

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

Michal Žák

**Využití extrakorpórní membránové oxygenace  
v neodkladné resuscitaci**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PhDr. Petr Matouch

Olomouc 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 28. dubna 2022

---

podpis

Děkuji PhDr. Petrovi Matouchovi za odborné vedení a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

## **Anotace:**

**Typ závěrečné práce:** Bakalářská práce

**Téma práce:** Resuscitace a ECMO

**Název práce:** Využití extrakorporeální membránové oxygenace v neodkladné resuscitaci

**Název práce v AJ:** The usage of extracorporeal membrane oxygenation in urgent resuscitation

**Datum zadání:** 2021-11-29

**Datum odevzdání:** 2022-04-28

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

**Autor práce:** Michal Žák

**Vedoucí práce:** PhDr. Petr Matouch

**Oponent práce:**

**Abstrakt v ČJ:** Bakalářská práce se zabývá extrakorporeální membránovou oxygenací a jejím využitím v neodkladné resuscitaci. Zkoumá extrakorporeální resuscitaci a potenciál pro léčbu pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu. Základ práce tvoří systematický přehled studií, které porovnávají efekt extrakorporeální kardiopulmonální resuscitace vůči konvenční kardiopulmonální resuscitaci na mortalitu a neurologický deficit. Práce obsahuje i základní informace o přístrojích ECMO, jejich historii, součástech, běžných konfiguracích a indikačních kritériích pro jejich použití.

**Abstrakt v AJ:** This bachelor thesis is focused on extracorporeal membrane oxygenation and its usage in urgent resuscitation. Thesis also describes extracorporeal resuscitation and its potential for treating patients with cardiac arrest out of hospital. The main aim of this thesis is to systematically review publications that compare the effect of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation and conventional cardiopulmonary resuscitation on mortality

and neurological outcome. This thesis also includes basic information about ECMO devices, their history, parts, common configurations, and indication criteria of their usage.

**Klíčová slova v ČJ:** ECMO, extrakorporální membránová oxygenace, extrakorporální membránový oxygenátor, ECPR, extrakorporální kardiopulmonální resuscitace, ECLS, extrakorporální podpora života, mimotělní podpory oběhu, OHCA, mimonemocniční náhlá zástava oběhu, kardiopulmonální resuscitace, přežití

**Klíčová slova v AJ:** ECMO, Extracorporeal Membrane Oxygenation, Extracorporeal Membrane Oxygenator, ECPR, Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation, ECLS, Extracorporeal Life Support, OHCA, Out of Hospital Cardiac Arrest, Cardiopulmonary Resuscitation, Survival

**Rozsah:** 43 stran

## Obsah

Úvod.....	7
1 Popis rešeršní činnosti.....	10
2 Využití extrakorpórní membránové oxygenace v neodkladné resuscitaci.....	12
2.1 Přístroje ECMO.....	15
2.2 Indikace k napojení na přístroj ECMO.....	20
2.3 Proces resuscitace a napojení na přístroj ECMO.....	23
2.4 Výběr vhodných pacientů.....	31
Význam a limitace dohledaných poznatků.....	35
Závěr.....	36
Referenční seznam.....	38
Seznam zkratk.....	41
Seznam obrázků.....	42
Seznam grafů.....	43

## Úvod

Následující práce se zabývá přístroji extrakorporální membránové oxygenace a jejich využitím pro extrakorporální resuscitaci jako potenciální nástavbu k postupům konvenční kardiopulmonální resuscitace. Konvenční kardiopulmonální resuscitace zahrnuje zajištění dýchacích cest, plicní ventilaci, komprese hrudníku, podávání léčivých přípravků a v indikovaných případech podávání defibrilačních výbojů.

Pokud se metodami konvenční kardiopulmonální resuscitace nedaří dosáhnout dlouhodobějšího návratu spontánní cirkulace, je možné přistoupit k mimotělní variantě. Mimetělní kardiopulmonální resuscitace je soubor postupů, v jejichž rámci se využívají přístroje schopné okysličovat krev pacienta mimo jeho tělo. Tento způsob oxygenace nazýváme ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) a stejně označujeme i vlastní přístroje.

Extrakorporální membránová oxygenace pacienta v pravém slova smyslu neléčí, jen poskytuje překlenovací zajištění základních životních funkcí do okamžiku, kdy dojde k odstranění příčiny zástavy oběhu. Indikací pro využití ECMO přístrojů je potřeba získání více času, ať už k přípravě a realizaci definitivního řešení, na potlačení reverzibilních příčin, či na umožnění transportu do specializovaného zdravotnického pracoviště. ECMO přístroje se využívají u zástav oběhu s hypotermií, hypoxií, metabolickými příčinami, toxickými účinky a s trombembolickými příčinami.

Postupy odstranění těchto příčin jsou například perkutánní koronární intervence (angioplastika), plicní trombektomie, ohřívání pacienta, potlačení/vyloučení toxinů, léčba sepse, implantace přístroje podporujícího krevní oběh, či transplantace srdce nebo plic. Vzhledem k neléčebné povaze ECMO přístrojů patří mezi absolutní kontraindikace nemožnost či neexistence finálního řešení, případně limitní perspektiva způsobená například závažnou neurologickou dysfunkcí, syndromem multiorgánového selhávání, infaustním stavem, terminálním stavem onemocnění, nebo závažnými komorbiditami.

Pro akutní napojení při potřebě extrakorporální resuscitace je třeba vzít v úvahu i faktor časový. Kanylace cév a napojení na samotné ECMO by měla proběhnout nejpozději do 80 minut od zahájení postupů rozšířené neodkladné resuscitace (ALS). (Richardson, 2021, s. 221–228) Předpokládáme-li potřebný čas k zajištění pacienta postupy ALS na místě zásahu přibližně 20 minut, pak by délka transportu do cílového pracoviště neměla překročit 60 minut.

Cílem bakalářské práce je:

1. Sumarizovat základní aktuální dohledané poznatky o přístrojích ECMO.
2. Vymezit situace, při kterých je napojení na ECMO indikované, a naznačit rozhodovací proces o realizaci extrakorporální resuscitace.



## **Seznam vstupní literatury:**

HOLMBERG, Mathias et al. 2018. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: A systematic review. *Resuscitation* [online]. 131, 91–100 [cit. 2021-11-22]. ISSN 0300-9572. Dostupné z: doi:10.1016/j.resuscitation.2018.07.029

LOTT, Carsten et al. 2021. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances. *Resuscitation* [online]. 161, 152–219 [cit. 2021-11-22]. ISSN 0300-9572. Dostupné z: doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.011

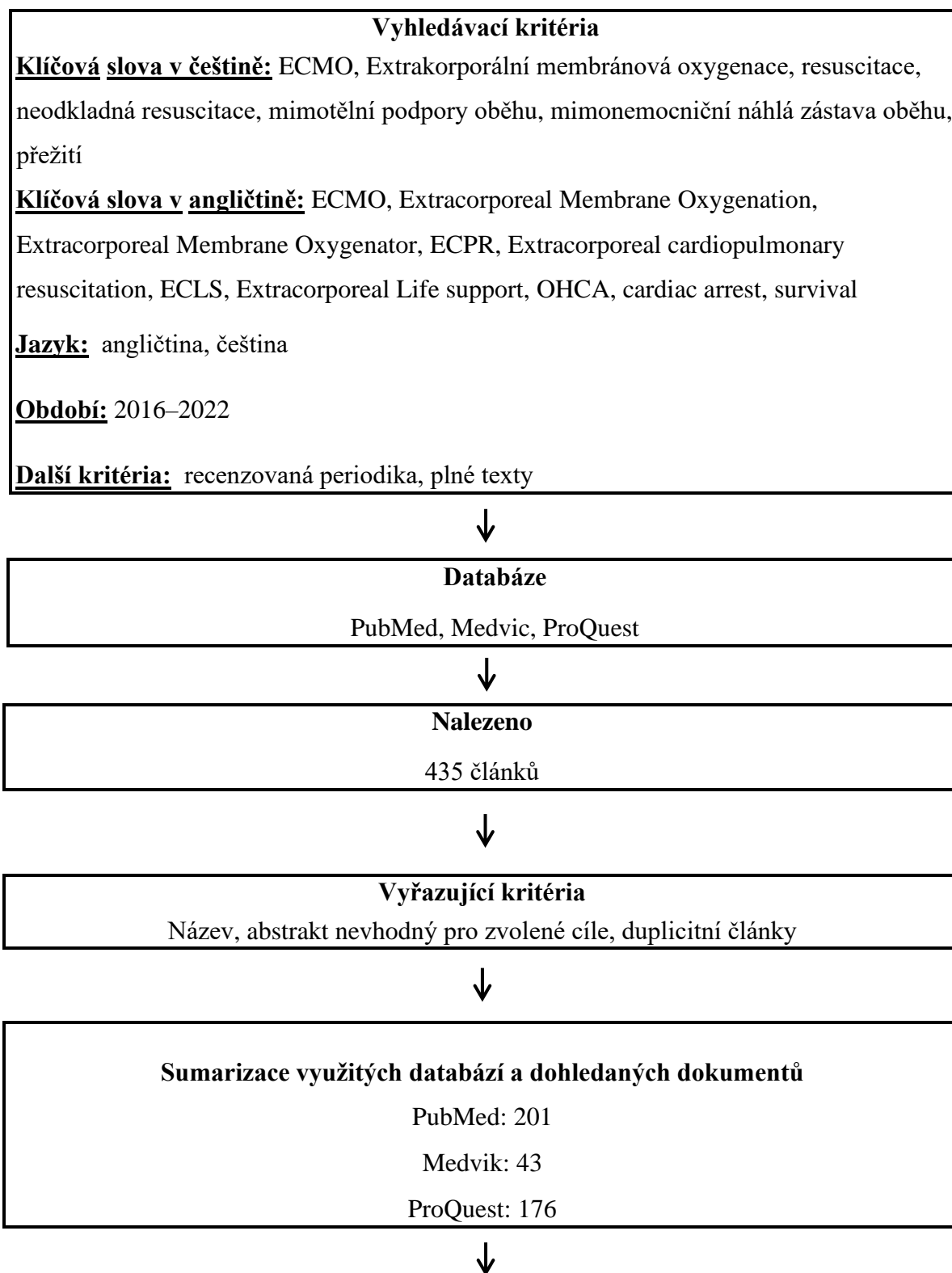
MIRAGLIA, Dennis et al. 2020. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for in- and out-of-hospital cardiac arrest: systematic review and meta-analysis of propensity score-matched cohort studies. *Journal of the American College of Emergency Physicians Open* [online]. 1(4), 342–361 [cit. 2021-11-22]. ISSN 2688-1152. Dostupné z: doi:10.1002/emp2.12091

OŠŤÁDAL, Petr et al. 2018. ECMO: extrakorporální membránová oxygenace: manuál pro použití u dospělých. 2. aktualizované vydání. Praha: Maxdorf. Jessenius. 14–76. ISBN 978-80-7345-591-0

SOAR, Jasmeet et al. 2021. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation* [online]. 161, 115–151 [cit. 2021-11-22]. ISSN 0300-9572. Dostupné z: doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.010

# 1 Popis rešeršní činnosti

Pro dohledání validních informací byl použit standardní postup rešeršní činnosti.



**Sumarizace vybraných nejvýznamnějších dohledaných periodik s IF  
a dokumentů**

ASAIO Journal – 3 články

JAMA – 1 článek

Journal of interventional cardiology – 1 článek

Journal of thoracic disease – 1 článek

Resuscitation – 4 články

Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine – 2 články

The American Journal of Emergency Medicine – 1 článek

The Journal of Extra-corporeal Technology – 1 článek

Intensive care medicine – 1 článek



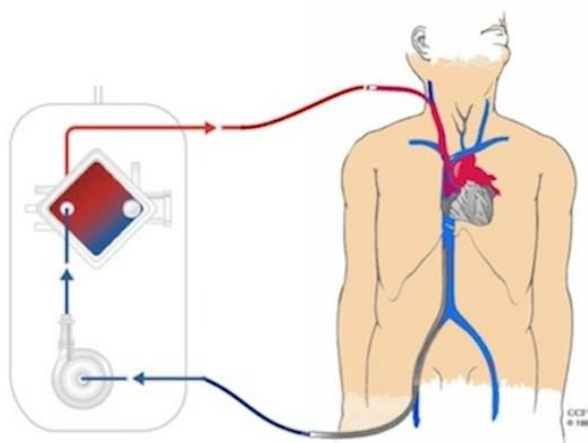
**Počet použitých dokumentů**

Pro tvorbu bakalářské práce bylo použito 21 článků dohledaných rešeršní činností

Celkový přehled použitých zdrojů je uveden v referenčním seznamu.

## 2 Využití extrakorpórní membránové oxygenace v neodkladné resuscitaci

Mimotělní kardiopulmonální resuscitace (ECPR) se používá jako pokročilá záchranná metoda při selhávání konvenčních metod kardiopulmonální resuscitace (CCPR). ECPR použitím mimotělních okruhů na umělý krevní oběh zajišťuje potřebnou perfuzi vitálních orgánů, a tím poskytuje čas na identifikaci a léčbu reversibilních příčin náhlé zástavy oběhu. Dle Americké kardiologické asociace a Evropské resuscitační rady jsou postupy ECPR vyhrazeny pro část nemocničních a mimonemocničních náhlých zástav oběhu, u kterých je možné tyto postupy profesionálně a urgentně realizovat. Nicméně výhody těchto metod zatím nejsou průkazně kvantifikovatelné a chybí jasná indikační kritéria. Z dosavadních dat ECPR dosahuje lepších výsledků než CCPR u nemocničních náhlých zástav oběhu, avšak u mimonemocničních zástav jsou výsledky značně inkonzistentní, kvalita důkazu je nízká u obou typů zástav (Holmberg et al., 2018, s. 91–100). Jednoduché schéma extrakorpórní oxygenace nastiňuje obrázek 1.



Obrázek 1: Schéma přístroje ECMO

Dostupné z: <https://nasregion.cz/wp-content/uploads/2018/11/VV-ECMO-Fem-Jug1.jpg>

Základní předpoklady úspěšnosti ECPR, tedy úspěšného napojení na přístroje zajišťující mimotělní membránovou oxygenaci (přístroje ECMO), tvoří specializované vybavení, personální expertíza, přísná indikační kritéria a faktor načasování. Poslední časový faktor zajišťuje zásadní rozdíl mezi mimonemocničními a nemocničními náhlými zástavami oběhu. Schopností mimonemocničního napojení na přístroje ECMO disponuje celosvětově jen velmi málo zdravotnických záchranných služeb. Většinou je tedy nutné využít rychlého transportu za kontinuální resuscitace do cílového pracoviště. Základní komplikací objektivizace dat

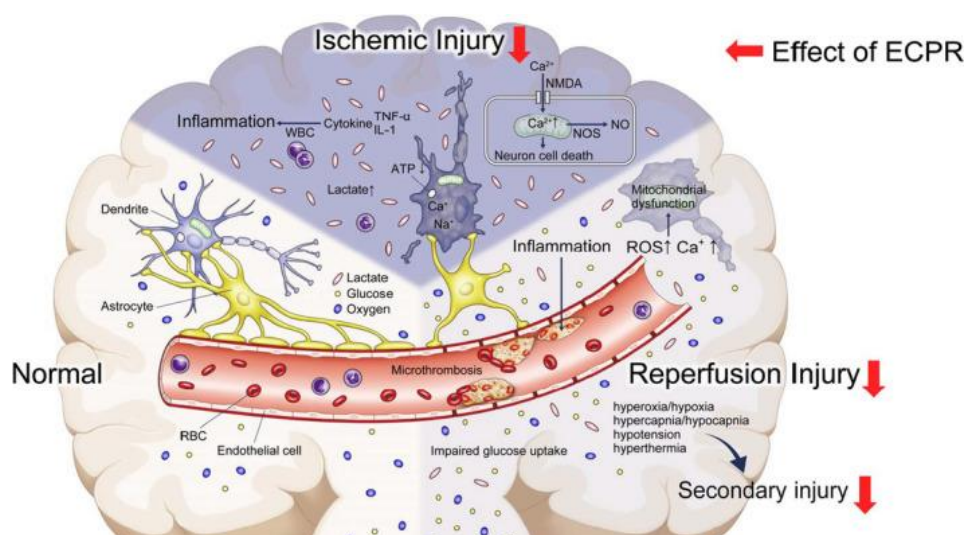
z jednotlivých studií je skutečnost, že o napojení je rozhodováno na individuální bázi. Indikační kritéria poskytují jen orientační rámec, dochází proto ke zkreslení dat individuálními podmínkami a konkrétním personálním zajištěním. Přestože byly nalezeny faktory ovlivňující výsledky ECPR (rytmus, hladina laktátu, doba do napojení na ECMO), průkazný důkaz o prospěšnosti extrakorporální kardiopulmonální resuscitace nad konvenční kardiopulmonální resuscitací u náhlých zástav oběhu mimo zdravotnické zařízení stále chybí (Holmberg et al., 2018, s. 91–100).

Dle Evropského registru náhlých zástav oběhu dochází ročně mimo nemocnici k zástavě oběhu průměrně u 89 osob na 100 000 obyvatel (hodnoty 53–166), posádky později zahajují resuscitační snahy u 50–60 % z nich. Tento registr zřízený Evropskou resuscitační radou ovšem nereflektuje celkový počet náhlých zástav oběhu, neboť se opírá jen o data od posádek zdravotnických záchranných služeb. Mezi faktory, které jsou asociované s úspěšností resuscitace napříč zeměmi, patří úroveň výcviku posádky, dostupnost letecké záchranné služby, dostupnost zdravotnických zařízení schopných poskytovat poresuscitační péči a doba do příjezdu záchranných složek. Úroveň zalidnění jednotlivých zemí, jako faktor ovlivňující délku dojezdu posádek, se lišila od 3,6 do 510 lidí na kilometr čtvereční. Jen 32 % zemí bylo schopno v mimoměstských oblastech docílit zkrácení průměrného času do příjezdu posádek pod 10 minut. Dle druhé studie Evropského registru (EuReCa TWO) dochází k přežití u 8 procent náhlých zástav oběhu mimo zdravotnické zařízení (například Anglie 7,9 %; Německo 13,2 %; Francie 4,9 %). U podskupiny obsahující jen spatřené zástavy s iniciálním defibrilovatelným rytmem byly některé státy, včetně České republiky, schopné přesáhnout 40 % hranici přežití. Ve většině Evropských zemí je často praktikována možnost ukončení resuscitačních snah. V těchto zemích je později konstatován velký neurologický deficit u méně než 10 % přeživších. V zemích, kde nedochází rutinně k ukončení resuscitačních pokusů je tato hodnota výrazně vyšší. Italská studie Scarpino et al., 2019 uvádí počty s velkou neurologickou ztrátou přes polovinu přeživších a až 33% šanci přežití v persistentním vegetativním stavu (Gräsner et al., 2021, s. 61–79).

Vhodnost zvážení mimotělních metod resuscitace demonstruje i nejmladší vydání doporučených postupů Evropské resuscitační rady. Tyto postupy doporučují využití extrakorporální metody resuscitace, pokud konvenční resuscitační metody selhávají, případně pokud by využití extrakorporálních metod umožnilo využití jiných specifických intervencí, jako je koronární angiografie, perkutánní koronární intervence a plicní trombektomie. Poslední indikací mimotělních metod resuscitace je jejich využití k zahřívání hypotermních zástav oběhu (Soar et al., 2021, s. 115–151).

Extrakorporální kardiopulmonální resuscitace v kombinaci s teplotním managementem ukazuje slibné výsledky ve snížení mortality a zlepšení neurologického výsledku v léčbě náhlých zástav oběhu mimo zdravotnické zařízení. Zatímco kladný vliv na přežití a neurologický výstup demonstruje mnoho studií, základní patofyziologie a nežádoucí účinky nejsou plně prozkoumány. ECPR lze definovat jako implantaci přístroje ECMO v žilně-tepenné konfiguraci u pacientů bez funkčního oběhu (Inoue et al., 2020, s. neuvedena).

V rámci následků resuscitace rozlišujeme dva typy poškození tkání mozku. Primární poškození vzniká při přerušení dodávky kyslíku vlivem náhlé zástavy oběhu. Sekundární poškození vzniká následkem resuscitačních procesů s reperfuzí, nebo samotným návratem spontánní cirkulace (ROSC). Zatímco příčinou primárního poškození je prostá hypoxie, sekundární poškození vzniká na podkladě řady faktorů. Mimo jiného sem patří dysfunkce mikrocirkulace, hypoxie i hyperoxie, hypotenze, hypertermie, hypo a hyperkapnie. Poresuscitační syndrom, zahrnující poškození mozku, srdeční dysfunkce a systemickou hypoxickou nebo reperfuzní odpověď, vzniká na základě příliš dlouhé doby bez dostatečné cirkulace krve v oběhu. Standardní kardiopulmonální resuscitace poskytuje jen 25 až 30 procent srdečního výdeje a počítá se tedy do celkového času bez dostatečné cirkulace, dohromady s celkovým časem do začátku samotné resuscitace. ECPR, využívající potenciál ECMO přístrojů, poskytuje dostatečnou perfuzi a oxygenaci orgánů, reguluje hladinu oxidu uhličitého a umožňuje upravovat teplotu v rámci termo managementu (Inoue et al., 2020, s. neuvedena). Potenciál ECPR pro minimalizaci poškození tkání mozku demonstruje obrázek 2.



Obrázek 2: ECPR a poškození mozku

Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7428656/figure/jah34953-figure-0002/>

## 2.1 Přístroje ECMO

Přístroje ECMO slouží k podpoře, či náhradě základních životních funkcí, konkrétně funkce srdce a plic. Jejich úkolem je tedy krev pohánět a okysličovat. ECMO přístroje nasávají krev z cévního systému, pohání ji skrz oxygenátor a následně ji vrací do krevního oběhu pacienta. Tento zpětný proud lze využít i na výpomoc až náhradu vlastního srdečního výdeje. Vyjma pumpy a oxygenátoru tvoří okruh ECMO také nasávací a výpustní kanyly a propojovací hadice. Do okruhu lze začlenit i tepelný výměník, pro nejefektivnější ohřívání hypotermických pacientů, či jako nástroj teplotního managementu (Vuylsteke et al., 2017, s. 25–57).

Pokud je krev brána i dodávána zpět do žilního systému, hovoříme o přístroji ve venovenózní konfiguraci (pulmonální ECMO), tato konfigurace není schopná nahradit funkci srdce. Pro potřeby extrakorporální membránové oxygenace se proto používá konfigurace venoarteriální (kardiální ECMO), krev se vrací do těla cestou periferní tepny, či aorty (Vuylsteke et al., 2017, s. 25–57).

Pokud by venoarteriální okruh neobsahoval oxygenátor, nedostatečně okysličená žilní krev by se dostávala do tepenného systému – vznikla by nežádoucí venoarteriální zkratka. Pokud by venoarteriální okruh neobsahoval pumpu, z venoarteriální konfigurace by se při funkčním srdci tlakovým spádem stala konfigurace arteriovenózní, část krve by se z tepny odklonila, v oxygenátoru okysličila a vrátila do žilního systému vedoucího do pravého srdce (Vuylsteke et al., 2017, s. 25–57).

Pro minimalizaci potřeby antikoagulace a snížení pravděpodobnosti hemolýzy je vhodné použití centrifugálních pump. Tyto pumpy jsou, stejně jako naše srdce, přímo závislé na tlaku před pumpou (preload) a značně ovlivněny odporem za pumpou (afterload). Tento poznatek značí, že při konfiguraci přístroje se nelze spoléhat na počet otáček za časový interval, ale raději na hodnotu skutečného průtoku, neboť tyto hodnoty nejsou přímo úměrné. U venoarteriální konfigurace je nutné ověřovat, zda vlivem srdce nedochází ke zpětnému toku krve. Tlak generovaný přístrojem musí být vyšší než střední arteriální tlak generovaný srdcem. Oxygenátor, navzdory označení umělá plíce, slouží výhradně k výměně plynů skrz membránu dělicí krev a plynnou směs. Úpravou rychlosti průtoku plynné směsi regulujeme vázání kyslíku do krve a přechod oxidu uhličitého z krve. Pokud chceme ovlivnit jen vázání kyslíku bez ovlivnění acidobazické rovnováhy, lze upravit frakci kyslíku v plynné směsi. Pro zrychlení napojení pacienta na přístroj ECMO a pro jednoduchost obsluhy přístroje se plně integrované okruhy, které jsou připravené k okamžitému napojení, stávají standardem (Vuylsteke et al., 2017, s. 25–57).

## Zrození přístrojů ECMO

Schopnost okysličovat krev mimo tělo pacienta láká od počátků novodobé medicíny. Předpokladem pro tuto schopnost bylo hluboké pochopení oběhové soustavy, oxygenačních procesů a vlastností krve. Zásadní pokroky směrem k extrakorporálním metodám byly otevřená operace srdce a kardiopulmonální bypass v polovině minulého století, které napomohly zrození ECMO přístrojů v sedmdesátých letech. Poznatky o pohybech srdce a transportní funkci krve vydal anglický lékař William Harvey již v roce 1628. Na konci 17. století stvořil francouzský vynálezce Denis Papin první centrifugální pumpu, tedy typ pumpy využívaný v soudobých okruzích ECMO přístrojů. Až ve století devatenáctém došlo k zásadnímu přechodu z roviny teoretické do roviny praktické. Z tohoto století je popsáno několik pokusů na zvířatech a tělech mrtvých kriminálních, které dále posunuly znalosti o rozdílech tepenné a žilní krve. Značný přínos zařídili rakouští vědci Frey a Gruber při popsání okysličovacího zařízení, na jehož základě později dochází ke vzniku cylindrových oxygenátorů, které umožnily první kardiopulmonální bypass. Do konce devatenáctého století byl pokrok brzděn praktickými problémy, jako pěnění a srážení krve (Boettcher et al., 2003, s. 172–183).

Krok kupředu umožnil heparin objevený roku 1916. Prvním úspěšným předchůdcem ECMO přístrojů se, prozatím jen pro zvířecí použití, stal takzvaný autojector. Tento přístroj poháněl krev operovaných skrz ventilované plíce z jiného zvířete a zároveň poskytoval systémové prokrvení operovaného, namísto na operaci zastaveného srdce. První úspěšné použití extrakorporální oxygenace proběhlo 6. května 1953, kdy doktor Gibbon a jeho tým úspěšně udržel osmnáctiletou ženu 45 minut na bypassu, zatímco jí napravili defekt síňového septa. V šedesátých letech také došlo k pokusům o alternativní strategii, kdy se namísto bypass přístrojů používali rodiče operovaných dětí. Oběhové systémy obou členů rodiny byly propojeny tepna k tepně a žíla k žíle. Rodič tedy, obdobně jako bypass přístroj, zabezpečoval potřebnou oxygenaci a perfuzi. Během roku používání této strategie se podařilo zachránit 28 z 45 operovaných dětí. V polovině šedesátých let vznikají první přístroje schopné membránové oxygenace, v sedmdesátých letech již první přístroje ECMO (Bartlett et al., 2005, s. 487–489).

Zatímco přežití napojených novorozenců s respiračním selháním dosahovalo v roce 1984 70–90 %, prospěšnost napojování u dospělé populace nebyla ve stejné době prozatím prokázána. Jasný benefit ECMO přístrojů pro dospělou populaci byl prokázán až po roce 2009, kdy udeřila epidemie chřipkového viru H1N1. Některé z následných studií ukazovaly míry přežití až 71 % pro pacienty, u kterých konvenční metody léčby syndromu akutní dechové tísně selhávaly. Studie CESAR z roku 2009 uvádí mortalitu při použití konvenční ventilace 53 %,



zatímco při transportu do zařízení s ECMO přístroji 37 %. Závěry studie CESAR byly později často označovány za zavádějící, například skutečnost, že všechny transportované osoby byly zařazeny do kontrolní skupiny napojených na ECMO, bez ohledu na fakt, zda k napojení skutečně došlo. V návaznosti na masivní nárůst počtu respiračních selhání v rámci pandemie COVID-19 byly přístroje ECMO celosvětově zařazeny mezi důležitou součást léčby (Brogan, 2021, s. neuvedena).

### **Venovenózní konfigurace přístroje ECMO**

Venovenózní ECMO slouží na podporu až nahrazení funkce plic v případě závažného respiračního selhání, na které neúčinkují konvenční postupy. Krev je nasávána z horní, či dolní duté žíly a okysličená vracena do pravé síně. Tato metoda tedy, na rozdíl od bypassu, staví vztah plic a jejich podpory sériově. V případě zlepšení stavu je možné tuto metodu omezit, případně i vyřadit z funkce. V rámci prevence komplikací je nutné až do odpojení udržovat průtok krve v okruhu, nicméně mimotělní výměna plynů podmínkou není. V této konfiguraci pacient spoléhá na svůj vlastní srdeční výdej. Mezi hlavní indikace patří respirační selhání a syndrom akutní dechové tísně, za předpokladu reverzibilitnosti tohoto stavu. Pokud není předpoklad zlepšení stavu, k napojení na ECMO by nemělo docházet, vyjma podpory pacientů čekajících na transplantaci plic. Pokud je stav kombinován i kardiální dysfunkcí, či kardiogenním šokem, konfigurace venovenózní není vhodná. Obvyklý adept pro napojení bude hypoxický nebo hyperkapnický pacient a v mezích protektivní ventilace a podpůrných opatření (pronační poloha a další) mu nebude ze standardních metod co nabídnout. Před napojením je vhodné provedení echokardiografie pro kontrolu dostatečnosti venovenózní konfigurace (Banfi et al., 2016, s. neuvedena).

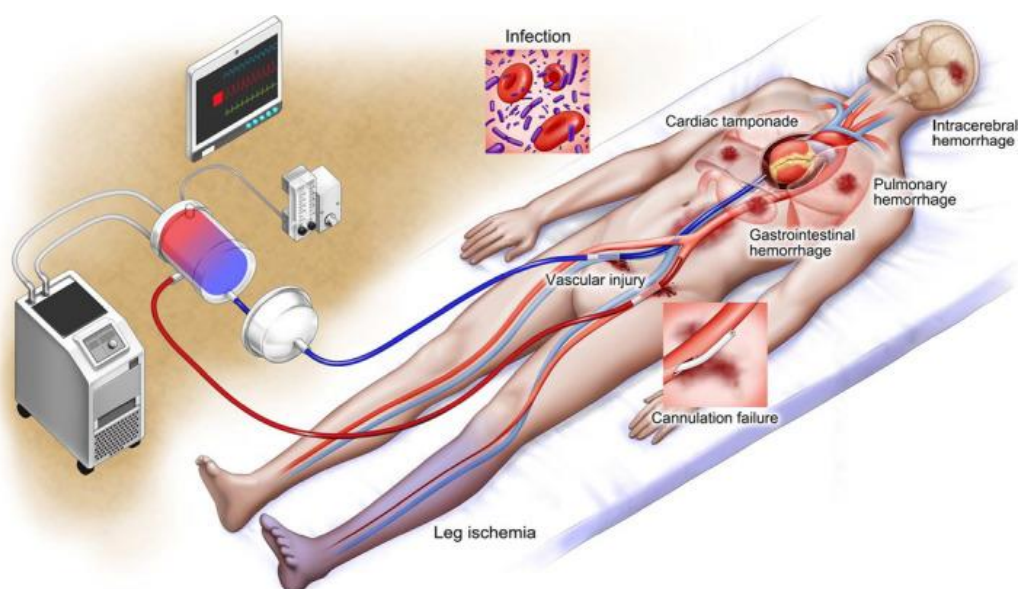
### **Venoarteriální konfigurace přístroje ECMO**

Na rozdíl od venovenózní varianty venoarteriální varianta je navíc schopna podpořit až nahradit funkci myokardu. Krev je nasávána z pravé síně a po výměně plynů se vrací pod tlakem cestou velkých tepen. Nejčastější využití je pro kardiogenní šoky nereagující na standardní léčbu, refrakterní srdeční zástavy, které se nedaří vyřešit konvenčními metodami kardiopulmonální resuscitace a jako podpora oběhu u rizikových intervencí. Další využití zahrnuje těžké hypotermie, otravu látkami ovlivňujícími srdeční výdej, případně podpora u závažného septického šoku. Přestože je možné kanylovat cévy i centrálně (při otevřeném hrudníku), pro akutní napojení je vhodná periferní kanylace. K akutnímu napojení se také váže perkutánní kanylace (uzavřená či otevřená Seldingerova metoda), raději než metody jiné.

Nejčastější místo pro zavedení nasávací kanyly je stehenní žíla, alternativou je punkce vnitřní hrdelní žíly. Výpustní kanyla se umísťuje cestou stehenní, případně podpažní tepny (Ošťádal et al., 2018, s. 22–42).

### Komplikace napojení na ECMO

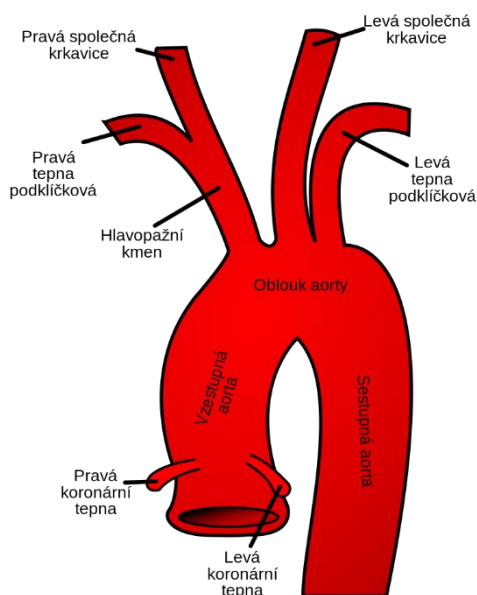
Mezi nejčastější přímé komplikace postupů extrakorporální kardiopulmonální resuscitace patří krvácení, ischemie končetiny a neúspěšnost samotné kanylace. K dalším komplikacím asociovaným s těmito postupy se zařazují infekce, cévní mozkové příhody, sepse a kompartment syndrom. Každá komplikace znamená zvýšení mortality, případně asociované zvýšení neurologického deficitu. Nejčastější komplikací je antikoagulancii potencované krvácení, běžná lokace (49 %) je oblast kanylace, oblasti tkání namáhaných resuscitací (hrudník 28 %), případně břicho (14 %). Komplikovaná kanylace nastává průměrně až u 36 % zavedení. Kombinací ultrazvukové a fluoroskopické navigace lze, dle studie Kashiura et al. 2017, snížit incidenci komplikovaných kanylací na 8,7 %. Značným zúžením femorální tepny vlivem přítomné kanyly ECMO okruhu vzniká ve 3–15 % případů ischemie končetiny, tuto komplikaci se účinně daří překonávat umístěním další reperfuční kanyly distálně od místa kanyly primárního okruhu. Vlivem náročnosti umístění kanyl v časové tísni na pacientovi podstupujícím kontinuální resuscitaci vzniká v 8–22 % případů infekce v místě kanylace, případně infekce krevního řečiště spojená se zavedením katetru (Inoue et al., 2020, s. neuvedena). Komplikace napojení na ECMO demonstruje obrázek 3.



Obrázek 3: Komplikace spojené s využitím přístroje ECMO

Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7428656/figure/jah34953-figure-0003/>

Mezi komplikace vztažené k průběhu léčby spíše než k aktu napojení patří trombóza okruhu ECMO, distenze levé komory a hypoxie mozku. Samotné riziko trombotických příhod je značně vázáno na délku napojení a značně roste při snížení dávky antikoagulancií. K včasné detekci trombotických příhod slouží důsledná vizuální kontrola jednotlivých částí okruhu a ověřování odporu membrány oxygenátoru. Ucpání oxygenátoru se projeví nárůstem této veličiny. Nález každé sraženiny musí znamenat výměnu zasažené části, neboť hrozí uvolnění trombu a následná embolizace. Speciálně u venoarteriální konfigurace je embolizace vysoce nebezpečná. V případě minimálního podílu vlastního srdečního výdeje je nutné myslet na distenzi levé komory. Artificiálním oběhem dochází ke zvýšení tlaku v levé komoře, který namáhá lokální svalovinu. Sekundárně na zvýšení tlaku v srdci může dojít ke vzniku závažného plicního edému. Prevencí distenze je snížení tamního tlaku, čehož lze dosáhnout snížením mimotělního krevního průtoku (pokud to umožní stav prokrvení), případně nezávislé metody snižující tlak jen lokálně v komoře (například odlehčujícím zařízením, či odsávací kanylou). Pokud je naopak částečný podíl vlastního srdečního výdeje zachovaný, je nutné myslet na hypoxii mozku. Následkem srdeční zástavy často dochází ke snížení schopnosti plic okysličovat krev. Při extrakorporální membránové oxygenaci se převážně využívá periferní kanylace, pokud tedy dojde ke vzniku vlastního srdečního výdeje, dojde k přetlačování krve. Zatímco se aortou k srdci bude tlačit plně okysličená krev z přístroje ECMO, ze srdce bude proudit krev s nedostatečným podílem kyslíku. Poměr sil vlastního a artificiálního krevního oběhu určí, jaké tkáně budou zásobené kterým oběhem. Diferenciace tkání je zřejmá z odboček aorty, tedy postupně arteria subclavia dextra a pravá horní končetina, arteria carotis communis dextra a pravá hemisféra, arteria carotis communis sinistra a levá hemisféra, arteria subclavia a levá horní končetina a finálně samotná aorta descendens a horní polovina těla. Tento extrémní stav s hypoxickou a promodralou horní polovinou těla a okysličeným a růžovým zbytkem těla nazýváme harlekýnský syndrom. Pro včasnou detekci souboje oběhů je vhodné monitorovat krevní plyny z pravé horní končetiny, případně monitorovat okysličení tkání mozku cerebrální oxymetrií. Potlačení tohoto stavu lze dosáhnout za pomoci úpravy ventilačních parametrů, změnou poměru sil, či úpravou konfigurace ECMO okruhu. Pokud potřeba kardiální podpory již polevila, lze přistoupit jen ke konfiguraci plicní, tedy venovenózní. Pokud potřeba trvá, nabízí se možnost konfigurace venoarteriovenózní, která umožní zvýšení saturace krve vytlačované srdcem při zachování oběhové podpory (Ošťádal et al., 2018, s. 22–76). Schéma obvyklého větvení oblouku aorty je nastíněno na obrázku 4.



Obrázek 4: Oblouk aorty

Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray506.svg#/media/File:Gray506\\_cs.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray506.svg#/media/File:Gray506_cs.svg)

Systematický přehled 26 studií, které obsahovaly data o počtech mozkových smrtí u ventilovaných pacientů po kardiopulmonální resuscitaci, ukázal následné hodnoty. Hodnota mozkově mrtvých u pacientů po extrakorporální resuscitaci byla značně vyšší, než u pacientů po konvenční resuscitaci (27,9 % versus 8,3 %). Přibližně u 40 % mozkově mrtvých jedinců byly následně využity orgány k transplantaci. Výsledkem této studie je doporučení, aby byli pacienti vyšetřeni, zda nenastala mozková smrt, pokud se nacházejí v bezvědomí po resuscitaci, speciálně po extrakorporální resuscitaci (Nolan et al., 2021, s. 369–421).

## 2.2 Indikace k napojení na přístroj ECMO

Počet pacientů, kteří přežijí až do okamžiku propuštění, zůstává po mimonemocniční zástavě oběhu navzdory pokrokům v resuscitačních postupech, stále nízký. Data z Londýna – Virdi 2015 – ukazují 9% přežití, celosvětové hodnoty jsou v rozmezí dvou až jedenácti procent. Externí komprese hrudníku, jako základní součást konvenční resuscitace (CCPR), generují srdeční výdej i perfuzní tlak v koronárních tepnách, který je nezbytný k prokrvení samotného srdce a je tedy podmínkou k dosažení návratu spontánní cirkulace (ROSC). Hodnoty takto získaného srdečního výdeje, který zajišťuje prokrvení mozku a dalších orgánů, dosahují ovšem zlomku fyziologických mezí. Optimální konvenční resuscitace generuje srdeční index okolo 0,6 l/min/m<sup>2</sup>, což odpovídá nízko průtokovému stavu. Právě dlouhodobá nedostatečná perfuze,

způsobená tímto stavem, zvyšuje riziko multiorgánového selhání a hypoxického poškození mozku (Singer et al., 2018, s. neuvedena).

Lokální data lze zjistit ze statistik zdravotnické záchranné služby hlavního města Prahy, v jejíž působnosti žije přibližně 1,25 miliónu obyvatel a která řeší 500 až 600 náhlých zástav oběhu ročně. Dle Fraňka 2010 zhruba u 90 % těchto pacientů byla prováděna laická kardiopulmonální resuscitace již před příjezdem zdravotnické záchranné služby, přičemž asi 77 % zástav doprovází telefonicky asistovaná neodkladná resuscitace (Bělohávek et al., 2022, s. 737–742).

Jedním z předpokladů úspěšné resuscitace s minimálním neurologickým deficitem je minimalizace stavu s nízkým průtokem, pod toto označení spadá i stav bez průtoku. Časový interval od okamžiku kolapsu do počátku zahájení zevní srdeční masáže je stav bez průtoku. Tento stav označuje stav s nulovým, případně spontánním limitně nulovým průtokem, a tedy i nulovým prokrvením samotných orgánů. Nadřazený interval – stav s nízkým průtokem končí započítáním extrakorporální resuscitace. Náznakem o prospěšnosti minimalizace nízkoprotokového stádia je i porovnání počtu přeživších pacientů po nemocniční zástavě s využitím ECPR vůči stejnému faktoru u pacientů léčených s využitím ECPR po zástavě mimo nemocnici (20–35 % versus 15 %). Tento rozdíl je možné minimalizovat využitím terénních ECMO týmů, které efektivně zkracují proces zahájení ECPR, a tím zkracují i samotný stav s nízkým průtokem (Singer et al., 2018, s. neuvedena).

Indikace pro zavedení venovenozního přístroje ECMO se dají shrnout jako nedostatečná schopnost organismu okysličovat krev nebo nedostatečná schopnost zbavovat krev oxidu uhličitého, navzdory plné ventilační podpoře. Některá zdravotnická zařízení používají pro ověření vážnosti poruchy oxygenace Murrayho skóre, jehož hodnota tři a více značí závažnost hodnou napojení. Murrayho skóre zohledňuje výsledky zobrazovacích metod, index oxygenace, hodnotu pozitivního tlaku na konci výdechu a poddajnost plic. Pro poruchy odbourávání oxidu uhličitého se závažnost stavu hodnotí na výši výkyvu acidobazické rovnováhy. Pro potřeby neodkladné resuscitace použití venovenózní konfigurace není vhodné, neboť nedostatečný srdeční výdej je absolutní kontraindikací. Nedostatečný srdeční výdej je naopak indikací venoarteriální konfigurace. Mezi stavy přímo asociované s poklesem srdečního výdeje, či stavy s potenciální deteriorací patří kardiogenní šok, srdeční zástava, arytmiické bouře a kardiochirurgické a jiné rizikové intervence. K potvrzení nutnosti extrakorporální podpory kardiogenního šoku je nutné konstatovat nedostatečné prokrvení orgánů navzdory podávání inotropik a vazopresorů. Každá čerstvá srdeční zástava refrakterní na konvenční

kardiopulmonální resuscitaci s předpokladem reverzibilitnosti je indikací k extrakorporální resuscitaci a hledí se tedy jen na kontraindikace. Zástava musí být spatřená, postižený musí být resuscitován již před příjezdem posádky zdravotnické záchranné služby a nesmí trpět onemocněním v terminálním stádiu. Jednotliví poskytovatelé se v kritériích značně liší, někteří mají zahrnutou i podmínku přítomnosti defibrilovatelného rytmu (Ošťádal et al., 2018, s. 15–76).

### **Náhodná hypotermie**

Kombinací vážné hypotermie se zástavou oběhu vzniká stav vyžadující vysoce specializovanou péči. Hypotermií označujeme stav s teplotou jádra pod 35 °C, nicméně bez doprovodných vlivů nedochází u mladého zdravého člověka k spontánní náhlé zástavě oběhu při teplotě nad 30 °C. Vlivem stáří a komorbidit přichází zástava oběhu již o dva stupně Celsia dříve. Závažná hypotermie vzniká na podkladě vystavení jedinců extrémním podmínkám (laviny, ponoření do vody, propadnutí do ledovcových trhlin). K hypotermii ovšem může dojít i v městských oblastech mírného pásu, kde se potencují mírnější podmínky s komorbiditami, či s požitím alkoholu a jiných drog. V těchto oblastech často nedochází k adekvátnímu přístupu k podchlazeným osobám vlivem místní malé incidence a nedostatečného proškolení posádek. Pravděpodobnost přežití u normotermních pacientů s nespatřenou zástavou oběhu, u kterých nedošlo k laické resuscitaci před příjezdem posádek, je velmi nízká. Pokud u takového pacienta nedojde během 20 minut ALS postupů ke spontánnímu návratu cirkulace, nejsou přítomné známky života a defibrilovatelný rytmus nebyl detekován, dochází standardně k ukončení resuscitačních pokusů. S každým snížením tělesné teploty o jeden stupeň Celsia dochází k poklesu nároků mozku na kyslík o 6–7 %. Vlivem takto snížené spotřeby kyslíku nelze aplikovat značnou část vyřazujících kritérií pro extrakorporální kardiopulmonální resuscitaci u hypotermního pacienta. I přes nepoužívání těchto kritérií dochází k plnému zotavení s vyšší pravděpodobností než u normotermních pacientů podstupujících volnější vyřazující kritéria (Swol et al., 2022, s. 153–162).

Dle Evropské resuscitační rady znamená závažná hypotermie často přímou indikaci pro transport do centra schopného akutního napojení na přístroj ECMO. Tato indikace se netýká jen hypotermních zástav oběhu, ale i podchlazených pacientů se závažnými rizikovými faktory pro náhlou zástavu oběhu. Riziková je teplota jádra pod 30 °C, komorové arytmie a systola pod 90 milimetrů rtuťového sloupce. Pokud se jedná o podchlazeného pacienta se zástavou oběhu, resuscitace probíhá podle upravených postupů pro hypotermické zástavy. Zatímco parametry komprese hrudníku a ventilace by měly být identické, dávkování léků a pravidla defibrilace se

liší. Pro teploty jádra pod 30 °C se adrenalin nepodává, u vyšších teplot se interval jeho podávání prodlužuje na 6 až 10 minut. U fibrilace komor, po třech neúspěšných defibrilacích, se další pokus doporučuje až po dosažení teploty jádra přes 30 °C. U pacientů s teplotou jádra pod 28 °C je dokonce možné kardiopulmonální resuscitaci odložit, či na minimální dobu přerušit, pokud je to nezbytně nutné pro realizaci extrakce a transportu. Pokud se jedná o resuscitované pacienty v souvislosti s lavinovým neštěstím, tak k těmto upraveným postupům resuscitace se přistupuje jen pokud čas strávený v závalu přesáhl 60 minut. Neboť nejpravděpodobnější příčinou zástavy ve sněhovém závalu je hypoxie (nikoliv hypotermie), u času pod 60 minut se resuscituje za použití standardních ALS postupů. Pokud není u zavalených pacientů konstatované zranění popírající přežití, dochází často k jejich transportu do zařízení schopného extrakorporální resuscitace (Lott et al., 2021, s. 152–219).

### **2.3 Proces resuscitace a napojení na přístroj ECMO**

V přednemocniční péči je v obvykle kladen důraz na poskytování co nejkvalitnější resuscitační péče na místě zástavy. Méně častá je alternativní strategie, která spočívá v co nejrychlejším transportu do zdravotnického zařízení za kontinuální resuscitace. Preference této strategie pramení z poznatku, že nejlepší dlouhodobý výsledek pro pacienta následuje po co nejrychlejším dosažení návratu spontánní cirkulace (dosažení ROSC). Kvalita kardiopulmonální resuscitace je vyproštěním a transportem pacienta nevyhnutelně snížena. Mnoho poskytovatelů přednemocniční péče proto nařizuje minimální čas strávený na místě před započítáním transportu. To má ovšem i potenciálně nežádoucí efekt u malé skupiny pacientů (průnik skupiny s rychle nedosažitelným ROSC a skupiny splňující kritéria k ECPR), neboť vede k prodloužení stavu s nízkým průtokem. Tuto skupinu ovšem nelze předem rozpoznat, neboť pacienti, kteří by pravděpodobně profitovali z napojení na ECMO (nižší věk, spatřená zástava, kvalitní resuscitace přihlížejícími, defibrilovatelný iniciální rytmus) jsou zároveň i pacienti s nejvyšší šancí k dosažení ROSC. Problém se ve světě většinou řeší využitím přístrojů zajišťujících mechanické komprese hrudníku schopných minimalizovat úpadek kvality kardiopulmonální resuscitace vlivem transportu, případně nasazením mobilních týmů PECMO (Prehospital Extrakorporéal Membrane Oxygenation) schopných napojení na přístroje ECMO již v terénu (Singer et al., 2018, s. neuvedena).

## **Systemy přednemocničního napojení**

Ve městě Albuquerque žije více než 900 000 lidí na ploše 490 kilometrů čtverečních. Ročně se zde stane okolo 600 zástav mimo nemocniční zařízení, jenom zlomek ovšem v dostatečné blízkosti k Univerzitní nemocnici Nové Mexiko. Po zajištění pacienta již záchranné složky nestíhají transport v rámci časového okna pro napojení na ECMO ve zdravotnickém zařízení. Jako řešení se nabízí vzít přístroje ECMO, a tím i celý potenciál extrakorporální resuscitace, k pacientům. V návaznosti na Francii, Rakousko, Španělsko a Velkou Británii vzniká první tým PECMO ve Spojených státech Amerických. Pro vznik mobilního týmu se využil kvalitní základ v podobě kombinace posádek zdravotnické záchranné služby spolupracující s týmem terénních doktorů. Nástavbu k předchozímu režimu tvoří tým cévních chirurgů, přestavěná sanitka s přístrojem ECMO a doškolení části nelékařů u záchranného sboru na asistenci u kanylace. Dispečink hraje důležitou roli, neboť je nutné, aby PECMO byl indikován s minimální ztrátou oproti základnímu systému zasahujících posádek. Kritéria pro výjezd PECMO týmu k mimonemocniční zástavě oběhu jsou: věk 18–75 let, musí se jednat o spatřený kolaps a zahájení laické resuscitace do pěti minut od kolapsu. Pozdější vyřazující kritéria jsou: asystolie jako iniciální rytmus, závažné komorbidity a viditelné trauma (Bailey et al., 2020, s. 20–24).

Po příjezdu posádky PECMO na místo proběhne ultrazvukové vyšetření srdce. U rytmu PEA (bezpulzová elektrická aktivita) je kanylace zahájena jen za předpokladu zjištěné srdeční kontraktility. Ventilovaný pacient obdržující mechanické komprese přístrojem LUCAS je naložen do vozu nohama napřed. Za vozem je postaven stan. Zatímco z vnějšku pokračují ALS postupy, uvnitř probíhá samotná kanylace femorální tepny a žíly. Po tomto procesu, který často zabere přes 30 minut, proběhne převoz v nepohotovostním režimu na urgentní příjem univerzitní nemocnice. Tímto procesem bylo dosaženo snížení maximální časové hranice do napojení na ECMO na jednu hodinu. V rámci snížení finančních nákladů a odsunutí potřeby perfuziologa do nemocniční fáze se využívá speciálních ECMO okruhů poháněných jen za pomoci ruční kliky (Bailey et al., 2020, s. 20–24).

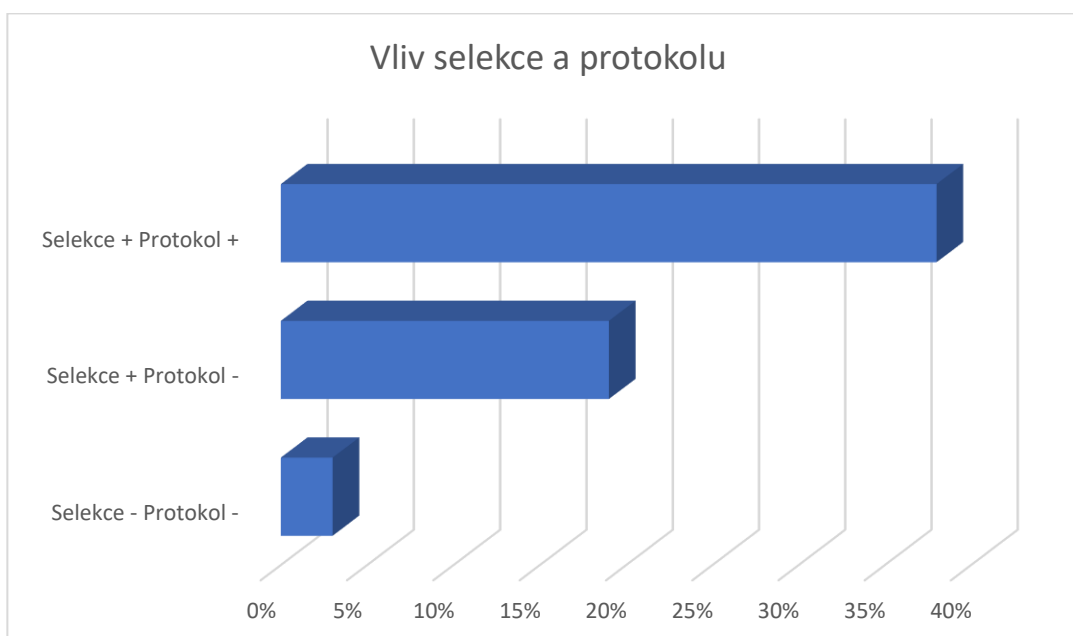
## **Porovnání programů s přednemocničním napojením s programy nemocničního napojení**

Pařížská studie se věnuje porovnání úspěšnosti ECPR provedeného po příjezdu do zdravotnického zařízení a ECPR zahájeného již na místě zástavy oběhu. Běžnou praxí v Paříži je využívání vozů mobilních jednotek intenzivní péče spolu se skupinami zdravotnické



záchranné služby. Proběhlé pařížské mimonemocniční zástavy oběhu byly rozděleny do 2 kontrolních období. V prvním období docházelo k zahájení postupů vedoucích k ECPR průměrně po půl hodině ALS postupů. Ve druhém období docházelo k posouzení striktních indikačních kritérií a k limitaci dávek adrenalinu (maximálně 5 mg). K iniciaci přípravy pro ECPR docházelo průměrně po 20 minutách ALS postupů. Hlavní kontrolní kritérium bylo dosažení hodnoty 1, či 2 ve skórovacím systému mozkové výkonosti při propuštění, nebo v 28. den hospitalizace. Do studie bylo zařazeno všech 156 subjektů napojených na ECMO (celkový počet mimonemocničních zástav oběhu byl 15 680), počáteční fáze obsahovala 114 subjektů, fáze následující 42. Kombinací zkrácení průměrného stavu s nízkým průtokem o dvacet minut a zúžením indikačních kritérií došlo ke vzrůstu úspěšnosti z 8 % na 29 %. Strategie PECMO týmů vznikla po zaznamenání několika případů komplikací během scoop-and-run, respektive grab-and-go přístupu, jako nástavba na fungující systém mobilních jednotek intenzivní péče (tento přístup preferuje minimalizaci délky transportu na úkor zajištění pacienta v terénu). Týmy PECMO působily v obou sledovaných obdobích, zatímco v prvním období probíhala volba, zda napojení proběhne již mimo nemocnici, tak v druhém období již napojení probíhalo vždy v terénu (vyjma zástav během transportu s dojezdem do nemocnice pod 10 minut). Zástavy oběhu napojené v přednemocniční fázi obsahují tedy obě kontrolní období. První období proběhlo od listopadu 2011 do prosince 2014, druhé od ledna 2015 do ukončení studie roku 2017. Zatímco personální zajištění, vybavení i technika kanylace byly v obou obdobích obdobné, indikační kritéria se lišila. Studie zjistila silnou korelaci mezi probíhajícími příznaky života (jako je gasping, nemydriatické zornice a spontánní pohyby) a pravděpodobností přežití. Míra přežití byla v druhém období vyšší u všech kategorií pacientů, vyjma nezměněné hodnoty u starších šedesáti let. Tento nárůst ovšem není považován za statisticky významný. Mezi parametry korelující s vyšší mírou úmrtí v obou sledovaných obdobích patřily: mužské pohlaví, osobní historie obsahující kardiovaskulární nemoci, aplikace více než 5 mg adrenalinu, případně absence angiografie v nemocnici. Spočítaný vliv jednotlivých faktorů selekčních kritérií a protokolu, který zahrnuje PECMO, limitace adrenalinu a systematické vyhledávání etiologie, zobrazuje graf 1. Studie apeluje na reklasifikaci ECPR postupů ze záchranné varianty na sekundární. Přestože přežití v druhém období vzrostlo, více než vlivem přednemocničního napojení na ECMO, je efekt přisuzován ostatním faktorům nové agresivní strategie. Novým přístupem klesla průměrná délka stavu s nízkým průtokem z 93 na 71 minut. Jedním z faktorů, proč výrazné zkrácení stavu s nízkým průtokem nemělo signifikantní vliv na snížení mortality, může být fakt, že po dosažení nemocnice pacientům nenapojeným na ECMO je zopakována kontrola indikačních kritérií. Tato druhá kontrola probíhá později než kontrola v terénu týmem

PECMO. Část neperspektivních pacientů se tedy protřídí časovou prodlevou, která je způsobena samotným transportem, neboť v rámci nemocničního zhodnocení je rozhodnuto o jejich nenapojení. Hlavní limitací programů s nemocničním napojením je bezpochyby časová prodleva způsobená samotným transportem. Mezi jednotlivými obdobími proběhlo několik změn. Rozhodnutí o ECPR postupech bylo iniciováno v druhém období o 10 minut dříve a proběhla revize selekce vhodných pacientů. Původní selekce probíhala na základě francouzských doporučených postupů k ECPR, které vyžadovaly zhodnocení délky od kolapsu do zahájení laické resuscitace, což je v praxi velice obtížné. V druhém období se přešlo k hodnocení přítomnosti známek života při zvažování napojení na ECMO. Výsledek celé studie říká, že o mortalitě rozhoduje celý soubor agresivních postupů, a nikoliv pouze jediný faktor mimonemocničního versus nemocničního napojení na ECMO (Lamhaut et al., 2017, s. 109–117).



Graf 1: Předpokládaný vliv selekce a protokolu na pokles mortality

### Lékař jako součást přednemocniční péče

Využívání ECMO přístrojů je od prvních studií prokazující prospěšnost ECPR oproti CCPR prudce na vzestupu. Obecně se prezentuje důležitost zkrácení stavu s nízkým průtokem, jako jeden z klíčových faktorů mortality a neurologického faktoru při propuštění. Přestože japonské posádky přednemocniční péče jsou na základě telefonické indikace kompetentní k intubaci pacienta v rámci resuscitace, často v této činnosti nemají potřebnou praxi. Personál je tedy často nucen pacienta transportovat bez potřebného zajištění, proto některé nemocnice

zřizují vlastní systém výjezdových vozů s lékařem, jako členem posádky. K vyslání těchto vozů se používají standardizovaná klíčová slova, pokud dispečink obdrží hovor obsahující tato slova, dochází k paralelnímu vyslání standardní paramedické posádky i posádky lékařské. Studie Sato et al., 2018 se zaměřuje na posouzení efektivity tohoto rendez-vous systému a ověřuje, zda skutečně jeho aplikací dochází ke zkrácení času od kolapsu k napojení na ECMO ve zdravotnickém zařízení. Kontrolní skupinu tvoří pacienti napojení na ECMO v Urasoe General Hospital v rámci časového rozmezí od 1. dubna 2012 do 31. srpna 2016. Indikovaní pacienti museli být mladší 75 let a museli splnit podmínku defibrilovatelnosti iniciálního rytmu, nebo se muselo jednat o spařený kolaps. Hlavními sledovanými faktory byla doba od příjezdu posádky na místo zásahu do napojení na ECMO ve zdravotnickém zařízení a celkový čas se sníženou perfuzí. Napojený pacient měl v 67,6 % případů defibrilovatelný rytmus a nejpravděpodobnější příčinou (73,6 %) byl akutní infarkt myokardu. Ze všech napojených pacientů se propuštění dožilo 17,6 %, přičemž bez neurologické ztráty se do života vrátilo 11,8 %. Díky lepší indikaci lékařem k extrakorporální resuscitaci již na místě zásahu v terénu byl výrazně zkrácen pobyt v nemocnici před napojením o 13 minut. Pokud pacienta přivezla posádka bez lékaře, rozhodovací proces probíhal až v nemocnici a průměrný čas do napojení na ECMO činil 36 minut. Lékařské posádky mají ovšem delší dojezdový čas (daný menším pokrytím) a tráví více času na místě zajištěním pacienta, proto vznikl menší rozdíl od kolapsu do napojení (52 a 61 minut). Pacienti předávaní lékařskou posádkou přímo na sál měli výrazně častěji zajištěné dýchací cesty a častěji u nich již byl podán adrenalin. Nicméně, co se týká faktorů výstupních, studie nezachytila statisticky významný rozdíl počtu přeživších do propuštění, ani propuštění bez neurologické ztráty mezi jednotlivými typy posádek. Vzhledem k limitovanému počtu zařazených pacientů v této studii, nedošlo k rozpoznání statisticky významného přínosu lékařské posádky na výsledky studie. (Sato et al., 2018, s. 442–445)

Na základě poznatků, které prezentují vztah mezi minimalizací stavu s nízkým průtokem a nižším počtem mortalit či důležitost včasného podání adrenalinu se přesto předpokládá, že použití výjezdových posádek s lékařem má u pacientů indikovaných na ECPR ve zdravotnických zařízeních svůj význam (Sato et al., 2018, s. 442–445).

### **Specifika léčby ECMO**

K péči o pacienta léčeného za pomoci ECMO přístrojů se váže mnoho specifík, komplikovaná je monitorace a ukončování léčby. Zatímco použití venovenózní konfigurace znamená pro personál jen intenzivní monitoraci zahrnující denní ultrazvukové vyšetření,

kontrolu srdečního výdeje a ověřování úrovně antikoagulace, venoarteriální konfigurace přináší mnoho komplikací. Perfuze generovaná ECMO přístrojem je zajištěna kontinuálním tlakem. Neinvazní metody měření tlaku, založené na oscilačních metodách, nejsou tedy použitelné. Hodnoty kapnometrie nejsou směrodatné, neboť k odstraňování oxidu uhličitého dochází i na membráně oxygenátoru. Pokud srdce vytváří vlastní perfusi, je nutné myslet na rozdílné hodnoty krevních plynů jednotlivých oběhů. Krevní plyny mimotělního oběhu lze měřit nepřetržitě za oxygenátorem. Pro včasnou detekci zásahů srdce do oběhu je vhodné měřit saturaci a odebírat krevní plyny na pravé horní končetině. Pulzní oxymetrie není na tkáních prokrvených nepulzativně použitelná, je tedy nutné přistoupit k cerebrální, či periferní oxymetrii. Výhodou je umístění periferního senzoru saturace na končetinu, jejíž tepna byla použita ke kanylaci, neboť včas zpozorujeme ischemii způsobenou zúžením dané tepny. Je doporučeno sledovat hodnoty saturací v trendech, což umožní včasnou detekci komplikací. Obdobný vztah dodatečných komplikací je i u omezování, či ukončování léčby. Zatímco u venovenózní konfigurace je možné vyřadit z funkce oxygenátor a provizorně ponechat snížený extrakorporální průtok jako test potřeby plicní podpory, venoarteriální konfigurace totéž neumožňuje. V obou konfiguracích je v rámci prevence trombotických komplikací nutné ponechat určitý průtok až do samotné dekanylace. Minimální doporučený průtok venovenózní konfigurace je doporučen dva až tři litry za minutu, nepodkročitelný průtok venoarteriálního oběhu je 1 až 1,5 litru za minutu. Vyřazením oxygenátoru venoarteriálního oběhu by vznikla nebezpečná zkratka s následnou hypoxií. Přímo před dekanylací je možno extrakorporální průtok omezit na 1 litr za minutu. Nejdříve uzavřeme svorkou výpustní kanylu, poté nasávací kanylu. Zastavení extrakorporálního oběhu je povoleno až bezprostředně před odstraněním kanyl (Ošťádal et al., 2018, s. 15–76).

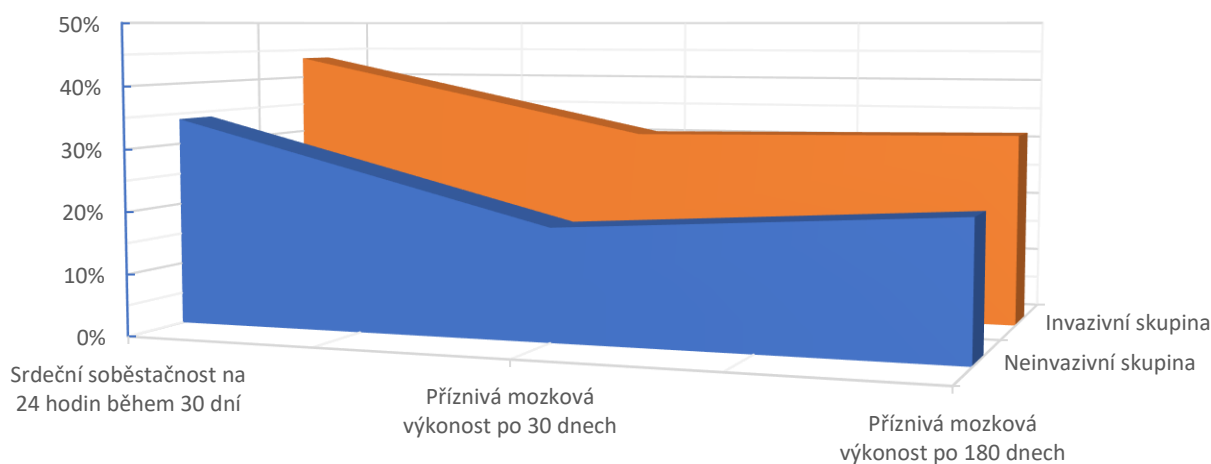
Při používání periferně venoarteriálně zavedeného ECMO přístroje dochází v části arterií k opačnému proudění krve, tento opačný tok zvyšuje afterload levé komory a může způsobit vznik plicního edému. Jedna z možností na podporu vyprazdňování komory je využití intraaortální balónkové kontrapulzace. Intraaortální balónková kontrapulzace je schopná zvýšit střední arteriální tlak a zvýšit průtok v arterii cerebri media u pacientů na venoarteriálním přístroji ECMO s kardiogenním šokem, nicméně o účinnosti intraaortální balónkové kontrapulzace v kombinaci s venoarteriálním přístrojem ECMO pro resuscitační potřeby nejsou spolehlivá data. Na prasečích modelech byl popsán vliv nízkého průtokového nastavení ECMO přístrojů v prvních šesti hodinách od zástavy oběhu na sníženou perfuzi mozku a sníženou schopnost odbourávat laktát. Výhody nízkého průtokového nastavení popsány nejsou. Údaje o doporučené léčbě pacientů po návratu spontánní cirkulace po zahájení ECPR jsou značně

omezené. Prokázání vlivu průtokové strategie ECMO přístrojů, kombinace s intraaortální balónkovou kontrapulzací a teplotního a antikonvulzivního managementu, čeká na další studie (Inoue et al., 2020, s. neuvedena).

### **Dopad extrakorporální resuscitace na neurologický výsledek**

Smysluplností extrakorporální léčby mimonemocničních náhlých zástav oběhu se zaobírala nedávno ukončená Pražská studie autorského týmu vedeného docentem Bělohlávkem. Cílem studie bylo posoudit, zda brzké rozhodnutí o zahájení transportu za kontinuální resuscitace a akutní napojení na přístroj ECMO skutečně předurčí lepší neurologický výsledek přeživších. Mezi březnem 2013 a listopadem 2021 bylo do studie zařazeno 256 dospělých pacientů se zástavou oběhu s předpokladem kardiální etiologie. Skupina 124 jedinců byla léčena invazivně, byli tedy za využití mechanické podpory oběhu dopraveni z místa zásahu do zdravotnického zařízení k napojení na přístroj ECMO. Skupina neinvazivní, zahrnující 132 subjektů, byla léčena konvenční kardiopulmonální resuscitací, tedy dle ALS postupů, na místě zástavy. Hlavní hodnotící kritérium bylo dosažení první, či druhé kategorie mozkové výkonosti 180 dní po zástavě. Vedlejší kritérium tvořilo dosažení stejné výkonosti již do 30 dnů a do stejné lhůty i uzdravení srdce, které bude schopno obejít se 24 souvislých hodin bez farmakologické, či jiné podpory. Pokaždé, kdy byla vyslána posádka zdravotnické záchranné služby a na místě probíhala laická kardiopulmonální resuscitace, byla vyslána i datová zpráva koordinátorovi výzkumu. Po dosažení posádky k místu náhlé zástavy oběhu proběhl nahrávaný telefonát posádky a koordinátora, došlo k posouzení parametrů pro zahrnutí pacienta do studie. Pokud byl pacient zahrnut, přes randomizační systém byla přidělena jedna z kontrolních skupin. Zahrnutí bylo hodnoceno v 4354 případech, přičemž 3987 bylo vyřazeno (u 1601 byla před randomizací konstatována smrt, u 1263 před randomizací došlo k spontánnímu návratu cirkulace a u 363 zástav se nepředpokládala kardiální příčina). Randomizace proběhla v 264 případech, 8 bylo ze studie později vyřazeno a 20 pacientů obdrželo léčbu z jiné skupiny, než jim byla randomizací přidělena. Přesunutí do invazivní léčby bylo povoleno na základě přímého požadavku zasahujícího lékaře (11 případů). Přesunutí do neinvazivní léčby bylo prováděno, pokud se nepředpokládal přínos invazivních metod (9 případů). K náhlé zástavě oběhu zahrnutých pacientů došlo nejčastěji na veřejnosti. Jen 17 % pacientů tvořily ženy. Nejčastější iniciální rytmus byla fibrilace komor (58 % invazivní skupina; 64 % neinvazivní skupina). Randomizace průměrně proběhla v 24. minutě u invazivní skupiny a v 26. minutě u skupiny neinvazivní. Hlavním kritériem studie (mozková výkonost

po 180 dnech) prošlo úspěšně 39 z 124 pacientů invazivní skupiny (31,5 %) a 29 ze 132 pacientů neinvazivní skupiny (22 %). Vzhledem k suspektní favorizaci invazivní skupiny je rozdíl devět a půl procentního nesignifikantní. První vedlejší kritérium mozkové výkonosti po 30 dnech úspěšně splnilo 30,6 % invazivní skupiny (38 pacientů) a 18,2 % neinvazivní skupiny (24 pacientů). Druhé vedlejší kritérium uzdravení srdce do 30 dnů splnilo 43,5 % invazivní skupiny (54 pacientů) a 34,1 % neinvazivní skupiny (45 pacientů). Průměrný počet podaných dávek adrenalinu byl o jednu dávku vyšší v neinvazivní skupině (4 versus. 5 dávek). Přechodného spontánního návratu cirkulace bylo dosaženo u 33 % subjektů zařazených do invazivní skupiny a 34 % neinvazivní skupiny. Invazivní zhodnocení stavu, včetně angiografie proběhlo u 98 % subjektů invazivní skupiny a 77 % neinvazivní skupiny. Z těchto pacientů na angiografii proběhla úspěšně navazující koronární intervence z 90 a 80 %. Nejčastější příčina smrti se mezi skupinami lišila. Zatímco u invazivní skupiny nejčastěji zabíjel syndrom multiorgánové dysfunkce, u neinvazivní refrakterní zástava oběhu. V první hodině po proběhlé randomizaci došlo k úmrtí 9 % subjektů invazivní skupiny a 49 % skupiny neinvazivní. Ke komplikaci v podobě závažného krvácení došlo ve skupině invazivní k více než dvojnásobnému počtu případů oproti skupině neinvazivní (31 a 15 procent). Studie nedošla k hodnotám prokazatelně dokazujícím superiorní postavení extrakorporální resuscitace nad resuscitací konvenční, nicméně absence tohoto důkazu mohla pramenit z malého vzorku pacientů a podstaty studie dokumentující případy pouze jediného zdravotnického zařízení. Studie podporuje dříve navrhovaný interval 16 minut od započetí ALS postupů pro rozhodnutí o transportu k započetí extrakorporální membránové oxygenace (Bělohávek et al., 2022, s. 737–747). Dosažené hodnoty kontrolních skupin v hlavním a vedlejších kritériích demonstruje graf 2.



Graf 2: Dosažené hodnoty kontrolních skupin

## 2.4 Výběr vhodných pacientů

Ruku v ruce s využíváním tak finančně, časově a personálně náročných metod, jako je využití přístrojů ECMO v rámci resuscitace, musí jít i upřesňování přísných kritérií pro napojení pacientů na ECMO. Skutečnost, nakolik se kritéria napříč ECPR programy různí, značně komplikuje jejich porovnávání. Uvolnění těchto kritérií by zahrnuje i další kandidáty z řad pacientů, kteří by předchozí kritéria nesplnili. Části z nich by napojení na ECMO i skutečně pomohlo, nicméně toto uvolnění by nevyhnutelně mělo za následek i snížení celkového poměru pacientů bez neurologické ztráty vůči počtu napojených. Programy obsahující nejstriktnější kritéria snadněji dosáhnou lépe vypadajících relativních hodnot přežití s minimálním neurodeficitem vůči celkovému počtu napojených. Existence relativních hodnot ukazujících poměr pacientů indikovaných vůči celkovému počtu kardiálních zástav mimo nemocnici také není pro porovnávání kvality jednotlivých programů vhodná, neboť k těmto hodnotám nelze promítnout demografické rozdíly jednotlivých oblastí a další přidružené vlivy, jako je laická proškolenost v rozpoznání náhlé zástavy oběhu a postupech kardiopulmonální resuscitace. Mezi často užívaná kritéria patří: věk (případné zohlednění věku funkčního na úkor aktuálního kalendářního), přítomnost závažných komorbidit, úroveň samostatnosti, přítomnost defibrilovatelného rytmu (bezpulzová komorová tachykardie – pVT; fibrilace komor – VF), přítomnost známek života během resuscitace (gaspings, pohyby, reaktivita zornic), časové rozpětí od zástavy do začátku kompresí (stav bez průtoku) a schopnost iniciace ECPR do hodiny od kolapsu (Singer et al., 2018, s. neuvedena).

Dle Americké kardiologické společnosti patří mezi ukazatele perspektivnosti ECPR výsledky fyzikálního vyšetření, zobrazovacích metod a laboratorních odběrů. Objektivní zhodnocení může následovat až po 72 hodinách od zástavy oběhu, respektive 72 hodin od dosažení normotermie u teplotního managementu. Vhodný ukazatel u fyzikálního vyšetření je průměr zornic pod 6 mm (senzitivita 100 %; specifická 59 %). Jako ukazatel prospektivního vývoje u vyšetření výpočetní tomografií se ukázal poměr šedé a bílé hmoty v mozku. Pokud tento poměr přesáhl hodnotu 1,23, vyšetření se 100% specificitou prokazovalo budoucí velký neurologický deficit. Jako hlavní faktor se ukázal vliv času, doba od vzniku zástavy do napojení na ECMO prokazatelně koreluje se špatným neurologickým výsledkem. Z laboratorních hodnot se pro určení perspektivity doporučuje hodnota potenciálu vodíku mírné krevní acidózy nad 7,03–7,21 a hodnota laktátu pod 8,13–11,81 mmol/l. V rámci odhadnutí výsledků CCPR se hodnotí přítomnost zornicového reflexu, absence elektroencefalografické reaktivity, úroveň

reakce na algický podnět a patologická hodnota oxidu dusného v krvi (Inoue et al., 2020, s. neuvedena).

### **Bezpulzová komorová tachykardie a fibrilace komor**

Ročně dochází ve Spojených státech amerických k více jak 350 tisícům zástav oběhu mimo zdravotnické zařízení, orientačně u čtvrtiny z nich je jejich etiologie bezpulzová komorová tachykardie, či fibrilace komor. Značná část těchto maligních arytmií vzniká následkem akutního koronárního syndromu. Navzdory omezeným datům se využití extrakorporální resuscitace u zástav s defibrilovatelným rytmem jeví slibně. Státní univerzita Ohio vytvořila program zaměřující se výlučně na napojení mimonemocničních náhlých zástav oběhu s bezpulzovou komorovou tachykardií, či fibrilací komor na přístroje ECMO. Mezi patnáctým srpnem 2017 a prvním červnem 2019 probíhala studie s následujícími statistikami: z pacientů zařazených do zvažování byl přítomen defibrilovatelný rytmus u 49 %, 38 % subjektů splňovalo finální kritéria k napojení (Boudoulas et al., 2020, s. neuvedena).

Základní podmínkou pro indikaci k transportu na ECPR byla přítomnost defibrilovatelného rytmu, který nereagoval na tři pokusy o defibrilaci. Muselo se jednat o spatřenou zástavu a záchranným složkám musela předcházet laická resuscitace. Mezi další faktory patřily

- a) věk v intervalu 18 až 65 let,
- b) kompletní zajištěnost pacienta ALS postupy (zajištěnost dýchacích cest, ventilace, aplikace léčiv),
- c) vybavení posádky přístrojem pro mechanické komprese hrudníku.

Vyřazující kritéria tvořila přítomnost „Do not resuscitate“ – pokyn k nezahajování resuscitačních snah, přítomnost asystolie kdykoliv během procesu, přítomnost bezpulzové elektrické aktivity (PEA) při příjezdu záchranných složek. Nedefibrilovatelné rytmy byly v tomto programu striktně vyřazeny na základě předchozích studií, které ukazovaly nízkou úspěšnost následné ECPR. Při splnění kritérií byl z terénu aktivován nemocniční tým, který byl do 30 minut připraven a pacient byl urgentně přepraven na sál za kontinuální resuscitace. Nemocniční tým obsahoval intervenčního kardiologa, kardiotorakálního chirurga, anesteziologa, perfuziologa, farmaceuta, radiologického technika, respiračního terapeuta a k specializacím příslušné nelékařské zdravotnické pracovníky. Po příjezdu posádky do nemocnice byla provedena kontrola rytmu, odebrání arteriálních krevních plynů. Vyjma absence asystolie (pacienti s PEA byli na místě posouzeni) musel pacient pro napojení dále



splňovat hodnoty: laktát  $\leq 12$  mg/dl; koncentraci oxidu uhličitého na konci výdechu  $\geq 10$  mm Hg a parciální tlak kyslíku  $\geq 50$  mm Hg. Pacienti nesplňující tato kritéria byli prohlášeni za zemřelé. Pacienty splňující kritéria čekalo napojení na ECMO, povinný angiogram, v indikovaných případech perkutánní koronární intervence a přesun na jednotku intenzivní péče. Z pacientů skutečně napojených na přístroje ECMO jich přežilo do propuštění 25 %. Po ukončení studie došlo v Ohiu k uvolnění indikačních kritérií, čímž se stal program dostupnější více lidem. Maximální věk byl posunut na 75 let podmínky spatřené zástavy i laické resuscitace byly zrušeny. Povolená maximální hodnota laktátu se zvedla na 15 mg/dl (Boudo ulas et al., 2020, s. neuvedena).

### **Asystolie a bezpulzová elektrická aktivita**

Mnoho studií popisuje vyšší míru přežití a menší neurologické ztráty u náhlé zástavy oběhu s iniciálním defibrilovatelným rytmem při použití ECPR, než jen metodami CCPR pro zástavy uvnitř i vně zdravotnického zařízení. Nicméně studií posuzujících prospěšnost ECPR u mimonemocničních zástav oběhu s nedefibrilovatelným rytmem je minimum. U nemocničních náhlých zástav oběhu, řešených za pomoci ECMO přístrojů, je přitom vyšší procento pacientů s iniciálním rytmem asystolie/PEA, než pacientů s VF/pVT. Vzorek dospělých pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu, kteří byli léčeni za pomoci ECPR v letech 2011 až 2018 v tokijské metropolitní nemocnici Bokutoh, byl rozdělen do dvou skupin na základě defibrilovatelnosti počátečního rytmu. V oblasti je každý pacient s mimonemocniční zástavou oběhu striktně transportován urgentně do nemocnice. Indikovaní pacienti museli splňovat jeden z balíčků kritérií:

- a) věk nižší než 65 let, defibrilovatelný rytmus a podmínka spatřené zástavy,
- b) věk pod 70 let s předpokládanou reverzibilní příčinou, u kterých došlo ke kolapsu až po příjezdu složek přednemocniční neodkladné péče.

V druhé situaci se vstupní rytmus neposuzoval, předpoklad reverzibilitnosti byl posuzován na základě anamnézy a symptomů zaznamenaných zasahující posádkou. Na výstupu byli přeživší posuzováni výlučně na základě dosažené kategorie mozkové výkonosti, kdy jako dobrý výsledek se považovala hodnota jedna a dva (hodnota jedna odpovídá stavu bez deficitu a hodnota pět označuje mozkovou smrt). Ve skupině asystolie/PEA bylo 62 jedinců a ve skupině VF/pVT 124 jedinců. Celkový počet v nemocnici řešených mimonemocničních zástav oběhu byl 5203 (k ECPR tedy indikováno méně než 3,6 % případů). Zpětně byla provedena regrese k posouzení vlivu faktorů jiných než rytmus (vliv věku, přítomnost okamžité laické

resuscitace, délka stavu s nízkým průtokem). Ze 186 pacientů napojených na ECMO bylo 85 % mužského pohlaví, kolaps byl spatřený u 91 %, ovšem laická resuscitace byla prováděna jen u 64 %. Až po příjezdu posádek přednemocniční péče proběhl kolaps u třiceti procent pacientů. Medián kumulativní délky času bez resuscitace a času na CCPR byl 41 minut. Spontánního návratu cirkulace bylo mezi kolapsem a napojením na ECMO dosaženo s 19% úspěšností. Ve skupině asystolie/PEA byl signifikantně větší podíl žen, vyšší procento laické kardiopulmonální resuscitace i vyšší podíl pacientů zkolabovaných až po příjezdu EMS. Ve skupině VF/pVT tvořil podklad kolapsu nejčastěji akutní koronární syndrom, primární (idiopatická) fibrilace komor, případně kardiomyopatie. Nejčastějšími etiologiemi u skupiny asystolie/PEA byly akutní koronární syndrom a embolizace arterie pulmonalis. Ze všech pacientů přežilo do propuštění 30 %, přičemž dobrého neurologického výsledku (mozková výkonost jedna a dva) dosáhlo 60 % z nich (18% celková úspěšnost). Statisticky je velmi důležité porovnání této hodnoty mezi kontrolními skupinami. Porovnáním zjistíme nesignifikantní rozdíl (19 % v VF/pVT versus 16 % ve skupině asystolie/PEA). Po orientačním započítání ostatních faktorů jiných než iniciační rytmus, se rozdíl těchto hodnot sníží na 1,58 %. Výsledky této studie tedy naznačují, že vstupní nedefibrilovatelný rytmus nemusí nutně znamenat striktní diskvalifikující kritérium pro započítání ECPR, nýbrž je vhodné přihlížet ke kombinaci ostatních faktorů. Mimonemocniční zástavy oběhu s nedefibrilovatelným rytmem mohou stále být vhodnými kandidáty, za předpokladu reverzibilitnosti příčiny. Tato studie nereflektuje faktory efektivity a ceny a také odkazuje na výsledky budoucích studií (Tanimoto et al., 2020 s. neuvedena). Obrázek 5 ukazuje reálnou podobu přístroje ECMO.



Obrázek 5: Přístroj ECMO

Dostupné z: [https://www.lung.org/optimize/getmedia/e2c08a23-dc36-4d69-b8c4-d44560f05f02/ecmo\\_m.jpg](https://www.lung.org/optimize/getmedia/e2c08a23-dc36-4d69-b8c4-d44560f05f02/ecmo_m.jpg)

## Význam a limitace dohledaných poznatků

Přístroje extrakorporální membránové oxygenace zažívají velký rozvoj. Pro jejich využití pro plicní či kardiální podporu jsou vytvořené doporučené postupy a jejich prospěšnost je již prokázána a běžně akceptována. Nicméně využití ECMO přístrojů pro neodkladnou resuscitaci je doposud diskutováno a prokazováno. Zatímco u náhlých zástav oběhu ve zdravotnickém zařízení řešíme jen poměr materiální a personální náročnosti vůči potenciálu zlepšení šance na přežití s dobrým neurologickým výsledkem, situace u mimonemocničních zástav oběhu je komplikovanější. Přínosnost napojení nemocničních zástav je již proto prokázána.

V terénu je nutné zvažovat další faktory, jako je reálnost dosažení zdravotnického zařízení schopného napojení na přístroj ECMO v doporučeném časovém intervalu pro realizaci extrakorporální resuscitace. Nevyhnutelným následkem transportu pacienta pro napojení na ECMO je vždy úpadek resuscitační péče, oproti péči poskytované na místě zásahu. Samotná realizace transportu může být i značně komplikována až znemožněna individuálními podmínkami, například nemožností iniciace mechanických, strojově zajištěných, kompresí hrudníku. V terénu je často složité posoudit prospěch transportu na extrakorporální resuscitaci, neboť pacienti, kteří by profitovali z transportu a napojení na ECMO často není možné na místě odlišit od pacientů profitujících z kvalitnější resuscitace poskytované na místě zásahu. V rámci přiblížení se podmínkám nemocniční zástavy oběhu někteří poskytovatelé přednemocniční neodkladné péče zřizují posádky schopné napojení na ECMO již v terénu na místě náhlé zástavy oběhu. Mimonemocničním napojením na ECMO se daří účinně zkrátit dobu stavu s nízkým průtokem, nicméně přínos na mortalitu a neurologický výsledek prozatím není spolehlivě dokázán. Selekční kritéria pro iniciaci extrakorporální resuscitace se napříč poskytovateli různí a zatím nemají potřebné podložení cestou průkazných studií.

Nespornou limitací je prozatímní absence spolehlivých meta analýz a systematických přehledů zobrazujících přínos extrakorporální resuscitace pro mimonemocniční zástavy. V současné době je možné se opírat o výsledky randomizovaných studií, nicméně ty často vycházejí z dat jen od jednoho zdravotnického zařízení. Přestože prezentované hodnoty těchto studií nastiňují výhody extrakorporálních metod, vzhledem k možnému efektu favorizace a v rámci předejití statistické chybě prvního typu, bývá rozdílnost hodnot označována za statisticky insignifikantní. V některých studiích objektivizaci dat komplikuje i okamžik randomizace.

## Závěr

Extrakorporální pulmonální resuscitace, či její obdoba v podobě extrakorporální podpory života pro pacienty bez zástavy oběhu, je uvedena v doporučených postupech Evropské resuscitační rady jako možná součást léčby hypo a hyperkalémie, hypotermie, anafylaxe, plicní embolie, syndromu akutní dechové tísně, sepse a dalších. Díky rozvoji a dostupnosti akutního napojení na ECMO přístroje dochází v doporučených postupech k zařazení některých dalších stavů mezi reversibilní. V práci se úspěšně podařilo základní poznatky o přístrojích ECMO sumarizovat.

Systematické přehledy porovnávající extrakorporální kardiopulmonální resuscitaci vůči konvenční kardiopulmonální resuscitaci u mimonemocničních zástav nejsou doposud publikované, v bakalářské práci zmíněné studie však popisují nepatrné zlepšení míry přežití a snížení výstupní neurologické ztráty za využití mimotělních metod využívajících přístroje extrakorporální membránové oxygenace.

Studie ukazující na nadřazenost extrakorporální resuscitace (například studie ARREST) často zahrnují jen pacienty s defibrilovatelným rytmem a okamžik randomizace u nich nastává až po příjezdu do nemocnice, často až po 50 minutách resuscitace. Studie zahrnující pacienty plošně s randomizací již v terénu (například studie docenta Bělohávka 2022) ovšem tuto superioritu neprokázaly.

Přepokládané pozitivní efekty využívání metod ECPR jsou snížení rizika reperfúzního poškození mozku a snížení deteriorace vlivem sekundárního mozkového poškození. Na rozdíl od konvenčních metod resuscitace zatím nedošlo k nalezení prognostických markerů u pacientů po náhlé zástavě oběhu resuscitovaných extrakorporálně. Nicméně efekty extrakorporální kardiopulmonální resuscitace prozatím nebyly plně prozkoumané a stále je potřeba dalších, větších a randomizovaných studií.

Hlavní kritérium pro rozhodování o napojení na ECMO ovšem vždy tvoří možnost akutního napojení na přístroj ECMO v požadovaném časovém intervalu za kontinuální resuscitace. Předpokladem je dokonalá spolupráce systémů přednemocniční a nemocniční péče. Podmínkou je i dosti náročné materiální a personální vybavení těchto poskytovatelů. Objektivní hodnocení extrakorporálních metod značně komplikuje i skutečnost, že výsledek je velmi ovlivněn nejen kvalitou resuscitační péče před napojením, ale také samotnou dobou od kolapsu do převedení na přístroj ECMO.

Jako univerzální doporučení se jeví používat extrakorporální metodu jako metodu záchrannou u vybrané skupiny pacientů, pokud konvenční metody selhávají. Faktory tohoto

výběru jsou zatím velmi individuální dle jednotlivých poskytovatelů a jejich relevantnost není objektivně dokázána cestou průkazných studií. I přes nejednotnost těchto kritérií se některá kritéria, jako: spatřená zástava s probíhající laickou resuscitací, možnost napojení na přístroj ECMO do 60 minut od kolapsu, nepřekročení vrchní věkové hranice, limitace závažných komorbidit a předpoklad reverzibilitnosti příčiny zástavy, napříč poskytovateli opakují. Jako univerzální kritérium pro jednoznačný transport do centra schopného extrakorporální resuscitace se jeví náhlá zástava oběhu se závažnou hypotermií, případně podchlazení pacienti s rizikovými faktory pro náhlou zástavu oběhu. Práce úspěšně vymezuje indikované situace pro napojení na přístroj ECMO a naznačuje potřebný rozhodovací proces.

Velmi vysoká úroveň mortality zástav oběhu refrakterních na konvenční kardiopulmonální resuscitaci značně napomáhá tvrzením o prospěšnosti extrakorporálních metod. Proto se využití přístrojů umožňujících extrakorporální membránovou oxygenaci považuje, navzdory nízké průkaznosti studií a nedostatku randomizovaných kontrolovaných studií, za smysluplné. Využití ECMO přístrojů pro potřeby resuscitace není dosud podloženo dostatečnými důkazy, a proto je pro jejich využití v praxi jen slabé doporučení.

## Referenční seznam

BAILEY, Lauren et al. 2020. ECMO COMES TO THE FIELD: Albuquerque becomes the first to bring the capability to prehospital patients. *EMS World* [online]. **49**(2), 20–24 [cit. 2022-02-15]. ISSN 2158-3078. Dostupné z: <https://www.hmpgloballearningnetwork.com/site/emsworld/article/1223660/ecmo-comes-field>

BANFI, Carlo et al. 2016. Venovenous extracorporeal membrane oxygenation: cannulation techniques. *Journal of thoracic disease* [online]. **8**(12), 3762–3773 [cit. 2022-01-22]. ISSN 2072-1439. Dostupné z: <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.12.88>

BARTLETT, Robert. 2005. Extracorporeal life support: history and new directions. *ASAIO Journal* [online]. **5**(51), 487–489 [cit. 2022-03-10]. ISSN 1538-943X. Dostupné z: [doi:10.1097/01.mat.0000179141.08834.cb](https://doi.org/10.1097/01.mat.0000179141.08834.cb)

BĚLOHLÁVEK, Jan et al. 2022. Effect of Intra-arrest Transport, Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation, and Immediate Invasive Assessment and Treatment on Functional Neurologic Outcome in Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Randomized Clinical Trial. *JAMA* [online]. **8**(327), 737–747 [cit. 2022-04-15]. ISSN 1538-3598. Dostupné z: [doi:10.1001/jama.2022.1025](https://doi.org/10.1001/jama.2022.1025)

BOETTCHER, Wolfgang et al. 2003. History of Extracorporeal Circulation: The conceptual and developmental period. *The Journal of Extra-corporeal Technology* [online]. **35**(3), 172–183 [cit. 2022-02-08]. ISSN 221058. Dostupné z: <https://mol.medicalonline.jp/en/archive/search?jo=cz4jsect&ye=2003&vo=30&issue=2>

BOUDOULAS, Konstantinos et al. 2020. Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation (ECPR) for Out-of-Hospital Cardiac Arrest due to Pulseless Ventricular Tachycardia/Fibrillation. *Journal of interventional cardiology* [online]. [cit. 2022-01-15]. ISSN 0896-4327. Dostupné z: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=32733171&lang=cs&site=ehost-live>

BROGAN, Gregory. 2021. The History of ECMO. INTENSIVE [online]. [cit. 2022-02-22]. Dostupné z: <https://intensiveblog.com/the-history-of-ecmo/>

GRÄSNER, Jan-Thorsten et al. 2021. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Epidemiology of cardiac arrest in Europe. Resuscitation [online]. (161), 61–79 [cit. 2022-03-08]. ISSN 0300-9572. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.007>

HOLMBERG, Mathias et al. 2018. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: A systematic review. Resuscitation [online]. 131, 91–100 [cit. 2021-11-22]. ISSN 0300-9572. Dostupné z: [doi:10.1016/j.resuscitation.2018.07.029](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.07.029)

INOUE, Akihiko et al. 2020. Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation for Out-of-Hospital Cardiac Arrest in Adult Patients. Heart Assoc [online]. 9(7) [cit. 2022-01-10]. ISSN 2047–9980. Dostupné z: [doi:10.1161/JAHA.119.015291](https://doi.org/10.1161/JAHA.119.015291)

LAMHAUT, Lionel et al. 2017. Pre-Hospital Extracorporeal Cardio Pulmonary Resuscitation (ECPR) strategy for treatment of refractory out hospital cardiac arrest: An observational study and propensity analysis. Resuscitation [online]. 117(8), 109–117 [cit. 2022-03-14]. ISSN 0300-9572 Dostupné z: [doi:10.1016/j.resuscitation.2017.04.014](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2017.04.014)

LOTT, Carsten et al. 2021. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Cardiac arrest in special circumstances. Resuscitation [online]. 161, 152–219 [cit. 2021-11-22]. ISSN 0300–9572. Dostupné z: [doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.011](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.011)

NOLAN, Jerry et al. 2021. European Resuscitation Council and European Society of Intensive Care Medicine guidelines 2021: post-resuscitation care. Intensive care medicine [online]. 47(4), 369–421 [cit. 2022-04-22]. ISSN 1432-1238. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00134-021-06368-4>

OŠŤÁDAL, Petr et al. 2018. ECMO: extrakorporální membránová oxygenace: manuál pro použití u dospělých. 2. aktualizované vydání. Praha: Maxdorf. Jessenius. 14–76. ISBN 978-80-7345-591-0

RICHARDSON, Alexander et al. 2021. Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Adults. Interim Guideline Consensus Statement From the Extracorporeal Life Support Organization. *ASAIO Journal* [online]. 67(3), 221–228 [cit. 2021-10-26]. ISSN 1538-943X. Dostupné z: [doi:10.1097/MAT.0000000000001344](https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001344)

SATO, Ryota et al. 2018. Impact of rapid response car system on ECMO in out-of-hospital cardiac arrest: A retrospective cohort study. *The American Journal of Emergency Medicine* [online]. 36(3), 442–445 [cit. 2022-03-22]. ISSN 0735-6757. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2017.08.055>

SINGER, Ben et al. 2018. Pre-hospital extra-corporeal cardiopulmonary resuscitation. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine* [online]. 26(1) [cit. 2022-02-08]. ISSN 1747–7241. Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s13049-018-0489-y>

SOAR, Jasmeet et al. 2021. European Resuscitation Council Guidelines 2021: Adult advanced life support. *Resuscitation* [online]. 161, 115–151 [cit. 2021-11-22]. ISSN 0300-9572. Dostupné z: [doi:10.1016/j.resuscitation.2021.02.010](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.010)

SWOL, Justyna et al. 2022. Extracorporeal Life Support in Accidental Hypothermia with Cardiac Arrest—A Narrative Review. *ASAIO Journal* [online]. 2, (68), 153–162 [cit. 2022-04-10]. ISSN 1538-943X Dostupné z: [doi:10.1097/MAT.0000000000001518](https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001518)

TANIMOTO, Atsunori et al. 2020. Out-of-hospital cardiac arrest patients with an initial non-shockable rhythm could be candidates for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation: a retrospective study. *Scandinavian journal of trauma, resuscitation and emergency medicine* [online]. 28(1) [cit. 2022-01-08]. ISSN 1747–7241 Dostupné z: <https://doi.org/10.1186/s13049-020-00800-2>

VUYLSTEKE, Alain et al. 2017. The ECMO circuit. In *ECMO in the Adult Patient, Core Critical Care*. Cambridge University Press. 25–57. ISBN 9781107681248



## Seznam zkratek

ALS	Rozšířená neodkladná resuscitace
CCPR	Konvenční kardiopulmonální resuscitace
ECMO	Extrakorporální membránová oxygenace
ECPR	Extrakorporální kardiopulmonální resuscitace
PEA	Bezpulzová elektrická aktivita
PECMO	Přednemocniční extrakorporální membránová oxygenace
pVT	Bezpulzová komorová tachykardie
ROSC	Návrat spontánní cirkulace
VF	Fibrilace komor

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma přístroje ECMO .....	12
Obrázek 2: ECPR a poškození mozku.....	14
Obrázek 3: Komplikace spojené s využitím přístroje ECMO .....	18
Obrázek 4: Oblouk aorty .....	20
Obrázek 5: Přístroj ECMO .....	34

## Referenční seznam obrázků

Obrázek 6: Schéma přístroje ECMO. 2018.

Dostupné z: <https://nasregion.cz/wp-content/uploads/2018/11/VV-ECMO-Fem-Jug1.jpg>

Obrázek 7: ECPR a poškození mozku. 2020.

Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7428656/figure/jah34953-fig-0002/>

Obrázek 8: Komplikace spojené s využitím přístroje ECMO. 2020.

Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7428656/figure/jah34953-fig-0003/>

Obrázek 9: Oblouk aorty. 2009.

Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray506.svg#/media/File:Gray506\\_cs.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray506.svg#/media/File:Gray506_cs.svg)

Obrázek 10: Přístroj ECMO. 2020.

Dostupné z: [https://www.lung.org/optimize/getmedia/e2c08a23-dc36-4d69-b8c4-d44560f05f02/ecmo\\_m.jpg](https://www.lung.org/optimize/getmedia/e2c08a23-dc36-4d69-b8c4-d44560f05f02/ecmo_m.jpg)

## **Seznam grafů**

Graf 1: Předpokládaný vliv selekce a protokolu na pokles mortality.....	26
Graf 2: Dosažené hodnoty kontrolních skupin .....	30