

# Protokol za međubolnički transport bolesnika s ugrađenim sustavom za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

---

Kljajić, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:105:973766>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-26**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

MEDICINSKI FAKULTET

**Ana Kljajić**

**Protokol za međubolnički transport bolesnika s  
ugrađenim sustavom za izvantjelesnu  
membransku oksigenaciju**

**Diplomski rad**



Zagreb, 2023.

Ovaj diplomski rad izrađen je na Katedri za anesteziologiju, reanimatologiju i intenzivnu medicinu kirurških struka pod vodstvom dr. sc. Sanje Konosić, dr. med. i predan je na ocjenu u akademskoj godini 2022./2023.

Mentorica: dr. sc. Sanja Konosić, dr. med.

## POPIS I OBJAŠNJENA KRATICA

ACT – Aktivirano koagulacijsko vrijeme (eng. *Activated clotting time*)

aPTV – Aktivirano parcijalno tromboplastinsko vrijeme

ARDS – Akutni respiratorni distresni sindrom (eng. *Acute respiratory distress syndrome*)

CPB – Kardiopulmonalna premosnica (eng. *Cardiopulmonary bypass*)

CPR – Kardiopulmonalna reanimacija (eng. *Cardiopulmonary resuscitation*)

ECMO – Izvantjelesna membranska oksigenacija  
(eng. *Extracorporeal membrane oxygenation*)

EKG – Elektrokardiogram

ELSO – Organizacija za izvantjelesno održavanje života  
(eng. *Extracorporeal Life Support Organization*)

EtCO<sub>2</sub> – CO<sub>2</sub> na kraju ekspirija (eng. *End tidal CO<sub>2</sub>*)

ETI – endotrahealna intubacija

FiO<sub>2</sub> – Frakcija udahnutog kisika (eng. *Fraction of inspired oxygen*)

GKS – Glasgowska koma skala

GUK – Glukoza u krvi

HEMS – Helikopterska hitna medicinska pomoć  
(eng. *Helicopter emergency medical service*)

HMS – Hitna medicinska služba

KOPB – Kronična opstruktivna plućna bolest

KPI – Ključni pokazatelji uspješnosti (eng. *Key performance indicators*)

MAP – Srednji arterijski tlak (eng. *Mean arterial pressure*)

MV – Minutni volumen

NIBP – neinvazivni krvni tlak (eng. *Noninvasive blood pressure*)

NIPPV – Neinvazivne ventilacije s pozitivnim tlakom  
(eng. *Noninvasive positive pressure ventilation*)

PaCO<sub>2</sub> – Parcijalni tlak CO<sub>2</sub>

PDJ – Prijavno – dojavna jedinica

PEEP – Pozitivni tlak na kraju ekspirija (eng. *Positive end – expiratory pressure*)

P<sub>peak</sub> – Vršni inspiracijski tlak (eng. *Peak pressure*)

RR – Frekvencija disanja (eng. *Respiratory rate*)

RSII – Brza indukcija i intubacija u slijedu  
(eng. *Rapid sequence induction and intubation*)

R<sub>T</sub> – Respiracijski volumen

SARS-Cov-2 – Teški akutni respiratorni sindrom koronavirus 2  
(engl. *Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*)

SpO<sub>2</sub> – Saturacija krvi kisikom

SvO<sub>2</sub> – Mješana venska saturacija kisikom

SpnCPAP – Kontinuirani pozitivni tlak dišnih putova  
(eng. *Continuous positive airway pressure*)

UI – Internacionalna jedinica (eng. *International unit*)

VAD – Mehanička potpora radu srčane klijetke (eng. *Ventricular assist device*)

VC – A/C – Volumenom kontrolirana – asistirana/kontrolirana  
(eng. *Volume controlled – assist control*)

VC – CMV – Volumenom kontrolirana – kontrolirana mandatorna ventilacija  
(eng. *Volume controlled - controlled mandatory ventilation*)

VC – SIMV – Volumenom kontrolirana – sinkronizirana intermitentna mandatorna ventilacija (eng. *Volume controlled - synchronized intermittent mandatory ventilation*)

## Sadržaj

1. SAŽETAK .....	1
2. SUMMARY .....	1
3. SUSTAV ZA IZVANTJELESNU MEMBRANSKU OKSIGENACIJU .....	1
3.1. Komponente sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju .....	3
3.1.1. Crpka .....	4
3.1.2. Oksigenator .....	5
3.1.3. Izmjenjivač topline .....	5
3.1.4. Kanile .....	6
3.2. Modaliteti sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju .....	7
3.2.1. Venoarterijski sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju .....	7
3.2.2. Venovenski sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju .....	9
3.3. Indikacije i kontraindikacije za primjenu sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju .....	11
3.3.1. Indikacije za kardijalnu potporu .....	11
3.3.2. Indikacije za respiratornu potporu .....	12
3.3.3. Kontraindikacije .....	13
3.4. Komplikacije .....	13
4. PRISTUP BOLESNIKU TIJEKOM MEĐUBOLNIČKOG TRANSPORTA .....	18
4.1. A – Dišni put .....	19
4.1.1. Pomagala za održavanje dišnog puta .....	19
4.1.2. Endotrahealna intubacija .....	20
4.1.3. Aspiracija i čišćenje dišnih putova .....	21
4.2. B – Disanje .....	21
4.2.1. Oksigenoterapija .....	21
4.2.2. Transportni respirator .....	22
4.2.3. Kapnografija .....	24
4.3. C – Cirkulacija .....	25
4.3.1. Defibrilator .....	25
4.3.2. Intravenski i intraosealni put, nadoknada tekućine .....	26
4.3.3. Nadoknada tekućine .....	26
4.3.4. Postavljanje urinarnog katetera .....	27
4.4. D – Brza neurološka procjena .....	28
4.4.1. Procjena razine svijesti .....	28
4.4.2. Brzi neurološki pregled .....	29

4.4.3. Glukoza u krvi.....	30
4.5. E – Izloženost.....	30
4.5.1. Status i anamneza.....	30
4.5.2. Medicinska dokumentacija .....	31
5. PROTOKOL ZA MEĐUBOLNIČKI TRANSPORT BOLESNIKA S UGRAĐENIM SUSTAVOM ZA IZVANTJELESNU MEMBRANSKU OKSIGENACIJU .....	32
5.1. Priprema za transport.....	35
5.1.1. Komunikacija i dokumentacija .....	35
5.1.2. Oprema.....	37
5.2. Aktivacija i mobilizacija.....	39
5.3. Odabir načina transporta .....	41
5.4. Postupci u bolnici .....	42
5.5. Transport.....	43
5.6. Postupci nakon transporta.....	46
5.7. Transport bolesnika sa zaraznom bolesti .....	46
5.8. Komplikacije .....	47
6. ZAKLJUČAK.....	51
7. ZAHVALE .....	52
8. LITERATURA .....	53
9. ŽIVOTOPIS .....	67

## 1. SAŽETAK

### Protokol za međubolnički transport bolesnika s ugrađenim sustavom za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Ana Kljajić

Sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju (ECMO, eng. *Extracorporeal membrane oxygenation*) relativno je nova metoda koja je promijenila tijek liječenja najtežih oblika kardiorespiratornog zatajenja, a početak njene primjene bio je u liječenju pedijatrijske populacije pedesetih godina prošlog stoljeća. Iznimna uspješnost u liječenju odraslih ovom metodom pokazala se za vrijeme epidemije gripe H1N1 2009. godine te se od tada bilježe sve bolji rezultati. Sniženje mortaliteta pacijenata te dobra kvaliteta života nakon ozdravljenja postignuta je i primjenom ECMO-a za vrijeme pandemije SARS-CoV-2, koja je započela 2020. godine. Zbog složenosti metode Organizacija za izvantjelesno održavanje života (ELSO, eng. *Extracorporeal life support organization*) preporučuje formiranje centara posvećenih liječenju pacijenata koji trebaju ovakvu potporu, što zahtijeva i međubolnički transport iz referentnih bolnica u regionalne ECMO centre. Iako međubolnički transport bolesnika iz jedne medicinske ustanove u drugu radi više razine skrbi nije rijetka pojava te je sistematizirana ABCDE pristupom, prijevoz bolesnika uz ECMO podršku pridodaje složenosti ionako kompliciranog zadatka prijevoza kritično bolesnih. Slijedom ovoga javila se potreba za izradbom protokola koji bi omogućio sigurnu organizaciju i provedbu zbrinjavanja dviju cirkulacija, tjelesne i izvantjelesne, za vrijeme transporta. Organizacija ELSO je 2022. godine objavila smjernice za transport odraslih i pedijatrijskih pacijenata na ECMO podrsci s ciljem davanja osnovnih preporuka za pružanje primarnih i sekundarnih mobilnih ECMO usluga, povećavajući tako dostupnost primjene ovog resursa. Kontrolni popisi, redovita praksa i edukacija koja uključuje simulacije, učinkovita koordinacija osoblja te alati za adekvatno zbrinjavanje teških komplikacija ključni su elementi osiguravanja uspješnog ECMO transporta, koji za rezultate tada imaju nisku smrtnost.

Ključne riječi: ECMO, ELSO, međubolnički transport, ABCDE pristup, protokol



## **2. SUMMARY**

### **Protocol for interhospital transport of patients with an implanted extracorporeal membrane oxygenation system**

**Ana Kljajić**

The extracorporeal membrane oxygenation system (ECMO) is a relatively new method, which changed the course of treatment of the most severe forms of cardiorespiratory failure and had its beginning in the treatment of the pediatric population in the fifties of the last century. Prominent success in the treatment of adults with ECMO was demonstrated during the H1N1 flu epidemic in 2009 and has been growing exponentially ever since. A reduction in patient mortality and a good quality of life after recovery was also achieved with the use of ECMO during the SARS-CoV-2 pandemic, which began in 2020. Due to the complexity of the method, the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) recommends the creation of centers dedicated to the treatment of patients requiring ECMO, which requires interhospital transport of patients from reference hospitals to regional ECMO centers. Although the interhospital transport of patients from one medical institution to another for higher level of care is not a rare phenomenon and is systematized by the ABCDE approach, the transport of patients with ECMO support or the rescue of patients in external institutions with ECMO implantation adds an additional level of complexity to the already complicated task of transporting critically ill patients. This raises the need for a protocol for ECMO transport, which will enable the safe organization and implementation of care for two circulations, intracorporeal and extracorporeal, during transport. In 2022, ELSO publishes guidelines for the transport of adult and pediatric patients on ECMO support, which aim to provide ECMO centers with a reference for providing primary and secondary mobile ECMO services, thereby increasing the availability of this resource to critically ill patients. Checklists, regular practice including simulations and training, effective staff coordination and available tools to adequately manage difficult complications are key elements in providing safe and effective ECMO transport with low mortality outcomes.

Key words: ECMO, ELSO, interhospital transport, ABCDE approach, protocol

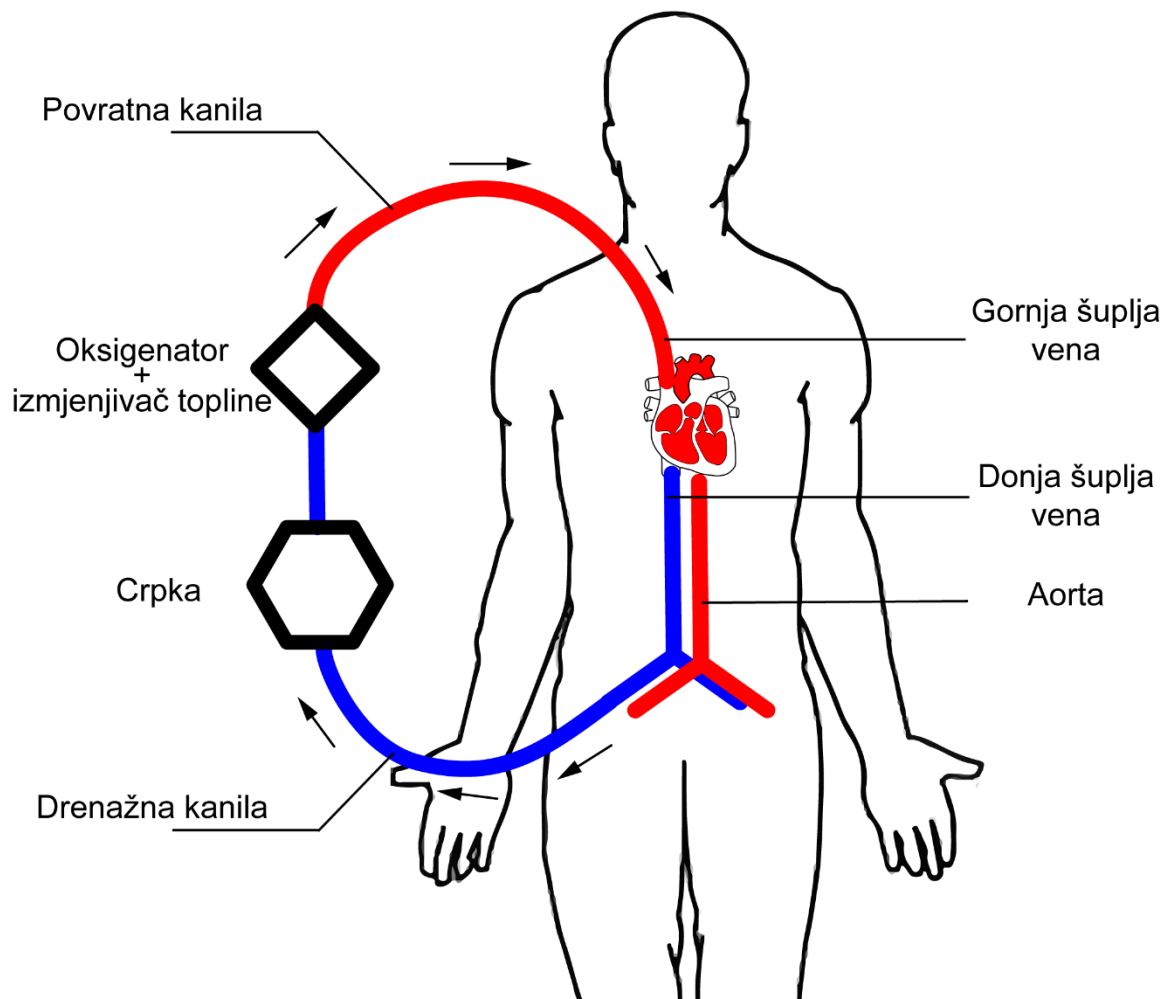
### 3. SUSTAV ZA IZVANTJELESNU MEMBRANSKU OKSIGENACIJU

Sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju (ECMO, eng. *Extracorporeal membrane oxygenation*) promijenio je tijekom liječenja najtežih oblika kardiorespiratornog zatajenja. Ova relativno nova metoda, koja služi kao premosnica u procesu liječenja pacijenta, prvi put je korištena u svojstvu kardiopulmonalne premosnice (CPB, eng. *Cardiopulmonary bypass*) u operacijskoj sali 1953. godine, za vrijeme popravka atrijskog septalnog defekta osamnaestogodišnjakinje. Doktor Gibbon je prije navedenog prvog uspješnog korištenja EMCO-a tehniku razvijao sa svojom suprugom više od dvadeset godina. Uređaj je imao mehanizam valjka, koji je stvarao tanki sloj deoksigenirane krvi, koja je tekla preko ploče izložene kisikom. Par je tako potaknuo daljnji razvoj ekstrakorporalne cirkulacije. Doktor C. Walton Lillehei počeo je koristiti „bubble“ oksigenator, ali je njegovo korištenje izvan operacijske sale bilo ograničeno prirodom uređaja za umjetna pluća i sučelja za plinove u krvi, koji su izazivali oštećenja krvnih komponenti zbog izravnog izlaganja kisiku. Kao komplikacije korištenja javljale su se masivne hemolize (1). Značajan pomak u razvoju oksigenatora postignut je spoznajom da u difuziji plinova veliku ulogu igraju membrane koje odvajaju krv od plina ili tekućine koje sadrži plin (2). Izum silikona i mogućnost produljene izloženosti CPB-u putem kontrolirane antikoagulacije otvorili su vrata operacijskih sala kako bi se upotreba ECMO uređaja mogla proširiti na jedinice intenzivne njege. Uočeno je da silikonske membrane osiguravaju mnogo veću brzinu difuzije plinova od bilo koje druge folije o kojoj se do tada izvještavalo. Nadalje, vidjelo se da je njihova selektivnost za plinove jednako dobra kao i kod najučinkovitijih do tada poznatih membrana, da mogu izdržati puno više temperature od organskih materijala, te da je kombinacija ploča od staklenih vlakana i silikona izuzetno otporna (3). Time su se razvili membranski oksigenatori te je uveden pojam izvantjelesna membranska oksigenacija (ECMO) (4). Osim silikona, kontinuirana kontrolirana antikoagulacija pacijenata omogućila je prevenciju zgrušavanja sustava te posljedično korištenje ECMO-a na dulja razdoblja (5). Liječnik J.D. Hill uspješno je 1972. godine koristio ECMO u trajanju od 75 sati na 24-godišnjem muškarcu, koji je nakon automobilske nesreće razvio posttraumatski akutni respiratorni distresni sindrom (ARDS) uz rupturu aorte (6). Iako je bilo kasnijih zabilježenih slučajeva korištenja ECMO-a za odrasle pacijente sa ARDS-om, studija iz 1975. godine nije pokazala razliku u preživljenju

između pacijenata kojima je bio ugrađen ECMO i onih kojima nije te su iz tog razloga stagnirala daljnja istraživanja korištenja uređaja za odrasle sa respiratornom insuficijencijom idućih 15 godina (7,8). Za to vrijeme je počeo razvoj uporabe uređaja u pedijatrijskoj dobi. Naime, 1975. godine je liječnik Robert H. Bartlett opisao prvi uspješan slučaj primjene ECMO-a na novorođenčetu, Esperanzi, sa mekonijском aspiracijskom pneumonijom i posljedičnom perzistentnom plućnom hipertenzijom. Esperanza je na uređaju bila 72 sata i nakon toga se potpuno oporavila, a liječnik Bartlett je kao otac ECMO-a nastavio sa istraživanjima (1,9). Ubrzo su uslijedile randomizirane kliničke studije, koje su pokazivale rast postotka preživljenja pedijatrijskih pacijenata koji su bili liječeni ECMO uređajem u odnosu na one liječene konvencionalnom terapijom, zbog čega se ova metoda počela primjenjivati u sve većem broju centara (1,10–12). S ciljem praćenja podataka, 1989. godine osnovan je registar pri današnjoj Organizaciji za izvantjelesno održavanje života (ELSO, eng. *Extracorporeal life support organization*), koji do danas broji više od 200 000 slučajeva pacijenata liječenih ovom metodom (13). Potpora ECMO-om se na odraslima značajnije počeo koristiti u 2000-ima, a posebno tijekom epidemije gripe H1N1 2009. godine, kada se pokazala uspješnijom metodom liječenja pacijenata sa ARDS-om u odnosu na konvencionalno liječenje (4,14). Uspješnost je sa statistički značajnom razlikom u preživljenju i kasnijom boljom kvalitetom života dokazala, uz neka metodološka ograničenja, CESAR studija te time potaknula daljnji razvoj metode za odrasle pacijente (15). Sniženje mortaliteta pacijenata te dobra kvaliteta života nakon ozdravljenja postignuta je i primjenom ECMO-a za vrijeme pandemije SARS-CoV-2, koja je započela 2020. godine (16,17).

### 3.1. Komponente sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Osnovni ECMO sustav sastoji se od krvne crpke, membranskog oksigenatora, izmjenjivača topline i kanila (Slika 1.). Deoksigenirana krv se odvodi iz venskog sustava drenažnom kanilom i crpka ga provodi kroz membranski oksigenator prije vraćanja oksigenirane krvi u pacijenta povratnom kanilom (18,19). Osim navedenih glavnih komponenti, sustav se sastoji i od dodatnih, koje omogućavaju precizniji nadzor pacijenta, kao i nadzor samog sustava. Najčešće su to monitori i uređaji za mjerenje plinova u venskoj i arterijskoj krvi, tlaka i protoka prije i nakon crpke, temperature krvi te detektori mjehurića. Osim toga, postoje pristupna mjesta za infuziju i uzorkovanje krvi (1,20).



Slika 1. Komponente sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

### 3.1.1. Crpka

Crpke sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju su dizajnirane da potiskuju krvi kroz oksigenator i natrag do pacijenta te da povećaju venski odljev u sustav (1,21). Crpka je obično u sustavu postavljena nakon drenažne kanile, između bolesnika i membranskog oksigenatora (19). Trenutno se koriste dvije vrste crpki, a to su valjkaste i centrifugalne.

Valjkasta crpka pokreće krv progresivno sabijajući segmente cijevi duž zakrivljene linije, generirajući na taj način jednosmjernan i kontinuiran protok krvi (18,19). Ovim mehanizmom se stvara negativan tlak koji izvlači krv iz venske kanile i pozitivan tlak koji pokreće krv natrag u pacijenta. Protok kroz valjkastu crpku ovisi o veličini cijevi u kanalu crpke, okluzijskom tlaku valjka, brzini pumpe i volumenu krvi. Glavna prednost valjkastih crpki je konstantan protok neovisan o predopterećenju sustava. Iako se pretpostavljalo da do smanjenja razvoja hemolize u odraslih bolesnika nije došlo zbog zahtjeva za višim protokom, isto je zabilježeno i pri nižim protocima koji se koriste u novorođenčadi (21). Upravo iz toga razloga se danas prednost u uporabi ECMO-a u pedijatrijskoj dobi daje valjkastim crpkama, za koje je dokazano da kod starijih pacijenata imaju više komplikacija u odnosu na uporabu centrifugalnih crpki (22). Nedostaci uključuju činjenicu da se valjkaste crpke nastavljaju okretati neovisno o raspoloživom volumenu krvi ili zarobljavanja zraka i zahtijevaju servoregulacijske mehanizme kako bi se ove komplikacije svele na minimum (21).

Centrifugalna crpka sastoji se od skupa stožaca i magnetskog diska koji se okreću podesivom brzinom do 3000 okretaja/min (18,19,21). Dok se disk vrti, stvara vrtlog i negativan tlak na glavi crpke, čime se krv povlači u crpku i usmjerava je prema van na vrh vrtloga. Protok je promjenjiv i ovisi o pred- i zaopterećenju, veličini venske drenažne kanile, veličine glave diska i broju okretaja u minuti (21,23). Glavne prednosti centrifugalne crpke su što se krv ne opterećuje prekomjernim negativnim tlakom i stvara manju kavitaciju, a time i manju hemolizu. Nedostaci centrifugalnih crpki uključuju nemogućnost održavanja zadanog protoka kako je prije opisano. Čimbenici kao što je porast sistemskog vaskularnog otpora pacijenta, zarobljavanje zraka ili pregib u ECMO-

u može dovesti do dramatičnog smanjenja protoka crpke ili uzrokovati trenutni prestanak njenog rada (21).

### **3.1.2. Oksigenator**

Oksigenator preuzima ulogu pluća pacijenta čime se održava izmjena kisika ( $O_2$ ) i ugljičnog dioksida ( $CO_2$ ) (18). Postoji nekoliko vrsta membranskih oksigenatora - silikonske membrane, šuplja vlakna od polipropilena (PP) i šuplja vlakna od polimetilpentena (PMP). Oksigenatori sa silikonskom membranom korišteni su dugi niz godina, da bi u novije vrijeme ustupili mjesto PP i PMP oksigenatorima (24–26). Nadalje, usporedbom PP i PMP oksigenatora je zaključeno da su PMP oksigenatori povezani sa nižim mortalitetom, većom izdržljivošću, efikasnijom izmjenom plinova, boljom biokompatibilnošću, manjom potrebom za transfuzijama, ali i sa manje komplikacija kao što su istjecanja plazme te upalnog odgovora (19,27–29). Ovi uređaji sastoje se od mnogo kapilarnih vlakana koja omogućuju izmjenu plinova putem protustrujnog mehanizma te zbog razlike u koncentracijama plinova kroz vlakna (21). Dok krv teče kroz oksigenator, protok svježeg plina ('sweep') prolazi kroz unutrašnjost šupljih vlakana (23). Svježi plin se može sastojati od mješavine kisika i sobnog zraka, a može se sadržavati i  $CO_2$ , što se može precizno regulirati pomoću uređaja za miješanje zraka. Uklanjanje ugljičnog dioksida učinkovitije je od oksigenacije, jer veća topljivost  $CO_2$  omogućuje bržu difuziju (Fickov zakon) te zbog relativno linearnog oblika krivulje disocijacije  $CO_2$ , za razliku od sigmoidnog oblika krivulje disocijacije  $O_2$ . Iako je minimalna brzina protoka svježeg plina neophodna za oksigenaciju krvi, daljnje povećanje brzine protoka plina neće dovesti do značajnog poboljšanja oksigenacije, već će samo smanjiti  $PaCO_2$ . Kako bi se povećao  $PaO_2$ , mora se povećati protok krvi kroz sustav ili udio  $O_2$  u smjesi. Pacijentov  $PaCO_2$  se određuje brzinom protoka svježeg plina, dok je glavna determinanta  $PaO_2$  brzina protoka krvi kroz sustav i udio  $O_2$  u smjesi plinova (23).

### **3.1.3. Izmjenjivač topline**

Dok je pacijent spojen na ECMO gubi se velika količina topline. To je izravna posljedica velike izvantjelesne površine kojoj je izložena krv pacijenta, kao i hladnog svježeg zraka u oksigenatoru. Kako bi se spriječilo pothlađivanje koriste se izmjenjivači topline koji su integrirani u oksigenator ili postavljeni nakon njega kao samostalna

komponenta (1,21). Princip rada izmjenjivača topline se temelji na protustrujnom toku. Voda se zagrijava na 37-38°C kako bi se nadoknadio gubitak topline u ostatku sustava, ali temperatura mora svakako biti niža od 42°C kako bi se spriječile komplikacije poput hemolize i stvaranja mjehurića. Voda teče pod niskim tlakom, kako bi se osiguralo da ako postoji istjecanje u izmjenjivaču topline krv teče u vodenu kupelj, a ne obrnuto (21). Osiguravanje nemiješanja krvi i nesterilne vode se također postiže odvajanjem izmjenjivača topline i krvi materijalom od nehrđajućeg čelika, aluminija ili poliuretana. Osim održavanja normotermije, izmjenjivač topline se može koristiti i za postizanje terapijske hipotermije u svrhu neuroprotekcije, smanjenja metaboličkih potreba ili liječenja povišene tjelesne temperature (1).

#### **3.1.4. Kanile**

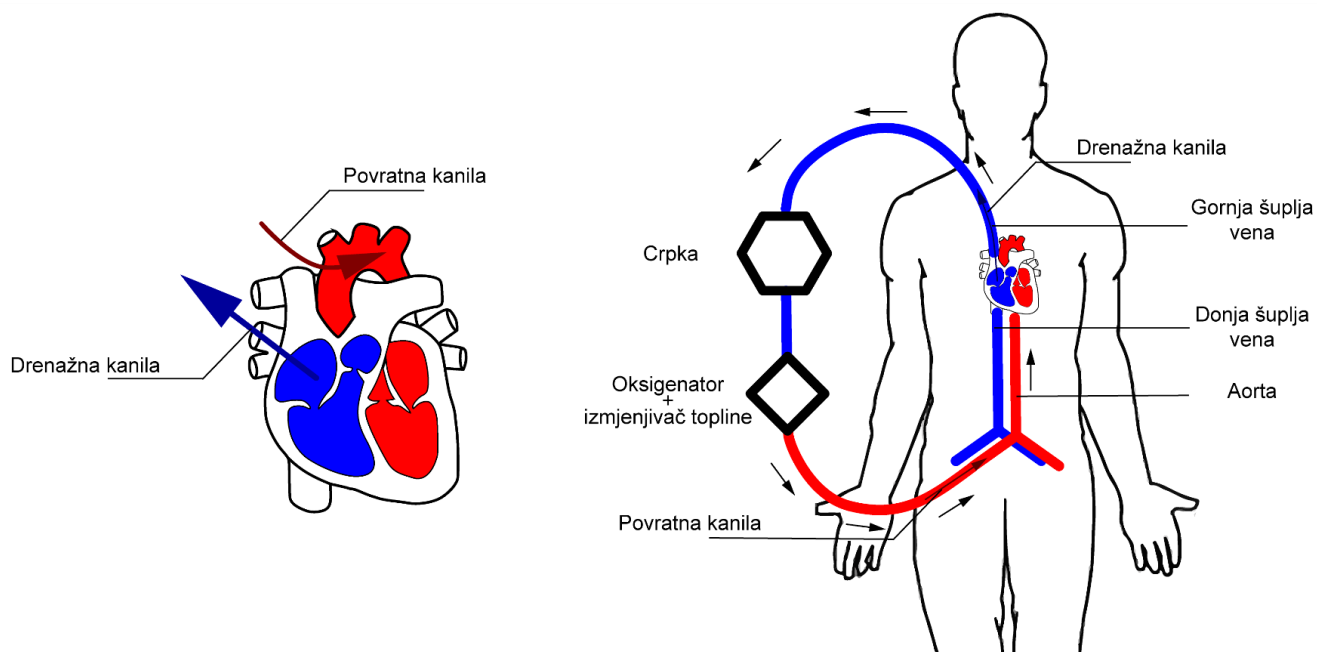
Protok krvi kroz izvantjelesni sustav omogućen je drenažnom i povratnom kanilom (1). Različite konfiguracije ECMO-a zahtijevaju različite vrste kanile te ih možemo podijeliti na kanile sa jednim i sa dva lumena. Kanile sa jednim lumenom dodatno možemo podijeliti na arterijske i venske. Venske kanile su često duže, većeg promjera, imaju drenažne rupice duž posljednjih 10 do 20 centimetara svoje dužine radi bolje drenaže krvi te mogu biti u ulozi drenažne i povratne kanile. Arterijske kanile su često kraće u odnosu na venske, manjeg promjera, imaju drenažne rupice samo na vrhu kanile te mogu biti samo povratne kanile (19,23,30,31). Kanila sa dva lumena uključuje drenažni i povratni lumen unutar jedne kanile te sadrži tri otvora – proksimalni, srednji i distalni. Postavlja se kroz unutarnju jugularnu venu, pri čemu distalni otvor na vrhu kanile treba biti postavljen točno ispod spoja atrijske i donje šuplje vene te odvodi deoksigeniranu krv iz donje šuplje vene. Proksimalni otvor odvodi deoksigeniranu krv iz gornje šuplje vene. Srednji otvor leži u desnom atriju i okrenut je prema trikuspidalnom zalisku te vraća oksigeniranu krv iz ECMO-a (32,33). Sve vrste kanila su izgrađene od polivinilklorida, poliuretana ili silikonske gume te imaju biokompatibilne slojeve koji reduciraju aktivaciju koagulacijske kaskade, smanjuju sistemski upalni odgovor i rizik od tromboze (23,33). Velika čvrstoća materijala kanila na sobnoj temperaturi i savitljivost na tjelesnoj pomažu pri postavljanju. Kanile, također, mogu imati žičano ojačanje stijenki u svrhu sprječavanja savijanja ili kolapsa. Radioopacitetni materijali omogućuju potvrdu ispravnog pozicioniranja (33).

### 3.2. Modaliteti sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Razlikujemo dva osnovna modaliteta sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju – venoarterijski (VA-ECMO) i venovenski (VV-ECMO). U oba modaliteta se krv drenira iz venskog sustava i zatim prolazi kroz izvantjelesni sustav. Krv koja se vraća povratnom kanilom u pacijenta se pri VA-ECMO modalitetu vraća u arterijski sustav i time zaobilazi srce i pluća, pružajući respiratornu i cirkulatornu potporu. S druge strane, krv koja se vraća u pacijenta pri VV-ECMO modalitetu vraća se u venski sustav, pružajući isključivo respiratornu potporu (21,34).

#### 3.2.1. Venoarterijski sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Venoarterijski sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju (VA-ECMO) je oblik privremene mehaničke cirkulacijske potpore i istovremene izvantjelesne izmjene plinova za akutno kardiorespiratorno zatajenje (34). Kod VA-ECMO-a obzirom na lokalizaciju postavljanja kanile razlikujemo centralnu i perifernu konfiguraciju (Slika 2.).



Slika 2. Centralna i periferna konfiguracija VA-ECMO-a



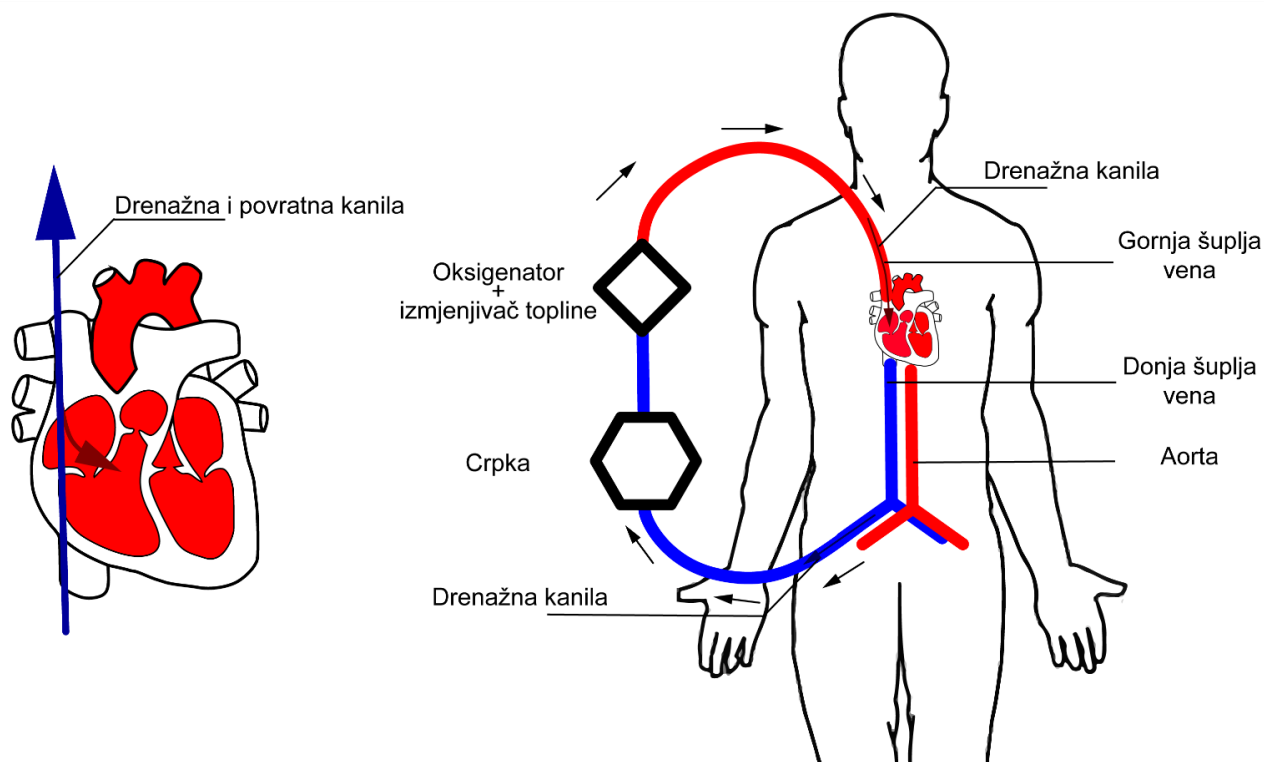
Centralna konfiguracija VA-ECMO-a se primarno postavlja u operacijskoj sali putem sternotomije i pruža kratkotrajnu podršku, često kod bolesnika u kardiogenom šoku nakon kardiotoromije koji ne bi preživjeli odvajanje od kardiopulmonalne prenosnice (34). Konfiguracija zahtijeva izravnu kanilaciju glavnih žila, najčešće desnog atrija i ascendentne aorte, ali se mogu koristiti i kanile koje su već postavljene za CPB (33,35). Drenažna kanila postavljena u desnom atriju odvodi deoksigeniranu krv u izvantjelesni sustav, a povratna kanila vraća oksigeniranu krv u ascendentnu aortu. Kratke venske kanile velikog promjera omogućuju odgovarajuću vensku drenažu i svojim velikim protocima obično omogućuju bolju dekompresiju srca te perfuziju nego periferna konfiguracija VA-ECMO-a (33–35). Nedostatak centralne konfiguracije je veći rizik od krvarenja i medijastinitisa zbog sternotomije te nemogućnosti mobilizacije pacijenta (36).

Periferna konfiguracija VA-ECMO-a koristi se kod pacijenata kojima je potrebna nepotpuna srčana potpora ili u hitnim slučajevima kao što je kardiopulmonalna reanimacija (CPR). Drenažna kanila odvodi deoksigeniranu krv u izvantjelesni sustav i vraća ju u silaznu aortu za perfuziju donjih udova, ali također i gornjih udova i mozga putem retrogradnog protoka (33). Drenažna kanila se najčešće postavlja u femoralnu ili unutarnju jugularnu venu, sa vrhom na granici desnog atrija i donje, odnosno, gornje šuplje vene, dok se povratna postavlja u femoralnu arteriju do distalne abdominalne aorte ili aksilarnu arteriju kod odraslih, odnosno u zajedničku karotidnu arteriju kod djece (19,23,30,31). Venske kanile se obično postavljaju perkutano Seldingerova tehnikom vođene ultrazvukom, dok se arterijske mogu postavljati perkutano ili kirurški (31,34). Zbog parcijalne okluzije femoralne arterije kanilom i retrogradnog protoka krvi iz kanile, postoji rizik od razvoja ishemije donjih udova. Ova komplikacija se može izbjeći rekanalizacijom te se monitorira klinički i Doppler ultrazvukom (31). Osim toga, postoji rizik od razvoja miokardijalne i cerebralne ishemije. Naime, u bolesnika s lošom funkcijom srca i pluća, oksigenirana krv koja se vraća iz izvantjelesnog sustava će u početku osigurati anterogradni protok u donje udove i retrogradni protok u koronarnu i cerebralnu cirkulaciju. Kako se funkcija srca poboljšava, kompetitivni protok između nativnog minutnog volumena i onog iz arterijske kanile može uzrokovati distalni pomak razine miješanja krvi te rezultirati cirkulacijom deoksigenirane krvi kroz cerebralnu i koronarnu cirkulaciju, osobito ako je funkcija pluća loša. Praćenje vrijednosti plinova u perifernoj krvi

iz desne radijalne arterije može se koristiti za otkrivanje koronarne i/ili cerebralne hipoksemije te za podešavanje postavki ventilatora i upravljanje ECMO krugom (34,37).

### 3.2.2. Venovenski sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Venovenski sustav za izvantjelesnu membransku oksigenaciju (VV-ECMO) je mehanički oblik privremene respiratorne potpore u bolesnika sa očuvanom srčanom funkcijom i s bilo kojim potencijalno reverzibilnim stanjem u kojem pluća nisu u mogućnosti ventilirati i oksigenirati tkiva unatoč korištenju optimalne strategije mehaničke ventilacije (32,34,38). Ovaj se sustav može koristiti i u novorođenčadi zbog zatajenja disanja. Također je dostupan za korištenje kao most do transplantacije pluća, omogućavajući pacijentima da se odvoje od mehaničke ventilacije i mobiliziraju dok čekaju na transplantacijski postupak (34,39). Pri venovenskom modalitetu obje se kanile postavljaju u venski sustav, sa mogućnošću različitih konfiguracija, postavljanjem dvije kanile u dvije vene i postavljanjem jedne kanile sa dvostrukim lumenom (Slika 3.).



Slika 3. Konfiguracije VV-ECMO-a – dualna kanila sa dvostrukim lumenom i dvije kanile sa jednostrukim lumenom

Prilikom postavljanja dviju kanila, moguće su tri kombinacije: femoralna/unutarnja jugularna vena, femoralna/femoralna vena i femoralna vena/pulmonalna arterija (34). Kanilacija femoralne vene uključuje postavljanje drenažne kanile do razine spoja donje šuplje vene sa desnim atrijskim, dok se povratna kanila kroz unutarnju jugularnu venu postavlja do spoja gornje šuplje vene i desnog atrija (34,40). Postoji i mogućnost postavljanja kanila tako da je drenažna kanila u unutarnjoj jugularnoj veni, a povratna u femoralnoj, ali ovaj način je slabije učinkovit u odnosu na prije opisane (41). Pri konfiguraciji femoralna/femoralna vena, kraća drenažna kanila se postavlja u donju šuplju venu, dok se duža povratna postavlja kroz kontralateralnu femoralnu venu do desnog atrija ili donje šuplje vene. Treća konfiguracija, femoralna vena/pulmonalna arterija, zahtijeva postavljanje drenažne kanile kroz femoralnu venu do desnog atrija te povratne kroz unutarnju jugularnu venu do glavne pulmonalne arterije (34). Najčešće se koristi konfiguracija femoralna/unutarnja jugularna vena, dok se ostale dvije koriste u rijetkim slučajevima. Ispravan položaj prilikom postavljanja kanila važan je kako bi se spriječila recirkulacija oksigenirane krvi između dvije kanile (31). Recirkulacija je fenomen u kojem oksigenirana krv koja se vraća iz ECMO-a odmah ulazi u drenažnu kanilu, stvarajući zatvorenu izvantjelesnu cirkulacijsku petlju, isključujući sistemske cirkulacije (18,42). Time se kompromitira sposobnost ECMO-a da podrži sustavnu oksigenaciju (42). Osim pozicije kanila, protok crpke i minutni volumen srca su direktno povezani sa stupnjem recirkulacije. Stoga s odgovarajućim minutnim volumenom srca i pravilnim položajem kanile, protok pumpe povećava oksigenaciju koja se isporučuje pacijentu (34).

Konfiguracija VV-ECMO-a sa jednom kanilom i dualnim lumenom zahtijeva postavljanje kanile kroz unutarnju jugularnu venu te već opisano pozicioniranje na spoju gornje i donje šuplje vene s desnim atrijskim. Iako se komplikacija recirkulacije povezuje isključivo sa korištenjem dvaju kanila, prilikom korištenja ove konfiguracije je također moguća te je zbog toga potrebno ehokardiografsko ili fluoroskopsko vođenje prilikom postavljanja u cilju dobrog pozicioniranja. Ostale moguće komplikacije uslijed malpozicioniranja su ozljeda atrija ili ventrikula te turbulentni protok (43). Osim smanjene recirkulacije, prednosti postavljanja jedne kanile su redukcija rizika od infekcije mjesta kanilacije, ekstubacija, oslobađanje femoralne vene kako bi se omogućila mobilnost pacijenta te povećana udobnost pacijenta (18,35).

### 3.3. Indikacije i kontraindikacije za primjenu sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Indikacije za primjenu sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju mogu se podijeliti u dvije kategorije – potencijalno reverzibilno respiratorno i kardijalno zatajenje sa visokim rizikom mortaliteta unatoč optimaliziranoj konvencionalnoj terapiji (19,34,44). Potpora ECMO-om je indicirana u većini slučajeva u kojima rizik mortaliteta premašuje 80%, a razmatra se kada je veći od 50% (44). Obzirom na modalitete ECMO-a, VA-ECMO je indiciran kod pacijenata sa srčanim zatajenjem kojima respiratorna potpora može, ali ne mora biti potrebna, te pruža kardijalnu i respiratornu podršku. Potpora VV-ECMO-om koristi se kod pacijenata kojima je kardijalna funkcija očuvana ili umjereno reducirana te im je potrebna samo respiratorna potpora.

#### 3.3.1. Indikacije za kardijalnu potporu

Smjernice za primjenu ECMO-a u odraslih kardioloških bolesnika izdane od strane ELSO-a preporučuju razmotriti ECMO u slučaju kardiogenog šoka unutar 6 sati od njegove pojave, kada je on refraktoran na konvencionalnu farmakološku terapiju i terapiju tekućinom, u bolesnika s reverzibilnom kardijalnom dekompenzacijom te onih koji imaju pravo na alternativnu kardiocirkulatornu pomoć, na primjer, mehaničku potporu radu srčane klijetke (VAD, eng. *Ventricular assist device*) ili transplantaciju (45). Indikacije za kardijalnu potporu, koju pruža VA-ECMO, navedene su u Tablici 1 (45–47).

Tablica 1. Indikacije primjene ECMO-a za kardijalnu potporu.

Indikacije za kardijalnu potporu
Srčani zastoj refraktoran na ostale mjere
Kardiogeni šok: <ul style="list-style-type: none"><li>• Akutni koronarni sindrom</li><li>• Fulminantni miokarditis</li><li>• Intoksikacija kardiotsičnim spojevima</li><li>• Završni stupanj dilatacijske ili ishemijske kardiomiopatije</li><li>• Hipotermija sa refraktornom kardiocirkulacijskom nestabilnošću</li><li>• Izolirana srčana trauma</li><li>• Električna oluja refraktorna na ostale mjere</li><li>• Sepsa</li><li>• Masivna plućna embolija</li><li>• Akutna anafilaksija</li><li>• Postpartalna akutna kardiomiopatija</li></ul>

Periproceduralna potpora za visokorizične perkutane koronarne intervencije
Nemogućnost odvajanja od CPB-a nakon kardiotomije
Transplantacija: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nakon transplantacije srca – odbacivanje presatka nakon transplantacije srca ili transplantacije srca – pluća</li> <li>• Premoštenje do transplantacije</li> </ul>
Kronična kardiomiopatija: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Premoštenje do dugoročne potpore VAD-om</li> <li>• Premoštenje do donošenja odluke</li> </ul>

### 3.3.2. Indikacije za respiratornu potporu

Smjernice za primjenu ECMO-a u odraslih respiratornih bolesnika izdane od strane ELSO-a preporučuju razmotriti ECMO u slučaju bolesnika sa teškim sindromom akutnog respiratornog distresa (ARDS) i refraktornom hipoksemijom ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 80$  mmHg) ili teškim hiperkapničkim respiratornim zatajenjem ( $\text{pH} < 7,25$  i  $\text{PaCO}_2 \geq 60$  mmHg), otpornim na optimalno konvencionalno liječenje (48). Potpuniji popis indikacija za respiratornu potporu, koju VV-ECMO i VA-ECMO pružaju, nalazi se u tablici 2 (47,48).

Tablica 2. Indikacije primjene ECMO-a za respiratornu potporu.

Indikacije za respiratornu potporu
Akutni respiratorni distresni sindrom <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aspiracijski sindrom</li> <li>• Alveolarna proteinoza</li> <li>• Teška bakterijska ili virusna pneumonija</li> </ul>
Astmatski status
Velika bronhopleuralna fistula
Torakalna trauma <ul style="list-style-type: none"> <li>• Traumatska ozljeda pluća</li> <li>• Teška kontuzija pluća</li> <li>• Teška inhalacijska ozljeda</li> </ul>
Transplantacija: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nakon transplantacije pluća– odbacivanje presatka nakon transplantacije pluća</li> <li>• Premoštenje do transplantacije</li> </ul>
Difuzno alveolarno krvarenje ili plućno krvarenje
Opstrukcija dišnog puta
Kongenitalna dijafragmalna hernija

### 3.3.3. Kontraindikacije

Prema ELSO-u, kontraindikacije su relativne i balansiraju između rizika postupka, uključujući rizik korištenja vrijednih resursa koji bi se mogli koristiti za druge, i potencijalne koristi. Relativne kontraindikacije su stoga stanja nespojiva s normalnim životom ako se bolesnik oporavi; postojeća stanja koja utječu na kvalitetu života kao što su ozbiljan neurološki deficit, završni stadij maligne bolesti, rizik od sustavnog krvarenja uz korištenje antikoagulantne terapije, uznapredovala dob i povećana tjelesna težina bolesnika. Uzaludnim se postupak smatra kod bolesnika koji su u završnim stadijima sustavnih bolesti, predugo su na konvencionalnoj terapiji ili imaju fatalnu dijagnozu (44).

### 3.4. Komplikacije

Prema registru ELSO-a, do danas je 200 749 bolesnika liječena nekim od ECMO modaliteta sa stopom preživljenja 54%. Iako se čini da je uspješnost ove metode skromna, treba imati na umu da broj i složenost pacijenata kojima je indicirano izvantjelesno održavanje života raste (13). Usprkos velikom tehnološkom napretku, zbog navedene ozbiljnosti patologija pacijenata te složenosti primjene ECMO-a postoji visok rizik od komplikacija (18). Redoviti nadzor i testiranje ključni su za rano prepoznavanje već razvijenih ili potencijalnih komplikacija kako bi se mogle brzo zbrinuti ili u potpunosti izbjeći. Komplikacije mogu biti vezane uz komponente ECMO-a ili čimbenike pacijenta.

Komplikacije vezane uz ECMO uređaj su povezane sa osnovnim komponentama sustava - centrifugalnom crpkom, oksigenatorom, izmjenjivačem topline i kanilama te po izvještajima imaju incidenciju oko 10% (49). U Tablici 4. navedene su moguće komplikacije te je u slučaju njihove pojave potrebno zaustaviti sustav i zamijeniti dijelove koji više nisu djelotvorni za pružanje adekvatne potpore (1,18,19,45,50–52). Mehaničke komplikacije kao što su iznenadni kvar crpke, oksigenatora ili izmjenjivača topline teško se mogu predvidjeti, dok je nastajanje tromba u uređaju, hemolize, infekcije i ostalih komplikacija moguće na vrijeme zbrinuti kontinuiranim laboratorijskim analizama te nadzorom sustava (1,50).

Tablica 4. Komplikacije vezane uz komponente sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju

Komplikacije vezane uz komponente sustava za izvantjelesnu membransku oksigenaciju
<p>Crpka:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hemoliza</li> <li>• Kavitacija</li> <li>• Tromboza</li> <li>• Zračna embolija</li> <li>• Retrogradni protok krvi</li> <li>• Prestanak rada crpke zbog kvara i/ili nedostatka energije baterije</li> </ul>
<p>Oksigenator:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Istjecanje plazme</li> <li>• Tromboza u uređaju</li> <li>• Prestanak rada zbog kvara</li> <li>• Smanjena permeabilnost membrana zbog povećane vlažnosti</li> </ul>
<p>Izmjenjivač topline:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infekcije</li> <li>• Prestanak rada zbog kvara</li> <li>• Napuknuće cijevi sa posljedičnim miješanjem krvi i vode</li> </ul>
<p>Kanile:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oštećenje krvnih žila sa masivnim krvarenjem</li> <li>• Infekcije na mjestu kanilacije</li> <li>• Oštećenje kanila</li> <li>• Recirkulacija</li> </ul>

Komplikacije vezane uz čimbenike pacijenta sa ugrađenim ECMO-om su, zbog činjenice da se ECMO primjenjuje ukoliko optimalne konzervativne metode nisu učinkovite, mnogobrojne. Ova spasonosna metoda može uzrokovati komplikacije na različitim organskim sustavima te su one navedene u Tablici 5 (1,18,19,45,50–53). Među njima, najčešće su krvarenje i tromboza.

Tablica 5. Komplikacije vezane uz čimbenike pacijenta

Komplikacije vezane uz čimbenike pacijenta
<p>Krvarenje:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Krvarenje na mjestu kanilacije</li> <li>• Krvarenje iz operacijskog mjesta</li> <li>• Gastrointestinalno krvarenje</li> <li>• Intrakranijalno krvarenje</li> </ul>
<p>Tromboza:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hemoliza</li> <li>• Duboka venska tromboza</li> </ul>

Ishemija donjih udova
Diferencijalna hipoksemija
Infekcije: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pneumonija</li> <li>• Sepsa</li> </ul>
Neurološke komplikacije: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cerebrovaskularni inzult – ishemijski i hemoragijski</li> <li>• Epileptički napadaj</li> <li>• Moždana smrt</li> </ul>
Respiratorne komplikacije: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pneumotoraks</li> <li>• Intraalveolarno krvarenje</li> <li>• Edem pluća</li> </ul>
Kardiološke komplikacije: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dilatacija lijevog ventrikula</li> <li>• Aritmije</li> <li>• Srčani zastoj</li> <li>• Ishemija miokarda</li> </ul>
Akutno zatajenje bubrega

Sa prethodno navedenim rastom broja i složenosti pacijenata jasnija je potreba za unapređenjem tehnoloških karakteristika membrana koje dolaze u dodir s krvi, sigurnijom antikoagulacijom i njezinim preciznijim nadzorom u svrhu smanjivanja broja krvarenja i tromboza (1). Najšire korištena antikoagulantna terapija je nefrakcionirani heparin, koji se daje u bolusu za vrijeme kanilacije u dozi 50 – 100 UI/kg, a potom u kontinuiranoj infuziji za vrijeme korištenja ECMO-a. Brzina infuzije, odnosno stupanj antikoagulacije, se podešava prema rezultatima mjerenja kao što su aktivirano koagulacijsko vrijeme (ACT, eng. *Activated clotting time*), aktivirano parcijalno tromboplastinsko vrijeme (aPTV), aktivnost anti-faktor Xa i drugih laboratorijskih testova. Usprkos navedenim mjerenjima, optimalna metoda za regulaciju stupnja antikoagulacije ne postoji, a kao posljedica toga su često se javljaju krvarenja i tromboze (44). Glavni mehanizmi nastanka krvarenja su osim antikoagulacije, trombocitopenija i potrošnja koagulacijskih faktora. Osim toga, oštećena funkcija trombocita, kao i stečen Willebrandov sindrom povećavaju rizik od nastanka ove komplikacije (1). Najčešće mjesto krvarenja je mjesto kanilacije, osobito ako je pristup postignut kirurški i može se svesti na najmanju moguću mjeru izvođenjem disekcije bez sistemskog heparina. Krvarenje na mjestu insercije kanile može biti znak da ona nije dobro osigurana ili da se izvlači. Drugo najčešće mjesto krvarenja povezano



je s nedavnim operacijama, osobito sternotomijom ako je pacijent na ECMO-u zbog postoperativnog zatajenja srca. Ostavljanje operativnog polja otvorenim s aktivnom drenažom i postavljanjem okluzivne plastične folije omogućuje jednostavniju moguću reeksploraciju polja do zaustavljanja krvarenja. Krvarenje u gastrointestinalnom sustavu može nastati na podlozi ezofagitisa, gastritisa, duodenalnog ulkusa ili drugih izvora. Važno je odrediti mjesto krvarenja endoskopijom ili angiografijom. Ako se mjesto krvarenja može dosegnuti endoskopom ili arterijskim kateterom, treba pokušati s lokalnim mjerama hemostaze. Intrakranijalno krvarenje najozbiljnija je komplikacija ECMO-a. Obično je opsežna i fatalna. Ako je moguće pacijenta treba odvojiti od ECMO-a, te operativno drenirati krv, ako je takav postupak indiciran. Liječenje krvarenja počinje vraćanjem statusa koagulacije u fiziološki raspon koliko god je to moguće. To uključuje smanjenje infuzije antikoagulansa do normalizacije ACT-a ili aPTV-a, transfuziju trombocita do povećanja broja trombocita iznad 100 000 i davanje antifibrinolitika ako je fibrinoliza dokumentirana ili se sumnja na nju (osobito nakon nedavne velike operacije). Svježe smrznuta plazma ili specifični faktori zgrušavanja također mogu biti indicirani. Često će ovi postupci zaustaviti krvarenje. Ukoliko u tome ne uspiju, razumno je potpuno prekinuti antikoagulaciju. Međutim, to može rezultirati zgrušavanjem sustava te se koristi kao zadnja opcija (44). S obzirom na značajan morbiditet i mortalitet koji se pripisuje krvarenju, ciljani stupanj antikoagulacije pacijenta općenito je snižen tijekom posljednjih 5 do 10 godina, što može povećati rizik od tromboembolijskih događaja (1).

Neadekvatna antikoagulacija, interakcija krvi sa biomaterijalima izvantjelesnog sustava, stanja usporenog protoka krvi i hiperkoagulabilnost pacijenta dovode do povećanog rizika od tromboze. Tromboze najučestalije nastaju u komponentama izvantjelesnog sustava, u područjima zastoja ili turbulencije, a najčešće u oksigenatoru (1,34). Većina ugrušaka bit će smještena na venskoj strani uređaja. Područja s najmanjom brzinom, najvećim otporom ili s najmanjim ispiranjem najvjerojatnije će se najprije zgrušati (34). Svaki sustav će imati male ugruške na mjestu konektora, infuzijskih linija ili u područjima slabog protoka. Oni su obično veličine od 1 do 5 mm i ne zahtijevaju promjenu sustava, već ih je potrebno samo dokumentirati i nadzirati. Ugrušci veći od 5 mm ili rastući ugrušci na postoksigenatorskoj strani trebaju se ukloniti odstranjivanjem tog dijela sustava ili promjenom cijelog sustava ako su mnogobrojni. Ugrušak koji se nalazi u

komori crpke može uzrokovati hemolizu zbog velikog protoka krvi kroz mali promjer. Hemoliza je prema ELSO-u definirana kao pojava slobodnog hemoglobina u plazmi u koncentraciji iznad 50 mg/dL (44). Osim tromba u izvantjelesnom sustavu, nastanak hemolize uzrokovan je s ekstremnim negativnim tlakovima generiranih od strane crpke, jakim silama smicanja povezanih s turbulentnim strujanjem, ali i miješanjem krvi i vode u slučaju narušenog integriteta membrane izmjenjivača topline. Uzrok hemolize je potrebno pronaći i zbrinuti jer slobodni cirkulirajući hemoglobin uzrokuje nefrotoksičnost i veže se brzo i nepovratno na endogeni dušični oksid, izazivajući niz potencijalnih nuspojava, kao što je povećana rezistencija krvnih žila, povećano stvaranje trombina, disfunkcija trombocita i poremećaji zgrušavanja (1).

#### 4. PRISTUP BOLESNIKU TIJEKOM MEĐUBOLNIČKOG TRANSPORTA

Međubolnički transport pacijenata iz jedne medicinske ustanove u drugu radi više razine skrbi se često provodi (54). Ukoliko je riječ o akutno oboljelom, kritičnom pacijentu, transport provodi tim Hitne medicinske službe (HMS) sa liječnikom. U Republici Hrvatskoj je HMS organizirana od strane Hrvatskog zavoda za hitnu medicinu, javne zdravstvene ustanove za obavljanje djelatnosti hitne medicine i telemedicine (55). Rad HMS organiziran je u timove T1 i T2, pri čemu T1 čine vozač, medicinski tehničar i liječnik, dok T2 čine medicinski tehničar i medicinski tehničar-vozač. Transport se može odvijati različitim sredstvima, a to su kola hitne pomoći, helikopteri, letjelice sa fiksnim krilima ili brze brodice. Najčešće korišteno vozilo su kola hitne pomoći, sa svom opremom za zbrinjavanje pacijenta (54). Vozilo HMS opremljeno je transportnim respiratorom, bocom s kisikom, uređajem za dostavu kisika, defibrilatorom sa dodatnom opcijom nadzora pacijenta, aspiratorom, potrošnim materijalom za zbrinjavanje ozljeda, imobilizacijskim sredstvima kao što su duga daska, vakuum madrac i različite vrste udlaga, transportnim sredstvima kao što su nosila, transportna kolica, rasklopna i platnena nosila, reanimacijskim kovčegom za odrasle, reanimacijskim kovčegom za djecu, kompletom za porod, kompletom za opekline, kompletom za inhalacijsku terapiju, liječničkom torbom sa ampularijem te torbom za medicinskog tehničara. Vozilo također može sadržavati prijenosni ultrazvuk i uređaje za vanjsku masažu srca. Osim adekvatne navedene opreme za zbrinjavanje pacijenta tijekom transporta, priprema i stabilizacija pacijenta prije transporta je bitna u svrhu boljeg preživljavanja tijekom i nakon premještanja u drugu ustanovu. Nadalje, dobra organizacija i komunikacija između zdravstvene ustanove iz koje se pacijent premješta, ustanove koja će provesti transport, kao i ustanove u koju će pacijent biti premješten od krucijalne je važnosti za smanjenje rizika od komplikacija prije, tijekom i nakon transporta (56,57).

Obzirom da su pacijenti koji se transportiraju između ustanova često komplicirani, javlja se potreba za sistematičnim pristupom. Sistematski ABCDE pristup osmišljen je kako bi se redoslijedom temeljenim na važnosti nadzirao, ali i zbrinjavao pacijent u raznim situacijama, kao što su kardiopulmonalna reanimacija, povratak spontane cirkulacije i zbrinjavanje traume (58–60). Pristup je primjenjiv u svim hitnim kliničkim stanjima. Slova skraćenice označavaju dišni put, disanje, cirkulaciju, brzu neurološku procjenu i

izloženost (eng. *Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure*) (61,62). Ovaj pristup omogućava zbrinjavanje komplikacija redom kako se na njih nailazi. Na iduću stavku se ne prelazi dok se prethodna nije zbrinula, osiguravajući time nizak rizik od previđanja potencijalnih životno ugrožavajućih stanja ili zaboravljanja provođenja nekih postupaka. Svaka stavka ima svoje metode procjene i zbrinjavanja stanja koja mogu akutno ugroziti pacijenta. Tijekom transporta bitna je kontinuirana reevalvacija pacijentova stanja koja je olakšana ovim pristupom jer omogućavajući detaljan uvid u dinamiku zbivanja (60–63).

#### **4.1. A – Dišni put**

Prema ABCDE pristupu, slovo A označava *Airway*, odnosno, procjenu i zbrinjavanje dišnih putova. Procjenu provodimo osnovnim postupcima. Razlozi eventualne opstrukcije traže se provjerom usne šupljine, procjenom pridruženih zvukova u dišnim putovima te strujanja zraka. Ukoliko je procijenjeno da je prohodnost dišnih putova ugrožena, dišni put je potrebno otvoriti zabacivanjem glave i podizanjem brade ili trostrukim hvatom potiskujući donju čeljust prema gore i naprijed ukoliko postoji sumnja na ozljedu cervikalne kralježnice. Otvoren dišni put je potrebno osigurati odgovarajućom metodom – osnovnim ili naprednim pomagalicama za održavanje dišnog puta, endotrahealnom intubacijom ili intubacijom u brzom slijedu (54,63). Ukoliko je u dišnom putu prisutan nepripadajući sadržaj, potrebno ga je odstraniti Magillovim hvataljkama ili očistiti aspiratorom (62,63).

##### **4.1.1. Pomagala za održavanje dišnog puta**

Održavanje dišnog puta moguće je uporabom osnovnih i naprednih pomagala. Postavljaju se u pacijenata bez faringealnog, laringealnog i refleksa kašljanja.

Osnovna pomagala su orofaringealni i nazofaringealni tubus. Orofaringealni tubus je zarivljeni, kruti instrument koji sprječava opstrukciju dišnog puta bazom jezika. Primjerena veličina za pacijenta odgovara udaljenosti od kuta usne do kuta mandibule, a postavlja se sa konkavnim dijelom okrenutim prema nepcu pacijenta do prolaska tvrdog nepca, kada se rotira za 180° i potiskuje dok ne legne u ždrijelo. Nazofaringealni tubus je savitljiv instrument koji se postavlja u nosnicu rotirajućim pokretima. Primjerena veličina za pacijenta odgovara udaljenosti od nosnice do ušne resice. Indiciran je u pacijenata sa

trizmusom i opsežnim ozljedama lica, dok je kontraindiciran kod sumnje na prijelom baze lubanje. Navedena pomagala ne sprječavaju aspiraciju povraćenog sadržaja, krvi ili sline.

Napredna pomagala za održavanje dišnog puta su supraglotička pomagala, koja se postavljaju u orofarinks i naliježu na glotis, održavajući prohodnost dišnog puta te ga odvajaju od probavnog sustava, smanjujući time rizik od aspiracije. Najčešće se koriste i-gel, laringealni tubus i laringealna maska. I-gel je zbog jednostavnosti i brzine postavljanja sredstvo izbora u izvanbolničkoj HMS. Veličina tubusa se određuje prema tjelesnoj težini pacijenta, sadrži branik za ugriz i kanal za aspiraciju te vrh napravljen od termolabilnog materijala koji na tjelesnoj temperaturi dodatno pospješuje prijanjanje na glotis. Nakon postavljanja potrebno je provjeriti učinkovitost ventilacije auskultacijom u srednjim aksilarnim linijama i promatranjem simetričnosti obostranog odizanja prsnog koša. Prednost i-gela je osiguravanje dišnog puta tijekom kardiopulmonalne reanimacije bez potrebe prekidanja postupka vanjske masaže (54,59,63). Komplikacije su rijetke, a mogu biti laringospazam, prolazno oštećenje živaca, hematomi i vagalne reakcije (64).

#### **4.1.2. Endotrahealna intubacija**

Endotrahealna intubacija (ETI) je zlatni standard upravljanja dišnim putovima, stvarajući izravan put do traheje, omogućavajući prohodnost dišnih putova, potpomažući oksigenaciju i ventilaciju te sprječavajući aspiraciju. Endotrahealni tubus odgovarajuće veličine postavlja se u traheju pomoću laringoskopa, koji omogućava ispunjavanje bitnog preduvjeta intubaciji, a to je vizualizacija glasnice. Nakon postavljanja tubusa, potrebno je provjeriti ispravnost postavljanja, auskultacijom epigastrija i srednjih aksilarnih linija obostrano, evidentiranjem kondenzacije unutar tubusa, simetričnog odizanja stijenke prsnog koša te kapnografijom (54,63). Ukoliko se ETI provodi za vrijeme kardiopulmonalne reanimacije, kompresije prsnog koša se prekidaju do 5 sekundi, kada tubus prolazi kroz glasnice (58). U slučaju da pacijent diše i postoji potreba za održavanjem dišnog puta i suficijentne ventilacije, ali i visok rizik od aspiracije želučanog sadržaja, može se provesti brza indukcija i intubacija u slijedu (RSII, eng. *Rapid sequence induction and intubation*), koja podrazumijev postupak preoksigenacije, primjene anestetika i neuromišićnog relaksansa, a potom i ETI. Dobra priprema, prethodno

iskustvo i vještina smanjuju rizik od komplikacija, kao što su postavljanje tubusa u jednjak ili ispod bifurkacije traheje te neuspjele ETI (54,58,63,65,66).

#### **4.1.3. Aspiracija i čišćenje dišnih putova**

Čišćenje dišnih putova je postupak koji je potrebno provesti ukoliko se u dišnom putu nalazi tekući sadržaj ili krute čestice. Najčešće je to želučani sadržaj, slina i krv. Neželjeni sadržaj uklanja se uređajem koji proizvodi negativni tlak i Yankauerovim kateterom ukoliko se čiste gornji dišni putovi ili savitljivim kateterom prilikom čišćenja donjih dišnih putova. Negativni tlak se uključi tek kada se kateter postavi na željeno mjesto u dišnom putu u trajanju od 15 sekundi kako bi se smanjio rizik od ozljeda. Ukoliko dođe do začepjenja katetera, sukcijom prethodno pripremljene fiziološke otopine možemo vratiti prohodnost katetera. Dišni put se može očistiti kroz orofaringealni ili nazofaringealni tubus, kao i kroz endotrahealni tubus, ukoliko dođe do aspiracije (59,63).

## **4.2. B – Disanje**

Prema ABCDE pristupu, slovo B označava *Breathing*, odnosno, disanje. Prilikom procjene disanja, potrebno je odrediti frekvenciju disanja, promatrati simetričnost odizanja prsnog koša, procijeniti napor disanja, odnosno koristi li pacijent pomoćnu respiratornu muskulaturu, auskultirati prsište i ukoliko postoji asimetričnost šuma disanja perkutirati te procijeniti postojanje hemato- ili pneumotoraksa, odrediti položaj traheje u suprasternalnoj jami te izmjeriti saturaciju arterijske krvi kisikom ( $SpO_2$ ) (62,63). Postupci zbrinjavanja disanja su adekvatna oksigenoterapija i asistirana ventilacija.

### **4.2.1. Oksigenoterapija**

Potreba za oksigenoterapijom, odnosno odluka o načinu primjene oksigenoterapije, određuje se prema vrijednostima  $SpO_2$  izmjerenih pulsним oksimetrom. Osim toga, pulsним oksimetrom titriramo primjenu oksigenoterapije nakon postavljanja inicijalnog protoka i koncentracije kisika. Ciljna saturacija je obično 94-98%, kod pacijenata sa akutnim infarktom miokarda sa ST – elevacijom do 90%, a u pacijenata sa kroničnom opstruktivnom plućnom bolesti (KOPB) 88-92%. Kisik se daje u različitim koncentracijama, odnosno frakcijama udahnutog kisika ( $FiO_2$ , eng. *Fraction of inspired oxygen*) i protocima, pomoću različitih sustava za dovod kisika. Nosni kateter ima protok

od 1 do 6 L/min i procjenjenu  $FiO_2$  22-44%. Jednostavna maska, odnosno, maska za kisik bez spremnika ima protok od 6 do 10 L/min te  $FiO_2$  od 44 do 60%. Pacijent udiše smjesu plinova koja se sastoji od kisika navedenih  $FiO_2$  i sobnog zraka. Prilikom korištenja ove maske, protok se postavlja iznad 5 L/min da bi se smanjio rizik od ponovnog udisanja izdahnutog zraka te posljedične hiperkapnije. Postoje različite veličine maski te se one postavljaju preko nosa i usta. Maska sa spremnikom i jednosmjernim valvulama može postići najveće protoke, od 10 do 15 L/min, i  $FiO_2$  od 85 do 100%. Zahvaljujući valvulama pacijent ne udiše okolni zrak i ne postoji rizik od ponovnog udisanja izdahnutog zraka. Venturi maske, dostupne sa  $FiO_2$  od 24%, 28%, 31%, 35%, 40% i 60%, omogućavaju primjenu određene  $FiO_2$  bez obzira na protok te se najčešće koriste kod pacijenata sa KOPB-om. Primjena oksigenoterapije je podesiva, pa se obično kreće s većim protokom koji se onda može smanjivati ovisno o bolesnikovoj  $SpO_2$  i  $SpO_2$  kojoj težimo (54,63,67,68). Primjena maksimalnog protoka kisika od 15 L/min indicirana je tijekom kardiopulmonalne reanimacije, utapljanja, hipotermije, traume, ozljede glave sa teškim poremećajem svijesti, trovanja ugljikovim monoksidom i cijanidima, pneumotoraksa, cluster glavobolja, masivnog plućnog krvarenja, epileptičkog statusa i šoka bilo kojeg uzroka (58,59,63).

#### **4.2.2. Transportni respirator**

Transportni respirator koriste T1 timovi HMS te njime upravlja liječnik. Indikacije za korištenje respiratora su kardiopulmonalni zastoje, akutna respiratorna insuficijencija i hipoksija s naporom pri disanju (63). Transportni respirator ima mogućnost invazivne i neinvazivne ventilacije. Raspoloživi modaliteti invazivne ventilacije su volumenom kontrolirana – kontrolirana mandatorna ventilacija sa pozitivnim tlakom na kraju ekspirija (PEEP, eng. *Positive end – expiratory pressure*) (VC – CMV, eng. *Volume controlled - controlled mandatory ventilation*), volumenom kontrolirana – asistirana/kontrolirana s PEEP-om (VC – A/C, eng. *Volume controlled – assist control*), volumenom kontrolirana – sinkronizirana intermitentna mandatorna ventilacija s PEEP-om (VC – SIMV, eng. *Volume controlled - synchronized intermittent mandatory ventilation*) sa opcijom tlačne potpore, te kontinuirani pozitivni tlak dišnih putova (SpnCPAP, eng. *Continuous positive airway pressure*) sa opcijom tlačne potpore. Modalitet SpnCPAP omogućuje opciju neinvazivne ventilacije s pozitivnim tlakom (NIPPV, eng. *Noninvasive Positive Pressure*

*Ventilation*). Prilikom rada s transportnim respiratorom upravlja se različitim parametrima. Respiracijski volumen ( $V_T$ ) označava volumen inspirija i obično se preporuča podešavanje na 6-8 mL/kg. Određena stanja, kao što su neuromuskularne bolesti, zahtijevaju veći volumen, a stanja kao što je ARDS, zahtijevaju manji respiracijski volumen. Frekvencija disanja (RR) se podešava na 10-12 udaha u minuti te ju je potrebno sniziti u stanjima opstruktivnih plućnih bolesti. Vršni inspiratorni tlak ( $P_{peak}$ , eng. *Peak pressure*) označava najviši izmjereni tlak na kraju udisaja te je preporuka postaviti ga ispod 30 cmH<sub>2</sub>O. Početne vrijednosti PEEP-a su obično između 3 i 5 cmH<sub>2</sub>O, čime se sprječava zatvaranja alveola na kraju ekspirija, poboljšavajući tako oksigenaciju. Odnos inspirija i ekspirija je obično 1:1,5 ili 1:2, dok je kod pacijenata sa KOPB-om i astmom taj omjer veći. Udio kisika se na početku podešava na 100% te se kasnije prilagođava prema vrijednostima SpO<sub>2</sub>. Svi navedeni parametri su podložni promjenama ovisno o pacijentovoj dijagnozi i općem stanju (63,65,69).

Modalitet VC – CMV sa PEEP-om je način ventilacije sa fiksno zadanim minutnim volumenom (MV), postavljenim pomoću  $V_T$ -a i RR-a. Ovaj modalitet koristi se samo kod pacijenata koji ne dišu spontano ili su duboko sedirani i relaksirani te u HMS najčešće za vrijeme kardiopulmonalne reanimacije.

Modalitet VC - AC sa PEEP-om je način ventilacije pri kojem pacijent svojim pokušajem udisaja iznad postavljenog praga osjetljivosti pokreće isporuku zadanog respiracijskog volumena. Ukoliko pacijent ne diše određenom frekvencijom, respirator će isporučiti udah zadanom frekvencijom i  $V_T$ -om.

Modalitet VC – SIMV sa PEEP-om je način ventilacije pri kojem respirator isporučuje udisaje zadanim  $V_T$  i RR koji su sinkronizirani sa pacijentovim disanjem. Pacijent samostalno udiše između udisaja isporučenih respiratorom. Dodatna opcija ovog modaliteta je tlačna potpora. Prilikom spontanog udaha pacijenta, respirator generira dodatan tlak koji nadvladava otpor endotrahealnog tubusa i povećava respiracijski volumen (63,70).

Modalitet SpnCPAP je način ventilacije pri kojem respirator primjenjuje pozitivan tlak tijekom cijelog ciklusa disanja te se u jedinicima intenzivnoj liječenja provodi na intubiranim pacijentima, odnosno, invazivno. Neinvazivna opcija SpnCPAP-a je NIPPV i



predstavlja potporu disanju obzirom da pacijent određuje frekvenciju i volumen disanja, a respirator pozitivnim tlakom samo povećava učinkovitost disanja pacijenta. Pozitivni tlak sa početnom vrijednošću od 5 cmH<sub>2</sub>O isporučuje se pacijentu putem usko priljubljene maske koja mora prekrivati i nos i usta. Ovaj modalitet se koristi kod pacijenata sa akutnim kardiogenim plućnim edemom, akutnom egzacerbacijom KOPB-a i akutnim respiratornim zatajenjem različite etiologije te smanjuje potrebu za kasnijom endotrahealnom intubacijom i skraćuje vrijeme hospitalizacije (63,71).

Korištenjem transportnog respiratora tijekom transporta bitno je procijeniti vrijeme rada respiratora, obzirom na ograničenu količinu raspoloživog kisika. Formula za izračun je sljedeća:

Opskrba medicinskim plinom = Tlak boce mjeren manometrom reduktora tlaka (kPa) \*  
Tekući kapacitet O<sub>2</sub> boce (L)

Minutni volumen(MV) = RR \* V<sub>T</sub>

Vrijeme rada =  $\frac{\text{Opskrba medicinskim plinom [L]}}{\text{MV+prosječna potrošnja plina respiratora [L/min]}}$

#### 4.2.3. Kapnografija

Kapnografija je koristan dijagnostički alat za praćenje dišnog puta, ventilacije i perfuzije (72). Najosjetljiviji je i najspecifičniji način potvrđivanja i kontinuiranog praćenja položaja endotrahealnog tubusa te ventilacije, jer se njome kontinuirano i neinvazivno mjeri parcijalni tlak CO<sub>2</sub> (PaCO<sub>2</sub>) u izdahnutom zraku. Ugljični dioksid na kraju ekspirija (EtCO<sub>2</sub>, eng. *End tidal CO<sub>2</sub>*) najbolje reflektira alveolarnu PaCO<sub>2</sub> te su ciljne vrijednosti između 35 i 45 mmHg (58,63). Vrijednost EtCO<sub>2</sub> niža od 35 mmHg govori u prilog hiperventilaciji, a vrijednost viša od 45 mmHg hipoventilaciji. Normalni kapnogram pokazuje krivulju koja se sastoji od četiri faze, koje počinju i završavaju sa ekspirijem. Na početku ekspirija koncentracija CO<sub>2</sub> u izdahnutom plinu je nula, a predstavlja plin iz anatomskog mrtvog prostora koji ne sudjeluje u izmjeni plina. Koncentracija CO<sub>2</sub> raste kako se zrak iz anatomski mrtvog prostora izdiše te alveolarni plin počinje izlaziti iz dišnog puta. Većim dijelom ekspirija koncentracija CO<sub>2</sub> je konstantna i odražava koncentraciju CO<sub>2</sub> u alveolarnom plinu. Tijekom inspirija koncentracija CO<sub>2</sub> naglo pada na nulu kako atmosferski zrak ulazi u dišne putove (72). Varijacije kapnografije mogu identificirati

različita stanja. Kapnografija se u izvanbolničkim uvjetima koristi za vrijeme kardiopulmonalne reanimacije u svrhu potvrde položaja endotrahealnog tubusa, kontrole kvalitete vanjske masaže srca i ventilacije, predikcije ishoda te kao znak povrata spontane cirkulacije (58,63). Kontrola kvalitete ventilacije moguća je i ukoliko pacijent ima puls te je uz prepoznavanje hipo- i hiperkapnije moguće pronaći potencijalni uzrok i zbrinuti ga. Osim toga, kapnografija je dobar pokazatelj perfuzije te se koristi za prepoznavanje promjena u krvotoku pluća, kao što je plućna embolija, praćenje stanja hipovolemijskog šoka te prevenciju vazokonstrukcije i vazodilatacije kod traumatske ozljede mozga. Praćenjem sediranih i relaksiranih pacijenata kapnografijom omogućeno je prepoznavanje oporavka od mišićnog relaksansa te pravovremena ponovna sedacija i relaksacija. Također, kod pacijenata sa sumnjom na dijabetičku ketoacidozu je moguće potvrditi dijagnozu ukoliko pacijenti imaju  $\text{GUK} \geq 30,6 \text{ mmol/L}$  i  $\text{EtCO}_2 < 21 \text{ mmHg}$  (54,63).

### **4.3. C – Cirkulacija**

Prema ABCDE pristupu, slovo C označava *Circulation*, odnosno, cirkulaciju. Prilikom procjene cirkulacije određuje se frekvencija, volumen i pravilnost centralnog i perifernog pulsa, vrijeme kapilarnog punjenja, mjeri se krvni tlak, procjenjuje se boja i temperatura kože, traže se vanjski znakovi krvarenja, procjenjuje prisutnost zastoynih promjena u vidu nabreklih vratnih vena, edema potkoljenica i uvećane jetre te se procjenjuje diureza. Pacijenta je potrebno monitorirati i snimiti 12-kanalni elektrokardiogram (EKG). Parametri koji se prate monitorom su srčana frekvencija,  $\text{SpO}_2$ , krvni tlak, srčani ritam i po potrebi kapnografija. Cirkulacija pacijenta se zbrinjava zaustavljanjem vanjskog krvarenja, postavljanjem intravenskog ili intraosealnog puta i nadoknadom tekućine ukoliko je potrebno te zbrinjavanjem ostalih poremećaja, kao što su akutni koronarni sindrom (62,63).

#### **4.3.1. Defibrilator**

Defibrilator je uređaj koji primarno ima terapijske mogućnosti, ali je ujedno i glavno sredstvo nadzora pacijenata u radu HMS. Terapijske mogućnosti defibrilatora su manualna i automatska vanjska defibrilacija kovertibilnih ritmova tijekom kardiopulmonalne reanimacije, sinkronizirana kardioverzija tahiaritmija i transkutana

elektrostimulacija srca kod bradikardija (63,73). Uređaj omogućuje nadzor pacijenta koji uključuje mjerenje HR, SpO<sub>2</sub>, krvnog tlaka (NIBP, eng. *Noninvasive blood pressure*), prikaz kapnografije, kao i nadzor srčanog ritma pomoću 12-kanalnog EKG-a. Kontinuiran nadzor kliničke slike pacijenta te navedenih parametara omogućavaju pravovremeno zbrinjavanje kardiorespiratorne ugroženosti (63).

#### **4.3.2. Intravenski i intraosealni put, nadoknada tekućine**

Jedan od osnovnih postupaka u HMS je postavljanje intravenskog puta, primarno u terapijske svrhe. Putem intravenske kanile odgovarajuće veličine omogućava se primjena lijekova, nadoknada tekućina i koncentrata eritrocita. Venski pristup izbjegava se kroz ili distalno od područja infekcije, ozljeda ili mjesta potencijalnog vaskularnog poremećaja. Također se izbjegava korištenje ekstremiteta s arteriovenskim fistulama ili transplantatima i onih kod kojih je prethodno bila učinjena disekcija limfnih čvorova. Komplikacije uključuju hematom, ekstravazaciju tekućine i lijekova, neprohodnost kanile, zračnu emboliju, tromboflebitis i celulitis. Najčešće mjesto postavljanja su vene na dorzalnoj strani šake i u antekubitalnoj jami (54,63). Ukoliko je intravenska kanulacija neuspješna dva puta, a pacijent zahtijeva primjenu lijekova ili tekućina odmah ili su ekstremiteti zahvaćeni obilnim opeklinama postavlja se intraosealni put, odnosno, specijalizirana šuplja igla kroz korteks kosti u medularni prostor (63). Kontraindikacije uključuju proksimalni ipsilateralni prijelom, vaskularnu ozljedu i tešku osteoporozu ili osteogenesis imperfecta, nemogućnost lociranja mjesta pristupa, postavljen pristup u zadnjih 48 sati, infekciju kože i nedavno operiran ekstremitet. Komplikacije intraosealnog pristupa su celulitis, osteomijelitis, jatrogena fraktura ili ozljeda epifizne ploče rasta i masna embolija. Najčešća mjesta postavljanja su proksimalna tibija, proksimalni humerus i distalna tibija, a ostala moguća mjesta su sternum i ileum (54,59,63).

#### **4.3.3. Nadoknada tekućine**

Nadoknada kristaloidnih otopina kao što su fiziološka otopina i Ringerov laktat, potrebna je u slučaju poremećene perfuzije vitalnih organa. Indikacija za hitno nadomještanje tekućine postavlja se na temelju prisutnosti, odnosno, odsutnosti centralnog i radijalnog pulsa, koji su dobri pokazatelji perfuzije. Ukoliko su oba pulsa odsutna, što odgovara sistoličkom krvnom tlaku nižem od 90 mmHg, počinje se sa hitnom

nadoknadom tekućine bolusima kristaloida od 250 mL. Odsutnost radijalnog, ali prisutnost centralnog pulsa je relativna indikacija, ovisno o znakovima tkivne prokrvljenosti i gubitku krvi. Prisutnost oba pulsa je indikacija u slučaju prisutnosti drugih znakova poremećene funkcije vitalnih organa, kao što je poremećeno stanje svijesti i klinička stanja koja ukazuju na veliki gubitak tekućine, kao što je krvarenje iz probavnog sustava. Nakon svakog bolusa od 250 mL potrebno je provesti reevaluaciju vitalnih znakova prije primjene sljedećeg bolusa (63). Rutinsko korištenje velikih količina intravenske tekućine u uvjetima nekontroliranog unutarnjeg krvarenja može povećati krvarenje i smrtnost te razrijediti faktore zgrušavanja. Važno je imati na umu da oni ne pomažu dostavu kisika i nisu zamjena za eritrocite. Rana transfuzija krvi vrlo je važna u teškim slučajevima hemoragičnog šoka (59,74). Prema smjernicama za kardiopulmonalnu reanimaciju, rutinska infuzija velikih količina tekućine izbjegava se u nedostatku dokaza sumnje za hipovolemijski uzrok srčanog zastoja (58). Opekline zahtijevaju izračunavanje količine Ringerova laktata po Parklandovoj formuli, koju je potrebno dati pacijentu u prva 24 sata (59). U pacijenata sa značajnom dehidracijom brza nadoknada volumena može prouzročiti preveliko opterećenje kardiopulmonalnog sustava te je preporučena postupna rehidracija kroz duži vremenski period (63). Nadoknada tekućine je vrlo kompleksna i ovisi o patofiziologiji koja je u pozadini hemodinamske nestabilnost te tekućine treba tretirati i propisivati kao lijekove, s vrstom i dozom prilagođenom individualnim potrebama i toleranciji svakog pacijenta (75).

#### **4.3.4. Postavljanje urinarnog katetera**

Postavljanje urinarnog katetera ima svoje terapijske i dijagnostičke indikacije. Kateter se u mokraćni mjehur kroz uretru postavlja u terapijske svrhe u pacijenata sa urinarnom retencijom različite etiologije te je to ujedno najčešći razlog postavljanja katetera u HMS. Osim toga, kateter se u bolničkom okruženju postavlja perioperativno. Ukoliko se tijekom transporta ili hospitalizacije pacijenta javlja potreba za praćenjem urodinamike postavlja se kateter (76). Postupak postavljanja se provodi sterilnim rukavicama uz aplikaciju anestetičkog lubrikanta u svrhu smanjenja nelagode. Bitno je retencijski balon napuhnuti tek kada je vidljiv prolaz urina kroz kateter. Napuhne li se balon prije, može doći do edema i ozljede uretre. Osim pridržavanja higijenskih uvjeta pri postavljanju katetera, od iznimne je važnosti voditi i higijenu nakon postavljanja obzirom

da je najčešća komplikacija urinarna infekcija uzrokovana kateterom (54,77). Izlučena količina urina od 0,5 mL/kg/h često je citiran, mada, arbitraran cilj. Iako neki pacijenti mogu proizvesti volumen urina ispod ove razine bez promjene u biokemiji bubrega, tako mali volumen trebao bi upozoriti kliničara na mogućnost suboptimalne perfuzije bubrega. Oligurija je najčešće povezana s hipotenzijom kao prerenalnim uzrokom, tako da je optimizacija krvnog tlaka primjenom intravenskih tekućina i eventualno vazopresora prvi izbor u liječenju (78).

#### **4.4. D – Brza neurološka procjena**

Prema ABCDE pristupu, slovo D označava *Disability*, odnosno brzu neurološku procjenu. Procjena se vrši procjenom razine svijesti AVPU skalom ili Glasgowskom koma skalom (GKS). Potrebno je napraviti brzi neurološki pregled te izmjeriti razinu glukoze u krvi (GUK).

##### **4.4.1. Procjena razine svijesti**

Skala AVPU daje opis pacijentovog stanja svijesti i predstavlja skraćenicu od *Alert, Voice, Pain, Unresponsive*. *Alert* – budan, označava pacijenta koji je budan, orijentiran i sluša naredbe. *Voice* – reagira na poziv, označava osobu koja je budna, ali zbunjena ili nesvjesna, ali reagira na verbalne podražaje. *Pain* – reagira na bolni podražaj, označava osobu bez svijesti, ali reagira na dodir ili bolne podražaje. *Unresponsive* – ne reagira, označava osobu bez svijesti, ne reagira na bolni podražaj i nema zaštitnih refleksa (59,63).

Glasgowska koma skala (GKS) druga je, u praksi često korištena, metoda koja ocjenjuje bolesnikov neurološki status na temelju vrednovanja stimulusa potrebnog za otvaranje očiju, njegovog verbalnog i motoričkog odgovora te je u cijelosti prikazana u Tablici 6 (63,78). Najveći mogući zbroj bodova na skali je 15, dok je najmanji 3.

Tablica 6. Glasgowska koma skala

Odgovor	Bodovi
Otvaranje očiju:	
• Spontano	4
• Na poziv	3
• Na bol	2
• Nema odgovora	1
Verbalni odgovor:	
• Orijentiran	5
• Smeten	4
• Neprimjerene riječi	3
• Nerazumljivi glasovi	2
• Nema odgovora	1
Motorički odgovor:	
• Sluša naredbe	6
• Lokalizira bol	5
• Reagira povlačenjem udova	4
• Odgovor u fleksiji	3
• Odgovor u ekstenziji	2
• Nema odgovora	1

#### 4.4.2. Brzi neurološki pregled

Brzi neurološki pregled omogućuje pronalazak najčešćih neuroloških deficita u svrhu njihovog pravovremenog zbrinjavanja. Potrebno je ispitati reakciju zjenica na svjetlo, kao i njihovu veličinu i simetričnosti te postojanje i vrstu nistagmusa, jer patološki nalaz može biti pokazatelj različitih patologija oka, vidnog puta, ali i ostatka središnjeg živčanog sustava. Mogućnost održavanja ravnoteže i propiocepcija ispituju se Rombergovim testom. Ukoliko je to moguće, ispituje se i pacijentov hod te koordinacija. Na svim ekstremitetima se provjerava motorika, osjet i prisutnost perifernih pulzacija (78). Obzirom na prevalenciju cerebrovaskularnog inzulta te važnost pravovremene dijagnostike i vremensku ograničenost terapijskih mogućnosti od iznimne je važnosti sistematičnost pregleda pacijenta sa sumnjom na navedenu dijagnozu. Iz tog razloga je u uporabi akronim FAST, koji označava *Face, Arm, Speech, Time*. Bitno je prepoznati asimetriju u mišićima lica pacijenta, najčešće pad kuta usne, asimetriju u motoričkoj snazi ekstremiteta, nerazumljivost govora kao i nerazumijevanje govora te vrijeme kada su simptomi počeli (79).

#### **4.4.3. Glukoza u krvi**

Koncentracija glukoze u krvi nadzire se glukometrom te se normalnom koncentracijom smatra raspon između 6 i 10 mmol/L (78). Ukoliko je pacijent poremećenog stanja svijesti, ima u anamnezi šećernu bolest, konvulzije, konzumaciju lijekova ili droga ili se sumnja na toplinski udar, konzumaciju alkohola, potrebno je izmjeriti glukozu u krvi, jer su sva navedena stanja čimbenici koji mogu dovesti do poremećene koncentracije glukoze u krvi, osobito hipoglikemije. Važnost ispravljanja hipoglikemije, odnosno, koncentracije glukoze niže od 3,0 mmol/L uvjetovana je visokim rizikom od cerebralnog oštećenja, ali i smrti. Hipoglikemija se liječi glukozom per os ili intravenski, kao i glukagonom intramuskularno ili subkutano. Opasnost hiperglikemije leži u riziku od nastanka dijabetičke ketoacidoze, do koje često dođe u novonastalom dijabetesu. Dijabetička ketoacidoza može zakomplicirati bolesti koje pacijent ima uz dijabetes te može katalizirati razvoj hitnih stanja kao što su akutni koronarni sindrom ili cerebrovaskularni inzult. Hiperglikemija se korigira intravaskularnom primjenom tekućine (63).

#### **4.5. E – Izloženost**

Prema ABCDE pristupu, slovo E označava Exposure, odnosno, izloženost. Pacijenta je potrebno razodjenuti te detaljno pregledati, uzeti anamnezu, izmjeriti tjelesnu temperaturu i zatražiti medicinsku dokumentaciju.

##### **4.5.1. Status i anamneza**

Pregled pacijenta obavlja se sistematično. Svaku regiju tijela potrebno je inspeksijski procijeniti, zatim palpirati, auskultirati i perkutirati. Potrebno je obratiti pozornost na površinske ozljede i ožiljke, opisati u centimetrima veličine patoloških nalaza koji se pronađu inspekcijom ili palpacijom te ih dokumentirati, kao i auskultatorne i perkutane fenomene. Prilikom pregleda se također mjeri tjelesna temperatura. Nadalje, obraća se pozornost na javljanje boli, koja se može kvantificirati verbalnom-analognom skalom boli od 0 do 10, pri čemu 0 označava neprisutnost boli, a 10 najjaču bol. Ukoliko postoji ozljeda, potrebno je opisati lokalizaciju, mehanizam i vrstu ozljede. Prilikom pregleda pacijenta, moguće je uzimanje anamneze, koja se u izvanbolničkim uvjetima

najčešće uzima pomoću skraćenice SAMPLE, koja označava znakove i simptome, alergije, lijekove, zadnji obrok i što se dogodilo (eng., *Signs and symptoms, allergies, medications, past history, last meal, event*). Pacijent navodi razlog zvanja HMS, kao i detaljne informacije o simptomima i znakovima kojima se prezentira. Potrebno je navesti alergije na lijekove i druge alergene koje pacijent ima te sve lijekove koje uzima i njihove doze. Pacijenta je potrebno pitati povijest bolesti, obiteljsku i socijalnu anamnezu, kada je imao zadnji obrok te što se dogodilo (59,63).

#### **4.5.2. Medicinska dokumentacija**

Medicinska dokumentacija traži se od pacijenta, njegovih bližnjih ili osoblja koje je do tada o njemu skrbrilo u svrhu potpunog saznanja o pacijentovim dosadašnjim bolestima i hospitalizacijama. Ona također pruža uvid u potpunu listu lijekova koje pacijent konzumira, kao i alergije koje pacijent ima.



## 5. PROTOKOL ZA MEĐUBOLNIČKI TRANSPORT BOLESNIKA S UGRAĐENIM SUSTAVOM ZA IZVANTJELESNU MEMBRANSKU OKSIGENACIJU

Kontinuiranim širenjem indikacija za ekstrakorporalnu membransku oksigenaciju, prijevoz pacijenata uz ECMO podršku ili spašavanje pacijenata u vanjskim ustanovama ugradnjom ECMO sustava dodaje dodatni stupanj složenosti ionako kompliciranom zadatku prijevoza kritično bolesnih (80). Pacijenti koji ispunjavaju uvjete za ECMO općenito su klinički nestabilni, unatoč maksimalnoj potpori ventilatorom i drugim terapijama održavanja života u jedinicama intenzivne njege. Konvencionalni transport može biti opasan, a opisani su i smrtni slučajevi te se s ciljem boljih ishoda i sigurnosti javlja potreba transporta pacijenta tek nakon ECMO ugradnje (15,81). Transport pacijenata sa ugrađenim ECMO-om prvi put je opisan 1977. godine te se od tad kontinuirano unapređuje (82). Zbog svoje složenosti ELSO preporučuje formiranje centara posvećenih liječenju pacijenata koji zahtijevaju ECMO jer se pokazalo da rezultati koreliraju sa brojem liječenih pacijenata. Optimalan broj koji je povezan sa značajnim smanjenjem mortaliteta je najmanje 30 odraslih pojedinaca godišnje (83). Kao posljedica toga, snažno se preporučuje konsolidacija ECMO terapije u specijaliziranim centrima velikog volumena. Takva centralizacija i takozvan „*hub and spoke model*“, odnosno model žbica – čvorište, uvela je visoko specijalizirani prijevoz pacijenata između referentnih bolnica i referentnih centara (80,84–87). To ne osporava mogućnost da bolnice s manjim obujmom pacijentu ugrade ECMO u hitnom slučaju i da ga se potom preveze u regionalni ECMO centar. U situacijama nove pandemije ili velike katastrofe, resursi u centru velikog volumena mogu se najbolje iskoristiti u liječenju težih i složenijih slučajeva (88). Od iznimne je važnosti, osim educiranja manjih centara o tehnikama ugradnje izvantjelesnog sustava u svrhu smanjenja komplikacija, educirati ih o ranom otkrivanju i upućivanju potencijalnog kandidata za ECMO u svrhu smanjenja preventabilnih smrtnih slučajeva. Uz navedeno, smanjenju komplikacija doprinose i aktivne i kontinuirane konzultacije između centara (81,84,89,90).

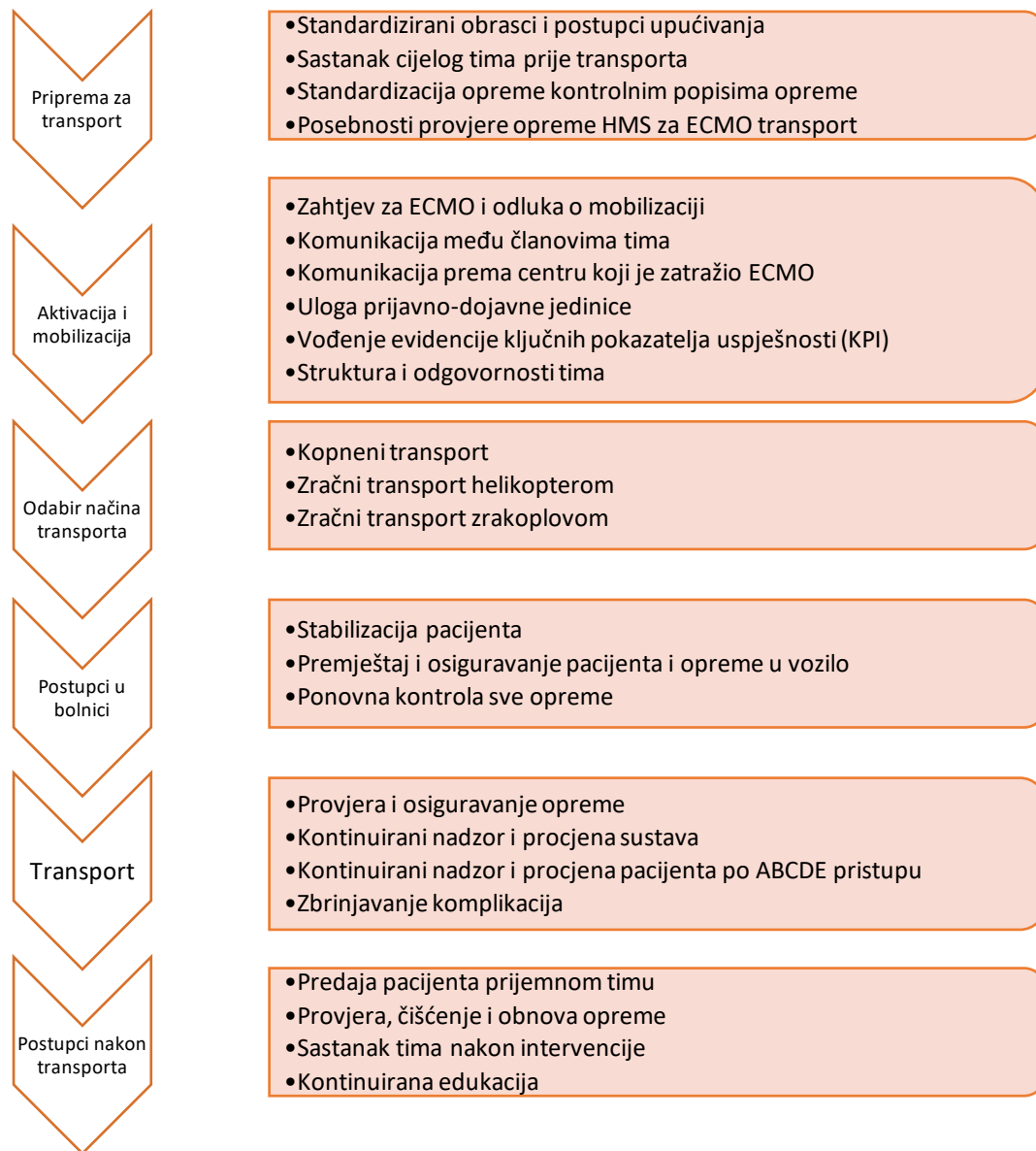
Postoji nekoliko vrsta transporta pacijenata na ECMO-u definiranih prema tome odakle se pacijent preuzima, u koju ga se ustanovu prevozi i iz koje ustanove dolazi ECMO tim. Primarni transport podrazumijeva dolazak medicinskog tima iz vanjske ustanove koji postavlja ECMO, stabilizira pacijenta i potom ga transportira. Sekundarni

transport označava transport pacijenta kojem je ECMO već ugrađen iz jedne ustanove u drugu. Tercijarni transport podrazumijeva da ECMO tim iz treće bolnice ugrađuje mehaničku potporu prije transporta između druge dvije bolnice. Osim toga, postoji unutarbolnički transport, koji označava transport pacijenta unutar bolnice radi dijagnostičkih testova ili premještaja na drugi odjel (80).

Prijevoz ECMO pacijenata zahtijeva koordinaciju i pažljivo razmatranje potencijalnih rizika i prednosti prijevoza i obično se obavlja kopnom ili zrakom. U većini slučajeva sklop i oprema koji se koriste za mobilni ECMO su isti kao i komponente koje se koriste za internu, unutarbolničku, ECMO podršku s prilagodbom za jedinstvene aspekte mobilne skrbi. Bez obzira na način transporta ili opremu, sigurnost pacijenta, transportnog tima i javnosti je najvažnija (80). Dodatan rizik za sigurnost transportnog tima predstavljala je pojava pandemije SARS-CoV-2 virusa 2019. godine zbog mogućnosti širenja virusa kapljičnim putem bolesnika i naknadne izloženosti transportnog tima (91). Komplikacije tijekom transporta pacijenta sa ugrađenim ECMO-om se događaju najmanje u 25% slučajeva te se mogu smanjiti protokolima koji omogućavaju kontinuirane i sistematične provjere tijekom procesa transporta, čija je sastavnica i opetovana edukacija transportnih timova i regionalnih centara (87).

Razvoj ECMO transportnih protokola povećao je dostupnost ovog resursa kritično bolesnim pacijentima koji inače ne bi mogli preživjeti transport do svog regionalnog ECMO centra (92). Organiziranje sustava za preuzimanje ECMO pacijenata i obavljanje međubolničkih ECMO transporta izvedivo je u svakom zdravstvenom sustavu te se obično provodi unutar samog sustava zdravstvene zaštite u kojem djeluje (87). Organizacija ELSO 2022. godine objavila je smjernice za transport odraslih i pedijatrijskih pacijenata na ECMO podršci s ciljem davanja osnovnih preporuka za pružanje primarnih i sekundarnih mobilnih ECMO usluga te je protokol u nastavku pisan prema njima. Kontrolni popisi, redovita praksa, edukacija koja uključuje simulacije visokog stupnja vjernosti i učinkovita koordinacija timskih uloga ključni su elementi pružanja sigurnog i učinkovitog ECMO transporta (80).

Protokol je podijeljen u 6 glavnih točaka od kojih se svaki transport treba sastojati u svrhu samoučinkovitosti te dodatne točke, koja se odnosi na transport bolesnika sa zaraznom bolesti (Slika 4.).



Slika 4. Glavne točke i sažeti postupci protokola za međubolnički transport pacijenta s ugrađenom ECMO podrškom

## **5.1. Priprema za transport**

Priprema transporta je ključna. Važno je uzeti u obzir vrstu i hitnost ECMO transporta koji se provodi, potrebnu opremu i razviti unaprijed hodograme za komunikaciju i dokumentiranje važnih kliničkih informacija. Dobro definirani procesi mogu povećati učinkovitost i smanjiti rizik transporta (80).

### **5.1.1. Komunikacija i dokumentacija**

Dokumentiranje kliničkih informacija treba se provoditi na učinkovit i pravovremen način. U svrhu bržeg pristupa informacijama od strane svih sudionika transporta, preporučuje se korištenje alata za elektronički medicinski zapis ukoliko su dostupni. Osim toga, preporuča se korištenje standardiziranih obrazaca preporuke, odnosno, ECMO uputnica (Tablica 7.) (80,90,93–95). U svrhu učinkovite komunikacije i brze organizacije, preporuča se razvijanje standardiziranog postupka upućivanja koristeći centralizirani logistički centar za transport ili njegu, ukoliko je to moguće. Sastanak cijelog tima prije transporta je iznimno važan, zbog planiranja i simulacije raspoređivanja i osiguravanja opreme, kao i koordinacije u vezi s optimalnom metodom prijevoza pacijenta i tima uzimajući u obzir veličinu i težinu pacijenta, tima i opreme, kao i dostupne načine transporta (80).

Tablica 7. Obrazac sa informacijama o pacijentu (ECMO uputnica)

OIB:		MBO:		IME I PREZIME, SPOL:			
DATUM ROĐENJA:		DATUM PRIJEMA:		LOKACIJA PACIJENTA (država, grad, bolnica, odjel):			
PODNOŠITELJ ZAHTEVA:				KONTAKT BROJ PODNOŠITELJA:			
POTPISANI INFORMIRANI PRISTANAK? (zaokružiti)			DA	NE	DAVATELJ PRISTANKA:		
TRENUTNA I UPISNA TEŽINA:			VISINA:		COVID-19 (Zaokružiti)	POZ.	NEG.
PRIJEMNA DIJAGNOZA:		KRATKA ANAMNEZA: (radna dijagnoza, komorbiditeti, indikacija za ECMO, itd.)					
POSTAVKE ECMO UREĐAJA modalitet: RPM: FIO <sub>2</sub> : protok plinova:							
KRONIČNO ZATAJENJE BUBREGA? (Zaokružiti)		DA	NE	TERAPIJA:			
DIJALIZA?		DA	NE	KONTINUIRANI LIJEKOVI:			
AKUTNO ZATAJENJE BUBREGA?		DA	NE				
AKTIVNO KRVARENJE?		DA	NE				
AKO DA, GDJE?:		NEUROLOŠKI STATUS:					
POTREBNA TRANSFUZIJA?		DA	NE				
ZASTOJ SRCA TIJEKOM HOSPITALIZACIJE?		DA	NE				
TRAUMA?		DA	NE				
LABORATORIJSKI NALAZI:				ABS:		OSTALI NALAZI (CT, MR...):	
L	Na	ALT	INR	pH			
Hb	K	AST	PT	pCO <sub>2</sub>			
Htk	ureja	BIL (uk.)	aPTV	pO <sub>2</sub>			
Trc	kreatinin	Alb	KRVNA GRUPA	HCO <sub>3</sub>			
CRP	GUK	laktati		BE			
PCT	LDH	β-HCG					
OPIS RTG-a SRCA I PLUĆA:		OPIS ECHO-a:		VITALNI PARAMETRI:		POSTAVKE RESPIRATORA modalitet: TV: RR: PEEP: FiO <sub>2</sub> :	
				RR			
				BP			
				PULS			
				SpO <sub>2</sub>	EtCO <sub>2</sub>		
				TA			
DODATNE BILJEŠKE:							

### 5.1.2. Oprema

Transportni ECMO tim treba biti samodostatan u smislu lijekova, opreme, nadzora i dijagnostičkih uređaja te je iz tog razloga prije polaska nužno provjeriti popis opreme (tablica 8.) (80,84,90,93,95–98).

Tablica 8. Kontrolni popis opreme

Kontrolni popis transportne ECMO opreme	Inicijali	Vrijeme
Transportna kolica/kolica i strujni kablovi		
ECMO konzola/motor/kabel za napajanje i most		
Odgovarajuće kanile i cijevi za spajanje		
Rezervna konzola ili ručna poluga		
Rezervni oksigenator/sustav		
Transportni uređaj za plinsku analizu krvi i koagulacijske testove		
Aspirator – posuda, cijev, kateter		
Transportni respirator – cijevi, rezervne baterije, kabel za napajanje, samonapuhavajuća vreća		
Spremnici medicinskog plina i kompatibilna crijeva, regulatori tlaka, konektori i mjerači protoka za pripremu i podešavanje plina za čišćenje		
Monitor vitalnih parametara – kabeli, rezervne baterije, provjereni strujni priključci		
Perfuzori za infuzije i štrcaljke – provjereni strujni priključci		
Prijenosni ultrazvuk ako je moguće		
Uređaj za grijanje i hlađenje ako je moguće		
Električni transformatori za međunarodne prijenose		
Provjereno električno napajanje (110/220 V) u transportnoj platformi		
Kirurška oprema za kanilaciju, rezervne kanile		
Odgovarajuće stezaljke za hitne slučajeve		
Kontrolni popis opreme prije polaska iz referentne ustanove		
Kopija medicinske dokumentacije/slike		
Dostupni lijekovi za hitne slučajeve/produkti od krvi, ako je potrebno		
Potvrđena odgovarajuća opskrba kisikom – Provjera količine kisika, broja dostupnih spremnika i planirana rezerva u slučaju kašnjenja		
ECMO centar obaviješten o očekivanom vremenu dolaska		
Dobiveni podaci za kontakt obitelji		
Sva oprema prikupljena		

Opremu navedenu u kontrolnom popisu moguće je unaprijed pripremiti u „ECMO torbe“ te na taj način, u slučaju potrebe, omogućiti brzu mobilizaciju tima. Moguće je uzeti u obzir i dodatnu ECMO opremu, kao što su jedinica za grijanje/hlađenje, prijenosni zračni kompresor, blender, uređaje za nadzor tlakova prije i poslije crpke i detektor mjehurića. Uz standardnu ECMO opremu, dobro je pripremiti dodatnu opremu za pedijatrijske pacijente, na primjer stavke potrebne za potencijalnu regulaciju protoka, kao što je Hoffmanova stezaljka i oprema za most. Obzirom da dio opreme osigurava ustanova koja upućuje pacijenta, preporučuje se poslati im standardizirani kontrolni popis sa detaljima o opremi koju trebaju pripremiti prije dolaska transportnog tima, kao i postupaka koje trebaju napraviti (Tablica 9.) (80,93,96).

Tablica 9. Kontrolni popis opreme i postupaka referentne bolnice

Kontrolni popis opreme i postupaka referentne bolnice	Inicijali	Vrijeme
Postavljena desna radijalna arterijska kanila (izbjegavati prepone ako je moguće)		
Postavljena središnja arterijska kanila (izbjegavati prepone ako je moguće)		
Najnoviji laboratorijski rezultati poslani i pregledani od strane transportnog tima		
Test trudnoće ako nije napravljen tijekom hospitalizacije		
Imati na raspolaganju sedative i paralitike uz pacijenta		
Osigurati transportnom timu odgovarajuću količinu vazoaktivnih lijekova i drugih kontinuiranih infuzija koje će trajati 2-3 puta više od predviđenog transporta		
Minimalno 2 jedinice unakrsno podudarnih eritrocita/trombocita/svježe smrznute plazme po potrebi		
Operacijska soba dostupna ako je potrebno		
Dostupno snimanje - RTG/CT/ultrazvuk/ECHO		
Medicinski karton pacijenta kopiran i spreman za otpust/CD-ovi/slike		

Transport pacijenata se najčešće obavlja u raznim prijevoznim sredstvima HMS, koji inače transportiraju i zbrinjavaju pacijente. Sastavni dio tih sredstava je medicinska oprema, navedena u prethodnom poglavlju. Za pacijente na ECMO-u najvažniji su transportni respirator, uređaji za nadzor vitalnih parametara pacijenta, prijenosni ultrazvuk, adekvatni električni adapteri te perfuzori za lijekove i tekućine, za koje se preporučuje da se nalaze u sredstvu koji će te pacijente transportirati. Svu opremu potrebno je montirati, vezati, zaključati ili na drugi način osigurati za transport. Nezaštićena oprema može postati „projektil“ u slučaju naglog ubrzavanja ili usporavanja

te ju je potrebno stabilizirati protiv vibracija, ubrzanja, usporavanja, turbulencije, loših cesta, nevremena, prometnih nesreća i ostalog (80,97). Potrebno je za svu električnu opremu osigurati dostatno napajanje i rezervno napajanje te tim treba biti upoznat s električnim specifikacijama cjelokupne transportne opreme, posebno tijekom međunarodnog transporta (80,94). Potrebno je također osigurati dovoljnu količinu kisika za transport, odnosno dostupnost dvostrukih očekivanih potreba za kisikom te je dobro razmotriti korištenje opreme za koncentraciju kisika. Sva oprema koja se koristi tijekom zračnog prijevoza treba zadovoljiti Upravu za civilno zrakoplovstvo, Saveznu upravu za zrakoplovstvo ili ekvivalentne zahtjeve plovidbenosti koje su utvrdile relevantne državne, nacionalne ili međunarodne regulatorne agencije, jer visoka emisija elektromagnetskih (EM) ili radio-frekvencijskih smetnji može utjecati na performanse opreme zrakoplova. Za sigurnost leta može biti potrebna modifikacija mobilne ECMO opreme s EM zaštitom jer takva zaštita povećava težinu i može utjecati na prenosivost opreme (80,81,87).

## **5.2. Aktivacija i mobilizacija**

Aktivacija protokola za međubolnički transport pacijenta na ECMO-u najčešće započinje telefonskim pozivom referentnog centra prema regionalnom ECMO centru, koji time podnosi zahtjev (80,97). Preporuka je da se za zahtjev upotrebljava obrazac sa kliničkim informacijama, koji se jednostavno može podijeliti sa ECMO timom, kako bi prijenos kritičkih informacija od podnositelja zahtjeva do transportnog tima bio učinkovit (Tablica 7.). Potrebno je uspostaviti standardni način aktiviranja i komunikacije unutar transportnog ECMO tima od strane ECMO centra koji je zaprimio zahtjev. Od iznimne je važnosti uspostaviti standardni sustav priopćavanja relevantnih informacija natrag prema centru koji je podnio zahtjev, kao što je prihvaćanje ili odgoda aktivacije ECMO tima, imena i vjerodajnice aktiviranog transportnog tima, preporuke za pojedine pacijente, upute za pripremu pacijenata i osoblja za dolazak ECMO tima i predviđeno vrijeme dolaska. U svrhu dokumentacije, mjerenja vremena, kao i informacije o statusu transporta, poželjno je biti u kontaktu i uključiti centralizirani dispečerski centar, kao što je prijavno-dojavna jedinica HMS-a (PDJ) (80).

Odluka o mobilizaciji ECMO tima donosi se pomoću multidisciplinarnog tima koristeći prethodno navedene alate (80,96). Naime, nakon što je zahtjev zaprimljen,



ECMO tim razgovara o statusu pacijenta, uključujući razumnost ECMO indikacije i vrstu ECMO-a, s liječničkim timom bolnice koja ga je uputila, a zatim se odlučuje je li prijevoz prikladan (89,90,96–98). Ukoliko se transport prihvati, potrebno je osigurati transport i identificirati mjesto i vrijeme okupljanja opreme i transportnog tima (80,90,96). U slučaju neprihvatanja transporta, odnosno, ukoliko pacijent ne ispunjava ECMO kriterije, bez obzira je li potencijalni kandidat za ECMO ili ne, kontinuirana telefonska podrška može biti pružena. Podrška će se nastaviti, a ukoliko pacijent naknadno ispuni ECMO kriterije, aktivira se protokol i mobilizira time i transportni tim (89,96). Mobilizacijom ECMO tima trebalo bi se započeti sa praćenjem ključnih pokazatelja uspješnosti (KPI, eng. *Key performance indicators*) i koristiti ih za poboljšanje kvalitete budućih transporata, ali i klinička istraživanja. Oni uključuju kliničke pokazatelje kao što su ishodi, morbiditet i mortalitet, ali i pokazatelje učinka, kao što su vrijeme od upućivanja do mobilizacije ECMO tima i vrijeme od okupljanja do kontakta s pacijentom (80).

Sastav transportnih timova je promjenjiv, ali bi prema ELSO smjernicama trebao biti sastavljen najmanje od voditelja tima, ECMO stručnjaka i medicinskog transportnog tima/HMS. Sastav tima i odgovornosti pojedinih članova trebaju biti dobro definirani prije transporta (99). Voditelj tima odgovoran je za cjelokupno planiranje, izvršenje i nadzor protokola. Nadalje, ECMO stručnjak, najčešće specijalist anesteziologije, reanimatologije i intenzivne medicine, bi trebao evaluirati i reevaluirati stanje pacijenta, potvrditi kandidaturu za ugradnju ECMO-a, ugraditi ECMO ukoliko je potreban primarni transport, stabilizirati ga te provoditi direktan nadzor nad pacijentom od ugradnje do dolaska na odredište (80). Uz specijalista, sastavni dio tima može biti perfuzionist ili medicinski tehničar sa iskustvom rada sa pacijentima sa ugrađenim ECMO-om, koji je odgovoran za upravljanje ECMO sustavom od ugradnje do dolaska na odredište (80,87,99). Tim za medicinski transport, T1 tim HMS, odgovoran je za manipulaciju pacijentom, koordinaciju i komunikaciju sa PDJ-om, nadzor i zbrinjavanje pacijenta te upravljanje opremom kojom raspolažu u vozilu (80,93). Preporučuje se uključivanje liječnika i drugih zdravstvenih djelatnika, kojima je potrebna edukacija, kada god je to moguće (97).

### 5.3. Odabir načina transporta

Idealan način prijevoza treba procijeniti od slučaja do slučaja. Opća razmatranja su geografski faktori i udaljenost, stanje u prometu, hitnost transporta, vremenski uvjeti, iskustvo, dostupnost, težina pacijenta, posade i opreme zbog kapaciteta nosila za pacijenta i opreme, dostupnost neklizajućeg prostora za unošenje i iznošenje pacijenta, mogućnost unošenja i iznošenja pacijenta u visini poda vozila HMS podiznom platformom, adekvatna količina kisika, adekvatno osvjetljenje, adekvatna regulacija temperature, dostupna metoda komunikacije sa PDJ-om (80,81). Razmatranja specifična za pacijenta su konfiguracija ECMO-a, klinički status, visina i težina pacijenta.

Postoje tri tipa transporta, kopneni, zračni sa helikopterom i zračni sa fiksiranim krilima, odnosno, zrakoplovom. Kopneni transport je najčešći i najdostupniji. Postoje razni tipovi kopnenih vozila, u više veličina, sa različitim rasporedom prostora. U Republici Hrvatskoj najzastupljenija su kola HMS koja imaju tri sjedeća mjesta uz transportna nosila, s time da su dva mjesta uz lijevi bok pacijenta, a treći je iznad glave pacijenta. Osim toga, dostupno je jedno ili dva mjesta u prednjem dijelu vozila, uz vozača. Zračni prijevoz je najčešće organiziran u sklopu Helikopterske hitne medicinske pomoći (HEMS, eng. *Helicopter emergency medical service*). Kod zračnog prijevoza potrebno je uzeti u obzir dozvoljeno vremensko trajanje letenja pilota, jer je ono često regulirano, pa može utjecati na transport. Uz to, vremenska prognoza i zrakoplov su koordinirani sa regulatornim agencijama za zračni promet što isto može utjecati na transport (80). Zračni transport sa helikopterom omogućuje fleksibilnija mjesta slijetanja i polijetanja s mogućnošću okomitog pristanka, transport ne utječe na cestovni promet, a heliodromi su dostupni u mnogim medicinskim centrima. Manji prostor u kabini ima ograničen kapacitet posade i opreme što otežava izvođenje intervencija, transport više ovisi o vremenskim prilikama nego kopneni, potrebno je uzeti u obzir nadmorsku visinu unutar plana liječenja, vibracije i buku zbog kojih postoji opasnost da se alarmi uređaja ne čuju (80,84,93). Također, često se koristi tekući kisik koji može imati promjenjivi protok na različitim temperaturama. Zračni transport zrakoplovom omogućuje transporte na velikim udaljenostima, Zahtijeva višestruke manipulacije pacijenta, koje povećavaju rizik od nastanka po život opasnih komplikacija kao što su dekanilacija i ekstubacija; sa bolničkog kreveta na transportna nosila, sa transportnih nosila do nosača zrakoplova, nakon

slijetanja sa zrakoplovnih nosila na transportna nosila, i sa transportnih nosila na bolnički krevet (80,81,84). Za vrijeme transporta zrakoplovom potrebno je uzeti u obzir nadmorsku visinu unutar plana liječenja, jer niski barometarski tlak pri većim nadmorskim visinama može utjecati na tlak balončića endotrahealnog tubusa i potrebno je paziti da se izbjegne hiperoksigenacija sustava. Kao i u helikopteru, tekući kisik može imati promjenjiv protok na različitim temperaturama, a vibracija i buka također predstavljaju problem. Kao što je prethodno istaknuto, potrebno je provjeriti da li je sva oprema odobrena za korištenje u zrakoplovu od strane odgovarajućeg upravnog tijela. Ukoliko se zrakoplovom transportira dojenče ili novorođenče, potrebno je razmotriti odgovarajući položaj s ciljem smanjenja intrakranijalnog tlaka tijekom polijetanja i slijetanja (80).

#### **5.4. Postupci u bolnici**

Dolaskom transportnog tima, potrebno je evaluirati stanje pacijenta i potvrditi njegovu kandidaturu za ugradnju ECMO-a te onda izvesti kanilaciju, ukoliko je riječ o primarnom transportu (80,81,97). Evaluacija i kontinuirana reevaluacija je potrebna jer je klinički status pacijenta podložan promjenama te neki pacijenti potencijalno neće biti prikladni za ECMO nakon daljnjeg pregleda, a tada ih je najbolje prepustiti lokalnom timu za liječenje, uz pružanje savjeta (80,89). Osim toga, pacijenti kojima je ECMO već ugrađen i zahtijevaju transport mogu biti nestabilni za prijevoz. Složeni slučajevi mogu zahtijevati savjetovanja s konzultantima različitih specijalnosti na licu mjesta, kao i s ECMO centrom (87). Potrebno je dobiti informirani pristanak od skrbnika pacijenta te kontinuirano pružati informacije o stanju pacijenta te cijelom postupku (80). Potrebno je potvrditi položaj kanila RTG-om i UZV-om nakon kanilacije te ih zašiti na ulazno mjesto, ali i dodatno osigurati šavovima i uređajima za pričvršćivanje kako bi se spriječilo pomicanje (96). Nakon evaluacije, reevaluacije, ukoliko je riječ o primarnom transportu i kanilacije, pacijenta je potrebno stabilizirati (80,89). Preporučuju se postupne, a ne nagle promjene kliničke potpore kako bi se izbjegla pretjerana korekcija (80,100). Potrebno je osigurati odgovarajuću hemodinamiku jer se u transport ne ide dok pacijent nije stabilan. Ovaj proces može potrajati više sati (101). Ukoliko je pacijent stabilan na trenutnom režimu hemodinamske potpore vazopresorima i inotropima, potrebno ih je nastaviti. Ako je bolesnik bio nestabilan ili je fluktuirao u kliničkom statusu, potrebno je izraditi plan hemodinamskog upravljanja uključujući uvođenje i titraciju vazopresora ili inotropa. Svi

pacijenti trebaju biti dobro sedirani, a neki i relaksirani mišićnom blokadom, kako bi se spriječio bilo kakav nagli pokret i potencijalno pomicanje kanila tijekom transporta (93). Iznimno je važno osigurati dovoljnu opskrbu lijekova te krvnih proizvoda, koju osigurava bolnica koja je zatražila transport (80,81). Preporučuje se optimizacija postavki ECMO-a i respiratora prema kliničkoj potrebi. Svijest o kliničkim promjenama koje bi se mogle dogoditi tijekom transporta važna je za planiranje potrebnih intervencija na putu do odredišnog centra te je zbog toga preporučeno nakon stabilizacije pacijenta obaviti sastanak na kojem će se iskomunicirati svi važni događaji (80,98). Pacijenta treba temeljito pregledati transportni tim, razjasniti položaje svih kanila i prepoznati koja je drenažna, a koja povratna. Mjesta šavova treba provjeriti radi stabilnosti i procijeniti ima li znakova krvarenja. Treba zabilježiti distalnu perfuziju, uključujući toplinu distalnih ekstremiteta i kapilarno punjenje. Abdominalni pregled treba napraviti kako bi se procijenila distenzija ili ukočenost te omogućila procjena bilo kakvih promjena. Nadalje, potrebno je napraviti orijentacijski neurološki pregled (93). Osim toga, prije polaska je potrebno zabilježiti sve postavke ECMO uređaja, transportnog respiratora i ostalih uređaja (93). Premještanje pacijenta na nosila uključuje osiguravanje pacijenta vezivanjem pojasevima u 5 točaka, uspostavljanje odgovarajuće zaštite od točki pritiska za pretila pacijente, osiguravanje opreme te provjera da je sva potrebna oprema dostupna standardiziranim kontrolnim popisom (Tablica 8.) (80). Isključivanje uređaja iz strujne utičnice i promjena izvora kisika trebali bi biti posljednji koraci u odlasku kako bi se povećao vijek trajanja baterije i količine raspoloživog kisika, a ponovno uključivanje trebao bi biti prvi korak kada se naiđe na izvor napajanja i kisika (94,97).

## **5.5. Transport**

Svu opremu potrebno je u transportnom sredstvu osigurati i provjeriti kako je prethodno navedeno. Kanile sustava trebaju biti dovoljno dugačke da omoguće siguran utovar i istovar pacijenta, uz napomenu da preduge kanile mogu povećati rizik od savijanja ili kompresije. Trebale bi biti dobro pričvršćene kako bi se izbjeglo pomicanje tijekom vodoravnih i okomitih pomaka povezanih sa putovanjem u vozilu HMS. Kanile sustava treba pažljivo pratiti prije, poslije i tijekom manipulacije sa pacijentom kako bi se osiguralo da nema pregiba, kompresije, opasnosti od neželjenog hvatanja ili povlačenja što bi moglo dovesti do hemodinamske nestabilnosti uključujući srčani zastoj i smrt (80).

Označavanje dubine kanile, bilo korištenjem neizbrisivog markera ili pomoću komada trake prije prijenosa na nosila, može pomoći u provjerama da nema pomicanja, kao i osiguravanje kanile na dodatnom mjestu uz mjesto kanilacije, kao na primjer na nozi ukoliko je riječ o femoralnoj kanilaciji (94). Dodatno, pozornost treba obratiti na razliku u boji krvi između drenažne i povratne kanile; drenaža će biti tamno crvena, a povrat bi trebao biti svijetlo crven. Od ključne je važnosti u transportu zabilježiti to po dolasku i tijekom transporta kako bi se pratio rad oksigenatora (93). Potrebno je osigurati vizualizaciju i pristup svim ugrađenim vodovima, kanilama i kateterima u svrhu brzog i adekvatnog zbrinjavanja potencijalnih komplikacija. Zbog razotkrivenosti pacijenta potrebno je voditi brigu o regulaciji temperature okoline. Oksigenator i crpku potrebno je učvrstiti u razini pacijenta, ako je to moguće, zbog rizika od komplikacija ukoliko su postavljeni previše ispod ili iznad razine pacijenta (80). Treba izbjegavati vješanje svega što može istjecati ili kapati, poput intravenskih infuzija, iznad oksigenatora i crpke (94). Potrebno je omogućiti lak pristup rezervnim sustavima u slučaju kvara opreme ili struje (80). Uz navedene komponente sustava koje treba kontinuirano procjenjivati, potrebno je voditi brigu i o samom pacijentu. Pristup pacijentu sa ugrađenim ECMO-om tijekom transporta je kompliciran i stresan te se zbog tog preporuča slijediti sistematični pristup, kao što je prethodno opisan ABCDE pristup. Procjene i postupci su navedeni u Tablici 10., ali je potrebno navesti nekoliko napomena. Naime, nekoliko stavki koje se procjenjuju tijekom pristupa u ECMO transportu razlikuju se od onih koji su navedeni u prethodnom poglavlju i imaju svoje osobitosti. Mogu se izgubiti pokazatelji oksigenacije, poput očitavanja periferne pulsne oksimetrije i boje kože, zbog stupnja kritične bolesti pacijenta i loše perfuzije ili zbog gubitka pulsacije. Kapnografija, odnosno EtCO<sub>2</sub> će također biti niži od normalnog zbog smanjene native srčane funkcije kod VA ECMO i povratka dekarboksilirane krvi u venski sustav kod VV ECMO. Stoga, identificiranje odgovarajuće isporuke kisika može zahtijevati druge pokazatelje, uključujući miješanu vensku saturaciju (SvO<sub>2</sub>), PaO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub>, hemoglobin i razine laktata (93,94). Zbog nedostatka pulsacija, krvni tlak se ne može mjeriti neinvazivno, nego je potrebno postavljanje centralnih ili perifernih arterijskih katetera koji će omogućiti direktno mjerenje. Ciljane vrijednosti srednjeg arterijskog tlaka ( MAP, *Mean arterial pressure*) su u osoba na ECMO-u između 65 i 80 mmHg. Osim toga, kateteri omogućavaju mjerenje SvO<sub>2</sub>, sa

ciljem od 70%. Također, moguća je razvoj asistolije ili neperfuzijskog ritma na EKG-u, koji se mogu očitovati i nedostatkom pulsacija (93). Kontinuiranom provjerom sustava i pacijenta ABCDE pristupom, idealno svakih 5 minuta, povećava se mogućnost primjećivanja i zbrinjavanja komplikacija na vrijeme, kao i dinamike kliničkog stanja pacijenta te se smanjuje mogućnost previđanja nekih od bitnih znakova životne ugroze.

Tablica 10. Sistematični pristup pacijentu sa ugrađenim ECMO-om tijekom transporta

<b>A – Dišni put</b>	
<b>Procjena:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Provjera usne šupljine</li> <li>- Slušanje pridruženih zvukova u dišnim putovima</li> <li>- Osjećanje strujanja zraka</li> </ul>	<b>Postupci:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Otvaranje dišnog puta</li> <li>- Osiguravanje dišnog puta <ul style="list-style-type: none"> <li>o ETI</li> </ul> </li> <li>- Aspiracija</li> </ul>
<b>B – Disanje</b>	
<b>Procjena:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frekvencija disanja</li> <li>- Simetričnost odizanja prsnog koša</li> <li>- Procjena napora disanja (korištenje pomoćne respiratorne muskulature)</li> <li>- Auskultacija prsišta</li> <li>- SpO<sub>2</sub>, kapnografija</li> </ul>	<b>Postupci:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oksigenoterapija</li> <li>- Model ventilacije</li> </ul>
<b>C – Cirkulacija</b>	
<b>Procjena:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frekvencija perifernog pulsa</li> <li>- Kapilarno punjenje</li> <li>- Krvni tlak</li> <li>- Boja, kvaliteta i temperatura kože</li> <li>- Vanjski znakovi krvarenja</li> <li>- Prisutnost zastoynih promjena – nabrekle vratne vene, edemi potkoljenica, uvećana jetra</li> <li>- Procjena diureze</li> <li>- EKG</li> </ul>	<b>Postupci:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Intravenski i intraosealni put</li> <li>- Nadoknada tekućine</li> <li>- Postavljanje urinarnog katetera</li> </ul>
<b>D – Brza neurološka procjena</b>	
<b>Procjena:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- AVPU</li> <li>- GKS</li> <li>- Brzi neurološki pregled</li> <li>- GUK</li> </ul>	
<b>E - Izloženost</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Status i anamneza</li> <li>- Medicinska dokumentacija</li> </ul>	

## **5.6. Postupci nakon transporta**

Prilikom dolaska na odredište, transportni tim treba bolesnika smjestiti na prethodno dogovoren odjel te ga službeno predati prijemnom timu. Nakon predaje pacijenta, potrebno je ponovno provjeriti prisutnost vlastite opreme, očistiti ju i obnoviti potrošni materijal za potencijalnu hitnu upotrebu. Bitna stavka je sastanak transportnog tima nakon svakog obavljenog transporta u svrhu poboljšanja budućih intervencija (80).

Dobroj kvaliteti međubolničkog transporta pacijenta na ECMO-u, osim broja obavljenih intervencija, pridonose i kontinuirane edukacije osoblja. Stoga je bitno održavati redovite obrazovne sesije koje uključuju diskusiju o značajnim događajima i kritičnim incidentima. Preporučuje se timska obuka s medicinskom simulacijom rada na transportnim uređajima, kao što su lažni pozivi za testiranje komunikacijskog sustava, simulacija u uobičajenim transportnim okruženjima koja tim očekuje da će koristiti za prijevoz, simulacije čestih te niskofrekventnih visokorizičnih događaja, kao što su krvarenja, hipotenzije, aritmije, katastrofalni kvar ECMO sustava/nestanak struje, pomicanje kanile, kvar vozila hitne pomoći i uvlačenje zraka. Također, potrebne su kontinuirane edukacije za ECMO u obliku službenih tečajeva (80,84,87,102).

## **5.7. Transport bolesnika sa zaraznom bolesti**

Pacijent za zaraznom bolesti nosi rizik za zaražavanje transportnog tima te je u svrhu smanjivanja tog rizika na što niže razine bitno slijediti lokalne i međunarodne preporuke suzbijanja širenja zarazne bolesti. Potrebno je pridržavati se smjernica za kontrolu infekcije i koristiti osobnu zaštitnu opremu te izbjegavati postupke stvaranja aerosola gdje je to moguće (80,103,104). Nekoliko čimbenika može povećati rizik od izloženosti zaraznoj bolesti, kao što su kontakt s oboljelim pacijentom tijekom ugradnje ECMO-a, vrijeme provedeno u vozilu s infektivnim pacijentom i nepostojanje učinkovite izmjene zraka ili protoka zraka pod negativnim tlakom u transportnom vozilu (91). Bitne dijagnostičke i terapijske intervencije zahtijevaju pažljivo planiranje i koordinaciju kako bi se zaštitili drugi pacijenti, medicinsko osoblje i javnost. Preporuča se korištenje visokoučinkovitih filtara za apsorpciju čestica, koje se dodaju ekspiratornom kraku ventilatora. Nakon manipulacije i transporta pacijenta sa zaraznom bolesti, potrebno je dekontaminirati vozila prije daljnjeg rada (80,103,104).

## 5.8. Komplikacije

Tijekom transporta pacijenta sa ugrađenim ECMO-om postoji rizik od nastanka komplikacija, koji se može svesti na minimum koristeći sve prethodno navedene alate. Prema Fletcher-Sandersjö i sur. ozbiljnost komplikacija određena je na temelju sustava klasifikacije kategorija rizika. Postoje 4 kategorije rizika – prva označava visok rizik za morbiditet ili mortalitet ako se komplikacija ne riješi u roku od nekoliko sekundi, druga označava visok rizik za pobol ili smrtnost ako se ne riješi u roku od nekoliko minuta, treća označava nepostojanje neposrednog rizika za morbiditet ili mortalitet, ali se mora riješiti u dogledno vrijeme i četvrta označava nizak rizik za morbiditet ili mortalitet i ne spada ni u jednu drugu kategoriju, ali ju je nužno riješiti (101,105). Sve komplikacije su, poredane po učestalosti po tipovima komplikacija, navedene u Tablici 11 i 12 (81,93,94,101,105). Teška komplikacija tijekom transporta definirana je kao komplikacija kategorije rizika 1 ili 2 (101,105). Većina komplikacija je povezana s pacijentom (62%), dok je ostatak povezan s opremom (19%), transportnim vozilom (13%), ljudskom pogreškom (5%) i okolišem (2%) (105).

Tablica 11. Rizici kategorija 1 i 2

Rizik kategorije 1 – visok rizik za morbiditet/ mortalitet ako se komplikacija ne riješi unutar nekoliko sekundi	Rizik kategorije 2 – visok rizik za morbiditet/ mortalitet ako se komplikacija ne riješi unutar nekoliko minuta
Komplikacije povezane s opremom: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Prekid rada crpke</li> <li>- Ugrušak u sustavu</li> <li>- Ugrušak u oksigenatoru</li> <li>- Zrak u sustavu</li> <li>- Kvar rezervne baterije</li> <li>- Ugrušak u kanili</li> </ul>	Komplikacije povezane s opremom: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nestanak kisika</li> <li>- Loša pozicija kanile</li> <li>- Prekinut/isključen dovod kisika</li> </ul>
Komplikacije povezane sa ljudskom greškom: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Greška u komunikaciji na primopredaji crpke</li> <li>- Loše fiksirana kanila i dekanilacija</li> </ul>	Komplikacije povezane sa ljudskom greškom: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nemar osoblja na sigurnosnoj provjeri</li> </ul>
Komplikacije povezane s okolišem: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Smrzavanje iv. katetera</li> </ul>	Komplikacije povezane s okolišem:
Komplikacije povezane sa pacijentom: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perikardijalna tamponada</li> <li>- Hipoksija</li> <li>- Tenzijski pneumotoraks</li> <li>- Perforacija kanile</li> <li>- Perikardijalna kanilacija</li> </ul>	Komplikacije povezane sa pacijentom <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gubitak respiracijskog volumena</li> <li>- Hipovolemija</li> <li>- Cirkulatorna nestabilnost</li> <li>- Krvarenje</li> <li>- Bradikardija</li> <li>- Edem pluća</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hipotermija</li> <li>- Uzbudjenje</li> <li>- Epileptički napadaj</li> <li>- Slučajna ekstubacija</li> <li>- Aritmija</li> <li>- Srčani zastoj</li> <li>- Hiper/hipokalemija</li> <li>- Acidoza (metabolička ili respiratorna)</li> </ul>
Komplikacije povezane sa transportnim sredstvom:	Komplikacije povezane sa transportnim sredstvom:

Tablica 12. Rizici kategorija 3 i 4

Rizik kategorije 3 – nizak rizik za morbiditet/mortalitet i ne spada ni u jednu drugu kategoriju, ali se nužno mora riješiti	Rizik kategorije 4 – nema neposrednog rizika za morbiditet/mortalitet, ali se nužno mora riješiti
<p>Komplikacije povezane s opremom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kvar grijača</li> <li>- Kvar ostale opreme</li> <li>- Nefunkcionalna/kriva oprema</li> <li>- Kvar perfuzora</li> <li>- Kvar transportnog respiratora</li> </ul>	<p>Komplikacije povezane s opremom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kvar laboratorijske opreme</li> </ul>
<p>Komplikacije povezane sa ljudskom greškom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zaboravljena druga oprema</li> <li>- Zaboravljena ECMO crpka</li> <li>- Zaboravljen ECMO sistem</li> <li>- Monitoring zaboravljen</li> <li>- Nedostatak osoblja</li> </ul>	<p>Komplikacije povezane sa ljudskom greškom:</p>
<p>Komplikacije povezane s okolišem:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Odgoda zbog lošeg vremena</li> </ul>	<p>Komplikacije povezane s okolišem:</p>
<p>Komplikacije povezane sa pacijentom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hipoglikemija</li> <li>- Ishemija donjih ekstremiteta</li> <li>- Tahikardija</li> <li>- Nedostatak arterijske kanile</li> <li>- Recirkulacija</li> <li>- Vagalni refleksi</li> <li>- Hematoraks</li> <li>- Hipernatrijemija</li> <li>- Neadekvatan modalitet ECMO sustava</li> <li>- Drenirani pneumotoraks</li> <li>- Respiratorni stres</li> </ul>	<p>Komplikacije povezane sa pacijentom</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anemija</li> <li>- Trombocitoza</li> </ul>
<p>Komplikacije povezane sa prijevoznim sredstvom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kriva kola HMS ili kola koja kasne</li> <li>- Kvar kola HMS ili problem u elektrici</li> <li>- Tehnički problemi sa zrakoplovom</li> <li>- Prometna nesreća sa kolima HMS</li> </ul>	<p>Komplikacije povezane sa prijevoznim sredstvom:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Odgoda u zrakoplovnoj luci</li> <li>- Kašnjenje zrakoplova ili nedostatak</li> <li>- Promjena destinacije</li> <li>- Odgoda na kontroli putovnice</li> </ul>

Najčešća komplikacija rizika kategorije 1 je pogrešna komunikacija pri prijenosu crpke. Primjeri toga su nepravilno učvršćivanje glave crpke u motor, stezanje sustava bez obavijesti transportnog tima, prebacivanje na crpku prijemnika bez provjere odgovarajuće duljine cijevi ili spajanje cijevi u pogrešnom smjeru protoka prilikom prebacivanja sustava. Navedene komplikacije mogu se zbrinuti adekvatnom edukacijom osoblja, dobrom komunikacijom među članovima tima, sastancima tima, kao i kontrolnim popisima za prebacivanje između sustava crpki (105). Slabo fiksirana kanila i posljedično dekanilacija, je jedna od najtežih komplikacija. Ako se kanile pomaknu na drenažnoj strani, potrebno je osigurati kontrolu krvarenja trenutnim izravnim pritiskom na mjesto te osigurati potpunu podršku respiratora i nadoknaditi volumen ako je moguće. Dekanilacija na povratnoj strani također uključuje izravan pritisak na mjesto kako bi se kontroliralo krvarenje, ali je potrebno predvidjeti dekompenzaciju ili arest. Osim nadoknade volumena, potrebno je maksimalno povećati vazopresore i inotrope (94). Većina ostalih komplikacija kategorije rizika 1 su povezane sa opremom te se zbrinjavaju zaustavljanjem sustava, stezanjem kanila, identifikacijom i zamjenom nefunkcionalnog ili disfunkcionalnog dijela sustava (94,101,105). Komplikacije rizika kategorije 2 su najčešće, a među njima ima najviše komplikacija vezanih uz pacijenta. Gubitak respiracijskog volumena je najčešća među komplikacijama povezanih sa pacijentom. Naime, kako bi se osigurala protektivna ventilacija kod pacijenata sa ugrađenim ECMO sustavom, često se respiratori postavljaju na vrijednosti vrlo niskih respiracijskih volumena, niskog vršnog tlaka i relativno višim pozitivnim tlakom na kraju izdisaja. Razlog za to je da se alveole, uz svrhu zaštite, zadrže otvorenima tijekom transporta ako ECMO sustav zakaže. Zbog navedenog treba imati na umu mogućnost da nizak respiracijski volumen nije samo uzrokovan patologijom pluća nego i pre niskim postavkama respiratora te je komplikaciju potrebno zbrinuti adekvatno prema njenoj etiologiji (89,93,101,105). Hipovolemija je druga najčešća komplikacija ove kategorije rizika i može se manifestirati gubitkom protoka kroz sustav unatoč istom RPM-u te je najčešće uzrok krvarenje ili istjecanje tekućine u treći prostor. Potrebno je smanjiti RPM dok se istražuje uzrok te nadoknaditi tekućinu prema indikacijama (94). Krvarenje je potencijalno teška komplikacija ukoliko se ne uoči i ne zbrine na vrijeme, a vizualizacija može biti otežana zbog nastojanja da se održi bolesnikova tjelesna temperatura raznim pokrivalima. Krvarenja mogu biti vanjska, na mjestu insercije kanile, drugih katetera,

nosa, ali i unutarnja, kao što je krvarenje zbog perforacije stresnog ulkusa. Pacijent se prezentira sa hipotenzijom, tahikardijom ili vidljivim krvarenjem. Bitno je pronaći izvor krvarenja, aplicirati direktni pritisak na ranu, ispraviti koagulopatiju ukoliko je to moguće, zaustaviti antikoagulaciju ukoliko se radi o velikom krvarenju bez vidljivih ugrušaka u sustavu te razmotriti korištenje traneksamične kiseline (94). Komplikacije kategorije rizika 3 i 4 se puno rjeđe javljaju. U kategoriji rizika 3 uz komplikacije povezane sa pacijentom, prevladavaju one povezane s ljudskom greškom, primjerice zaboravljanje potrošnog materijala i opreme, koje se mogu svesti na minimum korištenjem kontrolnih popisa (101). Komplikacije kategorije rizika 4 statistički su najrjeđe, ali uzrok tome može biti i u nedovoljnom prijavljivanju minornijih neželjenih događaja (105). Unatoč svim navedenim mogućim teškim komplikacijama tijekom transporta, one, prema ESLO-voj statistici, nisu utjecale na smrtnost u ciljnim jedinicama intenzivne njege, što implicira da su adekvatno riješavane (105). Naime, ukupne stope preživljenja u pacijenata transportiranih na ECMO-u su od 62-68%, što je ekvivalentno pacijentima koji su kanilizirani u ustanovi i time nisu transportirani (90,105). Nadalje, prijavljena smrtnost tijekom ECMO transporta je niska i iznosi 0,5% (89,98,105,106).

## 6. ZAKLJUČAK

Međubolnički transport pacijenata nije novitet, ali u određenim situacijama može predstavljati složen proces. Brzim tehnološkim razvojem složenih mogućnosti liječenja pacijenata sa refraktornim kardiorespiratornim zatajenjem sustavima za izvantjelesnu membransku oksigenaciju, javlja se potreba za jednako složenom i adekvatnom liječničkoj skrbi, koju je često potrebno pružiti u specijaliziranim ustanovama. U skladu sa modelom čvorište – žbica, pacijenta je poželjno transportirati u regionalni ili veliki ECMO centar kada god je to moguće s ciljem poboljšanja ishoda liječenja. Za siguran transport bolesnika sa ugrađenim ECMO sustavom potreban je protokol kojim će se svi uključeni sudionici služiti. Njime se definiraju svi preduvjeti koje moraju ispuniti pacijenti, referentna bolnica, transportni tim i regionalni centar u koji se pacijent transportira. Ispunjenje preduvjeta se osigurava praćenjem kontrolnih popisa, redovitom praksom i edukacijom koja uključuje simulacije te učinkovitom koordinacijom osoblja. Protokol omogućuje sistematičan pristup pacijentu i cijelom procesu koordinacije te tako omogućava siguran transport iznimno kompliciranih bolesnika. Unatoč mogućeg razvoja potencijalno teških komplikacija tijekom transporta, očekivana stopa preživljenja može biti jednaka kao u onih bolesnika kojima je sustav ugrađen u regionalnom centru, uz uvjet da se one uspješno izbjegavaju i adekvatno zbrinjavaju ukoliko do njih dođe. Praćenjem kontinuiranih izvještaja ELSO-a, kao i rezultata regionalnih ECMO centara, do usavršavanja protokola za transport pacijenata sa ugrađenim ECMO sustavom značajnije je došlo u novije vrijeme tijekom pandemija respiratornih bolesti, osobito pandemije SARS-CoV-2 virusa, koja je bitno unaprijedila njihov razvoj i implementaciju.

## **7. ZAHVALE**

Veliko hvala mentorici dr. sc. Sanji Konosić, na pruženoj podršci, pomoći i savjetima tijekom pisanja ovog rada.

Želim zahvaliti svojoj obitelji na svojoj podršci na ovom putu, kao i svim prijateljima te dragim ljudima, koji su razdoblje studiranja olakšali smijehom, neiscrpnom podrškom i strpljenju.

## 8. LITERATURA

1. BroganThomas V., LequierLaurance, Lorusso Roberto et al. Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book, 5th Edition. Extracorpor Life Support Organ. 2017;
2. Clowes G, Hopkins A, Kolobow T. Oxygen diffusion through plastic films. Am Soc Artif Intern Organs. 1:23–4.
3. Kammermeyer K. Silicone Rubber as a Selective Barrier. Ind Eng Chem [Internet]. 1957 Oct 1;49(10):1685–6. Available from: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie50574a024>
4. Wrisinger WC, Thompson SL. Basics of Extracorporeal Membrane Oxygenation. Surg Clin North Am [Internet]. 2022 Feb;102(1):23–35. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0039610921001158>
5. Custer JR. The evolution of patient selection criteria and indications for extra corporeal life support in pediatric cardiopulmonary failure: Next time, let's not eat the bones. Organogenesis. 2011;7(1):13–22.
6. Hill D, O'Brian T, Murray J, Dontigny L, Bramson M, Osborn J, et al. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (Shock-lung syndrome). N Engl J Med. 2010;286(12):629–34.
7. Bartlett RH. Extracorporeal life support: history and new directions. ASAIO J. 2005;51(5):487–9.
8. Zapol WM. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Severe Acute Respiratory Failure. JAMA [Internet]. 1979 Nov 16;242(20):2193. Available from: <http://jama.jamanetwork.com/article.aspx?doi=10.1001/jama.1979.03300200023016>
9. Bartlett RH. Esperanza: The First Neonatal ECMO Patient. ASAIO J [Internet]. 2017 Nov;63(6):832–43. Available from: <https://journals.lww.com/00002480-201711000-00022>
10. Bartlett RH, Roloff DW, Cornell RG, Andrews AF, Dillon PW ZJ. Extracorporeal circulation in neonatal respiratory failure: A prospective randomized study.

- Pediatrics. 1985;76(4):479–87.
11. Bennett CC, Johnson A, Field DJ, Elbourne D. UK collaborative randomised trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation: follow-up to age 4 years. *Lancet* [Internet]. 2001 Apr;357(9262):1094–6. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0140673600043105>
  12. O'Rourke PP, Crone RK, Vacanti JP, Ware JH, Lillehei CW, Parad RB EM. Extracorporeal membrane oxygenation and conventional medical therapy in neonates with persistent pulmonary hypertension of the newborn: a prospective randomized study. *Pediatrics*. 1989;84(6):957–63.
  13. ELSO Live Registry Dashboard of ECMO Patient Data [Internet]. Available from: <https://www.else.org/registry/elsoliveregistrydashboard.aspx>. Date Accessed: 26.05.2023.
  14. Aokage T, Palmér K, Ichiba S, Takeda S. Extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome. *J Intensive Care* [Internet]. 2015 Dec 17;3(1):17. Available from: <https://jintensivecare.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40560-015-0082-7>
  15. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, Wilson A, Allen E, Thalanany MM, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* [Internet]. 2009;374(9698):1351–63. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61069-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61069-2)
  16. Shaefi S, Brenner SK, Gupta S, O'Gara BP, Krajewski ML, Charytan DM, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in patients with severe respiratory failure from COVID-19. *Intensive Care Med* [Internet]. 2021 Feb 2;47(2):208–21. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00134-020-06331-9>
  17. Hajage D, Combes A, Guervilly C, Lebreton G, Mercat A, Pavot A, et al. Extracorporeal Membrane Oxygenation for Severe Acute Respiratory Distress

- Syndrome Associated with COVID-19 An Emulated Target Trial Analysis. *Am J Respir Crit Care Med*. 2022;206(3):281–94.
18. 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 [Internet]*. 2016 Jul;152(1):20–32. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.02.067>
  19. Chaves RC de F, Rabello Filho R, Timenetsky KT, Moreira FT, Vilanova LC da S, Bravim B de A, et al. Extracorporeal membrane oxygenation: a literature review. *Rev Bras Ter Intensiva [Internet]*. 2019;31(3):410–24. Available from: <http://www.gnresearch.org/doi/10.5935/0103-507X.20190063>
  20. Badulak JH. Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation. Patient Selection and Circuit Tour. *ATS Sch [Internet]*. 2021 Mar;2(1):140–1. Available from: <https://www.atsjournals.org/doi/10.34197/ats-scholar.2020-0062VO>
  21. Allen S, Holena D, McCunn M, Kohl B, Sarani B. A Review of the Fundamental Principles and Evidence Base in the Use of Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) in Critically Ill Adult Patients. *J Intensive Care Med [Internet]*. 2011 Jan 23;26(1):13–26. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0885066610384061>
  22. Papadimas E, Leow L, Tan YK, Shen L, Ramanathan K, Choong AMTL, et al. Centrifugal and Roller Pumps in Neonatal and Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Clinical Outcomes. *ASAIO J [Internet]*. 2022 Mar 25;68(3):311–7. Available from: <https://journals.lww.com/10.1097/MAT.0000000000001475>
  23. MacLaren G, Combes A, Bartlett RH. Contemporary extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory failure: Life support in the new era. *Intensive Care Med*. 2012;38(2):210–20.
  24. Daniel J, Bernard P, Skinner S, Bhandary P, Ruzic A, Bacon M, et al. Hollow Fiber Oxygenator Composition Has a Significant Impact on Failure Rates in



- Neonates on Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Retrospective Analysis. *J Pediatr Intensive Care* [Internet]. 2018 Mar 7;07(01):007–13. Available from: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0037-1599150>
25. Khoshbin E, Westrope C, Pooboni S, Machin D, Killer H, Peek GJ, et al. Performance of polymethyl pentene oxygenators for neonatal extracorporeal membrane oxygenation : a comparison with silicone membrane oxygenators. *2005;(June 2003):129–34.*
  26. Khoshbin E, Dux AEW, Killer H, Sosnowski AW, Firmin RK, Peek GJ. A comparison of radiographic signs of pulmonary inflammation during ECMO between silicon and poly-methyl pentene oxygenators. *Perfusion* [Internet]. 2007;22(1):15–21. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0267659106075950>
  27. Robak O, Lakatos PKS, Bojic A, Hermann A, Laczika K, Chiari A, et al. Influence of Different Oxygenator Types on Changing Frequency, Infection Incidence, and Mortality in Ards Patients on Veno-Venous Ecmo. *Int J Artif Organs* [Internet]. 2014 Nov 28;37(11):839–46. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.5301/ijao.5000360>
  28. Talor J, Yee S, Rider A, Kunselman AR, Guan Y, Ündar A. Comparison of Perfusion Quality in Hollow-Fiber Membrane Oxygenators for Neonatal Extracorporeal Life Support. *Artif Organs* [Internet]. 2010 Apr;34(4):E110–6. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1525-1594.2009.00971.x>
  29. 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* [Internet]. 2005 May;51(3):281–7. Available from: <https://journals.lww.com/00002480-200505000-00017>
  30. Strunina S, Hozman J, Ostadal P. The peripheral cannulas in extracorporeal life support. *Biomed Eng / Biomed Tech* [Internet]. 2019 Apr 24;64(2):127–33.

Available from: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/bmt-2017-0107/html>

31. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. *Ann Transl Med* [Internet]. 2017 Feb;5(4):70–70. Available from: <http://atm.amegroups.com/article/view/13563/14060>
32. Shaheen A, Tanaka D, Cavarocchi NC, Hirose H. Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation (VV ECMO): Indications, Preprocedural Considerations, and Technique. *J Card Surg* [Internet]. 2016 Apr;31(4):248–52. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jocs.12690>
33. Kohler K, Valchanov K, Nias G, Vuylsteke A. ECMO cannula review. *Perfusion* [Internet]. 2013 Mar 20;28(2):114–24. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0267659112468014>
34. Gajkowski EF, Herrera G, Hatton L, Velia Antonini M, Vercaemst L, Cooley E. ELSO Guidelines for Adult and Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuits. *ASAIO J* [Internet]. 2022 Feb 28;68(2):133–52. Available from: <https://journals.lww.com/10.1097/MAT.0000000000001630>
35. Jayaraman A, Cormican D, Shah P, Ramakrishna H. Cannulation strategies in adult veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: Techniques, limitations, and special considerations. *Ann Card Anaesth* [Internet]. 2017;20(5):11. Available from: <https://journals.lww.com/10.4103/0971-9784.197791>
36. Saeed D, Stosik H, Islamovic M, Albert A, Kamiya H, Maxhera B, et al. Femoro-Femoral Versus Atrio-Aortic Extracorporeal Membrane Oxygenation: Selecting the Ideal Cannulation Technique. *Artif Organs* [Internet]. 2014 Jul;38(7):549–55. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/aor.12245>
37. Chung M, Shiloh AL, Carlese A. Monitoring of the adult patient on venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *Sci World J*. 2014;2014.
38. Combes A, Schmidt M, Hodgson CL, Fan E, Ferguson ND, Fraser JF, et al.

- Extracorporeal life support for adults with acute respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med* [Internet]. 2020 Dec 2;46(12):2464–76. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00134-020-06290-1>
39. Faccioli E, Terzi S, Pangoni A, Lomangino I, Rossi S, Lloret A, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in lung transplantation: Indications, techniques and results. *World J Transplant*. 2021;11(7):290–302.
  40. Napp LC, Kühn C, Hoepfer MM, Vogel-Claussen J, Haverich A, Schäfer A, et al. Cannulation strategies for percutaneous extracorporeal membrane oxygenation in adults. *Clin Res Cardiol* [Internet]. 2016 Apr 25;105(4):283–96. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00392-015-0941-1>
  41. Rich P, Awad S, Crotti S, Hirschl R, Bartlett R, Schreiner R. Cardiopulmonary Support and Physiology 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.
  42. Abrams D, Bacchetta M, Brodie D. Recirculation in Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation. *ASAIO J* [Internet]. 2015 Mar;61(2):115–21. Available from: <https://journals.lww.com/00002480-201503000-00001>
  43. Lindholm JA. Cannulation for veno-venous extracorporeal membrane oxygenation. *J Thorac Dis* [Internet]. 2018 Mar;10(S5):S606–12. Available from: <http://jtd.amegroups.com/article/view/19958/15395>
  44. Extracorporeal Life Support Organization. General Guidelines for all ECLS Cases. *Extracorporeal Life Support Organ* [Internet]. 2017;(August):1–26. Available from: <https://www.else.org/Resources/Guidelines.aspx>
  45. Lorusso R, Shekar K, MacLaren G, Schmidt M, Pellegrino V, Meyns B, et al. ELSO Interim Guidelines for Venoaerterial Extracorporeal Membrane Oxygenation in Adult Cardiac Patients. *ASAIO J*. 2021;67(8):827–44.
  46. Rao P, Khalpey Z, Smith R, Burkhoff D, Kociol RD. Venoaerterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiogenic Shock and Cardiac Arrest. *Circ Hear Fail*

- [Internet]. 2018 Sep;11(9):1–17. Available from:  
<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004905>
47. Makdisi G, Wang IW. Extra Corporeal Membrane Oxygenation (ECMO) review of a lifesaving technology. *J Thorac Dis.* 2015;7(7):E166–76.
  48. Tonna JE, Abrams D, Brodie D, Greenwood JC, RUBIO Mateo-Sidron JA, Usman A, et al. Management of Adult Patients Supported with Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation (VV ECMO): Guideline from the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). *ASAIO J* [Internet]. 2021 Jun 7;67(6):601–10. Available from:  
<https://journals.lww.com/10.1097/MAT.0000000000001432>
  49. Thiagarajan RR, Barbaro RP, Rycus PT, McMullan DM, Conrad SA, Fortenberry JD, et al. Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J.* 2017;63(1):60–7.
  50. Lubnow M, Philipp A, Foltan M, Enger TB, Lunz D, Bein T, et al. Technical complications during veno-venous extracorporeal membrane oxygenation and their relevance predicting a system-exchange - Retrospective analysis of 265 cases. *PLoS One.* 2014;9(12):1–22.
  51. Rajsic S, Trembl B, Jadzic D, Breitkopf R, Oberleitner C, Popovic Krneta M, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock: a meta-analysis of mortality and complications. *Ann Intensive Care* [Internet]. 2022 Oct 5;12(1):93. Available from: <https://doi.org/10.1186/s13613-022-01067-9>
  52. Vaquer S, de Haro C, Peruga P, Oliva JC, Artigas A. Systematic review and meta-analysis of complications and mortality of veno-venous extracorporeal membrane oxygenation for refractory acute respiratory distress syndrome. *Ann Intensive Care* [Internet]. 2017 Dec 12;7(1):51. Available from:  
<http://annalsofintensivecare.springeropen.com/articles/10.1186/s13613-017-0275-4>
  53. Nunez JI, Gosling AF, O’Gara B, Kennedy KF, Rycus P, Abrams D, et al.

- Bleeding and thrombotic events in adults supported with venovenous extracorporeal membrane oxygenation: an ELSO registry analysis. *Intensive Care Med* [Internet]. 2022 Feb 18;48(2):213–24. Available from: <https://link.springer.com/10.1007/s00134-021-06593-x>
54. Tintinalli JE. *Tintinalli's Emergency Medicine, a comprehensive study guide*. 9th ed. McGraw-Hill Education; 2020.
  55. Hrvatski zavod za hitnu medicinu [Internet]. Available from: <https://www.hzhm.hr>. Date Accessed: 10.06.2023.
  56. Dabija M, Aine M, Forsberg A. Caring for critically ill patients during interhospital transfers: A qualitative study. *Nurs Crit Care* [Internet]. 2021 Sep 16;26(5):333–40. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nicc.12598>
  57. Kiss T, Bölke A, Spieth PM. Interhospital transfer of critically ill patients. *Minerva Anesthesiol* [Internet]. 2017 Oct;83(10):1101–8. Available from: <https://www.minervamedica.it/index2.php?show=R02Y2017N10A1101>
  58. Soar J, Böttiger BW, Carli P, Couper K, Deakin CD, Djäv T, et al. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation* [Internet]. 2021 Apr;161:115–51. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300957221000630>
  59. Navarro A, Atkinson J. *International Trauma Life Support for Emergency Care Providers, Global Edition*. Vol. 9. 2020.
  60. Nolan JP, Sandroni C, Böttiger BW, Cariou A, Cronberg T, Friberg H, et al. European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine Guidelines 2021: Post-resuscitation care. *Resuscitation* [Internet]. 2021 Apr;161:220–69. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0300957221000654>
  61. Thim T, Krarup NHV, Grove EL, Rohde CV, Lofgren B. Initial assessment and treatment with the Airway, Breathing, Circulation, Disability, Exposure (ABCDE) approach. *Int J Gen Med*. 2012;5:117–21.

62. Peran D, Kodet J, Pekara J, Mala L, Truhlar A, Cmorej PC, et al. ABCDE cognitive aid tool in patient assessment – development and validation in a multicenter pilot simulation study. *BMC Emerg Med* [Internet]. 2020 Dec 4;20(1):95. Available from: <https://bmccemergmed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12873-020-00390-3>
63. Antić G, Čanađija M, Čoralić S, Kudrna K, Majhen R, Simić A. Izvanbolnička hitna medicinska služba - priručnik za doktore medicine. Branka T, editor. 2018.
64. Theiler L, Gutzmann M, Kleine-Brueggeney M, Urwyler N, Kaempfen B, Greif R. i-gel™ supraglottic airway in clinical practice: a prospective observational multicentre study. *Br J Anaesth* [Internet]. 2012 Dec;109(6):990–5. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0007091217316070>
65. Griffiths A, Lowes T, Henning J. *Pre-Hospital Anesthesia Handbook* [Internet]. London: Springer London; 2010. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-23090-0>
66. Muñoz ÁM, Estrada M, Quintero JA, Umaña M. Rapid Intubation Sequence: 4-Year Experience in an Emergency Department. *Open Access Emerg Med* [Internet]. 2021 Oct;Volume 13:449–55. Available from: <https://www.dovepress.com/rapid-intubation-sequence-4-year-experience-in-an-emergency-department-peer-reviewed-fulltext-article-OAEM>
67. O'Driscoll BR, Howard LS, Earis J, Mak V. BTS guideline for oxygen use in adults in healthcare and emergency settings. *Thorax* [Internet]. 2017 Jun;72(Suppl 1):ii1–90. Available from: <https://thorax.bmj.com/lookup/doi/10.1136/thoraxjnl-2016-209729>
68. Mart MF, Sendagire C, Ely EW, Riviello ED, Twagirumugabe T. Oxygen as an Essential Medicine. *Crit Care Clin* [Internet]. 2022 Oct;38(4):795–808. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0749070422000446>
69. Kurzanleitung D, Anwendung J, Anwender D. *Oxylog ® 2000 plus Kurzanleitung Software Version 1 . n. 2000;*

70. Singer BD, Corbridge TC. Basic Invasive Mechanical Ventilation. *South Med J* [Internet]. 2009 Dec;102(12):1238–45. Available from: <http://sma.org/southern-medical-journal/article/basic-invasive-mechanical-ventilation>
71. Meng M, Zhang J, Chen L, Wang L. Prehospital noninvasive positive pressure ventilation for severe respiratory distress in adult patients: An updated meta-analysis. *J Clin Nurs* [Internet]. 2022 Dec 24;31(23–24):3327–37. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jocn.16224>
72. Krauss B, Hess DR. Capnography for Procedural Sedation and Analgesia in the Emergency Department. *Ann Emerg Med*. 2007;50(2):172–81.
73. SKC. Operating instructions [Internet]. Vol. 25, *Journal of Wildlife Rehabilitation*. 2002. 27 p. Available from: [www.skcinc.com/instructions/1795.pdf](http://www.skcinc.com/instructions/1795.pdf)
74. Ramesh GH, Uma JC, Farhath S. Fluid resuscitation in trauma: what are the best strategies and fluids? *Int J Emerg Med* [Internet]. 2019 Dec 4;12(1):38. Available from: <https://intjem.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12245-019-0253-8>
75. Vincent J-L. Fluid management in the critically ill. *Kidney Int* [Internet]. 2019 Jul;96(1):52–7. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.kint.2018.11.047>
76. Tan E, Ahluwalia A, Kankam H, Menezes P. Urinary catheterization 1: indications. *Br J Hosp Med* [Internet]. 2019 Sep 2;80(9):C133–5. Available from: <http://www.magonlinelibrary.com/doi/10.12968/hmed.2019.80.9.C133>
77. Tan E, Ahluwalia A, Kankam H, Menezes P. Urinary catheterization 2: Technique and managing failure. *Br J Hosp Med*. 2019;80(9):C136–8.
78. Stuart H R, Ian D P, Mark WJ S, Richard P H. *Davidson's Principles and practice of medicine-Elsevier*. 2018.
79. KOTHARI R, PANCIOLI A, LIU T, BROTT T, BRODERICK J. Cincinnati Prehospital Stroke Scale: Reproducibility and Validity. *Ann Emerg Med* [Internet]. 1999 Apr;33(4):373–8. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0196064499702994>

80. Labib A, August E, Agerstrand C, Frenckner B, Laufenberg D, Lavandosky G, et al. Extracorporeal Life Support Organization Guideline for Transport and Retrieval of Adult and Pediatric Patients with ECMO Support. *ASAIO J*. 2022;68(4):447–55.
81. Broman LM, Frenckner B. Transportation of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Front Pediatr*. 2016;4(JUN):1–6.
82. Bartlett RH, Gazzaniga AB, Fong SW, Robin Jefferies M, Vernon Roohk H, Haiduc N. Extracorporeal membrane oxygenator support for cardiopulmonary failure. *J Thorac Cardiovasc Surg [Internet]*. 1977 Mar;73(3):375–86. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223\(19\)39916-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-5223(19)39916-7)
83. Barbaro RP, Odetola FO, Kidwell KM, Paden ML, Bartlett RH, Davis MM, et al. Association of Hospital-Level Volume of Extracorporeal Membrane Oxygenation Cases and Mortality. Analysis of the Extracorporeal Life Support Organization Registry. *Am J Respir Crit Care Med [Internet]*. 2015 Apr 15;191(8):894–901. Available from: <https://www.atsjournals.org/doi/10.1164/rccm.201409-1634OC>
84. Puslecki M, Baumgart K, Ligowski M, Dabrowski M, Stefaniak S, Ladzinska M, et al. Patient Safety during ECMO Transportation: Single Center Experience and Literature Review. *Emerg Med Int*. 2021;2021:1–16.
85. Abrams D, Garan AR, Abdelbary A, Bacchetta M, Bartlett RH, Beck J, et al. Position paper for the organization of ECMO programs for cardiac failure in adults. *Intensive Care Med [Internet]*. 2018 Jun 15;44(6):717–29. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00134-018-5064-5>
86. Combes A, Brodie D, Bartlett R, Brochard L, Brower R, Conrad S, et al. 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.
87. Broman LM, Dirnberger DR, Malfertheiner M V., Aokage T, Morberg P, Næsheim T, et al. International Survey on Extracorporeal Membrane Oxygenation Transport. *ASAIO J [Internet]*. 2020 Feb;66(2):214–25. Available from:



<https://journals.lww.com/10.1097/MAT.0000000000000997>

88. Broman LM. Inter-hospital transports on extracorporeal membrane oxygenation in different health-care systems. *J Thorac Dis* [Internet]. 2017 Sep;9(9):3425–9. Available from: <http://jtd.amegroups.com/article/view/15316/12761>
89. Broman LM, Holzgraefe B, Palmér K, Frenckner B. The Stockholm experience: interhospital transports on extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care* [Internet]. 2015 Dec 1;19(1):278. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s13054-015-0994-6>
90. Yang JT, Kim HS, Kim K II, Ko HH, Lim JH, Lee HK, et al. Outcomes of Urgent Interhospital Transportation for Extracorporeal Membrane Oxygenation Patients. *J Chest Surg*. 2022;55(6):452–61.
91. Daverio M, Belda Hofheinz S, Vida V, Scattolin F, López Fernández E, García Torres E, et al. Pediatric COVID-19 extracorporeal membrane oxygenation transport during the pandemic. *Perfusion* [Internet]. 2023 May 12;0(0):026765912311762. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/02676591231176243>
92. Wothe JK, Bergman ZR, Kalland KR, Peter LG, Luszczek ER, Brunsvold ME. Outcomes of Patients Undergoing Interfacility Extracorporeal Membrane Oxygenation Transfer Based on Cannulation Location and Mode of Transport. *Crit Care Explor* [Internet]. 2022 Mar 28;4(4):e0664. Available from: <https://journals.lww.com/10.1097/CCE.0000000000000664>
93. Vieira J, Frakes M, Cohen J, Wilcox S. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Transport Part 1: Extracorporeal Membrane Oxygenation Configurations and Physiology. *Air Med J*. 2020;39(1):56–63.
94. Vieira J, Frakes M, Cohen J, Wilcox S. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Transport Part 2: Complications and Troubleshooting. *Air Med J* [Internet]. 2020 Mar;39(2):124–32. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1067991X19302007>

95. Sams VG, Anderson J, Hunninghake J, Gonzales M. Adult ECMO in the En Route Care Environment: Overview and Practical Considerations of Managing ECMO Patients During Transport. *Curr Trauma Reports* [Internet]. 2022 Oct 20;8(4):246–58. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40719-022-00245-1>
96. Bonadonna D, Barac YD, Ranney DN, Rackley CR, Mumma K, Schroder JN, et al. Interhospital ECMO Transport: Regional Focus. *Semin Thorac Cardiovasc Surg* [Internet]. 2019;31(3):327–34. Available from: <https://doi.org/10.1053/j.semtcvs.2019.01.003>
97. Lucchini A, Gariboldi R, Villa M, Cannizzo L, Pegoraro F, Fumagalli L, et al. One hundred ECMO retrivals before and during the Covid-19 pandemic: an observational study. *Intensive Crit Care Nurs* [Internet]. 2023 Apr;75(January):103350. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0964339722001537>
98. Corno AF, Faulkner GM, Harvey C. Mobile Extracorporeal Membrane Oxygenation. *ASAIO J* [Internet]. 2021 May 13;67(5):594–600. Available from: <https://journals.lww.com/10.1097/MAT.0000000000001286>
99. Niziolek KC, Preston TJ, Osborn EC. Transport While on Extracorporeal Membrane Oxygenation Support. *Crit Care Clin* [Internet]. 2017 Oct;33(4):883–96. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccc.2017.06.009>
100. Giani M, Lucchini A, Magni G, Villa S, Rona R, Fumagalli R, et al. How to avoid rapid carbon dioxide changes at the start of veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: Role of end-tidal CO<sub>2</sub> monitoring. *Perfusion* [Internet]. 2023 May 28;38(4):684–8. Available from: <https://doi.org/10.1177/02676591221079508>
101. Ericsson A, Frenckner B, Broman LM. Adverse Events during Inter-Hospital Transports on Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Prehospital Emerg Care* [Internet]. 2017 Jul 4;21(4):448–55. Available from: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10903127.2017.1282561>

102. Puślecki M, Ligowski M, Dąbrowski M, Stefaniak S, Ładzińska M, Pawlak A, et al. Development of regional extracorporeal life support system: The importance of innovative simulation training. *Am J Emerg Med.* 2019;37(1):19–26.
103. Shekar K, Badulak J, Peek G, Boeken U, Dalton HJ, Arora L, et al. Extracorporeal Life Support Organization Coronavirus Disease 2019 Interim Guidelines: A Consensus Document from an International Group of Interdisciplinary Extracorporeal Membrane Oxygenation Providers. *ASAIO J.* 2020;707–21.
104. 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 [Internet].* 2020 May;8(5):518–26. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213260020301211>
105. Fletcher-Sandersjö A, Frenckner B, Broman M. A Single-Center Experience of 900 Interhospital Transports on Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Ann Thorac Surg [Internet].* 2019 Jan;107(1):119–27. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003497518312748>
106. Bryner B, Cooley E, Copenhaver W, Brierley K, Teman N, Landis D, et al. Two decades' experience with interfacility transport on extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Thorac Surg [Internet].* 2014;98(4):1363–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.athoracsur.2014.06.025>

## 9. ŽIVOTOPIS

Rođena sam u Zagrebu, osnovnu školu završila u OŠ Sesvetski Kraljevec i srednju školu u V. Gimnaziji. Medicinski fakultet u Zagrebu upisujem 2016. godine. Tijekom studija, 2018. godine, postajem članica Europske medicinske studentske asocijacije Zagreb (EMSA Zagreb) i svake akademske godine sudjelujem u organizaciji Ljetne škole hitne medicine, Bolnice za medvjediće i Zagreb International Medical Summit-a. Uz to sam sudjelovala na raznim drugim projektima kao što su Pogled u sebe u ulozi vršnjačke edukatorice i Studentska poliklinika, koja je za cilj imala približiti studentima medicine praktični rad u bolnicama, sa fokusom na OB „dr. Ivo Pedišić“ Sisak. Akademske godine 2017./2018. dodijeljena mi je Rektorova nagrada za društveno koristan rad u akademskoj i široj zajednici za „Pogled u sebe-promicanje mentalnog zdravlja mladih“. Akademske godine 2018./2019. dodijeljena mi je Posebna dekanova nagrada za doprinos studenata radu i ugledu fakulteta za „Zagreb International Medical Summit“. Aktivno se služim engleskim i njemačkim jezikom. U slobodno vrijeme se bavim grafičkim dizajnom i trudim se biti informatički pismena.