

# Ekstrakorporalna membranozna oksigenacija u pedijatriji

---

**Matošević, Ivana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Dental Medicine and Health Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet za dentalnu medicinu i zdravstvo Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:243:418616>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-30**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Dental Medicine and Health Osijek  
Repository](#)



# Ekstrakorporalna membranozna oksigenacija u pedijatriji

---

**Matošević, Ivana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Dental Medicine and Health Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet za dentalnu medicinu i zdravstvo Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:243:418616>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2022-02-08**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Dental Medicine and Health Osijek  
Repository](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ZA DENTALNU MEDICINU I ZDRAVSTVO**

**OSIJEK**

Diplomski sveučilišni studij Sestrinstvo

**Ivana Matošević**

**EKSTRAKORPORALNA  
MEMBRANOZNA OKSIGENACIJA U  
PEDIJATRIJI**

**Diplomski rad**

**Sveta Nedelja, 2021.**

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ZA DENTALNU MEDICINU I ZDRAVSTVO**

**OSIJEK**

Diplomski sveučilišni studij Sestrinstvo

**Ivana Matošević**

**EKSTRAKORPORALNA  
MEMBRANOZNA OKSIGENACIJA U  
PEDIJATRIJI**

**Diplomski rad**

**Sveta Nedelja, 2021.**

Rad je ostvaren na Odjelu za pedijatrijsku intenzivnu medicinu Kliničkog bolničkog centra Zagreb.

Mentor rada: Prof. prim. dr. sc. Igor Filipčić, dr.med.

Rad sadrži 48 listova i 3 tablice.

## ZAHVALA

*Zahvaljujem mentoru prof. prim. dr. sc. Igoru Filipčiću na pomoći i stručnom vodstvu.*

*Zahvaljujem mag. med. tech. Kristini Bosak na pomoći i savjetima, tijekom studiranja i pri izradi diplomskoga rada.*

*Zahvaljujem na pomoći i lijepim trenucima svim prijateljima, kolegama i slučajnim prolaznicima koji su bili dio mojih studentskih dana.*

*Također od srca hvala mojoj obitelji na strpljenju, velikoj podršci i razumijevanju bez kojih sve ovo ne bi bilo moguće.*

# SADRŽAJ

|   |    |
|---|----|
| 1. UVOD .....   | 1  |
| 2. POSTUPCI.....  | 3  |
| 3. EKSTRAKORPORALNA MEMBRANOZNA OKSIGENACIJA U PEDIJATRIJI.....                                       | 4  |
| 3.1. Anatomija srca i pluća.....  | 4  |
| 3.2. Povijesni pregled ekstrakorporalne membranozne oksigenacije u pedijatriji.....                   | 5  |
| 3.3. Komponente ECMO sustava .....  | 7  |
| 3.3.1. Veno-venski ECMO .....   | 8  |
| 3.3.2. Veno-arterijski ECMO .....   | 9  |
| 3.3. Indikacije za postavljanje ECMO uređaja.....   | 11 |
| 3.4. Kontraindikacije za postavljanje ECMO uređaja.....   | 14 |
| 3.6. Upravljanje ekstrakorporalnom membranoznom oksigenacijom .....                                   | 15 |
| 3.6.1. Organski sustavi i ECMO uređaj .....   | 15 |
| 3.6.2. Kontrola koagulacije .....   | 16 |
| 3.6.3. Komplikacije .....   | 17 |
| 3.6.4. Odvajanje od ECMO sustava .....  | 19 |
| 3.7. Zdravstvena njega djeteta na ECMO-u .....  | 21 |
| 3.7.1. Sprječavanje infekcije .....   | 21 |
| 3.7.2. Održavanje integriteta kože.....   | 22 |
| 3.7.3. Održavanje tjelesne temperature .....  | 23 |
| 3.7.4. Nutritivna potpora .....   | 24 |
| 3.7.5. Dijagnostički postupci i primjena lijekova.....  | 25 |
| 4. VAŽNOST MEDICINSKE SESTRE U SKRBI ZA DIJETE NA<br>EKSTRAKORPORALNOJ MEMBRANOZNOJ OKSIGENACIJI..... | 27 |
| 5. ZAKLJUČAK .....  | 30 |
| 6. SAŽETAK.....   | 31 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 7. SUMMARY .....   | 32 |
| 8. LITERATURA..... | 33 |
| 9. ŽIVOTOPIS ..... | 37 |



## POPIS KRATICA

|                   |   |
|-------------------|---|
| ECMO              | ekstrakorporalna membranozna oksigenacija (engl. <i>extracorporeal membrane oxygenation</i> )               |
| ELSO              | Organizacija za ekstrakorporalno održavanje života (engl. <i>Extracorporeal Life Support Organization</i> ) |
| NICU              | jedinica za intenzivno liječenje novorođenčadi (engl. <i>neonatal intensive care unit</i> )                 |
| ECLS              | izvantjelesna podrška životu (engl. <i>extracorporeal life support</i> )                                    |
| AV                | atrioventrikularni  |
| O <sub>2</sub>    | kisik   |
| CO <sub>2</sub>   | ugljični dioksid  |
| CPB               | kardiopulmonalna premosnica (engl. <i>cardiopulmonary bypass</i> )  |
| VA                | veno-arterijski   |
| VV                | veno-venski   |
| VAV               | veno-arterio-venski   |
| VAPa              | veno-arterio-plućno-arterijski  |
| PEEP              | pozitivni tlak na kraju izdisaja (engl. <i>positive end-expiratory pressure</i> )                           |
| ARDS              | akutni respiratorni distress sindrom  |
| ACT               | aktivirano vrijeme zgrušavanja (engl. <i>activated clotting time</i> )                                      |
| AT III            | antitrombin III   |
| SŽS               | središnji živčani sustav  |
| PIP               | vršni inspiratorni tlak (engl. <i>peak inspiratory pressure</i> )   |
| IMV               | intermitentna mehanička ventilacija (engl. <i>intermittent mechanical ventilation</i> )                     |
| MAP               | srednji arterijski tlak (engl. <i>mean arterial pressure</i> )  |
| LVEF              | ejekcijska frakcija lijeve klijetke (engl. <i>left ventricular ejection fraction</i> )                      |
| VTI <sub>ao</sub> | vremenska integralna brzina aorte (engl. <i>velocity time integral</i> )                                    |
| TTM               | ciljana tjelesna temperatura (eng. <i>targeted temperature management</i> )                                 |
| EP                | enteralna prehrana  |

REE energija u mirovanju (engl. *resting energy expenditure*)

PN parenteralna prehrana

RTG rendgen

## POPIS TABLICA

|   |    |
|---|----|
| Tablica 1. Karakteristične razlike između VV i VA ECMO .....                              | 10 |
| Tablica 2. Uobičajene indikacije za primjenu ECMO potpore u pedijatriji .....             | 11 |
| Tablica 3. Prikaz apsolutnih i relativnih kontraindikacija za primjenu ECMO potpore ..... | 14 |

## 1. UVOD

Ekstrakorporalna membranozna oksigenacija (engl. *extracorporeal membrane oxygenation* – ECMO) spasonosan je način i značajan dio svakog programa mehaničke cirkulatorne potpore. Postoje značajne razlike u postavljanju i upravljanju ECMO sustavom u pedijatrijskih bolesnika u usporedbi s odraslima. Razlike uključuju indikacije, postavljanje ECMO kruga, kao i mjesta implantacije. Organizacija za ekstrakorporalno održavanje života (engl. *Extracorporeal Life Support Organization* – ELSO) predstavlja najveću bazu podataka na svijetu i redovito izrađuje izvješća o međunarodnom rastu, ishodima, komplikacijama i tehnologiji koja se koristi u ECMO-u. Tradicionalno postoji jedno godišnje izvješće koje se fokusira na odrasle, a drugo na pedijatriju. Najnovije izvješće ELSO-a pokazalo je da je 71 % svih ECMO implantata učinjeno na pedijatrijskoj populaciji, a novorođenčad je predstavljala 47 % cijele kohorte. U Registru ELSO-a prijavljeno je gotovo 60 000 djece na kojima je primijenjen ECMO sustav u liječenju određenih zdravstvenih stanja (1).

ECMO je mehanička tehnika koja osigurava krug izvan tijela gdje se provodi oksigenacija krvi i uklanjanje ugljičnoga dioksida. ECMO sustav modificirani je kardiopulmonalni prenosnički krug, konceptualno sličan onomu koji je izumio John Gibbon 1936. godine i koji se trenutačno koristi tijekom kardio-premosnice u operacijskoj sali kod kirurških zahvata na otvorenom srcu.

U jedinicama intenzivnog liječenja novorođenčadi (engl. *neonatal intensive care unit* – NICU) primjena ECMO sustava postala je standard njege sa stopom preživljavanja većom od 85 % u novorođenčadi s ozbiljnom i refraktornom hipoksemijom uslijed aspiracije mekonija, respiratornog distress sindroma i primarne plućne hipertenzije (2).

Epidemiologija pedijatrijske ekstrakorporalne membranozne oksigenacije u novorođenčadi i djece pretrpjela je dramatične promjene od prvih ECMO izvještaja o slučaju iz 1970-ih. ECMO tehnologija koristila se u novorođenčadi u prvim desetljećima svoga razvoja, ponajprije za indikacije poput sindroma aspiracije mekonija, trajne plućne hipertenzije novorođenčeta i sindroma respiratornoga distressa. Smatra se da su pojave nekonvencionalnih načina ventilacije i inhalacije dušikova oksida te napredne multimodalne terapije plućne hipertenzije pridonijele smanjenju broja novorođenčadi na ECMO potpore u posljednja dva desetljeća. Došlo je do promjene u suprotnome smjeru kod uporabe ECMO-a u starije novorođenčadi i djece. Povećao

se broj neonatalnih dječjih ECMO slučajeva, kao i složenost slučajeva i raznolikost indikacija (3).

Ukupno je u svijetu zabilježeno više od 63 000 novorođenčadi i djece mlađe od 18 godina koja su tijekom liječenja zahtijevala ECMO potporu. Ova brojka predstavlja slučajeve prijavljene registru Organizacije za izvantjelesno održavanje života od 1989. do danas. Suvremene tercijarne i kvartarne medicinsko-kirurške i kardiološke dječje jedinice intenzivnoga liječenja oslanjaju se na sposobnost provođenja ECMO potpore djeci sa stanjima opasnima po život koja dovode do kardiopulmonalnoga zatajenja ili srčanog zastoja (3).

## 2. POSTUPCI

Za izradu ovoga diplomskog rada podatci su prikupljeni iz znanstvenih baza pretraživanjem literature dostupne na internetu (engl. *desk research*). Pretražene su sljedeće baze podataka: PubMed, Scopus, Medline, Embasa, Researchgate i Hrčak. Kriterij uključenja bila je stručna literatura vezana uz ekstrakorporalnu membranoznu oksigenaciju u pedijatriji, dok je kriterij isključenja bila literatura starija od 15 godina.

Ključne riječi u pretraživanju baze podataka na hrvatskom jeziku bile su: ekstrakorporalna membranozna oksigenacija, dijete, indikacije, zdravstvena njega.

Ključne riječi na engleskom jeziku bile su: *extracorporeal membranous oxygenation, child, indications, nursing care*.

### 3. EKSTRAKORPORALNA MEMBRANOZNA OKSIGENACIJA U PEDIJATRIJI

Ekstrakorporalna (izvantjelesna) membranozna oksigenacija prilagodba je konvencionalne kardiopulmonalne tehnike premoštenja koja se koristi za dugotrajnu potporu respiratorne i/ili srčane funkcije. Omogućava fiziološku kardiopulmonalnu potporu bolesnicima s akutnim, reverzibilnim srčanim ili respiratornim zatajenjem. Izraz „izvantjelesna podrška životu“ (engl. *extracorporeal life support* – ECLS) predložen je za opisivanje produljene, ali privremene (1 – 30 dana) potpore radu srca ili pluća pomoću mehaničkih uređaja. Tehnički se ECMO terminologija koristi za modalitete koji omogućavaju sustav plućne potpore koji uključuje oksigenaciju i uklanjanje ugljičnoga dioksida, a ECLS se koristi i za srčane i plućne sustave potpore, ali ove se terminologije i dalje koriste naizmjenično (4).

#### 3.1. Anatomija srca i pluća

Srce je šuplji mišićni organ smješten u prsnome košu, veličine odrasle muške šake. Sastoji se od četiri komore (desna i lijeva pretkljetka, odnosno atrij, i desna i lijeva kljetka, odnosno ventrikul). Desna i lijeva pretkljetka povezane su s kljetkama preko mitralnoga, odnosno trikuspidalnoga atrioventrikularnog (AV) zalistka. AV zalisci pasivni su i zatvoreni kad je ventrikularni tlak veći od onoga u atriju. Krv se u desnu pretkljetku ulijeva kroz gornju i donju šuplju venu, a u desnu kljetku prolazi kroz mitralni zalistak. Iz desne kljetke prolazi kroz plućni semilunarni zalistak u plućnu arteriju, gdje se procesom disanja oksigenira te preko tri do pet plućnih vena vraća u desnu pretkljetku. Iz desne pretkljetke prolazi kroz trikuspidalni zalistak u lijevu kljetku, a iz lijeve kljetke odlazi u aortu preko aortnoga semilunarnog zaliska. Semilunarni zalisci pasivno se zatvaraju na kraju sistole, kada ventrikularni tlak padne ispod tlaka arterija. Oba semilunarna zalistka imaju tri šiljka (5).

Veliki i mali krvotok srca jedan je cjeloviti sustav srca, dok je drugi sposobnost provođenja električnih impulsa. Električni sustav odgovoran je za iniciranje i koordiniranje mehaničke aktivnosti srca. Kad impuls prolazi srcem, električne struje šire se u okolna tkiva, a njihov mali dio dopire i do površine. Normalni elektrokardiogram sastoji se od P-vala, QRS-kompleksa i

T-vala. P-val označava depolarizacije atrija, QRS-kompleks depolarizaciju ventrikula, a T-val repolarizaciju ventrikula (6).

Pluća su upareni organi u obliku piramide koji su desnim i lijevim bronhom povezani s dušnikom, a na donjoj su površini pluća omeđena dijafragmom. Dijafragma je ravni mišić u obliku kupole koji se nalazi na dnu pluća i prsne šupljine. Pluća su zatvorena pleurama koje su pričvršćene za medijastinum. Desno je plućno krilo kraće i šire od lijevoga, a lijevo zauzima manji volumen od desnoga. Srčani usjek udubljenje je na površini lijevoga plućnog krila koji omogućuje prostor za srce. Vrh pluća je gornja regija, dok je baza suprotna regija u blizini dijafragme. Kostalna površina pluća graniči s rebrima. Medijastinalna površina okrenuta je prema srednjoj liniji (7).

Svako se plućno krilo sastoji od manjih jedinica koje se nazivaju režnjevi. Pukotine razdvajaju režnjeve jedne od drugih. Desno se plućno krilo sastoji od tri režnja: gornjega, srednjega i donjega. Lijevo se plućno krilo sastoji od dva režnja: gornjega i donjega. Bronhopulmonalni segment dioba je režnja, a svaki režanj sadrži više bronhopulmonalnih segmenata. Svaki segment prima zrak iz vlastitoga tercijarnog bronha i opskrbljuje se krvlju vlastitom arterijom. Plućni režanj je pododjeljak formiran kao bronhijalna grana u bronhiole. Svaka lobula prima svoj vlastiti veliki bronhiol koji ima više grana. Interlobularni septum je zid, sastavljen od vezivnoga tkiva, koji razdvaja lobule jedan od drugog (7).

Opskrba pluća krvlju ima važnu ulogu u izmjeni plinova i služi kao transportni sustav za plinove u cijelom tijelu. Uz to, inervacija parasimpatičkoga i simpatičkoga živčanog sustava omogućava važnu razinu kontrole širenjem i stezanjem dišnih putova. Glavna je funkcija pluća izmjena plinova koja zahtijeva krv iz plućne cirkulacije. Ova opskrba krvlju sadrži deoksigeniranu krv i putuje do pluća gdje eritrociti, odnosno crvene krvne stanice, skupljaju kisik za transport do tkiva kroz tijelo.

### **3.2. Povijesni pregled ekstrakorporalne membranozne oksigenacije u pedijatriji**

Mjehuriće oksigenatora, koji se koriste u kardiopulmonalnim sustavima premoštenja, karakterizira izravan kontakt krvi i plina. Međutim, značajna hemoliza uzrokovana ovim oksigenatorima ograničila je mogućnost produljenoga liječenja. Dugotrajna podrška srcu i/ili



plućima omogućena je razvojem i uvođenjem membranskih oksigenatora koji su fizički odvojili krvnu i plinsku fazu i time minimalizirali problem hemolize.

Jedna od glavnih modifikacija koja je proširila uporabu izvornoga povijesnog zaobilaznog kruga bila je dodavanje silikonske membrane u 1950-ima, što je omogućilo dulju uporabu ograničavanjem izravnoga sučelja krvi i kisika tijekom kardiokirurških zahvata. Šezdesetih godina provedeno je opsežno istraživanje o materijalima i tehnikama, s ciljem povećanja duljine vremena tijekom koje pacijent mogao ostati na premosnici (2).

O prvoj uspješnoj primjeni produljene kardiopulmonalne premosnice izvijestio je J. Donald Hill 1972. godine. Odraslom bolesniku su 3 dana pružali potporu venoarterijskim izvantjelesnim premoštavanjem puknute aorte nakon nesreće na motociklu, a 1976. godine su Bartlett i suradnici opisali prvu primjenu ECMO sustava u neonatologiji na novorođenčetu kojemu je 3 dana provođena ECMO potpora zbog respiratornog zatajenja uslijed aspiracije mekonija. Riječ je o napuštenom novorođenčetu, djevojčici, koju je osoblje bolnice nazvalo Esperanza, što znači nada (3). Ovaj je inovativni postupak izveden u vrijeme kada je konvencionalna mehanička ventilacija bila jedina dostupna opcija za ozbiljno respiratorno zatajenje i trajnu plućnu hipertenziju. Neonatalni ECMO sada ulazi u svoje peto desetljeće iskustva i prakse (8). Doktor Bartlett vodio je prvo prospektivno randomizirano kontrolirano ispitivanje koje je procjenjivalo neonatalni respiratorni ECMO u odnosu na konvencionalno liječenje, koje je provedeno na Sveučilištu u Michiganu 1985. godine. Ova studija objavljena je kako bi pokazala korist ECMO-a uspoređujući slučajeve u kojima su svi pacijenti kojima je primijenjena ECMO potpora preživjeli, dok su konvencionalno liječeni pacijenti umirali. Studija se suočila s mnogim kritikama. To je dovelo do druge veće studije dr. Pearla O'Rourkea u dječjoj bolnici u Bostonu 1989. godine. Od 10 djece koja su bila liječena konvencionalno, samo je 6 preživjelo, dok je od 29 djece kojima je primijenjena ECMO potpora, preživjelo njih 28 (4).

Tijekom posljednjih 30 godina, zbog značajnoga napretka u razumijevanju fiziologije, poboljšanja u kliničkoj skrbi, inovacija u novim terapijama za primarne bolesti i tehnološkog napretka, došlo je do velikih promjena u indikacijama, postavljanju kanila, trajanju liječenja i ishodu za djecu kojoj se primjenjuje ECMO sustav. Odabir pacijenta i dalje je ključ uspješnog ishoda jer je ECMO suportivna terapija koja se koristi dok se reverzibilno stanje ne popravi drugim strategijama liječenja.

U više od 35 000 novorođenčadi širom svijeta primijenjena je ECMO potpora. Iako njegova uporaba u zatajenju respiratornog sustava novorođenčadi pada od 1992. godine, broj djece u

pedijatriji kojima se primjenjuje ECMO potpora, raste. Temeljna tehnika ECMO-a kao mehanizma za izmjenu plina ostaje nepromijenjena. Međutim, promjene stanja osnovne bolesti kod kojih se mogu očekivati koristi od ECMO-a, primjena nove tehnologije i ishoda preživjelih s obzirom na kogniciju, jezik i motorički razvoj znatno su proširile indikacije za primjenu ECMO potpore (8).

### 3.3. Komponente ECMO sustava

Ekstrakorporalna membranska oksigenacija (ECMO) sastavljena je od niza komponenti koje su prilagođene kako bi omogućile dovoljnu isporuku kisika u bolesnika s teškom kardijalnom i/ili respiratornom insuficijencijom tijekom duljega perioda (od dana do tjedana). Standardni ECMO krug sastoji se od mehaničke krvne crpke, uređaja za izmjenu plinova (oksigenatora), izmjenjivača topline i kanila. Svi dijelovi ECMO-a povezani su u jedinstvenu cjelinu (9).

ECMO sustavi moraju biti funkcionalni i prenosivi. U sustav je integriran monitor protoka pumpe koji mjeri ukupnu količinu krvi koja prođe kroz sustav, kao i zasebni ultrazvučni detektori protoka koji se mogu postaviti na vensku i arterijsku kanilu. Detektor mjeri venski pristupni tlak prije centrifugalne krvne pumpe kako bi se izbjeglo pretjerano usisavanje krvi iz venskoga sustava djeteta, i pomaže u određivanju adekvatnosti venskoga odvoda i volumena sustava. Isto tako, uobičajeno je mjerenje tlaka prije i poslije naprave za izmjenu plinova (oksigenatora), a to je ujedno i mjesto gdje većina ECMO sustava ima pristupne točke, odnosno mogućnost spajanja na druge sustave (npr. sustav za dijalizu, uspostava kontinuiranoga protoka infuzije s heparinom). Ako se oba tlaka povećavaju, ukazuju na povećanu otpornost protoka što može dovesti do opstrukcije kanile za priljev (9).

Najvažnija je komponenta ECMO kruga crpka. Polupropusne valjkaste crpke standardizirani su dio ECMO sustava već desetljećima, ali su u novije vrijeme zamijenjene novim centrifugalnim crpkama. ECMO crpka mora djetetu osigurati odgovarajući protok krvi (obično 75 – 150 mL/kg/min za dojenčad i djecu), unutar sigurnog raspona tlakova, kako bi se izbjegla hemoliza.

ECMO sustavi imaju i uređaj za izmjenu plinova koji se naziva oksigenator, za primjenu kisika (O<sub>2</sub>) i uklanjanje ugljičnoga dioksida (CO<sub>2</sub>) iz krvi. Izgrađen je od nekoliko različitih biomaterijala kao što su silikonska guma, koja oponaša ljudska pluća i koja se godinama koristi,

polipropilenska šuplja vlakna, polivinilklorid, poliuretan i nehrđajući čelik. Ovisno o stanju djeteta i načinu liječenja, određuje se maksimalni kapacitet oksigenatora (9).

Kako bi se ECMO sustav mogao priključiti na dijete, potrebne su kanile kojima se krv odvodi iz tijela prema sustavu i vraća u organizam nakon što prođe kroz ekstrakorporalnu oksigenaciju. Trenutno je dostupno nekoliko vrsta kanila u različitim veličinama, s različitim značajkama, za potrebe strategije kaniliranja koje se moraju prilagoditi jedinstvenim zahtjevima svakog pojedinoga bolesnika, odnosno djeteta.

Postoje dvije odvojene konfiguracije ECMO kruga, a to su veno-venski (VV) i veno-arterijski (VA). Oba načina uključuju umetanje dvije kanile – jedne za ispuštanje krvi iz venskog sustava (gornja ili donja šuplja vena) do ECMO kruga, a druge za povratak oksigenirane krvi u lijevu klijetku ili u arterijski sustav (10).

### **3.3.1. Venovenski ECMO**

Glavni cilj venovenske ekstrakorporalne membranozne oksigenacije je održavanje izmjene plinova (oksigenacija i uklanjanje CO<sub>2</sub>) kod zatajenja pluća i očuvane funkcije srca. Tijekom venovenskog ECMO-a krv se oksigenira i uklanja se ugljični dioksid, nakon čega se vraća venskomu sustavu djeteta. Prilikom primjene VV ECMO-a venska se krv iz tijela djeteta odvodi preko „pristupne“ kanile, najčešće postavljene u femoralnu venu, a zatim oksigenirana vraća u venski sustav „povratnom“ kanilom u unutarnjoj jugularnoj veni. VV ECMO tako osigurava oksigenaciju i uklanjanje ugljičnog dioksida iz venske krvi, a ujedno smanjuje razinu potrebne mehaničke ventilacijske potpore i minimizira rizik od ozljede pluća uzrokovane ventilacijom (11).

Današnja ECMO potpora pruža razne mogućnosti multidisciplinarnim timovima koji su uključeni u zbrinjavanje i liječenje kritično bolesnih pacijenata. Venovenski ECMO omogućava potpunu respiratornu potporu iako ova vrlo složena tehnika predstavlja znatne rizike, poput krvarenja, trombemboličkih događaja i infekcije. Iako krugovi VV-ECMO-a obično uključuju kaniliranje dviju krvnih žila (dvostruka kanila) u klasičnoj konfiguraciji, za primjenu VV-ECMO-a danas je moguća uporaba samo jedne kanile. Nedavno su ekspertske centre predložili upotrebu naprednijih pristupa, poput kanilacije triju žila (trostruka kanila), koja slijedi veno-arterio-vensku (VAV) ili veno-arterio-plućno-arterijsku kanilaciju (VAPa), za

primjenu u određenim situacijama. Iako prva konfiguracija odgovara vrlo korisnoj metodi koja osigurava i cirkulacijsku i respiratornu potporu, druga, iako je još uvijek eksperimentalna, ima za cilj pružiti dodatnu potporu u slučaju zatajenja desnog srca tijekom VAV-ECMO potpore (12). U primjeni ECMO potpore kod djece se za veno-vensku ekstrakorporalnu membranoznu oksigenaciju postavlja kanila dvostrukog lumena (AVALON ELITE® Bi-Caval Dual Lumen kateter, Maquet) i postavlja se u unutarnju jugularnu venu (13).

Kandidati za VV ECMO obično su duboko hipoksemični i/ili hiperkapnični i ne reagiraju na konvencionalno liječenje koje uključuje zaštitnu ventilaciju s malim tidalnim volumenima i tlakom na platou manjim od 28 do 30 cmH<sub>2</sub>O, visoke razine pozitivnog tlaka na kraju izdisaja (engl. *positive end-expiratory pressure* – PEEP), živčano-mišićne blokatore i/ili druge pomoćne terapije, uključujući i primjenu dušikova oksida. Novija literatura sugerira da omjer PaO<sub>2</sub>/FIO<sub>2</sub> od 70 do 80 mmHg i pH <7,2 pružaju razuman razlog za razmatranje VV ECMO-a u djece s akutnim respiratornim distres sindromom (ARDS). Ključno je utvrditi akutnu prirodu plućnoga zatajenja, isključiti zatajenje srca i/ili drugih organa i provjeriti može li se respiratorno zatajenje poboljšati optimalnim upravljanjem mehaničkom ventilacijom. U slučaju postojanja indikacija za VV ECMO, neophodno je identificirati bilo koje karakteristike djeteta koje mogu spriječiti implantaciju kanila. Dakle, prije pokretanja VV ECMO potpore, potrebno je učiniti sveobuhvatan ehokardiografski pregled, ako to dopušta hemodinamičko stanje djeteta (12).

### 3.3.2. Venno-arterijski ECMO

Venoarterijska ekstrakorporalna membranozna oksigenacija (VA ECMO) oblik je privremene mehaničke potpore cirkulaciji i istodobne izvantjelesne izmjene plina za akutno kardiorespiratorno zatajenje. Venno-arterijski ECMO zaobilazi srce i pluća te preuzima ili podržava cirkulacijsku funkciju srca, a može istodobno preuzeti ili poduprijeti funkciju izmjene plinova u krvi.

Svi se krugovi VA ECMO sustava sastoje od venske (dovodne, drenažne) kanile, crpke, oksigenatora i arterijske (odvodne, povratne) kanile. Venno-arterijski ECMO može se uspostaviti putem središnjega ili perifernoga pristupa. Središnji VA ECMO primarno se primjenjuje u operacijskoj sali i omogućava kratkotrajnu podršku, često u bolesnika s postkardiotomijom koji se ne mogu odvojiti od kardiopulmonalne prenosnice. Periferni VA

ECMO može se pokrenuti perkutano ili kirurškim umetanjem izvan operacijske sale za bolesnike s refraktornim kardiogenim šokom i srčanim zastojem putem femoralne arterije i femoralnoga ili jugularnoga pristupa veni. Druga konfiguracija koristi standardni venski pristup (bilo putem femoralne ili unutarnje jugularne vene) s arterijskim povratkom na graft postavljen na arteriji subklaviji. Ova posljednja strategija uvedena je kako bi se osigurala perfuzija cerebralne cirkulacije oksigeniranom krvlju (14).

Središnji ECMO uključuje sternotomiju i izravnu kiruršku kanilaciju desne pretklijetke i aorte. Postavljanje središnjega ECMO-a provodi se u operacijskoj sali i zahtijeva cjelokupan kirurški tim (kirurg, anesteziolog, medicinska sestra instrumentarka, perfuzionisti). Glavne prednosti ove vrste ECLS-a su dobra venska drenaža i pouzdan arterijski povratak u proksimalnu aortu na antegradni način. Omogućuje potpunu kontrolu nad dekompresijom lijeve klijetke postavljanjem oduška, obično putem desne gornje plućne vene. Veličina kanila definirana je površinom tijela, izračunatim ECMO protokom potrebnim za postizanje metaboličkih zahtjeva svakog pojedinoga pacijenta, odnosno djeteta (15). Od iznimne je važnosti osigurati kanile u njihovom položaju postavljanja kako bi se spriječilo krvarenje iz mjesta kanilacije ili njihovo pomicanje tijekom zbrinjavanja djeteta u jedinici intenzivnoga liječenja. Kanile se pričvršćuju na zid prsnoga koša unutar prsne šupljine te na kožu s vanjske strane prsnoga koša kako bi se osiguralo da budu na mjestu jer posljedice pomicanja mogu biti pogubne za dijete. Na kraju se postupka prsni koš ostavlja otvorenim uz okluzivnu foliju.

Tijekom primjene VA ECMO-a oksigenirana krv vraća se u arterijski dio sistemske cirkulacije pomoću periferne kanilacije preko femoralne, aksilarne ili karotidne (novorođenčad) arterije. Ovakva konfiguracija kruga zaobilazi pluća i srce te stoga pruža i respiratornu i cirkulacijsku potporu. S funkcionalne točke gledišta djeluje kao stroj za pluća i srce koji omogućuje potpunu podršku funkcijama tih organa pružajući izračunati puni protok do 2,5 L/m<sup>2</sup>/minuti (15). Vrsta ECMO kanila koja se koristi ovisi prvenstveno o kliničkom stanju koje se liječi. VA ECMO pomaže u podršci srčanog volumena i pruža višu razinu potpore oksigenaciji od VV ECMO-a. U tablici 1 prikazane su karakteristične razlike između VV i VA ECMO-a.

Tablica 1. Karakteristične razlike između VV i VA ECMO

| VA ECMO | VV ECMO |
|---------|---------|
|---------|---------|

|   |   |   |
|---|---|---|
| Mjesto kanilacije                                   | desna unutarnja vratna vena ili femoralna vena i desna karotidna arterija | unutarnja vratna vena i femoralna vena; desna i lijeva femoralna vena; dvostruki lumen pojedinačna kanila desna unutarnja vratna vena |
| Oksigenacija  | visoka  | umjerena  |
| Uklanjanje CO <sub>2</sub>                          | visoko  | visoko  |
| Cirkulatorna potpora                                | djelomična do potpuna   | nema je   |
| Primjena u bolesnika s primarnim zatajenjem srca    | da  | ne  |
| Primjena u bolesnika s primarnim zatajenjem bubrega | da  | da  |

Izvor: Gehrman LP, Hafner JW, Montgomery DL, Buckley KW, Fortuna RS. Pediatric Extracorporeal membrane Oxygenation: an Introduction for Emergency Medicine Physicians. J Emerg Med. 2014;49(4):552-560.

### 3.3. Indikacije za postavljanje ECMO uređaja

Tradicionalno su se pedijatrijski ECMO sustavi koristili u kongenitalnoj kirurgiji srca kada odvikavanje od kardiopulmonalne prenosnice (engl. *cardiopulmonary bypass* – CPB) nije bilo moguće (ECMO nakon kardiotomije). Zbog povoljnih rezultata, indikacije su proširene kako bi se omogućila terapija djeci s kardiogenim šokom koji zahtijeva masivnu inotropnu potporu i za scenarije srčanoga zastoja u izvanbolničkim uvjetima. Za sve ove indikacije potrebna je kardiopulmonalna potpora u obliku VA ECMO-a. Sposobnost VA ECMO sustava da pruža srčanu i respiratornu potporu razlikuje se od izolirane potpore za oksigenaciju i ventilaciju koju pruža VV ECMO. Da bi se djetetu provodila VV ECMO potpora, funkcija srčane pumpe mora biti dovoljna za održavanje plućne i sistemske perfuzije. Kad je moguće, radi se ehokardiografija za procjenu sistoličke funkcije klijetki kako bi se olakšalo donošenje odluke. Najčešće indikacije za primjenu ECMO potpore navedene su u tablici 2 (1).

Tablica 2. Uobičajene indikacije za primjenu ECMO potpore u pedijatriji

## EKSTRAKORPORALNA MEMBRANOZNA OKSIGENACIJA U PEDIJATRIJI

| Indikacije  | Neonatologija  | Pedijatrija   |
|---|--|---|
| <b>Kardiološke</b>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• sindrom hipoplastičnog lijevog srca</li> <li>• opstrukcija izlaza lijeve klijetke</li> <li>• opstrukcija izlaza desne klijetke</li> <li>• septalni defekti</li> <li>• most do oporavka srca</li> <li>• most do transplantacije srca</li> <li>• miokarditis</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• opstrukcija izlaza lijeve klijetke</li> <li>• opstrukcija izlaza desne klijetke</li> <li>• septalni defekti</li> <li>• most do oporavka srca</li> <li>• most do transplantacije srca</li> <li>• miokarditis</li> </ul> |
| <b>Respiratorne</b>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• sindrom aspiracije mekonija</li> <li>• perzistentna plućna hipertenzija novorođenčeta/perzistentna cirkulacija fetusa</li> <li>• respiratorni distres sindrom</li> <li>• kongenitalna dijafragmalna hernija</li> <li>• upala pluća (virusna/bakterijska/ aspiracija)</li> <li>• sepsa</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• upala pluća (virusna/ bakterijska/aspiracija)</li> <li>• sindrom akutnog respiracijskog distresa</li> </ul>  |
| <b>Druge indikacije bez obzira na dob djeteta</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• transplantacija                             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ predtransplantacijski kao most</li> <li>→ primarna disfunkcija grafta nakon transplantacije srca ili pluća</li> </ul> </li> <li>• elektivna periproceduralna podrška                             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ tijekom transplantacije pluća ili operacije dušnika</li> </ul> </li> <li>• zastoj srca bilo kojega uzroka                             <ul style="list-style-type: none"> <li>→ most do odluke</li> <li>→ osnovna bolest koja se liječi</li> </ul> </li> <li>• sindrom propuštanja zraka</li> <li>• nemogućnost odvajanja od kardiopulmonalne prenosnice</li> </ul> |   |

Izvor: Erdil T, Lemme F, Konetzka A, Cavigelli-Brunner A, Niesse O, Dave H, i sur. Extracorporeal membrane oxygenation support in pediatrics. *Ann Cardiothorac Surg.* 2019;8(1):109-115.

ECMO je postao važan alat u liječenju teškoga dječjeg akutnog respiratornog zatajenja. Neke od uobičajenih dijagnoza koje dovode do zatajenja dišnoga sustava, koje su uspješno liječene ECMO-om, su upala pluća (virusna i bakterijska), status asthmaticus, aspiracijski sindromi, ARDS i opekline ozljede pluća. Trenutačno ne postoje smjernice utemeljene na dokazima

koji pokazuju kada pokrenuti ECMO za status asthmaticus, ali studija koju su proveli Kukita i sur. predlaže pokretanje u uvjetima trajne hipoksemije, pH <7,2, PCO<sub>2</sub>> 100 mmHg ili u slučaju komplikacija opasnih po život zbog ventilacije, poput hipotenzije ili barotraume (2).

Nekoć je septikemija bila kontraindikacija za ECMO jer je postojala zabrinutost da će se infekcija prenijeti na ECMO krug, što dovodi do neodgodive bakterijemije i smrti. Iako je ovo još uvijek kontroverzna tema, upotreba ECMO-a kao spasilačke terapije kod odraslih, ali i djece s teškom sepsom dokazano stabilizira one koji bi inače umrli od hipoksemije ili neadekvatnoga srčanog volumena.

Hipotermijski zastoj srca u pedijatrijskih bolesnika rijedak je događaj, obično je povezan s utapanjem u hladnoj vodi. Važno je napomenuti da će neki bolesnici s dubokom hipotermijom doživjeti kardijalni arest prije nego što se dogodi hipotermija, dok drugi mogu biti zaštićeni ronilačkim refleksom sisavaca tijekom značajnih razdoblja anoksije. Mehanizam ovog refleksa uključuje osjetni podražaj hladne vode koja dodiruje lice, inhibirajući respiratorni centar i izazivajući bradikardiju i vazokonstrikciju. Kombinacija ovih odgovora čuva cirkulaciju srca i mozga i smanjuje potrošnju kisika i tako produljuje preživljavanje. Postoji mnogo načina za ponovno zagrijavanje hipotermičnog pacijenta, pasivnog i aktivnog, pri čemu je ECMO jedna od najučinkovitijih aktivnih metoda. Jedna od prednosti aktivnog ponovnog zagrijavanja s ECMO-om je brzina porasta temperature (0,4 °C u minuti), jer ECMO prvo zagrijava jezgru i odmah pruža potporu cirkulaciji (2).

Transplantacija pluća predstavlja terapiju završnoga stadija kronične bolesti pluća u djece i u odraslih pacijenata. Primarna disfunkcija transplantata vodeći je uzrok rane smrti nakon transplantacije. Unatoč napretku tehnologije u kirurgiji i čuvanju transplantata, primarna disfunkcija vrlo je česta i pojavljuje se u 13 – 35 % transplantirane djece. Ozbiljnost primarne disfunkcije i njezin utjecaj na druge organske sustave utječe na liječenje stoga se liječnički timovi odlučuju na primjenu potpore ekstrakorporalne membranozne oksigenacije. To je vrlo učinkovita mjera kod odraslih bolesnika, ali ne postoji mnogo studija koje se odnose na djecu s transplantiranim plućima (16).

Otkad je 1973. godine prvi puta uspješno korištena, ekstrakorporalna membranozna oksigenacija izvanredna je metoda spašavanja bolesnika kod kojih je došlo do kardiorespiratornoga zatajenja nakon operacije srca. ECMO se s ohrabrujućim rezultatima koristi kod odraslih, a posebno je značajan kod pedijatrijskih srčanih bolesnika. Čak 3,2% –



8,4% djece s kongenitalnim malformacijama srca nakon kardijalne operacije može zahtijevati ECMO potporu u postoperativnom razdoblju zbog kardiorespiratornoga zatajenja (17).

Kod srčanoga zatajenja nakon operacije koristi se veno-arterijski način ECMO potpore, a glavna mu je funkcija omogućiti „odmor“ srca nakon dugotrajne i ekstremne operacije, kako bi se omogućilo vrijeme za oporavak funkcije i „most do oporavka“. U manjem omjeru, kada nije postignut adekvatan funkcionalni oporavak, ECMO se može koristiti za poticanje cirkulacije sve dok se ne ukaže mogućnost alternativnog liječenja. Veno-arterijski ECMO može se koristiti za stabilizaciju preoperativnih bolesnika u kardiorespiratornome zatajenju kada kirurška operacija nije odmah moguća.

Osim indikacija za postavljanje ECMO potpore, potrebno je zadovoljiti i određene kriterije prema kojima novorođenče može biti kandidat za uspostavu ekstrakorporalne membranozne oksigenacije, a uključuju sljedeće:

1. gestacijska dob od 34 tjedna ili više
2. porođajna težina od 2000 g ili više
3. odsustvo značajne koagulopatije ili nekontroliranog krvarenja
4. odsustvo većih intrakranijalnih krvarenja (intrakranijalno krvarenje 1. stupnja)
5. mehanička ventilacija 10 – 14 dana ili manje
6. reverzibilna ozljeda pluća
7. odsustvo smrtonosnih malformacija
8. odsustvo većih srčanih malformacija koje se ne mogu liječiti
9. neuspjeh maksimalne konvencionalne medicinske terapije (18)

### **3.4. Kontraindikacije za postavljanje ECMO uređaja**

Popis kontraindikacija za postavljanje ECMO sustava smanjio se tijekom posljednja dva desetljeća jer se pokazalo da su brojni uvjeti koji su se prije smatrali neprikladnima za potporu ECMO-a kompatibilni sa zadovoljavajućim dugoročnim preživljavanjem. Primjena ECMO-a ne preporučuje se u određenim okolnostima, posebno ako postoje jaki dokazi o nedostatku kapaciteta za oporavak ili liječenje. Primjena ECMO potpore ne preporučuje se u stanjima koja su ireverzibilna, kada ne postoji pravovremena, razumna terapijska opcija i kada postoji velika

vjerojatnost lošeg neurološkog ishoda. Osim toga postoje i kontraindikacije koje se mogu podijeliti na apsolutne i relativne (tablica 3) (19).

Tablica 3. Prikaz apsolutnih i relativnih kontraindikacija za primjenu ECMO potpore

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| <b>Apsolutne kontraindikacije</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ekstremna nedonoščad ili mala porođajna težina novorođenčadi (&lt;30 tjedana trudnoće ili &lt;1 kg)</li> <li>• letalne kromosomske abnormalnosti (Trisomija 13 ili 18)</li> <li>• nekontrolirano krvarenje</li> <li>• ireverzibilno oštećenje mozga</li> </ul>  |
| <b>Relativne kontraindikacije</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• intrakranijalno krverenje</li> <li>• manje ekstremna nedonoščad ili mala porođajna težina u novorođenčadi (&lt;34 tjedana gestacijske dobi ili &lt;2,0 kg)</li> <li>• ireverzibilno zatajenje organa kod djeteta koje nije podobno za transplantaciju</li> <li>• produljeno trajanje intubacije i mehaničke ventilacije (&gt; 2 tjedna) prije uspostave ECMO-a</li> </ul> |

Izvor: Arbor A. Pediatric Cardiac Failure, Extracorporeal Life Support Organization; 2017. Dostupno na adresi: [http://www.else.org/Portals/0/IGD/Archive/FileManager/ELSO\\_Reformatted\\_2018.02.23.pdf](http://www.else.org/Portals/0/IGD/Archive/FileManager/ELSO_Reformatted_2018.02.23.pdf) (datum pristupa 29.4.2021.)

### 3.6. Upravljanje ekstrakorporalnom membranoznom oksigenacijom

Ekstrakorporalna membranozna oksigenacija način je liječenja novorođenčadi i djece s teškim, ali reverzibilnim zatajenjem pluća ili srca. S tehničkog stajališta slijedi isti princip kao i ekstrakorporalna cirkulacija tijekom operativnog zahvata na srcu, ali je prilagođena dugoročnoj uporabi (20).

#### 3.6.1. Organski sustavi i ECMO uređaj

Kao što je već navedeno, ECMO potpora koristi se privremeno dok se čeka plućni oporavak. U klasičnoj primjeni neonatalnog ECMO-a tipične postavke respiratora su FiO<sub>2</sub> na 30 %, vršni

inspiratorni tlak (engl. *peak inspiratory pressure* – PIP) na 15 – 25 cm H<sub>2</sub>O, pozitivni tlak na kraju izdisaja (PEEP) na 3 – 5 cm H<sub>2</sub>O i intermitentna mehanička ventilacija (engl. *intermittent mechanical ventilation* – IMV) na 10 – 20 udaha u minuti. Ponekad se koristi visok PEEP od 12 do 14 cm H<sub>2</sub>O kako bi se izbjegla atelektaza pluća i da bi se tako skratilo vrijeme potrebno za ekstrakorporalnu membranoznu oksigenaciju (20). Važno je održavanje plućne higijene, odnosno provođenje endotrahealne aspiracije, obično svakih 3 – 4 sata ovisno o količini sekreta i rendgenskoj snimci pluća. Aspiracija endotrahealnog tubusa obično se provodi zatvorenim načinom, pomoću trajne sukcije tijekom koje nije potrebno dijete odvajati od respiratora, što znači da se ne prekida respiratorni krug.

Što se tiče kardiovaskularnog sustava, kod djece gdje se primjenjuje ekstrakorporalna membranozna oksigenacija, potrebno je održavati sistemsku perfuziju i intravaskularni volumen. Status volumena može se klinički procijeniti izlučivanjem urina i fizičkim znakovima perfuzije te mjerenjem središnjeg venskog tlaka i arterijskog krvnog tlaka. Srčani izbačaj može se pojačati inotropnim lijekovima, a volumen nadoknaditi primjenom krvnih derivata i humanih albumina. Potrebno je svakodnevno provođenje ultrazvuka srca kako bi se isključila bilo koja velika kongenitalna srčana anomalija koja može zahtijevati hitnu intervenciju.

Iznimno je važno pratiti stanje živčanog sustava jer su komplikacije vezane za živčani sustav, kao što su hipoksija, acidoza i krvarenje, uglavnom ireverzibilne. Preporučuje se izbjegavanje paralitičnih sredstava i provođenje redovitih neuroloških pregleda. Ako je moguće, potrebno je učiniti ultrazvuk glave prije početka uspostave ECMO sustava. Ponovna procjena provodi se svakodnevno, a osobito nakon bilo kojega većeg događaja (20).

Tijekom prvih 24 – 48 sati provođenja ekstrakorporalne membranske oksigenacije uobičajene su oligurija i akutna tubularna nekroza povezana s kapilarnim *leakom* i smanjenjem vaskularnog volumena jer ECMO aktivira akutnu upalnu reakciju. Diuretska faza, koja obično počinje unutar 48 sati, često je jedan od najranijih znakova oporavka. Ako oligurija traje 48 – 72 sata, potrebna je primjena diuretika kojima će se povećati diureza i smanjiti edemi. Ako nema oporavka bubrežne funkcije, potrebna je uspostava nekog od oblika hemofiltracije ili hemodijalize koji se integriraju direktno u sustav ECMO kruga.

### **3.6.2. Kontrola koagulacije**

Primjena ECMO potpore i prateće protrombotičko upalno okruženje povećavaju rizik od tromboze, koja može uzrokovati kvar crpke, zatajenje oksigenatora i tromboembolijske komplikacije. Podaci o optimalnoj strategiji za antikoagulaciju ograničeni su, a smjernice, uglavnom utemeljene na mišljenju stručnjaka, trenutno preporučuju upotrebu nefrakcioniranog heparina usmjerenoga na vrijeme aktiviranoga zgrušavanja (engl. *activated clotting time* – ACT) od 180 do 220 sekundi. Referentni centri sve češće pronalaze malu povezanost između ACT-a i vremena djelomičnog tromboplastina i komplikacija krvarenja. Standard zbrinjavanja kreće se prema mjerenju vrijednosti anti-Xa testa (cilj 0,3 – 0,7). Postoji malo dokaza koji podupiru primjenu anti-Xa, koji u osnovi nadzire razinu heparina, ali on je postao zlatni standard jer je malo interferirajućih uvjeta s njegovom točnošću (osim hemolize) (14).

Zbog potrošnje, antitrombin III (AT III), koji mora vezati heparin da bi njegova antikoagulantna aktivnost djelovala, često se iscrpljuje, a u tom se trenutku razvija prividna rezistencija na heparin. Kada se to dogodi, treba provjeriti funkcionalni test AT III, a ako je manji od 70%, s kliničkom rezistencijom na heparin, treba ga nadoknaditi za ciljnu funkcionalnu aktivnost od 80 % do 120 %. Iako mnogi centri primjenjuju plazmu za nadoknadu AT III-ja, testovi dokazuju kako je njega u pripravku plazme malo za količinu primijenjenoga volumena. Poželjno je koristiti jedan od koncentriranih oblika AT III-ja, a to su spojeni humani AT III ili rekombinantni humani antitrombin (14).

### 3.6.3. Komplikacije

Komplikacije ECMO potpore mogu se podijeliti u dvije kategorije – mehaničke i kliničke. Mehanička kategorija komplikacija može se dalje razvrstati u komplikacije zbog neadekvatne funkcije ili kvarove opreme, probleme s kanilama, krvne ugruške ili zrak u ECMO krugu. Najčešća su mehanička komplikacija krvni ugrušci koji se razvijaju u krugu, a javljaju se u 19 % bolesnika. Povećana hemoliza posljedica je stvaranja krvnih ugrušaka u krugu i iziskuje promjenu cijevi kruga ili pojedinih komponenata. Dvije glavne mehaničke komplikacije opasne po život su zračna embolija ili gubitak krvi od prekida kruga. Pojavu ovih mehaničkih komplikacija nadgledaju educirani ECMO tehničari, ali svi članovi multidisciplinarnoga tima moraju biti svjesni pojave njih (2).

Hematološke kliničke komplikacije sekundarne su zbog promjena u uzorku krvotoka i interakcijama na površini krvi. Interakcija na površini krvi podrazumijeva aktiviranje niza zgrušavanja, što rezultira stvaranjem tromba i potrošnjom trombocita. Većina ECMO centara nastoji prevenirati ovu komplikaciju primjenom antikoagulacijskih sredstava pomoću heparina, međutim sustavna heparinizacija i promijenjena aktivnost trombocita povećavaju rizik od komplikacija krvarenja. Može se dogoditi i diseminirana intravaskularna koagulacija, ali to je često prisutno prije pokretanja EMCO potpore zbog osnovne bolesti.

Najčešća mjesta krvarenja su mjesta kanilacije. Nekoliko smjernica definira krvarenje kao jedno od sljedećih: gubitak krvi od 4ml/kg/h za 4h, intrakranijsko krvarenje, gastrointestinalno krvarenje koje zahtijeva endoskopsku ili kiruršku intervenciju i krvarenje kirurškoga mjesta koje zahtijeva kiruršku intervenciju (21).

Neurološke komplikacije ECMO-a uključuju krvarenje iz središnjega živčanog sustava (SŽS), hemoragijski moždani udar i epileptične napadaje. Intrakranijalno krvarenje javlja se u 7,4 % bolesnika liječenih ECMO-om, a vjerojatnije je da će se pojaviti u djece mlađe od 30 dana. Cerebralni infarkt javlja se u 5,7 % svih bolesnika liječenih ECMO-om, a 8,4 % bolesnika razvija epileptičke napade (2).

Tijekom prvih 24 – 48 sati primjene ECMO-a česte su komplikacije oligurično zatajenje bubrega i akutna tubularna nekroza koje se češće razvijaju među dječjim kardiološkim bolesnicima i onom djecom kojima je ECMO potreban dulje vrijeme. Akutno zatajenje bubrega i posljedice disfunkcije bubrega, kao što su hipervolemija, hiperkalemija ili azotemija, indikacije su za primjenu kontinuirane hemofiltracije usklađene s ECMO krugom.

Kardiovaskularne komplikacije javljaju se u približno 26 % djece na ECMO potpori. Specifične komplikacije uključuju disfunkciju miokarda (7 %), hipertenziju (13 %) i pneumotoraks (6 %). Srčana dekompenzacija javlja se samo kada su djeca na VA ECMO, a definira se kao smanjenje frakcije skraćivanja lijeve klijetke za više od 25 % s pokretanjem ECMO-a. Srčana dekompenzacija je privremena, s povratkom na srčanu aktivnost prije uspostave ECMO-a nakon 48 sati (2).

Zbog kanulacije može nastati ozljeda arterije (perforacija ili disekcija), ishemija ekstremiteta distalno od kanile ili se može razviti pseudoaneurizma na mjestu postavljanja. Zabilježeni su i slučajevi stvaranja tromba u srčanim šupljinama zbog zastoja (staze) krvi u slučajevima slabe kontraktilnosti.

Jedna od najtežih komplikacija koja se može razviti tijekom primjene ECMO potpore je infekcija (17 % respiratornih i 11 % srčanih). Infekcija se može razviti u bilo kojoj središnjoj liniji, na mjestu umetanja kanile, ali je moguća i kontaminacija kanila tijekom proizvodnje kao i druge ECMO opreme. Tipični markeri infekcije, poput C-reaktivnog proteina i prokalcitonina, nisu pouzdani jer razine prokalcitonina mogu paradoksalno biti niže u djece na ECMO potpori (22).

### 3.6.4. Odvajanje od ECMO sustava

Postupak odvajanja od dva načina ECMO-a, veno-arterijskog, odnosno veno-venskog ECMO-a, izrazito se razlikuju. U prvom slučaju moraju se procijeniti i srčani i plućni oporavak prije odluke o dekaniliranju. Za VV ECMO postupak je jednostavniji. Ipak, postoje velike razlike u načinu upravljanja postupkom odvajanja u različitim centrima.

Postupak odvajanja od VV ECMO-a započinje čim se tidalni volumen počne oporavljati. ECMO protok krvi obično se prije samoga odvajanja smanjuje nekoliko dana prije. Oznaka za napredovanje je više klirens ugljičnog dioksida nego oksigenacija. Proces se temelji na respiratornoj fiziologiji. Na ECMO sustavu prilagođava se protok plinova za čišćenje u skladu s procjenama plinova u krvi i dnevnim unaprijed postavljenim ciljevima za pH i pCO<sub>2</sub>. Tijekom primjene ECMO-a uzorkuju se plinovi krvi po satu iz arterijske linije djeteta i/ili iz konektora prije plućne membrane u krugu ECMO-a. Kako se pluća oporavljaju, a klirens CO<sub>2</sub> iz matičnoga plućnog krila povećava, protok prolaznoga plina uzastopno će se smanjivati. Kad se postigne minimalni protok prolaznoga plina vezan za veličinu plućne membrane (odrasla osoba: 2 L/min; djeca/novorodenčad: 1 L/min), dodatni pCO<sub>2</sub> će se dodati u prolazni plin (23).

Učinkovitost nativnih pluća za pročišćavanje CO<sub>2</sub> procjenjuje se istodobnim uzorkovanjem plinova krvi prije i poslije plućne membrane u ECMO krugu. Kad je razlika u pCO<sub>2</sub> (prije i poslije plućne membrane) manja od 0,2 do 0,4 kPa, dijete se smatra „uravnoteženim“, što znači da se sav CO<sub>2</sub> koji dijete proizvede odstranjuje tako u nativnim plućima. Ako je arterijski SaO<sub>2</sub> adekvatan, provodi se pokusno isključivanje. FiO<sub>2</sub> se postavlja na 35 – 55 %, a plin za pročišćavanje se prekida. Ako se postupak pokaže dobrim, pročišćavanje se može isključiti na nekoliko sati ili preko noći, ako je potrebno (do dekanilacije). U suprotnom, plinovi za pročišćavanje ponovno se uključuju, a sljedeći dan slijedi nova procjena (23).

Bez obzira na osnovnu indikaciju za podršku VA-ECMO, početno ispitivanje odvikavanja od VA ECMO potpore ne bi trebalo pokušavati prerano (tj. unutar prvih 48 sati). Postupak odvikavanja treba započeti samo kada se dijete dovoljno oporavilo od osnovne etiologije koja je učinila neophodnom implantaciju VA ECMO-a. Tada je potrebno odlučivanje na temelju procjene reverzibilnosti oštećenja krajnjih organa i ukupne prognoze ishoda. Nastavak terapije i odvajanje trebaju biti ograničeni na bolesnike s pozitivnom prognozom. Važno je redovito voditi multidisciplinarnu raspravu koje uključuju intenziviste, kirurge i kardiologe prije i tijekom cijeloga procesa odvajanja. Optimalna strategija odvikavanja mora se temeljiti na individualnoj medicinskoj/interventnoj strategiji liječenja.

U literaturi su opisani različiti algoritmi odvajanja, ali podatci koji podržavaju određenu strategiju ograničeni su ili nedostaju. Odvajanje od VA ECMO potpore provodi se u nekoliko faza koje moraju biti zadovoljene prije samog čina odvajanja.

1. Na početku postupka odvajanja, kliničari bi trebali provjeriti je li etiologija zatajenja srca kompatibilna s oporavkom miokarda.
2. Potrebno je procijeniti hemodinamsku stabilnost, odnosno pulsni arterijski val trebao bi se oporaviti najmanje 24 sata prije, srednji arterijski tlak (engl. *mean arterial pressure* – MAP) trebao bi biti  $> 60$  mmHg, a dijete bi se trebalo oporaviti od glavnih metaboličkih poremećaja najmanje 24 h prije pokušaja odvajanja.
3. Plućna funkcija ne smije biti ozbiljno oštećena, dijete mora tolerirati cjelovito ispitivanje odvajanja i hemodinamske, kao i ehokardiografske procjene dok se protok VA ECMO potpore postupno smanjuje na 66 % i na 33 % svoje osnovne vrijednosti, a zatim na najmanje 1 – 1,5 L / min tijekom najmanje 15 minuta.
4. Kad se ECMO protok smanji, što uzrokuje povećanje prednaprezanja lijeve klijetke i smanjenje preopterećenja, treba procijeniti ponašanje lijeve klijetke i Frank – Starlingove rezerve.

Može se razmotriti uklanjanje ECMO potpore ako su ova četiri koraka uspješno potvrđena i ako su pod minimalnom podrškom VA ECMO-a ispunjeni sljedeći zahtjevi: ejekcijska frakcija lijeve klijetke (engl. left ventricular ejection fraction – LVEF)  $\geq 20$ –25%, vremenska integralna brzina aorte (engl. velocity time integral – VT<sub>Iao</sub>)  $\geq 10$  cm i brzina bočne mitralne prstenaste vršne sistole  $\geq 6$  cm / s, (24).

### 3.7. Zdravstvena njega djeteta na ECMO-u

Liječenje i zdravstvena njega djeteta na ekstrakorporalnoj membranoznoj oksigenaciji zahtijevaju multidisciplinarni pristup tima koji čine pedijatar intenzivist, kardijalni kirurg, kardiolog, radiološki tehničar, nefrolog, neurolog, fizioterapeut, perfuzionist, a medicinska sestra neizostavni je član. Zadaće medicinske sestre višestruke su i zahtijevaju sposobnost, kompetentnost i stručnost u primjeni terapije i provođenju zdravstvene njege. Dijete je smješteno u jedinicu intenzivnog liječenja.

Pedijatrijske jedinice intenzivnog liječenja provode cjelovitu skrb djece sa stanjima koja su opasna po život kao što su razne traume, operativni zahvati i drugi poremećaji. Prije više od dva desetljeća neke su bolnice počele odvajati kritično bolesnu djecu u jedinice intenzivnoga liječenja na temelju specifičnih poremećaja i ozbiljnosti bolesti. Smjernice objavljene 2004. godine kategorizirale su razinu provođenja usluga u pedijatrijskim jedinicama intenzivnoga liječenja, dijelom na temelju dostupnosti resursa kao što su dijaliza, izvantjelesna membranozna oksigenacija i pedijatrijski subspecijalisti (25).

Medicinska sestra brine o djetetu 24 sata dnevno i prva je koja će primijetiti bilo kakve promjene u stanju djeteta te obavijestiti liječnika o njima, ali je, isto tako, prva osoba u kontaktu s roditeljima, stoga je potrebno da svojom profesionalnošću i znanjem olakša iznimno teško razdoblje roditeljima teško bolesnog djeteta.

Intervencije medicinske sestre u zbrinjavanju djeteta na ekstrakorporalnoj membranoznoj oksigenaciji uključuju primjenu terapije prema pisanoj odredbi liječnika, sprječavanje infekcije i oštećenja kože, sudjelovanje u dijagnostičkim postupcima i uočavanje promjena stanja djeteta te sukladno tome obavješćavanje liječnika, a zatim provođenje intervencija prema liječničkim uputama.

#### 3.7.1. Sprječavanje infekcije

Medicinska sestra ima iznimno veliku ulogu u sprječavanju infekcije i izravno je odgovorna za njezino širenje. Prije svakog kontakta s djetetom potrebno je mehanički oprati ruke i dezinficirati ih nekim od alkoholnih sredstava ovisno o odjelnome protokolu. Obvezno je korištenje zaštitnih rukavica kada se očekuje kontakt s izlučevinama, a prije svake primjene



terapije putem centralne vene i aspiracije krvi za laboratorijske pretrage iz centralnoga arterijskog katetera, potrebno je konektore dezinficirati 70 %-tnim alkoholom. Isto tako, medicinska sestra odgovorna je za izgled ulaznih mjesta svih centralnih i perifernih linija, izgled operativne rane i okoline djeteta.

Previjanje centralnih venskih i arterijskih linija provodi se svakih 72 sata, a po potrebi i češće ako je prekrivka vlažna ili ne prijanja dobro uz kožu. Ako se ulazna mjesta prekriju s transparentnom pokrivkom s impregniranim antimikrobnim jastučićem, toaleta se provodi svakih 7 dana, osim u slučaju vlage i onečišćenja ulaznog mjesta (26). Postupak provode dvije medicinske sestre; jedna koja provodi postupak i druga koja asistira. Medicinska sestra koja provodi postupak previjanja rukavicama će skinuti postojeću pokrivku, a nakon toga će sterilnim rukavicama tretirati ulazno mjesto alkoholnim pripravkom te ga prekriti antimikrobnim povojem 2%-tnog klorheksidin glukonata. Prekrivka se mora promijeniti uvijek kada je onečišćena ili oštećena.

Budući da se infekcija najčešće prenosi kontaminiranim rukama, jedna od važnih uloga medicinske sestre je i edukacija roditelja o pravilnoj higijeni ruku. Na svakom su bolničkom odjelu na vidljivom mjestu postavljeni plakati o higijeni ruku te se tih pravila mora pridržavati cjelokupno zdravstveno osoblje kao i roditelji, naročito u jedinicama intenzivnoga liječenja.

Prisutnost infekcije prati se mikrobiološkim analiziranjem kulture iz ECMO kruga barem jednom dnevno, te analizom ostalih kultura u koje se ubrajaju hemokultura iz centralnoga venskog katetera, centralnoga arterijskog katetera, aspirat endotrahealnoga tubusa, urinokultura te brisevi prepona i pazuha. Prema iskustvima pojedinih institucija, učestalost protokola može varirati.

### **3.7.2. Održavanje integriteta kože**

Oštećenje kože, odnosno dekubitus, karakterizira se kao oštećenje tkiva koje nastaje kao posljedica djelovanja mnogostrukih vanjskih i unutarnjih čimbenika (27). Djeca na ekstrakorporalnoj membranoznoj oksigenaciji su zbog težine bolesti, ograničenih mogućnosti promjene položaja i slabijega nutritivnog statusa podložna nastanku oštećenja kože, posebno na leđima, okcipitalnom dijelu glave i predilekcijskim mjestima (lopatica, gležnjevi, laktovi). Zbog nemogućnosti promjene položaja, medicinska sestra će dijete smjestiti na antidekubitalnu

podlogu koja će svojim geliranim sastavom smanjiti rizik od nastanka oštećenja kože tako što će ublažiti pritisak tkiva na podlogu. Medicinska sestra će na predilekcijska mjesta postaviti dodatne zaštitne podloge (*Granuflex extrathin*) i koliko je god moguće, odignuti ekstremitete od podloge. Koža djeteta održava se čistom i njeguje se dječjim kremama i uljem.

Svaka pojava crvenila karakterizira se kao prvi stupanj dekubitusa i potrebno je preventivno djelovati kako bi se spriječila progresija na druge stupnjeve. Potrebno je sve promjene evidentirati u sestrinsku dokumentaciju, odnosno listu za praćenje dekubitusa. Medicinska sestra će procijeniti stanje kože na početku liječenja i procjenu će svakodnevno provoditi.

Ako dođe do dekubitusa četvrtog stupnja, medicinska sestra asistirat će kod kirurškog debridmana nekrotičnoga tkiva, zaštititi granulacije od daljnjega ozljeđivanja te održavati vlažnost unutrašnjosti dekubitalne rane kako bi se potaknulo cijeljenje (26).

### 3.7.3. Održavanje tjelesne temperature

Ciljano održavanje tjelesne temperature (eng. *Targeted Temperature Management – TTM*) odnosi se na strogu kontrolu temperature nakon kardijalnog aresta koji je prethodio postavljanju ekstrakorporalne membranozne oksigenacije. Trenutni dokazi ukazuju da ciljano održavanje tjelesne temperature nakon kardijalnoga aresta poboljšava neurološki status, iako mehanizam djelovanja, za sada, nije poznat. Protokoli se institucijski razlikuju, a ciljana tjelesna temperatura je 33°C (28).

Ciljano održavanje tjelesne temperature podijeljeno je u 3 faze:

1. faza – indukcija, smanjivanje tjelesne temperature do 33°C, prvih 6 sati
2. faza – održavanje temperature od 33°C sljedećih 24 sata
3. faza – zagrijavanje, postupno podizanje tjelesne temperature za 0,5°C svaki sat sljedećih 8 – 12 sati (28)

Medicinska sestra će ispod antidekubitalne podloge postaviti podlogu koja je spojena na aparat kojim je moguće hladiti i grijati dijete. Na aparatu će postaviti temperaturu na koju želimo dijete

ohladiti i održavati je sljedećih 24 sata. Zatim će, nakon odredbe liječnika, postepeno povećavati temperaturu na aparatu kako bi se dijete ugrijalo.

Budući da se tijekom hipotermije mogu pojaviti različite komplikacije kao što su drhtanje (koje ubrzava metabolizam i pojačava proizvodnju topline), aritmije, poremećaji elektrolita (hipofosfatemija, hipokalijemija, hipomagnezemija i hipokalcijemija), smanjena inzulinska osjetljivost i sekrecija inzulina, hiperglikemija, oslabljen imunološki sustav i pojačan stupanj infekcija, iznimno je važno da medicinska sestra posjeduje znanje i vještine kako bi na vrijeme prepoznala eventualnu pojavu komplikacija i sukladno tome, na vrijeme reagirala (29).

#### **3.7.4. Nutritivna potpora**

Kritično bolesna djeca na odjelu za pedijatrijsku intenzivnu njegu trebaju odgovarajuću nutritivnu potporu kako bi postigla najbolje ishode. Pacijenti s respiratornim ili kardiorespiratornim zatajenjem, kojima je potrebna podrška ekstrakorporalnom membranoznom oksigenacijom, teško su bolesna i ranjiva podskupina kritično bolesne populacije koja bi imala koristi od optimalne nutritivne potpore. Ipak, procjena potreba za energijom i proteinima te isporuka tih hranjivih sastojaka može biti poseban izazov zbog nejasnih metaboličkih zahtjeva i potencijalnih sigurnosnih problema enteralne prehrane (EP) kod ovih pacijenata. Štoviše, populacija je heterogena, obuhvaća novorođenčad s urođenom srčanom bolešću na veno-arterijskom ECMO-u te mlađe odrasle osobe s cističnom fibrozom koje čekaju transplantaciju pluća i priključene su na veno-venskom ECMO-u.

Zbog tehničkih ograničenja tradicionalnih metoda za precizno mjerenje izmjene plinova u djece priključene na ECMO potporu, podaci o potrošnji energije izrazito su oskudni. Bez neizravne kalorimetrije, intenzivisti se moraju osloniti na standardne jednadžbe za procjenu potrošnje energije u mirovanju (engl. *resting energy expenditure* – REE). Te su jednadžbe, međutim, razvijene pomoću podataka zdrave djece i stoga su često netočne u procjeni REE u kritično bolesne djece. Zbog toga oslanjanje na standardne jednadžbe za određivanje energetske potreba može rezultirati nenamjernim podcjenjivanjem ili precjenjivanjem REE i rezultirati prekomjernom ili nedovoljnom primjenom kalorija.

Neonatalni i pedijatrijski pacijenti koji su na potpori ECMO sustava imaju povećane potrebe za proteinima zbog teškog katabolizma. Važno je nadoknaditi gubitke bjelančevina iz ovog

kataboličkog stanja osiguravajući odgovarajuće bjelančevine. U novorođenčadi je utvrđeno da je razgradnja bjelančevina u cijelom tijelu 100 % veća nego u dobno usklađene zdrave novorođenčadi. U novorođenčadi liječenih ECMO-om potrebno je  $> 1,5$  g/kg/d proteina da bi se postigla pozitivna ravnoteža dušika. Nutritivne smjernice novorođenčadi koji su na ECMO potpori preporučuju unos proteina do 3 g/kg/d za nadoknađivanje kataboličkih gubitaka. Sugerira se da primjena inzulina, kao anaboličkog hormona, može negirati razgradnju proteina kod novorođenčadi na ECMO potpori. Ova praksa nije usvojena jer su potrebna daljnja istraživanja. Djeca koja su dulje vrijeme na ECMO potpori mogu doživjeti povećane gubitke mikroelemenata, odnosno esencijalnih aminokiselina, vitamina A i vitamin E (30).

Prema nedavnim istraživanjima, započinjanje parenteralne nutritivne potpore (PN) unutar 24 sata od uspostave ECMO potpore štetno je u usporedbi sa strategijom neuspostave PN-a tijekom prvog tjedna u jedinici intenzivnoga liječenja. Zabilježen je pad incidencije novih infekcija i smanjena duljina boravka u jedinici intenzivnoga liječenja i boravka u bolnici kod one djece kojima je primjena PN-a započeta nakon tjedan dana od uspostave ECMO potpore (30).

Međutim, naglašava se rano i oprezno napredovanje EN-a i pokretanje PN-a u roku od 3 do 5 dana kod djece koja su pothranjena i unutar 5 – 7 dana u dobro uhranjene djece ako cilj isporuke hranjivih sastojaka nije postignut samo enteralnom prehranom. Parenteralna nutritivna potpora podrazumijeva primjenu infuzija lipida i aminokiselina intravenozno putem centralnoga venskog katetera (30).

### **3.7.5. Dijagnostički postupci i primjena lijekova**

Za vrijeme trajanja ECMO potpore, potrebno je provoditi veliki broj terapijskih i dijagnostičkih postupaka. Uloga je medicinske sestre pripremiti dijete, sudjelovati u provođenju postupaka i zbrinuti dijete nakon završenog dijagnostičkog postupka. Jedan od postupaka je rendgenska snimka pluća (RTG) koja se, nerijetko, provodi i više puta dnevno, ovisno o stanju djeteta. Postupak se provodi pokretnim rendgenskim uređajem, a zadatak je medicinske sestre dijete podignuti od podloge kako bi se ispod leđa mogla postaviti kazeta za RTG. Pri tom zahvatu potrebno je biti iznimno oprezan kako ne bi došlo do dislokacije kanila i krvarenja koje može uzrokovati smrt djeteta.

Medicinska sestra asistira prilikom zamjena centralnih i arterijskih linija, a posebno je od velikog značaja njezina uloga u toaleti prsnoga koša koja se provodi svakih 48 sati. Toaletu prsnoga koša provodi kirurški tim u strogo aseptičnim uvjetima, a medicinska sestra za vrijeme zahvata primjenjuje terapiju i krvne derivate prema pisanoj odredbi liječnika, odgovorna je za praćenje vitalnih funkcija, te u nekim slučajevima i asistira operateru.

Kao što je već navedeno, u djece na ECMO potpori iznimno je važna kontrola koagulacije. Uzorci krvi za laboratorijsku analizu koagulacijskih komponenata upućuju se svakih 6 sati. međutim uz krevet djeteta moguće je provjeravati vrijednosti ACT-a koja je najbrža metoda određivanja komponenata koagulacije. Ovisno o izmjerenoj vrijednosti, uključuje se kontinuirana primjena heparina putem perfuzomata direktno u ECMO sustav, a brzina se mijenja ovisno o vrijednosti ACT-a. Medicinska sestra će iz arterijskoga katetera aspirirati 1 ml krvi i uzorak staviti u epruvete predviđene za ACT aparat koji će zatim očitati vrijednost, a liječnik će odlučiti koja je brzina heparina potrebna za sprječavanje zgrušavanja krvi u sustavu. Budući da postoji mogućnost krvarenja u glavu, potreban je poseban oprez pri izračunavanju brzine heparina.

Djeca na ekstrakorporalnoj membranoznoj oksigenaciji zahtijevaju pažljivo praćenje tekućina i elektrolita. Visoke energetske zahtjeve je moguće ispuniti pomoću tehnike hiperalimentacije (20). Budući da tijekom prvih dana trajanja ECMO potpore nije moguće hranjenje djeteta putem nazogastrične sonde, primjenjuju se infuzijske otopine lipida i aminokiseline obogaćene vitaminima i mineralima prema energetske potrebama djeteta. Isto tako, potrebna je primjena inotropnih lijekova (dopamin, dobutamin, adrenalin), diuretika (furosemid), H<sub>2</sub> antagonista zbog sprječavanja krvarenja gastrointestinalnog trakta, sedativa (fentanyl, midazolam, morfij), phenobarbitona zbog sprječavanja konvulzija te antibiotika, preventivno ili prema antibiogramu ako postoji nalaz prisustva mikroorganizama.

#### 4. VAŽNOST MEDICINSKE SESTRE U SKRBI ZA DIJETE NA EKSTRAKORPORALNOJ MEMBRANOZNOJ OKSIGENACIJI

U pedijatrijskoj jedinici intenzivnoga liječenja Kliničkog bolničkog centra Zagreb već se dugi niz godina provodi zbrinjavanje i liječenje novorođenčadi i djece koja u određenom trenutku svoje bolesti zahtijevaju potporu ekstrakorporalne membranozne oksigenacije. Kao što je i navedeno u prvom dijelu ovog rada, zbrinjavanje i skrb za dijete na ECMO potpori zahtijeva angažman multidisciplinarnoga tima, a medicinska sestra je neizostavni član toga tima.

Zbrinjavanje djeteta provodi se prema smjernicama Europske organizacije ekstrakorporalne podrške (engl. *Extracorporeal Life Support Organization – ELSO*) u kojima se navodi kako je za vrijeme liječenja važno pratiti neurološki status djeteta, kontrolirati krvarenje, provoditi mjere sprječavanja infekcije, primjenjivati nutritivnu potporu te održavati stabilnim hemodinamski sustav. Medicinska sestra ima značajnu ulogu u svim navedenim aktima budući da je uz dijete 24 sata i prva je koja će primijetiti odstupanja od uobičajenoga stanja. Isto tako, medicinska sestra provodi zdravstvenu njegu djeteta s ciljem očuvanja integriteta kože i sprječavanja infekcije koja može biti pogubna za dijete.

Schmiady i suradnici (2017.) u svom članku „*Extracorporeal membrane oxygenation in neonates and child*“ objavljenom u časopisu *Cardiovascular Medicine*, naglašavaju kako je praćenje i skrb o djeci na ECMO potpori poseban izazov za medicinske sestre i zahtijeva usku multidisciplinarnu suradnju. Medicinske sestre u pedijatrijskim jedinicama intenzivnoga liječenja specijalizirane su za ECMO terapiju i stoga mogu odgovoriti na akutne promjene u bilo kojem trenutku. Tijekom ECMO potpore na djeci se primjenjuje takozvana *rest ventilacija*, često s otvorenim prsnim košem nakon središnje kanilacije. Bilo koja manipulacija pozicioniranjem djeteta (npr. njega rane, njega dekubitusa ili promjena ljepljivih traka endotrahealnog tubusa) može promijeniti položaj ECMO kanila, što može negativno utjecati na protok ECMO-a, a može dovesti i do disfunkcije ECMO-kruga. Stoga medicinske sestre moraju biti izuzetno oprezne. Isto tako, autori naglašavaju postojanje povećanoga rizika za nastanak infekcija, cerebralnoga krvarenja i zatajenja bubrega, što zahtijeva pažljivo kliničko praćenje djeteta, kao i pažljive antiseptičke mjere predostrožnosti na mjestu kanilacije. Medicinske sestre kontinuirano nadgledaju svaki organski sustav i moraju biti sposobne samostalno i kompetentno odgovoriti na hitne slučajeve u bilo kojem trenutku. Dio zdravstvene njege je i podrška obitelji pacijenta tijekom vremena kada je dijete životno ugroženo. Da bi se podržala i izgradila čvrsta

## VAŽNOST MEDICINSKE SESTRE U SKRBI ZA DIJETE NA EKSTRAKORPORALNOJ MEMBRANOZNOJ OKSIGENACIJI

veza, kao i individualni kontakt s djetetom, važno je roditelje integrirati u sestrinske intervencije poput njege usne šupljine, njege kože, mijenjanja pelena ili masaže (31).

Alshammari i suradnici (2020.) proveli su istraživanje o percepciji medicinskih sestara o njihovoj ulozi u zbrinjavanju pacijenata na ekstrakorporalnoj membranoznoj oksigenaciji i rezultate objavili u članku „*Nurses' perception of their role in extracorporeal membrane oxygenation care: A qualitative assessment*“ u časopisu *Nurs Crit Care*. Budući da u posljednje vrijeme postoji interes za edukaciju sestrinskog osoblja za provođenje veno-venske ekstrakorporalne membranozne oksigenacije u Kuvajtu, potrebno je razumjeti iskustvo medicinskih sestara koje preuzimaju ovu novu ulogu. Cilj istraživača bio je istražiti percepciju medicinskih sestara o njihovoj ulozi, s posebnim naglaskom na njihove kompetencije i izazove s kojima se suočavaju dok se brinu o pacijentima kojima je potrebna ECMO potpora. U istraživanje je bilo uključeno devetnaest medicinskih sestara koje rade s veno-venskim ECMO-m u jedinici za intenzivnu njegu odraslih u općoj bolnici u Kuvajtu. Rezultati su pokazali da je uloga medicinskih sestara raznolika i izazovna te da uključuje sudjelovanje u višestrukim odgovornostima. Medicinske sestre smatrale su se sposobnima za obavljanje svoje uloge, a svoju su kompetenciju uglavnom pripisivale edukaciji i iskustvu dobivenom tijekom provođenja skrbi za pacijenta tijekom ekstrakorporalne membranozne oksigenacije. Autori ističu da se medicinske sestre susreću sa značajnim izazovima, uključujući veliko radno opterećenje, neučinkovitu komunikaciju među kolegama i nedostatak organiziranoga/potpornoga sustava. Ova studija sugerira da medicinske sestre imaju integralnu ulogu u zbrinjavanju pacijenata na ECMO potpori (32). Slično kao i u ovoj studiji, medicinske sestre na Odjelu pedijatrijskog intenzivnoga liječenja Kliničkog bolničkog centra Zagreb se tijekom zbrinjavanja i skrbi za dijete na ECMO potpori često susreću s velikim izazovima. Stoga je važno da se kontinuirano educiraju i stječu nova znanja i vještine kako bi mogle odgovoriti na tehnološke izazove i učestale promjene smjernica zbrinjavanja djeteta.

Autorica članka „*The role of the ECMO specialist nurse*“ objavljenog u časopisu *Quatar Medical Journal*, Daly (2017.) naglašava važnost medicinske sestre specijalistice za ECMO potporu. Ona naglašava da je napredak u ECMO tehnologiji rezultirao razvojem jednostavnijih, sigurnijih sklopova, koji su povezani s manje komplikacija. Istodobno s kliničkim i tehnološkim promjenama u ECMO-u, uloga stručnjaka za ECMO evoluirala je u upravljanju interakcijom pacijent – krug i kliničkim potrebama pacijenta, te u osiguravanju sigurnosti ECMO-a kontinuiranim nadzorom, procjenom i rješavanjem problema. Zbrinjavanje provodi multidisciplinarni tim, ali naglašava se važnost specijalističke medicinske sestre koja provodi

## VAŽNOST MEDICINSKE SESTRE U SKRBI ZA DIJETE NA EKSTRAKORPORALNOJ MEMBRANOZNOJ OKSIGENACIJI

skrb 24 sata dnevno. Većina centara u kojima se provodi ECMO, pristupa zbrinjavanju pacijenata s „dvoje njegovatelja“, odnosno specijaliziranom medicinskom sestrom koja radi s medicinskom sestrom u jedinici intenzivnog liječenja kako bi se osigurala sigurna koordinacija i upravljanje kritično bolesnim pacijentom sa širokim spektrom složenih potreba. Uz zadovoljavanje složenih potreba pacijenta, specijalistička medicinska sestra odgovorna je za osiguravanje sigurnog upravljanja ECMO krugom. Razumijevanje upravljanja i pacijentom i sklopom i potencijalne interakcije pacijent – sklop važna je komponenta uloge specijalističke medicinske sestre ECMO-a (33). U Republici Hrvatskoj ne postoji obrazovni sustav medicinskih sestara koji bi ih specijalizirao za određeno područje medicine, a brigu o ECMO sustavu provode perfuzionisti. Međutim, povećanjem broja djece kojima je potrebna ECMO potpora zahtijeva i povećanje broja medicinskih sestara koje posjeduju specifično znanje i vještine o ECMO sustavu u načinu zbrinjavanja pacijenta na ECMO potpori, a medicinske sestre u Hrvatskoj svoje znanje stječu sudjelovanjem na tečajevima i kongresima, dok vještine stječu praksom, tj. kada skrbe za dijete na ECMO potpori.



## 5. ZAKLJUČAK

Ekstrakorporalna membranozna oksigenacija odnosi se na mehaničku kardiopulmonalnu potporu tijekom koje se s pomoću posebnog uređaja venska krv odvodi iz organizma, oksigenira i zatim vraća u organizam. Primjena ekstrakorporalne membranozne potpore zahtijeva zbrinjavanje i skrb multidisciplinarnog tima intenzivne njege, kardiokirurgije, kardiologije, perfuzije i laboratorijskih usluga kako bi se omogućilo optimalno provođenje njege. Da bi bio učinkovit, ovaj način cirkulatorne potpore mora biti dostupan na vrijeme, što zahtijeva 24-satni pristup sterilnim i pripremljenim ECMO krugovima, uslugama perfuzije, krvnim proizvodima, kardiološkoj ili općoj kirurgiji i anesteziji.

Ekstrakorporalna membranozna oksigenacija visoko je specijalizirana i resursno intenzivna terapija koja može podržati različita fiziološka stanja koja rezultiraju kardiopulmonalnim zatajenjem. Cilj je postići zadovoljavajuću opskrbu tkiva kisikom i odstranjivanje ugljičnog dioksida u djece s teškim oblicima zatajenja rada srca ili pluća, kada su konvencionalne metode liječenja neuspješne.

Iako se sigurnost primjene ekstrakorporalne membranozne oksigenacije neprestano poboljšava razvojem tehnologije i iskustvom, potrebno je detaljno znanje o cirkulaciji pacijenta, upravljanju potporom i sprječavanju komplikacija kako bi se omogućio najbolji mogući ishod za dijete.

Medicinska sestra ima iznimno važnu ulogu u cjelokupnom postupku zbrinjavanja i liječenja djeteta jer je odgovorna za primjenu terapije, sprječavanje infekcije, održavanje integriteta kože, uočavanje promjena u stanju djeteta, provođenju dijagnostičkih postupaka, a značajnu ulogu ima i u komunikaciji s roditeljima. Budući da intenzivno liječenje obuhvaća nadzor, njegu, liječenje i održavanje života, medicinska sestra u jedinicama intenzivnog liječenja djece mora posjedovati znanje i vještine potrebne za skrb djeteta.

## 6. SAŽETAK

UVOD: Ekstrakorporalna membranozna oksigenacija spasonosni je način i značajan dio svakog programa mehaničke cirkulatorne potpore. Postoje značajne razlike u postavljanju i upravljanju ECMO sustavom u pedijatrijskih bolesnika u usporedbi s odraslima, uključujući indikacije, postavljanje ECMO kruga, kao i mjesta implantacije. ECMO sustav modificirani je kardiopulmonalni prenosnički krug, konceptualno sličan onom koji je izumio John Gibbon 1936. godine i koji se trenutačno koristi tijekom kardio-premosnice u operacijskoj sali kod kirurških zahvata na otvorenom srcu.

POSTUPCI: Za izradu diplomskog rada podaci su prikupljeni iz znanstvenih baza pretraživanjem literature dostupne na internetu. Pretražene su sljedeće baze podataka: PubMed, Scopus, Medline, Embasa, Researchgate i Hrčak. Kriterij uključenja bila je stručna literatura vezana uz ekstrakorporalnu membranoznu oksigenaciju u pedijatriji, dok je kriterij isključenja bila literatura starija od 15 godina.

PRIKAZ TEME: Ekstrakorporalna (izvantjelesna) membranozna oksigenacija prilagodba je konvencionalne kardiopulmonalne tehnike premoštenja koja se koristi za dugotrajnu potporu respiratorne i/ili srčane funkcije. Omogućava fiziološku kardiopulmonalnu potporu bolesnicima s akutnim, reverzibilnim srčanim ili respiratornim zatajenjem. Izraz „izvantjelesna podrška životu“ (ECLS) predložen je za opisivanje produljene, ali privremene (1 – 30 dana) potpore radu srca ili pluća pomoću mehaničkih uređaja. Tehnički se ECMO terminologija koristi za modalitete koji omogućavaju sustav plućne potpore koji uključuje oksigenaciju i uklanjanje ugljičnog dioksida, a ECLS se koristi za srčane i plućne sustave potpore. Ove se terminologije i dalje koriste naizmjenično.

ZAKLJUČAK: Medicinska sestra ima iznimno važnu ulogu u cjelokupnom postupku zbrinjavanja i liječenja djeteta jer je odgovorna za primjenu terapije, sprječavanje infekcije, održavanje integriteta kože, uočavanje promjena u stanju djeteta, provođenju dijagnostičkih postupaka, a značajnu ulogu ima i u komunikaciji s roditeljima. Medicinska sestra u jedinicama intenzivnoga liječenja djece mora posjedovati znanje i vještine potrebne za skrb djeteta jer intenzivno liječenje obuhvaća nadzor, njegu, liječenje i održavanje života.

Ključne riječi: ekstrakorporalna membranozna oksigenacija, dijete, indikacije, zdravstvena njega

## 7. SUMMARY

### **Extracorporeal membrane oxygenation in pediatrics**

**INTRODUCTION:** Extracorporeal membrane oxygenation is a life-saving method and a significant part of any mechanical circulatory support program. There are significant differences in ECMO system placement and management in pediatric patients compared to adults, including indications, ECMO circuit placement, and implantation sites. The ECMO system is a modified cardiopulmonary bypass circuit, conceptually similar to the one invented by John Gibbon in 1936 and currently used during a cardio bypass in the operating room for open heart surgery.

**METHOD:** For the preparation of the thesis, data were collected from scientific databases by searching the literature available on the Internet. The following databases have been searched: PubMed, Scopus, Medline, Embasa, Researchgate and Hrčak. The inclusion criterion was professional literature related to extracorporeal membranous oxygenation in pediatrics, while the exclusion criterion was literature that was more than 15 years old.

**OUTLINE:** Extracorporeal membrane oxygenation is an adaptation of the conventional cardiopulmonary bridging technique used to provide long-term support for respiratory and / or cardiac function. It provides physiological cardiopulmonary support to patients with acute, reversible heart or respiratory failure. The term “extracorporeal life support” (ECLS) has been proposed to describe prolonged but temporary (1-30 days) support to heart or lung function by mechanical devices. Technically, ECMO terminology is used for modalities that provide a pulmonary support system that includes oxygenation and carbon dioxide removal, while ECLS is used both for cardiac and pulmonary support systems, however, these terminologies are still used interchangeably.

**CONCLUSION:** The nurse has an extremely important role in the overall process of caring for and treating a child as she is responsible for applying therapy, preventing infection, maintaining skin integrity, detecting changes in the child's condition, conducting diagnostic procedures, and plays a significant role in communicating with parents. The nurse in children`s intensive care units must have the knowledge and skills necessary for the care of a child since intensive care includes supervision, care, treatment and maintenance of life.

**Keywords:** extracorporeal membranous oxygenation, child, indications, nursing care

## 8. LITERATURA

1. Erdil T, Lemme F, Konetzka A, Cavigelli-Brunner A, Niese O, Dave H, i sur. Extracorporeal membrane oxygenation support in pediatrics. *Ann Cardiothorac Surg*. 2019;8(1): 109 – 115.
2. Gehrmann LP, Hafner JW, Montgomery DL, Buckley KW, Fortuna RS. Pediatric Extracorporeal membrane Oxygenation: an Introduction for Emergency Medicine Physicians. *J Emerg Med*. 2014;49(4): 552 – 560.
3. Bembea MM, Hoskote A, Guerguerian A-M. Pediatric ECMO Research: The Case for Collaboration. *Front Pediatr*. 2018;6(240): 1 – 7.
4. Mehta T, Sallehuddin A, John J. The journey of pediatric ECMO. *Qatar Med J*. 2017;4(1): 1 – 4.
5. Aaronson PI, Ward JPT, Connolly MJ. *The Cardiovascular System at a Glance* (4<sup>th</sup> edition). Blackwell Publishing, UK; 2013. str. 12 – 13.
6. Guyton AC, Hall JE. *Medicinska fiziologija*. 12. izdanje. Zagreb: Medicinska naklada; 2012. str. 78 – 85.
7. Biga LM, Dawson S, Harwell A, Hopkins R, Kaufmann J, LeMaster M, i sur. *Anatomy & Physiology*. OpenStax/Oregon State University; 2010. str. 1416 – 1423.
8. Parga JJ, Garg M. Extracorporeal Membrane Oxygenation in Neonates: History and Future Directions. *NeoReviews*. 2017;18(3): 166 – 172.
9. Lequier L, Horton SB, McMullan DM. Extracorporeal Membrane Oxygenation Circuitry. *Pediatr Crit Care Med*; 2013;5(1): 7 – 12.
10. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life Support. *Ann Transl Med*; 2017;5(4): 1 – 11.
11. Bačić G, Tomulić V, Medved I, Zaputović L, Zaninović Jurjević T, Gobić D. Izvantjelesna membranska oksigenacija. *Cardiologia Croatica* 2017;12(5-6): 216 – 223.

12. Banfi C, Pozzi M, Siegenthaler N, Brunner M-E, Tassaux D, Obadia J-F, i sur. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation: cannulation techniques. *J Thorac Dis* 2016;8(12): 3762 – 3773.
13. Vuylsteke A, Brodie D, Combes A, Fowles J A, Peek G. A brief history of ECMO. Cambridge University Press; 2017. Dostupno na adresi: [http://assets.cambridge.org/9781107/81248/excerpt/9781107681248\\_excerpt.pdf](http://assets.cambridge.org/9781107/81248/excerpt/9781107681248_excerpt.pdf) (datum pristupa 26.4.2021.)
14. Rao P, Khalpey Z, Smith R, Burkhoff D, Kociol RD. Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation for Cardiogenic Shock and Cardiac Arrest. *Circ Heart Fail*. 2018;11(9): 1 – 17.
15. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. *Ann Transl Med*. 2017;5(4): 1 – 11.
16. Puri V, Epstein D, Raithel S C, Gandhi S K, Sweet S C, Faro A, Huddleston C B. Extracorporeal membrane oxygenation in pediatric lung transplantation. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2010;140(2): 427 – 432.
17. Khorsandi M, Davidson M, Bouamra O, McLean A, MacArthur K, Torrance I, i sur. Extracorporeal membrane oxygenation in pediatric cardiac surgery: A retrospective review of trends and outcomes in Scotland. *Ann Pediatr Cardiol*. 2018;11(1): 3 – 11.
18. Rodriguez-Cruz E. Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Centro Pediátrico y Cardiovascular*; 2017. Dostupno na adresi: <https://emedicine.medscape.com/article/1818617-overview#a1> (datum pristupa 29.4.2021.)
19. Arbor A. Pediatric Cardiac Failure, Extracorporeal Life Support Organization; 2017. Dostupno na adresi: [http://www.else.org/Portals/0/IGD/Archive/FileManager/ELSO\\_Reformatted\\_2018.02.23.pdf](http://www.else.org/Portals/0/IGD/Archive/FileManager/ELSO_Reformatted_2018.02.23.pdf) (datum pristupa 29.4.2021.)
20. Vidmar I, Primožić J, Kalan G, Grosek Š. Extracorporeal membranous oxygenation (ECMO) in neonates and children – experiences of a multidisciplinary paediatric intensive care unit. *Signae Vitae*. 2008;3(1): 17 – 21.
21. Barton R, Ignjatovic V, Monagle P. Anticoagulation during ECMO in neonatal and paediatric patients. Murdoch Children's Research Institut; 2018. Dostupno na adresi:

- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0049384818303414> (datum pristupa 03.5.2021.)
22. Jenks CL, Raman L, Dalton HJ. Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Crit Care Clin.* 2017;33(4): 825 – 841.
23. Broman LM, Malfertheiner MV, Montisci A, Pappalardo F. Weaning from veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: how I do it. *J Thorac Dis.* 2018;10(5): 692 – 697.
24. Lüsebrink E, Stremmel C, Stark K, Joskowiak D, Czermak T, Born F, i sur. Update on Weaning from Venous-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. *J. Clin. Med.* 2020;9(4): 1 – 17.
25. Horak RV, Griffin JE, Brown A-M, Nett ST, Christie LM, Forbes ML, et al. Growth and Changing Characteristics of Pediatric Intensive Care 2001–2016. *Crit Care Med.* 2019;47: 1135 – 1142.
26. O'Grady N P, Alexander M, Burns L A, Dellinger P, Garland J, Heard S O (et al). Guidelines for the Prevention of Intravascular Catheter-Related Infections. CDC; 2011. Dostupno na: <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/pdf/bsi/bsi-guidelines-H.pdf> (datum pristupa 07.5.2021.)
27. Šepec S, Kurtović B, Munko T, Vico M, Abcu Aldan D, Babić D, i sur. *Sestrinske dijagnoze.* Zagreb: Hrvatska Komora medicinskih sestara; 2011. str. 15.
28. Nickson C. Targeted temperature management (TTM) after cardiac arrest. *Intensive Care Network;* 2017. Dostupno na adresi: <https://intensivecarenetwork.com/media/> (datum pristupa 07.5.2021.)
29. Maričić T, Bedeničić D. Inducirana hipotermija – prikaz slučaja. *Cardiologia Croatica.* 2014; 9(9-10): 474.
30. Farr BJ, Rice-Townsend SE, Mehta NM. Nutrition Support During Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Nutrition in Clinical Practice.* 2018;33(6): 747 – 753.
31. Schmiady M, Döll C, Cavigelli-Brunner A, Konetzka A, Bründler S, Kröger Y, i sur. Extracorporeal membrane oxygenation in neonates and child. *Cardiovascular Medicine.* 2017;20(3): 57 – 61.

32. Alshammari MA, Vellokalam C, Alfeeli S. Nurses' perception of their role in extracorporeal membrane oxygenation care: A qualitative assessment. *Nurs Crit Care*. 2020; 1–7.
33. Daly KJR. The role of the ECMO specialist nurse. *Qatar Medical Journal*. 2017; (1):54.