

POLSKIE TOWARZYSTWO ANESTEZJOLOGII I INTENSYWNEJ TERAPII

Stanowisko Sekcji Anestezjologii i Intensywnej Terapii Dziecięcej PTAiIT w sprawie zastosowania żylno-żylnej pozaustrojowej oksygenacji membranowej (VV ECMO) u pacjentów pediatrycznych w leczeniu ostrej niewydolności oddechowej

POLSKIE TOWARZYSTWO
ANESTEZJOLOGII I INTENSYWNEJ
TERAPII

Stanowisko Sekcji Anestezjologii i Intensywnej Terapii Dziecięcej PTAiIT w sprawie zastosowania żylno-żylnej pozaustrojowej oksygenacji membranowej u pacjentów pediatrycznych w leczeniu ostrej niewydolności oddechowej

Jowita Rosada-Kurasińska[1], Alicja Bartkowska-Śniatkowska[1], Marzena Zielińska[2, 3], Małgorzata Mikaszewska-Sokolewicz[4], Bartłomiej Kociński[5], Remigiusz Jaśkiewicz[6], Izabela Pągowska-Klimek[7]

[1]Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Pediatrycznej, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu
[2]Katedra Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu
[3]Oddział Kliniczny Anestezjologii i Intensywnej Terapii Dziecięcej, Uniwersytecki Szpital Kliniczny we Wrocławiu
[4]Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Instytut Pomnik – Centrum Zdrowia Dziecka w Warszawie
[5]Klinika Kardiochirurgii Dziecięcej, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu
[6]Uniwersytecki Szpital Dziecięcy w Krakowie
[7]Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Dziecięcej, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Cytować jako: Consensus Statement of the Paediatric Anaesthesiology and Intensive Therapy Section of the Polish Society of Anaesthesiology and Intensive Therapy on the Use of VV-ECMO in Paediatric Patients for the Treatment of Acute Respiratory Failure. Anaesthesiol Intensive Ther. 2026;58(1). doi:10.5114/ait/221596.

Abstract

Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) techniques are successfully used in pediatric cardiac surgery units. For several years, there has been increased interest in these methods among anesthesiologists in pediatric intensive care units. The indication for ECMO therapy is respiratory or cardiopulmonary failure, in which, despite the use of high oxygen concentrations and advanced techniques of ventilator therapy and optimization of the patient's condition, persistent hypoxemia and hypercapnia pose a risk of further deterioration of the patient's condition leading to death. The Statement of the Section of Pediatric Anesthesiology and Intensive Therapy of the Polish Association of Anesthesiology and Intensive Therapy (PTAiIT) regarding the use of VV ECMO in pediatric patients in Poland should increase the effectiveness of treatment of patients with severe respiratory failure by, as well as allow to identify those patients who will benefit or not from ECMO therapy.

Key words: extracorporeal membrane oxygenation, ECMO, acute respiratory failure, paediatric patients

Słowa kluczowe: pozaustrojowa oksygenacja membranowa, ECMO, ostra niewydolność oddechowa, pacjenci pediatryczni

Adres do korespondencji: dr n. med. Jowita Rosada-Kurasińska, Klinika Anestezjologii i Intensywnej Terapii Pediatrycznej, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, ul. Szpitalna 27/33, 60–572 Poznań, e-mail: jrosada@ump.edu.pl

SPIS TREŚCI

1. Wstęp 5

2. Pediatryczny zespół ostrej niewydolności oddechowej 6

2.1. Definicja PARDS 6

2.2. Terapia oddechowa w PARDS 7

3. Wskazania i przeciwwskazania – niemowlęta i dzieci (> 30. d.ż < 18. r.ż.) 8

4. Optymalizacja stanu pacjenta 10

5. Organizacja zespołu ECMO 11

5.1. Zespół wyjazdowy 12

6. Wybrane aspekty leczenia pacjentów z zastosowaniem VV ECMO 13

6.1. Antykoagulacja 13

6.2. Ograniczenia i korzyści dostępnych testów krzepnięcia 14

6.3. Strategia przetoczeń krwi i preparatów krwiopochodnych u dzieci leczonych z zastosowaniem VV ECMO 14

Koncentrat krwinek czerwonych 14

Osocze antyhemofilowe 14

Koncentrat krwinek płytkowych 14

Fibrynogen 16

Antytrombina III 16

Profilaktyka krwawienia 16

6.4. Strategia postępowania u pacjentów z VV ECMO, wymagających zabiegu o małym ryzyku krwawienia 16

6.5. Strategia postępowania u pacjentów z VV ECMO, wymagających zabiegu o dużym ryzyku krwawienia 16

6.6. Strategia postępowania u pacjenta z VV ECMO z rozpoznaniem krwotoku 16

6.7. Leczenie żywieniowe 16

6.8. Sedacja 17

6.9. Płynoterapia 18

6.10. Wentylacja 19

6.11. Inne aspekty leczenia i pielęgnacji pacjenta z ECMO [1] 19

7. Powikłania ECMO 19

7.1. Krwawienia 19

Częstość 19

Monitorowanie 19

Postępowanie 20

7.2. Zakrzepy/wykrzepianie 20

Częstość 20

Monitorowanie 20

Postępowanie 20

7.3. Hemoliza 20

Częstość 20

7.4. Powikłania neurologiczne 20

Częstość 20

Monitorowanie 20

Postępowanie 21

7.5. Zakażenia 21

Częstość 21

Monitorowanie 21

Postępowanie 21

7.6. Kaniule/recyrkulacja 21

Częstość i znaczenie 21

Monitorowanie 21

Postępowanie 21

7.7. Awarie sprzętu 21

Częstość 21

Monitorowanie 22

Postępowanie 22

8. Odzwyczajanie od VV ECMO i odłączanie 22

8.1. Definicja 22

8.2. Kryteria kwalifikacji do zakończenia terapii VV ECMO 22

8.3. Próba odłączenia dziecka od ECLS 23

8.4. Odłączenie VV ECMO 24

8.5. Powikłania po zakończeniu ECMO 24

9. Podsumowanie 24

Acknowledgements 24

Piśmiennictwo 25

SPIS SKRÓTÓW I AKRONIMÓW

ACT – *activated clotting time* – czas krzepnięcia po aktywacji
anty-Xa – test monitorujący zahamowanie aktywnego czynnika X przez heparyny
aPTT – *activated partial thromboplastin time* – czas częściowej tromboplastyny po aktywacji
APRV – *airway pressure release volume* – wentylacja z uwalnianiem ciśnienia w drogach oddechowych
ARDS – *acute respiratory distress syndrome* – zespół ostrej niewydolności oddechowej
ARDSNet – *Acute Respiratory Distress Syndrome Network*
ASA – *American Society of Anesthesiologists*
AT III – antytrombina III
BR – *breath rate*
CMV – *continuous mandatory ventilation* – konwencjonalna wentylacja mechaniczna
CR – *clinical recommendation* – zalecenie kliniczne
CVVHDF – *continuous veno-venous hemodiafiltration* – ciągła żylno-żylna hemodiafiltracja
DP – *driving pressure* – ciśnienie napędowe wentylacji
$ECCO_2R$ – *extracorporeal carbon dioxide removal* – pozaustrojowe usuwanie dwutlenku węgla
ECLS – *extracorporeal life support*
ECMO – *extracorporeal membrane oxygenation* – pozaustrojowa oksygenacja membranowa
ECPR – *extracorporeal cardiopulmonary resuscitation* – resuscytacja krążeniowo-oddechowa
ELSO – *Extracorporeal Life Support Organization*
EOLIA – *ECMO to Rescue Lung Injury in Severe ARDS*
FFP – *fresh frozen plasma* – osocze świeżo mrożone
GALT – Gut-Associated Lymphoid Tissue
GP – *good practice* – zasada dobrej praktyki
HFNC – *high flow nasal cannula* – kaniule nosowe z wysokim przepływem gazów
HFOV – *high frequency oscillatory ventilation* – wentylacja oscylacyjna o wysokiej częstotliwości
HIT – *heparin induced thrombocytopenia* – trombocytopenia indukowana heparyną
I/E – *inspiration/expiration*
IBW – *ideal body weight* – idealna masa ciała
IMV – *invasive mechanical ventilation* – wentylacja inwazyjna
iNO – *inhaled nitric oxide* – tlenek azotu
INR – *international normalized ratio* – międzynarodowy współczynnik znormalizowany
KKcz – koncentrak krwinek czerwonych
KKP – koncentrat krwinek płytkowych
LPS – *lung protective strategy* – strategia oszczędzająca płuca
MAP – *mean airway pressure* – średnie ciśnienie w drogach oddechowych
MAS – *meconium aspiration syndrome* – zespół aspiracji smółki
nBIPAP – *nasal bilevel positive airway pressure* – nosowe dwufazowe dodatnie ciśnienie w drogach oddechowych
nCPAP – *nasal continuous positive airway pressure* – nosowe ciągłe dodatnie ciśnienie w drogach oddechowych
NIV – *noninvasive mechanical ventilation* – wentylacja nieinwazyjna
NMBA – *neuromuscular blocking agent* – środki zwiotczające mięśnie
NPO – *nil per os* – nic przez usta
OCT – *oxygen challenge test* – test oksygenacji
OI – *oxygen index* – indeks oksygenacji
OSI – *oxygen saturation index* – indeks saturacji
OUN – ośrodkowy układ nerwowy
P-SILI – *patient self- inflicted lung injury* – uszkodzenie płuc wywołane przez pacjenta
PALICC – *Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference*

PaO_2 – ciśnienie parcjalne tlenu
FiO_2 – stężenie tlenu w mieszaninie wdechowej
PARDS – *pediatric acute respiratory distress syndrome* – pediatryczny zespół ostrej niewydolności oddechowej
PEEP – *positive end-expiratory pressure* – dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe
pfHb – *plasma free hemoglobin* – wolna hemoglobina osoczowa
PIP – *peak inspiratory pressure* – szczytowe ciśnienie wdechowe
PLT – płytki krwi
P_{Plat} – *pressure plateau*
PSP R1 – Zestaw Ratownictwa Medycznego Państwowej Straży Pożarnej (R1)
RDS – *respiratory distress syndrome* – zespół ostrej niewydolności oddechowej
RRT – *renal replacement therapy* – terapia nerkozastępcza
RS – *research statement* – badania kliniczne
RTG – rentgenogram
SARS-CoV-2 – *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*
TEE – *transesophageal echokardiography* – echokardiografia przezprzełykowa
TEG – tromboelastografia
ROTEM – tromboelastometria
TTE – *transthoracic echocardiography* – echokardiografia przezklatkowa
TV – *tidal volume* – objętość oddechowa
UFH – *unfractionated heparin* – heparyna niefrakcjonowana
WU – wczesne uruchamianie
VA – *venoarterial* – żylno-tętniczy
VAP – *ventilator associated pneumonia* – zapalenie płuc związane z mechaniczną wentylacją
VAV – *venoarterialvenous* – żylno-tętniczo-żylny
VILI – *ventilator induced lung injury* – wentylacja mechaniczna płuca
VP – *venopulmonary* – żylno-płucny
VV – *venovenous* – żylno-żylny

1. Wstęp

Techniki zewnątrzustrojowej oksygenacji krwi są stosowane z powodzeniem na oddziałach kardiochirurgii dziecięcej. Od kilku lat obserwuje się wzmożone zainteresowanie tymi metodami wśród anestezjologów na oddziałach anestezjologii i intensywnej terapii dziecięcej. Termin ECLS (*extracorporeal life support*) zasadniczo oznacza pozaustrojowe wsparcie funkcji krążeniowo-oddechowej z wykorzystaniem obwodu pozaustrojowego, zawierającego (co najmniej) pompę i płuco membranowe. Systemy stosowane do natleniania i/lub wspomagania krążenia nazywane są pozaustrojową oksygenacją membranową (ECMO, *extracorporeal membrane oxygenation*), natomiast terminem pozaustrojowe usuwanie dwutlenku węgla ($ECCO_2R$, *extracorporeal carbon dioxide removal*) określa się systemy ukierunkowane głównie na usuwanie CO_2 [1].

W obecnej nomenklaturze powszechnie stosuje się i definiuje cztery typy wspomagania ECMO: żylno-tętniczy (VA, *venoarterial*) w przypadku niewydolności serca, żylno-tętniczo-żylny (VAV, *venoarterialvenous*) w przypadku niewydolności sercowo-oddechowej, żylno-żylny (VV, *venovenous*) w przypadku niewydolności oddechowej oraz żylno-płucny (VP, *venopulmonary*) w przypadku niewydolności prawej komory serca/niewydolności oddechowej [1]. Pozaustrojową oksygenację krwi żylno-żylną ECMO (VV ECMO) stosuje się w stanach, w których dochodzi do potencjalnie odwracalnego ciężkiego zaburzenia funkcji płuc w stopniu uniemożliwiającym skuteczną wymianę gazową za pomocą wentylacji mechanicznej, natomiast ECMO żylno-tętnicze (VA ECMO) jest stosowane w przypadku potencjalnie odwracalnej lub też nieodwracalnej niewydolności serca [2].

Wskazaniem do terapii VV ECMO jest niewydolność oddechowa, w której pomimo stosowania wysokich stężeń tlenu i zaawansowanych technik terapii respiratorem oraz innych metod w celu optymalizacji stanu chorego, takich jak ułożenie na brzuchu, utrzymujące się hipoksemia i hiperkapnia grożą pogorszeniem stanu chorego prowadzącym do jego śmierci.

Metodę tę stosuje się od lat 70. ubiegłego wieku, kiedy doktor Robert Bartlett pierwszy raz opisał zastosowanie ECMO u noworodków [3]. Najczęstszymi wskazaniami do zastosowania były: zespół aspiracji smółki (MAS, *meconium aspiration syndrome*), przepuklina przeponowa, nadciśnienie płucne, sepsa, zespół ostrej niewydolności oddechowej (RDS, *respiratory distress syndrome*). W późniejszym czasie potrzebę stosowania ECMO w tej grupie pacjentów zmniejszyło zastosowanie surfaktantu, wentylacji oscylacyjnej o wysokiej częstotliwości (HFOV, *high frequency oscillatory ventilation*) i tlenku azotu (iNO, *inhaled nitric oxide*).

Należy pamiętać, że za pomocą ECMO nie leczy się płuc, lecz daje choremu szansę przeżycia, gdy ich funkcja jest zaburzona na tyle głęboko, że uniemożliwia wystarczające utlenowanie krwi tętniczej i/lub eliminację CO_2. Żylno-żylne ECMO zapewnia pacjentowi wsparcie, gdy wentylacja mechaniczna okazuje się niewystarczająca lub wręcz szkodliwa, zapewnia doskonałą wymianę gazową, a jednocześnie pozwala zminimalizować ryzyko związane z wentylacją mechaniczną. Z tego powodu ECMO należy rozważyć u pacjentów, u których rozpoznano czy też podejrzewa się odwracalną patologię i u których zastosowanie tej metody wiąże się z mniejszym ryzykiem niż niezastosowanie tego wsparcia. Oczywiście decyzje należy podejmować z wzięciem pod uwagę historii choroby pacjenta oraz doświadczenia danej placówki w prowadzeniu tej terapii. Podczas oceny potrzeby zastosowania ECMO należy uwzględnić kierunek i dynamikę zmian parametrów wymiany gazowej w zależności od zastosowanych zaawansowanych technik terapii respiratorem, pronacji i optymalizacji stanu ogólnego, pamiętając, że jednocześnie opóźnianie rozpoczęcia terapii ECMO zmniejsza szanse przeżycia.

W przypadku ciężkiego stanu chorego, gdy rozważa się u niego zastosowanie ECMO, często brakuje czasu na ocenę wielu czynników, między innymi prognozowanej śmiertelności z ECMO lub bez jego użycia, kierunku i tempa zmian stanu klinicznego, odwracalności choroby i potencjalnej kwalifikacji do przeszczepienia; oraz także ważnej kwestii jakości życia po zakończeniu terapii. Decyzje te często muszą być podejmowane przy braku wszystkich powyższych danych, mimo to uzasadnienie zastosowania ECMO najlepiej określić przed procedurą cewnikowania naczyń. Należy dążyć do wspólnego zrozumienia zarówno celów, jak i kryteriów u wszystkich członków zespołu ECMO oraz osób decydujących w imieniu chorego – rodziców/opiekunów prawnych. To wielodyscyplinarne podejście z zaangażowaniem rodziny ma kluczowe znaczenie dla uniknięcia sytuacji, w których ECMO staje się stanem końcowym, a nie zamierzonym przejściowym leczeniem wspomagającym. Należy zadać sobie pytanie: „Czy ECMO jest pomostem do powrotu do zdrowia lub przeszczepienia, czy też pomostem donikąd?" [4].

Autorzy wyrażają nadzieję, że opracowanie Stanowiska Sekcji Anestezjologii i Intensywnej Terapii Dziecięcej PTAiIT dotyczącego stosowania VV ECMO u pacjentów populacji pediatrycznej w Polsce wpłynie na zwiększenie skuteczności leczenia chorych z ciężką niewydolnością oddechową, poprzez zwiększenie dostępności do tej terapii w grupie chorych, u których istnieją wskazania do jej zastosowania i u których zwiększy ona szanse powrotu do zdrowia, z jednoczesnym określeniem pacjentów, którzy nie odniosą korzyści ze wsparcia ECMO.

2. Pediatryczny zespół ostrej niewydolności oddechowej

Pediatryczny zespół ostrej niewydolności oddechowej (PARDS, *pediatric acute respiratory distress syndrome*) został po raz pierwszy zdefiniowany w 2015 roku przez grupę ekspertów zgromadzonych na Konferencji Konsensusu poświęconej ostremu uszkodzeniu płuc w populacji pediatrycznej – PALICC (*Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference*) [5]. Wtedy po raz pierwszy przyjęto wspólną definicję ARDS (*acute respiratory distress syndrome*) odnoszącą się ściśle do populacji pacjentów pediatrycznych i oficjalnie przyjęto nazwę PARDS. Ustalono także rekomendacje dotyczące terapii u chorych z rozpoznaniem tego zespołu, metod i strategii wentylacji oraz terapii wspomagających. Grupa 27 ekspertów z 8 krajów sformułowała 132 silne rekomendacje i 19 tak zwanych słabych.

W 2023 roku opublikowano wytyczne drugiej konferencji PALICC-2. W powstaniu nowych, uaktualnionych wytycznych brało udział 52 ekspertów z 15 krajów. Pracowali oni w 11 grupach, w wyznaczonych 11 obszarach związanych z zespołem PARDS [6]. Pierwsza grupa sprecyzowała zagadnienia związane z definicją PARDS, częstością jego występowania i epidemiologią, a kolejne opracowały zagadnienia związane z patofizjologią, ciężkością i oceną ryzyka w tym zespole. Odrębna grupa analizowała dane dotyczące metod wentylacji oraz zasad monitorowania, a kolejna odpowiedzialna była za sformułowanie rekomendacji dotyczących technik wspomagania pozaustrojowego, w tym ECMO. I – co niezwykle cenne – zostały sformułowane zalecenia dla krajów-obszarów o ograniczonych zasobach finansowych. Tym razem prace zaowocowały 146 rekomendacjami i stanowiskami, w tym 32 rekomendacjami dotyczącymi praktyki klinicznej, 112 stanowiskami opartymi na konsensusie. Wśród tych ostatnich, 18 dotyczyło definicji PARDS, 55 – „dobrej praktyki", 7 – polityki i 32 – badań naukowych. Wszystkie rekomendacje i tak zwane stanowiska osiągnęły ponad 80-procentową zgodność [6].

2.1. Definicja PARDS

Kryteria rozpoznania PARDS uwzględniające wiek dziecka (od chwili urodzenia do ukończenia 18. r.ż.), czas pojawienia się hipoksemii i zmian radiologicznych, jak również ich charakter od chwili zachorowania, parametry oksygenacji wraz z oceną ciężkości postaci PARDS zamieszczono w tabeli 1.

Uwzględniono w niej także szczególny rodzaj pacjentów, jakimi są dzieci z siniczymi wadami serca oraz te z przewlekłymi chorobami płuc.

To, co odróżnia definicję ARDS u dzieci od tej stosowanej w odniesieniu do populacji pacjentów dorosłych, to uwzględnienie u tych pierwszych w ocenie zaburzeń oksygenacji możliwości pomiaru jedynie saturacji krwi tętniczej SpO_2 i stosowanie jej do wyliczenia tak zwanego indeksu saturacji (OSI, *oxygen saturation index*). Indeks saturacji powyżej 5 u dzieci wentylowanych inwazyjnie, podobnie jak indeks oksygenacji (OI, *oxygen index*) powyżej 4, są jednymi z kryteriów pozwalających na rozpoznanie PARDS. Z kolei u dzieci wentylowanych nieinwazyjnie na wysunięcie podejrzenia PARDS pozwala wartość stosunku saturacji krwi tętniczej SpO_2/FiO_2 poniżej 250 lub wartość PaO_2/FiO_2 poniżej 300.

Uwzględnienie możliwości użycia wartości saturacji zarówno w diagnozowaniu, jak i stratyfikacji ciężkości PARDS wynika z tego, że znacznie trudniej jest wprowadzić kaniulę do naczynia tętniczego małego dziecka niż u pacjenta dorosłego i jeszcze trudniej jest ją tam przez dłuższy czas utrzymać. Nie bez znaczenia pozostają także starania o ograniczanie wykonywania inwazyjnych procedur, szczególnie u niemowląt [6, 7].

Oprócz wyraźnie określonych kryteriów pozwalających na rozpoznanie PARDS u dzieci manifestujących ostrą niewydolność oddechową sformułowane zostały kryteria pozwalające na wyszczególnienie jeszcze dwóch grup pacjentów, a mianowicie dzieci z możliwym PARDS oraz tych, które znajdują się w grupie ryzyka rozwoju PARDS.

Do pierwszej grupy będą się kwalifikowały dzieci pozostające na nosowych terapiach oddechowych (nCPAP, *nasal continuous positive airway pressure*)/nBIPAP (*nasal bi-level positive airway pressure*) lub HFNC

Tabela 1. Definicja pediatrycznego zespołu ostrej niewydolności oddechowej (PARDS)

Wiek	Nie obejmuje dzieci z problemami oddechowymi związanymi z okołoporodowymi schorzeniami płuc	
Czas	Pojawia się w ciągu 7 dni od zachorowania	
Pochodzenie obrzęku	Niewydolność oddechowa, której nie można w pełni wytłumaczyć jedynie niewydolnością krążenia lub przewodnieniem	
Zmiany radiologiczne	Nowe zmiany naciekowe (jedno- lub obustronne) odpowiadające śródmiąższowemu zapaleniu płuc i niebędące efektem niedodmy lub nacieków opłucnej	
Oksygenacja	NIV (wentylacja przez pełną maskę twarzową z CPAP lub PEEP ≥ 5 cm H_2O) NIV: $PaO_2/FiO_2 \leq 300$ lub $SpO_2/FiO_2 \leq 250$ IMV IMV: OI ≥ 4 lub OSI ≥ 5	
Stratyfikacja ciężkości PARDS (określana 4 godz. po wstępnej diagnozie PARDS)	Łagodny/umiarkowany IMV-PARDS: OI < 16 lub OSI < 12 NIV-PARDS: $PaO_2/FiO_2 > 100$	Ciężki OI ≥ 16 lub OSI ≥ 12 $PaO_2/FiO_2 \leq 100$ lub $SpO_2/FiO_2 \leq 150$
Sinicze wady serca	Kryteria zgodne z powyższymi plus gwałtowne pogorszenie utlenowania niemające związku z chorobą serca	
Przewlekłe choroby płuc	Kryteria zgodne z powyższymi połączone z gwałtownym pogorszeniem utlenowania w porównaniu do stanu wyjściowego (podstawowego)	

IMV (*invasive mechanical ventilation*) – wentylacja inwazyjna; MAP (*mean airway pressure*) – średnie ciśnienie w drogach oddechowych (cm H_2O); NIV (*noninvasive mechanical ventilation*) – wentylacja nieinwazyjna; OI (*oxygen index*) – indeks oksygenacji ([MAP × FiO_2 × 100] / PaO_2); OSI (*oxygen saturation index*) – indeks saturacji ([MAP × FiO_2 × 100] / SpO_2); PaO_2/FiO_2 – stosunek ciśnienia parcjalnego tlenu do stężenia tlenu w mieszaninie wdechowej

(*high flow nasal cannula*) z przepływem ≥ 1,5 l $kg^{-1}min^{-1}$ lub 30 l min^{-1} i $PaO_2/FiO_2 \leq 300$ lub $SpO_2/FiO_2 \leq 250$.

Z kolei do grupy ryzyka rozwoju PARDS należy zaliczyć dzieci wymagające tlenoterapii biernej, która umożliwia im utrzymanie saturacji ≥ 88%, a u których brak jest kryteriów umożliwiających rozpoznanie PARDS.

2.2. Terapia oddechowa w PARDS

1. U dzieci, które nie spełniają pełnych kryteriów PARDS, a zakwalifikowano je do grupy z możliwym PARDS lub pozostają w grupie ryzyka jego rozwoju, w terapii można sięgać po metody nieinwazyjnego wsparcia oddechowego z zastosowaniem HFNC, nCPAP lub nBilevel.

2. Czas stosowania tych terapii jest ograniczony. Jeżeli nie uzyska się poprawy stanu dziecka w przedziale czasowym od 0 do 6 godz. lub jego stan wyraźnie, pomimo tych metod terapii, pogarsza się, należy zastosować procedurę intubacji dotchawiczej i wentylacji z zastosowaniem respiratora i inwazyjnych technik wentylacji mechanicznej.

3. Wentylację nieinwazyjną należy także rozważyć u dzieci znajdujących się w immunosupresji ze względu na większe u nich ryzyko powikłań związanych z IMV.

4. Nie istnieje jeden określony tryb wentylacji rekomendowany w terapii PARDS. Brakuje jak dotąd badań potwierdzających większą skuteczność czy to trybów kontrolowanych, czy wspomaganych wyzwalanych ciśnieniem lub objętością, a nawet z neuronalnym wspomaganiem wentylacji.

5. Wiadomo jednak i jest to silna rekomendacja kliniczna, że dzieci z PARDS należy wentylować zgodnie ze strategią oszczędzającą płuca (LPS, *lung protective strategy*).

6. Strategia oszczędzająca płuca oznacza stosowanie objętości oddechowej (TV, *tidal volume*) od 6 do 8 ml kg^{-1}. Objętości mniejsze, tj. 4–6 ml kg^{-1}, są zalecane jedynie w sytuacji, kiedy tylko w ten sposób można utrzymać optymalne wartości szczytowego ciśnienia wdechowego (PIP, *peak inspiratory pressure*) i P_{Plat} (*pressure plateau*) ≤ 28 cm H_2O (≤ 2 cm H_2O, w sytuacji zmniejszonej podatności klatki piersiowej) [6, 7].

7. Sugeruje się, aby ciśnienie napędowe wentylacji – *driving pressure* (DP = P_{plat} – PEEP) nie przekraczało 15 cm H_2O i zaleca się jego monitorowanie.

8. Wartość dodatniego ciśnienia końcowo-wydechowego (PEEP, *positive end-expiratory pressure*) powinna wynosić minimum 5 cm H_2O; optymalnie zaleca się zastosowanie zależności $PEEP/FiO_2$ z użyciem wartości obu tych parametrów według protokołu ARDS Network.

9. Wartość PEEP powinna być dostosowana zarówno do wartości hemodynamicznych, podatności płuc, jak i stosunku PaO_2/FiO_2 mierzonych w warunkach statycznych. Przy regulacji (zmianach) wartości PEEP konieczne jest zapewnienie prawidłowych – rekomendowanych wartości P_{plat} i/lub DP.

Omówione powyżej zasady strategii mają na celu ograniczenie wpływu niekorzystnych efektów ubocznych wentylacji mechanicznej na płuca (VILI, *ventilator induced lung injury*). Dodatkowe uzupełniające zalecenia przedstawiono poniżej:

- Celem terapii oddechowej jest utrzymanie SpO_2 w łagodnej i umiarkowanej postaci PARDS w granicach 92–97%, a w postaci ciężkiej powyżej 92%.
- W łagodnej i umiarkowanej postaci PARDS należy unikać SpO_2 poniżej 88% i powyżej 97%. W ciężkiej postaci PARDS, gdy saturacja utrzymuje się poniżej 92%, zaleca się monitorowanie saturacji krwi żylnej centralnej (z żyły centralnej).
- Zaleca się akceptację tak zwanej permisywnej hiperkapnii pod warunkiem utrzymania pH równego lub powyżej 7,2, jeżeli jest to konieczne dla zapewnienia rekomendowanych górnych wartości P_{plat}, DP i TV.
- Nie zaleca się rutynowego stosowania wodorowęglanu sodu.
- W przypadku niepowodzenia prowadzonej konwencjonalnej wentylacji mechanicznej należy rozważyć zastosowanie metod niekonwencjonalnych, a w tym HFOV.
- W przypadku niepowodzenia – braku poprawy u pacjenta z PARDS wywołanym potencjalnie odwracalnymi przyczynami przy zastosowaniu konwencjonalnych metod wentylacji mechanicznej, gdy strategia wentylacji oszczędzającej płuca nie zapewnia prawidłowej wymiany gazowej, sugeruje się wykorzystanie metody pozaustrojowego oksygenacji – ECMO [8, 9].
- Nie istnieją dokładne kryteria pozwalające na określenie, którzy z pacjentów z PARDS odniosą najlepsze korzyści z tej metody terapii.
- Decyzja o podłączeniu dziecka z rozpoznaniem PARDS do ECMO powinna się opierać na szczegółowej ocenie przebiegu choroby i stanu klinicznego dziecka dokonywanej przez zespół ekspertów.
- Ocena nie powinna być jednokrotna, lecz oparta na kilku powtarzanych w krótkim odstępie czasu analizach.
- U dzieci z zachowaną prawidłową funkcją serca należy zastosować VV ECMO.
- Terapia ECMO powinna być prowadzona w ośrodkach mających doświadczenie w tego typu terapiach, na przykład ośrodkach referencyjnych.
- Ośrodki prowadzące terapię ECMO powinny raportować wszystkie dane dotyczące ECMO do *Extracorporeal Life Support Organization* (ELSO).
- W trakcie terapii ECMO u dzieci z PARDS sugeruje się utrzymywanie prawidłowej (w zakresie normy) wartości PaO_2 i unikanie hiperoksemii.
- Po podłączeniu dziecka z PARDS do ECMO należy powoli obniżać wartości PCO_2.
- Wentylację mechaniczną u dzieci z PARDS na ECMO należy prowadzić zgodnie z LPS.
- U wszystkich dzieci, które przeżyły ECMO, należy przeprowadzać badania oceniające zarówno krótko-, jak i długoterminowy rozwój neurologiczny [6, 9].
- Brakuje rekomendacji dla stosowania metod pozaustrojowego usuwania CO_2 ($ECCO_2R$) u dzieci z PARDS [6].

3. Wskazania i przeciwwskazania – niemowlęta i dzieci (> 30. d.ż < 18. r.ż.)

W populacji dziecięcej istnieją wskazania do zastosowania VV ECMO w ciężkiej hipoksemicznej postaci PARDS, choć niestety dowody naukowe dotyczące leczenia dzieci są nadal skąpe. Niemniej, dane opublikowane przez *International ELSO Registry* w kwietniu 2021 roku podkreślają skuteczność tej metody w ponad 60–80% w tej grupie pacjentów, w której rozpoznano zapalenie płuc pochodzenia wirusowego (71%), bakteryjnego (74%), pneumocystozowego (80%), aspiracyjnego (70%) czy pourazowego (70%).

Głównym atutem VV ECMO jest z jednej strony wsparcie, gdy wentylacja mechaniczna pozostaje niewystarczająca, a z drugiej minimalizacja szkodliwego wpływu wentylacji mechanicznej *per se* i związanego z nią ryzyka. Należy podkreślić, że choroba podstawowa nie jest jedynym kryterium kwalifikacji lub dyskwalifikacji z ECLS, lecz są to ocena aktualnej wymiany gazowej w odniesieniu do bieżących parametrów wentylacji mechanicznej, tempa zmian oraz skuteczności innych terapii ratunkowych, na przykład pozycja na brzuchu (*prone positioning*), wentylacja oscylacyjna czy zastosowanie tlenku azotu. Wszystkie te aspekty należy oceniać indywidualnie, gdyż konkretne wartości nie zostały jednoznacznie ustalone.

Obecnie obowiązujące zasady kwalifikacji do ECLS zostały ogłoszone podczas konferencji PALICC-2 w 2023 roku i prezentują zmodyfikowane zalecenia z roku 2015 – obejmują poniższe rekomendacje i uwzględniają siłę rekomendacji, jakość dowodów i zgodność ekspertów [6, 10]:

1. Pacjenci z potencjalnie odwracalną przyczyną ciężkiego PARDS powinni zostać poddani terapii pozaustrojowej ECMO, gdy strategie ochrony płuc skutkują nieodpowiednią wymianą gazową – warunkowe zalecenie kliniczne (CR, *clinical recommendation*), bardzo niska jakość dowodów, zgodność 96%.

2. Decyzja o wdrożeniu ECMO powinna się opierać na rzetelnej ocenie historii choroby i stanu klinicznego, przeprowadzonych przez zespół ekspertów – zasada dobrej praktyki (GP, *good practice*), zgodność 94%.

3. Sugeruje się podejmowanie decyzji o wdrożeniu ECMO na podstawie seryjnej oceny pacjenta w porównaniu z oceną w pojedynczym momencie – warunkowe CR, niska jakość dowodów, zgodność 98%.

4. Sugeruje się stosowanie VV ECMO zamiast VA ECMO u pacjentów z PARDS, którzy mają prawidłową czynność serca – warunkowe CR, niska jakość dowodów, zgodność 94%.

5. U pacjentów z PARDS, u których nie udaje się uzyskać stabilizacji za pomocą optymalnych terapii innych niż ECMO, należ rozważyć przekazanie do ośrodka ECMO – GP, zgodność 96%.

6. Nie można wydać zaleceń dotyczących stosowania technologii pozaustrojowego usuwania dwutlenku węgla ($ECCO_2R$) u pacjentów z PARDS; konieczne są dalsze badania w celu ustalenia wskazań klinicznych do zastosowania tej metody u pacjentów z PARDS – badania kliniczne (RS, *research statement*), zgodność 92%.

Obecnie główne kryteria kwalifikacji do ECLS opierają się na poniższych kryteriach [1, 11]:

- ciężka niewydolność oddechowa z PaO_2/FiO_2 < 60 mm Hg przez 3 godziny lub PaO_2/FiO_2 < 80 mm Hg lub OI > 40 przez 6 godzin
  $OI = (MAP \times FiO_2 \times 100): PaO_2$
- brak odpowiedzi na wentylację konwencjonalną i/lub inne formy terapii ratunkowych (np. *prone position*, wentylacja wysokimi częstotliwościami, tlenek azotu),
- zwiększone parametry wentylacji – średnie ciśnienie w drogach oddechowych (MAP, *mean airway pressure*) > 20–25 cm H_2O,
- utrzymująca się ciężka kwasica oddechowa (pH < 7,1) – decyzja o ECMO podjęta w czasie krótszym niż 7 dni maksymalnej wentylacji.

Można również zastosować kryteria według badania EOLIA (*ECMO to Rescue Lung Injury in Severe ARDS*), w którym Combes i wsp. [12] oceniali wpływ wczesnego zastosowania ECMO u pacjentów z najcięższymi postaciami ARDS u dorosłych. Do badania kwalifikowano pacjentów spełniających kryteria definicji ARDS według *American-European Consensus Conference*, którzy byli zaintubowani i wentylowani mechanicznie krócej niż 7 dni, a pomimo optymalnych ustawień respiratora nadal spełniali co najmniej jedno z predefiniowanych kryteriów ciężkości. Kryteria te są obecnie powszechnie stosowane jako progi kwalifikacji do leczenia z zastosowaniem ECMO w populacji pacjentów dorosłych z ciężkim ARDS. Kryteria z badania EOLIA obejmują:

- PaO_2/FiO_2 < 50 mm Hg > 3 godziny,
- PaO_2/FiO_2 < 80 mm Hg > 6 godzin,
- pH < 7,25 z $PaCO_2$ > 60 mm Hg.

Podczas oceny dzieci z ciężką niewydolnością oddechową pod kątem zastosowania VV ECMO ważne jest ustalenie, czy choroba jest potencjalnie odwracalna, co dotyczy zdecydowanej większości dzieci w porównaniu z dorosłymi. Nieodwracalne, śmiertelne choroby płuc, takie jak dysplazja naczyń włosowatych pęcherzyków płucnych lub niedobór surfaktantu, występują wyjątkowo rzadko i głównie w okresie noworodkowym. U starszych dzieci z nieodwracalnymi schorzeniami, takimi jak mukowiscydoza, ECLS należy rozważyć jako leczenie wspomagające w przypadku ostrych zaostrzeń lub jako pomost do przeszczepienia płuc.

U dzieci ciężka hipoksja i/lub hiperkapnia są wskazaniem do zastosowania VV ECMO, niezależnie od rodzaju i dawek leków inotropowych [13, 14]. W przypadku współistniejącego wstrząsu preferowane jest jednak VA ECMO lub hybrydowe VAV ECMO w celu mechanicznego wspomagania krążenia.

Przeciwwskazania do zastosowania techniki pozaustrojowego natleniania można podzielić na bezwzględne i względne, pamiętając jednak o rozsądnym i wiarygodnym rozpatrzeniu tych drugich jako potencjalnych sytuacji nieprzynoszących korzyści w procesie leczenia, a jednocześnie obarczonych dużym ryzykiem [11, 15].

Przeciwwskazania bezwzględne:

- letalna aberracja chromosomalna,

- nieodwracalne uszkodzenie ośrodkowego układu nerwowego (OUN),
- krwawienie dokomorowe OUN – IVH > III°,

Przeciwwskazania względne:

- wentylacja mechaniczna 100% O_2 > 14 dni,
- nieodwracalne uszkodzenie narządów,
- duże prawdopodobieństwo złego rokowania,
- zabiegi neurochirurgiczne (w ostatnim tygodniu).

Dodatkowo, należy rozważyć słuszność wdrożenia ECLS u pacjentów tak zwanego dużego ryzyka, z potencjalnie złym rokowaniem, gdy pacjent z dużym prawdopodobieństwem nie odniesie korzyści z tej techniki:

- duże krwawienie wewnątrzczaszkowe z efektem masy,
- nagłe zatrzymanie krążenia z powodu niedotlenienia bez odpowiedniej resuscytacji krążeniowo-oddechowej,
- nieodwracalna, podstawowa patologia serca lub płuc (niekwalifikująca się do przeszczepienia),
- nadciśnienie płucne i przewlekła choroba płuc,
- przewlekła niewydolność wielonarządowa,
- anomalie naczyń i/lub wcześniejsze interwencje na naczyniach w celu prowadzenia ECMO i/lub infekcja w miejscu założenia kaniuli,
- nieuleczalna choroba nowotworowa,
- allogeniczni biorcy szpiku kostnego,
- stany o gorszym rokowaniu w przypadku ECLS układu oddechowego:
  - niewydolność wątroby lub nerek,
  - zakażenie krztuścem u niemowląt,
  - grzybicze zapalenie płuc,
  - zakażenie cytomegalowirusem,
  - niedobór odpornościowy.

Rozpoczęcie wsparcia z zastosowaniem VV ECMO poza powyższymi kryteriami można rozważyć, gdy pacjent jest niestabilny i nie może bezpiecznie przejść przez algorytm PARDS z powodu braku możliwości bezpiecznego wykonania konwencjonalnych strategii (np. ułożenie na brzuchu) lub gdy są one niedostępne w ośrodku leczącym, a ECMO jest wymagane do bezpiecznego transportu do doświadczonego ośrodka, tak zwane ratunkowe ECMO. Podobnie, jeśli stan pacjenta przekroczył standardowe kryteria, a decyzja o rozpoczęciu ECMO jest opóźniona, ECMO może być nadal uważane za terapię „ratunkową" [12, 16].

Podsumowując, należy stwierdzić, że w erze, w której technologia i sprzęt stosowany w ECLS są systematycznie ulepszane i modyfikowane, częstość powikłań najprawdopodobniej będzie malała, dlatego konieczne są dalsze badania nad rolą VV ECMO w ciężkiej niewydolności oddechowej w populacji pediatrycznej z określeniem punktów spustowych, wskazań i przeciwwskazań [17].

4. Optymalizacja stanu pacjenta

Podczas rozważania wdrożeniem terapii ECMO należy wykorzystać możliwości zaawansowanych technik wentylacji mechanicznej i optymalizacji stanu ogólnego pacjenta. Są to w szczególności:

1) wykluczenie lub usunięcie potencjalnie odwracalnych przyczyn niewydolności oddechowej;

2) wentylacja według zasad LPS z VT 6–8 ml kg^{-1} przy idealnej masie ciała (IBW, *ideal body weight*) lub 4–6 ml kg^{-1}, jeśli jest to konieczne, aby utrzymać wartości poniżej zalecanych poziomów ciśnienia plateau (P_{Plat}), $P_{Plat} \leq 28$ cm H_2O, a w przypadku obniżonej podatności ściany klatki piersiowej $P_{Plat} \leq 32$ cm H_2O, DP ≤ 15 cm H_2O [6];

3) miareczkowanie PEEP – w zależności od PaO_2, FiO_2, parametrów hemodynamicznych oraz podatności układu oddechowego. Poziom równy lub wyższy niż poziom określony w tabeli niskiego PEEP/FiO_2 opracowanej przez *Acute Respiratory Distress Syndrome Network* (ARDSNet) [6];

4) stosowanie manewrów rekrutacji płuc, które nie jest rutynowo zalecane, lecz w sytuacjach ich użycia powinny one obejmować indywidualną ocenę optymalnego poziomu PEEP w celu poprawy utlenowania, przy jednoczesnym minimalizowaniu ryzyka wystąpienia barotraumy [1];

5) HFOV wykazująca korzystne działanie u dzieci z ciężkim ARDS, jednak przy braku dowodów potwierdzających jej wyższość nad konwencjonalną wentylacją mechaniczną (CMV, *continuous mandatory ventilation*). Wentylacja z uwalnianiem ciśnienia w drogach oddechowych (APRV, *airway pressure release volume*) również może być stosowana, jednak nie ma dowodów, że zmniejsza śmiertelność lub potrzebę zastosowania pozaustrojowego wspomagania krążeniowo-oddechowego (ECLS). ELSO zaleca, aby klinicyści stosowali te tryby wentylacji, z którymi mają największe doświadczenie w leczeniu dzieci z ciężką niewydolnością oddechową [1];

6) *prone position* – dane dotyczące stosowania *prone position* u dzieci wskazują na poprawę wymiany gazowej, wynikającą z korzystniejszego dopasowania wentylacji i perfuzji (V/Q), nie potwierdzono jednak jej istotnego wpływu na wyniki kliniczne. Mimo braku

jednoznacznych danych pediatrycznych, silne dowody dotyczące skuteczności *prone position* w populacji dorosłych oraz jego uzasadnienie fizjologiczne potwierdzają zasadność stosowania tego manewru, o ile jest on możliwy do bezpiecznego wykonania przed wdrożeniem ECMO [18]. Doświadczenie kliniczne wskazuje, że korzystnych efektów *prone position* można oczekiwać szczególnie, gdy największe nasilenie obszarów niedodmowych lokalizuje się w położonych grzbietowo obszarach miąższu płucnego;

7) iNO – dostępne dane dotyczące stosowania tlenku azotu przed wdrożeniem pozaustrojowego wspomagania krążeniowo-oddechowego (ECLS) pozostają niejednoznaczne [19, 20]. Wytyczne PALICC zalecają rozważenie próby zastosowania iNO przed wdrożeniem ECLS szczególnie u pacjentów z nadciśnieniem płucnym lub dysfunkcją prawej komory serca. Podkreśla się w nich jednak, że u pacjentów w stanie niestabilnym hemodynamicznie, stosowanie iNO nie powinno prowadzić do opóźnienia procedury ECMO [6];

8) adekwatna sedacja i środki zwiotczające mięśnie (NMBA, *neuromuscular blocking agent*) – ich wdrożenie należy rozważyć na wczesnym etapie leczenia ciężkiej niewydolności oddechowej, zwłaszcza w przypadkach, gdy zastosowanie samej sedacji nie umożliwia optymalnego prowadzenia wentylacji mechanicznej [21];

9) staranna, częsta i ostrożna toaleta drzewa oskrzelowego w celu zminimalizowania ryzyka derektrutacji; nie ma rekomendacji odnośnie do stosowania zamkniętego lub otwartego systemu ssącego;

10) inne terapie wspomagające, takie jak podawanie surfaktantu czy stosowanie kortykosteroidów – nie są poparte wystarczającymi dowodami naukowymi uzasadniającymi ich rutynowe wykorzystanie u dzieci z ciężką niewydolnością oddechową. Możliwe jest występowanie pewnych korzyści stosowania glikokortykosteroidów u pacjentów z PARDS spowodowanym zakażeniem wirusem SARS-CoV-2 (*severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*). Nie ma jednak wystarczających danych, aby formułować zalecenia dotyczące stosowania tej terapii w innych, specyficznych populacjach pacjentów;

11) optymalna płynoterapia prowadzona tak, aby zapewnić odpowiednie dostarczanie tlenu do tkanek i prawidłową pracę narządów przy jednoczesnym unikaniu przeciążenia organizmu nadmiarem płynów, a w razie potrzeby użycia ciągłych technik nerkozastępczych;

12) optymalizacja układu krążenia – u wszystkich pacjentów z PARDS należy prowadzić monitorowanie hemodynamiczne w celu oceny wpływu wentylacji i samej choroby na funkcję prawej i lewej komory serca oraz w celu określenia efektywności dostarczania tlenu do organizmu;

13) ograniczenie występowania zapalenia płuc związanego z mechaniczną wentylacją (VAP, *ventilator associated pneumonia*) poprzez higienę rąk personelu, płukanie jamy ustnej środkiem antyseptycznym, utrzymywanie ciśnienia w mankiecie rurki intubacyjnej dotchawiczej ≥ 20 cm H_2O, pozycję półsiedzącą, wymianę obwodu oddechowego tylko przy widocznym zabrudzeniu, odprowadzanie kondensatu z dala od pacjenta oraz skracanie czasu wentylacji do minimum. Czynniki ryzyka wystąpienia VAP obejmują: żywienie enteralne, stosowanie leków, takich jak inhibitory pompy protonowej czy leki blokujące receptor histaminowy H_2, ponowną intubację, aspirację wydzieliny z dróg oddechowych, używanie skażonego sprzętu medycznego, długi czas trwania wentylacji mechanicznej, współistnienie zespołów genetycznych, chorób neurologicznych lub sercowo-naczyniowych [22];

14) monitorowanie wartości FiO_2, SpO_2 i/lub PaO_2, MAP oraz PEEP, które powinno być stosowane w celu potwierdzenia rozpoznania PARDS, oceny jego nasilenia oraz prowadzenia terapii;

15) przed planowanym transportem pacjenta wskazane jest przeprowadzenie próby wentylacji przy użyciu respiratora transportowego w warunkach oddziału intensywnej terapii, w celu oceny skuteczności i bezpieczeństwa takiego sposobu prowadzenia oddechu podczas transportu [2].

5. Organizacja zespołu ECMO

Implantacja układu ECMO w podstawowych konfiguracjach zarówno VV, jak i VA jest typową procedurą wykonywaną zwykle na bloku operacyjnym kardiochirurgicznym, z zachowaniem warunków aseptyki, z zabezpieczeniem sprzętu typowego dla zabiegu w krążeniu pozaustrojowym, obarczonego potencjalnym ryzykiem masywnego krwawienia [2]. Z tego powodu procedurę tę powinien wykonać wysokospecjalistyczny zespół. U pacjenta z rozpoznaniem PARDS, leczonego na oddziale anestezjologii i intensywnej terapii dziecięcej w szpitalu nieposiadającym oddziału kardiochirurgii dziecięcej konieczne może być przeprowadzenie tej procedury w szpitalu macierzystym przed przekazaniem do ośrodka referencyjnego, gdzie

będzie kontynuowana procedura ECMO, dlatego konieczne jest zapewnienie odpowiednich warunków przeprowadzenia tej procedury na miejscu, przed tak zwanym transportem ECMO, we współpracy z zespołem wyjazdowym.

Implantacja i późniejszy sukces wsparcia ECMO mogą zależeć od efektywnej ścisłej współpracy wszystkich członków zespołu, zwłaszcza w szpitalach nieposiadających oddziału kardiochirurgii dziecięcej, w których doświadczenie w tego typu zabiegach jest mniejsze. Poniżej został opisany skład zespołu koniecznego do przeprowadzenia procedury rozpoczęcia ECMO, z uwzględnieniem zakresu odpowiedzialności:

- specjalista anestezjologii i intensywnej terapii – znieczulenie i intensywna terapia chorego (ASA IV–V),
- specjalista anestezjologii i intensywnej terapii/specjalista chirurgii ogólnej/naczyniowej/kardiochirurgii (operator) – implantacja kaniuli i podłączenie do systemu ECMO,
- asystent operatora – asysta podczas implementacji układu ECMO,
- perfuzjonista – przygotowanie, sprawdzenie i uruchomienie układu ECMO, kontrola parametrów pracy urządzenia,
- pielęgniarka anestezjologiczna – współudział podczas znieczulenia pacjenta ASA IV–V/intensywna opieka nad pacjentem,
- pielęgniarka operacyjna – asysta podczas zabiegu naczyniowego,
- technik RTG – monitorowanie z zastosowaniem metod radiologicznych.
- Wymagania sali operacyjnej, która powinna spełniać wszystkie standardowe wymogi niezbędne do wykonania implantacji, podłączenia i uruchomienia ECMO, obejmują dodatkowe elementy [23]:
- USG z głowicą liniową minimum 11 MHz oraz głowicą sektorową 2–5 MHz (echokardiografia przezklatkowa),
- aparat RTG z ramieniem C/aparat RTG,
- zabezpieczenie minimum 2 jednostek koncentratu krwinek czerwonych (KKCz) oraz 1 jednostki rozmrożonego, gotowego do użycia osocza świeżo mrożonego (FFP, *fresh frozen plasma*); KKCz dla pacjentów z masą ciała mniejszą niż 15 kg masy powinien spełnić kryterium czasowe przechowywania poniżej 5 dni,
- cewniki naczyniowe przeznaczone do procedury ECMO oraz zestawy do ich wprowadzania, które są właściwe zarówno dla dzieci, jak i dla młodzieży – zabezpieczone przez zespół transportowy ECMO.

W celu podłączenia VV ECMO kaniulację naczyń można przeprowadzić z zastosowaniem dwóch cewników żylnych w układzie: żyła udowa–żyła szyjna wewnętrzna lub żyła udowa–żyła udowa lub pojedynczym cewnikiem dwuświatłowym, wprowadzonym przez żyłę szyjną wewnętrzną [24]. O wyborze techniki decydują warunki anatomiczne i średnica naczyń krwionośnych u pacjenta. Dobrą praktyką jest wykonanie pomiarów naczyń krwionośnych z zastosowaniem USG Doppler przed zgłoszeniem do ośrodka referencyjnego. Kaniulacja przeprowadzana jest techniką Seldingera poprzez nakłucie pod kontrolą USG lub poprzez chirurgiczne wypreparowanie naczynia [25]. Prawidłowe umiejscowienie kaniul potwierdza się badaniem RTG i/lub echokardiografią przezklatkową bądź przezprzełykową (TTE/TEE, *transthoracic echocardiography/transesophageal echokardiography*) w zależności od dostępności i doświadczenia operatora [26].

W przypadku VA ECMO możliwe są dostępy obwodowe: żyła udowa/tętnica udowa, żyła szyjna/tętnica udowa oraz dostęp centralny łuk aorty/prawy przedsionek. Kaniulację obwodową można wykonać poprzez chirurgiczne wypreparowanie tętnicy, natomiast dostęp centralny wymaga torakotomii [27].

5.1. Zespół wyjazdowy

Implantacja i uruchomienie ECMO w szpitalu zgłaszającym, przed transportem do ośrodka referencyjnego, którym jest oddział anestezjologii i intensywnej terapii dziecięcej w szpitalu posiadającym oddział kardiochirurgii dziecięcej, wymaga zabezpieczenia sprzętowego oraz personalnego opisanego powyżej. Największym wyzwaniem dla zespołu wyjazdowego i szpitala zgłaszającego jest konieczność współpracy zespołów, które nigdy wcześniej nie pracowały ze sobą; w obcym miejscu (dla zespołu wyjazdowego), podczas procedury, w której nigdy wcześniej nie uczestniczyli (dla szpitala zgłaszającego), dodatkowo w odniesieniu do pacjenta krytycznie chorego. Aby uczynić te działania możliwie najbezpieczniejszymi, za organizację niezbędnego sprzętu i środków, procedurę ECMO oraz intensywną terapię od uruchomienia ECMO do zakończenia transportu odpowiada kierownik zespołu wyjazdowego, posiadający największe doświadczenie w tym rodzaju terapii [28]. Transport chorego z uruchomionym ECMO odbywa się do ośrodka referencyjnego jako „transport na siebie".

Karetka, którą transportowany jest pacjent podczas procedury ECMO, musi zapewnić zespołowi możliwość prowadzenia standardowej intensywnej terapii krytycznie chorego, zwłaszcza w pierwszych godzinach po implantacji ECMO, przed osiągnięciem homeostazy. Niezbędny jest dostęp do chorego minimum z dwóch stron (od głowy oraz od boku) oraz dostęp do leków, środków medycznych i konsoli sterujących oraz monitorów przez cały okres transportu – bez konieczności wypinania pasów bezpieczeństwa w trakcie ruchu pojazdu [29]. Kolejnym warunkiem bezpiecznego transportu jest zapewnienie pracy sprzętu wymagającego zasilania w O_2 oraz prąd zmienny 230V. Zasilanie bateryjne rezerwuje się wyłącznie dla „boardingu", czyli przejazdu noszami z bloku operacyjnego do karetki oraz z karetki na oddział anestezjologii i intensywnej terapii dziecięcej, jak również sytuacji awaryjnych. Należy pamiętać, że pacjent poddany terapii techniką zewnątrzustrojową jest niezwykle wrażliwy na jatrogenną hipotermię, wymaga zatem odpowiedniego zabezpieczenia [30, 31], a kaniule często nie posiadają fabrycznego systemu zabezpieczającego przed wysunięciem. Pomimo wsparcia VV ECMO podczas transportu chory często wymaga agresywnej wentylacji ze ściśle ustalonymi parametrami PEEP, Pi oraz BR (*breath rate*), I/E (*inspiration/expiration*). Decyzja o kwalifikacji do ECLS powinna uwzględniać powyżej omówione wskazania i przeciwwskazania, a czynniki zewnętrzne, takie jak warunki atmosferyczne czy odległość od szpitala zgłaszającego, nie powinny być przeszkodą w realizacji transportu ECMO, pod warunkiem zachowania maksymalnego bezpieczeństwa. Biorąc pod uwagę powyższe założenia pojazd musi spełnić następujące warunki:

- agregat prądotwórczy/APU lub przetwornica 12V DC/230V AC o mocy minimum 2000 W,
- ogrzewanie postojowe (niezależne od silnika oraz zasilania zewnętrznego),
- zapas tlenu: minimum 4 butle 8-litrowe oraz 3 butle przenośne 2-litrowe; podana ilość tlenu jest zabezpieczeniem podstawowym i powinna być powiększona, gdy wymagają tego stan chorego, parametry wentylacji oraz przewidywany czas transportu,
- zapasowy respirator,
- torba medyczna według standardu PSP R1,
- urządzenia zapewniające łączność pomiędzy wszystkimi członkami zespołu (GSM i PMR),
- zapasowe pompy infuzyjne,
- zapas paliwa i kabel zasilający umożliwiające przymusowy postój.

W sytuacji dogodnych warunków atmosferycznych i jednocześnie dużej odległości pomiędzy szpitalem zgłaszającym a ośrodkiem referencyjnym, możliwe jest wsparcie lotnictwa sanitarnego (lotniczego pogotowia ratunkowego) [32]. W przypadku transportu lotniczego transport powinien być realizowany samolotem spełniającym takie same warunki w zakresie wyposażenia jak specjalistyczna karetka.

6. Wybrane aspekty leczenia pacjentów z zastosowaniem VV ECMO

Leczenie pacjentów pediatrycznych z niewydolnością oddechową ze wsparciem VV ECMO jest złożone i wymaga doświadczenia. Zaleca się, aby tacy pacjenci byli prowadzeni w ośrodkach z doświadczeniem w prowadzeniu terapii ECMO. Przed zespołem zajmującym się pacjentem z PARDS ze wsparciem VV ECMO stoją liczne wyzwania [1].

6.1. Antykoagulacja

W trakcie leczenia pacjenta ze wsparciem ECMO kontakt krwi chorego z nienabłonkową powierzchnią kaniul i oksygenatora prowadzi do aktywacji krzepnięcia, zagrażającej zakrzepicą układu i/lub zatorowością u pacjenta. Bezpieczne i skuteczne prowadzenie ECMO wymaga zatem stosowania ogólnoustrojowej antykoagulacji [33]. Z jednej strony podłączenie układu prowadzi do hemodylucji i koagulopatii z rozcieńczenia, aktywacji i uszkodzenia płytek krwi (*sheer stress*), hemolizy, uszkodzenia multimerów czynnika von Willebrandta, aktywacji fibrynolizy i inicjacji odpowiedzi zapalnej. Z drugiej zaś w obrazie tych zaburzeń znaczenie ma również stan koagulologiczny chorego: poziom czynników krzepnięcia i płytek krwi, wcześniejsza aktywacja krzepnięcia. Pacjent w trakcie ECMO jest więc jednocześnie narażony na duże ryzyko krwawienia i powikłań zakrzepowo-zatorowych [34]. Leczenie przeciwzakrzepowe przebiega równolegle z leczeniem koagulopatii. Cel: brak skrzepów w układzie i prawidłowe krzepnięcie pacjenta.

Podstawowym lekiem przeciwzakrzepowym pozostaje heparyna niefrakcjonowana (UFH, *unfractionated heparyn*). Zalety heparyny: wieloletnie doświadczenia w stosowaniu, krótki okres półtrwania, dostępność antidotum. Wady: zmienna farmakokinetyka leku

w zależności od wieku (okres półtrwania u dzieci 35–75 minut), poziomu antytrombiny III, a co za tym idzie możliwa nieprzewidywana odpowiedź pacjenta, możliwość oporności na heparynę, brak pewnej metody monitorowania, ryzyko trombocytopenii indukowanej heparyną [35].

Standardowa dawka przy podłączeniu układu ECMO to 50–100 jm kg m.c.$^{-1}$.

W sytuacji wcześniejszego krwawienia, operacji czy krążenia pozaustrojowego należy rozważyć podanie mniejszej dawki. Po podaniu pierwszej dawki heparyny należy monitorować czas krzepnięcia po aktywacji (ACT, *activated clotting time*) co 30 minut [36].

Wlew heparyny należy rozpocząć przy ACT < 180–200 s. Dawka heparyny jest zwykle większa niż u dorosłych i wynosi 28 j. kg^{-1}h^{-1} u niemowląt i 20 j. kg^{-1}h^{-1} u dzieci powyżej 1. r.ż. [36].

Monitorowanie leczenia przeciwzakrzepowego heparyną powinno obejmować kombinację metod: oznaczanie czasów częściowej tromboplastyny po aktywacji (aPTT, *activated partial thromboplastin time*), ACT, aktywności anty-Xa oraz tak zwanych globalnych testów hemostazy [1, 36, 37].

6.2. Ograniczenia i korzyści dostępnych testów krzepnięcia

Sugerowaną częstotliwość wykonywania testów [1, 33] przedstawiono w tabeli 3.

Dodatkowo testy (aPTT, ACT lub anty-Xa) wykonuje się w przypadku przetoczenia osocza lub preparatu AT III po 4 godzinach. Rekomenduje się uzyskanie poniższych celów [33]:

- aktywność anty-Xa 0,35–0,7 jm. ml^{-1},
- aPTT 1,5–2,5 raza wydłużony w stosunku do wartości wyjściowej,
- najczęściej zalecana wartość ACT 180–220 s – może różnić się w zależności od stosowanego urządzenia.

W sytuacji stwierdzenia istotnych rozbieżności pomiędzy wynikami testów zaleca się wnikliwą analizę potencjalnych przyczyn.

W wybranych sytuacjach klinicznych takich jak trombocytopenia indukowana heparyną (HIT, *heparin induced thrombocytopenia*), oporność na heparynę, zakrzepica układu pomimo leczenia heparyną, alternatywą dla heparyny może być zastosowanie biwalirudyny [38]. Na obecnym etapie nie ma wystarczających dowodów, aby rekomendować biwalirudynę jako lek pierwszego rzutu.

Biwalirudyna jest bezpośrednim inhibitorem trombiny, wiąże zarówno trombinę wolną, jak i związaną w skrzepie. Jest metabolizowana głównie przez enzymy proteolityczne, w 20% wydalana przez nerki. Okres półtrwania u dzieci to 15–42 minut, ulega jednak wydłużeniu w niewydolności nerek. Zalety: przewidywalny efekt działania i stabilna antykoagulacja. Wady: ograniczone doświadczenie, wysoki koszt, brak specyficznego antidotum i specyficznego monitorowania. Zasadniczo do kontroli leczenia używa się APTT, cel stanowi 60–90 s.

6.3. Strategia przetoczeń krwi i preparatów krwiopochodnych u dzieci leczonych z zastosowaniem VV ECMO

Zgodnie z wytycznymi ELSO [36] oraz *The Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation CollaborativE (PEACE) Consensus Conference* [37] istnieje konsensus, że przetoczenia krwi i preparatów krwiopochodnych u chorych na ECMO należy ograniczyć.

Koncentrat krwinek czerwonych

Nie wypracowano jasnej rekomendacji co do optymalnego poziomu hemoglobiny u dziecka podłączonego do ECMO. Zalecenia ELSO z 2021 roku [33] sugerowały poziom Hgb > 7–9 g l^{-1}, z wyjątkiem noworodków i dzieci z siniczymi wadami serca oraz chorych, u których utrzymuje się hipoksemia pomimo zwiększania przepływu krwi w układzie ECMO. To zalecenie nie zostało podtrzymane w rekomendacjach *PEACE Consensus Conference*, według których jeśli u pacjenta nie stwierdza się krwawienia, decyzja o przetoczeniu zależy od obrazu klinicznego i całościowej oceny konsumpcji i podaży tlenu, a nie jedynie od poziomu hemoglobiny.

Osocze antyhemofilowe

Nie ma korzyści z profilaktycznego przetaczania osocza lub koncentratu czynników krzepnięcia przy INR < 1,5.

Koncentrat krwinek płytkowych

Nie ma korzyści z przetaczania preparatów KKP, jeśli poziom płytek krwi (PLT) wynosi > 100 000 ml^{-1}.

Tabela 2. Podsumowanie dostępnych testów krzepnięcia

Test	Korzyści	Ograniczenia
ACT	Test z krwi pełnej. Ocenia końcowy efekt kaskady krzepnięcia	Zależny od poziomu i funkcji płytek krwi, fibrynogenu i czynników krzepnięcia, poziomu D-dimerów oraz innych czynników wpływających na hemostazę: hipotermia, hemodylucja, anemia
	Tani	Brak standaryzacji urządzeń i probówek
	Dostępny, przyłóżkowy	Brak zależności między wynikiem a stężeniem heparyny i aktywnością anty-Xa
aPTT	Test osoczowy	Różnorodność wyniku: ta sama dawka UFH wywołuje mniejsze wydłużenie aPTT u małych dzieci niż u starszych i dorosłych. Na wynik mają również wpływ: niedobór czynników krzepnięcia, hiperbilirubinemia, hiperlipidemia, obecność przeciwciał antyfosfolipidowych
	„Złoty standard" do oceny działania UFH poza terapią ECMO	
	Dostępny	Brak standaryzacji odczynników
Anty-Xa	Ocenia wpływ heparyny na zależne od AT III zahamowanie czynnika Xa. Nie zależy od poziomu czynników krzepnięcia ani PLT	Ograniczona dostępność
	Lepsza korelacja między wynikiem a dawką/stężeniem UFH	Fałszywie niski wynik przy poziomie wolnej hemoglobiny > 50 mg dl^{-1}, triglicerydów > 500 mg dl^{-1}, bilirubiny > 6 mg dl^{-1}
Globalne testy hemostazy (TEG, ROTEM)	Testy krwi pełnej	Ograniczona dostępność i doświadczenie
	Przyłóżkowe	Wysoki koszt
	Dostarczają informacji o sile skrzepu i fibrynolizie	–

ACT (*activated clotting time*) – czas krzepnięcia po aktywacji; anty-Xa – test monitorujący zahamowanie aktywnego czynnika X przez heparyny (frakcjonowaną i niefrakcjonowane); aPTT (*activated partial thromboplastin time*) – czas częściowej tromboplastyny po aktywacji; AT III – antytrombina III; ECMO (*extracorporeal membrane oxygenation*) – pozaustrojowa oksygenacja membranowa; PLT – płytki krwi; TEG – tromboelastografia; ROTEM – tromboelastometria rotacyjna; UFH (*unfractionated heparin*) – heparyna niefrakcjonowana

Tabela 3. Częstotliwość wykonywania testów

Test	Częstotliwość
ACT	co 1–2 godz., w pierwszych 6 godzinach, następnie co 6 godzin
aPTT	co 6–12 godz.
anty-Xa	co 6–12 godz.
PLT	co 6–12 godz.
INR	co 12–24 godz.
Fibrynogen	co 12–24 godz.
WBC	co 12–24 godz.
AT III	co 24 godz.
Wolna hemoglobina	co 24 godz.
TEG/ROTEM	co 24 godz., dodatkowo w przypadku krwawienia lub zakrzepicy

ACT (*activated clotting time*) – czas krzepnięcia po aktywacji; anty-Xa – test monitorujący zahamowanie aktywnego czynnika X przez heparyny (frakcjonowaną i niefrakcjonowane); aPTT (*activated partial thromboplastin time*) – czas częściowej tromboplastyny po aktywacji; AT III – antytrombina III; INR (*international normalized ratio*) – międzynarodowy współczynnik znormalizowany; PLT – płytki krwi; TEG – tromboelastografia; ROTEM – tromboelastometria rotacyjna; WBC (*white blood cells*) – liczba białych krwinek

Fibrynogen

U chorych z niskim poziomem fibrynogenu < 1 g l^{-1} można rozważyć profilaktyczne przetoczenie krioprecypitatu i/lub koncentratu fibrynogenu jako profilaktykę krwawienia.

Antytrombina III

Nie ma danych na temat rutynowego podawania preparatów AT III u chorych na ECMO. W przypadku niemożności uzyskania efektów terapeutycznych pomimo zwiększania podawania heparyny można rozważyć podanie preparatu. Cel: aktywność AT III > 50–80%. Po przetoczeniu zaleca się kontrolę testów hemostazy i ocenę chorego w celu oceny objawów krwawienia bądź zakrzepicy.

Profilaktyka krwawienia

Jako profilaktykę krwawienia zaleca się stosowanie miejscowych preparatów hemostatycznych.

6.4. Strategia postępowania u pacjentów z VV ECMO, wymagających zabiegu o małym ryzyku krwawienia

Dotyczy procedur, podczas których krwawienie jest łatwe do rozpoznania i opanowania:

1. Należy rozważyć zmniejszenie lub zatrzymanie leczenia przeciwkrzepliwego w zależności od rodzaju procedury, lokalizacji, ryzyka krwawienia i zakrzepicy.
2. Należy zastosować miejscowe materiały hemostatyczne.
3. Nie ma uzasadnienia rutynowego stosowania leków antyfibrynolitycznych.

6.5. Strategia postępowania u pacjentów z VV ECMO, wymagających zabiegu o dużym ryzyku krwawienia

1. Należy rozważyć zastosowanie leków antyfibrynolitycznych przed zabiegiem i co najmniej przez 24 godziny po zabiegu.
2. Należy utrzymywać poziom PLT > 100 000 ml^{-1} i fibrynogenu powyżej 150 mg dl^{-1}.
3. Należy stosować miejscowe materiały hemostatyczne.
4. Należy rozważyć zmniejszenie lub zatrzymanie leczenia przeciwkrzepliwego w zależności od rodzaju i lokalizacji procedury, możliwości hemostazy chirurgicznej, stanu chorego i stanu układu.

Nie zaleca się stosowania preparatu rekombinowanego czynnika VII (r FVIIa) z uwagi na duże ryzyko zakrzepicy, z wyjątkiem zagrażającego życiu krwawienia opornego na przetoczenia.

6.6. Strategia postępowania u pacjenta z VV ECMO z rozpoznaniem krwotoku

1. Należy utrzymywać:
   - poziom PLT > 100 000 ml^{-1} i wyżej w przypadku dysfunkcji płytek,
   - INR < 1,5,
   - fibrynogen > 1,5 g dl^{-1}.
2. W przypadku intensywnego krwotoku należy rozważyć zmniejszenie lub zatrzymanie antykoagulacji.
3. W przypadku krwawień utrzymujących się pomimo przetoczeń, terapii antyfibrynolitycznej i zmniejszenia/zatrzymania antykoagulacji, należy rozważyć podanie koncentratu protrombiny.
4. W przypadku masywnego krwawienia należy aktywować protokół masywnej transfuzji ze zrównoważoną resuscytacją preparatami krwi i krwiopochodnymi.
5. W przypadku masywnego krwawienia z objawami koagulopatii ze zużycia należy ocenić wszystkie potencjalne przyczyny przy uwzględnieniu stanu układu, zakrzepicy u chorego lub rozwoju zespołu rozsianego wykrzepiania wewnątrznaczyniowego.

6.7. Leczenie żywieniowe

U krytycznie chorych dzieci, u których zastosowano ECMO, dochodzi do zaburzeń metabolicznych z powodu uogólnionej reakcji zapalnej i hipermetabolizmu ze znacznym zwiększeniem zapotrzebowania na energię, niedoborów oraz utraty białka i mikroelementów, niewydolności nerek oraz zaburzeń elektrolitowych. Pacjenci leczeni z zastosowaniem ECMO mają zwiększone zapotrzebowanie na białko, ze względu na rozpad białka najsilniejszy spośród wszystkich krytycznie chorych. Warto zaznaczyć, że wielu pacjentów prezentuje objawy niedożywienia jeszcze przed rozpoczęciem terapii ECMO. U dzieci leczonych ECMO niedożywienie jest niezależnym czynnikiem śmiertelności szpitalnej, chorobowości i przedłużonej terapii ECMO [39].

1. U każdego chorego należy dokonać oceny stanu odżywienia przy rozpoczęciu terapii ECMO, a następnie

Tabela 4. Równanie Shoefielda

Wiek (lata)	Dziewczynki	Chłopcy
< 3	58,317 × m.c. – 31,1	59,512 × m.c. – 30,4
3–10	20,315 × m.c. + 485,9	22,706 × m.c. + 504,3
10–18	13,384 × m.c. + 692,6	17,686 × m.c. + 658,2

dokonywać regularnej kontroli masy ciała, oceny wskaźnika wzrost/masa ciała, pomiarów antropometrycznych. Należy także kontrolować poziom albumin.

2. Podstawowe zapotrzebowanie na energię należy ustalić z zastosowaniem równania Shoefielda (tab. 4) [40]. Całkowite zapotrzebowanie na energię zależy od choroby podstawowej i stosowanego leczenia (sedacja, wentylacja mechaniczna) i może kilkukrotnie przekraczać zapotrzebowanie podstawowe – na przykład w sepsie o 300% [41].

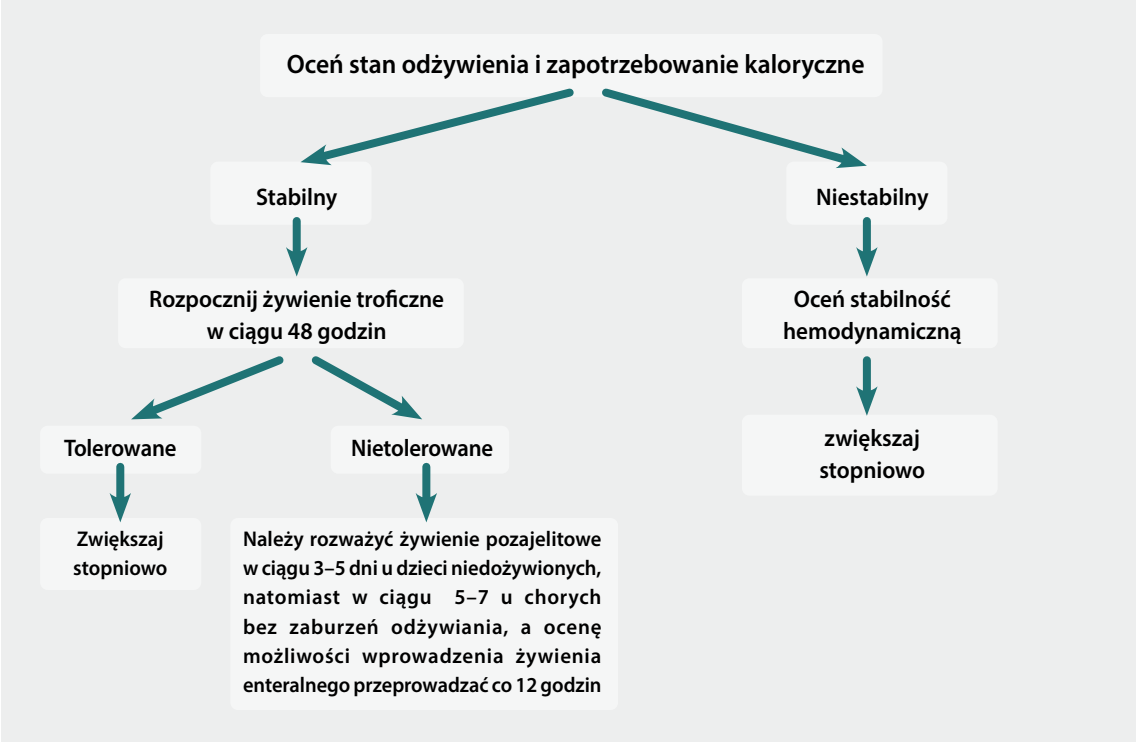
3. Minimalna podaż białka powinna wynosić 1,5 g $kg^{-1}d^{-1}$.

4. Podstawową drogą żywienia powinno być karmienie enteralne, które poza dostarczaniem energii i składników odżywczych wspomaga funkcje układu pokarmowego (tkanki limfatycznej związanej z jelitami [GALT i mikrobiomu jelitowego), zmniejszając ryzyko translokacji bakteryjnej. Stanom krytycznym towarzyszy niestety nietolerancja pokarmowa w postaci gastroparezy, refluksu żołądkowo-przełykowego, upośledzone motoryki jelit, niedokrwienia jelit, niedrożności porażennej, zaburzenia flory jelitowej, prowadząc wymiotów, zalegań treści żołądkowej, biegunek lub zaparć, uniemożliwiając wdrożenie i kontynuację żywienia enteralnego. Strategie wspomagania funkcji przewodu pokarmowego obejmują prokinetyki, minimalizację sedacji, uniesienie górnej części ciała o 30–45°, wprowadzenie sondy poza odźwiernik, zmianę mieszanki żywieniowej, środki wspomagające wypróżnianie, zmianę sposobu wlewu ciągłego na podaż małych porcji.

5. Zasady wdrażania leczenia żywieniowego przedstawiono na rycinie 1.

6.8. Sedacja

Celem sedacji jest zapewnienie komfortu pacjentowi i bezpiecznego działania układu VV ECMO. Ogólne zasady i praktyki nie różnią się od stosowanych w innych sytuacjach klinicznych na oddziale intensywnej



Rycina 1. Zasady wdrażania leczenia żywieniowego u dzieci poddawanych pozaustrojowej oksygenacji membranowa (ECMO)

terapii dla dzieci. Zaleca się monitorowanie głębokości sedacji za pomocą skali Comfort B co najmniej dwa razy dziennie [41]. Analgosedacja uzyskiwana jest wlewem opioidu (morfina, fentanyl, sufentanyl), benzodiazepin i/lub deksmedetomidyny lub klonidyny. Dodatkowo wskazane jest stosowane analgetyków nieopioidowych: paracetamolu i metamizolu. W sytuacji konieczności pogłębienia sedacji zalecany jest także wlew ketaminy. Z uwagi na ryzyko zespołu propofolowego nie zaleca się stosowania wlewu propofolu powyżej 48 godzin i w dawce większej niż 4 mg $kg^{-1}h^{-1}$ [41].

Utrzymanie własnego napędu oddechowego przez pacjenta wydaje się korzystne, gdyż przyczynia się do poprawy rehabilitacji płuc. Należy jednak zaznaczyć, że nadmierna aktywność oddechowa może zwiększać gradient przezpłucny, co prowadzi do uszkodzenia płuc wywołanego przez pacjenta (P-SILI, *patient self-inflicted lung injury*) [42].

W szczególnych sytuacjach, na przykład w stanach hipermetabolizmu i znacznego zużycia tlenu, przydatne może być zastosowanie środków zwiotczenia mięśni, z jednoczesnym monitorowaniem stopnia zwiotczenia mięśni. Obecnie dostępne i powszechnie stosowane są także przyrządowe metody oceny stopnia sedacji na podstawie zapisu czynności elektrycznej mózgu, takie jak BIS czy Sedline, choć nie doczekały się na razie co jednoznacznych rekomendacji u dzieci.

Stosowanie analgosedacji wiąże się często z ryzykiem upośledzenia funkcji przewodu pokarmowego, zaników mięśni z unieruchomienia, zjawiska tachyfilaksji i konieczności zwiększania dawek wlewów, co wpływa bezpośrednio na ryzyko delirium i zespołu odstawiennego w trakcie wycofywania się z terapii. Z tych powodów pojawiła się idea ekstubacji chorych i prowadzenia pacjentów ze wsparciem ECMO bez stosowania wentylacji mechanicznej, a tym samym uniknięcia głębokiej sedacji – „awake ECMO". Dotyczy to zwłaszcza chorych, u których przewidywany jest długi czas terapii, na przykład oczekujących na przeszczepienie płuc. Według danych Rejestru ELSO w latach 2018–2022 ECMO u pacjenta oddychającego spontanicznie prowadzono u 4,8% dzieci. W grupie chorych leczonych ECMO bez intubacji potwierdzono krótszy czas leczenia na oddziale intensywnej terapii, szybsze uruchamianie i rehabilitację. W grupie chorych bez intubacji stwierdzono jednak wyższą śmiertelność i autorzy analizy zastrzegają, że nie mogą wykluczyć zależności między ekstubacją chorych a śmiertelnością. Na obecnym etapie doświadczeń ekstubację chorych ze wsparciem ECMO zaleca się jedynie w ośrodkach o dużym doświadczeniu w prowadzeniu tego typu terapii [43].

6.9. Płynoterapia

Przewodnienie chorego o 10% w trakcie terapii ECMO może skutkować dłuższym czasem terapii i większą śmiertelnością, a profilaktyka i korekcja przewodnienia są istotnymi czynnikami związanymi z poprawą funkcji płuc i czasem leczenia ECMO [44–46]. Stopień przewodnienia ocenia się, licząc stosunek dobowego bilansu płynów do masy ciała chorego przy przyjęciu według wzoru:

$$\%\ \text{przewodnienia} = \text{bilans płynowy} / \text{masa ciała przy przyjęciu} \times 100$$

Zasady prowadzenia płynoterapii u chorych ze wsparciem ECMO [47]:

1. Bilans płynowy powinien być prowadzony co najmniej co 12 godzin.
2. Należy dążyć do ujemnego bilansu płynowego.
3. Należy ograniczać płyny do niezbędnych i zagęszczać roztwory.
4. Należy utrzymać diurezę w takim zakresie, aby uzyskać oczekiwany bilans płynowy.
5. Należy rozważyć podaż albumin, aby utrzymać poziom we krwi > 2,5 g/dl.
6. W przypadku wystąpienia objawów przewodnienia, pomimo restrykcji płynowej i leków moczopędnych, należy zastosować terapię nerkozastępczą (RRT, *renal replacement therapy*) [48].

Terapia nerkozastępcza może być stosowana na kilka sposobów: ciągła terapia nerkozastępcza, rzadziej dializa otrzewnowa czy hemodializa przerywana. Najczęściej wykorzystuje się techniki ciągłe: hemofiltracja lub ciągła żylno-żylna hemodiafiltracja (CVVHDF, *continuous veno-venous hemodiafiltration*), ponieważ pozwalają one na stabilne, kontrolowane odwodnienie i stabilność hemodynamiczną. Podłączenia terapii nerkozastępczej do układu ECMO można dokonać na 3 sposoby: osobny dostęp dożylny, wpięcie hemofiltra do układu ECMO lub włączenie do układu urządzenia do ciągłej hemodiafiltracji.

Zgodnie z zaleceniem ELSO urządzenie do CVVHDF podłączamy do linii żylnej/odbierającej [49]:

- pobór krwi następuje zawsze za pompą, przed lub za oksygenatorem,
- zwrot krwi powinien następować przed oksygenatorem.

Wczesne zastosowanie RRT może mieć korzystny wpływ na czas trwania wsparcia ECMO i przeżycie [47, 49].

6.10. Wentylacja

Zastosowanie pozaustrojowej oksygenacji daje możliwość minimalizacji ryzyka barotraumy, wolutraumy, atelectotraumy i biotraumy wywołanymi wentylacją mechaniczną.

Zalecenia [1, 50]:

1. Sugerowane ustawienia respiratora: $FiO_2 < 50\%$, PIP < 25 cm H_2O, PEEP 5–15 cm H_2O, częstość oddechów 10–20 min^{-1}, czas wdechu 0,8–1 s.

2. Wentylacja powinna uwzględniać patofizjologię choroby podstawowej, na przykład w stanie astmatycznym czas wdechu powinien być krótszy.

3. Odma i płyn/krew w jamie opłucnowej powinny być odbarczone.

4. Toaleta dróg oddechowych powinna być prowadzona starannie, także z użyciem bronchofiberoskopu.

5. Nie jest zalecana rekrutacja płuc.

6.11. Inne aspekty leczenia i pielęgnacji pacjenta z ECMO [1]

1. Rehabilitacja – zabiegi fizjoterapeutyczne należy rozpocząć jak najszybciej po uzyskaniu stabilizacji hemodynamicznej i stabilnych parametrów wentylacji (zwłaszcza PEEP) według zasady wczesnego uruchamiania (WU). Należy identyfikować chorych, u których możliwe są zabiegi bierne i których można uruchamiać i ćwiczyć czynnie.

2. Pielęgnacja oczu. Pacjenci niedomykający powiek narażeni są na ryzyko keratopatii w postaci owrzodzeń, infekcji itd. Stan oczu chorego powinien być oceniany co najmniej co 12 godzin. Zaleca się stosowanie kropli nawilżających oraz osłon chroniących oczy przed wysychaniem.

3. Zapobieganie odleżynom.

4. Pielęgnacja jamy ustnej.

Kontrola infekcji – nie ma uzasadnienia do rutynowej profilaktycznej antybiotykoterapii.

7. Powikłania ECMO

Żylno-żylna ECMO to wysokospecjalistyczna terapia najczęściej stosowana w leczeniu pacjentów z ciężką niewydolnością oddechową. Wskaźniki przeżycia w tej grupie pacjentów są wyższe niż w terapii VA ECMO, jednak nadal obciążone istotnym ryzykiem określonych powikłań mechanicznych i hematologicznych. Powikłania można podzielić na: hematologiczne, neurologiczne, infekcyjne, związane z komponentami urządzenia (tab. 5). Należy pamiętać, że przeżywalność 24 godziny po dekaniulacji i do momentu opuszczenia szpitala wynoszą odpowiednio 74,5% i 63,8% [51]. Mediana czasu trwania terapii wynosi 188 godzin [51].

Tabela 5. Częstość wybranych powikłań na 1000 godzin terapii żylno-żylną pozaustrojową oksygenacją membranową u dzieci

Powikłanie	Częstość
Hemoliza	1,039
Terapia nerkozastępcza	0,875
Wymiana obwodu	0,636
Wykrzepianie w obwodzie	0,545
Nieprawidłowe działanie kaniuli	0,534
Krwawienie miejsca kaniulacji	0,343
Odma opłucnowa wymagająca drenażu	0,261
Krwawienie z miejsc operowanych	0,227
Krwawienie do ośrodkowego układu nerwowego	0,179
Powietrze w obwodzie	0,152
Drgawki	0,134
Krwawienie z przewodu pokarmowego	0,123
Udar mózgu	0,097

7.1. Krwawienia

Częstość

Krwawienie to często spotykane powikłanie w pediatrycznym VV ECMO – przeglądy wskazują, że nawet u ~40–50% dzieci może wystąpić znaczące krwawienie w trakcie terapii. Najczęściej dotyczy ono: miejsca operowanego, miejsca kaniulacji, OUN, płuc, przewodu pokarmowego [52, 53].

Monitorowanie

- Regularne pomiary: morfologia (płytki), PT/INR, aPTT, ACT, fibrynogen, D-dimery, anty-Xa [54].
- Podczas krwawienia zaleca się monitorowanie fibrynogenu i utrzymywanie jego stężenia ≥ 150 mg dl^{-1} [55].

- Kontrola miejsc kaniulacji, drenaży i ewentualnych miejsc chirurgicznych, obrażenia wewnętrzne (płuca, przewód pokarmowy).

Postępowanie

- W przypadku aktywnego krwawienia: korekta stanu hemostazy (uzupełnienie fibrynogenu, płytek, czynników krzepnięcia), zmiana strategii antykoagulacji (zmniejszenie dawki, przejście na inny lek).
- W razie trudnego do kontrolowania krwawienia: rozważenie konieczności wymiany elementów obwodu VV ECMO lub ograniczenia przepływu, jeśli możliwe. Szczegółowe postępowanie omówiono w artykule Rintoul i wsp. [56].
- Plan transfuzji (erytrocyty, płytki, krioprecypitat) powinien być ustalony z uwzględnieniem ryzyka zakrzepów.
- Należy pamiętać o jatrogennej utracie krwi pobranej do badań laboratoryjnych.

7.2. Zakrzepy/wykrzepianie

Częstość

Częstość występowania zakrzepów w obwodzie VV ECMO lub u pacjenta jest szacowana na ~20–30% [52, 54].

Monitorowanie

- Regularna ocena układu krzepnięcia: aPTT/ACT/anty-Xa, fibrynogen, płytki, AT-III, czas protrombinowy.
- Monitorowanie obwodu VV ECMO: kontrola przepływu, ciśnienia przed i za oksygenatorem, obserwacja linii obwodu, pompy, filtrów, obecność skrzeplin.

Postępowanie

- W przypadku wykrycia skrzepliny w obwodzie: szybka wymiana komponentów (oksygenatora, pompy lub linii), przegląd ustawień przepływu i kaniulacji.
- Zmiana strategii antykoagulacji: jeśli zakrzepy pojawiły się pomimo zastosowania „standardowej" dawki, należy rozważyć zwiększenie antykoagulacji, zmianę leku lub modyfikację protokołu hemostazy [57].

7.3. Hemoliza

Częstość

Hemoliza jest jednym z częstszych powikłań mechanicznych w terapii VV ECMO u dzieci i może prowadzić do uszkodzenia nerek oraz zwiększonego ryzyka powikłań układu krzepnięcia. Za istotną klinicznie uznaje się hemolizę, gdy wolna hemoglobina osoczowa (pfHb, *plasma free hemoglobin*) jest powyżej wartości 0,5 g l^{-1} lub dehydrogenaza powyżej 3-krotnie przekroczonej górnej granicy normy. Nawet 43,5% pacjentów rozwija ciężką hemolizę (pfHb ≥ 1,0 g l^{-1}). Według Daltona i wsp. [53] wyższy poziom hemoglobiny oraz częstsze przetoczenia krwinek czerwonych były związane ze zwiększoną hemolizą, natomiast właściwie prowadzona antykoagulacja stanowiła czynnik ochronny, zmniejszający ryzyko uszkodzenia erytrocytów. Monitorowanie hemoglobiny, poziomu pfHb oraz objawów hemoglobinurii pozostaje kluczowe, a w przypadku narastającej hemolizy konieczne jest sprawdzenie mechanicznych przyczyn, takich jak skrzepliny w pompie lub oksygenatorze, nieprawidłowy przepływ czy nieoptymalne ustawienie kaniuli. Korekta ustawień pompy i przepływu oraz ewentualna wymiana elementów obwodu (oksygenator/pompa) stanowią podstawę postępowania klinicznego [58].

7.4. Powikłania neurologiczne

Częstość

Drgawki i inne powikłania neurologiczne występują w ~15% przypadków, większość to napady subkliniczne, warto zaznaczyć, że częściej występują po resuscytacji krążeniowo-oddechowej (ECPR, *extracorporeal cardiopulmonary resuscitation*) oraz u dzieci leczonych metodą VA ECMO [59].

Monitorowanie

- Regularne badanie neurologiczne: sprawdzanie stanu świadomości, odruchów, objawów ogniskowych, obrazowanie (tomografia komputerowa/rezonans magnetyczny) w przypadku podejrzenia krwawienia śródczaszkowego lub zakrzepu.
- Wskazane systematyczne monitorowanie elektroencefalograficzne.

Postępowanie

- W przypadku wykrycia krwawienia śródczaszkowego lub udaru: współpraca z neurologiem/neurochirurgiem, możliwa zmiana lub ograniczenie antykoagulacji, decyzje kliniczne odnośnie do kontynuowania VV ECMO w świetle rokowania neurologicznego.
- Zapobieganie: unikanie agresywnej wentylacji mechanicznej, kontrola ciśnienia śródczaszkowego, adekwatna antykoagulacja.

7.5. Zakażenia

Częstość

Zakażenia związane z terapią VV ECMO (zakażenie miejsca kaniulacji, bakteriemia) występują u około kilkunastu procent pacjentów. Ich ryzyko zwiększa się wraz z czasem trwania terapii. Obecność infekcji wiąże się z niemal dwukrotnym zwiększeniem śmiertelności. Znaczącym czynnikiem etiologicznym jest infekcja *Candida* spp. [60].

Monitorowanie

- Codzienna inspekcja miejsc kaniulacji (zaczerwienienie, wysięk).
- Regularne testy laboratoryjne: białko C-reaktywne/prokalcytonina, posiewy krwi, moczu, jeśli podejrzewane jest zakażenie.
- Monitorowanie długości trwania VV ECMO – dłuższy czas jest czynnikiem ryzyka.

Postępowanie

- Stosowanie rutynowej profilaktyki antybiotykowej w VV ECMO pozostaje kontrowersyjne – aktualne wytyczne ELSO nie rekomendują jej rutynowo [1]. W przypadku podejrzenia zakażenia należy szybko podjąć empiryczną antybiotykoterapię, pobrać próbki do badań mikrobiologicznych, możliwe są też przeniesienie lub wymiana kaniulacji, jeśli źródłem jest miejsce wkłucia.
- Ścisłe aseptyczne techniki przy obsłudze VV ECMO, minimalizacja zbędnych zmian obwodu, szybkie zakończenie terapii.

7.6. Kaniule/recyrkulacja

Częstość i znaczenie

W przypadku VV ECMO jednym z problemów technicznych jest recyrkulacja – powrót natlenowanej krwi bezpośrednio do obwodu. Stopień recyrkulacji zależy od wzajemnego położenia kaniul: drenującej i powrotnej, prędkości przepływu oraz objętości krwi pacjenta. Wysoka recyrkulacja (> 25–30%) skutkuje obniżeniem efektywnego przepływu tlenu, co klinicznie objawia się niską saturacją systemową przy prawidłowych parametrach VV ECMO. Trudności techniczne mogą wynikać również z małej średnicy kaniulowanych naczyń, u dzieci z masą ciała poniżej 15 kg odradza się kaniulację żył udowych. Należy uwzględnić ryzyko zagięcia kaniuli w przypadku małego rozmiaru, również stabilność takiej kaniuli jest mniejsza – krótki obszar wprowadzenia, słabiej rozwinięta tkanka podskórna [1].

Monitorowanie

- Obserwacja skuteczności oksygenacji (saturacja, PaO_2), pomiar saturacji krwi przed oksygenatorem, ultrasonograficzne potwierdzenie położenia kaniuli.

Postępowanie

- Skuteczne zabezpieczenie kaniuli zapobiegające przemieszczaniu. Jeśli podejrzewana jest recyrkulacja – skorygowanie lub przesunięcie kaniuli, zmiana konfiguracji (na kaniulę double-lumen lub inne ustawienie), zapewnienie odpowiedniego przepływu [61].

7.7. Awarie sprzętu

Częstość

Awarie oksygenatora, pompy lub linii są problemem technicznym, który może prowadzić do hemolizy i pogorszenia wymiany gazowej, a w konsekwencji do gorszego wyniku klinicznego. Dane pediatryczne wskazują, że wymiana elementu obwodu może być konieczna w ~10–15% przypadków prowadzonych terapii [62].

Monitorowanie

- Monitorowanie: ciśnienie przed i za oksygenatorem (wzrost gradientu może wskazywać problem), spadek efektywności wymiany (wzrost $PaCO_2$, spadek PaO_2), narastające wskaźniki hemolizy (pfHb), kontrola przepływu i ciśnień w pompie, stan linii (inspekcja wizualna).

Postępowanie

- W przypadku wykrycia pogorszenia parametrów powinna nastąpić szybka decyzja o wymianie elementu (oksygenatora/pompy/obwód).
- Regularne przeglądy techniczne, współpraca z perfuzjonistą, wdrożenie protokołów wymiany obwodu w zależności od czasu użytkowania, zaplanowanie wymiany komponentów w sposób kontrolowany – w celu uniknięcia nagłej awarii w krytycznym momencie.

8. Odzwyczajanie od VV ECMO i odłączanie

Decyzja o zakończeniu w odpowiednim czasie pozaustrojowego, mechanicznego wsparcia układu krążenia i wymiany gazowej (ECLS) jest równie ważna jak wdrożenie terapii. Odpowiedni czas następuje wtedy, gdy można wykazać postępującą poprawę i powrót naturalnej funkcji płuc, dziecko jest w stanie tolerować stopniowe zmniejszanie wsparcia VV ECMO, a redukcja wsparcia nie powoduje klinicznie znamiennego pogorszenia wymiany gazowej [1].

ECMO jest terapią agresywną, potencjalnie generującą poważne powikłania. Zaleca się, by czas terapii był optymalnie krótki, a u każdego leczonego za pomocą ECMO pacjenta codziennie przeprowadzać ocenę kliniczną odpowiedzi na leczenie i ewentualnej gotowości do odłączenia aparatu ECMO i kontynuacji leczenia mniej inwazyjnymi metodami (np. wentylacją mechaniczną) [63].

Z chwilą uzyskania optymalnej poprawy funkcji płuc, serca i pozostałych narządów można przystąpić do przeprowadzenia „próby odłączenia ECMO" po to, by uzyskać jak najwięcej informacji na temat prawdopodobieństwa pomyślnego odłączenia VV ECMO. Próba odłączenia ECMO to interwencja diagnostyczna, nie terapeutyczna. Pozwala ona określić gotowość pacjenta do dalszego leczenia bez wsparcia VV ECMO.

8.1. Definicja

Zgodnie z definicją o pomyślnym zakończeniu terapii VV ECMO można mówić w przypadku 48-godzinnego przeżycia dziecka po zaprzestaniu stosowania pozaustrojowego mechanicznego wsparcia wymiany gazowej bez konieczności ponownego rozpoczęcia leczenia z zastosowaniem techniki pozaustrojowej [1].

8.2. Kryteria kwalifikacji do zakończenia terapii VV ECMO

Odłączanie pozaustrojowego wspomagania żylno-żylnego jest jednym z najtrudniejszych aspektów leczenia ECMO.

Istnieją 3 kategorie decyzji zakończenia pozaustrojowego wsparcia ECMO:

1. Stan kliniczny pacjenta uległ poprawie i istnieje uzasadniona pewność, że uda się pomyślnie zakończyć terapię ECMO.

2. Prawdopodobieństwo pomyślnego zakończenia terapii ECMO jest niewielkie, natomiast pacjent nie może kontynuować terapii z powodu powikłań lub dużego ryzyka ich wystąpienia.

3. Zakończenie terapii ECMO z powodu śmiertelnej, nieuleczalnej choroby bądź ciężkich powikłań (zakończenie leczenia ECMO ze względów humanitarnych).

W pierwszym przypadku przed zakończeniem terapii ECMO należy podjąć decyzję, czy w przypadku niepowodzenia leczenia pacjent będzie ponownie kwalifikowany do leczenia ECMO oraz w jakich okolicznościach to nastąpi.

W trzecim przypadku zakończenie terapii ECMO odbywa się w ramach procesu paliatywnego po rozmowie z rodziną, w ostatnim okresie życia, gdy zaprzestanie stosowania ECMO pozwala na naturalną śmierć spowodowaną procesem chorobowym.

W drugim przypadku trudniej jest przewidzieć wyniki leczenia w perspektywach krótko- i długoterminowej. Wdrożenie leczenia mniej inwazyjnymi metodami może spowodować pogorszenie wydolności narządów pomimo intensywnej wentylacji mechanicznej i farmakologicznego wsparcia układu krążenia, natomiast pozostawienie pacjentów na ECMO wiąże się z nadmiernym ryzykiem śmiertelności lub znacznej chorobowości. Przed odłączeniem należy podjąć decyzję, czy i w jakiej sytuacji pacjent będzie się kwalifikował do ponownego podłączenia do ECMO.

W tabeli 6 przedstawiono czynniki konieczne do uwzględnienia przed podjęciem decyzji o zakończeniu terapii ECMO [1].

Tabela 6. Lista czynników uwzględnianych w decyzji o zakończeniu terapii żylno-żylną pozaustrojową oksygenacją membranową (VV ECMO)

Czynniki uwzględniane w decyzji zakończenia *extracorporeal life support*
1. Poprawa kliniczna stanu, który doprowadził do wdrożenia terapii VV ECMO
2. Umiarkowane mechaniczne wsparcie oddychania – zadowalająca podatność płuc i wymiana gazowa (P_{Plat} < 30 cm H_2O [idealnie 25 cm H_2O], PEEP 8–12 cm H_2O, TV 6–8 ml kg^{-1} przy FiO_2 < 0,5–0,6, SaO_2 > 90%, pH > 7,3, $PaCO_2$ w normie lub niewielka hiperkapnia
3. Optymalnie rozprężone płuca w rentgenografii klatki piersiowej (brak klinicznie znamiennych objawów patologicznych: np. wysięk opłucnowy, odma opłucnowa, niedodma)
4. Wykonana toaleta dróg oddechowych
5. Umiarkowane wspomaganie farmakologiczne krążenia
6. W badaniu echokardiograficznym frakcja wyrzutowa > 25% (w zależności od podstawowej patologii) przy minimalnym wsparciu farmakologicznym
7. Brak przeciążenia płynowego
8. Odpowiednia głębokość lub brak sedacji
9. Dostępność zespołu kardiochirurgicznego do dekaniulacji pacjenta

PEEP (*positive end-expiratory pressure*) – dodatnie ciśnienie końcowo-wydechowe; TV (*tidal volume*) – objętość oddechowa

Nie ma granic czasowych ani jednego uniwersalnego algorytmu odłączania pacjenta od ECLS. Każdy pacjent w konkretnej sytuacji klinicznej ma swój własny algorytm, który powinien zostać rozpoznany i do którego należy indywidualnie dopasować przebieg próby odłączania ECMO po to, by zwiększyć szansę pacjenta na skuteczne odłączenie.

8.3. Próba odłączenia dziecka od ECLS

Dane rejestru ELSO i opublikowane serie przypadków wskazują na rosnącą popularność metod VV ECMO w leczeniu dzieci z chorobami układu oddechowego [64]. Istnieją również pewne dowody pochodzące z serii przypadków i analizy danych ELSO, że przeżywalność może być lepsza w przypadku stosowania VV ECMO niż przy VA ECMO. Terapia VA ECMO bywa wybierana w początkowym PARDS o najcięższym przebiegu do czasu uzyskania poprawy i możliwości prowadzenia terapii żylno-żylnej.

Deeskalacja terapii ECMO różni się w przypadku terapii VA ECMO i VV ECMO.

Próba odłączenia VV ECMO to próba odłączenia gazu płuczącego „sweep off", której ostatecznym celem jest ocena funkcji płuc pacjenta, gdy obwód ECMO nie uczestniczy w wymianie gazowej. Dlatego należy zatrzymać przepływ gazu płuczącego z jednoczesnym utrzymaniem przepływu krwi w ECMO. Pacjent jest poddawany w czasie próby pełnej wentylacji mechanicznej, oszczędzającej płuca, ma monitorowane parametry wymiany gazowej, wysiłek oddechowy oraz parametry krążeniowe [65].

Próbę „sweep off" rozpoczyna się stopniową redukcją FiO_2 gazu płuczącego do 0,21 w ciągu 20–30 minut. Następnie pozostawia się przez kolejne 20 minut mieszaninę gazu płuczącego zawierającą 21% tlenu (do zrównania koloru krwi w układzie drenów) i obserwuje dziecko (zmiany SpO_2, częstości oddechów, częstości tętna i ciśnienia lub narastający niepokój). Po kolejnych 20 minutach przepływ gazu płuczącego powinien zostać zamknięty. Wymiana gazowa będzie się odbywała tylko w płucach. Okres obserwacji zwykle trwa 2–6 godzin. Należy mieć przygotowane: adrenalinę i tlenek azotu na wypadek wystąpienia obkurczenia i wzrostu ciśnienia w naczyniach płucnych. W miarę zmniejszania przepływu gazu przez oksygenator (sweep gas) i FiO_2, należy wykonywać gazometrię krwi tętniczej co godzinę, pobieraną w ciągu 30 minut od każdej zmiany ustawień, w celu oceny utlenowania i wentylacji [66]. Zamknięcie przepływu gazu płuczącego powoduje gwałtowne obniżenie stosunkowo wysokiego SvO_2 oraz wzrost $PaCO_2$. Może to spowodować znamienne zaburzenie stosunku V:Q, gwałtowne obniżenie saturacji i wzrost oporu płucnego, a tym samym niepowodzenie próby odłączenia. Dlatego racjonalne i fizjologicznie uzasadnione jest sekwencyjne zmniejszenie FiO_2 gazu płuczącego przed całkowitym zatrzymaniem jego przepływu.

Płuca własne dziecka powinny być w stanie podtrzymywać 50–80% całkowitej wymiany gazowej. U pacjentów z ciężkimi chorobami płuc, odłączanie ECLS można rozpocząć, gdy ich płuca własne osiągną 80% funkcji dostarczania tlenu, a mechanika oddechowa wykaże znaczną poprawę [67]. Jedną z metod oceny, czy płuca osiągnęły wystarczającą poprawę

stanu wydolności, może być test oksygenacji (OCT, *oxygen challenge test*). W jego trakcie parametry ECMO pozostają niezmienione, natomiast zwiększa się frakcję FiO_2 do 1,0. Następnie ocenia się, czy uzyskano wzrost PaO_2. Wyższe wartości bezwzględne PaO_2 lub większy przyrost (ΔPaO_2) sugerują wystarczającą poprawę funkcji płuc, umożliwiającą odłączenie od ECMO. Obecnie brakuje jednak dowodów pozwalających na określenie granicznych wartości PaO_2 lub ΔPaO_2, które mogłyby stanowić wskazówkę do podjęcia próby odstawienia ECMO [68].

Wyniki badań wskazują, że nie ma jednoznacznych dowodów na przewagę konkretnych trybów wentylacji w procesie odłączania VV ECMO [67]. Należy jednak tak modyfikować ustawienia wentylacji mechanicznej, aby zaakceptować wartości PaO_2 w zakresie 60–80 mm Hg oraz $PaCO_2$ w zakresie 40–60 mm Hg. Pozwala to na zastosowanie niższych ciśnień w drogach oddechowych i niższego FiO_2 [1].

Jeżeli u pacjenta wystąpią w jakimkolwiek momencie problemy z wentylacją bądź niestabilność hemodynamiczna, próbę odstawiania należy natychmiast przerwać i przywrócić pełne wsparcie ECMO. Na niepowodzenie odstawiania wskazuje $SpO_2 < 88\%$.

W przypadku, gdy pacjent zostanie oceniony jako niegotowy do odłączenia ECMO lub zespół nie jest dostępny, aby wykonać dekaniulację, należy przywrócić FiO_2 obwodu do 100% i przepływ gazu płuczącego do poprzedniego ustawienia, natomiast wentylację mechaniczną można kontynuować lub zmniejszyć w oczekiwaniu na dekaniulację.

8.4. Odłączenie VV ECMO

Procedura odłączenia od ECMO powinna optymalnie zostać wykonana w godzinach porannych, dla zapewnienia pełnej kontroli ewentualnego pogorszenia stanu pacjenta. Wyszczepienie kaniul jest wykonywane zwykle przez zespół kardiochirurgiczny na oddziale intensywnej terapii pediatrycznej. Należy wcześniej uzgodnić plan postępowania na wypadek pogorszenia stanu pacjenta po odłączeniu od ECMO.

Należy kontynuować leczenie przeciwzakrzepowe. U pacjentów z cewnikiem przezskórnym, należy zaprzestać podawania heparyny na godzinę przed usunięciem cewnika. Trzydzieści minut przed usunięciem kaniuli należy podać profilaktyczną dawkę antybiotyku, na przykład cefazoliny (30 mg kg^{-1}).

8.5. Powikłania po zakończeniu ECMO

Po pomyślnym odłączeniu ECMO powikłania mogą wystąpić nawet u pacjentów, którzy dobrze radzą sobie z odłączeniem przez pierwsze kilka godzin. Do najczęściej opisywanych powikłań należą: krwawienia z miejsc po kaniulacji, niedokrwienie kończyn, niedokrwienie takich narządów jak nerki, wątroba czy układ nerwowy, powikłania neurologiczne i zakażenia [67].

Wśród czynników ryzyka zgonu po pomyślnym odłączeniu ECMO wymienia się: przedłużone wsparcie ECMO z towarzyszącymi powikłaniami, nieodwracalne uszkodzenie narządów, niskie pH z wysokim poziomem mleczanów oraz zaawansowaną niewydolność narządową [67].

9. Podsumowanie

Zastosowanie pozaustrojowego wspomagania krążeniowo-oddechowego u dzieci z ciężką niewydolnością oddechową powinno być rozważane w sytuacjach, gdy konwencjonalne metody wsparcia nie zapewniają prawidłowej wymiany gazowej, gdy wymagają one zastosowania potencjalnie szkodliwych parametrów wentylacji lub w przypadku wystąpienia ciężkiej barotraumy. Metoda VV ECMO, czyli żylno-żylnej pozaustrojowej oksygenacji, jest obecnie rekomendowana jako alternatywna metoda leczenia PARDS, zwłaszcza po wyczerpaniu konwencjonalnych metod optymalizacji stanu pacjenta, obejmujących LPS, *prone position* czy zwiotczenie mięśni. Żylno-żylna ECMO może być również wykorzystywana w charakterze wsparcia okołooperacyjnego, ułatwiającego przeprowadzenie wybranych procedur, takich jak operacje w obrębie dróg oddechowych. Z uwagi na niewielką liczbę publikacji o wysokiej jakości metodologicznej, obecne zalecenia zarówno ELSO jak i PALICC 2 mają charakter ogólny i podkreślają konieczność prowadzenia dalszych, dobrze zaprojektowanych badań w tym zakresie. Powyższy dokument stanowi zbiór aktualnych zaleceń, które mogą się przyczynić do poprawy wyników leczenia pacjentów populacji pediatrycznej z rozpoznaniem PARDS w Polsce.

Formularz zgłoszeniowy pacjenta do terapii ECMO przedstawiony jest w załączniku 1.

Acknowledgements

1. Assistance with the article: None.

2. Financial support and sponsorship: None.

3. Conflicts of interest: None.

4. Presentation: None.

5. Contribution: JRK Writing – Original Draft Preparation (1, 4, 9), Formal Analysis, Review & Editing, Conceptualization, Project Administration, Supervision, ABŚ – Original Draft Preparation (3), Review & Editing, Supervision, MZ (2) – Original Draft Preparation, MMS (8) – Original Draft Preparation, BK (5) – Original Draft Preparation, RJ (7) – Original Draft Preparation, IPK (6) – Original Draft Preparation, Supervision

Piśmiennictwo

1. MacLaren G, Lasa JJ, Gathered AO, et al. ELSO Red Book. 6th ed. Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization 2022.
2. Lango R, Szkulmowski Z, Maciejewski D, Sosnowski A, Kusza K. Revised protocol of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) therapy in severe ARDS. Recommendations of the Veno-venous ECMO Expert Panel appointed in February 2016 by the national consultant on anesthesiology and intensive care. *Anestezjol Intens Ter.* 2017; 49(2): 88–99.
3. Bartlett R, Arachichilage DJ, Chitlur M, et al. The history of extracorporeal membrane oxygenation and the development of extracorporeal membrane oxygenation anticoagulation. *Semin Thromb Hemost.* 2024; 50(1): 81–90. doi:10.1055/s-0043-1761488.
4. Lin JC. Extracorporeal membrane oxygenation for severe pediatric respiratory failure. *Respir Care.* 2017; 62(6): 732–750. doi:10.4187/respcare.05338.
5. Pediatric Acute Lung Injury Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome. *Pediatr Crit Care Med.* 2015; 16(5): 428–439. doi:10.1097/PCC.0000000000000350.
6. Emeriaud G, López-Fernández YM, Iyer NP, et al; Second Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference (PALICC-2) Group on behalf of the Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators (PALISI) Network. Executive summary of the second international guidelines for the diagnosis and management of pediatric acute respiratory distress syndrome (PALICC-2). *Pediatr Crit Care Med.* 2023; 24(2): 143–168. doi:10.1097/PCC.0000000000003147.
7. Silvestre C, Vyas H. Pediatric acute respiratory distress syndrome (PARDS). *Pediatr Child Health.* 2021; 31(6): 229–232. doi: 10.1016/j.paed.2021.03.001.
8. Zhang Y, Zhou Y, Shi J, Shan Y, Sun T, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome in children with leukemia/lymphoma: a retrospective case series. *Front Pediatr.* 2022; 10: 955317. doi:10.3389/fped.2022.955317.
9. Erickson S. Extracorporeal membrane oxygenation in paediatric acute respiratory distress syndrome: overrated or underutilized? *Ann Transl Med.* 2019; 7(19): 512. doi:10.21037/atm.2019.09.27.
10. Jouvet P, Thomas NJ, Wilson DF, et al; Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2015; 16(5): 428–429. doi: 10.1097/PCC.0000000000000350.
11. MacLaren G, Conrad S, Peek G. Indications for pediatric respiratory extracorporeal life support. ELSO; March 2015.
12. Combes A, Hajage D, Capellier G, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for severe acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2018; 378(21): 1965–1975. doi: 10.1056/NEJMoa1800385.
13. MacLaren G, Conrad S, Dalton H. Extracorporeal life support. In: Shaffner H, Nichols D, eds. Roger's Textbook of Pediatric Intensive Care. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2015.
14. Roberts N, Westrope C, Pooboni SK, et al. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation for respiratory failure in inotrope-dependent neonates. *ASAIO J.* 2003; 49: 568–571. doi: 10.1097/01.mat.0000084102.22059.91
15. Zabrocki LA, Brogan TV, Statler KD, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for pediatric respiratory failure: Survival and predictors of mortality. *Crit Care Med.* 2011; 39: 364–370. doi: 10.1097/CCM.0b013e3181fb7b35.
16. Tonna JE, Abrams D, Brodie D, et al. Management of adult patients supported with venovenous extracorporeal membrane oxygenation (VV ECMO): guideline from the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). *ASAIO J.* 2021; 67(6): 601–610. doi: 10.1097/MAT.0000000000001432.
17. Erickson S. Extracorporeal membrane oxygenation in paediatric acute respiratory distress syndrome: overrated or underutilized? *Ann Transl Med.* 2019; 7(19): 512–521. doi:10.21037/atm.2019.09.27.
18. Gattinoni L, Taccone P, Carlesso E, et al. Prone positioning in acute respiratory distress syndrome: rationale, indications, and limits. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013; 188(11): 1286–1293. doi: 10.1097/MAT.0000000000001432.
19. Bronicki RA, Fortenberry J, Schreiber M, et al. Multicenter randomized controlled trial of inhaled nitric oxide for pediatric acute respiratory distress syndrome. *J Pediatr.* 2015; 166(2): 365–369. doi: 10.1016/j.jpeds.2014.10.011.
20. Bhalla A, Yehya N, Mack WJ, et al. The association between inhaled nitric oxide treatment and ICU mortality and 28-day ventilator-free days in pediatric acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med.* 2018; 46(11): 1803–1810.doi: 10.1097/CCM.0000000000003344.
21. Chandra S, Goel S, Dawra R. Early neuromuscular blockade in children with pediatric acute respiratory distress syndrome. *J Pediatr Intensive Care.* 2020; 9(3): 201–206. doi: 10.1055/s-0040-1708557.
22. Antalová N, Klučka J, Říhová M, Poláčková S, Pokorná A, Štourač P. Ventilator-associated pneumonia prevention in pediatric patients: narrative review. *Children (Basel)* 2022; 9(10): 1540. doi:10.3390/children9101540.
23. Taylor MA, Maldonado Y. Anesthetic management of patients on ECMO. In: Firstenberg MS, ed. Extracorporeal Membrane Oxygenation: Advances in Therapy. London: InTech 2016. doi:10.5772/63309.
24. Banfi C, Pozzi M, Siegenthaler N, et al. Veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: cannulation techniques. *J Thorac Dis.* 2016; 8(12): 3762–3773. doi:10.21037/jtd.2016.12.88.

25. Conrad SA, Grier LR, Scott LK, Green R, Jordan M. Percutaneous cannulation for extracorporeal membrane oxygenation by intensivists: a retrospective single-institution case series. *Crit Care Med.* 2015; 43(5): 1010–1015. doi:10.1097/CCM.0000000000000883.

26. Platts DG, Sedgwick JF, Burstow DJ, et al. The role of echocardiography in the management of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation. *J Am Soc Echocardiogr.* 2012; 25(2): 131–141. doi:10.1016/j.echo.2011.11.009.

27. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. *Ann Transl Med.* 2017; 5(4): 70. doi:10.21037/atm.2016.11.47.

28. Passariello M, Tarrant C. Psychological safety in an ECMO retrieval team: a qualitative study to inform improvement. *BMJ Open Qual.* 2024; 13(2): e002706. doi:10.1136/bmjoq-2023-002706.

29. Labib A. Road transport on ECMO: the key elements. *Qatar Med J.* 2017; 2017(1): 50. doi:10.5339/qmj.2017.swacelso.50.

30. Mojoli F, Bianzina S, Caneva L, et al. Temperature monitoring during ECMO: an in vitro study. *Intensive Care Med Exp.* 2015; 3(Suppl 1): A506. doi:10.1186/2197-425X-3-S1-A506.

31. Bilodeau KS, Charette K, McMullan DM. Safety and efficacy of extracorporeal membrane oxygenation heating units. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2023; 15(1): 30–35. doi:10.1177/21501351231185114.

32. Rypulak E, Szczukocka M, Czarnik T. Utilisation and outcomes of a mobile (ambulance and air transport) venovenous extracorporeal membrane oxygenation (VV-ECMO) program in Poland during the COVID-19 pandemic – a retrospective, two-centre, case-series study. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2024; 56(2): 141–145. doi:10.5114/ait.2024.139526.

33. McMichael ABV, Ryerson LM, Ratano D, Fan E, Faraoni D, Annich GM. 2021 ELSO adult and pediatric anticoagulation guidelines. *ASAIO J.* 2022; 68(3): 303–310. doi:10.1097/MAT.0000000000001652.

34. Alexander PMA, Bembea MM, Cashen K, et al.; Pediatric ECMO Anticoagulation CollaborativE (PEACE), in collaboration with the Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators (PALISI) Network, the Pediatric Critical Care Blood Research Network (BloodNet), and the Pediatric ECMO subgroup of PALISI and the Extracorporeal Life Support Organization (PediECMO). Executive summary: the Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation CollaborativE (PEACE) Consensus Conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2024; 25(7): 643–675. doi:10.1097/PCC.0000000000003480.

35. Dabbous MK, Sakr FR, Malaeb DN. Anticoagulant therapy in pediatrics. *J Basic Clin Pharm.* 2014; 5(2): 27–33. doi:10.4103/0976-0105.134947.

36. Chegondi M, Vijayakumar N, Totapally BR. Management of anticoagulation during extracorporeal membrane oxygenation in children. *Pediatr Rep.* 2022; 14(3): 320–332. doi:10.3390/pediatric14030039.

37. Ozment C, Alexander PMA, Chandler W, et al.; Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) Anticoagulation CollaborativE (PEACE), in collaboration with the Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators (PALISI) Network, the Pediatric Critical Care Blood Research Network (BloodNet), and the Pediatric ECMO subgroup of PALISI and the Extracorporeal Life Support Organization (PediECMO). Anticoagulation monitoring and targets: the Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation CollaborativE consensus conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2024; 25(7 Suppl 1): e14–e24. doi:10.1097/PCC.0000000000003494.

38. Rogerson CM, Hobson MJ. The heparin–antithrombin product: a novel value for pediatric extracorporeal anticoagulation. *J Extra Corpor Technol.* 2022; 54(2): 115–122. doi:10.1051/ject/202254115.

39. Tume LN, Valla FV, Joosten K, et al. Nutritional support for children during critical illness: European Society of Pediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC) metabolism, endocrine and nutrition section position statement and clinical recommendations. *Intensive Care Med.* 2020; 46(3): 411–425. doi:10.1007/s00134-019-05922-5.

40. Mansour M, Knebusch N, Ontaneda A, et al. Nutrition provision in pediatric extracorporeal membrane oxygenation: evidence, challenges, and clinical considerations. Nutrients 2025; 17(9): 1553. doi:10.3390/nu17091553.

41. Smith HAB, Besunder JB, Betters KA, et al. 2022 Society of Critical Care Medicine clinical practice guidelines on prevention and management of pain, agitation, neuromuscular blockade, and delirium in critically ill pediatric patients with consideration of the ICU environment and early mobility. *Pediatr Crit Care Med.* 2022; 23(2): e74–e110. doi:10.1097/PCC.0000000000002873.

42. Rufener CR, Boulil Z, Suttner DM, et al. Extubation practices and outcomes during pediatric respiratory extracorporeal membrane oxygenation: analysis of the Extracorporeal Life Support Organization Registry, 2018–2022. *Pediatr Crit Care Med.* 2025; 26(5): e680–e688. doi:10.1097/PCC.0000000000003711.

43. Yoshida T, Uchiyama A, Matsuura N, Mashimo T, Fujino Y. Spontaneous breathing during lung-protective ventilation in an experimental acute lung injury model: high transpulmonary pressure associated with strong spontaneous breathing effort may worsen lung injury. *Crit Care Med.* 2012; 40(5): 1578–1585. doi: 10.1097/CCM.0b013e3182451c40.

44. Mallory PP, Selewski DT, Askenazi DJ, et al. Acute kidney injury, fluid overload, and outcomes in children supported with extracorporeal membrane oxygenation for a respiratory indication. *ASAIO J.* 2020; 66(3): 319–326. doi: 10.1097/MAT.0000000000001045

45. Selewski DT, Cornell TT, Blatt NB, et al. Fluid overload and fluid removal in pediatric patients on extracorporeal membrane oxygenation requiring continuous renal replacement therapy. *Crit Care Med.* 2012; 40(9): 2694–2699. doi: 10.1097/CCM.0b013e318258ff01.

46. Selewski DT, Askenazi DJ, Bridges BC, et al. The impact of fluid overload on outcomes in children treated with extracorporeal membrane oxygenation: a multicenter retrospective cohort study. *Pediatr Crit Care Med.* 2017; 18(12): 1126–1135. doi: 10.1097/PCC.0000000000001349

47. Fleming GM, Sahay R, Zappitelli M, et al. The incidence of acute kidney injury and its effect on neonatal and pediatric extracorporeal membrane oxygenation outcomes: a multicenter report from the Kidney Intervention During Extracorporeal Membrane

Oxygenation Study Group. *Pediatr Crit Care Med.* 2016; 17(12): 1157–1169. doi:10.1097/PCC.0000000000000970.

48. Goldstein SL, Currier H, Graf CD, Cosio CC, Brewer ED, Sachdeva R. Outcome in children receiving continuous venovenous hemofiltration. *Pediatrics.* 2001; 107(6): 1309–1312. doi: 10.1542/peds.107.6.1309.
49. Bridges BC, Dhar A, Ramanathan K, Steflik HJ, Schmidt M, Shekar K. Extracorporeal Life Support Organization guidelines for fluid overload, acute kidney injury, and electrolyte management. *ASAIO J.* 2022; 68(5): 611–618. doi:10.1097/MAT.0000000000001702.
50. Maratta C, Potera RM, van Leeuwen G, Castillo Moya A, Raman L, Annich GM. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO): 2020 pediatric respiratory ELSO guideline. *ASAIO J.* 2020; 66(9): 975–979. doi:10.1097/MAT.0000000000001223.
51. Tonna JE, Boonstra PS, MacLaren G, et al. Extracorporeal Life Support Organization Registry international report 2022: 100,000 survivors. *J Extra Corpor Technol.* 2024; 56(1): 3–14. doi:10.1056/NEJMc2308495.
52. Tang W, Zhang W-T, Zhang J, et al. Prevalence of hematologic complications on extracorporeal membranous oxygenation in critically ill pediatric patients: a systematic review and meta-analysis. *Thromb Res.* 2022; 222: 1–9. doi:10.1016/j.thromres.2022.12.014.
53. Dalton HJ, Cashen K, Reeder RW, et al. Hemolysis during pediatric extracorporeal membrane oxygenation: incidence and outcomes. *Pediatr Crit Care Med.* 2018; 19(8): e370–e376. doi:10.1097/PCC.0000000000001612.
54. Ozment C, Alexander PMA, Chandler W, et al.; Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) Anticoagulation CollaborativE (PEACE), in collaboration with the Pediatric Acute Lung Injury and Sepsis Investigators (PALISI) Network, the Pediatric Critical Care Blood Research Network (BloodNet), and the Pediatric ECMO subgroup of PALISI and the Extracorporeal Life Support Organization (PediECMO). Anticoagulation monitoring and targets: the Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation CollaborativE consensus conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2024; 25(7 Suppl 1): e14–e24. doi:10.1097/PCC.0000000000003494.
55. Zantek ND, Steiner ME, Teruya J, et al.; Pediatric ECMO Anticoagulation CollaborativE (PEACE). Recommendations on monitoring and replacement of antithrombin, fibrinogen, and von Willebrand factor in pediatric patients on extracorporeal membrane oxygenation: the Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation CollaborativE consensus conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2024; 25(7 Suppl 1): e35–e43. doi:10.1097/PCC.0000000000003492.
56. Rintoul NE, McMichael ABV, Bembea MM, et al.; Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) Anticoagulation Collaborative (PEACE). Management of bleeding and thrombotic complications during pediatric extracorporeal membrane oxygenation: the Pediatric Extracorporeal Membrane Oxygenation Anticoagulation CollaborativE consensus conference. *Pediatr Crit Care Med.* 2024; 25(7): e66–e77. doi:10.1097/PCC.0000000000003489.
57. Vajter J, Volod O. Anticoagulation management during ECMO: narrative review. *JHLT Open.* 2025; 8: 100216. doi:10.1016/j.jhlto.2025.100216.
58. Strong AE, Rudolph K, Denburg MR, Badheka A. Hemolysis monitoring practices during extracorporeal membrane oxygenation: a survey report. *Blood Purif.* 2025; 50(1–3): 1–7. doi:10.1159/000548469.
59. Lin G, Li Y, Zhuang Y, Fan Q, Luo Y, Zeng H. Seizures in children undergoing extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review and meta-analysis. *Pediatr Res.* 2023; 93(4): 755–762. doi:10.1038/s41390-022-02187-5.
60. Erickson S, DeWitt A, McMullan D, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in paediatric acute respiratory distress syndrome: overrated or underutilized? *Pediatr Crit Care Med.* 2019; 20(12): 1125–1133. doi:10.1097/PCC.0000000000002103.
61. Rosario DC, Ambati S. Extracorporeal membrane oxygenation in children. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. Last Update: July 10, 2023. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK572104/ (dostęp: 12.02.2026).
62. Barbaro RP, Xu Y, Borasino S, et al. Does extracorporeal membrane oxygenation improve survival in pediatric acute respiratory failure? *Am J Respir Crit Care Med.* 2018; 197(9): 1177–1186. doi: 10.1164/rccm.201709-1893OC.
63. Edril T, Lemme F, Konetzka A, et al. Extracorporeal membrane oxygenation support in pediatrics. *Ann Cardiothorac Surg.* 2019; 8(1): 109–115. doi: 10.21037/acs.2018.09.08.
64. Maratta C, Potera R, van Leeuwen G, et al. Extracorporeal Life Support Organization (ELSO): 2020 pediatric respiratory ELSO guideline. *ASAIO J.* 2020; 66(9): 975–979. doi:10.1097/MAT.0000000000001223.
65. Bishop MA, Moore A. Extracorporeal Membrane Oxygenation Weaning. 2023 Jun 21. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan–. PMID: 34033326.
66. Broman LM, Malfertheiner MV, Montisci A, Pappalardo F. Weaning from veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: how I do it. *J Thorac Dis.* 2018; 10(Suppl 5): S692–S697. doi: 10.21037/jtd.2017.09.95. PMID: 29732188; PMCID: PMC5911556.
67. Misselbrook GP, Kanji H, Thiara S, et al. Prediction of successful veno-venous extracorporeal life support liberation using the oxygen challenge test. *Artif Organs.* 2023; 47(1): 180–186. doi: 10.1111/aor.14382. Epub 2022 Aug 20. PMID: 35957529.



POLSKIE TOWARZYSTWO
ANESTEZJOLOGII I INTENSYWNEJ
TERAPII