

David Janák, Pavel Hála

---

# ECMO pro chirurgickou praxi

---





David Janák, Pavel Hála

---

# ECMO pro chirurgickou praxi

---

**Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy**

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

## ECMO pro chirurgickou praxi

**Autoři:**

MUDr. David Janák, Ph.D.,  
Klinika kardiovaskulární chirurgie 2. LF UK a FN Motol, Praha  
MUDr. Pavel Hála, Ph.D.,  
Kardiologické oddělení Nemocnice Na Homolce, Praha

**Recenzent:**

MUDr. Jaroslav Kudlička, Ph.D.

© Grada Publishing, a.s., 2023

Cover Photo © depositphotos.com, 2023. Originální olejová malba plachet a moře na plátně. Moderní impresionismus. Autor: borojoint  
Schémata David Janák, fotografie z archivu autorů

Vydala Grada Publishing, a.s.  
U Průhonu 22, Praha 7  
jako svou 8695. publikaci  
Odpovědná redaktorka Mgr. Ivana Podmolíková  
Sazba a zlom Karel Mikula  
Počet stran 112  
1. vydání, Praha 2023  
Vytiskla TISKÁRNA V RÁJI, s.r.o., Pardubice

*Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.*

*Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.*

ISBN 978-80-271-7088-3 (ePub)

ISBN 978-80-271-7087-6 (pdf)

ISBN 978-80-271-5176-9 (print)

# Obsah

## Úvod

David Janák . . . . .	9
-----------------------	---

## 1 Historie podpor ECMO

Pavel Hála . . . . .	13
----------------------	----

## 2 ECMO – typy zapojení

David Janák . . . . .	17
2.1 VA ECMO . . . . .	17
2.2 VV ECMO . . . . .	18
2.3 VVA ECMO . . . . .	19
2.4 VAV ECMO . . . . .	20
2.5 VPa ECMO . . . . .	21

## 3 Hemodynamika ECMO

Pavel Hála . . . . .	23
3.1 VA ECMO . . . . .	24
3.2 Interakce více cirkulací . . . . .	24
3.3 Změny tlakové křivky . . . . .	25
3.4 Srdeční hemodynamika . . . . .	25
3.5 Progrese do plicního měštnání . . . . .	26
3.6 Perfuze myokardu . . . . .	27
3.7 Pulzatilní formy ECMO . . . . .	28
3.8 Metody unloadování levé komory . . . . .	28
3.8.1 Síňová septostomie . . . . .	28
3.8.2 Metody přímého ventování . . . . .	29
3.8.3 Balonková kontrapulzace . . . . .	29
3.8.4 Přímá podpora levé komory . . . . .	29
3.8.5 Mísení žilní krve a recirkulace okruhem . . . . .	30

## 4 VA ECMO

David Janák . . . . .	33
4.1 Indikace VA ECMO . . . . .	34
4.1.1 Kardiogenní šok . . . . .	34
4.1.2 Srdeční zástava . . . . .	35

4.1.3	Souvislost s kardiochirurgickou operací, postkardiotomický šok . . . . .	36
4.1.4	Zajištění rizikové srdeční endovaskulární procedury . . . . .	36
4.1.5	Myokarditida . . . . .	37
4.1.6	Septický šok . . . . .	38
4.1.7	Plicní hypertenze . . . . .	39
4.1.8	Akutní plicní embolie . . . . .	39
4.1.9	Otravy . . . . .	39
4.1.10	ECMO u traumatu . . . . .	40
4.2	Kontraindikace VA ECMO . . . . .	40
<b>5</b>	<b>VV ECMO</b>	
	David Janák . . . . .	<b>45</b>
5.1	Indikace VV ECMO . . . . .	45
5.2	Kontraindikace VV ECMO . . . . .	48
<b>6</b>	<b>Okruh ECMO</b>	
	David Janák . . . . .	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>Monitorování pacienta na terapii ECMO</b>	
	David Janák . . . . .	<b>58</b>
7.1	Průtok okruhem ECMO, MAP a hemodynamické monitorování . . . . .	58
7.2	Echokardiografie . . . . .	60
7.3	Výměna plynů a ventilace . . . . .	61
7.4	Ventilátor . . . . .	62
7.5	SvO <sub>2</sub> a laktát . . . . .	63
7.6	Antikoagulační terapie . . . . .	64
7.7	Kardiomarkery . . . . .	64
7.8	Pulzatilita . . . . .	65
7.9	Neurofyziologické monitorování mozkové činnosti . . . . .	65
7.10	Kontrola perfuze končetiny . . . . .	66
7.11	Okruh ECMO . . . . .	67
7.12	Kontrola srdečního rytmu . . . . .	67
7.13	Farmakokinetika . . . . .	67
7.14	Ošetrovatelská péče . . . . .	68

<b>8</b>	<b>Komplikace při terapii ECMO</b>	<b>72</b>
	David Janák . . . . .	72
8.1	Krvácení . . . . .	72
8.2	Neurologické komplikace . . . . .	74
8.3	Tromboembolické komplikace . . . . .	75
8.4	Infekční komplikace . . . . .	76
8.5	Hemolýza . . . . .	76
8.6	Komplikace během kanylace a dekanylace . . . . .	77
8.7	Ischemické komplikace . . . . .	77
8.8	Specifické komplikace ECMO . . . . .	78
8.9	Další komplikace . . . . .	79
<b>9</b>	<b>Kanylace ECMO</b>	<b>84</b>
	David Janák . . . . .	84
9.1	Periferní kanylace VA ECMO pro srdeční podporu . . . . .	85
9.2	Kanylace VV ECMO pro respirační podporu . . . . .	93
9.3	Femoro-femorální VV ECMO . . . . .	93
9.4	Femoro-jugulární VV ECMO . . . . .	94
9.5	Bikavální, dvoulumenová kanyla pro zavádění z jednoho místa vstupu . . . . .	94
<b>10</b>	<b>Terapie ECMO u novorozců a pediatrických pacientů</b>	<b>98</b>
	Pavel Hála . . . . .	98
10.1	Indikace terapie ECMO u dětí . . . . .	98
	10.1.1 Respirační indikace u novorozců a pediatrických pacientů . . . . .	98
	10.1.2 Kardiální indikace u novorozců a pediatrických pacientů . . . . .	98
10.2	Modality podpory ECMO u pediatrických pacientů . . . . .	99
10.3	Kanyly a kanylace . . . . .	100
10.4	Umělá plicní ventilace . . . . .	100
10.5	Požadavky na personální zastoupení a vybavení . . . . .	101
10.6	Klinický význam komplikací vyskytujících se u novorozců a dětí při terapii ECMO . . . . .	101
	<b>Zkratky . . . . .</b>	<b>104</b>
	<b>Rejstřík . . . . .</b>	<b>107</b>





## Úvod

David Janák

Extrakorporální membránová oxygenace (*extracorporeal membrane oxygenation*, ECMO) zaznamenala v posledních letech pozoruhodný pokrok a stala se neocenitelným nástrojem v péči o dospělé a děti s těžkou srdeční a plicní dysfunkcí. Mechanická kardiopulmonální podpora má mnoho druhů a jejím zastřešujícím obecným názvem je mimotělní podpora života. Při použití přístroje na operačním sále ve veno-arteriálním režimu k poskytnutí celkové podpory funkce srdce a plic k usnadnění srdečních operací je tato technika běžně nazývána jako kardiopulmonální bypass (*cardiopulmonary bypass*, CPB). Kardiopulmonální bypass byl poprvé úspěšně použit v roce 1953, kdy dr. John H. Gibbon opravil defekt síňového septa u 18leté ženy. Při použití této metody s extratorakální kanylací pro podporu dýchání se tato technika nazývá extrakorporální membránová oxygenace (ECMO), při mimotělním odstranění CO<sub>2</sub> *extracorporeal carbon dioxide removal* (ECCOR) a při mimotělní plicní asistenci *extracorporeal lung assist* (ECLA). Při použití s extratorakálními kanylami pro nouzovou srdeční podporu se tato technika nazývá kardiopulmonální podpora (*cardiopulmonary support*, CPS) nebo mimotělní kardiopulmonální resuscitace (ECPR). Krevní pumpy samotné lze použít jako zařízení na podporu pravé srdeční komory (*right ventricular assist device*, RVAD), zařízení na podporu levé srdeční komory (*left ventricular assist device*, LVAD) nebo obou komor (*biventricular assist device*, BiVAD). Zkratky ECMO a ECLS (*extracorporeal life support*) se používají jako synonyma pro prodloužený mimotělní oběh pomocí mechanických zařízení (Zwischenberger, Bartlett). ECLS lze použít pro mechanickou pomoc při plicním nebo srdečním selhání, ke kterému dochází u dospělých i novorozenců. Nejenže technologie ECMO byla přenesena z operačního sálu k lůžku pacienta, což lékařům umožnilo pomáhat při péči o kriticky nemocné pacienty vyžadující plicní nebo kardiopulmonální podporu, ale ECMO se stalo také pozoruhodně přenosným a umožnilo intra- a internemocniční transport u jinak nestabilních pacientů. V závislosti na aplikaci lze ECMO použít ve veno-arteriálním a veno-venózním režimu. Pro optimalizaci péče o pacienty, kteří potřebují ECLS, byla založena Extracorporeal Life Support Organization

(ELSO) – studijní skupina složená z klinických center, kde se ECLS používá. Nejdůležitější činností ELSO je udržovat rozsáhlou centrální databázi zahrnující registr všech případů použití ECLS (již přes 10 000), kontrolu zařízení a komplikací, stav sledování a aktivitu jednotlivých center. ELSO koordinuje prospektivní studie, publikuje doporučení, použití a praxi ECLS, usnadňuje výuku, metodiku, standardizaci, komunikaci a slouží jako profesionální autorita pro technologii ECLS.

Extrakorporální membránová oxygenace je metoda umožňující mimotělní podporu životních funkcí. Pacienti se srdečním, respiračním nebo kombinovaným selháním vyžadují komplexní specializovanou péči. U pacientů se srdečním selháním je farmakoterapie s dietními a režimovými opatřeními a resynchronizační terapií brána jako konvenční léčba. Terapie ECMO je indikována u potenciálně reverzibilních, život ohrožujících stavů postihujících srdce nebo plíce, které jsou refrakterní ke konvenční léčbě. Tato metoda je využívána v intenzivní medicíně jak u dospělých a pediatrických pacientů, tak u novorozenců a umožňuje dočasně nahradit funkci plic a srdce. ECMO je invazivní, život zachraňující terapeutická metoda, jejíž výhodou je rychlost zavedení, vysoká účinnost, ale nevýhodou zároveň značná invazivita zavedení. Jedná se o princip extrakorporálního krevního oběhu, kdy se pomocí drénovací žilní kanyly nasává žilní krev pacienta do oxygenátoru, kde dochází k výměně plynů, krev se obohatí o kyslík, odstraní se oxid uhličitý a okysličená krev se vrací pomocí arteriální kanyly zpět do krevního oběhu nemocného. Volba typu podpory ECMO je závislá na hemodynamických parametrech pacienta. Podpora veno-venózní (VV) ECMO se používá u plicní patologie s dobrou funkcí srdečních komor. Podpora veno-arteriální (VA) ECMO se používá při společném postižení srdce a plic nebo při izolovaném postižení srdce. Periferní VA ECMO lze zavést perkutánně nebo chirurgicky na operačním sále i mimo operační sál u pacientů s refrakterním kardiogenním šokem se srdeční zástavou přes femorální cévy. Centrální VA ECMO je primárně zaváděno na operačním sále a poskytuje krátkodobou podporu, většinou u pacientů po kardiochirurgických výkonech, kteří nemohou být odpojeni od mimotělního oběhu. VV ECMO je metoda, která zvyšuje přežívání u pacientů s těžkým respiračním selháním. Jak uvedl Warren Zapol, jeden z otců respiračního ECMO, v *New England Journal of Medicine* v roce 1972, cílem ECLS je „koupit si čas“ a přitom udržet adekvátní tkáňovou perfuzi organismu.

Indikace podpor ECMO se v dnešní době rozšiřují na další použití na jednotkách intenzivní péče – jako most k transplantaci plic a srdce (*bridge to transplant*), jako podpora u resekcí plic, polytraumat, septického šoku a u nestabilních pacientů. V současné době při zvyšujícím se počtu použití podpor ECMO, se zlepšujícím se vybavením a zkušenostmi lékařů se metoda stala spolehlivější, což se odráží ve zlepšujících se výsledcích podpory oběhu u selhávajících pacientů. V kontextu teorie a praxe je třeba si uvědomit, že terapie ECMO je primárně podpůrná metoda, ne léčba modifikující základní onemocnění sama o sobě. Nutný je individuální přístup k pacientovi, správná indikace zavedení a typu podpory ECMO, optimální management průběhu podpory a předvídaní možných periprocedurálních komplikací.

### Literatura

- ABRAMS, D., COMBES, A., BRODIE, D. Extracorporeal membrane oxygenation in cardiopulmonary disease in adults. *J Am Coll Cardiol* 2014; 63: 2769–2778.
- BIANCARI, F., PERROTTI, A., DALÉN, M. et al. Meta-analysis of the outcome after postcardiotomy venoarterial extracorporeal membrane oxygenation in adult patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018; 32: 1175–1182.
- FRASER, J. F., SHEKAR, K., DIAB, S. et al. ECMO – the clinician’s view. *ISBT Sci Ser* 2012; 7: 82–88.
- CHUNG, M., SHILOH, A. L., CARLESE, A. Monitoring of the Adult Patient on Venous-Arterial Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Sci World*, vol. 2014, Article ID 393258, 10 pages.
- JANÁK, D. *Regionální průtok a množství mikroembolů v a. carotis communis při různých úrovních hemodynamiky řízené VA-ECMO*. Dizertační práce. Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, Fyziologický ústav 1. LF UK. Praha, 2019.
- *What is ECLS?: An Introduction to Extracorporeal Life Support* by Joseph B. Zwischenberger, MD and Robert H. Bartlett, MD Dostupné z: <https://www.med.umich.edu/ecmo/about/what.html>.
- MacLAREN, G., COMBES, A., BARTLETT, R. H. Contemporary extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory failure: life support in the new era. *Intensive Care Med* 2012; 38: 210–220.
- MARASCO, S. F., LUKAS, G., McDONALD, M. et al. Review of ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) support in critically ill adult patients. *Heart Lung Circ* 2008; 17: 41–47.

- PRANIKOFF, T., HIRSCHL, R. B., STEIMLE, C. N. et al. Efficacy of extracorporeal life support in the setting of adult cardiorespiratory failure. *ASAIO* 1994; 40: 339–342.
- RINIERI, P., PEILLON, C., BESSOU, J. P. et al. National review of use of extracorporeal membrane oxygenation as respiratory support in thoracic surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2015; 47(1): 87–94.
- SHEKAR, K., MULLANY, D. V., THOMSON, B. et al. Extracorporeal life support devices and strategies for management of acute cardiorespiratory failure in adult patients: a comprehensive review. *Crit Care* 2014; 18(3): 219.
- WANG, L., WANG, H., HOU, X. Clinical outcomes of adult patients who receive extracorporeal membrane oxygenation for postcardiotomy cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2018; 32(5): 2087–2093.
- ZAPOL, W. M., KITZ, R. Buying time with artificial lungs. *N Engl J Med* 1972; 286(12): 657–658.

# 1 Historie podpor ECMO

Pavel Hála

Dobrodružný příběh vývoje mimotělních podpor krevního oběhu lze vyprávět již přes více než 300 let a během této doby bylo třeba mnoha přelomových objevů, než metoda dospěla k prvnímu klinickému využití. Již v 17. století Jean Baptiste Denis experimentoval s propojením dvou krevních oběhů a transfuzí lidské krve. Okolo roku 1860 dr. Benjamin Ward Richardson vytvořil první umělou cirkulaci, když u zvířecího modelu pístem stříkačky vtlačoval oxygenovanou krev do pravého srdce. Hlavní překážku dalšího rozvoje v těchto časných dobách představovala krevní srážlivost a nemožnost dostatečné anti-koagulace. O mnoho let později, když byl v roce 1931 dr. John Gibbon svědkem úmrtí mladé pacientky na plicní embolii, přišel s nápadem, že i jen dočasná náhrada funkcí lidského srdce a plic by v podobných akutních situacích mohla vést k záchraně života. Se svojí ženou Mary pracovali v Jefferson Medical School ve Filadelfii a společně vyvinuli samostatnou krevní pumpu pro mimotělní podporu oběhu. V této jejich komplexní, ale plně soběstačné technologii, která zaujímala rozměr asi piana, byla žilní krev vedena ve velmi tenké vrstvě přes plochy, které byly vystavené kyslíku. Zabralo dlouhých 22 let zdokonalování, než mohl dr. Gibbon využít tento vynález v praxi. V květnu 1953 provedl historicky první úspěšnou operaci defektu síňového septa s využitím této mimotělní podpory oběhu. V tom samém období Richard DeWall a Walton Lillehei vyvinuli a poprvé úspěšně použili oxygenátor, ve kterém byla krev přímo probublávána kyslíkem. Tato funkční sestava poskytovala již možnost umělé náhrady krevního oběhu a výměny krevních plynů, ale pouze v krátkodobém využití v řádu hodin. Delší využití zůstávalo problematické pro přímý, bezbariérový kontakt krve s umělými povrchy a plynem, který způsoboval hemolýzu a tvorbu krevních sraženin. Až pokračující spolupráce fyziologů, biomedicinských inženýrů a kliniků následně vedla ke snížení výskytu komplikací a vývoji oxygenátorů pro dlouhodobé využití. Nejdůležitější milníky představovalo vyvinutí oxygenátorů bez přímého kontaktu kyslíku s krví, kontrolovaná antikoagulace a vynález silikonu. Silikonová membrána vyvinutá v 60. letech 20. století revolučně změnila oxygenátor díky výzkumu vedenému Theodorem Kolobowem, Al Gazzinigou, Philem

Drinkerem a Robertem Bartlettem, protože tento materiál odolává hydrostatickému tlaku, ale současně zůstává propustný pro krevní plyny. Na základě těchto principů bylo možné vytvořit velmi účinnou bariéru mezi oběma kompartmenty umělé plíce a doba nekomplikovaného využití mimotělní podpory oběhu se tím mohla prodloužit na řádové dny. Následně se začalo používat pojmenování systému jako ECMO.

V návaznosti na tyto pokroky se ECMO stalo rychle součástí kardiochirurgické péče. Výrazně se začalo uplatňovat zejména při operacích vrozených srdečních vad u dětí od roku 1970. Rozšířilo se i v dalších indikacích – v roce 1972 použil Don Hill ve městě Santa Barbara ECMO u pacienta s rupturou aorty a syndromem akutní respirační tísně (*acute respiratory distress syndrome*, ARDS) po motocyklové nehodě. Mimotělní podpora v tomto případě trvala na tehdejší dobu dlouhých 75 hodin. Díky takovým jednotlivým úspěchům následovaly rychle další aplikace. Iniciálně bylo ECMO využíváno pro dospělé a dětské pacienty se selháním oběhu nebo respirace. V roce 1975 pak dr. Robert Bartlett, označovaný za otce moderních mimotělních podpor, zavedl okruh ECMO poprvé u novorozené dívky s přetrvávající plicní hypertenzí po aspiraci mekonium vedoucí akutně k oběhovému selhání. Po třech dnech mimotělní podpory mohla být dívka, následně pojmenovaná příhodně Esperanza (naděje), dekantována a dále úspěšně vyléčena. I přes z dnešního pohledu nízkou úroveň přežívání následovalo rychlé rozšíření podpory ECMO. Tehdejší soubory pacientů byly nesourodé a data z nich značně konfliktní; terapie tak byla stále založena na zkušenostech jednotlivých lékařů. I přesto se metoda dostávala do povědomí chirurgů i intenzivistů zejména s ohledem na to, že poskytovala naději pacientům, u kterých by bez ní nebyla šance na přežití.

První randomizované klinické studie organizovali již zmíněný dr. Bartlett v Michiganu a dr. Pearl O'Rourkeová v Bostonu v 80. letech a společně ukázali jednoznačnou výhodu využití ECMO oproti konvenční léčbě. Další, zejména multicentrické studie následovaly a společně umožnily rozšíření ECMO do běžného klinického použití. Z nejdůležitějších je třeba zmínit studie CESAR z roku 2009 a EOLIA z roku 2018, které hodnotily přínos využití ECMO u pacientů s ARDS. Ačkoli jejich závěry vedly k mnoha diskuzím o kontroverzních výsledcích, etablovaly využití ECMO u pacientů, kteří nedostatečně zareagují na konvenční metody léčby. V roce 1989 byla v Ann Arboru v Michiganu založena Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). Za svůj hlavní cíl si předsevzala shromažďovat, porovnávat a publikovat

data ze všech participujících center ECMO a optimalizovat tak jeho využití v praxi i ve výzkumu. Komplexní souhrn aktuálních poznatků a doporučení k terapii ECMO je vydáván pravidelně ve formě The ELSO Red Book a publikování detailních výpisů globálního použití terapie ECMO z registru ELSO – největší databáze použití terapie ECMO. Mezinárodní kooperace je pak organizována pomocí čtyř regionálních větví včetně evropské organizace EuroELSO založené roku 2011. Materiálový a technologický pokrok zahrnující povrchové úpravy mimotělních okruhů, miniaturizaci a vývoj centrifugálních pump a vývoj polymethylpentenové (PMP) membrány oxygenátoru výrazně zlepšily hemodynamické vlastnosti a výdržnost okruhů ECMO. Mezi rozšířené aplikace pak řadíme ECMO zajišťující eliminaci CO<sub>2</sub> u respiračního selhání při chronické obstrukční plicní nemoci, kardiopulmonální resuscitaci rozšířenou o extrakorporální podporu (ECPR) nebo využití u septického šoku.

### Literatura

- BARTLETT, R. H., ISHERWOOD, J., MOSS, R. A. et al. A toroidal flow membrane oxygenator: four day partial bypass in dogs. *Surg Forum* 1969; 20: 152–153.
- BARTLETT, R. H., ROLOFF, D. W., CORNELL, R. G. et al. Extracorporeal circulation in neonatal respiratory failure: a prospective randomized study. *Pediatrics* 1985; 76(4): 479–487.
- BARTLETT, R. H., GIBBON, J. H. Jr Lecture. Extracorporeal life support: Gibbon fulfilled. *J Am Coll Surg* 2014; 218: 317–327.
- BARTLETT, R. H. Esperanza: The First Neonatal ECMO Patient. *ASAIO J* 2017; 63: 832–843.
- KANTO, W. P., SHAPIRO, M. B. ECMO: Extracorporeal Cardio-pulmonary Support in Critical Care. In ZWISCHENBERGER, J. B., BARTLETT, R. H. (eds.) *Extracorporeal Life Support Organization*. Ann Arbor, Michigan, 1995.
- KOLFF, W. J., EFFLER, D. B., GROVES, L. K. et al. Disposable membrane oxygenator (heart-lung machine) and its use in experimental surgery. *Cleve Clin Q* 1956; 23: 69–97.
- KOLOBOW, T., ZAPOL, W., PIERCE, J. E. et al. Partial extracorporeal gas exchange in alert newborn lambs with a membrane artificial lung perfused via an A-V shunt for periods up to 96 hours. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1968; 14: 328–334.

- LEE, W. H. Jr, KRUMHAAR, D., FONKALSRUD, E. W. et al. Denaturation of plasma proteins as a cause of morbidity and death after intracardiac operations. *Surgery* 1961; 50: 29–39.
- LILLEHEI, C. W. History of the development of extracorporeal circulation. In ARENSMAN, R. M., CORNISH, J. D. (eds.) *Extracorporeal Life Support in Critical Care*. Boston: Blackwell Publications, 1993.
- O'ROURKE, P. P., CRONE, R. K., VACANTI, J. P. et al. Extracorporeal membrane oxygenation and conventional medical therapy in neonates with persistent pulmonary hypertension of the newborn: a prospective randomized study. *Pediatrics* 1989; 84(6): 957–963.
- THIAGARAJAN, R. R., BARBARO, R. P., RYCUS, P. T. et al. ELSO member centers. Extracorporeal Life Support Organization Registry International Report 2016. *ASAIO J* 2017; 63(1): 60–67.
- UK collaborative randomised trial of neonatal extracorporeal membrane oxygenation. UK Collaborative ECMO Trail Group. *Lancet* 1006; 348: 75–82.



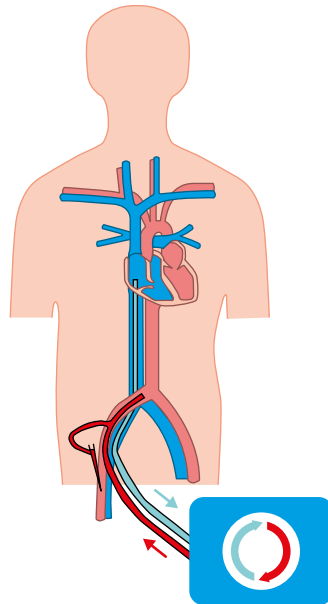
## 2 ECMO – typy zapojení

David Janák

Extrakorporální membránovou oxygenaci rozdělujeme na dva „základní typy“. Veno-arteriální (VA) ECMO (s centrální a periferní kanylací) se používá pro podporu srdce a plic, zatímco veno-venózní (VV) ECMO se využívá pouze pro podporu funkce plic. Dále vzhledem ke složitější konfiguraci kanyláčnické strategie máme tzv. „hybridní“ varianty ECMO s použitím třetí kanyly pro zlepšení žilní drenáže, systémové hemodynamiky, oxygenace nebo pro snížení hemodynamické zátěže srdce.

### 2.1 VA ECMO

VA ECMO zajišťuje hemodynamickou i respirační podporu (obr. 1). Obvod ECMO je zde zapojen paralelně se srdcem a plicemi, zatímco při použití VV ECMO je obvod zapojen sériově. U VA ECMO je nasávána žilní krev pomocí nasávacích (inflow) kanyl z oblasti žilního systému a pomocí extrakorporální pumpy je krev přečerpána do oxygenátoru, kde dochází k výměně plynů (okysličení deoxygenované krve a odstranění  $\text{CO}_2$ ), následně dochází k přečerpání okysličené krve pomocí výtokových (outflow) kanyl do tepenného systému. Dle způsobu zavedení nasávacích (žilních) a výtokových (arteriálních) kanyl ECMO dělíme na centrální a periferní. Kanyly centrálního VA ECMO se většinou zavádějí přímo do velkých tepen a srdečních dutin při postkardiotomickém srdečním selhání. Nasávací kanyla se zavádí cestou otevřeného hrudníku po

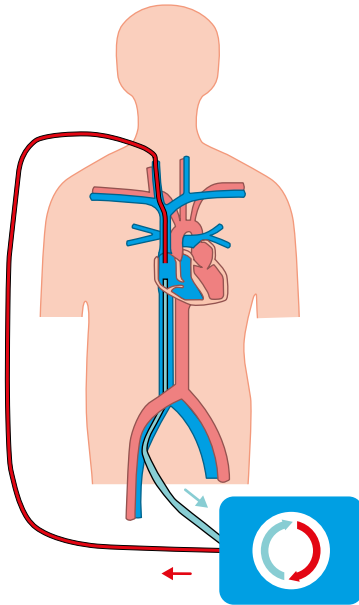


Obr. 1 Veno-arteriální ECMO

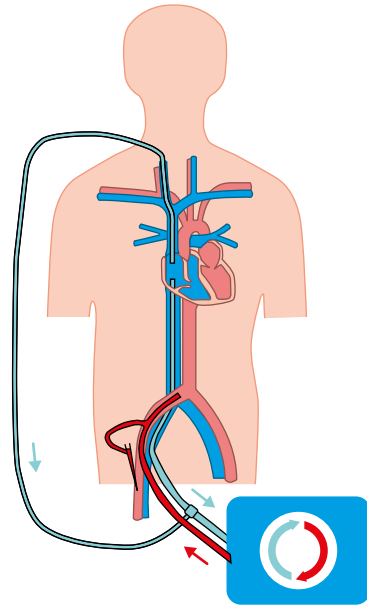
sternotomii do pravé síně. Výtoková kanyla se nejčastěji zavádí do vzestupné aorty nebo velkých tepen. Centrální kanylace je při srovnání s periferní kanylací mnohem rizikovější z hlediska vzniku komplikací, a to především kvůli vyššímu riziku krvácení a vzniku mediastinitidy. U periferního VA ECMO jsou kanyly zavedeny cestou periferních cév (tepen a žil). Periferní kanylace se provádí buď chirurgicky, nebo miniinvasivně punkčně, perkutánně Seldingerovou metodou. Periferní přístup je méně invazivní a časově méně náročný. Pozici kanyl můžeme během zavádění okruhu ECMO zkontrolovat sonograficky a skiaskopicky. Dodávka kyslíku do organismu je závislá na hladině hemoglobinu a hodnotách extrakorporálního průtoku krve. Pomocí oxygenátoru můžeme ovlivnit  $pO_2$ . Fyziologické hodnoty středního arteriálního tlaku jsou nezbytné k zajištění adekvátní perfuze tkání. Terapie VA ECMO je prostředkem k překlenutí kritického hemodynamického oběhového stavu. Cílem zavedení VA ECMO je překlenutí oběhového selhání, akutního infarktu myokardu, fulminantní myokarditidy, dále zajištění periprocedurální rizikové srdeční terapeutické intervence (*bridge to intervention*), zajištění podpory kardiopulmonální resuscitace (*bridge to decision* nebo *bridge to recovery*) a podpora oběhu pacienta do doby zavedení dlouhodobé srdeční podpory (*bridge to bridge*, resp. *bridge to heart transplant*).

## 2.2 VV ECMO

Podmínkou využití VV ECMO (obr. 2) je stabilní hemodynamika pacienta. Při VV ECMO dochází k nasávání žilní deoxygenované krve z oblasti dolní duté žíly s následnou výměnou plynů v oxygenátoru, poté se okysličená krev vrací kanylou do pravého srdce. Obecně nemá VV ECMO žádný hemodynamický vliv na oběh pacienta. VV ECMO nahrazuje funkci plic a umožňuje snížení ventilačních nároků s omezením rizika postižení plic indukovaného plicní ventilací. K zavádění kanyl se využívají jednoduché nasávací a výtokové kanyly nebo i tzv. „double-lumen“ kanyly s dvěma lumeny, jedním pro výtok okysličené krve a druhým pro nasávání odkysličené krve. Nasávací kanyla se primárně zavádí do v. femoralis communis (VFC), cestou dolní duté žíly pod ústí pravé srdeční síně. Výtoková kanyla se zavádí nejčastěji do pravé v. jugularis interna (VJI), s koncem kanyly v pravé síni nebo horní duté žíle. Systém je propojen přes oxygenátor. Pro umístění kanyl



**Obr. 2** Veno-venózní ECMO



**Obr. 3** Veno-veno-arteriální ECMO

ECMO existuje velká možnost variací. Výhodou použití VV ECMO oproti VA ECMO je možnost delšího použití. Ke zlepšení oxygenačních parametrů lze dospět zvyšováním extrakorporálního krevního průtoku systémem okruhu nebo zvýšením koncentrace kyslíku ve směsi plynů protékajících oxygenátorem. Korekce acidózy a vylučování oxidu uhličitého také sníží plicní tlaky a může pozitivně ovlivnit srdeční kontraktilitu. VV ECMO je nízkotlaký systém s nižší zátěží celého okruhu. Zachování plicních průtoků umožňuje rychlejší reparaci plicních funkcí oproti VA ECMO. Zásadním přínosem mechanismu použití podpory VV ECMO je kromě oxygenace odstraňování  $\text{CO}_2$ .

### 2.3 VVA ECMO

VVA (veno-veno-arteriální) ECMO (obr. 3) je varianta VA ECMO, která se využívá pro lepší drenáž žilního systému, kdy u některých pacientů s konvenčním VA ECMO není zajištěna adekvátní žilní