

## ECMO jako metoda ratowania nie tylko noworodków, ale i dorosłych z niewydolnością krążenia i/lub oddychania

ECMO – a successful way to support an acutely failing heart/lungs.  
A chance everyone should be given

Marcin Borowicz<sup>1</sup>, Ewa Urbańska<sup>2</sup>, Roman Przybylski<sup>3</sup>, Jacek Wojarski<sup>3</sup>, Adam Grzybowski<sup>2</sup>, Tomasz Szary<sup>1</sup>, Grzegorz Włoczka<sup>1</sup>, Janusz H. Skalski<sup>4</sup>, Marian Zembala<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Zespół Perfuzji, Śląskie Centrum Chorób Serca, Zabrze

<sup>2</sup>Oddział Kliniczny Kardioanestezji i Intensywnej Terapii, Śląskie Centrum Chorób Serca, Zabrze

<sup>3</sup>Katedra i Oddział Kliniczny Kardiologii i Transplantologii, Śląski Uniwersytet Medyczny, Śląskie Centrum Chorób Serca, Zabrze

<sup>4</sup>Klinika Kardiologii Dziecięcej UJ CM, Polsko-Amerykański Instytut Pediatrii, Wydział Lekarski UJ CM w Krakowie

Kardiologia i Torakochirurgia Polska 2008; 5 (2): 183–186

### Streszczenie

Membranowe natlenianie pozaustrojowe (ECMO) jest podstawową metodą ratowania chorych ze skrajną niewydolnością układu krążenia i oddychania. Autorzy przedstawiają dwa najczęściej spotykane scenariusze zastosowania ECMO oraz opisują własne doświadczenia w kwalifikacji, przygotowaniu i prowadzeniu terapii.

**Słowa kluczowe:** ECMO, niewydolność oddechowa u noworodków, niewydolność serca.

### Abstract

Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) is the foundation of cardiopulmonary support in infants, children and adult patients. It has been used extensively in cases of acute, severe lung and heart failure, particularly in neonates with severe lung disease. The following article describes the most commonly encountered clinical scenarios when ECMO support was required and discusses its use in both neonatal and adult patients. Moreover, safeguarding tips and frequently encountered pitfalls are emphasized.

**Key words:** ECMO, heart failure, respiratory failure.

### Wstęp

Pozaustrojowe natlenianie krwi za pomocą membranowego wymiennika tlenowego (ang. *Extracorporeal Membrane Oxygenation*, ECMO) jako metoda wspomaganie oddechowego i/lub krążenia wyrosła z kardiologii. Początkowo stosowane materiały w zetknięciu z krwią powodowały tak znaczne uszkodzenie jej elementów morfotycznych, że po kilku godzinach chorzy umierali z objawami uszkodzenia wielonarządowego. Wśród wielu odkryć w medycynie, takich jak wyizolowanie z wątroby przez Jaya McLeana w 1916 r. substancji zmniejszającej krzepliwość krwi – heparyny, wynalezienie przez Michaela De Bekeya w 1934 r. rolkowej pompy perystaltycznej czy skonstruowania w 1948 r. przez Vikinga Björka i Clarence Crafoorda oksygenatora dyskowego, największe znaczenie dla ECMO miało odkrycie własności gumy silikonowej

dokonane przez Karla Kammermeyera w 1957 r. i w 1963 r. opracowanie oksygenatora membranowego przez Theodora Kolobowa. Tworzywo to w kontakcie z krwią nie powoduje istotnej hemolizy erytrocytów, a jednocześnie jest na tyle wytrzymałe, że można z niego wykonać błonę dyfuzyjną. W ten sposób powstał pierwszy oksygenator membranowy spełniający wymogi ECMO [1].

Pierwszego 72-godzinnego, u dorosłego pacjenta, wspomaganie metodą ECMO dokonał J.D. Hill w roku 1972. W 1977 r. German i Gazzaniga zastosowali ECMO u noworodka z przetrwałym krążeniem płodowym po korekcji przepukliny przeponowej [2]. Po początkowym rozczarowaniu tą metodą spowodowanym mało zachęcającymi wynikami pierwszego badania wieloośrodkowego z lat 1975–1978 [3], prowadzone w latach 1982–1984 na uniwersytecie w Michigan, w latach 1986–1988 w Boston Children Hospital oraz w latach

**Adres do korespondencji:** Marcin Borowicz, Zespół Perfuzji Katedry i Kliniki Kardiologii i Transplantologii ŚUM, Śląskie Centrum Chorób Serca, ul. Szpitalna 2, 41-800 Zabrze, tel. 32 373 36 52, e-mail: marboro4@wp.pl

1992–1995 w UK Collaborative Trial of Neonatal ECMO badania doprowadziły do uznania ECMO za metodę z wyboru w leczeniu skrajnie ciężkiej niewydolności oddechowej u noworodków, niepoddającej się metodom konwencjonalnym [4]. W 1984 r. Bartlett i wsp. założyli pierwsze centrum leczenia noworodków metodą ECMO, a w 1989 r. powstała Organizacja ELSO (ang. *Extracorporeal Life Support Organization*) zajmująca się prowadzeniem ogólnosiwiatowego rejestru chorych leczonych za pomocą ECMO: danych dotyczących leczonych chorych, przebiegu leczenia, występujących powikłań oraz zastosowanych rozwiązań technicznych [5]. Dnia 23.02.2000 r. przeprowadzono w Zabrze pierwsze w Polsce nalenie pozaustrojowe metodą żyłno-żylną u noworodka [1].

### Wskazania i przeciwwskazania do stosowania ECMO

Wskazaniami dla zastosowania ECMO u noworodka są: masa ciała powyżej 2000 g, wiek płodowy powyżej 35 tyg. ciąży, schorzenie możliwe do wyleczenia, np.: RDS, przetrwałe nadciśnienie płucne płodowe, przepuklina przeponowa, wrodzone zapalenie płuc, zespół zachłyśnięcia smółką, przetrwałe krążenie płodowe.

Przy zastosowaniu tej metody terapii konieczna jest zgoda rodziców lub prawnych opiekunów. Z parametrów wydolności układu oddechowego za najprostsze uznawane jako kryterium w światowych ośrodkach ECMO uznaje się: indeks utlenowania (OI) powyżej 40 oraz utrzymywanie się niskiego PaO<sub>2</sub> (30–50 mmHg) wraz z pogorszeniem wydolności układu krążenia i narastającą kwasicą w badaniach gazometrycznych – stanowią one wskazanie do zastosowania ECMO.

Dla dziecka wskazaniami do zastosowania ECMO są: różnica pęcherzykowo-włośniczkowa >450 utrzymująca się przez 24 godz., konieczność zastosowania wysokich parametrów sztucznej wentylacji, obecność hiperkapni (z wyjątkiem hiperkapni terapeutycznej – ang. *permissive hypercapnia*), obecność towarzyszącej niewydolności krążeniowej, niereagującej na zastosowane leczenie.

Stan taki najczęściej występuje w przebiegu ciężkich zapaleń płuc, atypowych, wirusowych (RSV), bakteryjnych, ARDS na tle posocznicy, stanach po masywnych przetoczeniach krwi, zatruciach wziewnych, urazach.

Wskazaniami do zastosowania ECMO u pacjenta dorosłego są: niewydolność krążeniowo-oddechowa niereagująca na terapię konwencjonalną (zastosowanie tlenu w stężeniach powyżej 80%, szczytowe ciśnienia wdechowe powyżej 35 cm H<sub>2</sub>O), obecność prawokomorowej niewydolności serca przy prawidłowej czynności lewej komory, po zastosowanym leczeniu kardiologicznym (masywna zatorowość płucna), brak możliwości zakończenia krążenia pozaustrojowego po wykonanym prawidłowo zabiegu kardiologicznym oraz krótkotrwałe oczekiwanie na przeszczep serca i/lub płuc.

Najczęstsze schorzenia, w których stosowano z powodzeniem ECMO, to: zapalenie płuc, ARDS, zator tętnicy płucnej, skrajna kardiomiopatia, zapalenie mięśnia sercowego.

Przeciwwskazaniami ogólnymi do zastosowania metody ECMO są: nieodwracalność procesu chorobowego leżącego

u podstaw niewydolności oddechowej i/lub krążeniowej, przeciwwskazania do przedłużonej heparynizacji, znaczne pogorszenie jakości życia i funkcjonowania organizmu po ostatecznym zakończeniu terapii, brak zgody pacjenta lub jego prawnych opiekunów [1, 6]. W naszym doświadczeniu najczęstszą przyczyną braku możliwości przyjęcia chorego do zastosowania tej terapii jest stosowanie u noworodka przedłużonej wentylacji mechanicznej (>10 dni), która doprowadza do nieodwracalnych zmian w układzie oddechowym oraz skrajnie ciężki stan chorego uniemożliwiający bezpieczny transport do ośrodka ECMO (zabezpieczenie w ciągłą podaż wziewną tlenu azotu w karetkie transportującej/transporcie lotniczym).

### Kaniulacja

Rozpoczęcie leczenia pacjenta metodą ECMO i jej zakończenie, tj. kaniulacja i dekaniulacja, są wykonywane przez wyznaczonych i przeszkolonych chirurgów lub kardiologów. Kaniulacja wymaga znieczulenia ogólnego i przygotowanego jałowo pola operacyjnego. Jest ona wykonywana przez zespół chirurgów metodą odstonięcia naczyń.

Istnieją dwa główne typy kaniulacji pacjenta w celu włączenia go w układ ECMO:

- kaniulacja żyłno-żylna jest stosowana przy niewydolności oddechowej bez komponenty niewydolności krążenia. Najczęściej jest stosowana u noworodków;
- kaniulacja tętniczo-żylna jest stosowana przy niewydolności oddechowej wraz z brakiem stabilności hemodynamicznej pacjenta. W tej metodzie możliwe jest zastosowanie kaniul wyprowadzonych z klatki piersiowej, założonych śródoperacyjnie podczas zabiegu kardiologicznego lub założenie kaniul poza klatką piersiową poprzez odstonięcie naczyń. Wyboru naczyń i rozmiaru kaniul dokonują chirurdzy w porozumieniu z lekarzem prowadzącym ECMO [1].

### Technika krążenia

Po zapadnięciu decyzji o wspomaganiu metodą ECMO perfuzjonista ustala rozmiar oksygenatora oraz średnicę drenów. Układ zostaje wyposażony w szereg portów na liniach tętniczej i żylnych, służących do podawania leków lub do włączenia w układ obwodu do hemofiltracji. Pomiar ciśnień odbywa się w trzech punktach, przed i za oksygenatorem oraz na linii żylnych przed pompą rolkową lub pompą bezokluzyjną, który mierzy podciśnienie na linii poboru krwi żylnych do oksygenatora. Po zmontowaniu układu zostaje on przepłukany dwutlenkiem węgla (CO<sub>2</sub>) w celu zminimalizowania embolizacji powietrzem po podłączeniu układu do pacjenta. Do wypełnienia układu ECMO w zależności od rozmiaru oksygenatora i średnicy drenów stosujemy: masę erytrocytarną, albuminę ludzką 5-proc. lub 20-proc., Natrium Bicarbonatum 8,4% (2,5 ml/100 ml wypełnienia), Calcium chloratum 1 mmol/ml (2 ml/500 ml wypełnienia) oraz heparynę (100 jednostek/500 ml wypełnienia). Po przygotowaniu płynów wypełniających układ zostaje odpowietrzony grawitacyjnie. Po kilkunastominutowym odpowietrzaniu, w trakcie którego chirurdzy rozpoczynają kaniulację pacjenta, układ ECMO jest go-

towy do podłączenia do pacjenta. Wspomaganie rozpoczynaemy od małego przepływu, ok. 50 ml/kg/min, stopniowo zwiększając do żądanego 100–150 ml/kg/min, cały czas obserwując ciśnienia tętnicze i ciśnienia w układzie pompy. Aktywowany czas krzepnięcia ACT utrzymujemy na poziomie ok. 180 s poprzez ciągły wlew heparyny. Przy wspomaganiu za pomocą pompy rolkowej co 24 godz. przekładamy dren na bieżni pompy. W tym celu, po rozpoczęciu pełnej wentylacji, zatrzymujemy pompę i przekładamy dren na bieżni pompy o długość bieżni. Działanie to ma na celu wyeliminowanie ryzyka pęknięcia drenu. Co 15 min przepinany jest klem na szaniec tętniczo-żylny, zapobiegający wykrzepieniu krwi w szaniec.

### Prowadzenie terapii

Podczas zastosowania ECMO konieczna jest współpraca wielu specjalistów oraz stałego zespołu nadzorującego przebieg terapii. W zespole zajmującym się pacjentem w trakcie leczenia znajdują się lekarz prowadzący ogólną terapię pacjenta, przeszkolony w stosowaniu tej metody, perfuzjonista odpowiedzialny za działanie układu krążenia pozaustrojowego i pielęgniarka zajmująca się wyłącznie tym pacjentem. Prowadzenie ogólne pacjenta podczas stosowania ECMO nie odbiega od zasad klasycznej intensywnej terapii z kilkoma modyfikacjami dotyczącymi oszczędzającej wentylacji mechanicznej, zastosowania heparyny i środków krwio pochodnych, częstego i ułatwionego stosowania hemofiltracji oraz szczegółowego monitorowania chorego i układu pompy do krążenia pozaustrojowego i oksygenatora. Odłączanie od układu ECMO jest rozważane po poprawie radiologicznej i klinicznej płuc, próbnym obciążeniu pełnym oddechem oraz po zminimalizowaniu przepływu w układzie ECMO. Przy zadowalających wynikach, uzyskanych po dwugodzinnym zaklemowaniu kaniul, następuje dekaniulacja wykonywana przez zespół lekarzy [1, 5–7].

### Opisy przypadków

#### Opis przypadku 1.

N „s” Sabiny urodził się w 36. tygodniu ciąży drogą cięcia cesarskiego z masą urodzeniową 3600 g. Bezpośrednio po porodzie otrzymał 7 punktów w skali Apgar. W pierwszych minutach po porodzie doszło u dziecka do bezdechu z sinicą i zwolnieniem czynności serca. Zastosowano wentylację przez maskę twarzową, a następnie tlenoterapię bierną. Wobec narastającego wysiłku oddechowego w 4. godz. życia noworodka zaintubowano i przekazano na OIOM dla dzieci w Opolu, skąd po rozpoznaniu wrodzonego zapalenia płuc z nadciśnieniem płucnym, ze względu na konieczność zastosowania skrajnie wysokich parametrów wentylacji, dziecko przekazano do Śląskiego Centrum Chorób Serca w celu przeprowadzenia procedury natleniania pozaustrojowego. Przed transportem dziecka uzyskano zgodę rodziców na planowane leczenie. Przy przyjęciu na oddział stan dziecka był skrajnie ciężki. Kontynuowano wentylację mechaniczną z użyciem 100-proc. tlenu z użyciem 40 ppm tlenu azotu, uzyskując  $paO_2$  krwi na poziomie 30 mmHg oraz saturację 75%.

Krążenie dziecka podtrzymywane było wlewem dopaminy i dobutaminy. Po skompletowaniu sprzętu oraz zestawu do prowadzenia ECMO noworodka znieczulono, a kardiochirurg wykonał kaniulację żyły szyjnej wewnętrznej prawej dwuświatłową kaniulą ECMO o rozmiarze 12 French. W 28. godz. życia, po uzyskaniu pełnej heparynizacji, u noworodka rozpoczęto krążenie pozaustrojowe z zastosowaniem pompy perystaltycznej i oksygenatora membranowego AVECOR 0800. Początkowo przepływ pompy wynosił 220 ml/min, co stanowiło 60 ml/kg/min i był stopniowo zwiększany do 120 ml/kg/min, co pozwoliło po 12 godz. terapii uzyskać wzrost ciśnienia parcjalnego tlenu w krwi tętniczej z 25 do 75 mmHg i  $SO_2$  z 75% do 98%. Przez 7 dni prowadzono natlenianie pozaustrojowe z równoczesnym prowadzeniem antybiotykoterapii i intensywnej fizykoterapii układu oddechowego. W 7. dobie, po uzyskaniu prawidłowego obrazu radiologicznego płuc i wycofaniu się w badaniu ultrasonograficznym serca cech nadciśnienia płucnego, zapadła decyzja o zakończeniu wspomaganie ECMO. Noworodek w 9. dobie pobytu został przekazany w celu dalszego leczenia na oddział intensywnej terapii w Opolu, skąd po miesiącu terapii został wypisany do domu.

#### Opis przypadku 2.

48-letni pacjent z chorobą wieńcową, po przebytych dwóch zawałach przednio-bocznych i implantacji stentu do LAD, z frakcją wyrzutową 35%, akinezą koniuszka, hypokinezą boku, wysokim ciśnieniem płucnym (~70 mmHg), zaawansowaną miażdżycą kończyn dolnych (by-pass aortalno-udowy po stronie prawej, zwężenie lewej tętnicy udowej do 70%) został przyjęty w celu wykonania zabiegu rewaskularyzacji serca. W trybie planowym wykonano u chorego dwa zespolenia: RITA-LAD (szkieletowana) i LITA-OM2 bez zastosowania krążenia pozaustrojowego. Początkowo po zabiegu stan chorego był stabilny na wlewie 5 mcg dopaminy, ze średnimi ciśnieniami w tętnicy płucnej ok. 50 mmHg i w 1. dobie po zabiegu po odzyskaniu przytomności chory został planowo rozintubowany. W 2. dobie po zabiegu zaobserwowano spadek rzutu serca (CI 1,8) oraz obecność znacznej ilości płynu w prawej j. opłucnowej. Do leczenia dołączono leki inotropowe (adrenalina, dopamina, corotrop) oraz ewakuowano płyn przesiękowy z j. opłucnowej. W wykonanym UKG stwierdzono słabą kurczliwość obu komór serca z LVEF ~15%, ale badanie kontrolne EKG nie wykazało cech niedokrwienia mięśnia sercowego. Z powodu braku możliwości implantacji balonu do kontrpulsacji wewnątrzaoortalnej przez tętnicę udową (zmiany miażdżycowe) zdecydowano o skierowaniu chorego na blok operacyjny, gdzie balon został założony przez klatkę piersiową. Po założeniu balonu do kontrpulsacji nie uzyskano stabilizacji hemodynamicznej chorego i to zdecydowało o zastosowaniu wspomaganie krążenia metodą tętniczo-żylnego ECMO. Napływ żylny do pompy uzyskano, kaniulując prawy przedsionek serca kaniulą żylną dwustopniową 36/46 oraz lewy przedsionek wentem komorowym 20 Fr. Powrót krwi do chorego po natlenieniu w oksygentorze membranowym Medtronic 4500 prowadzono przez kaniulę aortalną EOPA 24 do aorty wstępującej. Uzyskano w ten sposób bar-

dzo dobry spływ żylny, który umożliwił pełne odciążenie pracy serca. Po 3 pełnych dobach pełnego wspomaganie krążenia w badaniu UKG stwierdzono znaczną poprawę kurczliwości mięśnia sercowego (LVEF 35%). Wykonano próbne zmniejszenie przepływu pompy ECMO oraz kontrolne pomiary rzutu i indeksu sercowego. Po stwierdzeniu stabilnego stanu hemodynamicznego chorego podjęto decyzję o wyszczepieniu ECMO w warunkach sali operacyjnej, pozostawiając wsparcie balonem do kontrpulsacji wewnątrzaoortalnej. W ciągu kolejnych 14 dni stan chorego umożliwił zredukowanie stosowanych katecholamin i usunięcie balonu do kontrpulsacji, a dalszym okresie wypisanie chorego ze szpitala.

### Podsumowanie

Od pierwszego zastosowania ECMO w Śląskim Centrum Chorób Serca w 2000 r. procedurę tę w różnych modyfikacjach zastosowano u 11 noworodków, 11 dzieci oraz u 22 dorosłych. U tych chorych uzyskano ogólnie 41-proc. przeżycie, a najlepsze wyniki uzyskano w grupie noworodków [7, 8]. Zastosowanie ECMO pozwala uniknąć niekorzystnych elementów leczenia, takich jak zastosowanie wysokich ciśnień oddechowych, wysokich stężeń tlenu, skutków niskiego rzutu serca, stosowania wysokich dawek katecholamin, a także stwarza warunki oraz daje czas do farmakologicznego lub sa-

moistnego wyleczenia chorób zagrażających życiu. Może być również stosowane jako system podtrzymywania życia w oczekiwaniu na przeszczep serca, płuc czy wszczepienie sztucznych komór serca. ECMO jest metodą niezwykle inwazyjną i drogą, ale chorym z najcięższą postacią niewydolności oddechowej lub krążeniowej może dać szansę na przeżycie.

### Piśmiennictwo

1. Skalski JH, Religa Z. *Kardiochirurgia dziecięca*. „Śląsk” Wydaw. Naukowe, Katowice 2003.
2. German JC, Gazzaniga AB, Amlie R, Huxtable RF, Bartlett RH. Management of pulmonary insufficiency in diaphragmatic hernia using extracorporeal circulation with membrane oxygenator (ECMO). *J Ped Surg* 1977; 12: 905-912.
3. Zapol WM, Snider TM, Hill JD. Extracorporeal Membrane Oxygenation in severe respiratory failure. *JAMA* 1979; 242: 2193-2196.
4. UK collaborative randomized trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation. UK Collaborative ECMO Trial Group. *Lancet* 1996; 348: 75-82.
5. Zwischenberger JB, Bartlett RH. Extracorporeal cardiopulmonary support in critical care. Ann Arbor, Michigan Extracorporeal Life Support Organization 1995.
6. Urbańska E, Grzybowski A, Przybylski R, Szary T, Włoczka G, Skalski J, Białkowski J, Zembala M. Zastosowanie pozaustrojowego natleniania krwi (ECMO) u noworodków. *Anest Inten Ter* 2001; 33: 101-106.
7. Urbańska E, Grzybowski A, Haponiuk I, Przybylski R, Walas W, Stempniewicz K, Szary T, Włoczka G, Skalski J, Zembala M. Leczenie skrajnej niewydolności oddechowej noworodków z zastosowaniem natleniania pozaustrojowego. *Med Wiek Rozw* 2006; 10: 1055-1065.
8. Urbańska E, Grzybowski A, Przybylski R, Szary T, Włoczka G, Haponiuk I, Skalski J, Zembala M. Natlenianie pozaustrojowe (ECMO) – doświadczenia Śląskiego Centrum Chorób Serca. *Kardiochir Torakochir Pol* 2004; 1: 59-64.