosti u ECMO skupini (37% naspram 53%); sekundarni ishodi pokazali su smanjenje: primjene mehaničke ventilacije, duljine boravka u JIL-u, primjena krvnih produkata i troškova zdravstvene skrbi kod bolesnika s ARDS-om na ECMO-u u usporedbi s kontrolnom skupinom (10). Za vrijeme epidemije H1N1 u Australiji započelo je istraživanje koje je potvrdilo učinkovitost ECMO uređaja kod bolesnika s ARDS-om. Učinkovitost ECMO uređaja na preživljavanje uslijed komplikacija H1N1 je demonstrirana kod 71% bolesnika s ARDS-om kod kojih se konvencionalno medicinsko liječenje nije pokazalo zadovoljavajuće (11).

Do 2005. godine protokoli i algoritmi upravljanja za ECMO uređaje nisu postojali. Organizacija za izvantjelesno održavanje života (eng. *Extracorporeal Life Support Organization, ELSO*) je izradilo prve smjernice za obuku osoblja i sigurno korištenje opreme (12). Konsenzus je postignut sa strane vodećih stručnjaka, a preporuke su da ECMO mora biti pristupačan, pouzdan, jednostavan i prenosiv. Praćenje bolesnika na izvantjelesnom održavanju života (eng. *Extracorporeal life support, ECLS*) u JIL-u zahtjeva visoku razinu znanja i vještina svih članova u zbrinjavanju oboljelih te timski pristup. Ekspanzijom primjene ECMO uređaja rezultiralo je povećanim brojem primjene ECMO uređaja, napretkom tehnologije, interesom i potrebama za specijaliziranim ECMO timovima (13). Najčešća pitanja koja su se pojavljivala kod stvaranja smjernica i preporuka za primjenu ECMO uređaje su: Je li zatajenje više organa reverzibilno? Možemo li pratiti moždane i neurološke komplikacije? Kako odviknuti bolesnike od ECMO-a? Možemo li predvidjeti odvikavanje od ECMO-a putem pulmonalnih indikatora? (14, 15).

Tijekom napretka tehnologije i veće upotrebe ECMO-a indikacije, apsolutne ili relativne kontraindikacije i podaci o ishodima nastavili su se razvijati. Težilo se podršci kod bolesnika s pulmonalnim i srčanim zatajenjima, produženom vremenu za liječenje i oporavak, brzom i jednostavnom sustavu koji je prilagođen za prijenos tijekom transporta. ECMO programi temelje se na sljedećim principima: edukaciji,



standardiziranoj skrbi, interdisciplinarnim timovima, bazama podataka i moderniziranoj opremi (1).

Važno je naglasiti da je razvoj ECMO programa zahtjevan po pitanju rada i primjene opreme, troškova koji se generiraju tijekom pružanja dugotrajne skrbi i zadovoljavanju smjernica kontinuirane edukacije svih članova u JIL-u. Smatra se da je za učinkovitost rada ECMO centara ključno planiranje, primjena telemedicine, izmjena iskustva i znanja te educirano osoblje (16). Unatoč svim napredcima, još uvijek postoje varijacije u načinu na koji se ECMO koristi i provodi, iz tog razloga potrebna je kontinuirana edukacija svih sudionika uključenih u zbrinjavanju bolesnika na ECMO uređajima kako bi pružili najbolju skrb te učinkovito prepoznali i upravljali potencijalnim komplikacijama.

## 2. Razrada teme

### Indikacije za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Zbog invazivne prirode i povezanih rizika, odluka o započinjanju ECMO-a razmatra se nakon što su isprobane i optimizirane druge kliničke strategije i terapije (17).

### Izvantjelesna membranska oksigenacija kod zatajenja srca

ECMO ima važnu ulogu u liječenju zatajenja srca, te potpomaže u ponovnom uspostavljanju i stabilizaciji funkcije organa. Indikacije za ECMO su (18):

- Potpora nakon kardiokirurškog zahvata,
- Potpora nakon transplantacije srca,
- Neishemijski kardiogeni šok (fulminantni miokarditis i kardiomiopatija),
- Kratkotrajna primjena do transplantacije srca ili umetanje VAD-a,
- Infarkt miokarda,
- Predoziranje lijekovima,
- Depresija miokarda izazvana sepsom,
- Izvantjelesna kardiopulmonalna reanimacija,
- Miokarditis,
- Kardiomiopatija,
- Perioperativna potpora kod prirođenih srčanih mana,
- Potpora postupcima srčane kateterizacije kod visokorizičnih bolesnika,
- Kateholaminska kriza i kolaps cirkulacije kod feokromocitoma.

ECMO se primjenjuje kod bolesnika sa zatajenjem srca, kod kojih nije moguće odvikavanje od srčanih prenosnica ili kod kojih VAD nije indiciran. ECMO se može razmotriti kod bolesnika koji unatoč inotropnoj potpori i intra-aortnoj balonskoj pumpi (*eng. Intra-aortic balloon pump, IABP*) imaju srčani indeks  $<2 \text{ L/min/m}^2$ , sistolički krvni tlak  $<90\text{mmHg}$  i laktacidozu (19).

Prema podacima iz registra ELSO-a do siječnja 2008. godine najčešće indikacije i preživljavanje bolesnika na ECMO-u su: u 658 (79%) ispitanika nakon kardiotomije razvio se kardiogeni šok, od kojih je samo 215 (32,7%) preživjelo (20). Najčešće kirurške indikacije za ECMO bile su: koronarna premosnica (136 ispitanika, 33,8% preživljenje), transplantacija srca (125 ispitanika, 39% preživljenje) i zamjena aortne valvule (39 ispitanika, 31% preživljenje). Kardiogeni šok nakon kardiotomije koji zahtijeva mehaničku potporu javio se u 0,5–1% bolesnika (22), a stopa preživljenja je bila oko 50% (21).

Odluka o korištenju ECMO-a tijekom kardiogenog šoka nakon kardiotomije mora započeti ispitivanjem reverzibilnosti. Reverzibilno akutno zatajenje srca obično zahtijeva privremenu ECMO potporu do oporavka srčane funkcije za koju se očekuje dekanilacija unutar nekoliko dana. Najčešća stanja kod privremene potpore ECMO su ozljede miokarda. Ozljede miokarda mogu nastupiti uslijed aritmija, ishemije miokarda, produljene kardiotomije, značajnog plućnog edema ili akutne plućne hipertenzije (22).

Najučestaliji uzrok kardiogenog šoka nakon kardiotomije je omamljeni miokard uslijed ishemijsko-reperfuzijske ozljede (23). U teoriji, bolesnici se mogu oporaviti od omamljenog miokarda bez obzira na težinu srčane disfunkcije. Međutim, nijedna izvediva metoda ne razlikuje ireverzibilni infarkt od reverzibilnog omamljenog miokarda u neposrednom postoperativnom razdoblju. Omamljeni miokard je reverzibilno stanje niskog srčanog minutnog volumena. Istraživanje je utvrdilo da s primjenom IABP-a približno 75-85% bolesnika kod ovih stanja se uspješno odviknu od kardiopulmonalne premosnice, a preživljenje je u 55% bolesnika (24).

Kod nekih stanja unatoč inotropnoj i IABP potpori, neki bolesnici se ne mogu odviknuti od kardiopulmonalne premosnice ili ukoliko su odviknuti od nje imaju trajnu neodrživu kardiopulmonalnu disfunkciju. Nekoliko je istraživanja izvijestilo da kod većine bolesnika s omamljenim miokardom odvikavanje od ECMO-a je bilo uspješno u periodu od dva do pet dana (18, 20, 25, 26).

Nekoliko autora je objavilo svoja iskustva s ECMO podrškom u ovoj populaciji bolesnika s potencijalno reverzibilnom kardiopulmonalnom disfunkcijom koja se može poboljšati privremenom ECMO potporom (21, 24, 25). Rastan i sur. pratili su 517 ispitanika s kardiogenim šokom nakon kardiotomije na ECMO-u. Odvikavanje

od ECMO-a bilo je uspješno kod 63,3% ispitanika, a 24,8% je otpušteno iz bolnice (27). U drugom istraživanju, ECMO potpora indicirana je u 55 ispitanika s kardiogenim šokom, 16 nakon kardiomiopije i 10 nakon transplantacije. Trideset četiri ispitanika (42%) je otpušteno iz bolnice (28).

Doll i sur. izvijestili su o 219 ispitanika koji su bili podvrgnuti kardiovaskularnim operacijama (preosnice koronarnih arterija, zamjene valvula, plućne embolektomije, popravak aneurizme aorte, perikardiektomiji i transplantaciji srca). Ukupno 61% ispitanika uspješno je odviknuto s ECMO-o uređaja, no samo je 39% uspješno otpušteno iz bolnice. Najčešći uzrok smrtnosti bio je trajno nizak minutni volumen, što znači da je kod 71% ispitanika oštećenje miokarda bilo ireverzibilno (25).

Odrasli bolesnici sa ireverzibilnim zatajenjem srca, mogu biti kandidati za ECMO, koji im služi kao most do VAD-a ili transplantacije srca. VAD pruža samo potporu cirkulaciji, bolesnicima s plućnim edemom nakon kardiomiopije ili kardiomiopije koji imaju poteškoća s oksigenacijom i ventilacijom. U istraživanju Doll i sur. prikazali su dva slučaja uspješno transplantiranih ispitanika, a šest ispitanika je premošteno na VAD. Od šest ispitanika na VAD-u samo jedan ispitanik je uspješno odviknut. Autori su izvijestili da je stopa smrtnosti kod ovih ispitanika bila veća od 83% (25). U istraživanju Hei i sur. osam ispitanika je premošteno do transplantacije srca, a od osam ispitanika šest ih je preživjelo (29).

Podaci ovih istraživanja pokazuju da je i unatoč primjeni VAD-a, smrtnost izuzetno visoka kod bolesnika s ireverzibilnim zatajenjem srca, Možemo zaključiti da su potrebna daljnja istraživanja na ovom području koja bi dokazala učinkovitost postavljanja indikacija kod ovih bolesnika.

## **Izvantjelesna membranska oksigenacija kod zatajenja disanja**

ECMO se treba razmotriti u bolesnika s po život opasnim, ali potencijalno reverzibilnim zatajenjem disanja. Potencijalna komplikacija koja se mora uzeti u obzir je postoperativna plućna disfunkcija izazvana kardiopulmonalnom premosnicom. Kontakt komponenti krvi s umjetnom površinom premosnice uzrokuje upalni odgovor i oštećenje pluća posredovano slobodnim radikalima. Štoviše, kardiopulmonalna premosnica izlaže pluća riziku od ishemijskog infarkta. Postishemijska reperfuzija pluća regulira adhezijske molekule i povećava adheziju neutrofila, endotelnih stanica i ekstravaskularnu sekvestraciju neutrofila, čime se pogoršavaju daljnje strukturne i funkcionalne abnormalnosti plućnih endotelnih stanica. Stoga sustavni upalni odgovor i ishemija-reperfuzija tijekom kardiopulmonalne premosnice mogu dovesti do oštećenja pluća (30). Procjena reverzibilnosti mora uzeti u obzir temeljni uzrok pulmonalnog zatajenja, dob bolesnika, komorbiditete te trajanje mehaničke ventilacije. Životna dob bolesnika i trajanje mehaničke ventilacije neovisni su čimbenici ishoda kod ECMO-a (31, 32).

## **Kontraindikacije za izvantjelesnu membransku oksigenaciju**

Apsolutne kontraindikacije za primjenu izvantjelesne membranske oksigenacije su: ireverzibilno oštećenje središnjeg živčanog sustava, uznapredovala maligna bolest, ireverzibilno multiorgansko zatajenje, prolongirani kardijalni arrest, mehanička ventilacija sa visokim tlakovima u periodu dužem od 7 dana, nemogućnost primjene antikoagulantnih lijekova; a relativne kontraindikacije su tjelesna težina veća od 140kg i starost veća od 65 godina (18, 21).

## 2.1. Modaliteti izvantjelesne membranske oksigenacije

ECMO je invazivna tehnika u kojoj se venska krv drenira iz organizma, te putem cijevi dovodi do oksigenatora u kojem se krv oksigenirana i filtrira (izmjena ugljičnog dioksida i kisika ( $O_2$ )) te odvodi cijevima pomoću pumpe do organizma. ECMO krug sastoji se od drenažnih i povratnih kanila, cijevi, pogonske snage (pumpe) i izmjenjivača plina/topline (oksidatora) (33).

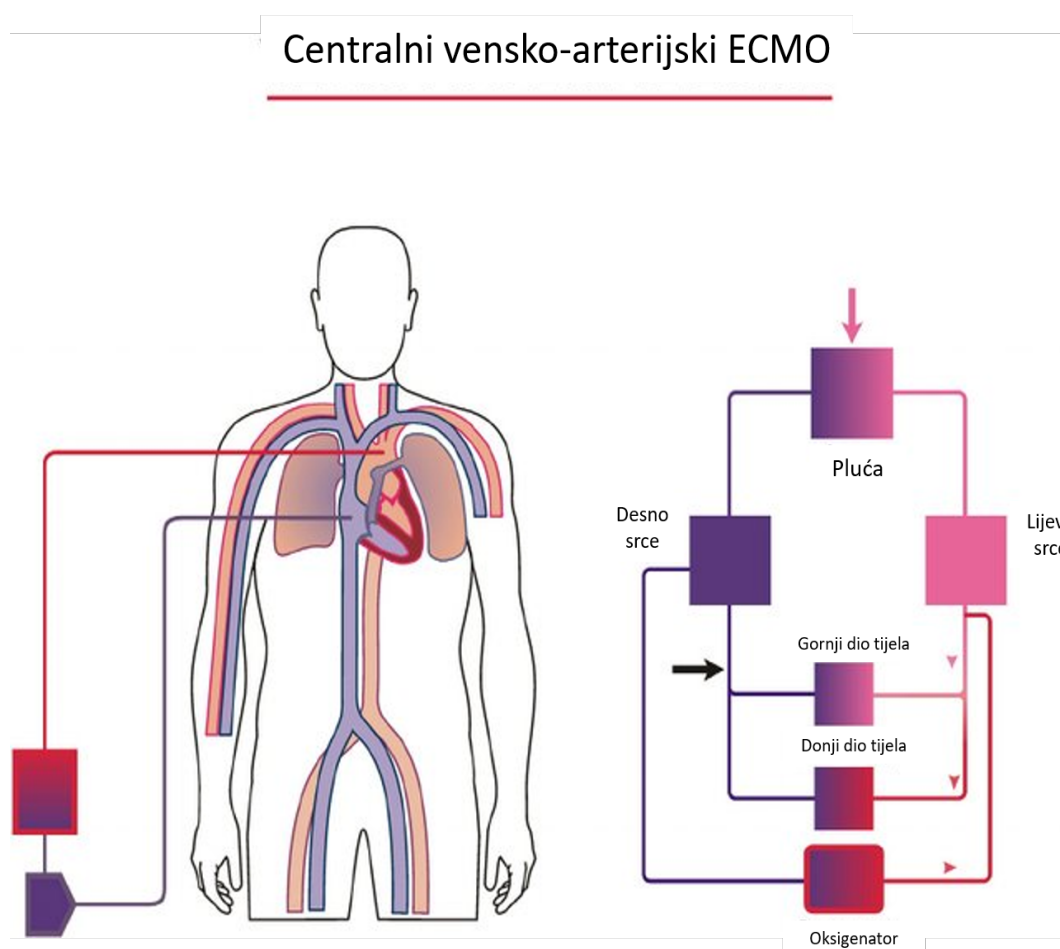
Dvije su osnovne vrste ECMO potpore: VV ECMO konfiguracija koja osigurava oksigenaciju (koristi se kod pulmonalnog zatajenja koje ne reagira na mehaničku ventilaciju), ili VA ECMO konfiguracija (pruža pulmonalnu i srčanu potporu) (**Tablica 1.**) (34). Primjena ECMO-a, u odsutnosti popratnog septičkog šoka, dovodi do hemodinamske stabilnosti i smanjenja mehaničke ventilacije (31). Kanilacija se može postići centralno ili periferno. Središnji pristup uključuje sternotomiju (kardiorakalni zahvat), dok periferni pristup se može uspostaviti perkutano u JIL-u ili u laboratoriju za kateterizaciju srca (35).

| <b>Tablica 1. Razlike između ECMO modaliteta</b>     |   |
|--|---|
| <b>Veno-arterijski ECMO</b>                          | <b>Veno-venski ECMO</b>                                 |
| Postiže se veći $PaO_2$                              | Postiže se niži $PaO_2$                                 |
| Potrebne su niže stope perfuzije                     | Potrebne su veće stope perfuzije                        |
| Zaobilazi plućnu cirkulaciju                         | Održava plućni protok krvi                              |
| Smanjuje tlak u plućnoj arteriji                     | Povećava miješani venski $PO_2$                         |
| Pružna srčanu potporu za pomoć sustavnoj cirkulaciji | Ne pruža srčanu potporu za pomoć sistemskoj cirkulaciji |
| Zahtijeva arterijsku kanilaciju                      | Zahtijeva samo vensku kanilaciju                        |

**Tablica 1.** Razlike između ECMO modaliteta. (Izvor: Lař G, Budak AB, Yener AÜ, Cicek OF. Use of extracorporeal membrane oxygenation in adults. Heart Lung Circ. 2014;23(1):10-23)

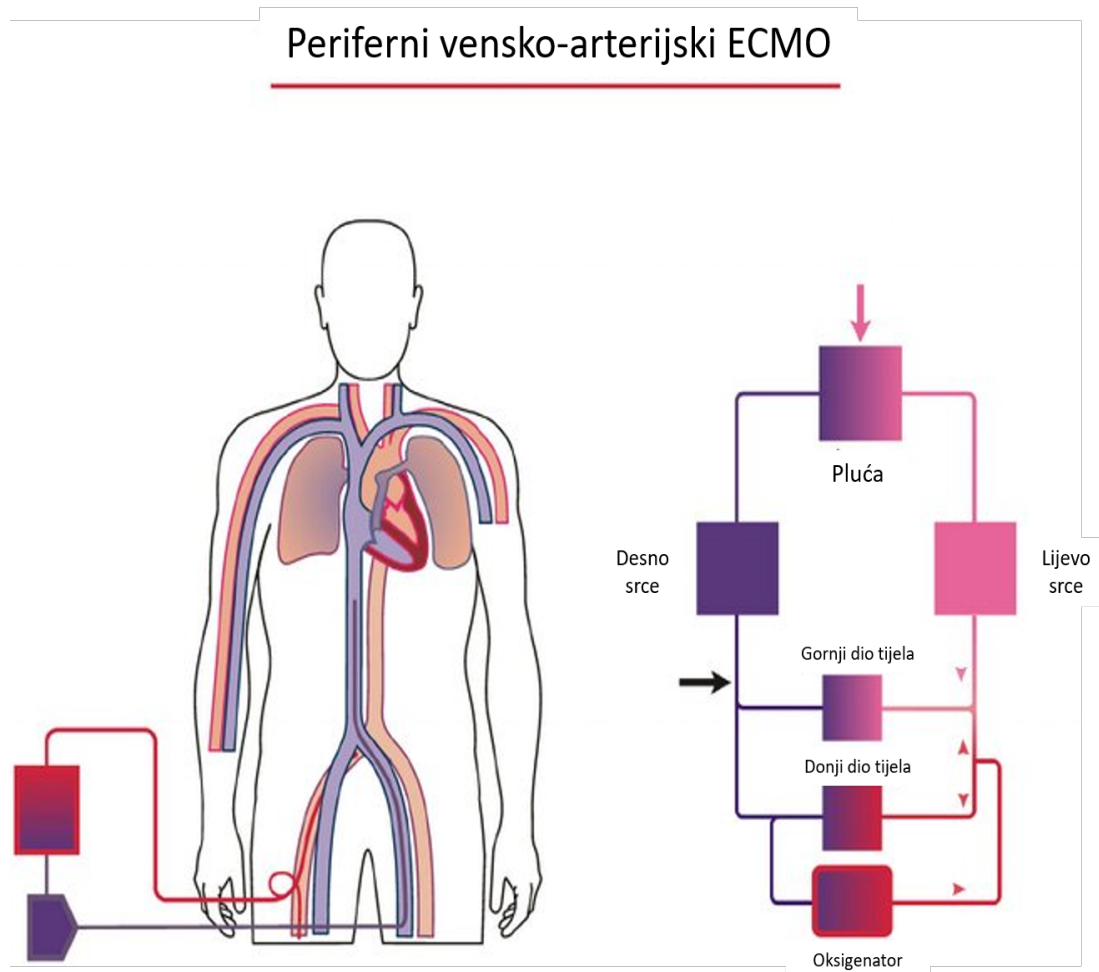
## Veno-arterijska izvantjelesna membranska oksigenacija

Modalitet VA ECMO-a povećava izmjenu plinova i podržava rad srca, u VA ECMO-u krv osiromašena kisikom otječe u krug iz venskog sustava, a pumpa oksigeniranu krv vraća u arterijski sustav. Ova primjena je slična konvencionalnoj kardiopulmonalnoj prenosnici. Kanilacija za VA ECMO može se postaviti centralno ili periferno. Središnjom kanilacijom, venska krv se drenira iz desnog atrija i vraća u proksimalni dio uzlazne aorte (**Slika 3.**) (36).



**Slika 3.** Središnja VA ECMO konfiguracija. Pristupna kanila je u desnom atriju. Krv prolazi pumpom do oksigenatora i vraća se u uzlaznu aortu. Smjer protoka u aorti je antegradan. Kanulacija se izvodi pri sternotomiji. (Izvor: Murphy DA, Hockings LE, Andrews RK, Aubron C, Gardiner EE, Pellegrino VA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation-hemostatic complications. *Transfus Med Rev.* 2015;29(2):90-101)

Perifernom kanilacijom venska krv se drenira iz proksimalnih velikih vena (femoralna ili jugularna) i postavlja se prema desnom atriju kako bi se poboljšao protok (**Slika 4.**) kirurški presječenom ili modificiranom Seldingerovom tehnikom (**Slika 5.**). Povratna kanila najčešće se postavlja na karotidnu, aksilarnu ili femoralnu arteriju. Perkutana arterijska kanilacija povezana je s značajnim rizikom od ozljede arterije i ishemije noge. Iz tog razloga neki centri koriste "polu Seldingerovu" tehniku u kojoj se vodilice za povratnu i distalnu perfuzijsku kanilu postavljaju izravno u arteriju putem "cut-down" (35).

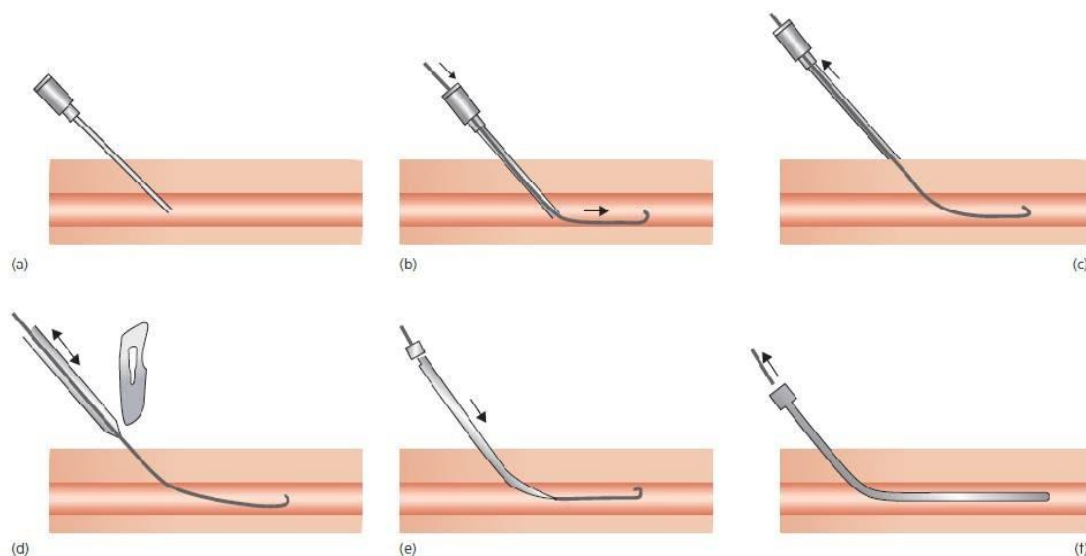


**Slika 4.** Periferno VA ECMO konfiguracija. Pristupna kanila umetnuta je u desni atrij pristupom femoralne vene. Povratna kanila (ilijačna arterija) preko zajedničkog pristupa femoralnoj arteriji. Distalna perfuzijska kanila opskrbljuje protok krvi u nogu i sprječava ishemiju. Shema na desnoj strani prikazuje miješanje protoka (protok iz izvorne cirkulacije miješa se s protokom iz ECMO arterijskog povratka) što je varijabilno u aorti i ovisno o stupnju zatajenja lijeve klijetke. (Izvor: Murphy DA,



Hockings LE, Andrews RK, Aubron C, Gardiner EE, Pellegrino VA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation-hemostatic complications. *Transfus Med Rev.* 2015;29(2):90-101)

Sistemiški arterijski protok krvi je ukupni protok ECMO kruga. Sustavni krvni tlak određen je ukupnim arterijskim protokom krvi i vaskularnim tonusom. Sistemska arterijska saturacija kisikom ( $\text{SaO}_2$ ) u potpunosti je određena zasićenošću krvi kisikom u ECMO povratnoj kanili, koja iznosi 100%, ukoliko lijeva klijetka (LV) ne može doprinijeti sustavnom arterijskom protoku krvi. Međutim, ako postoji doprinos LV-a, tada  $\text{SaO}_2$  ovisi o relativnom protoku i zasićenosti krvi kisikom iz ECMO kruga i krvi koju izbacuje LV. Ovaj detalj je važan ukoliko se postavi ECMO povratna kanila kroz femoralnu arteriju kod bolesnika sa teškim pulmonalnim zatajenjem. U ovom stanju, koronarne arterije, cerebralne krvne žile i gornji udovi su pod prijetnjom hipoksemije jer proksimalne grane aorte primaju pretežno deoksigeniranu krv izbačenu iz lijevog srca (16).



**Slika 5.** Prikaz Seldingerova tehnika: (a) Iгла tanke stijenke uvedena perkutano u krvnu žilu, (b) Žica vodilica provučena kroz iglu i uvučena u krvnu žilu, (c) Iгла izvučena ostavljajući žicu vodilicu na mjestu, (d) Mjesto uboda na koži povećano skalpelom, (e) Kateter uvučen preko žice vodilice u krvnu žilu, (f) Žica vodilica izvučena ostavljajući kateter in situ. (Izvor: Seldinger catheter insertion. Medical Talk. [Internet]. 2019 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://www.medicaltalk.net/t/seldinger-catheter-insertion/46510>)

## Veno-venska izvantjelesna membranska oksigenacija

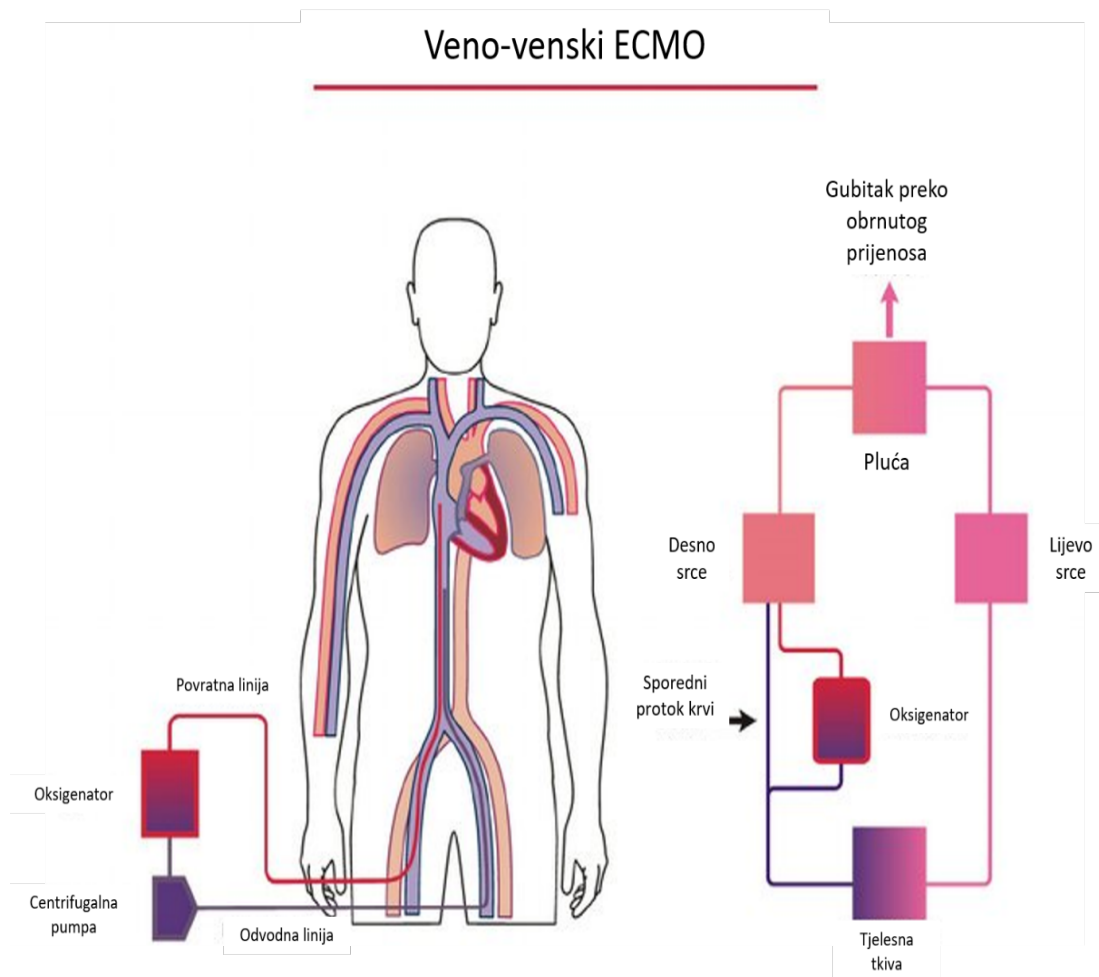
VV ECMO je preferirani put za pružanje potpune ili djelomične potpore plućima u liječenju teškog pulmonalnog zatajenja kada je minutni volumen srca zadovoljavajuć uz očuvan karotidni protok krvi (38).

Primjenom VV ECMO može se očekivati poboljšanje srčane funkcije, smanjenje potrebe za mehaničkom ventilacijom i poboljšanje opskrbe srca kisikom. Stopostotna oksigenirana krv iz povratne kanile ECMO-a miješa se sa sistemskom venskom krvlju koja zatim prolazi kroz plućni sustav. Teoretski, samo sistemska venska krv osiromašena kisikom ulazi u drenažnu kanilu. Međutim, ovisno o položajima umetnute kanile, promjenjivi udio oksigenirane krvi iz povratne kanile ulazi i u drenažnu kanilu (recirkulacija). Mješovita venska zasićenost kisikom ( $SvO_2$ ) određena je relativnim doprinosima povratne kanile (oksigenirana krv), plućnom krvotoku i sustavnom venskom povratu (deoksigenirana krv). Recirkulacija smanjuje isporuku oksigenirane krvi u plućnu arteriju i tako smanjuje  $SvO_2$ .  $SaO_2$  se određuje pomoću ECMO protoka, sistemskog venskog povratka, stupnja recirkulacije,  $SvO_2$  i plućne funkcije. Od navedenih parametara,  $SaO_2$  je najvažniji u determinanti protoka ECMO kruga (31).

Prilikom postavljanja VV ECMO, drenažna i povratna kanila postavljaju se u sistemski venski sustav (**Slika 6.**). Odluka o mjestu postavljanja kanila ovisi o fizičkoj konstituciji bolesnika (39). U starije djece i odraslih, drenažna kanila se postavlja (40):

- Femoro-atrijalna kanila se postavlja u femoralnu venu, s vrhom napredovanim do razine dijafragme; povratna kanila se postavlja u desnu unutarnju jugularnu venu, s vrhom na spoju gornje šuplje vene i desnog atrija (41).
- Femoro-femoralna kanila: drenažna kanila se postavlja u femoralnu venu i napreduje do distalne donje šuplje vene; povratna kanila se postavlja u kontralateralnu femoralnu venu i napreduje do desnog atrija.
- VV ECMO također može primijeniti pomoću jedne kanile s dvostrukim lumenom umetnute kroz unutarnju jugularnu venu u desni atrij (42).

Rich i sur. usporedili su atrio-femoralni i femoro-atrijski protok u VV izvantjelesnom održavanju života i sugerirali da je femoro-atrijalna kanilacija povezana s manjom recirkulacijom i poboljšanim protokom (43).



**Slika 6.** VV ECMO. Kavo-atrijalna konfiguracija VV ECMO prikazana korištenjem bifemoralnog pristupa. U prikazu pristupna kanila je umetnuta perkutano kroz lijevu femoralnu venu. Krv prolazi pumpom do oksigenatora i vraća se u desni atrij preko perkutane kanile desne femoralne vene. VV ECMO pruža samo respiratornu potporu. Shematski prikaz protoka krvi u krugu koji pokazuje da će stupanj potpore oksigenaciji koju pruža VV ECMO ovisiti o udjelu uhvaćenog venskog povratka. (Izvor: Murphy DA, Hockings LE, Andrews RK, Aubron C, Gardiner EE, Pellegrino VA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation-hemostatic complications. *Transfus Med Rev.* 2015;29(2):90-101)

## 2.2. Pumpe za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Većina ECMO krugova koristi dvije vrste pumpe: valjkaste i centrifugalne. Literatura je nedosljedna u pogledu biokompatibilnosti i stopa komplikacija uspoređujući ova dva principa pumpe, s blagom tendencijom u korist pumpe s valjkom (Tablica 2.) (42).

| <b>Tablica 2. Karakteristike valjkaste i centrifugalne pumpe.</b> |                                       |  |
|---|---------------------------------------|--|
|   | <b>Valjkasta pumpa</b>                | <b>Centrifugalna pumpa</b>                           |
| <b>Opis</b>   | Okluzivna                             | Neokluzivna  |
|   | Neovisno o naknadnom opterećenju      | Osjetljivo na naknadno opterećenje                   |
| <b>Prednosti</b>  | Glavni volumen je mali                | Prijenosni   |
|   | Jeftino                               | Podešavanje pozitivnog i negativnog tlaka je sigurno |
|   | Nema povratnog toka                   | Prilagođava se venskom povratku                      |
|   | Plitki sinusni puls                   | Ne dolazi do masivne zračne embolije                 |
| <b>Nedostaci</b>  | Pretjerani pozitivni i negativni tlak | Velika zapremina volumena                            |
|   | Rizik od pucanja                      | Mjerač protoka je neophodan                          |
|   | Rizik od pucanja cijevi               | Potencijalni pasivni povratni tok                    |
|   | Rizik od masivne zračne embolije      | Veća cijena  |
|   | Potrebne prilagodbe okluzije          |  |
|   | Osjetljiv na nepažljiv rad            |  |

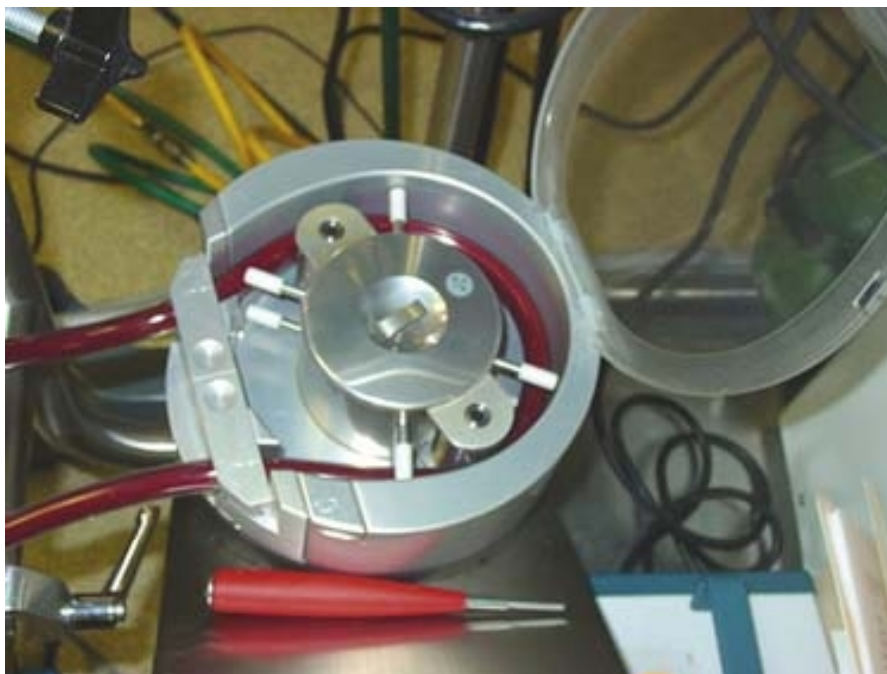
**Tablica 2.** Karakteristike valjkaste i centrifugalne pumpe. (Izvor: Lafç G, Budak AB, Yener AÜ, Cicek OF. Use of extracorporeal membrane oxygenation in adults. Heart Lung Circ. 2014;23(1):10-23)

Centrifugalne pumpe (**Slika 7.**) sastoje se od rotora s lopaticama ili ugniježđenih i glatkih plastičnih stožaca, koji se okreću brzinom do 3000 okretaja u minuti i putem centrifugalne sile tjeraju krv (44). Centrifugalne krvne pumpe generiraju do 900mmHg prednjeg tlaka, ali samo 400-500mmHg negativnog tlaka, što rezultira manjom kavitacijom i nastankom zračnih mikroembolija. Protok krvi ovisi o preopterećenju i naknadnom opterećenju. Stoga ne postoji fiksni odnos između brzine pumpe i protoka krvi, što zahtijeva prisutnost mjerača protoka unutar kruga. Oni mogu pumpati male količine zraka, ali postaju "deprimirani" ako više od 30-50ml zraka uđe u krvnu komoru. Ako se pojavi hipovolemija, ulazni tlak postaje negativniji, brzina pumpe ostaje konstantna, međutim brzina protoka krvi je smanjena. Tijekom VA ECMO-a promjena sistemskog vaskularnog otpora mijenja odnos između protoka u krugu i brzine pumpe. Ukoliko dođe do kvara pumpe tijekom VA ECMO-a to može rezultirati obrnutim protokom u krugu (31).



**Slika 7.** Centrifugalna pumpa za izvantjelesnu membransku oksigenaciju. (Izvor: Shankarraman V, Kocyildirim E, Olia SE, Kameneva MV, Dzadony RJ, Maul TM, et al. Biocompatibility Assessment of the CentriMag-Novalung Adult ECMO Circuit in a Model of Acute Pulmonary Hypertension. *ASAIO J.* 2014;60(4):429-35.)

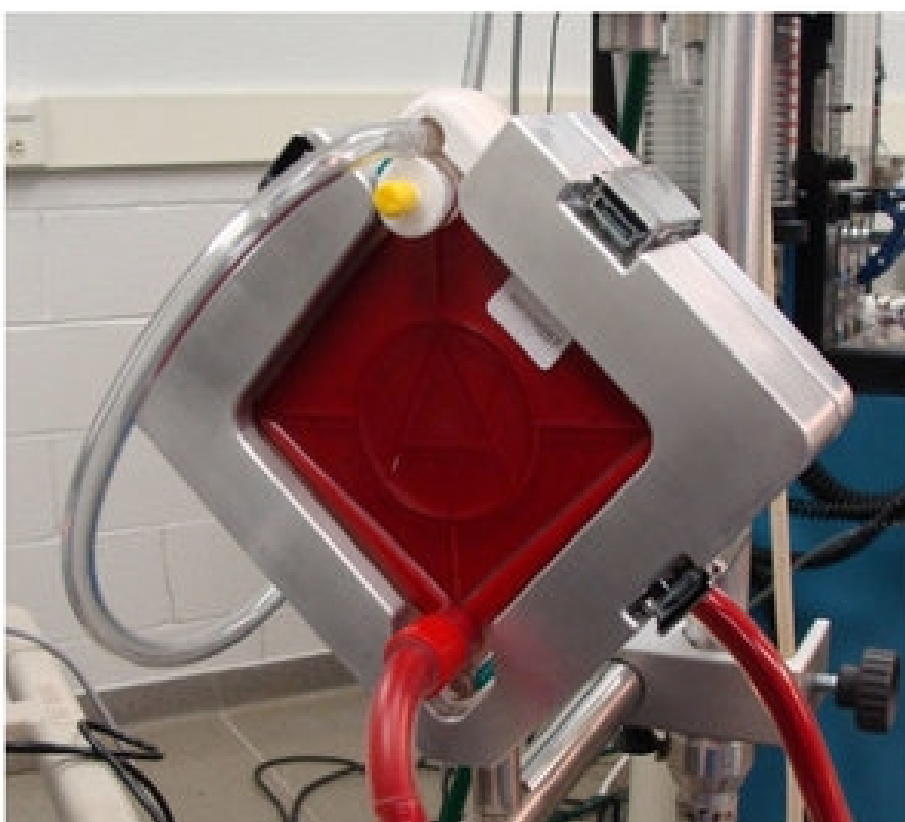
Pumpe s valjcima (**Slika 8.**) sastoje se od cijevi od 1/4 do 5/8 inča (unutarnjeg promjera), koju sabijaju dva valjka međusobno udaljena 180 stupnjeva unutar zakrivljenog kanala. Valjci rade kompresiju na cijevi gurajući krv, a brzina protoka ovisi o promjeru brzine rotacije cijevi, duljini kompresijskog kanala i udjelu kompresije. Valjkasta pumpa obično se koristi u kombinaciji s mjehurom ispunjenim krvlju smještenim između drenažne kanile i pumpe kako bi se omogućilo kontinuirano pumpanje unatoč promjenama u intravaskularnom efektivnom volumenu. Ako se pojavi hipovolemija, smanjuje se brzina pumpe, a time i protok krvi. Pumpe s valjcima neovisne su o naknadnom opterećenju i ukoliko dođe do značajne promjene u sistemskom vaskularnom otporu to neće utjecati na pumpanje krvi. Budući da je pokretačka sila drenaže u mjehur gravitacija, važno je da se pumpe s valjcima moraju držati ispod razine bolesnika, posebice pažnja se mora obratiti kod transporta bolesnika. Kod pumpi s valjcima postoji izravan odnos između brzine pumpanja i protoka krvi; stoga mjerač protoka nije potreban. Pumpe s valjcima su jeftinije, pouzdane, sigurnije s manjom zapreminom punjenja, a nedostaci su da mogu proizvesti visoke negativne tlakove i izbacivanje mikro čestica (46).



**Slika 8.** Pumpa s valjcima za izvantjelesnu membransku oksigenaciju. (Izvor: Comments Off on Extracorporeal Life Support. CRITICAL CARE. [Internet]. 2016 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://aneskey.com/extracorporeal-life-support-2/>)

### 2.3. Oksigenatori za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

ECMO oksigenatori (**Slika 9.**) obnašaju funkciju ljudskih pluća. Trenutno u upotrebi su tri tipa oksigenatora: membranski, mikroporozni membranski i oksigenator s mjehurićima. Istraživanja su pokazala da su membranski oksigenatori sigurniji od oksigenatora s mjehurićima jer postoji manja vjerojatnost za izbacivanjem čestica, stvaranjem zračne embolije, te su manje reaktivni na krvne elemente i omogućuju bolju kontrolu plinova u krvi (48, 49).



**Slika 9.** Oksigenator za izvantjelesnu membransku oksigenaciju. (Izvor: Shankarraman V, Kocyildirim E, Olia SE, Kameneva MV, Dzadony RJ, Maul TM, et al. Biocompatibility Assessment of the CentriMag-Novalung Adult ECMO Circuit in a Model of Acute Pulmonary Hypertension. *ASAIO J.* 2014;60(4):429-35)

Mikroporozni oksigenatori sprečavaju ulazak zraka u krv, olakšavaju prijenos O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub>. Da bi se dobila dovoljna količina O<sub>2</sub>, krv se mora proširiti kao tanki film na velikom području s visokim diferencijalnim tlakom plina. Područja turbulencije i

sekundarni protok povećavaju difuziju O<sub>2</sub> unutar krvi. Primjenom nemikroporoznih membranskih oksigenatora, O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> difundiraju kroz tanke silikonske membrane, dizajnirane u ovojnice (spiralni oksigenator), na taj način plin prolazi kroz omotač, a krv između namota zavojnice (50).

Istraživanja su pokazala da mikroporozni oksigenatori s vremenom postaju propusni za tekućinu te uzrokuju istjecanje plazme što dovodi do pogoršanja izmjene plinova i razvoja koagulopatije u usporedbi sa spiralnim oksigenatorima koji su demonstrirali svoju prednost kod produljenih perfuzija (51). Peek i sur. usporedili su silikonske membranske oksigenatore s polipropilenskim oksigenatorima sa šupljim vlaknima i zaključili da silikonski oksigenatori imaju izvrsnu biokompatibilnost i izdržljivost ali pružaju manje učinkovitu izmjenu plinova, veći je otpor na protok krvi i tehnički je zahtjevniji (12).

Početkom 2000-ih u kliničku praksu uvedena je nova generacija oksigenatora koja sadrži nemikroporozna šuplja vlakna izrađena od polimetilpentena (PMP). PMP oksigenatori kombiniraju izdržljivost silikonskih membrana s jednostavnošću upotrebe i učinkovitom izmjenom plinova. PMP oksigenatori imaju poboljšanu izdržljivost, smanjenu upotrebu krvnih produkata i učinkovitu izmjenu plinova u usporedbi s polipropilenskim oksigenatorima sa šupljim vlaknima (52).



## 2.4. Kanile i cijevi za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Odabir drenažnih i povratnih kanila ima utjecaj na učinkovitost primjene ECMO uređaja. Vrh drenažne kanile obično je najuži dio perfuzijskog sustava i odabirom neodgovarajućih katetera može dovesti do velikih razlika u tlakovima i turbulenciji. Da bi omogućio bolji protok kod primjene ECMO-a, preporuča se primjena kanile s većim promjerom. Prema iskustvu autora, za većinu odraslih drenažna kanila bi trebala biti od 23F<sup>1</sup> do 25F, a povratna kanila 17F do 21F (31).

Različite komponente aparata srce-pluća povezane su polivinilnim cijevima i polikarbonatnim konektorima. Polivinilkloridne medicinske cijevi univerzalno se koriste jer su fleksibilne, kompatibilne s krvlju, inertne, netoksične, glatke, prozirne i otporne na savijanje (53).

### Bioaktivni premazi komponenti izvantjelesnog kruga

Heparin ima svojstvo vezivanja za krvne površine svih komponenti izvantjelesnog kruga. Kako bi se smanjila potreba za sustavnom antikoagulacijom i pojavom mogućih komplikacija kod bolesnika na ECMO uređaju, koriste se bioaktivni premazi umjetnih površina, iako primjena istih nije u potpunosti dokazala učinkovitosti u smanjenju komplikacija (54).

Malo je dostupne literature o upotrebi ECMO uređaja obloženih heparinom kod bolesnika s antitijelima heparin/trombocitni faktor 4 (HPF 4), vrlo vjerojatno odgovornima za razvoj heparinom inducirane trombocitopenije tipa II (HIT II) (42). Koster i sur. sugerirali su da heparin imobiliziran na umjetnim površinama, niti inducira stvaranje HPF 4 protutijela, niti podržava njegovu postojanost (55). Naprotiv, Cruz i sur. istaknuli su vezu između razvoja HIT II i tromboembolijskih komplikacija u bolesnika sa srčanim stentovima obloženim heparinom (56).

Općenito, čini se da heparin kao tvar koja djeluje kasno u koagulacijskoj kaskadi nije idealan lijek za upotrebu u svrhu biokompatibilnosti, te je neizbježno da izravni kontakt između krvi i ECMO kruga dovodi do aktivacije upalnih medijatora (57). Iako većina istraživanja pokazuje da heparinske obloge smanjuju koncentracije

---

<sup>1</sup> Francuska ljestvica, francuski mjerac ili Charrièreov sustav obično se koriste za mjerenje veličine katetera.

upalnih biomarkera C3a i C5b-9 (57, 58), i dalje ne postoje dokazi da dovodi do smanjenja upalnog odgovora kod izvantjelesne cirkulacije (59).

### **Izmjenjivači topline**

Izmjenjivači topline kontroliraju tjelesnu temperaturu mijenjajući temperaturu krvi koja prolazi kroz perfuzijski krug. Hipotermija je poželjna u kardiovaskularnoj kirurgiji kako bi se smanjila potreba za kisikom. Plinovi su topljivi u hladnoj krvi pa brzo zagrijavanje hladne krvi može uzrokovati stvaranje mjehurića i zračne embolije (60).

Većina membranskih oksigenatora uključuje izmjenjivač topline kako bi se minimizirala zračna embolija. Kako bi se minimalizirala mogućnost denaturacije proteina plazme, krv se ne zagrijava iznad 40°C, a kako bi se spriječila zračna embolija, razlika u temperaturi tijela i perfuzijskog kruga ograničena je na 5 do 10°C (40).

## **2.5. Primjena antikoagulantne terapije kod izvantjelesne membranske oksigenacije**

Cilj antikoagulantne terapije kod ECMO-a je uspostavljanje ravnoteže između sprečavanja nastanka tromboze i opsežnog krvarenja. Unatoč napretku tehnologije i dalje nije dostupan niti jedan uređaj u kliničkoj praksi za točnu procjenu stupnja antikoagulacije. Još uvijek kod bolesnika na ECMO-u unatoč odgovarajućoj antikoagulantnoj terapiji dolazi do stvaranja makroskopskih ugrušaka koji uzrokuju niz tromboembolijskih događaja (61).

Pojavnost tromboembolijskih događaja povezuje se s dužinom boravka bolesnika na ECMO-u. Upravljanje i prevencija neželjenih događaja kod bolesnika na ECMO-u mora biti usmjerena na antikoagulantnu terapiju (40).

### **Aktivirano vrijeme zgrušavanja**

Najpopularniji test za praćenje i upravljanje heparinskom antikoagulacijom tijekom ECMO-a je aktivirano vrijeme zgrušavanja (*eng. activated clotting time, ACT*) (62). Na točnost ACT-a utječe: koagulopatija, zrelost koagulacijskog sustava, disfunkcija trombocita, stupanj hipotermije, razina antitrombina, dob, hemodilucija, veličina uzorka i temperatura (63, 64). Kod djece kontinuirana sinteza trombina može rezultirati neadekvatnom antikoagulacijom unatoč visokim razinama ACT-a (64, 65).

2002. godine istraživanja koja su provedena u ECMO neonatalnim centrima u Sjedinjenim Državama i Kanadi pokazala su da je najčešći raspon ACT bio 180-220 (66). Baird i sur. analizirali su ishode liječenja kod 604 pedijatrijskih bolesnika na ECMO uređaju i čimbenike koji su utjecali na ishod liječenja. Srednja vrijednost ACT raspona za sve bolesnike bio je  $227 \pm 50$ , 158–620, iako u tom istraživanju nisu navedena uniformna pravila za primjenu heparina. Na temelju dobivenih podataka autori su zaključili da povećana doza heparina povećava preživljenje (63).

Mjerenje koncentracije heparina je zlatni standard u upravljanju antikoagulacije (67) i pokazao je superiorne rezultate u usporedbi s ACT-om (66). Iako ACT može biti točniji u odnosu na cirkulirajući heparin nego aktivirano parcijalno tromboplastinsko vrijeme (APTV). Upotreba koncentracija heparina ima prednost jer

je manje osjetljiv na promjene u razinama trombocita i faktora zgrušavanja. Međutim, malo je istraživanja vezano za praćenje koncentracije heparina za antikoagulaciju kod primjene ECMO-a u usporedbi s ACT-om. I dalje ostaje da ciljane razine heparina nisu određene u literaturi (68).

### **Tromboelastogram**

Tromboelastogram (TEG) je uređaj koji mjeri viskoelastična svojstva krvi. Omogućuje stalne profile koagulacije gledajući ne samo na početak zgrušavanja, već i na snagu i otapanje ugruška, kao u slučaju fibrinolize (40).

### **Aktivirano parcijalno tromboplastinsko vrijeme**

APTV univerzalno je priznato kao standardno mjerilo za terapiju heparinom osim kada je potrebno visoko doziranje heparina kao kod kardiopulmonalne prenosnice. U situacijama koje ne zahtijevaju visoke doze heparina, kao što je ECMO, APTV je vrijedan alat za procjenu antikoagulacije (40). U usporedbi između laboratorijskog APTV-a i ACT-a, utvrđeno je da ACT slabo korelira s APTV-om (61).

Nadalje, kod bolesnika kojima je potrebna kontinuirana infuzija heparina, ACT nije mogao razlikovati niske i umjerene razine antikoagulacije u usporedbi s APTV-om (69). Razina APTV-a koji može spriječiti širenje tromba s heparinom zabilježen je kao 1,5 puta veći od bazalnog APTV-a (70).

Heparin i dalje ostaje prvi izbor za ECMO zbog brzog djelovanja, iako je reverzibilan, jeftin je, lako dostupan i dobro ga podnose pedijatrijski i odrasli bolesnici. Biološka aktivnost varira između 30 minuta do šest sati, ovisno o sistemskoj koncentraciji heparina. Doziranje heparina za odrasle i pedijatrijske bolesnike razlikuje se iz nekoliko razloga. Veći omjeri volumen/težina krvi u novorođenčadi u usporedbi s odraslima zahtijevaju veću dozu heparina (61). Brže stope metabolizma kod novorođenčadi i dojenčadi mogu omogućiti veće izlučivanje putem bubrega i stoga utjecati na doziranje heparina. Razlike između odraslih i pedijatrijskih bolesnika također mogu proizaći iz razlika u stvaranju trombina. Tradicionalno se doziranje

heparina kreće između 20 i 70 U/kg/h za ECMO. Većina se slaže da bi APTV trebao biti 1,5-2,5 puta veći od kontrolnog mjerenja (71).

Doziranje heparina za učinkovitu antikoagulaciju usko je povezano s koncentracijom antitrombina. Smanjeni odgovor na heparin naziva se rezistencijom na heparin, a za učinkovitu inhibiciju trombina potrebne su odgovarajuće razine antitrombina. Koster i sur. su kod bolesnika sa zatajenjem miokarda nakon akutne disekcije aorte tipa A koji su razvili akutnu trombocitopeniju izazvanu heparinom tijekom ECMO-a koristili bivalirudin, izravni inhibitor trombina i postigli su uspješne rezultate; manju incidenciju postoperativnog gubitka krvi i potrebe za transfuzijom (61, 72).

## 2.6. Upravljanje uređajem za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Postizanjem predloženog raspona antikoagulacije i kanilacije, ECMO započinje otpuštanjem stezaljke kruga i polaganim povećanjem protoka do ciljanog raspona. Mehanička ventilacija se nastavlja tijekom cijelog ECMO postupka s dvofaznim pozitivnim tlakom u dišnim putovima. Preporuke za postavke ventilatora za novorođenčad: frakcija inspiriranog kisika (*eng. Fraction of inspired oxygen, FiO<sub>2</sub>*): 21–30%, vršni inspiracijski tlak (*eng. Peak inspiratory pressure, PIP*): 15–25cmH<sub>2</sub>O, pozitivni tlak na kraju izdisaja (*eng. Positive end-expiratory pressure, PEEP*): 3–5cmH<sub>2</sub>O i brzina disanja 10–20 udisaja u minuti. Neki centri prilagođavaju PEEP vrijednosti na 12–14cmH<sub>2</sub>O i sugeriraju da se s time izbjegava mogućnost nastanka atelektaza i skraćuje trajanje primjene premosnice. Treba težiti zaštitnoj strategiji ventilacije pluća s niskim tlakom platoa i niskim plimnim volumenom, kao i niskim brzinama disanja, osim ukoliko se ne pokušava odvojiti od ECMO kruga. Kontrola parcijalnog ugljičnog dioksida (PCO<sub>2</sub>) treba biti putem ECMO protoka svježeg plina do oksigenatora, a ne mijenjanjem brzine disanja na respiratoru. S kardiološke točke gledišta, cilj bi trebao biti smanjiti upotrebu inotropa, odmoriti srce i osigurati da bolesnik nije u hipovolemiji. Međutim, često se primjenjuje održavanje niskih doza inotropa kako bi se osigurala kontraktilnost i pražnjenje lijeve klijetke (25, 34).

Cilj primjene ECMO-a je podržati i odmoriti srce i/ili pluća. Osnovna funkcija VA-ECMO-a u pružanju mehaničke potpore cirkulaciji je drenaža krvi iz venske cirkulacije, oksigenirati je i potom vratiti u arterijsku cirkulaciju pri fiziološkim perfuzijskim tlakovima. Iako ECMO vrlo dobro rasterećuje desnu klijetku, nije pokazao istu učinkovitost vezano za lijevu klijetku, iako je preopterećenje lijeve klijetke značajno manje sa smanjenim povratom iz pluća (35). Zbog toga su, osobito u slučaju teškog zatajenja srca, od iznimne važnosti pokušaji poboljšanja kontraktilnosti lijeve klijetke i smanjenje istegnutosti lijeve klijetke. Takve mjere trebaju uključivati inotropnu potporu i mogu uključivati IABP. Druga mogućnost u središnjem ECMO-u je umetanje lijevog ventrikularnog ventila za pražnjenje klijetke, spajanje linije u vensku liniju ECMO kruga. Kada je indicirana mehanička potpora cirkulaciji, preporuka je da se prvo razmotri primjena IABP postupaka zbog svoje

relativne neinvazivnosti. Budući da nepulsirajuća perfuzija koju pruža ECMO može uzrokovati neželjene događaje, vjeruje se da je kontrapulsacija IABP-a važna tijekom ECMO podrške za povećanje pulsacije, poboljšanje koronarne perfuzije i smanjenje ventrikularnog naknadnog opterećenja. Istraživanja su pokazala da bolesnici s IABP-om imaju značajno veću stopu preživljenja (25, 34). Zbog mogućih prednosti, preporučena je primjena IABP-a kod svih bolesnika na ECMO potpori. Međutim, primjena IABP u perifernom ECMO-u može biti štetna (34).

Izvantjelesna cirkulacija je nefiziološko stanje za ljudski organizam pa su patofiziološke reakcije neminovne, a što izvantjelesna cirkulacija dulje traje, štetne reakcije su i opsežnije. Kod većine bolesnika patofiziološke promjene nisu vidljive na kliničkoj razini, no kod određenog se broja bolesnika može razviti hemoliza, povećana propusnost kapilarnih membrana i sustavni upalni odgovor organizma, disbalans tekućina i elektrolita u organizmu, hipoksija ili anoksija tkiva, tromboza i embolizacija, anemija, gubitak trombocita i faktora zgrušavanja te jatrogene ozljede srca i krvnih žila tijekom postavljanja kanila za uspostavu sustava. Nezbrinute patofiziološke reakcije mogu rezultirati komplikacijama u poslijeoperacijskom razdoblju, u obliku oštećene funkcije pluća, bubrega, koagulopatija te neuroloških problema (4, 23, 34).

## 2.7. Komplikacije izvantjelesne membranske oksigenacije

ECMO prati bezbroj mogućih komplikacija (**Tablica 3.**). Komplikacije opasne po život su zračna embolija i veliki gubitak krvi (puknuće cijevi, odspajanje). Kod centrifugalnih pumpi može doći do masivne zračne embolije ukoliko se stvori veliki podtlak ( $\geq 100\text{mmHg}$ ) između drenažne kanile i glave pumpe. Drugi mogući uzrok zračne embolije je kavitacija. Gubitak ili smanjenje krvotoka česta je komplikacija obično uzrokovana hipovolemijom. Drugi uzroci su tamponada srca, tenzijski pneumotoraks i nepravilan položaj kanile (73).

Najčešća komplikacija koja može postati opasna po život je krvarenje, osobito u području mjesta kaniliranja i kirurškog zahvata. Manje uobičajene komplikacije su: gastrointestinalno, traheostomijsko i intrakranijalno krvarenje. Prema istraživanjima nije dokazano da je krvarenje proporcionalno stupnju koagulopatije i broju trombocita. Primjena ECMO-a dovodi do koagulopatije, a uzroci su: heparin, trombocitopenija, fibrinoliza, uremija i disfunkcija jetre (16). Kontinuirana aktivacija kontaktnog i fibrinolitičkog sustava putem kruga, kao i potrošnja i razrjeđivanje čimbenika događa se unutar nekoliko minuta od pokretanja ECMO-a (57). Robinson i sur. opisali su proces vezivanja trombocita na površinu fibrinogena i njegovu aktivaciju, što dovodi do agregacije i zgrušavanja trombocita (73).



| <b>Tablica 3. Učestalost raznih komplikacija u odraslih</b>   |                |
|---|----------------|
| Komplikacije  | Učestalost (%) |
| Krvni ugrušci (oksigenerator, pumpa, cijevi, hemofilter)  | 0.13 – 22      |
| Krvarenje (mjesto operacije, mjesto kanilacije, gastrointestinalno, intrakranijalno, traheostomija, hemoliza, diseminirana intravaskularna koagulacija) | 5.3 – 79       |
| Kvar pumpe  | 4.7 – 30       |
| Kvar oksigenatora   | 21 – 27        |
| Neurološke i mišićno-koštane komplikacije (intrakranijalno krvarenje, moždani udar, napadaji, encefalopatija)   | 10 – 33        |
| Ishemija ekstremiteta   | 13 – 25        |
| Infekcija   | 17 – 49        |
| Zatajenje bubrega   | 30 – 58        |
| Sindrom višestruke organske disfunkcije   | 10             |
| Problemi tijekom postavljanja kanile  | 0.8 – 8        |
| Hiperbilirubinemija   | 27             |

**Tablica 3.** Učestalost raznih komplikacija u odraslih. (Izvor: Lafç G, Budak AB, Yener AÜ, Cicek OF. Use of extracorporeal membrane oxygenation in adults. Heart Lung Circ. 2014;23(1):10-23)

### **Hematološke komplikacije**

Vjerojatnost pojavnosti hematoloških komplikacija ovisi o dužini primjene ECMO-a. Komplikacije koje mogu uslijediti su: diseminirana intravaskularna koagulacija i trombocitopenija/tromboza izazvana heparinom (74). Najkorisniji mehanizam za izbjegavanje krvarenja je prevencija. Stoga, potrebno je izbjegavati

invazivne ili kirurške zahvate. Preporučeni broj trombocita  $>150.000 \text{ mm}^{-3}$ , fibrinogen  $>200 \text{ mg/L}$  i protrombinski omjer  $<1,5$ . Ponekad je potrebno smanjiti ACT-e na 1,2-1,5, te privremeno obustaviti primjenu heparina ili razmotriti primjenu druge antikoagulantne terapije poput bivalirudina (55).

Istraživanja su pokazala da krugovi obloženi heparinom smanjuju traumu krvnih stanica (75), aktivaciju komplementa (58) i granulocita (76). Ukoliko se utvrdi fibrinoliza (povišeni D-dimeri dokazani tromboelastografijom), može se primijeniti antifibrinolitici (aminokapronska kiselina, aprotinin, traneksemična kiselina). Istraživanja su dokazala učinkovitost primjene antifibrinolitika u smanjenju incidencije krvarenja (77-79).

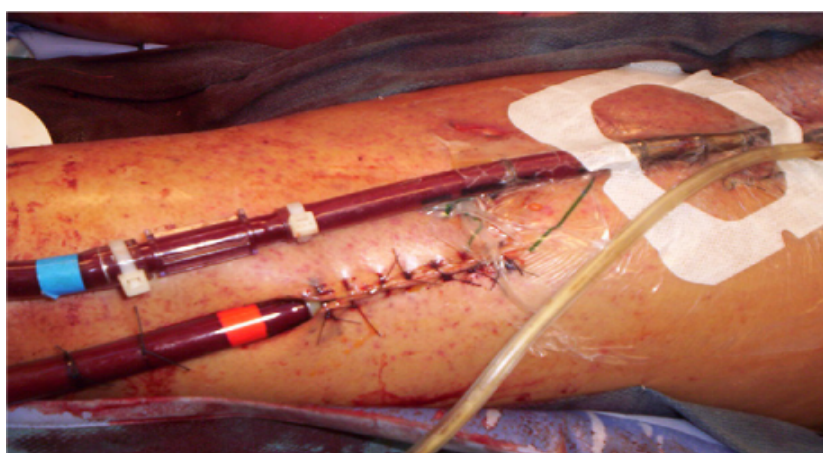
Dodatna komplikacija koja se može pojaviti kod primjene ECMO-a je hemoliza s incidencijom između 5% do 8% (80). Rijetka ali ozbiljna komplikacija je tromboembolija, uzrokovana stvaranjem tromba unutar izvantjelesnog kruga. Vjerojatnije je da će se pojaviti tromboembolija kod VA nego kod VV ECMO, jer se kod potonjeg oksigenirana krv vraća u sustavnu arterijsku cirkulaciju (23, 34, 35, 81).

### **Lokalne komplikacije**

Mogu se pojaviti lokalne komplikacije, osobito na mjestu periferne ugradnje VA-ECMO-a, od kojih je ishemija noge najzabrinjavajuća (**Slika 10.**). Kanila za silazni protok u površinsku femoralnu arteriju može se umetnuti tijekom perkutane kanilacije zajedničke femoralne arterije. U otvorenim postupcima, Dacron graft (**Slika 11.**) se može ušiti na zajedničku femoralnu arteriju i kanila se umetne u graft bez ugrožavanja arterije (34). Uslijed komplikacije teške ishemije noge fasciotomija se izvodi u 6% slučajeva (25).



**Slika 10.** Ishemija noge kod bolesnika na izvantjelesnoj membranskoj oksigenaciji.  
(Izvor: Lamb KM, Hirose H. Vascular Complications in Extracorporeal Membrane  
Oxygenation. Crit Care Clin. 2017;33(4):813-24)



**Slika 11.** Stvaranje T-grafta za izbjegavanje ishemije ekstremiteta—omogućuje  
protok krvi u ECMO kanilu bez ugrožavanja protoka krvi u ekstremitet. (Izvor:  
Calderon D, El-Banayosy A, Koerner MM, Reed AB, Aziz F. Modified T-Graft for  
Extracorporeal Membrane Oxygenation in a Patient with Small-Caliber Femoral  
Arteries. Tex Heart Inst J. 2015;42(6):537-9)

## **Infekcije**

Još jedna komplikacija kod bolesnika na ECMO-u je infekcija. Infekcija se češće javlja kod ECMO bolesnika nego kod drugih bolesnika u kirurškom JIL-u. Međutim, mjesta infekcije (krvotok, donji respiratorni trakt, urinarni trakt, rana) i uzročni mikroorganizmi (gram-negativni bacili i stafilokoki) su slični (83). Bolesnici koji pate od kardiogenog šoka nakon kardiotomije osjetljiviji su na nozokomijalne infekcije u usporedbi s ostalim bolesnicima na ECMO-u (84).

## **Hemodinamska nestabilnost**

Hemodinamska nestabilnost može se vidjeti u oba ECMO modaliteta s različitim uzrocima. VA ECMO potpuno podržava cirkulaciju, tako da hipotenzija tijekom VA ECMO podrazumijeva smanjen vaskularni tonus. VV ECMO nema izravan učinak na hemodinamiku, tako da hipotenzija tijekom VV ECMO može biti uzrokovana smanjenim vaskularnim tonusom, preopterećenjem ili srčanom disfunkcijom. Teška sepsa može dovesti do izrazite hipotenzije i venske desaturacije, unatoč punoj VA ECMO podršci. Tijekom VA ECMO može doći do proširenja LV-a, osobito u bolesnika s regurgitacijom mitralnog i aortnog zaliska. Komplikacija se često identificira prisutnošću alveolarnog edema na radiografiji prsnog koša ili edemske tekućine koja se pjenuje u endotrahealnom tubusu ubrzo nakon uvođenja ECMO-a. Povećanje protoka pumpe smanjuje protok krvi u plućima i može ublažiti ovaj problem. Ukoliko to nije moguće, lijevo srce se mora ventilirati, bilo kirurški ili u kateterskom laboratoriju, perkutanom atrijskom septostomijom (85).

Fatalne aritmije mogu se vidjeti zbog neravnoteže elektrolita ili hipoksemije. VA ECMO obično osigurava odgovarajuću  $\text{SaO}_2$ , no prisutnost značajnog izbacivanja lijeve klijetke i oslabljena funkcija pluća mogu rezultirati hipoksemijom. Ova se situacija najčešće događa kada se VA ECMO neprikladno koristi za liječenje pulmonalnog zatajenja ili kada se VA ECMO pravilno koristi za kardiopulmonalno zatajenje i kada se srčana funkcija oporavila. Najčešći uzrok hipoksemije tijekom VV ECMO je neadekvatan protok kruga. Ostali uzroci uključuju sepsu, neadekvatnu sedaciju, jatrogeno pregrijavanje, napadaje ili recirkulaciju (34).

## **Neurološke komplikacije**

Najčešća neurološka komplikacija povezana s ECMO-om je intrakranijalno krvarenje. Prijavljena incidencija varira između 1,6% i 18,9% (18, 32). Druge neurološke komplikacije su ishemijski moždani udar i napadaji. Do intrakranijalnog krvarenja i/ili ishemijskog moždanog udara dolazi zbog sistemske heparinizacije, trombocitopenije, povezivanja karotidne arterije i jugularne vene, koagulopatije ili sistemske hipertenzije.

Zatajenje bubrega još je jedna komplikacija koja nije neuobičajena. Oligurija se često viđa u ranim fazama ECMO-a. Akutna tubularna nekroza može zahtijevati hemofiltraciju ili hemodijalizu (18).

## 2.8. Odvikavanje od izvantjelesne membranske oksigenacije

Ne postoje standardizirane metode ili tehnike u pogledu odvikavanja bolesnika od ECMO uređaja. Preporuke kod VV ECMO-a nalažu da stvarni protok ECMO ne treba mijenjati da bi se procijenila nativna pulmonalna funkcija - to se radi promjenom protoka plina kroz ECMO krug. Oporavak plućne funkcije obično traje jedan do tri tjedna, ali ponekad i dulje. Znakovi oporavka plućne funkcije su:

- Progresivno povećanje  $SaO_2$  iznad  $SvO_2$ ,
- Poboljšanje  $SaO_2$  u zadanom protoku kruga ili smanjeni protok kruga potrebno za postizanje ciljnog  $SaO_2$ ,
- Poboljšanje plućne popustljivosti,
- Poboljšanje u radiološkom snimku prsnog koša (34).

Bolesnik se može odvojiti od ECMO-a ukoliko se izmjena plinova može održavati s niskom  $FiO_2$  na oksigenatoru (<30%) i niskim brzinama protoka svježeg plina u protoku kruga (<2L/min) pod uvjetom da su na mehaničkoj ventilaciji brzina disanja i PEEP postavljeni <25 udisaja/min, odnosno <15cmH<sub>2</sub>O (34).

Čimbenici koji ukazuju na srčani oporavak i potencijalno odvikavanje od VA ECMO-a su:

1. Porast krvnog tlaka, potreba za primjenom vazodilatatora, povratak pulsacije na valni oblik arterijskog tlaka,
2. Pad  $pO_2$  u desnoj radijalnoj arterijskoj liniji ukazuje na to da se više krvi pumpa kroz srce koje je slabije oksigenirano,
3. Smanjenje središnjeg venskog i/ili plućnog tlaka (34).

Procjena srčane funkcije provodi se smanjenjem protoka kruga u ECMO-u što zahtijeva promjene u postavkama protoka plinova u ventilatoru i oksigenatoru, te povećanu dozu heparina zbog povećanog rizika od staze i tromboze. Transezofagealna ehokardiografija (TEE) korisna je za procjenu stupnja oporavka srca i procjenu odgovora na smanjene brzine protoka. Bolesnici se obično odviknu od ECMO-a na skromnu inotropnu potporu. Planirani inotropni režim treba započeti nekoliko sati prije odvikavanja. Protoci kruga polako se smanjuju na 1–2 L/min. Ukoliko je bolesnik

stabilan nakon 1-2 h minimalne potpore ili bez potpore, bolesnik se može dekanilirati u kirurškom okruženju. Bolesnici s ejakcijskom frakcijom <30% nakon dva dana ECMO-a imaju značajno manju vjerojatnost da će se uspješno odviknuti nego oni s ejakcijskom frakcijom >30% (8% prema 54%,  $p < 0,001$ ) (26).

### 3. Rasprava

Kod bolesnika s pulmonalnim i/ili srčanim zatajenjem ECMO pruža podršku od nekoliko dana do tjedana (86). Prema podacima registra ELSO-a za period od 1990. do 2020. godine, ECMO je bio je indiciran u više od 133 000 slučajeva, s više od 61 000 implementacija kod odraslih bolesnika (87). U Sjedinjenim Američkim Državama primjena ECMO kod odraslih bolesnika povećala se za 433% od 2006. do 2011. godine (88).

Bolest uzrokovana korona virusom SARS-CoV-2 (COVID-19) (87), do siječnja 2021. godine dovela je do više od 98 milijuna potvrđenih slučajeva i više od 2,1 milijuna smrtnih slučajeva diljem svijeta (89). Otprilike 15 do 30% bolesnika zaraženih COVID-19 razvije ARDS (90). Smjernice Svjetske zdravstvene organizacije za liječenje kod sumnje na COVID-19 preporučuju započinjanje VV ECMO-a kod bolesnika sa ARDS povezanog s COVID-19 (91).

Još uvijek ne postoje jasne smjernice u postupanju u s vezi ovlastima i odgovornostima medicinskog osoblja koje liječi bolesnike na ECMO. Tradicionalno, ECMO liječenje provodi multidisciplinarni tim koji uključuje kombinaciju liječnika (kirurzi, intenzivisti), medicinskih sestara, perfuzionista ili drugih stručnjaka za ECMO (92). Potrebe bolesnika rješavaju se zajedničkim djelovanjem u kojem članovi tima djeluju u skladu sa svojim sposobnostima. Međutim, od vitalne je važnosti da se svaki postupak izvodi u skladu sa standardima prakse svake profesije.



### **3.1. Uloga medicinskih sestara**

Posljednjih je godina porast upotrebe ECMO-a dovelo je do integracije i veće uključenosti medicinskog osoblja. Iako pretraživanjem literature za opis odgovornosti različitih medicinskih ECMO stručnjaka (liječnici, medicinske sestre i perfuzionisti) u liječenju ECMO-a rezultira s malo dostupnih članaka. Temeljem primjera smjernica za liječenjem bolesnika na ECMO-u Ministarstva zdravstva Novog Zelanda (93), može se primijetiti da nikakve specifične smjernice za medicinske sestre nisu bile uključene u njihov model usluge. Uključivanje medicinskih sestara u zbrinjavanje bolesnika na ECMO-u zahtijeva formuliranje jasnih politika u vezi s ovlastima i odgovornostima medicinskog osoblja, uspostavljanje profesionalnih standarda i mjera kvalitete, definiranje obrazovnih sadržaja koje će pružati relevantne institucije za osposobljavanje i kontinuirano praćenje usklađenosti sa standardima kvalitete (94).

#### **Odgovornosti medicinskih sestara i perfuzionista**

Odgovornosti medicinskih sestara i perfuzionista se uveliko razlikuju od jedne zemlje do druge, zakonske regulacije unutar svake države i odluke vodstva klinika i bolnica koje određuju djelokruga rada medicinskim sestrama i perfuzionistima. Perfuzionisti imaju izvrsno znanje o ljudskoj anatomiji i fiziologiji, tehničko iskustvo i razumijevanje tehnologije ECMO uređaja. Medicinske sestre razumiju fiziološko i patofiziološko stanje bolesnika. Medicinske sestre također imaju znanja o eventualnim tehničkim problemima koji se mogu pojaviti kod primjene ECMO uređaja. Trenutno, opseg prakse i podjelu odgovornosti između medicinskih sestara i perfuzionista određuje uprava svake bolnice i stoga se može uveliko razlikovati. Neke bolnice imaju dostupne perfuzioniste koji mogu obaviti veliki dio posla dok druge bolnice uopće nemaju perfuzioniste, tada medicinske sestre obavljaju najveći dio posla. U tim slučajevima perfuzionisti su dostupni samo u hitnim slučajevima (94). Dostupnost se mora imati na umu, i iako se medicinski centri razlikuju, većina centara ima više medicinskih sestara nego perfuzionista. U oba slučaja, medicinske sestre i liječnici djeluju kao integrirani tim sa zajedničkom obukom, gdje jedan stručnjak uči od drugoga i surađuju (93, 94).

Treba naglasiti da u Republici Hrvatskoj perfuzionisti su svojom bazičnom edukacijom medicinske sestre, a njihovo daljnje usavršavanje kroz kontinuirane tečajeve i radionice omogućava im višu razinu znanja i vještina. Isto tako njihovo kontinuirano usavršavanje nije u sklopu formalnih edukacija niti specijalizacija, a u nedostatku formalnog obrazovanja ne postoji jasno definiran rang kompetencija koje su priznate unutar zakonskih regulatornih tijela u Republici Hrvatskoj. U porastu upotrebe ECMO-a treba potaknuti potrebu za obukom specijaliziranih timova. Tečajevi za ECMO moraju biti usmjereni liječnicima, medicinskim sestrama i perfuzionistima koji skrbe za bolesnike na ECMO-u. Edukacijski tečajevi moraju jasno identificirati djelokruga rada, ovlasti i odgovornosti medicinskih sestara, pružati odgovarajuće edukativne sadržaje za različite dostupne programe osposobljavanja, definirati mjerenje kvalitete liječenja i pružanje zdravstvene skrbi te provođenje stručnih smjernica.

### **3.2. Odgovornosti medicinskih sestara kod bolesnika na izvantjelesnoj membranskoj oksigenaciji**

ECMO obično provodi multidisciplinarni tim koji se sastoji od liječnika, medicinskih sestara i perfuzionista (92). Odgovornosti mogu varirati ovisno o tome koliko je ljudi uključeno, a trenutno ne postoji globalni dogovor o optimalnom omjeru. Prema smjernicama ELSO-a, kod liječenja bolesnika na ECMO-u treba koristiti model jedna medicinska sestra na jednog bolesnika (5). Dok autori, Priest i Johnson smatraju da je model 2:1 više primjenjiv, s jednom medicinskom sestrom zaduženom za pružanje zdravstvene skrbi i jednim ECMO tehničarom (medicinska sestra ili perfuzionist) koji brine o ECMO uređaju (95, 96). U kliničkim okruženjima u kojima se koristi ECMO, kao u JIL-u, medicinske sestre trebale bi biti posebno osposobljene za obavljanje oba zadatka: pružanje zdravstvene skrbi i upravljanje ECMO uređajem (97).

Ciljevi zdravstvene njege obuhvaćaju optimiziranje ishoda za bolesnike, a na postizanje ciljeva utječe:

- Procjena, planiranje, intervencija i evaluacija,
- Stabilna oksigenacija, hemodinamska funkcija i antikoagulacija,
- Postupanje po smjernicama u izvanrednim situacijama,
- Prevencija i/ili smanjenje broja ili težine komplikacija (98).

Medicinske sestre procjenjuju i interveniraju kod pojava komplikacija u neurološkom, pulmonalnom, hemodinamskom, urološkom i dermatološkom segmentu. Skrb za bolesnika u tijeku izvantjelesne membranske oksigenacije podrazumijeva održavanje hemodinamske stabilnosti, kontrolu koagulacijskog statusa, kontrolu plućne funkcije, te nadzor i regulaciju nutritivnog statusa. ECMO je invazivna procedura, zadire u integritet krvnih žila i fiziološka događanja u organizmu i tijekom primjene može doći do brojnih komplikacija koje se mogu podijeliti u tri glavne kategorije: krvarenje, komplikacije vezane uz sam sustav i neurološke komplikacije (98).

Priest i sur. smatraju da je medicinska sestra u ECMO timu prvenstveno odgovorna za zbrinjavanje bolesnika, a ne za upravljanje ECMO uređajem. Međutim, odgovornosti medicinskih sestara također mogu uključivati testiranje cirkulacije krvi

(procjena krvnih ugrušaka i mjehurića zraka) i primjena infuzija. Okolnosti mogu zahtijevati da medicinske sestre poduzmu radnje poput zaustavljanja ECMO uređaja i pozivanja u pomoć u slučajevima ulaska arterijskog ili venskog zraka, slučajne dekanilacije ili velike blokade cirkulacije krvi u ECMO uređaju. Uloga medicinskih sestara kod ECMO-a također može uključivati umjeravanje protoka plina i udjela udahnutog kisika ili uređaja za protok krvi u skladu s protokolom (95).

Prema Mossadeghu, medicinska sestra je zadužena za detaljni fizikalni pregled, monitoriranje vitalnih znakova; fizičku procjenu u kojoj se bilježe znakovi hipoperfuzije i dijaforeze; procjena neurološkog statusa; te pregled intravenskih katetera, zavoja i uređaja za ventilaciju i infuziju (99). Prema Bonanno i sur. Medicinska sestra nadzire ECMO uređaj i procjenjuje moguće rizike povezane s uređajem. To uključuje provjere strujnog kruga (utikač za napajanje uređaja, dodatni prekidač za uključivanje/isključivanje), tekućine, zraka i kisika, kanila, cijevi, indikatora aktivnosti miješalice plina, alarma, dostupnosti i spremnosti pribora za hitno oživljavanje, tlakove (venski tlak, arterijski tlak i razlike tlaka kroz oksigenator) (100). Osim navedenog, Mossadegh i sur. navode da medicinska sestra zbrinjava bolesnika na ECMO-u što uključuje svu uobičajenu potrebnu njegu (upravljanje boli, prevencija infekcija i njega kože) kako bi se spriječile komplikacije i održali pozitivni ishodi. Medicinske sestre su ključne u sprječavanju komplikacija kao što su krvarenje, stvaranje ugrušaka, hemoliza i dekanilacija (99). Prema autorima Dalia i sur. Medicinska sestra je zadužena za hemokulture, procjenu zjenica i dokumentaciju svaka 2 sata, dnevne odmore za sedaciju i dnevne promjene sterilnih zavoja na mjestima kanilacije. Hitni slučajevi zahtijevaju da medicinske sestre obavijeste liječnika u slučajevima krvarenja, zraka u krugu, slučajne dekanilacije i smrtonosnih aritmija ili kardiopulmonalne reanimacije (101).

Bolesnicima kojima je potrebna izvantjelesna membranska oksigenacija za bilo koju etiologiju gotovo se uvijek zbrinjavaju u JIL-u i zahtijevaju 24 satnu dnevnu njegu. Medicinske sestre pružaju opsežnu, holističku skrb, većinom usmjerenu na tradicionalnu kliničku skrb s dodatnim implikacijama ECMO terapije, koja zahtijeva dodatnu specijaliziranu obuku. Nepredvidivost i veliki zahtjevi za resursima ECMO bolesnika, osobito pri započinjanju terapije mogu zahtijevati neobične i inovativne modele, koji se oslanjaju na fleksibilnost, dodatne sate i smjene kako bi se zadovoljile

individualne potrebe bolesnika i radilišta. Medicinske sestre su ključne za isporuku optimalne zdravstvene skrbi i igraju sastavnu ulogu u skrbi za bolesnike u JIL-u. Istraživanja su utvrdila da medicinske sestre smanjuju rizik od intrahospitalne smrtnosti od 14 do 36% (102, 103).

### **Upravljanje mjestom postavljanja kanile**

Sestrinska njega treba uključivati praćenje ECMO kruga budući da su medicinske sestre i pridruženo osoblje, poput respiratornih terapeuta i perfuzionista, stalno uz krevet bolesnika. ECMO kanile zahtijevaju istu, ako ne i veću pozornost koju bi zahtijevao bilo koji periferni ili središnji venski kateter, uključujući procjenu eritema, infekcije, primjerenosti pričvršćivanja i cjelovitosti zavoja. Vrlo je važno pratiti fiksaciju ECMO kanile. Početno postavljanje ECMO kanile obično se potvrđuje ehokardiografijom, a položaj ponovno potvrđuje radiografijom. Stoga je osiguravanje sigurnosti i stabilnosti kanile rutinskom i ponovljenom fizičkom procjenom sastavnio, budući da krivo postavljene kanile, labavi šavovi ili udaljeni remeni za vezivanje mogu dovesti do specifičnih komplikacija kao što su neadekvatni protok ili pomicanje kanile. Osobito je važno da medicinske sestre i svi članovi tima vode računa o cjelovitosti pumpe, budući da pogrešno postavljanje kanila ili hipovolemija mogu dovesti do ozljeda organa. Pojava tromba u pumpi ili oksigenatoru može se prepoznati po vidljivom trombu, sve većem padu tlaka u oksigenatoru ili niskom  $pCO_2$  (104).

Poremećaj cirkulacijskog protoka kao posljedica ECMO-a može rezultirati ishemijskom ekstremiteta. Stoga je važno nadzirati udove, osobito one udaljene od mjesta kaniliranja. Klinička prosudba, palpacija pulsa i Doppler sonografija krvnih žila udova učinkoviti su alati za tu svrhu. Drugi suvremeni alat za praćenje oksigenacije tkiva u donjim ekstremitetima kod bolesnika s ECMO je spektroskopija. Često se postavljaju distalni perfuzijski kateteri kako bi pomogli u prevenciji ili liječenju ishemije distalnog uda. Prilikom umetanja može doći do perforacije žile; no, simptomi se možda neće pojaviti odmah. Najozbiljnija komplikacija je retroperitonealni hematoma; ali, također je moguće značajno lokalno krvarenje na mjestu umetanja. Neophodna je procjena mjesta kaniliranja, abdomena, bokova i ingvinalnih područja na potkožno krvarenje, hipotenziju i anemiju koja se akutno pogoršava. Dodatni nalazi

procjene mogu uključivati ispupčenje ili oteklinu na mjestu umetanja, što najviše odgovara pseudoaneurizmi. Blagi insercijski hematomi mogu se ublažiti i kontrolirati primjenom ručnog pritiska, uz naknadno praćenje protoka i distalnog pulsa (105).

Infekcija je također povezan rizik s ECMO terapijom i povezana je s većom vjerojatnost za smrtnim ishodom. U jednoj studiji, bolesnici na ECMO-u imali su ukupnu smrtnost od 68,3%. Od toga 75,6% u bolesnika s infekcijama i 67,1% u bolesnika bez infekcija. Korištenje steroida kod bolesnika sa ARDS-om, insuficijencijom nadbubrežne žlijezde ili primjenom višestrukih transfuzija krvi mogu utjecati na pojavu infekcije. Sastavni dio rada kod bolesnika na ECMO-u je rutinski pregled i njega svih invazivnih vodova i provedba dekolonizacije ECMO kanila, kao što su antimikrobni pilinzi i okluzivni zavoji (106).

### **Očuvanje integriteta kože**

Dekubitusi stečeni u bolnici često se viđaju na odjelima JIL-a i nastavljaju biti značajan financijski teret unutar zdravstvenog sustava. Dekubitusi mogu uzrokovati povećanje duljine boravka u bolnici za čak 11 dana (107). Procjenjuje se da je 3,6% svih bolesnika unutar odjela za intenzivnu njegu odraslih imaju produljeni boravak u bolnici uslijed dekubitusa. U okruženju akutne skrbi, utvrđen je raspon od 0,4 do 12% (108). Unutar kardiokirurških bolesnika na ECMO-u javlja se incidencija dekubitusa čak do 29,5% (107).

Posljedice dekubitusa često uključuju infekciju koja dovodi do sepse, pojačane boli, invaliditeta, a ponekad i smrti. Iako su identificirani opći čimbenici rizika kao što su dob, nepokretnost, loša uhranjenost, izmijenjena osjetilna percepcija, vlaga, dijabetes melitus, krvožilne bolesti i drugi komorbiditeti, bolesnici na ECMO-u imaju povećan rizik od razvoja dekubitusa zbog višestrukih čimbenika. Osobe koje su podvrgnute kardiorakalnim operacijama imaju veću vjerojatnost za nastanak dekubitusa ukoliko je produljeno vrijeme primjene kardiopulmonalne prenosnice, vazopresorske terapije i duža izloženost nižoj tjelesnoj temperaturi dok su u operacijskoj sali (107).

Mogućnost pojave hemodinamske nestabilnosti povezane s okretanjem bolesnika, može spriječiti odgovarajuće preventivne mjere, što dovodi do veće

učestalosti oštećenja kože. Medicinske sestre mogu osjetiti strah povezan s rutinskim okretanjem zbog mogućnosti slučajne dekanilacije ili rizika od pogoršanja hemodinamske nestabilnosti. Visoke doze višestrukih vazopresora mogu dovesti do smanjene periferne perfuzije, a također se pokazalo da povećavaju rizik od nastanka dekubitusa. Ovi čimbenici rizika čine se ključnim za uspostavljanje posebnog režima za njegu kože. Bolesnici s rizikom od nastanka dekubitusa identificiraju se pomoću standardiziranog alata za provjeru rizika kao što je Braden ljestvica i na temelju te procjene provode se intervencije za njegu kože. Bolesnicima s rezultatom na Braden ljestvici od  $\leq 14$  (umjeren do visok rizik) treba se posvetiti veća pažnja za očuvanje integriteta kože (108).

Bolesnike je potrebno okretati i postavljati u novi položaj svaka 2 h prema podnošljivosti. Kod bolesnika koji ne podnose okretanje (hemodinamski nestabilni na ECMO-u), mogu se koristiti kreveti za rotaciju i preraspodjelu pritiska koji su se pokazali vrlo učinkovitim u smanjenju nastanka dekubitusa (109). Ljepljivi zavoji od silikonskog gela trebaju se koristiti kada je to moguće i mogu se nanositi na sakrum, laktove i pete. Također se mogu koristiti specijalizirane čizme za zaštitu pete ako su dostupne. Status prehrane također ima značajan utjecaj na sposobnost tijela da zacijeli rane. Zbog toga su dijetetičari bitni dio tima za liječenje kako bi osigurali da ti bolesnici dobiju odgovarajuću prehranu kako bi se spriječilo oštećenje kože i pospješilo zacjeljivanje. Postoji više čimbenika koji doprinose povećanom riziku od nastanka dekubitusa kod ove populacije bolesnika. Edukacija osoblja, podizanje svijesti i motivacija ključni su za provođenje odgovarajućih mjera za njegu kože kod bolesnika na ECMO-u (110).

### **Rana mobilnost i fizikalna rehabilitacija**

Pokazalo se da rana fizikalna rehabilitacija i mobilnost primijenjena kod bolesnika na ECMO-u značajno poboljšavaju ishode, uključujući smanjenje duljine boravka u JIL-u i bolnici, smanjenu stopu delirija, kraće trajanje mehaničke ventilacije (92, 111).

Unatoč očitj važnosti rane mobilnosti kod bolesnika na ECMO-u, postoje ograničenja, posebice kod hemodinamske nestabilnosti. Prvih 24-48 sati nakon

početka ECMO-a obično su najkritičniji i često ne dopuštaju agresivnu fizikalnu terapiju bez obzira na vrstu ECMO-a. Većina bolesnika tijekom tog vremena zahtijeva maksimalnu količinu ventilacijske i cirkulacijske potpore. Podobnost za fizikalnu terapiju temelji se na hemodinamskoj stabilnosti i stupnju mehaničke i farmakološke potpore. ECMO kanile s dva lumena u jednoj žili, omogućuje bolesnicima da lakše sudjeluju u ranoj mobilnosti. Optimalnije je za kretanje i manja je vjerojatnost za rizikom od slučajne dekanilacije. Međutim, nedavno je došlo do značajnog poticanja na mobilizaciju svih vrsta ECMO bolesnika, bez obzira na to je li riječ o bolesnicima koji čekaju transplantaciju ili bolesnicima kod kojih se očekuje oporavak, unatoč mjestu i vrsti kanilacije. Rana mobilizacija se pokazala da poboljšava ishode bez obzira na razinu fizikalne terapije koju bolesnik može tolerirati, bilo da je riječ o pasivnom rasponu pokreta ili aktivnom kretanju u krevetu (92).

Tipično, bolesnici s VV-ECMO su stabilniji od bolesnika s VA-ECMO. Mobilnost je najzahtjevnija kod bolesnika na VA-ECMO s bi-femoralnom kanilacijom. Prepreke za ranu mobilizaciju najčešće su bili strah od slučajne dekanilacije, rizik od hemodinamske nestabilnosti i nedostatak obuke u području fizikalne rehabilitacije. Mnoge ustanove koje imaju uspostavljen ECMO program razvile su namjenski multidisciplinarni tim visoko obučen za započinjanje fizikalne terapija za bolesnike na ECMO-u. Ti timovi obično uključuju fizikalnog terapeuta, jednu do dvije medicinske sestre za intenzivnu njegu, perfuzionista ili respiratornog terapeuta i liječnika. Sveučilište Maryland razvilo je protokol za početak ECMO fizikalne terapije. Početni probir sastoji se od dva dijela: medicinskog probira i procjene fizikalne terapije. Kriteriji medicinskog pregleda uključuju procjenu hemodinamske stabilnosti, koagulopatiju, ECMO protoke i položaja kanilacije. Procjena fizikalne terapije uključuje vitalne znakove, procjenu mentalnog statusa, ECMO protok i dokumentiranje položaja kanile. Ukoliko su obje procjene zadovoljavajuće tada bolesnik može započeti s fizikalnom terapijom, aktivnostima u krevetu/pokretljivost u krevetu kao što su pasivni raspon pokreta i trening otpora. Ukoliko bolesnici toleriraju te aktivnosti napreduje se do aktivnosti uz rub kreveta, uključujući trening ravnoteže. Slijede prijelazi s sjedenja na stajanje, stajanje i aktivnosti prije hoda, te konačno kretanje (111). Preporuka je stabilizacija uređaja za



učvršćivanje ECMO kanila prije početka fizikalne terapije. Tijekom fizikalne terapije mogu se koristiti prilagodbe protoka plinova (92).

U gore navedenoj studiji, 167 od 254 bolesnika na ECMO-u bilo je uključeno u program rane mobilizacije. Stotinu trideset i četiri od tih bolesnika imalo je jednu femoralnu kanilu, dok je 66 pacijenata imalo dvije, od kojih su 44 bila na VA-ECMO, a 39 na VA-ECMO s bi-femoralnim kanilama. Samo pet bolesnika imalo je kateter s dva lumena. Tijekom fizikalne terapije zabilježena su samo tri manja neželjena događaja: jedna epizoda hipotenzije i dvije epizode aritmije. Od bolesnika koji su primali fizikalnu terapiju, 109 bolesnika je otpušteno iz bolnice, a 26 od tih bolesnika je otpušteno kući. Bolesnici na ECMO-u koji su imali fizikalnu terapiju bili su više mobilniji u usporedbi s bolesnicima koji su imali fizikalnu terapiju nakon dekanilacije (111).

### **Rano otkrivanje i prevencija sustavnih komplikacija**

Korištenje ECMO-a prati bezbroj mogućih komplikacija u višestrukim tjelesnim sustavima koji se smatraju izračunatim rizicima na početku terapije; međutim, bez toga smrtnost se može povećati u stanjima kao što je teško akutno zatajenje srca. Nedavna, međunarodna, randomizirana kontrolirana studija također sugerira potencijalnu korist od smrtnosti uz upotrebu ECMO-a u ARDS-u, međutim, utvrđeno je da nije statistički značajan (112).

Postoji obilje literature koja se bavi komplikacijama ECMO-a; ali, unatoč ovim rizicima, preživljenje do otpusta iz bolnice je veće od 50% (113, 114). U jednoj nedavnoj meta-analizi, najčešće prijavljene komplikacije povezane s ECMO-om uključuju akutno zatajivanje bubrega, krvarenje i infekciju (115).

### **Bubrežne i abdominalne komplikacije**

Incidencija akutnog zatajenja bubrega zabilježena je kod čak 80% bolesnika na ECMO-u i povezana je s četverostruko većim rizikom smrtnosti (116, 117). Preopterećenje tekućinom jedan je od glavnih razloga zbog kojeg se u ovoj populaciji započinje s nadomjesnom bubrežnom terapijom (117). Preopterećenje tekućinom neovisno je povezano s povećanom smrtnošću, produljenom duljinom boravka u

bolnici, produljenim vremenom mehaničke ventilacije i produljenim vremenom na ECMO-u (116, 117).

Ovo razmatranje može navesti da bi ranija primjena nadomjesne bubrežne terapije smanjila incidenciju ovih komorbiditeta; međutim, malo je podataka koji upućuju na to. Zapravo, istraživanja sugeriraju povećanu smrtnost kod bolesnika na ECMO-u koji zahtijevaju nadomjesnu bubrežnu terapiju. Kod bolesnika na ECMO-u koji pate od akutnog zatajenja bubrega, procjenjuje se da 46% preživjelih treba nadomjesnu bubrežnu terapiju nakon završetka ECMO-a (115).

Medicinska sestra može pomoći u ranoj identifikaciji akutnog zatajenja bubrega praćenjem izlučivanja urina; mjerenje strogog unosa i izlaza tekućine; procjena serijskih kemijskih vrijednosti seruma, posebno serumskog kreatinina i elektrolita; i identificiranje nalaza fizičkog pregleda koji su u skladu s preopterećenjem tekućinom. Abdominalni kompartment sindrom (ACS) poznata je komplikacija ECMO-a. To može biti uzrokovano velikim preopterećenjem tekućinom koje može biti neophodno za održavanje odgovarajućih protoka ECMO-a. Veliko preopterećenje tekućinom u održavanju ravnoteže povezano je s generaliziranim edemom, pleuralnim izljevima i ascitesom, za koje se zna da su uzroci ACS-a. ACS također može komprimirati femoralne kanile, čime se smanjuje učinkovitost ECMO terapije (105). Kliničke procjene značajne za praćenje ACS-a uključuju fizikalno praćenje abdomena: napetost, promjer, boju i mjerenje intraabdominalnog tlaka (110).

### **Hematološke komplikacije**

Krvarenje je najčešća komplikacija povezana s ECMO-om i javlja se oko 30% bolesnika (118). Do krvarenja može doći sekundarno nakon primarne ozljede kao što je trauma i operacija ili kao rezultat samog ECMO-a. Poremećaj membrane crvenih krvnih stanica dovodi do hemolize, što je česta komplikacija bolesnika na ECMO-u (104). Kontakt između krvi i ECMO kruga dovodi do aktivacije koagulacijske kaskade, utječući na fibrinolizu, stvaranje trombina i funkciju trombocita (118). Tromboza je uglavnom povezana s VA-ECMO i može se pojaviti u atriju, klijetkama, dubokim venama gornjih i donjih ekstremiteta, plućnoj vaskulaturi, mozgu ili ECMO krugu. Nefrakcionirani heparin lako se prati i lako je reverzibilan, što dopušta njegovu

čestu upotrebu u upravljanju hiperkoagulabilnošću kod bolesnika na ECMO-u. Unatoč jednostavnosti upotrebe, nefrakcionirani heparin se može povezati s komplikacijama kao što je trombocitopenija izazvana heparinom, što dodatno pridonosi krvarenju (119). Alternative poput varfarina, lepirudina ili argatrobana također se mogu koristiti umjesto nefrakcioniranog heparina za antikoagulaciju u slučaju HIT-a (118).

Bolesnici na ECMO-u predstavljaju jedinstven izazov za pružatelje usluga, koji moraju uravnotežiti hiperkoagulabilnost i koagulopatiju pažljivo, ali agresivnom primjenom transfuzije krvnih produkata i antikoagulansa. Jasno je da postoji niz razloga zbog kojih bolesnici na ECMO-u mogu krvariti, a krvarenje često rezultira u potrebi za transfuzijom. Veliki volumeni transfuzije neovisno su povezani s povećanom smrtnošću (104); unatoč tome, antikoagulacija ostaje standardna praksa u bolesnika koji su podvrgnuti ECMO-u zbog trombotičkih komplikacija (118). Uz značajan rizik od krvarenja i posljedičnu potrebu za antikoagulacijom, medicinske sestre mogu očekivati da redovita i ponovljena vađenja krvi, transfuzije i titracija antikoagulansa budu dio njihove svakodnevne prakse u skrbi za bolesnike na ECMO-u (110).

### **Infektivne komplikacije**

Prospektivno istraživanje identificiralo je približno 50% odraslih bolesnika u više od 1200 JIL-a diljem svijeta za koje se smatralo da su imali neki oblik infekcije, što je povećalo dvostruku stopu bolničke smrtnosti u odnosu na bolesnike bez infekcije (120). Literatura sugerira da je 13–26% prijavljene stope nozokomijalnih infekcija u odraslih na ECMO-u (osobito VA-ECMO) značajno povezano s produljenom duljinom boravaka u bolnici, trajanjem na ECMO-u (osobito >10 dana) i produljenom mehaničkom ventilacijom (106, 121-123).

U bolesnika na intenzivnoj njezi najčešće su respiratorne infekcije; međutim, s dodatkom ECMO-a, infekcije krvotoka postaju najistaknutije (120, 124). Infekcije koju se po drugom mjestu učestalosti su urinarne infekcije i infekcije na mjestu operacije (124).

Njega koju pruža specijalizirana medicinska sestra ostaje svojstveno važna u prevenciji infekcija, osobita pažnja je usmjerena na linije i mjesta kanilacije, higijeni

bolesnika i primjeni nepropusnih zavoja na mjestu kaniliranja. Protokoli za sprječavanje pneumonije stečene ventilatorom uobičajena su praksa i uključuju intervencije poput higijene ruku, njegu usne šupljine, kontrole tlaka u manšeti endotrahealne cijevi i kontrole sedacije (110).

### **Kardiopulmonalne komplikacije**

Kardiopulmonalne komplikacije često su posljedica velikog naknadnog opterećenja LV, osobito na produljenom ECMO-u (osobito VA-ECMO), što može dovesti do plućnog edema. Ostale srčane posljedice uključuju regurgitaciju aortnog zaliska, biventrikularno zatajenje i tromb u LV koji su liječeni raznim modalitetima uključujući IABP, perkutane i kirurške postupke za šantiranje povišenih tlakova u LV (119). Dodatne plućne komplikacije značajno povezane s ECMO-om uključuju plućno krvarenje, hemoragični plućni infarkt, plućne kalcifikacije i fibrinozni pleuritis (125).

Medicinska sestra može pomoći u ranom otkrivanju ovih komplikacija pažljivom procjenom potreba za vazopresorima i inotropima, endotrahealnog sekreta, tlakova na mehaničkoj ventilaciji i osiguravanjem dnevnih radiografija prsnog koša i ehokardiograma koji se ordiniraju sa strane vodećeg liječnika za praćenje napredovanja kardiopulmonalne bolesti (110).

### **Neurološke komplikacije**

Istraživanje koje je pratilo gotovo 24 000 bolesnika na ECMO-u otkrilo je 10,9% učestalosti gotovo jednake prevalencije napadaja, moždanog udara ili intrakranijalnog krvarenja. Ovi bolesnici koji su pretrpjeli intrakranijalno krvarenje dok su bili na ECMO-u imali su povećanu smrtnost, dok su bolesnici s moždanim udarom i intrakranijalnim krvarenjima podjednako pokazali povećanu duljinu boravka u bolnici i povećanu vjerojatnost da će zahtijevati smještaj u ustanovu za dugotrajnu akutnu skrb nakon otpusta (126).

Drugi izvori sugeriraju da do 50% bolesnika na ECMO-u pokazuju teške neurološke posljedice. Intrakranijalno krvarenje je identificirano u čak 40% bolesnika

koji nisu preživjeli ECMO, a trombotski događaji su identificirani u približno 15% ECMO slučajeva (118).

Klinička sumnja na moždani udar može biti prikrivena u bolesnika na ECMO-u s obzirom na mnoštvo drugih sustavnih ili metaboličkih poremećaja koji se obično susreću u tih bolesnika. Medicinska sestra postaje sastavni dio praćenja suptilnih neuroloških pokazatelja kao što su pupilometar i bispektralni indeks (110).

## 4. Zaključak

ECMO je invazivan i visoko rizičan postupak koji zahtijeva stručno obrazovanje svih članova koji zbrinjavaju bolesnike na ECMO-u (127-129). Osim ELSO smjernica, određeni autori, Van Kiersbilck i sur. preporučili su područja znanja koja bi medicinske sestre trebale posjedovati kako bi učinkovito i sigurno pružile skrb bolesnicima. Liječenje bolesnika na ECMO-u i upravljanje ECMO uređajima vrlo su složeni i zahtijevaju specifična znanje, vještinu i iskustvo. Općenito ECMO osposobljavanje pruža samo osnovno teoretsko znanje, koje je nedovoljno (130). Preporuka ELSO-a su: implementacije edukacijskih programa s teorijskim i praktičnim sadržajem, izdavanje ECMO licence te periodično obnavljanje licence, kako bi se osiguralo kontinuirano učenje novih spoznaja i smjernica koje bi bile usklađene s međunarodnim standardima (5).

Pandemija COVID-19 stvorila je potrebu za obukom velikog broja dodatnih ECMO tehničara, kao što su medicinske sestre, perfuzionisti i liječnici. Globalno, medicinske sestre i primalje čine približno 50% zdravstvenih radnika (131). Definiranje ovlasti i odgovornosti medicinskih sestara u zbrinjavanju bolesnika na ECMO-u omogućilo bi medicinskim sestrama da usavršavaju znanja i vještine te postanu proaktivne i ojačaju vodstvo u sestrinstvu, osiguravajući njihovu ulogu u razvoju politike zbrinjavanja bolesnika na ECMO-u. Definicije za opseg prakse, odgovornosti i obuku medicinskih sestara mogu imati implikacije na različita područja. Međutim, bolnice s malom učestalošću ECMO tretmana mogu imati ograničenu sposobnost prihvaćanja predloženih promjena u opsegu prakse, odgovornosti i obuke medicinskih sestara.

Kvalificirana i sigurna sestrinska skrb kod bolesnika na ECMO-u može se pružiti samo ako su medicinske sestre svjesne granica svojih profesionalnih ovlasti, opsega svoje prakse i odgovornosti unutar interdisciplinarnog ECMO tima. Štoviše, medicinske sestre diljem svijeta zahtijevaju odgovarajuću pripremu i mjere kvalitete utemeljene na dokazima kako bi mogle skrbiti za bolesnike na ECMO-u uređajima.

## 5. Literatura

1. Cavarocchi NC. Introduction to Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Crit Care Clin.* 2017;33(4):763-6.
2. Daily PO, Johnston GG, Simmons CJ, Moser KM. Surgical management of chronic pulmonary embolism: surgical treatment and late results. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1980;79(4):523–31.
3. Koutouzis M, Kolsrud O, Albertsson P, Matejka G, Grip L, Kjellman U. Percutaneous coronary intervention facilitated by extracorporeal membrane oxygenation support in a patient with cardiogenic shock. *Hellenic J Cardiol.* 2010;51(3):271–4.
4. Mesar M, Starčević A, Mrkonjić R. Zdravstvena njega kirurških bolesnika s procesom zdravstvene njege. Bjelovar: Veleučilište u Bjelovaru, 2020;74–92.
5. ELSO guidelines for ECMO centers. Extracorporeal Life Support Organization Web site. [Internet]. 2022 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <http://www.elsonet.org/>.
6. Zapol WM, Snider MT, Hill JD, Fallat RJ, Bartlett RH, Edmunds LH, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure. A randomized prospective study. *JAMA.* 1979;242(20):2193-6.
7. Stoney WS. Evolution of cardiopulmonary bypass. *Circulation.* 2009;119(21):2844-53.
8. Morris AH, Wallace CJ, Menlove RL, Clemmer TP, Orme JF Jr, Weaver LK, et al. Randomized clinical trial of pressure-controlled inverse ratio ventilation and extracorporeal CO<sub>2</sub> removal for adult respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 1994;149(2 Pt 1):295-305.
9. Bridge to Transplantation. TeachMeSurgery. [Internet]. 2022 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://teachmesurgery.com/cardiothoracic-surgery/general-principles/bridge-to-transplantation/>
10. Peek GJ, Clemens F, Elbourne D, Firmin R, Hardy P, Hibbert C, et al. CESAR: conventional ventilatory support vs extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure. *BMC Health Serv Res.* 2006;6:163.

11. Australia and New Zealand Extracorporeal Membrane Oxygenation (ANZ ECMO) Influenza Investigators, Davies A, Jones D, Bailey M, Beca J, Bellomo R, Blackwell N, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for 2009 Influenza A(H1N1) Acute Respiratory Distress Syndrome. *JAMA*. 2009;302(17):1888-95.
12. Peek GJ, Killer HM, Reeves R, Sosnowski AW, Firmin RK. Early experience with a polymethyl pentene oxygenator for adult extracorporeal life support. *ASAIO J*. 2002;48:480–2.
13. Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, McMullan DM, Conrad SA, Fortenberry JD, et al; ELSO member centers. Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J*. 2017;63(1):60-67.
14. Wong JK, Siow VS, Hirose H, Karbowski P, Miessau J, Baram M, et al. End organ recovery and survival with the QuadroxD oxygenator in adults on extracorporeal membrane oxygenation. *World J Cardiovasc Surg*. 2012;2:73–80.
15. Wong JK, Smith TN, Pitcher HT, Hirose H, Cavarocchi NC. Cerebral and lower limb near-infrared spectroscopy in adults on extracorporeal membrane oxygenation. *Artif Organs*. 2012;36(8):659-67.
16. Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S, Edwards M, Willcox T, Beca J. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory failure in adults: part 2-technical considerations. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2010;24(1):164–72.
17. Beiderlinden M, Eikermann M, Boes T, Breitbart C, Peters J. Treatment of severe acute respiratory distress syndrome: role of extracorporeal gas exchange. *Intensive Care Med*. 2006;32(10):1627–31.
18. Smedira NG, Moazami N, Golding CM, McCarthy PM, Hansen CA, Blackstone EH, et al. Clinical experience with 202 adults receiving extracorporeal membrane oxygenation for cardiac failure: survival at five years. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2001;122(1):92–102.
19. Schuerer DJ, Kolovos NS, Boyd KV, Coopersmith CM. Extracorporeal membrane oxygenation: current clinical practice, coding, and reimbursement. *Chest*. 2008;134(1):179–84.



20. Haines NM, Rycus PT, Zwischenberger JB, Bartlett RH, Undar A. Extracorporeal Life Support Registry Report 2008: neonatal and pediatric cardiac cases. *ASAIO J.* 2009;55(1):111-6.
21. Haile DT, Schears GJ. Optimal time for initiating extracorporeal membrane oxygenation. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009;13(3):146–53.
22. Bakhtiary F, Keller H, Dogan S, Dzemali O, Oezaslan F, Meininger D, et al. Venous arterial extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock: clinical experiences in 45 adult patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2008;135(2):382–8.
23. Ko WJ, Lin CY, Chen RJ, Wang SS, Lin FY, Chen YS. Extracorporeal membrane oxygenation support for adult postcardiotomy cardiogenic shock. *Ann Thorac Surg.* 2002;73(2):538–45.
24. Muehrcke DD, McCarthy PM, Stewart RW, Foster RC, Ogella DA, Borsh JA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy cardiogenic shock. *Ann Thorac Surg.* 1996;61(2): 684–91.
25. Doll N, Kiaii B, Borger M, Bucarius J, Krämer K, Schmitt DV, et al. Five-year results of 219 consecutive patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postoperative cardiogenic shock. *Ann Thorac Surg.* 2004;77(1):151-7.
26. Fiser SM, Tribble CG, Kaza AK, Long SM, Zacour RK, Kern JA, et al. When to discontinue extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy support. *Ann Thorac Surg.* 2001;71:210–4.
27. Rastan AJ, Dege A, Mohr M, Doll N, Falk V, Walther T, et al. Early and late outcomes of 517 consecutive adult patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postcardiotomy cardiogenic shock. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;139(2):302–11.
28. Combes A, Leprince P, Luyt CE, Bonnet N, Trouillet JL, Léger P, et al. Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med.* 2008;36(5):1404-11.

29. Hei F, Lou S, Li J, Yu K, Liu J, Feng Z, et al. Five-year results of 121 consecutive patients treated with extracorporeal membrane oxygenation at Fu Wai Hospital. *Artif Organs*. 2011;35(6):572–8.
30. Suzuki T. Additional lung-protective perfusion techniques during cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*. 2010;16(3):150–5.
31. Sidebotham D, McGeorge A, McGuinness S, Edwards M, Willcox T, Beca J. Extracorporeal membrane oxygenation for treating severe cardiac and respiratory disease in adults: Part 1 – overview of extracorporeal membrane oxygenation. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2009;23(6):886–92.
32. Hemmila MR, Rowe SA, Boules TN, Miskulin J, McGillicuddy JW, Schuerer DJ, et al. Extracorporeal life support for severe acute respiratory distress syndrome in adults. *Ann Surg*. 2004;240(4):595–605.
33. Skinner SC, Hirschl RB, Bartlett RH. Extracorporeal life support. *Semin Pediatr Surg*. 2006;15(4):242–50.
34. Marasco SF, Lukas G, McDonald M, McMillan J, Ihle B. Review of ECMO (extra corporeal membrane oxygenation) support in critically ill adult patients. *Heart Lung Circ*. 2008;17(S4):S41–7.
35. Spina R, Forrest AP, Adams MR, Wilson MK, Ng MK, Vallely MP. Venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation for high-risk cardiac catheterisation procedures. *Heart Lung Circ*. 2010;19(12):736–41.
36. Murphy DA, Hockings LE, Andrews RK, Aubron C, Gardiner EE, Pellegrino VA, et al. Extracorporeal membrane oxygenation-hemostatic complications. *Transfus Med Rev*. 2015;29(2):90-101.
37. Seldinger catheter insertion. *Medical Talk*. [Internet]. 2019 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://www.medicaltalk.net/t/seldinger-catheter-insertion/46510>
38. Pettignano R, Fortenberry JD, Heard ML, Labuz MD, Kesser KC, Tanner AJ, et al. Primary use of the venovenous approach for extracorporeal membrane oxygenation in pediatric acute respiratory failure. *Pediatr Crit Care Med*. 2003;4(3):291–8.
39. Betit P. Extracorporeal membrane oxygenation: quo vadis? *Respir Care*. 2009;54(7):948–57.

40. Lafç G, Budak AB, Yener AÜ, Cicek OF. Use of extracorporeal membrane oxygenation in adults. *Heart Lung Circ.* 2014;23(1):10-23.
41. Gattinoni L, Kolobow T, Damia G, Agostoni A, Pesenti A. Extracorporeal carbon dioxide removal (ECCO2R): a new form of respiratory assistance. *Int J Artif Organs.* 1979;2(4):183–5.
42. Mielck F, Quintel M. Extracorporeal membrane oxygenation. *Curr Opin Crit Care.* 2005;11(1):87–93.
43. Rich PB, Awad SS, Crotti S, Hirschl RB, Bartlett RH, Schreiner RJ. A prospective comparison of atrio-femoral and femoro-atrial flow in adult venovenous extracorporeal life support. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1998;116(4):628–32.
44. Leschinsky BM, Itkin GP, Zimin NK. Centrifugal blood pumps – a brief analysis: development of new designs. *Perfusion.* 1991;6(2):115–21.
45. Shankarraman V, Kocyildirim E, Olia SE, Kameneva MV, Dzadony RJ, Maul TM, et al. Biocompatibility Assessment of the CentriMag-Novalung Adult ECMO Circuit in a Model of Acute Pulmonary Hypertension. *ASAIO J.* 2014;60(4):429-35.
46. Uretzky G, Landsburg G, Cohn D. Analysis of microembolic particles originating in extracorporeal circuits. *Perfusion.* 1987;2–9.
47. Comments Off on Extracorporeal Life Support. *CRITICAL CARE.* [Internet]. 2016 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://aneskey.com/extracorporeal-life-support-2/>
48. Blauth CI, Smith PL, Arnold JV, Jagoe JR, Wootton R, Taylor KM. Influence of oxygenator type on the prevalence and extent of microembolic retinal ischemia during cardiopulmonary bypass, assessment by digital image analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1990;99(1):61–9.
49. Pearson DT. Gas exchange: bubble and membrane oxygenators. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 1990;2(4):313–9.
50. Haworth WS. The development of the modern oxygenator. *Ann Thorac Surg.* 2003;76(6):S2216–9.

51. Thiara AP, Hoel TN, Kristiansen F, Karlsen HM, Fiane AE, Svennevig JL. Evaluation of oxygenators and centrifugal pumps for long-term pediatric extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion*. 2007;22:323–6.
52. Khoshbin E, Roberts N, Harvey C, Machin D, Killer H, Peek GJ, et al. Poly-methyl pentene oxygenators have improved gas exchange capability and reduced transfusion requirements in adult extracorporeal membrane oxygenation. *ASAIO J*. 2005;51:281–7.
53. Palatianos GM, Foroulis CN, Vassili MI, Astras G, Triantafillou K, Papadakis E, et al. A prospective, double-blind study on the efficacy of the bioline surface-heparinized extracorporeal perfusion circuit. *Ann Thorac Surg*. 2003;76(1):129–35.
54. Edmunds Jr LH, Stenach N. The blood-surface interface. In: Gravlee GP, Davis RF, Kurusz M, Utley Jr, editors. *Cardiopulmonary bypass: principles and practice*. 2nd ed., Media, PA: Williams & Wilkins; 2000p. 149.
55. Koster A, Sanger S, Hansen R, Sodian R, Mertzluft F, Harke C, et al. Prevalence and persistence of heparin/platelet factor 4 antibodies in patients with heparin coated and noncoated ventricular assist devices. *ASAIO J*. 2000;46(3):319-22.
56. Cruz D, Karlsberg R, Takano Y, Vora D, Tobis J. Subacute stent thrombosis associated with a heparin-coated stent and heparin-induced thrombocytopenia. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2003;58(1):80–3.
57. Moen O, Hogasen K, Fosse E, Dregelid E, Brockmeier V, Venge P, et al. Attenuation of changes in leukocyte surface markers and complement activation with heparin-coated cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg*. 1997;63(1):105-11.
58. Videm V, Svennevig JL, Fosse E, Semb G, Osterud A, Mollnes TE. Reduced complement activation with heparin-coated oxygenator and tubings in coronary bypass operations. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1992;103(4):806–13.
59. Ranucci M, Mazzucco A, Pessotto R, Grillone G, Casati V, Porreca L, et al. Heparin-coated circuits for high-risk patients: a multicenter, prospective, randomized trial. *Ann Thorac Surg*. 1999;67(4):994–1000.

60. Geissler HJ, Allen SJ, Mehlhorn U, Davis KL, de Vivie ER, Kurusz M, et al. Cooling gradients and formation of gaseous microemboli with cardiopulmonary bypass: an echocardiographic study. *Ann Thorac Surg.* 1997;64(1):100–4.
61. Oliver WC. Anticoagulation and coagulation management for ECMO. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009;13(3):154–75.
62. Despotis GJ, Joist JH, Hogue Jr CW, Alsoufiev A, Joiner-Maier D, Santoro SA, et al. More effective suppression of hemostatic system activation in patients undergoing cardiac surgery by heparin dosing based on heparin blood concentrations rather than ACT. *Thromb Haemost.* 1996;76(6):902–8.
63. Baird CW, Zurakowski D, Robinson B, Gandhi S, Burdis-Koch L, Tamblyn J, et al. Anticoagulation and pediatric extracorporeal membrane oxygenation: impact of activated clotting time and heparin dose on survival. *Ann Thorac Surg.* 2007;83(3):912–9.
64. Martindale SJ, Shayevitz JR, D’Errico C. The activated coagulation time: suitability for monitoring heparin effect and neutralization during pediatric cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 1996;10(4):458–63.
65. Guzzetta NA, Bajaj T, Fazlollah T, Szlam F, Wilson E, Kaiser A, et al. A comparison of heparin management strategies in infants undergoing cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg.* 2008;106(2):419–25.
66. Lawson DS, Walczak R, Lawson AF, Shearer IR, Ing R, Schulman S, et al. North American neonatal extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) devices: 2002 survey results. *J Extra Corpor Technol.* 2004;36(1):16–21.
67. Despotis GJ, Summerfield AL, Joist JH, Goodnough LT, Santoro SA, Spitznagel E, et al. Comparison of activated coagulation time and whole blood heparin measurements with laboratory plasma anti-Xa heparin concentration in patients having cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1994;108(6):1076–82.
68. Nuttall GA, Oliver WC, Santrach PJ, Bryant S, Dearani JA, Schaff HV, et al. Efficacy of a simple intraoperative transfusion algorithm for nonerythrocyte component utilization after cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology.* 2001;94(5):773–81.

69. De Waele JJ, Van Cauwenberghe S, Hoste E, Benoit D, Colardyn F. The use of the activated clotting time for monitoring heparin therapy in critically ill patients. *Intensive Care Med.* 2003;29(2):325–8.
70. Hirsh J, Raschke R, Warkentin TE, Dalen JE, Deykin D, Poller L. Heparin: mechanism of action, pharmacokinetics, dosing considerations, monitoring, efficacy, and safety. *Chest.* 1995;108(S4):258S–75S.
71. Muntean W. Coagulation and anticoagulation in extracorporeal membrane oxygenation. *Artif Organs.* 1999;23(11):979–83.
72. Koster A, Weng Y, Böttcher W, Gromann T, Kuppe H, Hetzer R. Successful use of bivalirudin as anticoagulant for ECMO in a patient with acute HIT. *Ann Thorac Surg.* 2007;83(5):1865-7.
73. Robinson TM, Kickler TS, Walker LK, Ness P, Bell W. Effect of extracorporeal membrane oxygenation on platelets in newborns. *Crit Care Med.* 1993;21(7):1029–34.
74. Rastan AJ, Lachmann N, Walther T, Doll N, Gradistanac T, Gommert JF, et al. Autopsy findings in patients on postcardiotomy extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Int J Artif Organs.* 2006;29:1121–31.
75. Thelin S, Bagge L, Hultman J, Borowiec J, Nilsson L, Thorelius J. Heparin-coated cardiopulmonary bypass circuits reduce blood cell trauma. Experiments in the pig. *Eur J Cardiothorac Surg.* 1991;5(9):486–91.
76. Borowiec J, Thelin S, Bagge L, Nilsson L, Venge P, Hansson HE. Heparin-coated circuits reduce activation of granulocytes during cardiopulmonary bypass. A clinical study. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1992;104(3):642–7.
77. Downard CD, Betit P, Chang RW, Garza JJ, Arnold JH, Wilson JM. Impact of AMICAR on hemorrhagic complications of ECMO: a ten-year review. *J Pediatr Surg* 2003;38(8):1212–6.
78. Brunet F, Mira JP, Belghith M, Lanore JJ, Schlumberger S, Toulon P, et al. Effects of aprotinin on hemorrhagic complications in ARDS patients during prolonged extracorporeal CO<sub>2</sub> removal. *Intensive Care Med.* 1992;18(6):364–7.
79. van der Staak FH, de Haan AF, Geven WB, Festen C. Surgical repair of congenital diaphragmatic hernia during extracorporeal membrane

- oxygenation: hemorrhagic complications and the effect of tranexamic acid. *J Pediatr Surg.* 1997;32(4):594–9.
80. Conrad SA, Rycus PT, Dalton H. Extracorporeal life support registry report 2004. *ASAIO J.* 2005;51(1):4–10.
  81. Calderon D, El-Banayosy A, Koerner MM, Reed AB, Aziz F. Modified T-Graft for Extracorporeal Membrane Oxygenation in a Patient with Small-Caliber Femoral Arteries. *Tex Heart Inst J.* 2015;42(6):537-9.
  82. Lamb KM, Hirose H. Vascular Complications in Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Crit Care Clin.* 2017;33(4):813-24.
  83. Burket JS, Bartlett RH, Vander Hyde K, Chenoweth CE. Nosocomial infections in adult patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation. *Clin Infect Dis.* 1999;28(4):828–33.
  84. O’Neill JM, Schutze GE, Heulitt MJ, Simpson PM, Taylor BJ. Nosocomial infections during extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care Med.* 2001;27(8):1247–53.
  85. Camboni D, Akay B, Sassalos P, Toomasian JM, Haft JW, Bartlett RH, et al. Use of venovenous extracorporeal membrane oxygenation and an atrial septostomy for pulmonary and right ventricular failure. *Ann Thorac Surg.* 2011;91(1):144–9.
  86. Squiers JJ, Lima B, DiMaio JM. Contemporary extracorporeal membrane oxygenation therapy in adults: fundamental principles and systematic review of the evidence. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2016;152(1):20-32.
  87. Extracorporeal Life Support Organization. ECLS registry report. [Internet]. 2020 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://www.elseo.org/Registry/Statistics/InternationalSummary.aspx>
  88. Sauer CM, Yuh DD, Bonde P. Extracorporeal membrane oxygenation use has increased by 433% in adults in the United States from 2006 to 2011. *ASAIO J.* 2015;61(1):31-36.
  89. Global map. Johns Hopkins University & Medicine Coronavirus Resource Center. [Internet]. 2021 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>

90. MacLaren G, Fisher D, Brodie D. Preparing for the most critically ill patients with COVID-19: the potential role of extracorporeal membrane oxygenation. *JAMA*. 2020;323(13):1245-6.
91. Ramanathan K, Antognini D, Combes A, Paden M, Zakhary B, Ogino M, et al. Planning and provision of ECMO services for severe ARDS during the COVID-19 pandemic and other outbreaks of emerging infectious diseases. *Lancet Respir Med*. 2020;8(5):518-26.
92. Abrams D, Garan AR, Abdelbary A, Bacchetta M, Bartlett RH, Beck J, et al; International ECMO Network (ECMONet) and The Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive Care Med*. 2018;44(6):717-29.
93. New Zealand Ministry of Health. Service model: extra corporeal membrane oxygenation (ECMO). [Internet]. 2017 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na:  
[https://nsfl.health.govt.nz/system/files/documents/pages/service\\_model\\_ecmo\\_consultation\\_version\\_0.pdf](https://nsfl.health.govt.nz/system/files/documents/pages/service_model_ecmo_consultation_version_0.pdf)
94. Melnikov S, Furmanov A, Gololobov A, Atrash M, Broyer C, Gelkop M, et al. Recommendations From the Professional Advisory Committee on Nursing Practice in the Care of ECMO-Supported Patients. *Crit Care Nurse*. 2021;41(3):e1-e8.
95. Priest MA, Beaty C, Ogino M. Training of nurses and continuing education in ECMO. In: Mossadegh C, Combes A, eds. *Nursing Care and ECMO*. Springer International Publishing; 2017:109-125.
96. Johnson C. Design, organization and staffing of the intensive care unit. *Surgery (Oxford)*. 2018;36(4):159-65.
97. Combes A, Brodie D, Bartlett R, Brochard L, Brower R, Conrad S, et al; International ECMO Network (ECMONet). Position paper for the organization of extracorporeal membrane oxygenation programs for acute respiratory failure in adult patients. *Am J Respir Crit Care Med*. 2014;190(5):488-96.
98. Kralj D, Mrkonjić R, Badrov T. Izvantjelesna membranska oksigenacija u jedinici intenzivnog liječenja. *SHOCK*. 2016;11(2):4-15.



99. Mossadegh C. Monitoring the ECMO. In: Mossadegh C, Combes A, eds. *Nursing Care and ECMO*. Springer International Publishing; 2017:45-70.
100. Bonanno FG. Clinical pathology of the shock syndromes. *J Emerg Trauma Shock*. 2011;4(2):233-43.
101. Dalia AA, Ortoleva J, Fiedler A, Villavicencio M, Shelton K, Cudemus GD. Extracorporeal membrane oxygenation is a team sport: institutional survival benefits of a formalized ECMO team. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2019;33(4):902-7.
102. Driscoll A, Grant MJ, Carroll D, Dalton S, Deaton C, Jones I, et al. The effect of nurse-to-patient ratios on nurse-sensitive patient outcomes in acute specialist units: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiovasc Nurs*. 2018;17(1):6-22.
103. Sakr Y, Moreira CL, Rhodes A, Ferguson ND, Kleinpell R, Pickkers P, et al; Extended Prevalence of Infection in Intensive Care Study Investigators. The impact of hospital and ICU organizational factors on outcome in critically ill patients: results from the Extended Prevalence of Infection in Intensive Care study. *Crit Care Med*. 2015;43(3):519-26.
104. Esper SA, Levy JH, Waters JH, Welsby IJ. Extracorporeal membrane oxygenation in the adult: a review of anticoagulation monitoring and transfusion. *Anesth Analg*. 2014;118(4):731-43.
105. Rupperecht L, Lunz D, Philipp A, Lubnow M, Schmid C. Pitfalls in percutaneous ECMO cannulation. *Heart Lung Vessel*. 2015;7(4):320-6.
106. Sun HY, Ko WJ, Tsai PR, Sun CC, Chang YY, Lee CW, et al. Infections occurring during extracorporeal membrane oxygenation use in adult patients. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2010;140(5):1125-32.e2.
107. Rao AD, Preston AM, Strauss R, Stamm R, Zalman DC. Risk Factors Associated With Pressure Ulcer Formation in Critically Ill Cardiac Surgery Patients: A Systematic Review. *J Wound Ostomy Continence Nurs*. 2016;43(3):242-7.
108. Swafford K, Culpepper R, Dunn C. Use of a Comprehensive Program to Reduce the Incidence of Hospital-Acquired Pressure Ulcers in an Intensive Care Unit. *Am J Crit Care*. 2016;25(2):152-5.

109. Logue B. Focus on eliminating pressure ulcers in patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation. *Critical Care Nurse*. 2015;35(2):31
110. Botsch A, Protain E, Smith AR, Szilagyi R. Nursing Implications in the ECMO Patient. In: Firstenberg MS, editor. *Advances in Extracorporeal Membrane Oxygenation - Volume 3* [Internet]. London: IntechOpen; 2019 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://www.intechopen.com/chapters/67217>
111. Wells CL, Forrester J, Vogel J, Rector R, Tabatabai A, Herr D. Safety and Feasibility of Early Physical Therapy for Patients on Extracorporeal Membrane Oxygenator: University of Maryland Medical Center Experience. *Crit Care Med*. 2018;46(1):53-9.
112. Combes A, Hajage D, Capellier G, Demoule A, Lavoué S, Guervilly C, et al; EOLIA Trial Group, REVA, and ECMONet. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med*. 2018;378(21):1965-75.
113. Zangrillo A, Landoni G, BiondiZoccai G, Greco M, Greco T, Frati G, et al. A meta-analysis of complications and mortality of extracorporeal membrane oxygenation. *Critical Care and Resuscitation*. 2013;15:172-8.
114. Lorusso R, Alexander P, Rycus P, Barbaro R. The Extracorporeal Life Support Organization Registry: update and perspectives. *Ann Cardiothorac Surg*. 2019;8(1):93-8.
115. Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M, Patel J, Arabia F, Moriguchi J, et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: A meta-analysis of 1,866 adult patients. *Annals of Thoracic Surgery*. 2014;97:610-6.
116. Hamdi T, Palmer BF. Review of extracorporeal membrane oxygenation and dialysis-based liver support devices for the use of nephrologists. *American Journal of Nephrology*. 2017;46:139-49.
117. Villa G, Katz N, Ronco C. Extracorporeal membrane oxygenation and the kidney. *CardioRenal Medicine*. 2016;6:50-60.

118. Aubron C, DePuydt J, Belon F, Bailey M, Schmidt M, Sheldrake J, et al. Predictive factors of bleeding events in adults undergoing extracorporeal membrane oxygenation. *Intensive Care*. 2016;6(97):1-10.
119. Mulder M, Fawzy I, Lance M. ECMO and anticoagulation: A comprehensive review. *Netherlands Journal of Critical Care*. 2017;26:6-13.
120. Vincent J, Rello J, Marshall J, Silva E, Anzueto A, Martin C, et al. International study of the prevalence and outcomes of infection in intensive care units. *JAMA*. 2009;302:2323-9.
121. Bizzarro M, Conrad S, Kaufman D, Rycus P. Infections acquired during extracorporeal membrane oxygenation in neonates, children, and adults. *Pediatric Critical Care Medicine*. 2011;12:277-81.
122. Hsu M, Chiu K, Huang Y, Kao K, Chu S, Liao C. Risk factors for nosocomial infection during extracorporeal membrane oxygenation. *Journal of Hospital Infection*. 2009;73:210-6.
123. Juthani B, Macfarlan J, Wu J, Misselbeck T. Incidence of nosocomial infections in adult patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation. *The Journal of Acute and Critical Care*. 2018;47:626-30.
124. Kim G, Lee K, Park C, Kang S, Kim D, Oh S, et al. Nosocomial infection in adult patients undergoing veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation. *Journal of Korean Medical Science*. 2017;32:593-8.
125. Lee HE, Yi ES, Rabatin JT, Bohman JK, Roden AC. Histopathologic findings in lungs of patients treated with extracorporeal membrane oxygenation. *Chest*. 2018;153:825-33.
126. Nasr DM, Rabinstein AA. Neurologic complications of extracorporeal membrane oxygenation. *Journal of Clinical Neurology*. 2015;11:383-9.
127. Extracorporeal Life Support Organization. ELSO guidelines for training and continuing education of ECMO specialists. [Internet]. 2010 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <http://www.else.org/portals/0/igd/archive/filemanager/97000963d6usersshyerddocumentselsoguidelinesfortrainingandcontinuingeducationofecmospecialists.pdf>

128. Ogino MT, Chuo J, Short BL. ECMO administrative and training issues, and sustaining quality. In: Annich GM, Lynch WR, MacLaren G, Wilson JM, Bartlett RH, eds. ECMO: Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care. 4th ed. Extracorporeal Life Support Organization; 2012: 479-95.
129. Brogan TV, Annich G, Ellis WC, Haney B, Heard ML, Lorusso R, eds. ECMO Specialist Training Manual. 4th ed. Extracorporeal Life Support Organization; 2018.
130. Van Kiersbilck C, Gordon E, Morris D. Ten things that RNs should know about ECMO. *Intensive Care Med.* 2016;42(5):753-5.
131. World Health Organization. [Internet]. 2020 [pristupljeno 10.07.2022.]. Dostupno na: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/nursing-and-midwifery>

## **Popis slika**

**Slika 1.** Stroj srce-pluća koji su razvili Cowan CR i Mustard W.

**Slika 2.** ECMO aparat na jedinici intenzivnog liječenja.

**Slika 3.** Središnja VA ECMO konfiguracija.

**Slika 4.** Periferno VA ECMO konfiguracija.

**Slika 5.** Prikaz Seldingerova tehnika.

**Slika 6.** Prikaz kavo-atrijalne konfiguracije.

**Slika 7.** Centrifugalna pumpa za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.

**Slika 8.** Pumpa s valjcima za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.

**Slika 9.** Oksigenator za izvantjelesnu membransku oksigenaciju.

**Slika 10.** Ishemija noge kod bolesnika na izvantjelesnoj membranskoj oksigenaciji.

**Slika 11.** Stvaranje T-grafta za izbjegavanje ishemije ekstremiteta.

## **Popis tablica**

**Tablica 1.** Razlike između ECMO modaliteta.

**Tablica 2.** Karakteristike valjkaste i centrifugalne pumpe.

**Tablica 3.** Učestalost raznih komplikacija u odraslih.

Sveučilište  
Sjever

HEBOM  
AAIEMBAIND



SVEUČILIŠTE  
SIEVER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, KATARINA ŽEINSKI (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom IZAZOVI SERBESKI U MUZIČKIM TIMU KOD BESKRAJNICE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Zmislj Katarina

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, KATARINA ŽEINSKI (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom IZAZOVI SERBESKI U MUZIČKIM TIMU KOD BESKRAJNICE (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Zmislj Katarina

(vlastoručni potpis)