

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

Roman Pavelka

Extrakorporální kardiopulmonální resuscitace

Bakalářská práce

Vedoucí práce: PhDr. Ing. Petr Matouch, Ph.D.

Olomouc 2024

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

Olomouc, 6. května 2024

Roman Pavelka

Rád bych poděkoval PhDr. Ing. Petru Matouchovi, Ph.D. za ochotu a věcné připomínky při vedení této bakalářské práce a dále bych rád poděkoval rodině za poskytnutou oporu v průběhu mého celého studia.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Extrakorporální kardiopulmonální resuscitace

Název práce: Extrakorporální kardiopulmonální resuscitace u mimonemocniční zástavy oběhu

Název práce v AJ: Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Out of Hospital Cardiac Arrest

Datum zadání: 2023-11-12

Datum odevzdání: 2024-05-06

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav zdravotnického záchranářství a intenzivní péče

Autor práce: Roman Pavelka, DiS.

Vedoucí práce: PhDr. Ing. Petr Matouch, Ph.D.

Oponent práce: Mgr. Olga Nádvorníková

Abstrakt v ČJ: Přehledová bakalářská práce se zaměřuje na metodu extrakorporální kardiopulmonální resuscitace u pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu nereagující na konvenční metody neodkladné resuscitace. V práci jsou popsány základní principy extrakorporální membránové oxygenace a jejich využitelnost během neodkladné resuscitace metodou ECPR, které je v poslední době věnována velká pozornost a její užití roste po celém světě. Pro potřeby práce byl stanoven hlavní cíl specifikovaný do dvou dílčích cílů: Sumarizovat aktuálně dohledané poznatky o využitelnosti této metody v podmínkách přednemocniční a nemocniční neodkladné péče a posoudit ji ve vztahu k neurologickému outcome a ve druhém dílčím cíli sumarizovat poznatky o faktorech ovlivňujících aplikovatelnost této metody v podmínkách přednemocniční neodkladné péče. Jednotlivé dílčí cíle byly rozpracovány do podkapitol a poznatky vycházejí z dohledaných studií za období posledních 10 let. Jako vyhledávací nástroje byly použity databáze: MEDLINE, PubMed, CINAHL Plus, ProQuest, Google Scholar.

Abstrakt v AJ: This bachelor thesis focuses on the method of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation of patients with out-of-hospital cardiac arrest unresponsive to conventional methods of emergency resuscitation. The paper describes the basic principles of extracorporeal membrane oxygenation and their applicability during immediate resuscitation by ECPR, which has recently received much attention and its use is increasing worldwide. For the purpose of this thesis, the main objective was specified into two sub-objectives: to summarize the currently observed knowledge on the applicability of this method in pre-hospital and hospital emergency care settings and to assess it in relation to neurological outcome and in the second sub-objective to summarize the knowledge on the factors influencing the applicability of this method in pre-hospital emergency care settings. The individual sub-objectives have been developed into sub-sections and the findings are based on retrieved studies over the last 10 years. Databases were used as search tools: MEDLINE, PubMed, CINAHL Plus, ProQuest, Google Scholar.

Klíčová slova v ČJ: *ECPR; mimonemocniční zástava oběhu; přednemocniční neodkladná péče; ECMO, záchranná služba*

Klíčová slova v AJ: *ECPR; Out of hospital cardiac arrest; prehospital emergency care; ECMO; Emergency medical services*

Rozsah: *40 stran/0 příloh*

OBSAH

ÚVOD	7
1 POPIS REŠERŠNÍ ČINNOSTI.....	9
2 PŘEHLED PUBLIKOVANÝCH POZNATKŮ	12
2.1 Výsledky ECPR v přednemocniční a nemocniční neodkladné péči ve vztahu k neurologickému outcome	17
2.2 Faktory ovlivňující použitelnost ECPR v přednemocniční neodkladné péči.....	22
2.3 Význam a limitace dohledaných poznatků.....	28
ZÁVĚR.....	30
REFERENČNÍ SEZNAM.....	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	38
SEZNAM OBRÁZKŮ	39
SEZNAM TABULEK.....	40

ÚVOD

I přes významná zlepšení v oblasti resuscitace zůstává celkové přežití po mimo nemocniční srdeční zástavě (*Out of Hospital Cardiac Arrest, OHCA*) nízké a mnoho přeživších má trvalé neurologické poškození. Refrakterní OHCA je definovaná jako neschopnost dosáhnout návratu spontánní cirkulace (*Return of Spontaneous Circulation, ROSC*) navzdory konvenční kardiopulmonální resuscitaci (CCPR), je spojena se špatnou prognózou. Ve skutečnosti po deseti minutách konvenční KPR šance na přežití začnou rychle klesat a po 35 minutách méně než 1 % pacientů dosáhne ROSC a přežije s příznivým neurologickým výsledkem (Kumar et al., 2021).

Problematicke extrakorporální kardiopulmonální resuscitace (ECPR) je v posledních letech věnována velká pozornost, její používání roste po celém světě, včetně České republiky. Jedná se o záchranný postup, při kterém je urgentně zahájena mimotělní membránová oxygenace (ECMO) u pacientů, kteří měli srdeční zástavu a u kterých konvenční kardiopulmonální resuscitace (KPR) selhala. ECPR je týmová práce, vyžadující multidisciplinární spolupráci a je nutné mít vysoce kvalifikované zdravotnické pracovníky a odpovídající zázemí. Tato dokonalá koordinace podmíněná efektivní komunikací mezi členy týmu a jednotlivými články záchranného řetězce hraje zásadní roli ve výsledku ECPR pacientů. Současně s vzestupem této metody, nabývají na významu otázky etické, právní a finanční, které je třeba zvážit před zahájením ECPR.

Cílem mé přehledové bakalářské práce bylo sumarizovat aktuální dohledatelné publikovatelné poznatky o metodě ECPR, a to konkrétně u pacientů identifikovaných v přednemocniční neodkladné péči. Cíle bakalářské práce byly dále specifikovány ve dvou dílčích cílech:

- 1) Sumarizovat aktuálně dohledané poznatky o využitelnosti této metody v podmínkách přednemocniční a nemocniční neodkladné péče a posoudit ji ve vztahu k neurologickému outcome.
- 2) Sumarizovat aktuálně dohledané poznatky o faktorech ovlivňujících aplikovatelnost této metody v podmínkách přednemocniční neodkladné péče.

Vstupní literatura:

Belohlavek, J., Smalcova, J., Rob, D., Franek, O., Smid, O., Pokorna, M., Horak, J., Mrazek, V., Kovarnik, T., Zemanek, D., Kral, A., Havranek, S., Kavalkova, P., Kompelentova, L., Tomkova, H., Mejstrik, A., Valasek, J., Peran, D., Pekara, J., 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. *JAMA*, 327(8), 737-747. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.1025>

Holmberg, M. J., Granfeldt, A., Guerguerian, A. -M., Sandroni, C., Hsu, C. H., Gardner, R. M., Lind, P. C., Eggertsen, M. A., Johannsen, C. M., & Andersen, L. W. (2023). Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: An updated systematic review. *Resuscitation*, 182, 109665. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2022.12.003>

Richardson, A. (S.) C., Tonna, J. E., Nanjayya, V., Nixon, P., Abrams, D. C., Raman, L., Bernard, S., Finney, S. J., Grunau, B., Youngquist, S. T., McKellar, S. H., Shinar, Z., Bartos, J. A., Becker, L. B., Yannopoulos, D., Belohlavek, J., Lamhaut, L., & Pellegrino, V. (2021). Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Adults. Interim Guideline Consensus Statement From the Extracorporeal Life Support Organization. *ASAIO Journal*, 67(3), 221-228. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001344>

1 POPIS REŠERŠNÍ ČINNOSTI

Vyhledávací kritéria

Klíčová slova v českém jazyce: ECPR; mimonemocniční zástava oběhu; přednemocniční neodkladná péče; ECMO, záchranná služba

Klíčová slova v anglickém jazyce: ECPR, Out of hospital cardiac arrest, prehospital emergency care; ECMO, Emergency medical services

Jazyk: angličtina, čeština

Období: 2014–2024

Další kritéria: recenzovaná periodika, plné texty



Databáze

MEDLINE, PubMed, CINAHL Plus, ProQuest, Google Scholar



Nalezeno

37 + 164 + 24 + 364 + 178



Vyřazující kritéria

Duplicitní články, kvalifikační práce, články nesplňující kritéria, články neodpovídající tématu



Sumarizace využitých databází a dohledaných dokumentů

CINAHL plus with full text – 13

MEDLINE – 15

ProQuest– 102

PudMed – 93

Google Scholar - 68



SUMARIZACE DOHLEDANÝCH PERIODIK A DOKUMENTŮ

The New England journal of medicine – 1 článek

Resuscitation – 4 články

Circulation journal – 1 článek

Scientific reports – 1 článek

Critical Care and Resuscitation – 1 článek

Lancet – 2 články

JAMA – 2 články

Resuscitation Plus – 1 článek

European Heart Journal – 1 článek

Critical Care Medicine – 1 článek

Celkem použito 15 článků.

Vyhledávání odborných strukturovaných plnotextů probíhalo od prosince 2023 do ledna 2024. Bylo vyhledáno celkem 291 zahraničních článků, český článek byl relevantní nalezen jeden. Získané informace byly důkladně prostudovány a vyhodnoceny, zda splňují účel pro přehledovou studii. Na základě prostudování abstraktu a klíčových slov recenzovaných článků byly vyřazeny duplicitní záznamy a ty články, které nesouvisely s danou problematikou. Získaná data byla roztríděna podle požadavků přehledové bakalářské práce a uspořádána do kapitol dle cílů práce. Zahraniční publikace byly vyhledávány v databázích a knihovnách MEDLINE Complete, CINAHL Plus with full text, PubMed, ProQuest a Google Scholar. Pro další filtrování byla stanovena kritéria na studie publikované za požadované období, tedy roky 2014-2024, zúžení na plný text a výchozím jazykem práce by měla být angličtina, nebo čeština. Ve všech databázích byla použita stejná klíčová slova a bylo nalezeno 291 článků v plném znění.

V databázi **MEDLINE Complete** byly po zadání klíčových slov nalezeno 15 plnotextů z nichž 1 byl vyloučen a do přehledové práce byl použit 1 plnotext.

Další zahraniční databáze, která byla využita pro účely této bakalářské práce byla **CINAHL Plus with full text**. Zadána byla totožná klíčová slova jako v předchozí databázi. Celkový počet nalezených studií čítal 13 plnotextů z nichž bylo vyloučeno 11 a pro účely přehledové práce byly použity 2 články.

V zahraniční databázi **PubMed** byly nalezeny 93 plnotextů se stejnými klíčovými slovy a tři plnotexty byly použity.

V databázi **Google Scholar** bylo nalezeno 68 plnotextů se stejnými klíčovými slovy a dva byly použity.

Posledním elektronickým zahraničním zdrojem byl **ProQuest**, kde bylo nalezeno po zadání totožných klíčových slov 102 článků, pro účely přehledové práce bylo použito 7 článků.

Rešeršní strategií předkládané přehledové práce bylo dohledáno 15 anglických plnotextů. Následně byla provedena jejich důkladná analýza a poté jejich rozřídění dle výzkumných otázek do jednotlivých kapitol a podkapitol bakalářské práce. Všechny uvedené zdroje lze nalézt v bibliografii na konci bakalářské práce.

2 PŘEHLED PUBLIKOVANÝCH POZNATKŮ

ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) nebo ECLS (Extracorporeal Life Support) se v literatuře používají jako synonyma. První záznam o úspěšném použití přístroje pro mimotělní oběh byl během kardiokirurgické operace v roce 1954, zpráva o použití ECMO v souvislosti s respiračním selháním byla zaznamenána v roce 1972. První multicentrická a randomizovaná studie která hodnotila použití ECMO v souvislosti s respiračním selháním, byla publikována o 7 let později v roce 1979. Od prvních popisů ECMO v roce 1972 bylo ECMO použito u téměř 70 000 pacientů a jeho indikace k použití u dospělých vzrostla od roku 2006 do roku 2011 ve Spojených státech o více než 400 % (Chaves et al., 2019). Použití ECMO u dospělých se rozšířilo v důsledku několika faktorů:

System extrakorporální membránová oxygenace (ECMO) představuje mimotělní krevní oběh s vřazeným externím oxygenátorem, poháněným krevní pumpou. Tato technologie umožňuje v případě nutnosti i kompletní náhradu krevního oběhu pacienta, tj. náhradu funkce plic a srdce. System ECMO napomáhá k hemodynamické stabilizaci pacienta, zlepšuje orgánovou perfúzi u kriticky kardiálně selhávajících nemocných; přispívá k překlenutí doby do uzdravení myokardu nebo do provedení další život zachraňujících intervencí a odstranění reverzibilních příčin (Genzor et al., 2022).

Princip fungování ECMO v obecné rovině lze popsat následovně: U pacienta dojde k odstranění krve ze žilního systému, která je následně okysličeána, dekarboxylována a vrácena do těla buď žílou nebo tepnou, v závislosti na indikaci. Podle kanylace jsou používány dva hlavní provozní režimy ECMO: Venovenózní (V-V) režim pro plicní selhání, zde se u VV-ECMO drenážní kanyla obvykle zavádí do pravé stehenní žíly a zpětná kanyla do pravé vnitřní jugulární žíly a venoarteriální (V-A) režim pro oběhové selhání nebo ECPR. Zde je možné rozlišit a klasifikovat VA-ECMO jako centrální nebo periferní podle kanylovaných cév. V centrální konfiguraci lze zavést drenážní kanylu přímo do pravé síně a zpětnou kanylu do vzestupného segmentu aorty. V periferní konfiguraci lze krev odvádět přes femorální nebo jugulární žíly a vrací se zpět do pacienta přes krční, axilární nebo stehenní tepnu (Bernhardt et al., 2022).

Mimotělní membránový okysličovací okruh se skládá z krevní pumpy, oxygenátoru, drenážní a zpětné kanyly, průtokových a tlakových senzorů, výměníku tepla pro chlazení nebo ohřev krve a arteriálních a venózních přístupových bodů pro odběr krve v okruhu (Squiers, et al., 2016).

VV-ECMO se přednostně používá u pacientů se zachovanou nebo středně sníženou srdeční funkcí, přičemž je modalitou volby u pacientů s hypoxemickým respiračním selháním a hyperkapnickým respiračním selháním. Konfigurace VA-ECMO je indikována pro pacienty se srdečním selháním, u kterých může nebo nemusí být nutná plicní podpora (Kulkarni et al., 2016).

Byl stanoven konsenzus, že neexistuje žádná absolutní kontraindikace pro použití ECMO, ale jsou hodnocena obecná rizika jako taková a současně aby přínos podpory ECMO byl individualizován pro každého pacienta. Existují však situace, kdy je přínos ECMO pochybný a je tak považováno za kontraindikované. Mezi hlavní kontraindikace patří nekontrolované aktivní krvácení, nevyléčitelná rakovina, transplantace solidních orgánů nebo imunosuprese, ireverzibilní dysfunkce centrálního nervového systému a ireverzibilní nebo terminální srdeční nebo respirační selhání u pacientů, kteří nejsou kandidáty na transplantaci (MacLaren, et al., 2012).

Nelze opomenout ani komplikace spojené s užitím ECMO. Retrospektivní analýza 265 dospělých pacientů s ARDS ukázala, že 31 % pacientů vyžadovalo alespoň jednu výměnu ECMO systému kvůli technickým problémům (zhoršení výměny plynů, poruchy koagulace vyvolané přístrojem a podezření na infekci v okruhu ECMO) (Lubnow et al., 2014). Hlavní komplikace hlášené během ECMO patří selhání okysličovací membrány, prasknutí okruhu, koagulace systému, intrakraniální krvácení, akutní poškození ledvin a infekce (Squiers, et al., 2016).

Ukončení podpory ECMO je podmíněno zlepšením orgánových dysfunkcí a vyřešením indikace podpory ECMO. Odvykání od VV-ECMO v důsledku akutního, respiračního selhání lze zahájit, když je pacient schopen uspokojivě udržovat výměnu plynů s přijatelnými parametry mechanické ventilace (Peek et al., 2006). Odvykání od VA-ECMO závisí na zlepšení srdeční funkce. K prediktorům, které indikují obnovení srdeční funkce, patří udržení kontinuálního tepenného pulzního tlaku po dobu alespoň 24 hodin, echokardiografie s průkazem obnovy systolické funkce (ejekční frakce levé komory $\geq 20\%$) a adekvátní arteriální oxygenace (ELSO, 2013).

Komplikace během léčby pacientů na ECMO jsou hodnoceny jako časté a vyškolený multidisciplinární tým je zásadní pro správnou léčbu pacientů na ECMO, včetně prevence, včasného rozpoznání a adekvátní léčby těchto komplikací, jsou-li přítomny.

Jak bylo uvedeno výše mezi hlavní komplikace patří selhání oxygenační membrány, ruptura okruhu, koagulace systému, selhání ledvin nebo známky detekovat včasné infekce. Kromě toho by se multidisciplinární tým měl v ideálním případě podílet na titraci vazoaktivních léků,

protokolech sedace a analgezie, úpravě antikoagulace podle konkrétních cílů, sběru laboratorních testů, mobilizaci pacienta a prevenci dekubitů, kromě poskytování psychosociální podpory příbuzní pacienta na ECMO. Je nezbytné, aby lékaři, sestry, fyzioterapeuti a další členové multidisciplinárního týmu byli s tímto typem podpory obeznámeni, protože klinické výsledky pacientů na mimotělní membránové oxygenaci přímo souvisí se zkušenostmi centra s managementem těchto pacientů (Allen et al., 2011).

ECPR

Mimonemocniční zástava oběhu postihuje přes 350 000 obyvatel/rok v USA a více jak 275 000 osob/rok v Evropě a je spojená s vysokou mortalitou a morbiditou, kdy přežití do doby propuštění z nemocnice dosahuje přibližně 10 % pacientů (Holmberg et al., 2023).

Pokud nedojde k návratu spontánního oběhu (ROSC) po srdeční zástavě i přes adekvátní konvenční kardiopulmonální resuscitaci (CCPR), šance na zotavení je velmi malá. V průběhu času byly zkoušeny různé farmakologické a mechanické metody ke zlepšení přežití. Jednou z metod je zahájení venoarteriální mimotělní membránové oxygenace (VA-ECMO) u s refrakterní srdeční zástavou. Zahájení VA-ECMO u pacientů, u kterých nebylo dosaženo ROSC konvenční kardiopulmonální resuscitací, se nazývá mimotělní kardiopulmonální resuscitace (ECPR).

Cílem ECPR je poskytnout adekvátní perfuzi životně důležitým orgánům, do doby, než budou vyřešeny potenciálně „reverzibilní“ stavy. Konvenční CPR může zajistit pouze 25 až 30 % běžného srdečního výdeje, oproti tomu pomocí ECPR lze dosáhnout adekvátní perfuze životně důležitých orgánů, včetně perfuze mozku, a lze tak zkrátit dobu nízkého trvání průtoku (Belohlavek et al., 2012). V současné době nejsou dostupné žádné publikované randomizované kontrolované studie porovnávající výsledky ECPR a konvenční CCPR. Observační studie porovnávající ECPR s historickými kontrolami a kontrolami s odpovídajícími případy prokázaly příznivé výsledky pro ECPR. Tyto studie jsou však heterogenní a přežití se pohybuje od 15 % do 50 %. Mezi dospělými pacienty ECPR zaznamenanými v mezinárodním souboru dat ELSO (Extracorporeal Life Support Organisation) je přežití do propuštění z nemocnice 29 % (Richardson et al., 2017). V současné době není známo, jaká jsou přesná data týkající se neurologického deficitu při používání ECPR. Hlavním úkolem do budoucna bude vývoj lepších neuroprognostických nástrojů. V současných observačních studiích u vybraných populací po srdeční zástavě léčených ECPR mělo neurologické výsledky spadající do příznivých kategorií neurologické výkonnosti (cerebrální výkonnostní kategorie (CPC1 – CPC2) >85 % pacientů

(Yannopoulos et al., 2017). Budoucí studie zahrnující ECPR by se měly snažit hlásit neurologické výsledky i mortalitu, která s prodlužující se dobou od vzniku srdeční zástavy roste (Amacher et al., 2022). Úspěch ECPR závisí na době jejího zahájení od zástavy srdce, správném vybavení, personálu a multioborové spolupráci. V ideálním případě by celý tým měl být v nemocnici k dispozici 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Pokud to není možné, měl by existovat protokol, aby se tým ECPR dostal k lůžku co nejdříve. ECPR se tak obvykle omezuje na kardiocentra velkých nemocnic s odpovídajícím zařízením (Duff. Et al., 2019).

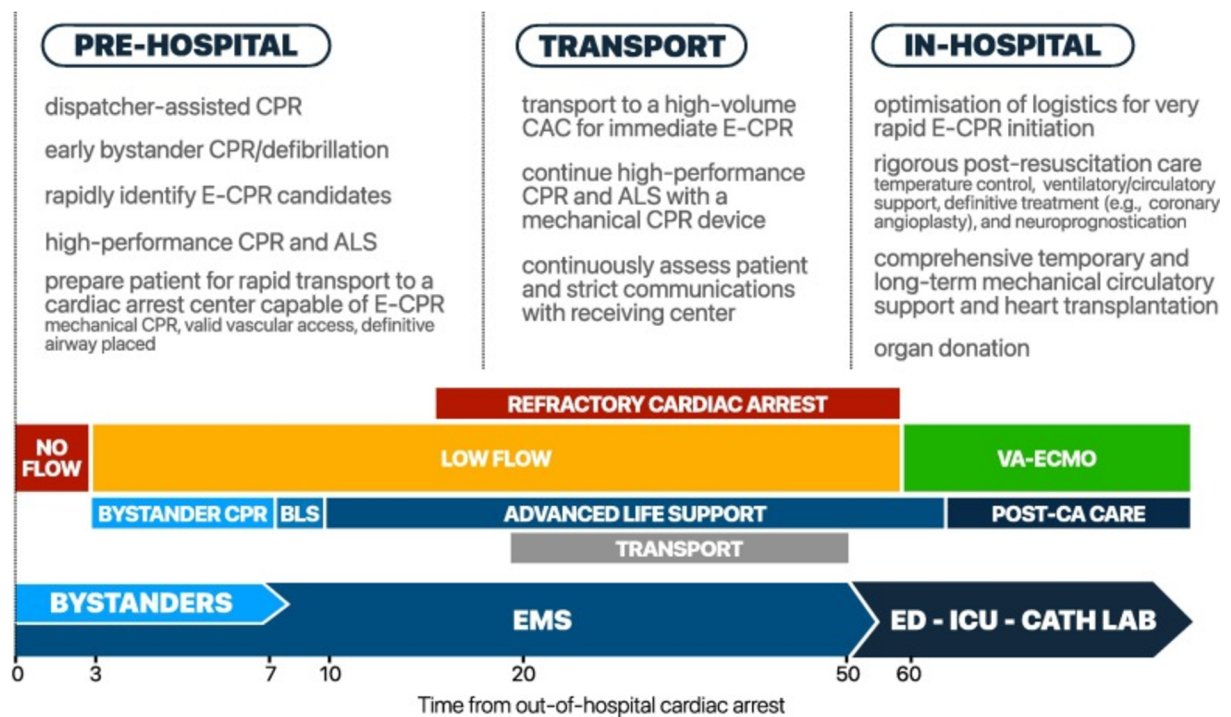
Identifikace vhodných kandidátů pro ECPR je složitá, národní doporučení se liší (Pollack et al., 2023). V minulosti byly diskutovány mnohé faktory včetně kolapsu před svědky, zahájení neodkladné resuscitace přihlížejícími, vstupního srdečního rytmu zachyceného při první analýze, celkového zdravotního stavu a biologického věku (Richardson et al., 2021). V současné době stále panují nejasnosti ohledně jasných kritérií pro zařazení a vyloučení pacientů k provedení ECPR. Rozhodování o indikaci je většinou hodnoceno časově kritické a závisí na neúplných informacích. Jako takové může se může zdát rozumné zahájit ECPR jako prostředek k hledání dalších informací o vhodnosti pokračující léčby.

Většina komplikací po ECPR je společná pro rutinní ECMO, i když výskyt těchto komplikací může být vyšší a lišit se od centra k centru. Cévní poranění během kanylace, aberantní umístění kanyly a neúspěšná kanylace (až 51,2 %) jsou u ECPR ve srovnání s rutinní ECMO výrazně vyšší (Kashiura et al., 2017). To lze přičíst časovému omezení a přístupu k cévám v souvislosti se zástavou oběhu. Nejčastější komplikací po zahájení ECPR je krvácení (8,2 % až 70 %) (Otani et al., 2018). Krvácení může být z místa zavedení kanyly, intrakraniální krvácení, krvácení ze střev, krvácení z nosu nebo alveolární krvácení. Incidence intracerebrálního krvácení nebo iktu se může pohybovat od 2,3 do 17,4 % (Lee et al., 2016). Ischémie dolních končetin se může objevit u 3 až 15,4 % pacientů s ECPR (Ha et al., 2017). Výskyt infekce byl u pacientů zaznamenán mezi 7,7 % - 21,7 % případů (Maekawa et al., 2013).

Většina indikací ECPR je podobná u pediatrické i dospělé populace. ECPR v pooperačním období po korektivní nebo paliativní operaci pro vrozenou srdeční vadu je nejčastější indikací ECPR v dětské věkové skupině. Výsledky po ECPR u dětských věkových skupin jsou lepší než u dospělé populace. Podle registru ELSO bylo přežití do propuštění v novorozenecké a dětské věkové skupině 42 % ve srovnání s 29 % u dospělé populace (ELSO, 2020).

Při interpretaci studií o ECPR je nezbytné mít na paměti, že ECPR je součástí souboru léčebných postupů, které začínají v přednemocničním prostředí, pokračují během transportu a jsou dokončeny v nemocnici (obr. 1). Tuto skutečnost je třeba vzít v úvahu při pokusu

zobecnit výsledky studií provedených v úspěšných programech ECPR na jiná města a rozlehlé oblasti. Ve skutečnosti je míra přežití u pacientů léčených ECPR velmi variabilní, pohybuje se v rozmezí 8 % až 40 % mezi jednotlivými studii (Hutin et al., 2023). Takovou vysokou variabilitu lze vysvětlit především rozdíly v dobách odezvy zdravotnické záchranné služby (Emergency Medical Services, EMS), kvalitě neodkladné resuscitace přihlížejících osob, včasné dostupnosti defibrilace, výběru pacientů, době podpory na VA-ECMO a poresuscitační péči.



Obrázek 1 Schematické znázornění ideální struktury a provedení úspěšného programu mimotělní kardiopulmonální resuscitace (E-CPR) pro refrakterní mimonemocniční srdeční zástavu. (Zdroj: Scquizzato et al., 2022)

Je nutné podotknout, že současné Guidelines k neodkladné resuscitaci vydané Evropskou resuscitační radou v roce 2021 považují ECPR za „rescue“ postup ve vybraných situacích, kdy konvenční metody selhávají, nebo postup může umožnit provedení specifických intervencí např. PCI, ohřívání pacienta při hypotermii, nebo provedení trombektomie při masivní plicní embolii (Perkins et al., 2021).

2.1 VÝSLEDKY ECPR V PŘEDNEMOCNIČNÍ A NEMOCNIČNÍ NEODKLADNÉ PÉČI VE VZTAHU K NEUROLOGICKÉMU OUTCOME

V posledním desetiletí zcela prokazatelně stoupá počet studií, jež svoji pozornost zaměřují na využití techniky ECMO jeho ovlivnění při různých onemocněních. Mnohé studie prokázaly jeho unikátní postavení, a to jak na lůžkovém odděleních, tak i v přednemocniční neodkladné péči.

Prvním dílčím cílem bylo sumarizovat aktuálně dohledané poznatky o využitelnosti této metody v podmínkách přednemocniční a nemocniční neodkladné péče a posoudit ji ve vztahu k neurologickému outcome. K vytyčenému cíli byly použity níže uvedené studie, nejčastěji prospektivního observačního charakteru.

Celkový počet pacientů zařazených k prvnímu cíli byl 1 707. Dohledané studie byly vydány v letech 2014–2024. Společným zájmem všech studií byli pacienti napojeni na ECMO, identifikováni v přednemocniční neodkladné péči, u kterých byla tato metoda zvolena z důvodu refrakterní náhlé zástavy oběhu mimo nemocnici z mnoha různých příčin.

První hodnocenou prací byla nizozemská multicentrická randomizovaná studie od autorů Suverein et al., (2023), která byla realizována u dospělých pacientů se spatřenou mimonemocniční zástavou oběhu a vstupním defibrilovatelným rytmem se vzájemnou participací kardiochirurgických center a záchranných služeb. Jako hlavní cíl studie bylo stanoveno přežití s příznivým neurologickým výsledkem hodnocené po 30 dnech. Jako dílčí cíl byly hodnoceny ostatní ukazatele úspěšnosti (např. doba trvání neodkladné resuscitace před obnovením oběhu, celková doba trvání neodkladné resuscitace, doba pobytu na jednotce intenzivní péče a délka hospitalizace, třicetidenní a šestiměsíční přežití, CPC skóre 6 měsíců po zástavě oběhu, důvod přerušování léčby a délka umělé plicní ventilace). Do studie bylo celkem zahrnuto 134 pacientů, kteří byli rozděleni do dvou skupin (skupina 1 = s mimotělní podporou oběhu, ECPR – 70 pacientů) vs. (skupina 2 = konvenční neodkladnou resuscitací – 64 pacientů). Nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi skupinami v oblasti, věku, dominantně byli ve studii zastoupeni muži (90 %), skupiny se nelišily ani v době příjezdu výjezdových skupin zdravotnické záchranné služby (8 ± 4 minuty), ani významně v průměrné době mezi zástavou oběhu a příjezdem pacienta na urgentní příjem, která byla 36 ± 12 minut ve skupině s mimotělní

neodkladnou resuscitací a 38 ± 11 minut ve skupině s konvenční neodkladnou resuscitací. Ke stabilní obnově spontánní cirkulace oběhu došlo u 18 pacientů (26 %) ve skupině ECPR a u 20 pacientů (31 %) ve skupině s konvenční neodkladnou resuscitací (bez statistické významnosti). Závěr této studie uvádí, že mimotělní ECPR a konvenční KPR má podobné účinky na přežití s příznivým neurologickým výsledkem po 30 dnech u pacientů s refrakterní mimonemocniční srdeční zástavou způsobenou počáteční ventrikulární arytmii (Suverein et al., 2023).

Další prospektivní studie, která byla realizována kolektivem japonských autorů pod vedením Sakamoto et al. (2014), vychází z hypotézy, že k dosažení příznivého neurologického výsledku u pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu při konvenční kardiopulmonální resuscitaci je velmi nízké. Do studie bylo zapojeno celkem 46 nemocničních zařízení rozdělených do 2 skupin (ECPR zařazeno 26 zdravotnických zařízení / a do skupiny konvenční neodkladné resuscitace 20 nemocnic). Výsledky studie analyzovaly rozdíly v neurologických výsledcích po 1 a 6 měsících od neodkladné resuscitace s mimonemocniční zástavou oběhu. Pacienti byli na základě vstupních a vylučovacích kritérií přiřazováni do skupin. Celkem ve sledovaném souboru bylo hodnoceno 353 pacientů (234 ve skupině ECPR vs. 159 ve skupině konvenční neodkladné resuscitace). Zajímavým zjištěním bylo, že příznivých neurologických výsledků (reprezentováno CPC 1 a CPC 2) bylo dosaženo jeden měsíc po neodkladné resuscitaci u 12,3 % pacientů ve skupině ECPR a 1,5 % ve skupině konvenční neodkladné resuscitace ($p < 0,0001$). V hodnocení šesti měsíců od zástavy oběhu splňovalo kritéria příznivého neurologického výsledku 11,2 % pacientů ve skupině ECPR a 2,6 % ve skupině konvenční neodkladné resuscitace ($p=0,001$). Výsledky provedené studie ukazují že podíl pacientů s příznivým neurologickým outcome je výrazně vyšší ve skupině ECPR, než ve skupině s konvenční resuscitací. Jako důvody příznivých výsledků autoři uvádějí skutečnost, že ECPR může sloužit k trvalé perfuzi mozku a rychlému obnovení metabolismu kyslíku. Současně ECPR dodává do mozku dostatečný objem okysličené krve. Výsledky dokazují, že u pacientů s mimonemocniční zástavou u kterých je přítomen defibrilovatelný rytmus na úvodním EKG je neurologický outcome spojen se zlepšeným neurologickým výsledkem za jeden a šest měsíců po infarktu (Sakamoto et al., 2014).

Třetí studie, která byla posouzena jako relevantní, byla prospektivní studie Nakashima et al. (2019), která hodnotila, zdali přítomnost vybraných arytmií (fibrilace komor/bezpulzová komorovou tachykardií (VF/pVT) nebo bezpulzová elektrická aktivita/asystolie (PEA/asystolie) mají větší prospěch z mimotělní kardiopulmonální resuscitace (ECPR).

Pacienti byli rozděleni do 4 skupin podle srdečního rytmu a skupiny KPR. Primárním cílovým parametrem byl příznivý neurologický výsledek, definovaný jako cerebrální výkonnostní kategorie (CPC) po 1 nebo 2 po 6 měsících. Celkem 407 pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu mělo na úvodním elektrokardiogramu refrakterní VF/pVT. Podíl pacientů s ECPR s příznivým neurologickým výsledkem byl významně vyšší ve skupině s setrvalou VF/pVT než ve skupině s konverzí na PEA/asystolii (20 %, 25/126 vs. 3 %, 4/122, $p < 0,001$). Stratifikací podle srdečního rytmu na základě logistické regresní analýzy strategie ECPR významně zvýšila podíl pacientů s příznivým neurologickým výsledkem po 6 měsících u pacientů s trvalou VF/pVT (OR, 7,35; 95% CI: 1,58–34,09), ale tyto souvislosti nebyly pozorovány u pacientů s konverzí na PEA/asystolie. Lze usuzovat, že pacienti s mimonemocniční zástavou oběhu se vstupně defibrilovatelným rytmem na EKG mají lepší a více příznivé neurologické výsledky a tito pacienti mohou být nejslibnějšími kandidáty ECPR (Nakashima et al, 2019).

Čtvrtá studie zahrnutá do přehledu patří kolektivu Shin et al. (2020), kdy autoři posuzovali zda by přijetí jejich kolektivem navržených kritérií pro ECPR u pacientů s refrakterní mimonemocniční zástavou oběhu mohlo být přínosné. Studie měla charakter PRE / POST designu. Kdy v PRE fázi byly hodnoceny konvenční způsoby KPR a v POST fázi inovativní metody ECPR. Celkem bylo zahrnuto 70 pacientů (40 s CCPR a 30 s ECPR). Při hodnocení neurologického stavu (pomocí CPC) bylo ve skupin ECPR signifikantně lepší neurologický outcome hodnocený 1 měsíc po přijetí (33,3 % vs. 5,0 % $p < 0,05$), obdobně tomu bylo i při hodnocení po 6 měsících (26,7% vs. 5%, $p < 0,05$). Detailní analýza jednotlivých pacientů dokazuje, že pacienti ve skupině ECPR měli kratší dobu nízké perfúze mozku, během neodkladné resuscitace dostali méně dávek adrenalinu, strávili delší dobu na ECMO a delší dobu v nemocnici ve srovnání s pacienty s horším neurologickým outcome. Výsledkem od autorů je i skutečnost, že specifická a lépe organizovaná kritéria pro zařazení pacientů do ECPR s mimonemocniční zástavou zvyšují její účinnost a tito pacienti dosahují lepších neurologických výsledků (Shin et al., 2020).

Retrospektivní studie Siao et al. (2015), která hodnotila v referenčním období dvou let pacienty se srdeční zástavou v důsledku fibrilace komor konstatuje, že srdeční zástava nereagující na konvenční neodkladnou resuscitaci má vysokou úmrtnost zejména v situacích, kdy doba resuscitace přesahuje 10 minut. Z hodnocených 60 pacientů byl porovnán klinický výsledek pacientů s fibrilací komor, kteří podstoupili buď konvenční KPR, včetně defibrilace, komprese hrudníku a resuscitační medikace (CCPR, $n = 40$), nebo KPR plus mimotělní KPR (ECPR,

n = 20). Retrospektivní analýzou bylo zjištěno, že celková míra přežití byla 35 % a 18,3 % pacientů bylo propuštěno s dobrou neurologickou funkcí. Průměrná doba trvání KPR byla delší ve skupině ECPR než ve skupině CCPR ($69,90 \pm 49,6$ min vs $34,3 \pm 17,7$ min, $p = 0,0001$). Pacienti zařazení do ECPR měli signifikantně vyšší míru trvalého návratu spontánního oběhu (95,0 % vs. 47,5 %, $p = 0,0009$) a dobrou neurologickou funkci při propuštění (40,0 % vs. 7,5 %, $p = 0,0067$). Míra přežití ve skupině ECPR byla vyšší (50 % vs. 27,5 %, $p = 0,1512$) při propuštění a (50 % vs. 20 %, $p = 0,0998$) po 1 roce po propuštění. Autoři sumarizují, že léčba refrakterní komorové fibrilace na oddělení urgentního příjmu zůstává obtížná, jak dokazuje celková míra přežití 35 % v této studii. Pacienti s refrakterní fibrilací komor, kteří podstoupili ECPR, měli tendenci k vyššímu přežití s významně lepšími neurologickými výsledky než pacienti, kteří by resuscitováni konvenční metodou (Siao et al., 2015). Srovnávací studie z Taiwanu potvrzuje vyšší míru přežití ve skupině ECPR 19,6 % ve srovnání 13 % ve skupině s konvenční neodkladnou resuscitací, ale poukazuje na podobný neurologický outcome (Chen et al., 2008). Studie z Japonska autorů Maekawa et al. (2013) pro srovnání uvádí celkové přežití 29,2 % ve skupině ECPR a 8,3 % ve skupině s konvenční resuscitací (Maekawa et al., 2013).

Další studií zahrnutou do přehledu, je australská retrospektivní studie Bernard et al. (2022), která analyzuje zdravotnické záznamy a porovnává výsledky pacientů s refrakterní mimonemocniční srdeční zástavou transportovaných do nemocnice, která je schopna zajistit mimotělní membránovou oxygenaci (ECMO) během kardiopulmonální resuscitace (ECPR) s pacienty transportovanými do nemocnic bez možnosti ECPR. Jako hlavní cíl bylo hodnoceno přežití do propuštění z nemocnice a 12-měsíční kvalita života po propuštění. Během období studie bylo 223 vhodných pacientů (49 pacientů transportovaných do ECMO centra vs. 174 pacientů do centra bez ECMO). Ze 49 pacientů transportovaných do ECPR centra bylo u 23 zahájeno ECMO. Z toho přežití v nemocnici s dobrou neurologickou rekonvalescencí (cerebrální výkonnostní kategorie (CPC – skóre 1 až 2) se vyskytlo u 4/23 pacientů. U čtyř dalších pacientů došlo k návratu spontánní cirkulace v centru ECPR před kanylací, z nichž jeden přežil, což dává celkově dobrý funkční výsledek při přežití 12 měsíců 5/49 (10,2 %). Do 15 non-ECPR center bylo transportováno 174 pacientů a 3/174 (2 %) mělo dobrý funkční výsledek po 12 měsících. Po úpravě o výchozí rozdíly byl poměr šancí pro dobrý neurologický výsledek po transportu do centra ECPR ve srovnání s centrem bez ECPR 4,63 (95% CI, 0,97-22,11; $p = 0,055$). Autoři shrnují, že míra přežití pacientů s refrakterní OHCA transportovaných do ECPR centra zůstává obecně velmi nízká (Bernard et al, 2022).

Americká randomizovaná studie Yannopoulos et al. (2020) porovnávala extrakorporální membránovou oxygenací (ECMO) oproti standardní léčbě konvenční KPR u pacientů s mimonemocniční zástavou na podkladě refrakterní fibrilace komor. Tato studie je také známá jako ARREST study. Primárním výsledkem bylo přežití do propuštění z nemocnice. Sekundárními výsledky bylo hodnoceno přežití a funkční hodnocení při propuštění z nemocnice a 3 měsíce a 6 měsíců po propuštění. Po vyloučení šesti pacientů bylo 30 náhodně přiděleno ke standardní léčbě konvenční resuscitací (n=15) nebo k časně resuscitaci usnadněné ECMO (n=15). Jeden pacient ve skupině resuscitace usnadněné ECMO odstoupil ze studie před propuštěním. Primární výsledek byl získán u 29 pacientů. Primární cílový ukazatel – přežití do propuštění z nemocnice byl pozorován u šesti ze 14 ECPR pacientů, ve srovnání s jedním pacientem z 15 v konvenční skupině. V rámci sekundárních výsledků bylo zjištěno, že kumulativní přežití bylo významně lepší při časně zavedené ECMO, než při standardní léčbě neodkladné resuscitace. Vzhledem k nepřítomnosti přeživších ve 3. a 6. měsíci ve skupině konvenční resuscitace nebylo možné statistické srovnání mezi skupinami. Ve skupině ECPR přežili ve třetím i šestém měsíci všichni pacienti propuštění z nemocnice. Studie ARREST je jednou z prvních ukazujících, že ECPR může zlepšit přežití ve srovnání se standardní konvenční neodkladnou resuscitací s mimonemocniční zástavou (Yannopoulos et al., 2020)

Poslední hodnocená studie do přehledu byla Pražská studie Belohlavek et al. (2022) se zabývala otázkou, do jaké míry využití maximálně invazivního postupu zahrnujícího transport do nemocnice za probíhající resuscitace, využití ECMO a invazivní vyšetření a případné ošetření zlepšuje výsledky léčby u nemocných s mimonemocniční oběhovou zástavou (OHCA), u níž se předpokládá kardiální etiologie. V první skupině (n = 132) se pacientům dostalo standardní péče s rozšířenou resuscitací a případným obnovením oběhu na místě zástavy. Ve druhé skupině s invazivním přístupem (n = 124) byl nemocný napojen na přístroj, který mechanicky zajistil komprese hrudníku (LUCAS) a byl transportován do centra, kde jej již očekával ECMO tým (Belohlavek et al. 2022). Přístroje pro mechanickou nepřímou srdeční masáž byly primárně vyhrazeny pouze pro skupinu ECPR, ale po zveřejnění velké studie o mechanické kompresi hrudníku autorů Rubertsson et al. (2014) bylo povoleno jejich užití dle uvážení výjezdové skupiny. Cílem randomizované klinické studie autorů bylo porovnat soubor pacientů zjistit neurologický výsledek pacientů po 180 dnech od zástavy oběhu. Přežití s uspokojivým neurologickým výsledkem po 180 dnech dosáhlo 31,5 procenta pacientů ve skupině invazivní strategie a 22 procent pacientů z kontrolní větve (odds ratio [OR] = 1,63; 95% CI 0,93–2,85; p = 0,09). Jednoznačně pak z invazivního přístupu profitovali pacienti, kteří

byli resuscitováni 45 minut a déle ($p = 0,018$). V průběhu prvních třiceti dní bylo dosaženo příznivého neurologického výsledku u statisticky významně více nemocných v invazivní skupině (30,6 vs. 18,2 %; OR = 1,99; 95% CI 1,11–3,57; $p = 0,02$). Žádnou farmakologickou nebo mechanickou podporu oběhu po dobu alespoň 24 hodin nevyžadovalo po 30 dnech srovnatelných 43,5 vs. 34,1 procenta nemocných (OR = 1,49; 95% CI 0,91–2,47; $p = 0,12$). Hodnocení primárního cílového ukazatele sice neprokázalo mezi oběma skupinami statisticky významný rozdíl, přesto studie přináší řadu pozitivních zjištění ve prospěch invazivní strategie (Belohlavek et al., 2022).

2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ POUŽITELNOST ECPR V PŘEDNEMOCNIČNÍ NEODKLADNÉ PÉČI

Výše uvedené poznatky naznačují dobré výsledky napojení pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu na ECMO s cílem získat potřebný čas pro řešení potenciálně reverzibilních příčin za současně uspokojivé perfúze mozku a dalších životně důležitých orgánů. Identifikace vhodných pacientů je úkolem výjezdových skupin zdravotnické záchranné služby a mnohdy začíná již na zdravotnickém operačním středisku záchranné služby, jak tomu bylo u Pražské studie autorů Belohlavek et al. (2022), kdy primární informaci o potenciálním pacientovi dostával koordinátor formou krátké textové zprávy již při výjezdu výjezdových skupin na místo události. V případě dostupnosti relevantních údajů o pacientovi je tak možné zkrátit čas potřebný na rozhodování o indikaci ECPR (Belohlavek et al., 2022).

První hodnocenou studií ke druhému dílčímu cíli byla retrospektivní observační kohortová studie autorů Mørk et al. (2022) dospělých pacientů (věk 18+) přijatých do katetrizační laboratoře fakultní nemocnice Aarhus v Dánsku v období leden 2015 – prosinec 2010. Specifikem Dánska je „obcházení“ periferních nemocnic u pacientů s refrakterní mimonemocniční zástavou oběhu a jejich přímý transport do kardiocentra bez ohledu na spádovost. Prvním sledovaným parametrem bylo popsat hospitalizační charakteristiky přežití a neurologické následky u pacientů s mimonemocniční zástavou rozdělených do tří skupin:

- Pacienti s ROSC při přijetí,
- pacienti přijatí s refrakterní zástavou oběhu a zavedenou přístrojovou srdeční masáží
- pacienti přijatí s refrakterní zástavou oběhu a bez přístrojové srdeční masáže.

U pacientů s ROSC pak byl autory hodnocen dopad různých vzájemných vazeb na jednoroční mortalitu.

Za sledované období bylo v regionu středního Dánska identifikováno 5 949 pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu. Z toho bylo 2 876 resuscitací ukončeno na místě a 1 434 pacientů bylo převezeno buď do místní nemocnice, nebo do traumacentra. Přímo do katetrizační laboratoře bylo směřováno 1 015 pacientů, kdy 698 pacientů mělo setrvalý ROSC. U 317 pacientů s refrakterní mimonemocniční zástavou oběhu byla mechanická podpora zahájena u 101 pacientů. U zbývajících 216 pacientů byl ROSC dosažen ve 12 případech, u zbývajících byla resuscitační snaha ukončena. Celkově 47 %, tj. 478 z celkového počtu 1 015 přežilo do propuštění z nemocnice a uspokojivý neurologický outcome CPC1/CPC2 byl hodnocen u 92 % pacientů (n=438) ze 478 pacientů propuštěných z nemocnice. Celkový medián věku byl 66, pacienti s ROSC při příjezdu do kardiocentra než pacienti s refrakterní mimonemocniční zástavou se zavedenou mechanickou podporou oběhu – 66 vs. 56 let. Podíl mužů byl ve všech skupinách podobný. Skupina s ROSC měla vyšší podíl zástavy oběhu před svědky, častěji vykazovala defibrilovatelné rytmy než pacienti s refrakterní mimonemocniční zástavou oběhu. Akutní infarkt myokardu patřil k nejčastějším příčinám zástavy oběhu ve skupině s ROSC a ve skupině se zavedenou mechanickou podporou, než ve skupině bez mechanické podpory oběhu. VA ECMO bylo zahájeno jako primární léčba u 93 pacientů s refrakterní mimonemocniční zástavou. Studie se snažila zhodnotit kardiocentrum z hlediska přežití a neurologického outcome u pacientů přijatých s mimonemocniční zástavou oběhu. Míra propuštění z nemocnice byla 64 % u pacientů přijatých s ROSC, 27 % u pacientů s refrakterní zástavou oběhu a zavedenou mechanickou podporou. U zbývajících skupiny pacientů s refrakterní zástavou oběhu a bez zavedené mechanické podpory byla míra propuštění z nemocnice 1 %. Dobrého neurologického outcome dosáhlo 92 % propuštěných pacientů ve skupině s ROSC a 93 % pacientů ze skupiny s mechanickou podporou. U pacientů přeživších do 30 dne bylo pozorováno podobné přežití i u pacientů po 180 dnech. Nezvykle vysokou míru propuštění pacientů z nemocnice přijatých s ROSC v 64 % lze vysvětlit pečlivým výběrem pacientů, kteří jsou transportováni do centra nejvyššího typu s vysokou mírou známých prognostických faktorů u mimonemocniční zástavy oběhu: kolaps před svědky, okamžitě zahájená neodkladná resuscitace, vstupní defibrilovatelné rytmy s možností okamžité defibrilace. U pacientů s mimonemocniční zástavou oběhu bez zavedené mechanické podpory byl hodnocen špatný výsledek přežití. U většiny těchto pacientů byl monitorován nedefibrilovatelné a současně v této skupině byly nejčastěji pozorovány nekardiální příčiny selhání oběhu. V době vydání studie doporučení pro resuscitaci nezmiňují rutinní použití VA-ECMO u refrakterních mimo

nemocničních zástav, ECMO však může být zváženo u vybraných pacientů s reverzibilní příčinou zástavy (Mørk et al. 2022).

Ve druhé posuzované studii Bartos et al. (2020) uvádí, že ačkoliv je definovatelný rytmus příznivým prognostickým faktorem pro pacienty se zástavou o běhu, celkově 50 % z těchto pacientů nereaguje na léčbu, nebo se jim nepodaří dosáhnout ROSC po 3 defibrilačních pokusech a podání 300 miligramů amiodaronu. Neurologicky příznivého výsledku je dosaženo u 29 % pacientů s definovatelným rytmem u mimo nemocničních zástav ale pouze u 8-15 % pacientů s refrakterní mimo nemocniční zástavou oběhu. Pravděpodobnost dobrého neurologického outcome klesá s časem trvání konvenční neodkladné resuscitace k hodnotám pod 5 % pokud není dosaženo ROSC do 30 až 40 minut standardní resuscitace. Bylo prokázáno, že využití ECMO je pro hemodynamickou podporu zvyšuje míru přežití pacientů s refrakterní komorovou fibrilací, nebo bezpulsovou komorovou tachykardií při mimonemocniční zástavě až na 40-50 %. Doba trvání neodkladné resuscitace byla začleněna do algoritmu pro ukončení resuscitace. Jasné pokyny pro vhodnou dobu trvání resuscitace však zůstávají nezodpovězeny zejména při zahájení ECPR. Metabolické účinky prolongované neodkladné resuscitace a souvislost s přežitím nejsou dobře prozkoumány. Cílem studie kolektivu autorů Bartos et al. (2020) bylo popsat vliv prolongované neodkladné resuscitace na rozvoj metabolických poruch a přežití u pacientů s refrakterní komorovou fibrilací u mimonemocniční zástavy oběhu u kterých byla zahájena ECPR. Byly analyzovány dvě skupiny pacientů 1 160 po sobě jdoucích pacientů u kterých bylo zahájeno ECPR v období prosinec 2015 – únor 2019. Druhá srovnávací kohorta byli pacienti kteří podstoupili konvenční neodkladnou situaci s podáváním amiodaronu při mimonemocniční zástavě oběhu. Pro zařazení do ECPR větve bylo nutné splnit následující kritéria: Věk 18-75 let, zástava oběhu předpokládaně kardiálního původu, vstupní definovatelný rytmus, 3 výboje bez ROSC nebo výboje vedoucí k pokračující bezpulsové elektrické aktivitě nebo asystolii, podání amiodaronu 300 miligramů, tělesný habitus přizpůsobený automatickému systému mechanické ruční masáž, odhadovaná doba transportu méně jak 30 minut do kardiocentra. Při příjezdu na urgentní příjem byly stanoveny hladiny arteriálních krevních plynů a arteriální kyseliny mléčné. Pacienti, kteří nesplňovali 1 a více z následujících kritérií (Tabulka 1) byli po přijetí na urgentním příjmu do kardiocentra prohlášeni za mrtvé.

Tabulka 1 Parametry požadované pro zařazení do ECPR. Zpracováno dle (Bartos, et al., 2020).

Kritérium	Požadovaná hodnota
EtCO ₂	> 10 mmHg
PaO ₂	> 50 mmHg
SpO ₂	> 85 %
Kyselina mléčná	≤ 18 mmol/l

Do skupiny ECPR bylo zařazeno 160 pacientů (z toho 79 % mužů), s průměrným věkem 57 ± 1 let ($p < 0,05$), potvrzená resuscitace svědky proběhla v 66 % ($n=121$) na veřejném místě ($n=56$, 35 %). Průměrná délka profesionální resuscitace byla 60 ± 1 min ($p < 0,05$). Ve skupině konvenční neodkladné resuscitace bylo celkově 654 pacientů (z toho 528 mužů, tj. 81 %), průměrný věk $59 \pm 0,4$, potvrzená resuscitace svědky proběhla v 57 % ($n=376$) na veřejném místě ($n=214$, 33 %). Průměrná délka profesionální resuscitace byla 35 min ($p < 0,05$).

Ze 160 pacientů ECPR splnilo kritéria 83 % ($n=133$), z nich 52 přežilo a bylo propuštěno s příznivým neurologickým výsledkem (CPC 1/CPC 2), v což je 33 % všech transportovaných pacientů. Všichni pacienti propuštění za nemocnice splňovali neurologické výsledky i po šesti měsících. Signifikantně méně pacientů přežilo s dobrým neurologickým výsledkem ve srovnávací skupině – 148/654, tj. 23 % ($p < 0,001$). Neurologický příznivé přežití u pacientů ve skupině ECPR významně nesouviselo s věkem, zástavou oběhu se svědky, dobou mezi voláním na tísňovou linku a příjezdem záchranné služby, nebo hodnotou EtCO₂. Lepší neurologický outcome byl zaznamenán u pacientů s kratší profesionální neodkladnou resuscitací ve srovnání s pacienty, kteří zemřeli, nebo přežili s CPC 3/CPC 4 ($p = 0,001$), nebo u pacientů kteří nesplnili resuscitační kritéria ($p = 0,003$). CPC 1/CPC 2 bylo spojeno významně nižší kyselinou mléčnou ($p < 0,01$), vyšším pH ($p < 0,001$), vyšším PaO₂ ($p < 0,01$), nižším PaCO₂ ($p < 0,01$). U pacientů s KPR v délce ≥ 20 min bylo přizítí s dobrým neurologickým outcome významně vyšší ($p < 0,001$) ve skupině ECPR, než ve srovnávací skupině s délkou KPR < 60 minut. V konvenční skupině žádný pacient KPR ≥ 40 minut s uspokojivým outcome oproti skupině ECPR bylo dosaženo CPC 1/CPC 2 u 25 % ($n=9$) s délkou KPR 50-59 minut a u 19 % pacientů při délce KPR ≥ 60 minut (Bartos et al., 2020).

Studie autorského kolektivu Bartos et al. (2018) probíhala v období prosinec 2015 – leden 2018 ve spojených státech v Minnesotě, kdy bylo analyzováno 100 po sobě jdoucích pacientů s refrakterní zástavou oběhu, defibrilovatelným rytmem a léčených dle platných doporučení dle

protokolu Minnesota Resuscitation Consortium). Při splnění kritérií 18-75 let, předpokládaná kardiální etiologie vstupní defibrilovatelný rytmus, defibrilace bez ROSC, medikace amiodaronem a možností mechanické srdeční masáže, dobou transportu < 30 minut byli pacienti transportováni přímo do katetrizační laboratoře. Při nesplnění kritérií (Tabulka 1) byli pacienti prohlášeni za mrtvé. Při splnění kritérií byli pacienti bez dosaženého ROSC zařazeni do ECPR skupiny a napojeni na ECMO. Za sledované období byla ZZS řešena mimonemocniční předpokládaně kardiální zástava oběhu s defibrilovatelným rytmem u 292 pacientů ve věku 18-75 let. Z posuzovaných 100 pacientů splnilo resuscitační kritéria (Tabulka 1) a z nich 83 bylo přijato na jednotku intenzivní péče. V 77 % se jednalo o muže, s průměrným věkem $56 \pm 1,3$ roku, u 60/83 pacientů (72 %) byla prováděna neodkladná resuscitace svědky zástavy oběhu. Průměrná doba dojezdu záchranné služby byla $7,6 \pm 1,2$ min a doba od volání na tísňovou linku do příjezdu do ECMO centra $57 \pm 1,8$ min. Z 83 pacientů přijatých na JIP přežilo 46, u 14 byla diagnostikována mozková smrt, 23 zemřelo z jiných příčin. CPC 1/CPC 2 bylo hodnoceno u 40/83 pacientů (48 %) i po třech měsících od propuštění. Pravděpodobnost dobrého outcome se snižovala s dobou hospitalizace na JIP. Pacienti u kterých byla diagnostikována mozková smrt vyžadovali významně vyšší průtoky ECMO za 48 ve srovnání s přeživšími pacienty ($4,6 \pm 0,18$ vs. $3,5 \pm 0,16$ l/min; $p = 0,003$) a u ostatní úmrtí ($0,18$ vs. $3,6 \pm 0,18$ l/min; $p = 0,014$) (Bartos et al, 2018).

Autoři Bougouin et al. (2020) publikovali prospektivní studii, která zahrnovala data z mimonemocničních zástav v Paříži a třech předměstích za období květen 2011 – leden 2018 u dospělých (18+) pacientů. Vylučujícím kritériem byla zjevná nekardiální příčina a sběr dat probíhal na základě Utsteinského protokolu. Primárním hodnoceným výsledkem studie bylo přežití do propuštění z nemocnice. Jako sekundární výsledkem bylo hodnoceno CPC 1/CPC 2 při propuštění z nemocnice. Za sledované období bylo registrováno 24 885 mimonemocničních zástav, z toho 13 191 byly hodnoceny jako předpokládaně kardiální a byly zařazeny do studie. Celkově byl pokus u ECMO proveden 525 pacientů, 389 v nemocnici, kdy v 45 případech nebyla implantace úspěšná, a z 344 úspěšných implantací 7 % pacientů ($n=25$) přežilo a 93 % ($n= 318$ zemřelo). Ve 136 případech byl proveden pokus o mimonemocniční napojení pacienta na ECMO, který byl úspěšný ve 123 případech, kdy 15 % pacientů ($n=19$) přežilo a 84 % ($n=103$) zemřelo. Pacienti ve skupině ECPR vs. konvenční KPR byli mladší (50 ± 13 vs. 66 ± 16 let, $p < 0,0001$), ve větším zastoupení byli pacienti muži (84 % vs. 67 %, $p < 0,001$), a byla u nich prováděna neodkladná resuscitace svědky příhody 81 % vs. 49 %, $p < 0,001$), vstupní rytmus byl hodnocen jako defibrilovatelný (69 % vs. 25 %, $p < 0,001$). Ve skupině

ECPR bylo méně častěji dosaženo ROSC ve srovnání s konvenční KPR (26 % vs. 38 %, $p < 0,001$) a neodkladná resuscitace trvala ≥ 30 min (99 % vs. 77 %, $p < 0,001$). Přes rozdíly vstupních charakteristik se přežití v nemocnici mezi skupinami ECPR na konvenční KPR nelišilo (44/523 (8,4 %) vs. 1061/12396 (8,6 %); $p = 0,91$). Autory byla provedena logistická regresní analýza 429 párů dle skóre přežití a dle zjištění nebyla ECPR spojena s přežitím do propuštění (OR, 0,8; 95% CI = 0,5-1,3; $P = 0,41$) (Bougouin at al. 2020).

Prvním společným faktorem ovlivňujícím aplikovatelnost metody ECPR jako způsob léčby je refrakterní mimonemocniční zástavy oběhu je napříč všemi studii předpokládáně kardiální příčina a vstupní diagnostikovaný srdeční rytmus na EKG. Drtivá většina autorů jako vylučující kritérium uvádí jiný rytmus než perzistující komorovou fibrilaci, nebo bezpulsovou komorovou tachykardií nereagující na defibrilaci a medikamentózní léčbu amiodaronem. Změna rytmu během neodkladné resuscitace ze vstupně defibrilovatelného na nedefibrilovatelný není brána v potaz. Dalším zásadním faktorem je věk pacienta, který je většinou ohraničen 75 lety, což je logické s ohledem na další komorbidity, ale vzhledem k prodlužující se délce života lze očekávat revizi tohoto kritéria. Významně limitujícím faktorem napříč všemi uvedenými studii zůstává čas, kdy autory nebývá exaktně vydefinován no-flow time, ale zaměřují se na low-flow time, což je celkový čas reakce systému, léčby na místě a zajištěného transportu pacienta do centra k napojení mimotělní podpory. Hojně uváděným časem vyhrazeným k transportu je 30 minut (Bartos et al., 2018; Bartos et al. 2020). Dalším, tentokrát technickým požadavkem je takový habitus pacienta, aby mohla být využita mechanická nepřímá srdeční masáž během transportu pacienta do zdravotnického zařízení. V současně doporučených postupech vydaných Evropskou resuscitační radou v roce 2021 není paušální použití těchto přístrojů doporučeno a jednou z možností užití je právě transport pacienta za kontinuální neodkladné resuscitace (Perkins et al., 2021). Kolektiv autorů Bartos et al. (2018; 2020) využívá v rámci potvrzujících kritérií k zavedení ECPR kromě ultrazvuku k prokázání „nestojícího“ srdce i včasné vyhodnocení parametrů EtCO₂, PaO₂, SpO₂ a kyseliny mléčné při příjmu pacienta do zdravotnického zařízení. V případě nesplnění kritérií není u pacienta indikováno zahájení ECPR.

2.3 VÝZNAM A LIMITACE DOHLEDANÝCH POZNATKŮ

Zahrnutí extrakorporální membránové oxygenace do algoritmu neodkladné resuscitace známé jako ECPR je jedna z dalších metod jak zvýšit úspěšnost neodkladné resuscitace jak v rovině primární, tak v rovině sekundární úspěšnosti. Významným přínosem ECPR je poskytnutí dostatečné doby k vyřešení potenciálně reverzibilních příčin u zástav oběhu, které jsou refrakterní vůči konvenčním postupům při zajištěném dostatečném průtoku krve mozky a dalšími životně důležitými orgány. Z výsledků dohledaných výzkumů vyplývá, že použití metody ECMO v terénu neodkladné resuscitace může mít významný dopad na úspěšnost neodkladné resuscitace a zejména neurologický outcome jednotlivých pacientů propuštěných ze zdravotnického zařízení. Autoři jednotlivých studií poukazují na nejednoznačnost zařazujících kritérií a organizační náročnost zajištění dostupnosti metody. Jako optimální kandidát se jeví pacient s mimonemocniční zástavou oběhu z kardiálních příčin, přetrvávajícím defibrilovatelným rytmem nereagující na elektroimpulzoterapii a farmakoterapii a zejména splňuje požadavek na rychlý transport do kardiocentra schopného metodu ECPR použít. Bohužel takových pacientů není a nikdy nebude většina. Studie ve většině případů nezahrnují pacienty s jiným vstupním srdečním rytmem, vzdálenost a dostupnost kardiocentra jsou taktéž velmi četným vylučujícím kritériem. Jako možné řešení se nabízí mobilní ECMO týmy, jak jsou popisovány v Pařížské studii, nicméně je nutné porovnat benefit s možnými riziky, kdy k napojení na ECMO dochází zcela mimo nemocniční prostředí. Za další limitující oblast lze považovat i lidský faktor, kdy je nutné do budoucna posoudit a zejména vyřešit to z pohledu autorů nejtěžejnější kritérium a to je samotný čas transportu a tím pádem krátký low flow time. Dánská studie jako řešení navrhuje „obcházení“ periferních nemocničních zařízení a paušální transport pacientů s náhlou zástavou oběhu do centra. To je samozřejmě způsob a možné řešení, ale pravděpodobně ne v rozsáhlých mimoměstských oblastech velkých států, kdy pro srovnání Dánsko má mírně nadpoloviční rozlohu České republiky.

Počet publikovaných studií na dané téma sice stoupá a ve srovnání s jinými tématy jsou autorské kolektivy „rozloženy celosvětově“ včetně České republiky a lze očekávat další které povedou k úpravě indikačních a vylučujících kritérií. Problém na který budou narážet budoucí výzkumy a některé studie již narazily je etický rozměr provádění studií v reálném čase a randomizace pacientů s minimální možností cross overu zejména v situacích, kdy skupina ECPR vykazuje významně lepší výsledky ve srovnávání s konvenční skupinou neodkladné

resuscitace. Výše uvedené limity bude do bude do budoucna nutné řešit, má-li se stát ECPR běžně dostupnou metodou resuscitace. Lze očekávat, že minimálně drobné rozuzlení přinesou nové doporučené postupy k neodkladné resuscitaci vydávané Evropskou resuscitační radou očekávané v roce 2025.

ZÁVĚR

Pro tvorbu přehledové bakalářské práce jsem si zvolil téma extrakorporální kardiopulmonální resuscitace, které má přesah jak do přednemocniční neodkladné péče, tak do nemocniční neodkladné péče. Využití metody extrakorporální membránové oxygenace se v posledních letech stává objektem zájmu s možností jejího využití u pacientů s mimonemocniční i nemocniční refrakterní zástavou oběhu nereagující na konvenční postupy neodkladné resuscitace. Bohužel však stále nedošlo k nastavení zcela jednotných a jasných indikačních kritérií, nejsou vyřešeny organizační problémy – zejm. rozmístění a přítomnost center schopných tuto metodu provádět v jednotlivých oblastech, připravenost a kontinuální dostupnost specializovaných týmů a v neposlední řadě i ekonomická a organizační náročnost zvolené metody. Lze předpokládat, že s postupem času se bude metoda ECPR dále rozvíjet a rozšiřovat, protože dostupné výsledky naznačují pozitivní posuny v oblasti sekundární úspěšnosti neodkladné resuscitace, což je právě oblast na které je třeba pracovat a nelze ji již moc ovlivnit v případě správně nastaveného systému přednemocniční neodkladné péče, urgentní a intenzivní péče a dodržování platných doporučených postupů pro neodkladnou resuscitaci vydávaných Evropskou resuscitační radou.

Dohledané informace a jejich sumarizace mohou sloužit jako vstupní informativní podklad pro zájemce o tuto problematiku, ať už ze strany studentů oboru nejen Zdravotnického záchranářství, ale i Všeobecného lékařství, všech ošetrovatelských oborů a Intenzivní péče. Dále mohou pomoci rozšířit obzory i lékařským a nelékařským zdravotnickým pracovníkům působícím na poli přednemocniční, nebo neodkladné a intenzivní péče.

REFERENČNÍ SEZNAM

Allen, S., Holena, D., McCunn, M., Kohl, B., & Sarani, B. (2011). A review of the fundamental principles and evidence base in the use of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) in critically ill adult patients. *Journal of intensive care medicine*, 26(1), 13–26. <https://doi.org/10.1177/0885066610384061>

Amacher, S. A., Bohren, C., Blatter, R., Becker, C., Beck, K., Mueller, J., Loretz, N., Gross, S., Tisljar, K., Sutter, R., Appenzeller-Herzog, C., Marsch, S., & Hunziker, S. (2022). Long-term Survival After Out-of-Hospital Cardiac Arrest: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA cardiology*, 7(6), 633–643. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2022.0795>

Bartos, J. A., Carlson, K., Carlson, C., Raveendran, G., John, R., Aufderheide, T. P., & Yannopoulos, D. (2018). Surviving refractory out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest: Critical care and extracorporeal membrane oxygenation management. *Resuscitation*, 132, 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2018.08.030>

Bartos, J. A., Grunau, B., Carlson, C., Duval, S., Ripeckyj, A., Kalra, R., Raveendran, G., John, R., Conterato, M., Frascione, R. J., Trembley, A., Aufderheide, T. P., & Yannopoulos, D. (2020). Improved Survival With Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation Despite Progressive Metabolic Derangement Associated With Prolonged Resuscitation. *Circulation*, 141(11), 877–886. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042173>

Belohlavek J., Smalцова J., Rob D., et al. 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*. 2022;327:737–747.

Belohlavek, J., Mlček, M., Huptych, M., Svoboda, T., Havránek, S., Ošťádal, P., Bouček, T., Kovárník, T., Mlejnský, F., Mrázek, V., Belohlavek, M., Aschermann, M., Linhart, A., & Kittnar, O. (2012). Coronary versus carotid blood flow and coronary perfusion pressure in a pig model of prolonged cardiac arrest treated by different modes of venoarterial ECMO and

intraaortic balloon counterpulsation. *Critical care* (London, England), 16(2), R50. <https://doi.org/10.1186/cc11254>

Bernhardt, A. M., Schrage, B., Schroeder, I., Trummer, G., Westermann, D., & Reichenspurner, H. (2022). Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Deutsches Arzteblatt international*, 119(13), 235–244. <https://doi.org/10.3238/arztebl.m2022.0068>

Bougouin, W., Dumas, F., Lamhaut, L., Marijon, E., Carli, P., Combes, A., Pirracchio, R., Aissaoui, N., Karam, N., Deye, N., Sideris, G., Beganton, F., Jost, D., Cariou, A., Jouven, X., & Sudden Death Expertise Center investigators (2020). Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a registry study. *European heart journal*, 41(21), 1961–1971. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz753>

Duff, J. P., Topjian, A. A., Berg, M. D., Chan, M., Haskell, S. E., Joyner, B. L., Jr, Lasa, J. J., Ley, S. J., Raymond, T. T., Sutton, R. M., Hazinski, M. F., & Atkins, D. L. (2019). 2019 American Heart Association Focused Update on Pediatric Advanced Life Support: An Update to the American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation*, 140(24), e904–e914. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000731>

Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) ELSO Guidelines for Cardiopulmonary extracorporeal life support. Ann Arbor, MI, USA: ELSO; 2013. [2024 april 11]. Version 1.3 Nov 2013 [Internet] Available from: <https://www.else.org/Portals/0/IGD/Archive/FileManager/929122ae88cusersshyerdokumentselesoguidelinesgeneralalleclsversion1.3.pdf>.

Extracorporeal Life Support Organization. www.else.org. ECLS Registry Report: International Summary; Jan2020.

Genzor S, Pobeha P et al., Využití extrakorporální membránové oxygenace (ECMO) v léčbě kritického průběhu pneumonie. *Časopis lékařů českých*. Praha: Česká lékařská společnost J. Ev. Purkyně, 2022, 161(7-8), 321-324. ISSN 0008-7335.

Ha TS, Yang JH, Cho YH, Chung CR, Park CM, Jeon K, Suh GY. Clinical outcomes after rescue extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *Emerg Med J*. 2017;34:107–111. doi: 10.1136/emermed-2015-204817.

Holmberg, M. J., Granfeldt, A., Guerguerian, A. -M., Sandroni, C., Hsu, C. H., Gardner, R. M., Lind, P. C., Eggertsen, M. A., Johannsen, C. M., & Andersen, L. W. (2023). Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for cardiac arrest: An updated systematic review. *Resuscitation*, 182, 109665. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2022.12.003>

Hutin, A., & Lamhaut, L. (2023). What if prehospital ECPR was part of the solution?. *Resuscitation*, 189, 109868. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109868>

Chaves, R. C. F., Rabello Filho, R., Timenetsky, K. T., Moreira, F. T., Vilanova, L. C. D. S., Bravim, B. A., Serpa Neto, A., & Corrêa, T. D. (2019). Extracorporeal membrane oxygenation: a literature review. *Oxigenação por membrana extracorpórea: revisão da literatura. Revista Brasileira de terapia intensiva*, 31(3), 410–424. <https://doi.org/10.5935/0103-507X.20190063>

Chen, Y. S., Lin, J. W., Yu, H. Y., Ko, W. J., Jerng, J. S., Chang, W. T., Chen, W. J., Huang, S. C., Chi, N. H., Wang, C. H., Chen, L. C., Tsai, P. R., Wang, S. S., Hwang, J. J., & Lin, F. Y. (2008). Cardiopulmonary resuscitation with assisted extracorporeal life-support versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with in-hospital cardiac arrest: an observational study and propensity analysis. *Lancet (London, England)*, 372(9638), 554–561. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(08\)60958-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(08)60958-7)

Kashiura M, Sugiyama K, Tanabe T, Akashi A, Hamabe Y. Effect of ultrasonography and fluoroscopic guidance on the incidence of complications of cannulation in extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: a retrospective observational study. *BMC Anesthesiol*. 2017;17:4. doi: 10.1186/s12871-016-0293-z.

Kulkarni, T., Sharma, N. S., & Diaz-Guzman, E. (2016). Extracorporeal membrane oxygenation in adults: A practical guide for internists. *Cleveland Clinic journal of medicine*, 83(5), 373–384. <https://doi.org/10.3949/ccjm.83a.15021>

Kumar K. M. (2021). ECPR-extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Indian journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 37(Suppl 2), 294–302. <https://doi.org/10.1007/s12055-020-01072-2>

Lee JJ, Han SJ, Kim HS, Hong KS, Choi HH, Park KT, Seo JY, Lee TH, Kim HC, Kim S, Lee SH, Hwang SM, Ha SO. Out-of-hospital cardiac arrest patients treated with cardiopulmonary resuscitation using extracorporeal membrane oxygenation: focus on survival rate and neurologic outcome. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2016;24:74. doi: 10.1186/s13049-016-0266-8.

MacLaren, G., Combes, A., & Bartlett, R. H. (2012). Contemporary extracorporeal membrane oxygenation for adult respiratory failure: life support in the new era. *Intensive care medicine*, 38(2), 210–220. <https://doi.org/10.1007/s00134-011-2439-2>

Maekawa, K., Tanno, K., Hase, M., Mori, K., & Asai, Y. (2013). Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for patients with out-of-hospital cardiac arrest of cardiac origin: a propensity-matched study and predictor analysis. *Critical care medicine*, 41(5), 1186–1196. <https://doi.org/10.1097/CCM.0b013e31827ca4c8>

Mørk, S. R., Bøtker, M. T., Christensen, S., Tang, M., & Terkelsen, C. J. (2022). Survival and neurological outcome after out-of-hospital cardiac arrest treated with and without mechanical circulatory support. *Resuscitation plus*, 10, 100230. <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2022.100230>

Nakashima, T., Noguchi, T., Tahara, Y., Nishimura, K., Ogata, S., Yasuda, S., Onozuka, D., Morimura, N., Nagao, K., Gaieski, D. F., Asai, Y., Yokota, H., Nara, S., Hase, M., Atsumi, T., Sakamoto, T., & SAVE-J Group (2019). Patients With Refractory Out-of-Cardiac Arrest and Sustained Ventricular Fibrillation as Candidates for Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation - Prospective Multi-Center Observational Study. *Circulation journal : official journal of the Japanese Circulation Society*, 83(5), 1011–1018. <https://doi.org/10.1253/circj.CJ-18-1257>

Otani T, Sawano H, Natsukawa T, Matsuoka R, Nakashima T, Takahagi M, Hayashi Y. D-dimer predicts bleeding complication in out-of-hospital cardiac arrest resuscitated with ECMO. *Am J Emerg Med.* 2018;36:1003–1008. doi: 10.1016/j.ajem.2017.11.016.

Peek, G. J., Clemens, F., Elbourne, D., Firmin, R., Hardy, P., Hibbert, C., Killer, H., Mugford, M., Thalanany, M., Tiruvoipati, R., Truesdale, A., & Wilson, A. (2006). CESAR: conventional ventilatory support vs extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure. *BMC health services research*, 6, 163. <https://doi.org/10.1186/1472-6963-6-163>

Perkins, G. D., Graesner, J. T., Semeraro, F., Olasveengen, T., Soar, J., Lott, C., Van de Voorde, P., Madar, J., Zideman, D., Mentzelopoulos, S., Bossaert, L., Greif, R., Monsieurs, K., Svavarsdóttir, H., Nolan, J. P., & European Resuscitation Council Guideline Collaborators (2021). European Resuscitation Council Guidelines 2021: Executive summary. *Resuscitation*, 161, 1–60. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2021.02.003>

Pollack, B. E., Kirsch, R., Chapman, R., Hyslop, R., MacLaren, G., & Barbaro, R. P. (2023). Extracorporeal Membrane Oxygenation Then and Now; Broadening Indications and Availability. *Critical care clinics*, 39(2), 255–275. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2022.09.003>

Richardson, A. S. C., Tonna, J. E., Nanjaya, V., Nixon, P., Abrams, D. C., Raman, L., Bernard, S., Finney, S. J., Grunau, B., Youngquist, S. T., McKellar, S. H., Shinar, Z., Bartos, J. A., Becker, L. B., Yannopoulos, D., Belohlávek, J., Lamhaut, L., & Pellegrino, V. (2021). Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Adults. Interim Guideline Consensus Statement From the Extracorporeal Life Support Organization. *ASAIO journal (American Society for Artificial Internal Organs : 1992)*, 67(3), 221–228. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001344>

Richardson, A. S., Schmidt, M., Bailey, M., Pellegrino, V. A., Rycus, P. T., & Pilcher, D. V. (2017). ECMO Cardio-Pulmonary Resuscitation (ECPR), trends in survival from an international multicentre cohort study over 12-years. *Resuscitation*, 112, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2016.12.009>

Rubertsson, S., Lindgren, E., Smekal, D., Östlund, O., Silfverstolpe, J., Lichtveld, R. A., ... & Karlsten, R. (2014). Mechanical chest compressions and simultaneous defibrillation vs

conventional cardiopulmonary resuscitation in out-of-hospital cardiac arrest: the LINC randomized trial. *Jama*, 311(1), 53-61.

Sakamoto, T., Morimura, N., Nagao, K., Asai, Y., Yokota, H., Nara, S., Hase, M., Tahara, Y., Atsumi, T., & SAVE-J Study Group (2014). Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation versus conventional cardiopulmonary resuscitation in adults with out-of-hospital cardiac arrest: a prospective observational study. *Resuscitation*, 85(6), 762–768. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2014.01.031>

Scquizzato, T., & Bernard, S. A. (2022). Extracorporeal CPR: Now a standard of care?. *Resuscitation plus*, 10, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.resplu.2022.100235>

Shin, Y. S., Kim, Y. J., Ryoo, S. M., Sohn, C. H., Ahn, S., Seo, D. W., & Kim, W. Y. (2020). Promising candidates for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest. *Scientific reports*, 10(1), 22180. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79283-1>

Siao, F. Y., Chiu, C. C., Chiu, C. W., Chen, Y. C., Chen, Y. L., Hsieh, Y. K., Lee, C. H., Wu, C. T., Chou, C. C., & Yen, H. H. (2015). Managing cardiac arrest with refractory ventricular fibrillation in the emergency department: Conventional cardiopulmonary resuscitation versus extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Resuscitation*, 92, 70–76. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2015.04.016>

Squiers, J. J., Lima, B., & DiMaio, J. M. (2016). Contemporary extracorporeal membrane oxygenation therapy in adults: Fundamental principles and systematic review of the evidence. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*, 152(1), 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.jtcvs.2016.02.067>

Suverein, M. M., Delnoij, T. S. R., Lorusso, R., Brandon Bravo Bruinsma, G. J., Otterspoor, L., Elzo Kraemer, C. V., Vlaar, A. P. J., van der Heijden, J. J., Scholten, E., den Uil, C., Jansen, T., van den Bogaard, B., Kuijpers, M., Lam, K. Y., Montero Cabezas, J. M., Driessen, A. H. G., Rittersma, S. Z. H., Heijnen, B. G., Dos Reis Miranda, D., Bleeker, G., ... van de Poll, M. C. G. (2023). Early Extracorporeal CPR for Refractory Out-of-Hospital Cardiac Arrest. *The New England journal of medicine*, 388(4), 299–309. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2204511>

Yannopoulos, D., Bartos, J., Raveendran, G., Walser, E., Connett, J., Murray, T. A., Collins, G., Zhang, L., Kalra, R., Kosmopoulos, M., John, R., Shaffer, A., Frascone, R. J., Wesley, K., Conterato, M., Biros, M., Tolar, J., & Aufderheide, T. P. (2020). Advanced reperfusion strategies for patients with out-of-hospital cardiac arrest and refractory ventricular fibrillation (ARREST): a phase 2, single centre, open-label, randomised controlled trial. *Lancet (London, England)*, 396(10265), 1807–1816. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32338-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32338-2)

Yannopoulos, D., Bartos, J. A., Raveendran, G., Conterato, M., Frascone, R. J., Trembley, A., John, R., Connett, J., Benditt, D. G., Lurie, K. G., Wilson, R. F., & Aufderheide, T. P. (2017). Coronary Artery Disease in Patients With Out-of-Hospital Refractory Ventricular Fibrillation Cardiac Arrest. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(9), 1109–1117. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.06.059>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CCPR	Conventional Cardioplmonary Resuscitation
CPC	Cerebral Performance Categories
ECLS	Extracorporeal Life Support
ECMO	extrakorporální membránová oxygenace
ECPR	Extracorporeal Cardipolmonary Resuscitation
ELSO	Extracorporeal Life Suppor Organisation
EMS	Emergency Medical Services
EtCO ₂	koncentrace oxidu uhličitého na konci výdechu
KPR	kardiopulmonální resuscitace
OHCA	Out of Hospital Cardiac Arrest
PaO ₂	parciální tlak kyslíku
PCI	perkutánní koronární intervence
PEA	Pulseless Electrical Activity
pVT	Pulseless Vetricular Tachycardia
ROSC	Restore of Spontaneous Circulation
SpO ₂	saturace periferní krve kyslíkem
USA	United States of America
V-A	veno-arteriální
V-V	veno-venózní
VF	Ventricular Fibrilation
ZZS	zdravotnické záchranná služba

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schematické znázornění ideální struktury a provedení úspěšného programu mimotělní kardiopulmonální resuscitace (E-CPR) pro refrakterní mimonemocniční srdeční zástavu. (Zdroj: Scquizzato et al., 2022)	16
---	----

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Parametry požadované pro zařazení do ECPR. Zpracováno dle (Bartos, et al., 2020).....	25
---	----