

## La réanimation à l'ère de la technologie : l'ECMO à l'urgence

Mélanie Bouchard, inf., B. Sc. and Christine Echegaray-Benites, inf., M. Sc.

Volume 3, Number 2, Fall 2022

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1096436ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1096436ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Association des infirmières et infirmiers d'urgence du Québec

ISSN

2816-6892 (print)

2816-6906 (digital)

[Explore this journal](#)

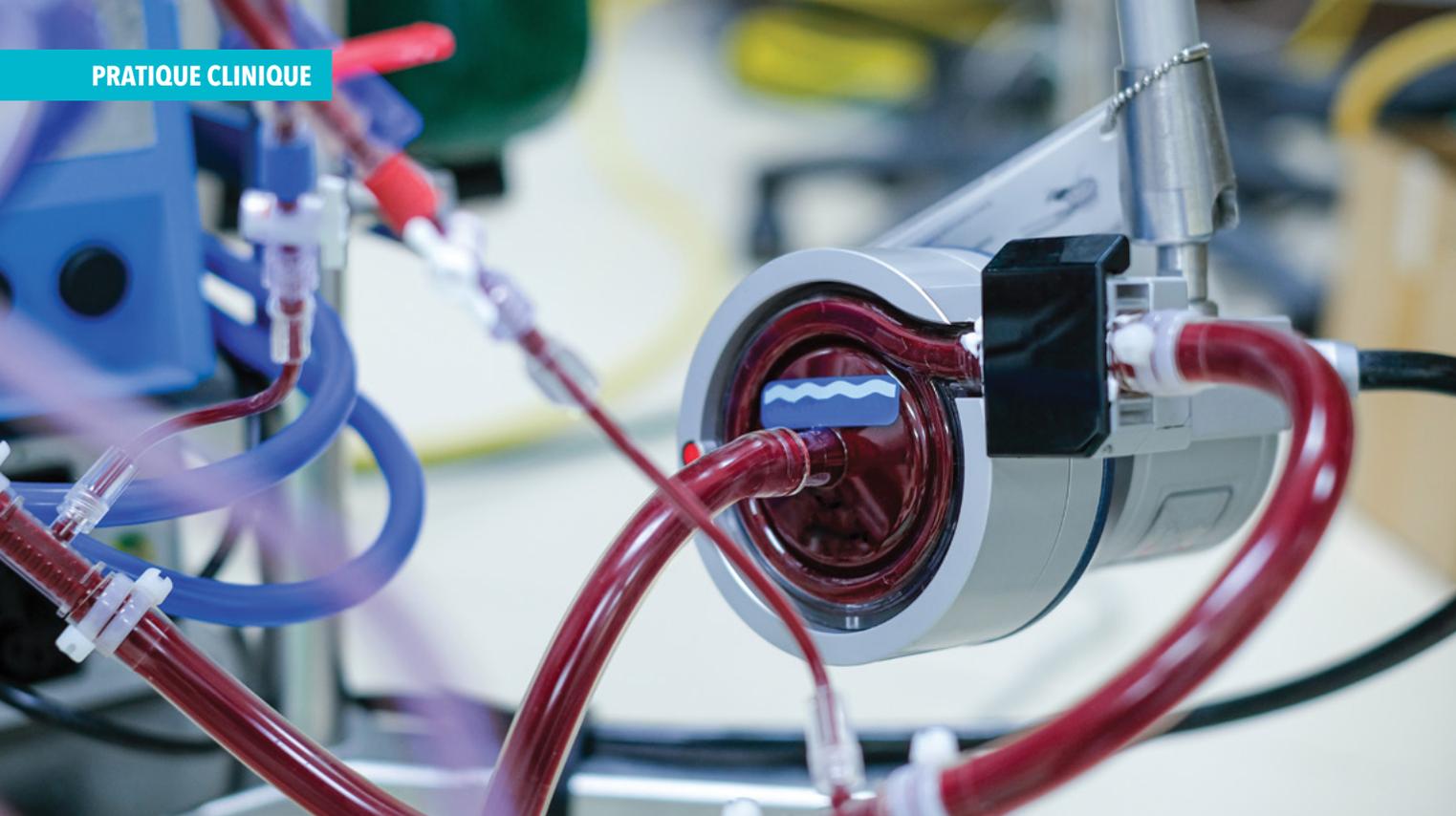
Cite this article

Bouchard, M. & Echegaray-Benites, C. (2022). La réanimation à l'ère de la technologie : l'ECMO à l'urgence. *Soins d'urgence*, 3(2), 48-55.  
<https://doi.org/10.7202/1096436ar>

Article abstract

L'essor des technologies biomédicales a permis d'élargir l'utilisation de l'oxygénation extracorporelle par membrane (ECMO) pour les personnes gravement malades. Face à une augmentation de plus de 400 % du nombre de cas d'ECMO au monde depuis 2009, il va de soi de voir l'ECMO faire son apparition dans les urgences lors de réanimation cardiorespiratoire. Il est donc important pour les cliniciens d'urgence de comprendre cette technologie et ses implications. Tout d'abord, le but de cet article est de faire un survol de ce qu'est l'ECMO et, en deuxième partie, de discuter de l'ECMO à l'urgence d'un centre universitaire au Québec tout en parcourant une histoire de cas clinique.





# La réanimation à l'ère de la technologie : l'ECMO à l'urgence

par **Mélanie Bouchard** et **Christine Echegaray-Benites**

**L'essor des technologies biomédicales a permis d'élargir l'utilisation de l'oxygénation extracorporelle par membrane (ECMO) pour les personnes gravement malades. Face à une augmentation de plus de 400 % du nombre de cas d'ECMO au monde depuis 2009, il va de soi de voir l'ECMO faire son apparition dans les urgences lors de réanimation cardiorespiratoire. Il est donc important pour les cliniciens d'urgence de comprendre cette technologie et ses implications. Tout d'abord, le but de cet article est de faire un survol de ce qu'est l'ECMO et, en deuxième partie, de discuter de l'ECMO à l'urgence d'un centre universitaire au Québec tout en parcourant une histoire de cas clinique.**

## INTRODUCTION

Dans les dernières décennies, l'avancement des sciences et technologies biomédicales a apporté de nouvelles dimensions à la prise en charge et aux soins pouvant être prodigués aux personnes gravement malades. Lorsque les personnes adultes en état critique ne répondent pas aux traitements conventionnels, elles sont considérées comme étant réfractaires aux traitements. Les équipes traitantes se retrouvent donc plutôt dépourvues de moyens pour leur venir en aide. La littérature montre que plus de 50 % des arrêts cardiorespiratoires (ACR) avec des rythmes chocables sont réfractaires (1). Avec l'usage d'une forme modifiée de support cardio-respiratoire utilisée principalement en salle

d'opération, un outil transportable devient un moyen de plus pour les équipes médicales faisant face à ces situations critiques dans d'autres unités de soins, tel que l'urgence (2). Cet outil se nomme oxygénation par membrane extracorporelle (ECMO) (3). Dans cet article, nous survolerons l'historique de l'ECMO et discuterons de ses fonctions, ainsi que de son utilisation.

## L'ECMO EN GÉNÉRAL

### L'historique de l'ECMO

L'ECMO est une évolution de la machine cœur-poumons utilisée en salle d'opération. La première tentative réussie d'oxygénation par membrane extracorporelle a eu lieu en 1953. C'est en 1971 qu'un jeune polytraumatisé de 24 ans, sous les soins du Dr Donald Hill, passe plusieurs jours sous ECMO pour la première fois et celui-ci a survécu au traitement (4). Dans les années 1970, il y a un engouement important pour l'ECMO, mais une étude par le *National Heart and Lung Institute* (NHLI) publiée en 1979 donne des résultats peu prometteurs, ne démontrant aucun bénéfice de l'ECMO comparativement aux thérapies conventionnelles chez l'adulte (5). Pour les trente années suivantes, l'ECMO est utilisée presque exclusivement en néonatalité et pédiatrie (5). Des études décrivent l'expérience de centres hospitaliers qui ont utilisé l'ECMO dans un contexte précis, tel qu'avec les personnes brûlées, en rejet de greffe pulmonaire, pendant l'excision de masse médiastinale ou réparation d'hernie diaphragmatique

congéniale, entre autres. Des techniques et idées innovatrices sont aussi partagées quant au circuit et à la technologie ECMO, et aux soins de la personne recevant l'ECMO, notamment le circuit de canules recouvert d'héparine, le type de soluté administré, etc. Cependant, la généralisation des résultats n'est pas possible étant donné le faible niveau d'évidence ou compte tenu du nombre de sujets étudiés. Ensuite, la publication en 2009 de l'étude CESAR, une étude contrôlée et randomisée, démontre une augmentation du taux de survie grâce à l'utilisation de l'ECMO et fait renaître l'engouement pour l'ECMO pour la population adulte (6). Par la suite, avec la pandémie de grippe H1N1 de 2009, plusieurs hôpitaux en Australie, Angleterre et en Nouvelle-Zélande ont utilisé l'ECMO comme thérapie de dernier recours pour le traitement de la pneumonie avec hypoxie sévère, démontrant une diminution du risque relatif de 55 % dans le groupe ECMO (7). Depuis, une augmentation à l'échelle mondiale de plus de 400 % de l'utilisation de l'ECMO chez l'adulte est notée dans le registre de l'*Extracorporeal Life Support Organization* (ELSO) (5, 8). Au Québec, plusieurs centres hospitaliers augmentent également leur offre de service d'ECMO (2, 3).

### Qu'est-ce que l'ECMO?

L'ECMO est une technologie d'« assistance cardiorespiratoire extracorporelle temporaire destinée exclusivement à la prise en charge de patients avec une insuffisance respiratoire ou cardiaque grave [...] réfractaire et potentiellement mortelle » (3). Il permet d'imiter l'échange gazeux alvéolaire alors que le dioxyde de carbone est éliminé du sang désoxygéné du corps de la personne avant d'être oxygéné à nouveau. Par la suite, le sang oxygéné est réinjecté dans la circulation sanguine (3). Si la personne a une insuffisance cardiaque partielle ou totale, l'ECMO peut pallier à cette déficience en préservant une circulation sanguine artificielle optimale. La durée de la thérapie varie de quelques jours ou semaines à quelques mois (3).

Concrètement, la personne est connectée à un circuit fermé comprenant les composantes de base suivantes (9) (voir Images 1 et 2) :

Image 1. Appareil d'ECMO



©Mélanie Bouchard

Image 2. L'endos de l'appareil d'ECMO où on peut voir la membrane (ou oxygénateur) en rouge



©Mélanie Bouchard

- **Pompe** : La pompe centrifuge, la plus utilisée présentement, crée un différentiel de pression entre les parties de la pompe et la turbine interne qui résulte en une pression négative sur la canule de drainage et génère un flux sanguin (9).
- **Membrane (oxygénateur)** : La membrane est composée de fibres creuses où les échanges gazeux se produisent par diffusion avec le sang de la personne (9).
- **Échangeur de chaleur** : Il permet le maintien de la température du sang exposé à la température ambiante lorsqu'il passe dans le circuit (9).
- **Canules** : Un circuit contient minimalement deux canules, soit une pour le drainage et l'autre pour l'influx sanguin.
- **Tubulures** : Circuit connectant les composantes externes aux canules insérées dans les vaisseaux sanguins de la personne. La lumière interne des tubulures a un revêtement d'héparine afin de minimiser la formation de caillots.

### Types de configurations ECMO

Selon la visée thérapeutique, les deux types de soutien employés les plus fréquemment sont veino-artériel (VA) et veino-veineux (VV). L'ECMO-VV est utilisée dans des situations d'insuffisance respiratoire, tel le syndrome aigu de détresse respiratoire vu durant la pandémie de la COVID-19 (5, 10). L'ECMO-VA, pour sa part, est utilisée dans les cas d'insuffisance cardiaque, notamment lors d'un choc cardiogénique, d'un choc septique causant une dépression du myocarde ou en salle d'opération lorsqu'une personne post cardiectomie ne peut être sevrée de la traditionnelle machine cœur-poumon (11). Le tableau 1 offre un résumé des différents types d'ECMO.

### ECMO-VV

L'objectif principal de l'ECMO-VV est de maintenir les échanges gazeux ayant normalement lieu dans les poumons (12). Le circuit utilisé pour un ECMO-VV contient deux canules veineuses, une pour le drainage et une pour l'influx sanguin (voir Figure 1) (12). L'insertion percutanée des canules la plus commune se fait en uti-

lisant la veine cave inférieure pour le drainage et la veine jugulaire interne pour l'influx du sang. La seconde insertion commune est la veine jugulaire uniquement avec une bi-canule pouvant faire le drainage et l'influx sanguin avec ses deux ports. Avec l'ECMO-VV, le flux sanguin est pulsatile et physiologique de la personne (7). C'est-à-dire que c'est le cœur qui fait circuler le sang oxygéné par l'ECMO. Certains exemples de cas pour lesquels un ECMO-VV serait utilisé sont l'inhalation de fumée, le syndrome de détresse respiratoire aiguë ou encore la COVID-19.

**Tableau 1.** Comparaison des caractéristiques de l'ECMO VA et VV

| CARACTÉRISTIQUES            | VA  | VA ECPR                                     | VV   |
|-----------------------------|---|---|--|
| Canulation                  | Centrale ou percutanée  | Percutanée                                  | Percutanée   |
| Site canule drainage/influx | Oreillette droite et aorte ou artère fémorale et la veine cave inférieure | Artère fémorale et la veine cave inférieure | Veine cave inférieure pour le drainage et la veine jugulaire interne ou veine jugulaire uniquement si bi-canule (à deux ports) est utilisée. |
| Flux sanguin                | Rétrograde et non pulsatile   | Rétrograde et non pulsatile                 | Antérograde et pulsatile   |
| Support cardiaque           | Oui   | Oui   | Non  |
| Support respiratoire        | Oui   | Oui   | Oui  |

Tableau adapté de Zonies (7)

**Figure 1.** ECMO-VV

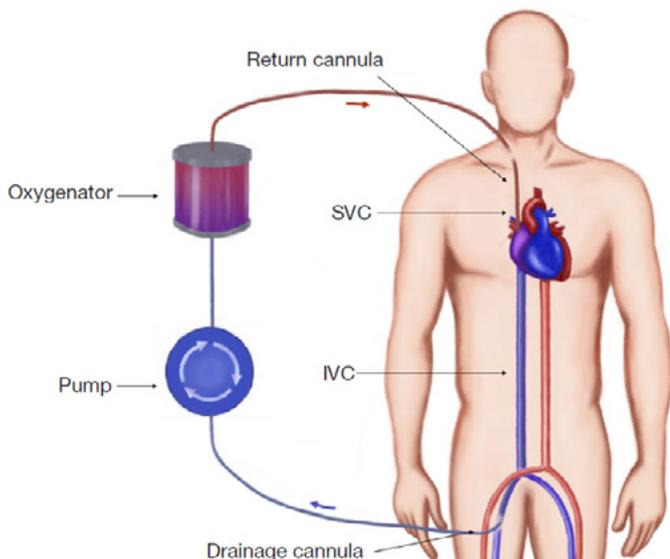


Figure reproduite avec autorisation.

### ECMO-VA

Tout comme l'ECMO-VV, l'ECMO-VA maintient les échanges gazeux en plus de supplémer ou même remplacer la circulation sanguine (12). La distinction principale dans le circuit de l'ECMO-VA est qu'une canule de drainage est veineuse et que la seconde canule d'influx sanguin est artérielle (voir Figure 2) (12, 13). Le sang désoxygéné quitte le corps via la canule veineuse, passe dans la pompe puis dans l'oxygénateur avant de retourner dans la circulation via la canule artérielle. En l'absence d'éjection cardiaque physiologique de la personne, l'ECMO-VA produit un flux sanguin non pulsatile. La canulation de l'ECMO-VA est centrale ou périphérique. Le site central requiert une sternotomie et

utilise l'oreillette droite et l'aorte alors que le site périphérique ne requiert pas de sternotomie puisqu'il utilise l'artère fémorale et la veine cave inférieure, accessible de manière percutanée (12-14). La canulation périphérique réinjecte le sang de façon rétrograde au niveau de l'aorte descendante, c'est-à-dire à l'envers de la circulation sanguine normale (15, 16). La circulation rétrograde ainsi que la grosseur de la canule peuvent causer une ischémie du membre inférieur et il est recommandé de placer une canule de perfusion additionnelle au membre inférieur afin d'éviter cette complication (13, 16). La canule insérée au membre inférieur permet donc d'assurer une circulation du sang oxygéné afin de répondre aux demandes d'oxygène des tissus.

**Figure 2.** ECMO-VA

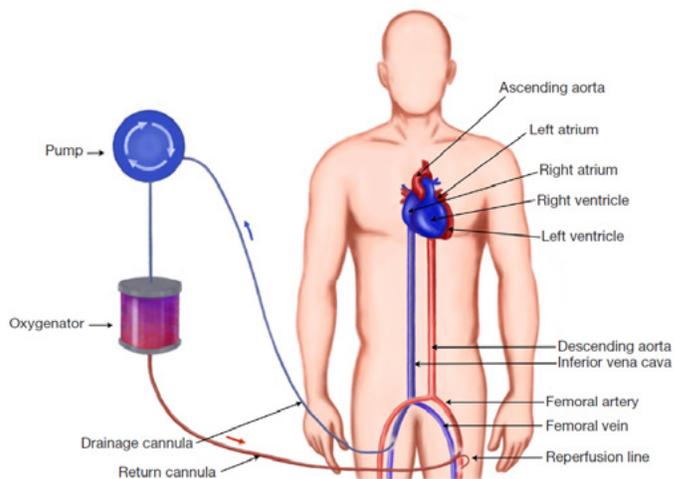


Figure reproduite avec autorisation.

### ECLS ou ECPR

Dans la littérature, les termes *extracorporeal life support* (ECLS) et *extracorporeal cardiorespiratory resuscitation* (ECPR) (17) sont utilisés de façon interchangeable pour désigner la réanimation cardio-respiratoire (RCR) utilisant l'ECMO. L'ECPR vise les personnes en ACR réfractaire, donc lorsqu'il n'y a pas de retour de la circulation spontanée après environ 10 minutes de soins avancés en réanimation cardiovasculaire (SARC [ACLS]) (18-20). L'ECMO utilisée dans ce cas est de type veino-artériel et l'ECPR est le terme utilisé pour désigner ce type de réanimation. L'unique distinction avec l'ECMO-VA est le site de canulation. En ECPR, l'insertion de canules se fait aux sites périphériques simplement, car les sites sont plus facilement accessibles durant les compressions thoraciques et les autres interventions qui ont lieu simultanément (21).

### Organismes de réglementation de l'ECMO

L'*Extracorporeal Life Support Organisation* (ELSO) est un consortium international à but non lucratif comprenant des institutions de soins de santé, des chercheurs ainsi que des partenaires dans l'industrie se consacrant au développement, à l'évaluation et à l'amélioration continue de l'oxygénation extracorporelle par membrane. L'ELSO est responsable de maintenir le plus vaste registre complet de données de personnes ayant eu la thérapie ECMO. De ce fait, ils produisent des recommandations sur la thérapie ECMO basées sur les données probantes et octroient la désignation de « centre d'excellence » aux programmes ECMO des centres qui respectent les normes établies (22). Au Canada, bien que plusieurs centres hospitaliers offrent la thérapie ECMO, seul l'hôpital pédiatrique Sickkids de Toronto est reconnu comme un centre d'excellence par l'ELSO.

## L'ECMO À L'URGENCE

### Pourquoi utiliser l'ECPR?

L'ECMO est une technologie invasive dont plusieurs types de personnes malades peuvent bénéficier. Cependant, « *ECMO is a means and not an end* » (19). L'ECPR a pour but de préserver une perfusion et une oxygénation systémique optimale chez la personne en ACR ainsi que de stabiliser son état hémodynamique afin de permettre l'amélioration de la fonction des divers organes. Même avec une RCR immédiate, les taux de survie avec une fonction neurologique favorable chez les personnes avec une RCR conventionnelle à l'hôpital et extrahospitalier varient entre 10 % et 15 %, respectivement (23). La littérature montre une augmentation du taux de survie pour les personnes ayant bénéficié d'ECPR, en revanche les données varient grandement d'une étude à l'autre, ce qui nous empêche de quantifier avec précision cette différence (3, 24).

Avec l'ECPR, un index cardiaque de 2,0 L/min/m<sup>2</sup>, le débit cardiaque minimal nécessaire pour la perfusion des organes vitaux, peut être atteint comparativement à 0,6 L/min/m<sup>2</sup> durant la RCR conventionnelle de qualité (25). Toutefois, une sélection minutieuse des personnes est nécessaire avant d'initier l'ECPR. En effet, en 2019, malgré plusieurs études rapportant des résultats favorables avec l'ECPR, la *American Heart Association* (AHA) ne recommande pas l'utilisation systématique de l'ECPR pour les ACR en l'absence d'évidence robuste, comme des études randomisées. L'AHA ajoute en revanche que l'ECPR peut être considéré pour certaines clientèles en ACR réfractaire à la RCR conventionnelle dans les centres qui ont l'expertise requise et une structure pour un déploiement rapide (24).

Puisque cette méthode de réanimation restaure la circulation sanguine et les échanges gazeux, une fenêtre de temps est créée afin d'organiser et d'offrir des interventions ciblées qui peuvent mener au retour de la circulation spontanée (RCS) de la personne en ACR (26). Voilà pourquoi, l'urgence est un milieu opportun pour offrir cette thérapie dans un cadre spécifique. Suite à l'ECPR, quelques différentes trajectoires précises sont possibles pour la personne soignée :

- Le pont à la décision : lorsque le diagnostic est incertain, les fonctions vitales peuvent être maintenues pendant que les investigations continuent.
- Le pont au rétablissement fonctionnel : lorsqu'avec le temps, l'organe peut se rétablir, tel que dans le cas d'une myocardite ou encore d'un infarctus du myocarde (13).
- Le pont à l'intervention ou à la transplantation imminente : lors d'une décompensation aiguë d'une insuffisance cardiaque chronique, l'ECMO peut créer un pont à la transplantation cardiaque (13).
- Le pont au support mécanique à long terme : afin de réduire le risque opératoire de la personne avant l'implantation d'un dispositif d'assistance ventriculaire gauche (DAVG) pour permettre d'améliorer la qualité de vie d'une personne qui n'est pas candidate à la transplantation jusqu'à son décès (19, 27, 28).

Dans certains cas, même si les critères de sélection sont respectés pour initier l'ECMO comme pont à la décision, il est possible d'arriver à une impasse ou d'avoir des complications qui mènent à reconsidérer le but des soins et de s'orienter vers les soins de confort (29).

### Critères d'inclusion et d'exclusion

L'ELSO propose des critères de sélection d'individus prédéfinis qui sont associés à des bénéfices pour les personnes. Selon l'ELSO, une personne peut être considérée pour ECPR si :

- L'ACR est soudain et devant témoin ;
- L'étiologie est potentiellement cardiaque et réversible ;
- Les manœuvres de RCR de qualité sont effectuées immédiatement après l'effondrement de la personne ;
- Aucune autre comorbidité majeure n'est présente ;
- La personne est âgée de 70 ans et moins (considération individuelle, exceptions possibles).

La sélection des personnes est l'une des plus importantes décisions pour l'ECMO. Les critères ci-haut circonscrivent un groupe de personnes. Il peut s'avérer plus ardu de faire la sélection individuelle de personnes dans le contexte aigu d'un ACR en minimisant les discussions qui retardent l'initiation de la thérapie et diminuent les bénéfices potentiels (29). Dans notre établissement, un comité multidisciplinaire a émis des précisions supplémentaires à tenir compte au sujet des critères de sélection. Le Tableau 2 présente les critères de sélection pour l'initiation de l'ECMO au Centre universitaire de santé McGill (CUSM). Ils sont basés sur des données probantes notamment celles de l'Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS) et de l'ELSO. Des recommandations basées sur les données probantes sont nécessaires afin de guider la sélection des personnes éligibles et encadrer la pratique d'ECPR et de l'ECMO en général.

Tableau 2. Critères de sélection des personnes candidates à l'ECPR au CUSM

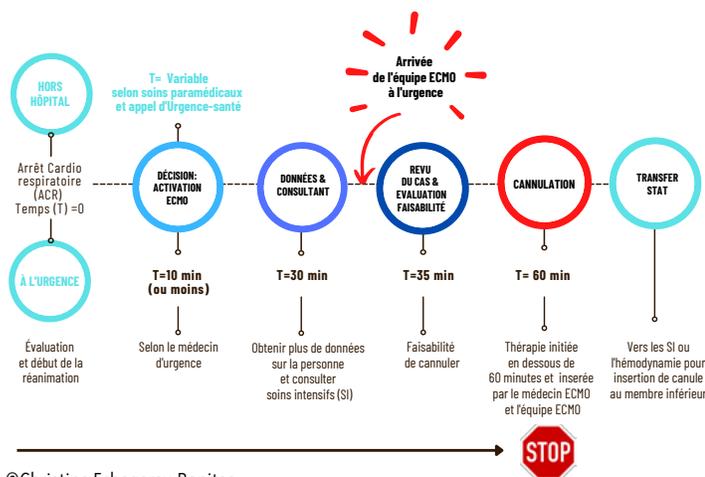
| INCLUSION  | EXCLUSION  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>■ Âgé moins de 70 ans<br/><i>Critère non-absolu, exceptions possibles</i></li><li>■ Arrêt cardiorespiratoire devant témoin</li><li>■ Causes réversibles potentielles de l'ACR :<ul style="list-style-type: none"><li>• Infarctus du myocarde</li><li>• Dysfonctionnement cardiaque</li><li>• Collapsus circulatoire (secondaire à une arythmie ventriculaire)</li><li>• Embolie pulmonaire, amiotique, massive ou sous-massive</li></ul></li><li>■ Septicémie avec dépression myocardique et fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) 40 % et/ou index cardiaque insuffisant pour les besoins hémodynamiques de la personne</li><li>■ Procédures d'hémodynamie à haut risque nécessitant plus qu'un dispositif d'assistance ventriculaire gauche (LVAD) temporaire</li><li>■ Incapacité post-cardiotomie à sevrer du support de la machine cœur-poumon</li><li>■ Flux sanguin établi par ECPR en moins de 60 minutes post-ACR</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>■ RCR initié après 10 minutes ou plus suivant l'ACR</li><li>■ Durée de l'ACR de plus de 60 minutes sans RCS</li><li>■ Comorbidités sévères :<ul style="list-style-type: none"><li>• Insuffisance rénale ou hépatique sévère</li><li>• Atteinte neurologique sévère et irréversible</li><li>• Hypertension pulmonaire sévère</li><li>• Néoplasme actif terminal</li><li>• Poids de plus 140 kg</li><li>• Coagulopathie</li><li>• Trauma multiple avec saignement non maîtrisé</li><li>• Niveau de soins proscrivant la RCR</li><li>• Dissection aortique sévère</li><li>• Insuffisance aortique ou mitrale sévère</li></ul></li></ul> |

Sources : (3, 17, 26)

## Complications

Bien que l'ECPR soit une thérapie de dernier recours pour sauver la vie d'une personne, des complications sévères et potentiellement mortelles peuvent survenir. Plusieurs complications sont associées à la précarité de la personne soignée ou à l'urgence de la canulation (17). Malgré une technique percutanée, la principale complication est l'hémorragie suivie des thromboembolies, de l'insuffisance rénale, des accidents cérébraux vasculaires, des infections nosocomiales, de l'hémolyse du sang ainsi que de l'hypoperfusion vasculaire des membres inférieurs (3, 17). Le besoin d'anticoagulation pour le bon fonctionnement de la thérapie ainsi que la consommation de facteurs de coagulation et la thrombocytopenie créent un état susceptible aux saignements (17). Considérant le risque de morbidité et mortalité associé aux saignements, les cibles d'anticoagulation sont étroites et le maintien peut être un défi amenant le risque de formation et d'embolisation de caillots sanguins. Il est donc contre-indiqué de maintenir une personne sur ECMO à long terme, car les risques de complications augmentent significativement avec le temps (19).

Figure 3. Ligne du temps de l'ECMO à l'urgence



©Christine Echegaray-Benites.

## Activation

L'activation du code ECMO à l'urgence est réalisée par le médecin et est basée sur les critères décrits plus haut. À l'urgence, un code ECMO peut être activé à la suite d'un appel des paramédics annonçant l'arrivée d'une personne en ACR et répondant aux critères d'activation. Seul un médecin peut décider de l'activation d'un code ECMO, mais les infirmières sont encouragées à en faire la suggestion. La décision demeure ultimement celle du médecin.

Lors de l'activation du code ECMO, la centrale téléphonique contacte les intervenants suivants : la coordonnatrice des soins infirmiers de garde, le perfusionniste de garde, la banque de sang ainsi que les médecins de garde des services d'ECMO, des soins intensifs (SI), de la cardiologie et de l'hémodynamie.

## Types de cas

La majorité des codes ECMO lancés aux urgences du CUSM sont pour des ACR. Nous faisons principalement de l'ECPR. Certains cas rares d'ECMO-VA ont eu lieu pour des cas d'insuffisance cardiaque. L'ECMO-VV est exceptionnelle à l'urgence puisqu'il y a un maintien de la circulation sanguine de la personne et qu'elle n'est pas une mesure d'urgence imminente, contrairement à l'ECMO-VA pour laquelle on remplace aussi la fonction du cœur. Les cas

ayant mené à l'activation du code ECMO sont majoritairement des ACR secondaires à un infarctus du myocarde, à des embolies pulmonaires massives ou à une dépression du myocarde lors d'un choc septique sévère.

## Champ d'exercice des cliniciens : comparaison soins intensifs et urgence

Les perfusionnistes et les infirmières ont chacun un champ d'exercice professionnel propre leur permettant de donner des soins spécifiques à la personne sous ECMO. Les perfusionnistes sont les experts quant aux soins reliés aux différents types de support circulatoires et/ou mécaniques pour les personnes soignées. Toutefois, deux actes sont partagés entre l'infirmière et le perfusionniste, soit : 1) l'administration et l'ajustement de médicaments et autres substances selon une prescription médicale et 2) le mélange de substances afin de compléter la préparation d'un médicament selon une prescription médicale (30). Ce chevauchement crée une opportunité pour un rôle infirmier élargi dans les soins des personnes sous ECMO. Dans cette optique, l'infirmière de l'unité des soins intensifs prenant soin de la personne sous ECMO a développé une expertise spécifique et travaille de concert avec le perfusionniste pour la surveillance et la gestion de la personne sous ECMO ainsi que du circuit suivant un protocole médical prescrit très précis. L'infirmière d'urgence n'est pas responsable de la gestion technique de l'ECMO, mais son expertise de réanimation, de communication et de gestion entre les équipes lors de l'ECPR sera grandement sollicitée, surtout alors qu'il/elle doit tenir compte des particularités ou des impacts de l'ECPR sur la réponse physiologique de la personne et le déroulement habituel d'une réanimation.

## L'équipe ECPR à l'urgence

À l'urgence, l'équipe présente pour un cas d'ECPR comprend les professionnels suivants : infirmières, médecins, perfusionnistes, préposés aux bénéficiaires, inhalothérapeutes et pharmaciens. Chacun d'eux joue un rôle essentiel dans le code selon leur pratique individuelle (voir Tableau 3).

Dans une situation idéale, trois professionnels en soins infirmiers avec expérience à la salle de réanimation sont présents au chevet pour un code ECMO. Le premier sera le chef d'équipe infirmier et fera la documentation. Les deux autres prodiguent les soins directs à la personne et leurs tâches incluent l'insertion d'accès intra-veineux ou intra-osseux, les prises de sang, l'administration des médicaments et produits sanguins ainsi qu'accompagner la personne durant le transfert. L'assistant.e infirmière gestionnaire supporte aussi le code ECMO en allouant des ressources humaines ou matérielles supplémentaires au besoin, il ou elle coordonne l'admission et le transfert de la personne soignée et pourra supporter la famille au besoin. En situation de sous-effectifs infirmiers, il ou elle fait partie des professionnels au chevet. Le Tableau 3 donne un aperçu des responsabilités des autres professionnels :

**Tableau 3.** Rôles des autres membres de l'équipe ECMO à l'urgence

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| <b>Préposé aux bénéficiaires</b> | RCR, gestion de la machine de massage cardiaque (p.ex., LUCAS) sous la supervision des infirmier.ères, transport de la personne vers les soins intensifs ou l'unité d'hémodynamie  |
| <b>Urgentologue</b>              | Évalue si la personne répond aux critères d'activation du code ECMO, ACLS, en charge de la personne soignée et de la réanimation. La plupart du temps, un second médecin sera présent pour les procédures telles qu'insertion de ligne centrale, intubation ou échographie au chevet |
| <b>Canulateur</b>                | Responsable de l'insertion et de la gestion médicale de l'ECMO. Deviendra responsable de la personne seulement lorsque l'ECMO sera fonctionnel.  |
| <b>Perfusionniste</b>            | Responsable de la machine ECMO, de la préparation de l'équipement, d'assister le canulateur, peut suggérer des laboratoires ou de donner du sang ou du volume, assure la sécurité des lignes ECMO pendant le transport   |
| <b>Inhalothérapeute</b>          | Aide à l'intubation, sécurise les voies respiratoires et/ou la ventilation artificielle, y compris pendant le transport, assure la surveillance de la ventilation.   |
| <b>Pharmacien</b>                | Préparation de médicaments, aide à la décision lors de contre-indications, vérification de compatibilité médicamenteuse.   |

### Présence de la famille pendant la réanimation

La présence de la famille durant la réanimation a gagné en popularité à la fin des années 1980. Plusieurs études sur le sujet ont tenté d'évaluer les risques et bénéfices pour les personnes soignées, les travailleurs de la santé ainsi que pour les familles. La littérature démontre des bienfaits psychologiques pour la famille et que la présence de la famille n'interfère pas avec la qualité des soins (31). De plus, il y a eu peu ou pas d'impact médicolegal, une crainte importante pour les travailleurs de la santé (31). Un suivi d'une année de 408 familles a montré des effets bénéfiques à long terme pour la famille (32). L'hôpital Torontois Sick Kids a accueilli des adultes sur ECMO durant la pandémie de COVID-19 et a noté l'importance d'intégrer la famille aux soins vu l'ampleur de ce que représente l'ECMO (33).

### Collaboration interprofessionnelle et interdépartementale

L'ECPR est une intervention très complexe, tant au niveau technique que dans la coordination et la logistique requise pour faire cheminer prudemment la personne à travers la trajectoire de soins qui comporte plusieurs points de transition et besoins spécifiques. Les parties prenantes d'un tel programme incluent des cliniciens des soins intensifs, de la cardiologie interventionnelle ou de la chirurgie cardiaque, chirurgie vasculaire, urgence, soins infirmiers, perfusion et autres secteurs spécialisés. Pour les centres offrant de l'ECPR, il existe plusieurs critères de faisabilité (3, 29), notamment :

1. Centre tertiaire possédant un plateau technique spécialisé (coronarographie, l'échographie, ultrason vasculaire, ressource pour la surveillance de la saturation cérébrale, en autres) (17).
2. Unité de soins intensifs fermée avec expertise ECMO et sous la supervision de médecins spécialistes en soins intensifs (3). Le centre devrait pouvoir soutenir au minimum six (6) personnes soignées sous ECMO par année (34) pour une exposition minimale dans le but d'assurer le développement et le maintien des compétences requises (3).

3. Une coordination entre les équipes ECMO et RCR pour une couverture qualifiée et expérimentée d'ECPR 24 heures par jour, 7 jours par semaine, incluant médecin, perfusionniste, soins infirmiers, inhalothérapeute (17). À l'urgence, l'équipe est responsable de la réanimation en tout temps. Lors d'un cas d'ECPR, la réanimation est sous la responsabilité de l'équipe d'urgence puisque l'équipe ECMO est responsable de la procédure de canulation. Les équipes doivent être habilitées à effectuer la canulation et d'autres procédures invasives avec la RCR en cours (17). Dès qu'un flux sanguin adéquat sur ECMO est atteint, un transfert coordonné de responsabilité survient entre les équipes.

4. Un système de notification rapide au leader de l'équipe ECMO (canulateur de garde). En créant un code ECMO activé par l'entremise de la centrale téléphonique, les différents collaborateurs sont également avertis et mobilisés pour un potentiel cas d'ECPR.

5. Une collaboration interservices (médical, perfusion, soins infirmiers). Plusieurs membres de l'équipe ECMO déployés à l'urgence avec le code ECMO proviennent des soins intensifs ou d'ailleurs. Un canal de communication est essentiel afin d'évaluer les perceptions, les enjeux et les problématiques de chaque équipe dans le contexte de l'urgence et d'apporter des clarifications sur le rôle et les attentes de chacun. Par exemple, l'équipe ECMO a pour cible d'avoir un appareil ECMO assemblé et avec un vide d'air fait en permanence (24 h/7 j) ainsi que la capacité d'arriver à l'urgence en moins de 30 minutes. Souvent, le canulateur arrive à l'urgence avant les autres membres de son équipe. Alors, une boîte ECMO avec une sélection d'items prédéterminés et couramment utilisés est disponible sur place (29). Ainsi, le canulateur peut rapidement accéder aux vaisseaux sanguins en attendant les outils spécialisés ECMO et l'appareil ECMO qui est transporté par un autre membre de l'équipe.

### Formation à l'urgence

Les équipes des centres hospitaliers offrant le service d'ECMO suivent un curriculum de formations, comprenant à la fois une formation de base et des modalités de formation continues annuelles. Le curriculum tient compte des besoins propres aux différents membres de l'équipe multidisciplinaire et inclut des simulations lorsqu'elles sont pertinentes (3).

Au CUSM, la formation avant l'initiation du programme inclut des formations regroupant les perfusionnistes, les infirmier.ères, l'infirmier.ère en pratique avancée ainsi que le conseiller en soins infirmiers. La présentation utilisée pour la formation est rendue disponible au personnel par la suite. De plus, des affiches résumant le processus ainsi que les critères d'activation ont été placées dans les salles de réanimation et aux différents postes infirmiers. La formation à la salle de réanimation inclut la formation ECMO, afin de former les nouvelles infirmier.ères intégrée.s en salle de choc. Une des simulations multidisciplinaires a été diffusée en télé-médecine dans des salles de conférences afin d'en faire bénéficier le personnel n'en faisant pas partie directement. Le comité local d'ECMO a le mandat de créer d'autres opportunités d'apprentissages, incluant des simulations interdépartementales, par exemple l'urgence et l'hémodynamie ou l'urgence et les soins intensifs.

## Évaluation de la qualité

L'évaluation d'une initiative comme l'ECMO doit contenir différents types de mesures, notamment de systèmes ou de processus ainsi que de résultat pour une perspective complète (26). Un épisode de soins ECPR peut être complexe et riche en information. Laussen et Guerguerian (29) proposent de séparer en 4 phases les soins d'ECPR, notamment « l'intervalle 1 : du début de l'ACR (T=0) au début du RCR conventionnel; l'intervalle 2 : du début du RCR à l'activation du code ECMO; l'intervalle 3 : de l'activation du code ECMO au retour de la circulation extracorporelle adéquate; et l'intervalle 4 : du début du retour de circulation extracorporelle aux soins post-ACR ciblés ». Une documentation systématique de ces indicateurs en plus de résultats de personnes soignées est tenue par les membres d'un comité exécutif d'ECMO (3, 35). Les résultats sont présentés de manière régulière lors de rencontres multidisciplinaires. Le comité local d'ECMO de l'urgence a accès à ces données et celles obtenues à partir d'un outil électronique dans MedUrge qui résume chaque cas d'ECPR et aide au *debriefing* à chaud de l'équipe terrain. Ensemble, les données permettent d'identifier les enjeux existants et les pistes d'amélioration. Par la suite, le comité local peut proposer des changements aux protocoles ou au processus, développer des plans d'action, ajuster le contenu des formations ou simulations pour cibler les points pertinents. Les simulations de cas sont particulièrement importantes si la dernière exposition à un cas d'ECMO dépasse les 3 mois (3).

## L'avenir

Les études démontrent que l'un des éléments les plus importants pour la survie de la personne sur ECMO est de minimiser le temps entre l'ACR et la canulation. Une étude démontre qu'après 30 minutes de RCR le taux de survie diminue de 25 % à toutes les 10 minutes additionnelles de RCR (21, 36).

En Amérique du Nord, le taux de survie des ACR extra-hospitaliers varie entre 3 et 16 %. L'émergence de certaines données probantes suggère une augmentation du taux de survie avec ECPR pour les ACEH. Il importe alors de se demander si l'activation systématisée par les paramédics du code ECMO augmenterait les chances de survie des personnes en ACR (37). Cependant, « les données actuelles ne permettent pas de statuer de façon robuste sur le bénéfice de l'ECPR dans un contexte d'ACR survenant hors de l'hôpital » (3).

Un autre aspect qui demeure à peaufiner avec l'expérience croissante est sans doute les contre-indications à l'ECMO. À l'heure actuelle, la littérature suggère de limiter la possibilité d'ECMO aux personnes qui ont les plus hautes chances de survie (11, 21, 24), mais lorsque l'alternative est la mort certaine, est-il réellement indiqué d'exclure des gens uniquement sur la base de leur âge ou d'une comorbidité non terminale ?

## HISTOIRE DE CAS

Melanie est l'infirmière au triage. Un homme arrive avec son épouse en fauteuil roulant. M<sup>me</sup> Poissant, 56 ans, dit rapidement à l'infirmière qu'elle a une douleur rétrosternale qui a débuté il y a moins d'une heure. L'infirmière débute un triage, mais soudainement, M<sup>me</sup> Poissant dit qu'elle pense mourir et devient grise. L'infirmière se précipite en salle de réanimation avec cette dernière qui fait un ACR immédiatement après le transfert sur la civière. L'infirmière commence alors les manœuvres de RCR et avise son équipe. L'urgentologue, les professionnels en soins infirmiers ainsi que deux préposés s'affairent à tenter de rétablir la

circulation de M<sup>me</sup> Poissant. Le rythme initial de M<sup>me</sup> Poissant est la fibrillation ventriculaire (FV). Après trois cycles de compressions thoraciques ainsi que trois défibrillations sans RCS, l'urgentologue lance le code ECMO (ECPR). Le compteur est déjà à 8 minutes depuis le début de l'ACR. La RCR se poursuit en attendant l'arrivée de l'équipe ECMO. L'urgentologue sur place demande l'assistance d'un collègue : il continuera à diriger les soins alors que son collègue intube la personne soignée, insère une ligne centrale et fait une échographie au chevet lors des vérifications de pouls. Les professionnels en soins infirmiers présents se chargent d'administrer les médicaments prescrits et de documenter les interventions. L'équipe ECMO se déplace à l'urgence alors que le médecin d'ECMO (canulateur) appelle à l'urgence pour confirmer l'éligibilité du cas avec le médecin responsable de la personne et il est confirmé que M<sup>me</sup> Poissant est une bonne candidate pour l'ECMO. Il se dirige donc rapidement vers l'hôpital. Le reste de son équipe est déjà en route. L'intensiviste de garde est le premier sur les lieux et il supportera les urgentologues dans les soins de la personne et s'assure de libérer un lit dans son unité. Lors d'une vérification de pouls, le moniteur montre un rythme organisé. Une prise manuelle du pouls confirme le RCS. Un ECG est effectué et montre un infarctus du myocarde. M<sup>me</sup> Poissant retombe en fibrillation ventriculaire au moment même où le canulateur arrive. Le médecin ECMO insère les canules chez M<sup>me</sup> Poissant alors que la réanimation se poursuit. Dès que l'ECMO activé permet d'atteindre une circulation adéquate, l'appareil à compression mécanique est arrêté et deux culots sanguins sont administrés à M<sup>me</sup> Poissant étant donné que le circuit ECMO frémit démontrant la nécessité de donner du volume (basse précharge). M<sup>me</sup> Poissant est stable pour la première fois depuis son ACR, il y a 45 minutes. L'équipe de l'urgence ainsi que le canulateur l'accompagnent à l'unité d'hémodynamie où elle aura une coronarographie et l'installation d'une canule supplémentaire pour la perfusion de son membre inférieur droit. M<sup>me</sup> Poissant a survécu à son ACR neurologiquement intacte. Elle a fait un retour fonctionnel à sa vie antérieure.

## CONCLUSION

Bien que l'ECMO ait vu le jour dans les années 1950, ce n'est qu'après la publication de l'étude randomisée contrôlée CESAR en 2009 que l'engouement pour l'ECMO dans la population adulte renaît (5, 6, 8, 38). L'ECMO offre une dernière chance à des personnes qui autrement ne survivraient pas. Utilisée dans plusieurs circonstances différentes, l'ECMO à l'urgence est presque exclusivement utilisée dans les cas d'ACR réfractaire à la réanimation conventionnelle. Deux éléments priment lorsqu'on pense à l'implantation d'un programme ECMO : le temps et la sélection de personnes candidates. En effet, la littérature montre qu'il est crucial de pouvoir placer une personne sous ECMO en moins de 60 minutes de l'ACR (17). De plus, la survie des personnes est basée largement sur l'état pré-ACR et les critères de sélections simples, mais précis, guident les cliniciens lors de l'activation d'un code ECMO (3, 17, 26).

Finalement, bien que la littérature démontre des bénéfices potentiels pour les personnes en ACR, il est important de réaliser qu'un code ECMO requiert une mobilisation importante de ressources humaines et matérielles tant aux urgences qu'aux soins intensifs. Avec un système de santé déjà lourdement taxé ainsi que des ressources humaines épuisées, il faut utiliser judicieusement cette technologie. Les données probantes sont essentielles pour guider les équipes afin d'assurer la pérennité des programmes ECMO. 🌟

## LES AUTEURES



### Mélanie Bouchard

inf., B.Sc.  
Infirmière clinicienne, Urgence  
Centre universitaire de santé McGill (CUSM)  
melanie.bouchard@muhc.mcgill.ca



### Christine Echegaray-Benites

inf., M.Sc.  
Infirmière en pratique avancée, Urgence  
Centre universitaire de santé McGill (CUSM)

## AIDE FINANCIÈRE

Les auteures n'ont reçu aucun soutien financier pour la rédaction et la publication de cet article.

## CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteures déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

## RÉFÉRENCES

1. Yannopoulos D, Kalra R, Kosmopoulos M, Walser E, Bartos JA, Murray TA, et al. Rationale and methods of the Advanced R(2) Eperfusion Strategies for Refractory Cardiac Arrest (ARREST) trial. *Am Heart J.* 2020;229:29-39. doi: 10.1016/j.ahj.2020.07.006.
2. Fisette J-F. Évaluation de l'oxygénation extracorporelle par membrane pour le traitement de la détresse respiratoire aiguë et le pont vers la transplantation pulmonaire et cardiaque chez l'adulte. Sherbrooke : Unité d'évaluation des technologies et des modes d'intervention en santé du Centre hospitalier universitaire de Sherbrooke (UETMIS-CHUS); 2013. [https://www.santeestrie.qc.ca/clients/SanteEstrie/Professionnels/UETMISSS/2013/Evaluation\\_Oxygenation\\_extracorporelle\\_par\\_membrane\\_UETMIS\\_2013\\_1\\_.pdf](https://www.santeestrie.qc.ca/clients/SanteEstrie/Professionnels/UETMISSS/2013/Evaluation_Oxygenation_extracorporelle_par_membrane_UETMIS_2013_1_.pdf)
3. Ferrari N, Gagné V, Déry F, Gonthier C. Utilisation de l'oxygénation extracorporelle par membrane (ECMO) chez l'adulte au Québec. Québec, Qc: Institut national d'excellence en santé et en services sociaux (INESSS); 2019. [https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/Rapports/Cardio/INESSS\\_Avis\\_ECMO.pdf](https://www.inesss.qc.ca/fileadmin/doc/INESSS/Rapports/Cardio/INESSS_Avis_ECMO.pdf)
4. Hill JD, O'Brien TG, Murray JJ, Dontigny L, Bramson ML, Osborn JJ, et al. Prolonged extracorporeal oxygenation for acute post-traumatic respiratory failure (shock-lung syndrome): Use of the Bramson membrane lung. *N Engl J Med.* 1972;286(12):629-34. doi: 10.1056/NEJM197203232861204.
5. Mosier JM, Kelsey M, Raz Y, Gunnerson KJ, Meyer R, Hypes CD, et al. Extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) for critically ill adults in the emergency department: history, current applications, and future directions. *Crit Care.* 2015;19(1):431. doi: 10.1186/s13054-015-1155-7.
6. Mao J, Paul S, Sedrakyan A. The evolving use of ECMO: the impact of the CESAR trial. *Int J Surg.* 2016;35:95-9. doi: 10.1016/j.ijsu.2016.09.081.
7. Zonies D. ECLS in trauma: practical application and a review of current status. *World J Surg.* 2017;41(5):1159-64. doi: 10.1007/s00268-016-3586-y.
8. Sauer CM, Yuh DD, Bonde P. Extracorporeal membrane oxygenation use has increased by 433% in adults in the United States from 2006 to 2011. *ASAIO J.* 2015;61(1):31-6. doi: 10.1097/MAT.000000000000160.
9. Ventetulo CE, Muratore CS. Extracorporeal life support in critically ill adults. *Am J Respir Crit Care Med.* 2014;190(5):497-508. doi: 10.1164/rccm.201404-0736CI.
10. Huang S, Zhao S, Luo H, Wu Z, Wu J, Xia H, et al. The role of extracorporeal membrane oxygenation in critically ill patients with COVID-19: a narrative review. *BMC Pulm Med.* 2021;21(1):116. doi: 10.1186/s12890-021-01479-6.
11. Ratnani I, Tuazon D, Zainab A, Uddin F. The role and impact of extracorporeal membrane oxygenation in critical care. *Methodist Debakey Cardiovasc J.* 2018;14(2):110-9. doi: 10.14797/mdcj-14-2-110.
12. Pavlushkov E, Berman M, Valchanov K. Cannulation techniques for extracorporeal life support. *Ann Transl Med.* 2017;5(4):70. doi: 10.21037/atm.2016.11.47.
13. Rao P, Khalpey Z, Smith R, Burkhoff D, Kociol RD. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock and cardiac arrest. *Circ Heart Fail.* 2018;11(9):e004905. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.118.004905.
14. Reeb J, Olland A, Renaud S, Lejay A, Santelmo N, Massard G, et al. Vascular access for extracorporeal life support: tips and tricks. *J Thorac Dis.* 2016;8(Suppl 4):S353-63. doi: 10.21037/jtd.2016.04.42.
15. Le Gall A, Follin A, Chollet B, Mantz J, Aissaoui N, Pirracchio R. Veno-arterial-ECMO in the intensive care unit: from technical aspects to clinical practice. *Anaesth Crit Care Pain Med.* 2018;37(3):259-68. doi: 10.1016/j.accpm.2017.08.007.
16. Napp LC, Kuhn C, Bauersachs J. ECMO in cardiac arrest and cardiogenic shock. *Herz.* 2017;42(1):27-44. doi: 10.1007/s00059-016-4523-4.
17. Brogan TV, Lequier L, Lorusso R, MacLaren G, Peek G. Extracorporeal life support: the ELSO red book. 2017.
18. Tickoo M, Bardia A. Anesthesia at the edge of life: mechanical circulatory support. *Anesthesiol Clin.* 2020;38(1):19-33. doi: 10.1016/j.anclin.2019.11.002.
19. Mossadegh C, Combes A. Nursing care and ECMO 2017. doi:10.1007/978-3-319-20101-6.
20. Bartos JA, Carlson K, Carlson C, Raveendran G, John R, Aufderheide TP, et al. Surviving refractory out-of-hospital ventricular fibrillation cardiac arrest: critical care and extracorporeal membrane oxygenation management. *Resuscitation.* 2018;132:47-55. doi: 10.1016/j.resuscitation.2018.08.030.
21. Bartos JA, Yannopoulos D. Refractory cardiac arrest: where extracorporeal cardiopulmonary resuscitation fits. *Curr Opin Crit Care.* 2020;26(6):596-602. doi: 10.1097/MCC.0000000000000769.
22. Extracorporeal Life Support Organization. ELSO award of excellence in extracorporeal life support. 2022. <https://www.else.org/AwardofExcellence.aspx>
23. Michels G, Wengenmayer T, Hagl C, Dohmen C, Bottiger BW, Bauersachs J, et al. Recommendations for extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR): consensus statement of DGIIN, DGK, DGHG, DGfK, DGNi, DGAI, DIVI and GRC. *Clin Res Cardiol.* 2019;108(5):455-64. doi: 10.1007/s00392-018-1366-4.
24. Panchal AR, Berg KM, Hirsch KG, Kudenchuk PJ, Del Rios M, Cabanas JG, et al. 2019 American Heart Association focused update on advanced cardiovascular life support: use of advanced airways, vasopressors, and extracorporeal cardiopulmonary resuscitation during cardiac arrest: An update to the American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation.* 2019;140(24):e881-e94. doi: 10.1161/CIR.0000000000000732.
25. Singer B, Reynolds JC, Lockey DJ, O'Brien B. Pre-hospital extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018;26(1):21. doi: 10.1186/s13049-018-0489-y.
26. Richardson ASC, Tonna JE, Nanjaya V, Nixon P, Abrams DC, Raman L, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in adults. Interim guideline consensus statement from the Extracorporeal Life Support Organization. *ASAIO J.* 2021;67(3):221-8. doi: 10.1097/MAT.0000000000001344.
27. Vyas A, Bishop MA. Extracorporeal membrane oxygenation in adults. *StatPearls [Internet]: StatPearls Publishing;* 2021
28. DellaVolpe J, Barbaro RP, Cannon JW, Fan E, Greene WR, Gunnerson KJ, et al. Joint society of Critical Care Medicine-Extracorporeal Life Support Organization task force position paper on the role of the intensivist in the initiation and management of extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care Med.* 2020;48(6):838-46. doi: 10.1097/CCM.0000000000004330.
29. Laussen PC, Guerguerian AM. Establishing and sustaining an ECPR program. *Front Pediatr.* 2018;6:152. doi: 10.3389/fped.2018.00152.
30. Québec Odleil. Le champ d'exercice et les activités réservées des infirmières et infirmiers. 2016.
31. Jabre P, Belpomme V, Azoulay E, Jacob L, Bertrand L, Lapolle F, et al. Family presence during cardiopulmonary resuscitation. *N Engl J Med.* 2013;368(11):1008-18. doi: 10.1056/NEJMoa1203366.
32. Jabre P, Tazarourte K, Azoulay E, Borron SW, Belpomme V, Jacob L, et al. Offering the opportunity for family to be present during cardiopulmonary resuscitation: 1-year assessment. *Intensive Care Med.* 2014;40(7):981-7. doi: 10.1007/s00134-014-3337-1.
33. Helmers AJ, Guerguerian AM. The sword of damocles: Family presence and extracorporeal life support during the COVID-19 pandemic and beyond. *ASAIO J.* 2022;68(6):785. doi: 10.1097/MAT.0000000000001656.
34. Extracorporeal Life Support Organization. ELSO guidelines for ECMO centers. 2014. <https://www.else.org/ecmo-resources/elseo-ecmo-guidelines.aspx>
35. Almeida N, Saab L, Dendukuri N. Use of extracorporeal membrane oxygenation for cardiac life support in adult subjects. Montreal, Canada: Technology Assessment Unit of the McGill University Health Centre; 2017. [https://muhc.ca/sites/default/files/micro/MTAU/muhc\\_tau\\_2017\\_ecmo\\_a\\_0.pdf](https://muhc.ca/sites/default/files/micro/MTAU/muhc_tau_2017_ecmo_a_0.pdf)
36. Bartos JA, Grunau B, Carlson C, Duval S, Ripeckyj A, Kalra R, et al. Improved survival with extracorporeal cardiopulmonary resuscitation despite progressive metabolic derangement associated with prolonged resuscitation. *Circulation.* 2020;141(11):877-86. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042173.
37. Grunau B, Carrier S, Bashir J, Dick W, Harris L, Boone R, et al. A comprehensive regional clinical and educational ECPR protocol decreases time to ECMO in patients with refractory out-of-hospital cardiac arrest. *CJEM.* 2017;19(6):424-33. doi: 10.1017/cem.2017.376.
38. Bartlett RH. Esperanza: the first neonatal ECMO patient. *ASAIO J.* 2017;63(6):832-43. doi: 10.1097/MAT.0000000000000697.