

O PRESENTE E O FUTURO

PAINEL CIENTÍFICO DE ESPECIALISTAS DO JACC

ECMO venoarterial para adultos



Painel Científico de Especialistas do JACC

Maya Guglin, MD, PHD,^a Mark J. Zucker, MD,^b Vanessa M. Bazan, BBA, BS,^c Biykem Bozkurt, MD, PHD,^d Aly El Banayosy, MD,^e Jerry D. Estep, MD,^f John Gurley, MD,^a Karl Nelson, MBA, RN,^g Rajasekhar Malyala, MD,^h Gurusher S. Panjra, MD,^h Joseph B. Zwischenberger, MD,^g Sean P. Pinney, MDⁱ

RESUMO

A oxigenação extracorpórea por membrana (ECMO) venoarterial é uma terapia de resgate que pode estabilizar pacientes com comprometimento hemodinâmico, com ou sem insuficiência respiratória, por dias ou semanas. Em cardiologia, entre as principais indicações para ECMO, estão: parada cardiorrespiratória, choque cardiogênico, choque pós-cardiotomia, taquicardia ventricular refratária e manejo agudo de complicações de procedimentos invasivos. A premissa fundamental subjacente à ECMO é que se trata de uma ponte: para a recuperação, para uma ponte mais duradoura, para o tratamento definitivo ou para a tomada de decisão. Por ser uma intervenção bastante intensiva em recursos e esforços, a ECMO não deve ser usada em pacientes que não podem se recuperar. Como o uso dessa tecnologia continua evoluindo rapidamente, é importante entender: suas indicações e contraindicações; a logística de iniciação, manejo e desmame da ECMO; a infraestrutura geral do programa (incluindo os desafios associados à transferência de pacientes com assistência de ECMO); além de considerações éticas, áreas de incerteza e direções futuras. (J Am Coll Cardiol 2019;73:698-716) © 2019 pela American College of Cardiology Foundation.

É crescente o uso da oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO) na doença cardiovascular. Após o marco CESAR (suporte ventilatório convencional versus oxigenação por membrana extracorpórea para insuficiência respiratória grave em adultos), no qual a ECMO pareceu ser superior ao ventilador na população adulta (1), essa modalidade tem se tornado cada vez mais popular.

De acordo com a Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), um registro voluntário internacional, a quantidade de execuções cardíacas de ECMO em adultos aumentou 1.180% na última década, de < 200 entre 1997 e

2007 para mais de 2.000 até o momento (Figura 1) (2). De modo semelhante, a quantidade de centros de ECMO, que aumentou 15% (de 115 para 131) de 1996 a 2006, subiu impressionantes 133% (de 131 para 305) de 2006 a 2016.

As indicações de ECMO venoarterial (VA) continuam evoluindo. Na última década, a principal indicação deixou de ser o choque pós-cardiotomia (tratado por cirurgões) e passou a ser o choque cardiogênico multifatorial e/ou a parada cardiorrespiratória (tratada no cenário de equipes multidisciplinares, incluindo cardiologistas ou primariamente por cardiologistas) (Ilustração Central). A proporção de pacientes com choque



Ouça o áudio com o resumo deste artigo, apresentado pelo editor-chefe do JACC, Dr. Valentin Fuster, em JACC.org

^aGill Heart Institute, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, EUA; ^bCardiothoracic Transplantation Programs, Newark Beth Israel Medical Center, Rutgers University-New Jersey Medical School, Newark, New Jersey, EUA; ^cUniversity of Kentucky, Lexington, Kentucky, EUA; ^dMichael E. DeBakey VA Medical Center and Section of Cardiology, Department of Medicine, Baylor College of Medicine, Houston, Texas, EUA; ^eAcute Circulatory Support and Advanced Critical Care, INTEGRIS Baptist Medical Center, Oklahoma City, Oklahoma, EUA; ^fSection of Heart Failure & Transplantation, Cleveland Clinic Foundation, Cleveland, Ohio, EUA; ^gDepartment of Surgery, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, EUA; ^hDivision of Cardiology, Department of Medicine, George Washington University, Washington, DC, EUA; and the ⁱDivision of Cardiology, Icahn School of Medicine at Mount Sinai, New York, EUA.

Dr. Zucker informou que atuou no conselho científico e recebeu honorários da Aplyn e da Pfizer. Dra. Bozkurt atuou como consultora para a Lantheus e a Bayer. Dr. Estep atuou como consultor para a Abbott; e como consultor médico para a Medtronic. Dr. Zwischenberger recebeu royalties de patentes licenciadas pela cânula de duplo lúmen Avalon Elite (Maquet); recebeu um subsídio corporativo da Xenios Austria GmbH; atuou como parceiro da WZ Biotech; atuou como consultor da CytoSorb; atuou como presidente do Conselho Consultivo Cardiológico Cytosorb; e recebeu financiamento do National Institutes of Health. Todos os demais autores informaram não ter relações relevantes para os conteúdos deste artigo a serem declaradas.

Manuscrito recebido em 15 de julho de 2018; manuscrito revisado recebido em 3 de outubro de 2018 e aceito em 14 de novembro de 2018.

pós-cardiotomia com assistência de ECMO-VA diminuiu de 56,9%, em 2002, para 37,9%, em 2012. Durante esse mesmo período, a quantidade de pacientes adultos com insuficiência cardiopulmonar com assistência de ECMO-VA aumentou consideravelmente (3).

Existem várias razões por trás do grande aumento no uso de ECMO em cardiologia, incluindo:

- Disponibilidade de membranas duráveis e circuitos portáteis
- Capacidade da ECMO-VA de oferecer suporte ventricular esquerdo, direito e biventricular
- Facilidade de implantação no laboratório de cateterização ou à beira do leito
- Maior familiaridade de cardiologistas e cirurgiões com a tecnologia
- A necessidade de uma ponte de curto prazo para transplante ou suporte mecânico
- Progresso em dispositivos mecânicos e duráveis de suporte circulatório, os quais permitem o uso de ECMO como ponte para um dispositivo auxiliar ventricular esquerdo (DAVE)
- Incentivos financeiros

A implementação do novo sistema de alocação de doadores da Rede Unida para Compartilhamento de Órgãos no outono de 2018 pode resultar em um aumento ainda

maior no uso de ECMO nos Estados Unidos. No sistema atual, a prioridade era determinada primeiramente pelo estado hemodinâmico, sendo necessário o uso de um cateter de Swan-Ganz para a confirmação. O novo esquema prioriza a alocação com base principalmente no tipo de dispositivo de suporte mecânico no local, com prioridade para os pacientes com assistência de ECMO.

A ECMO se tornou o dispositivo preferido para suporte hemodinâmico de curto prazo em pacientes com choque cardiogênico. A Tabela 1 compara a ECMO a outros dispositivos de curto prazo. A maioria dos cardiologistas atuantes não foi treinada em ECMO, o que levou a essa revisão abrangente.

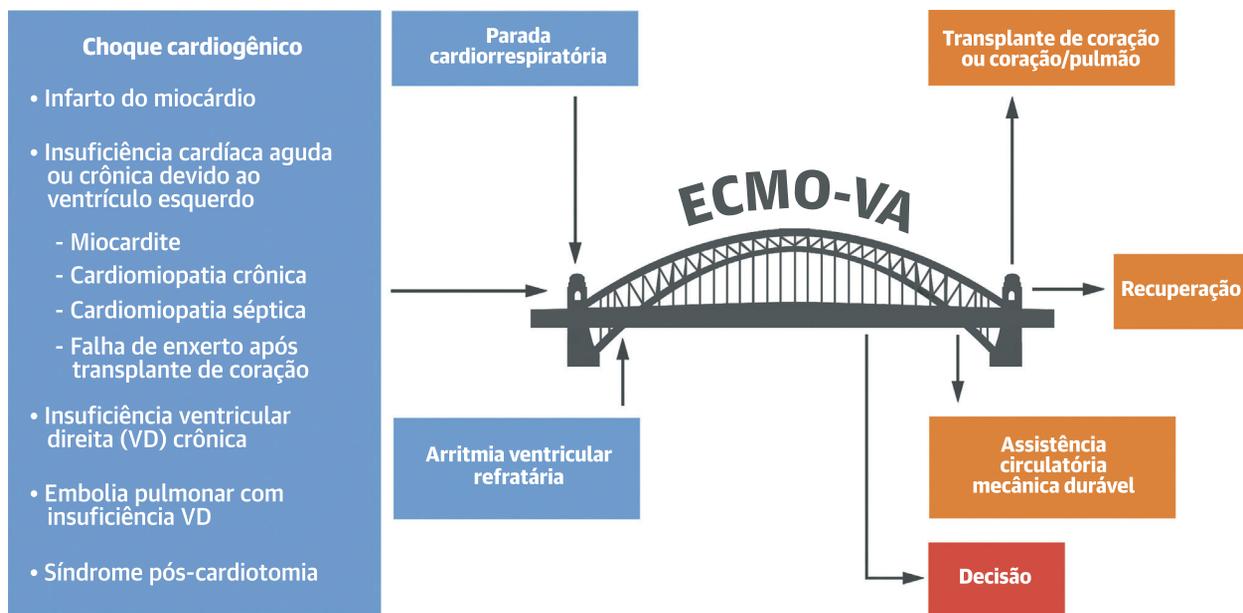
VISÃO GERAL DA ECMO

A ECMO é uma modificação portátil da circulação extracorpórea capaz de assistir pacientes críticos com insuficiência cardiopulmonar refratária por dias ou semanas (4). Embora disponível há mais de 40 anos, inicialmente, a ECMO foi usada principalmente na neonatologia. A ECMO, predominantemente venovenosa

ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

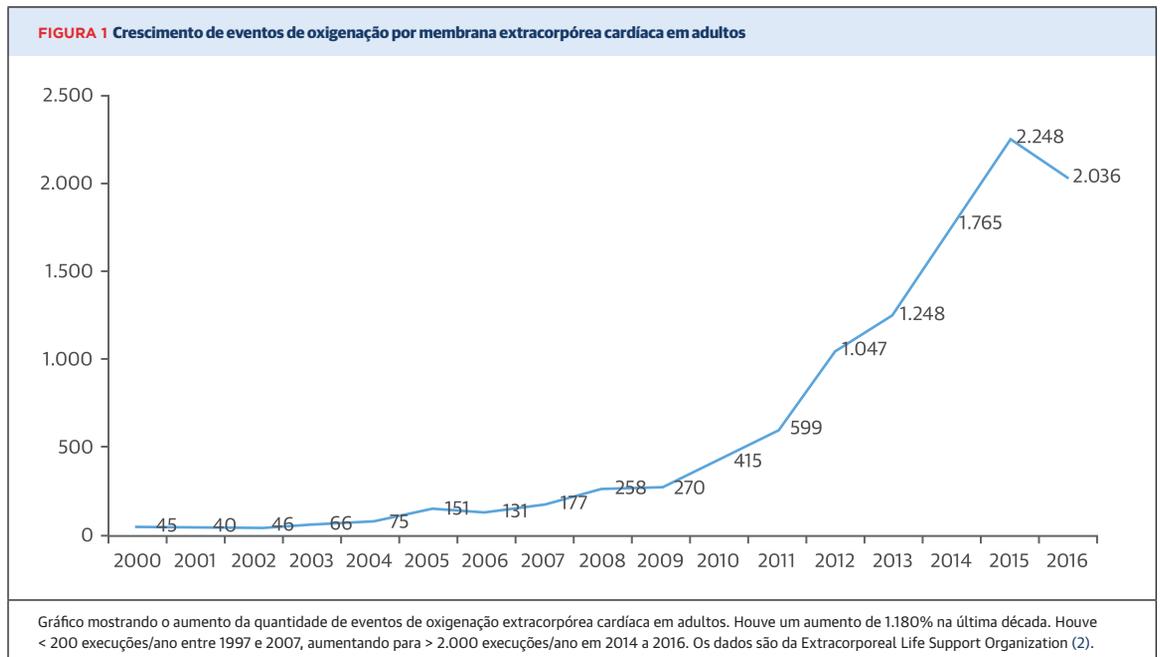
- BIA** = balão intra-aórtico
- DAVE** = dispositivo de assistência ventricular esquerda
- ECMO** = oxigenação por membrana extracorpórea (*extracorporeal membrane oxygenation*)
- ECPR** = reanimação cardiopulmonar extracorpórea (*extracorporeal cardiopulmonary resuscitation*)
- ELSO** = Extracorporeal Life Support Organization
- HR** = razão de risco (*hazard ratio*)
- IC** = intervalo de confiança
- PDFVE** = pressão diastólica final ventricular esquerda
- PV** = pressão-volume
- RCE** = retorno da circulação espontânea
- RCP** = reanimação cardiopulmonar
- VA** = venoarterial
- VD** = ventricular direito
- VE** = ventricular/ventricular esquerdo
- VV** = venovenosa

ILUSTRAÇÃO CENTRAL ECMO-VA é uma ponte



Guglin, M. et al. J Am Coll Cardiol. 2019;73(6):698-716.

A premissa fundamental subjacente à oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO) é que se trata de uma ponte: para a recuperação, para uma ponte mais duradoura, para o tratamento definitivo ou para a tomada de decisão. Esta figura mostra indicações para ECMO e os desfechos potenciais. VA = venoarterial; VD = ventricular direito.



(VV), foi usada pela primeira vez em adultos com doença pulmonar grave, mas potencialmente reversível, como pneumonia por influenza e síndrome do desconforto respiratório em adultos. Ao longo da última década, a tecnologia ganhou força na cardiologia adulta.

As evidências favorecendo a ECMO-VA em adultos surgiram em estudos observacionais prospectivos de propensão pareada da reanimação cardiopulmonar extracorpórea (ECPR), demonstrando um benefício de sobrevivência neurologicamente intacto em relação à reanimação cardiopulmonar convencional (RCP) (5, 6).

O circuito fechado de ECMO retira o sangue desoxigenado do sistema venoso por meio de uma ou múltiplas cânulas de drenagem, bombeia o sangue usando um oxigenador, no qual ocorre a troca gasosa, e retorna o sangue para a circulação venosa (VV) ou arterial (VA) por meio de uma cânula de reinusão (Figura 2) (7). Enquanto a ECMO-VV substitui os pulmões em falha, a ECMO-VA fornece assistência respiratória e hemodinâmica (ou seja, substitui o coração e o pulmão). Este artigo foca a ECMO-VA.

O circuito usa uma bomba centrífuga como a Centrimag (Thoratec, Pleasanton, Califórnia, EUA), a Rotaflow (Maquet, Rastatt, Alemanha) ou a TandemHeart (TandemLife, Pittsburgh, Pensilvânia, EUA) e uma unidade de troca de sangue que inclui um trocador de calor e um oxigenador de membrana. Conforme o sangue passa pelo oxigenador de membrana, a hemoglobina fica totalmente saturada com oxigênio, e o dióxido de carbono (CO_2) é removido. O grau de oxigenação é determinado pela taxa de fluxo e pela fração do oxigênio inspirado. O oxigenador de membrana pode fornecer saturação de oxigênio total. Mesmo

em estado de edema pulmonar ou embolia pulmonar massiva, a saturação de oxigênio é normal.

A remoção de CO_2 é controlada principalmente pelo ajuste da taxa de fluxo de gás contracorrente por meio do oxigenador, também conhecido como velocidade de varredura (8). A ECMO é extremamente eficaz na remoção de CO_2 . O CO_2 é removido por difusão. Geralmente, o gás de varredura é composto 100% por oxigênio, com a correção da acidose respiratória podendo ser rapidamente alcançada com o aumento da velocidade de varredura.

Os dois tipos de ECMO – VV e VA – podem ser usados para tratar a insuficiência respiratória aguda refratária. A ECMO-VA (em contraste à ECMO-VV) pode fornecer suporte circulatório completo. Em comparação a outros dispositivos mecânicos temporários de assistência circulatória usados para assistir pacientes com choque cardiogênico refratário, a ECMO-VA aborda a disfunção ventricular direita (VD) e esquerda (VE), a oxigenação sistêmica (pO_2) e o equilíbrio ácido-base por meio da modulação da pressão parcial de CO_2 . A configuração do circuito (Figura 2) permite a retirada e o bombeamento de sangue dessaturado do átrio direito ou de uma veia central, com a saída de bomba não pulsátil direcionada ao oxigenador de membrana e guiada por uma cânula de saída a uma artéria sistêmica (por exemplo, artéria femoral ou subclávia).

HEMODINÂMICA COM CHOQUE CARDIOGÊNICO E ECMO-VA

A condição hemodinâmica do VE em todos os tipos de choque cardiogênico é mais bem ilustrada pelo ciclo

TABELA 1 Comparação entre dispositivos comercialmente disponíveis para assistência circulatória mecânica de curto prazo

Dispositivo	ECMO-VA	BIA	Coração em tandem	Impella (2,5; CP; 5; RP)
Fluxo, l/min	4-6	0,5-1	4-6	2,5-5
Duração da assistência, aprovada pela FDA	6 h (limitada pela durabilidade do oxigenador)	9 dias	21 dias	4 dias (2,5, CP), 6 dias (5) 14 dias (RP)
Ventrículos com assistência	VE e VD	VE	VE ou VD	VE ou VD
Tamanho da cânula, F	Entrada 18-21 Saída 15-22	7-9	Entrada 21 Saída 15-17	12-21
Requisitos adicionais	Potencial necessidade de ventilação de VE, possível corte		Punção transeptal	Corte cirúrgico para Impella 5
Vantagens	O mais alto débito cardíaco Assistência cardiopulmonar completa (incluindo oxigenação e remoção de CO ₂)	Fácil colocação Bom perfil de segurança Menos efeitos colaterais, especialmente vasculares	O mais alto débito cardíaco, comparável à ECMO-VA e sem distensão do VE	Vários dispositivos para escolha
Desvantagens	Requer mais recursos e equipe de assistência do que outros dispositivos Fluxo sanguíneo retrógrado com agravamento da pós-carga (distensão do VE) Complicações vasculares Trombocitopenia	Assistência hemodinâmica limitada Contraindicado em regurgitação aórtica grave	Necessidade de centro de atendimento especializado terciário ou quaternário Necessidade de punção transeptal atrial com suas potenciais complicações Complicações vasculares Fluxo sanguíneo retrógrado	Implante mais invasivo e complexo em relação ao BIA Hemólise frequente Complicações vasculares

BIA = balão intra-aórtico; CO₂ = dióxido de carbono; ECMO-VA = oxigenação por membrana extracorpórea venoarterial; FDA = Food and Drug Administration; VD = ventrículo direito; VE = ventrículo/ventricular esquerdo.

de pressão-volume (PV). Esse ciclo representa as quatro fases de um único ciclo cardíaco, além de fornecer informações sobre propriedades contráteis e de relaxamento, trabalho cardíaco e consumo de oxigênio no miocárdio (9-11). Geralmente, no choque cardiogênico, independentemente da etiologia subjacente, a contratilidade do VE, que é refletida pelo Emáx e definida como a inclinação máxima no ponto PV sistólico final, é reduzida; além disso, a pressão diastólica final do VE (PDFVE) é aumentada. Embora haja diferenças na magnitude do efeito no volume sistólico e no trabalho de acidente vascular cerebral (AVC) do VE com os diferentes tipos e severidades do choque cardiogênico, esses índices também são geralmente reduzidos (Figura 3) (10). Foram relatados diferentes efeitos cardíacos com o uso de ciclos de PV com diferentes dispositivos de assistência mecânica (11).

Especificamente, com a ECMO-VA, a pós-carga do VE aumenta, conforme refletido pelo aumento na elastância arterial efetiva, um componente conhecido da pós-carga do VE, conforme mostrado na Figura 4 (12). Isso contribui para um aumento da PDFVE. Em pacientes com fração de ejeção significativamente reduzida na linha de base, a ECMO-VA pode causar um aumento no estresse da parede e na demanda de oxigênio, o que impede a recuperação miocárdica e pode precipitar o edema pulmonar progressivo e a lesão pulmonar aguda e piorar os desfechos (13). Essa complicação geralmente é referida como distensão do VE ou pulmão com ECMO.

Os aumentos dependentes da ECMO-VA sob as pressões diastólica final do VE, do átrio esquerdo e capilar pulmonar ser atenuados pela diminuição da resistência vascular sistêmica ou pela melhora da contratilidade ventricular (12). No entanto, aumentos sutis no vo-

lume diastólico final do VE podem estar associados a aumentos substanciais na PDFVE devido à relação não linear da PV diastólica final (Figura 4) (12).

O monitoramento para o aumento da PDFVE pode incluir exames físicos seriados, raio x do tronco ou monitoramento de cateter de Swan-Ganz. O tratamento dos aumentos previstos ou observados na pressão sistólica e diastólica final do VE inclui a ventilação ou a descompressão do VE.

Foram utilizadas várias estratégias para reduzir a congestão pulmonar durante a assistência da ECMO-VA (11, 14-16).

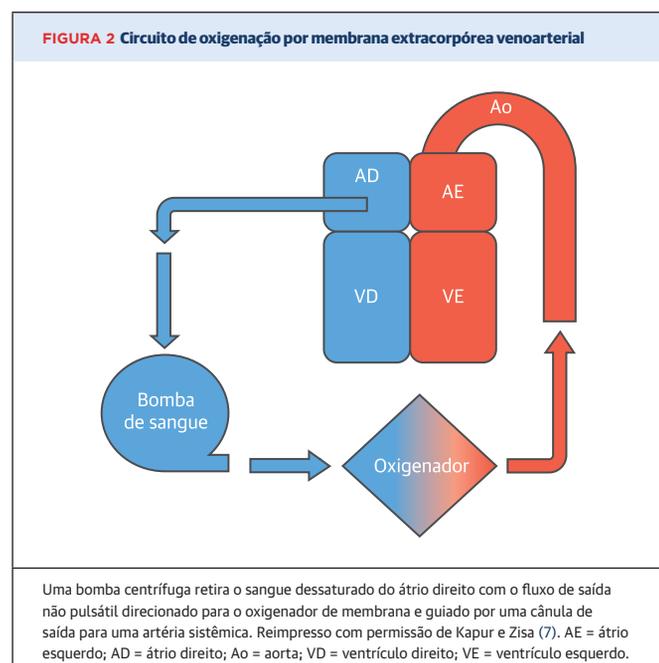
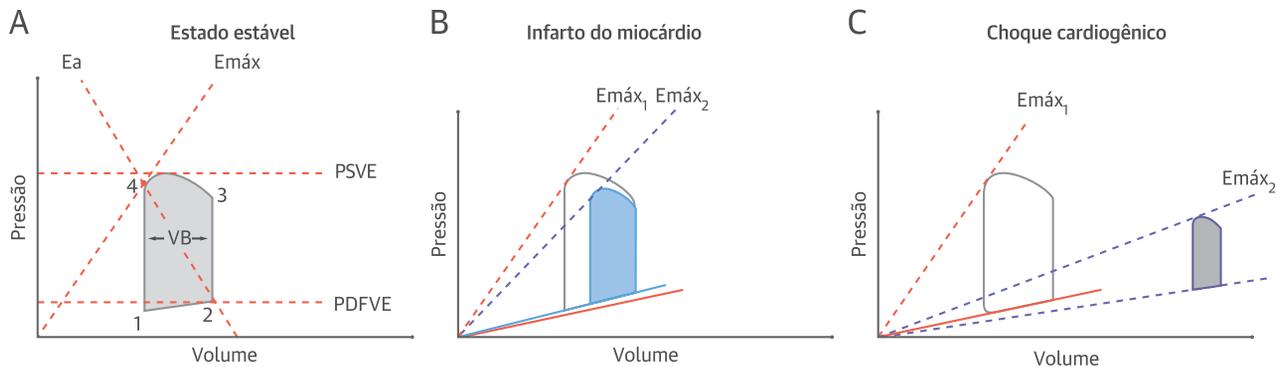
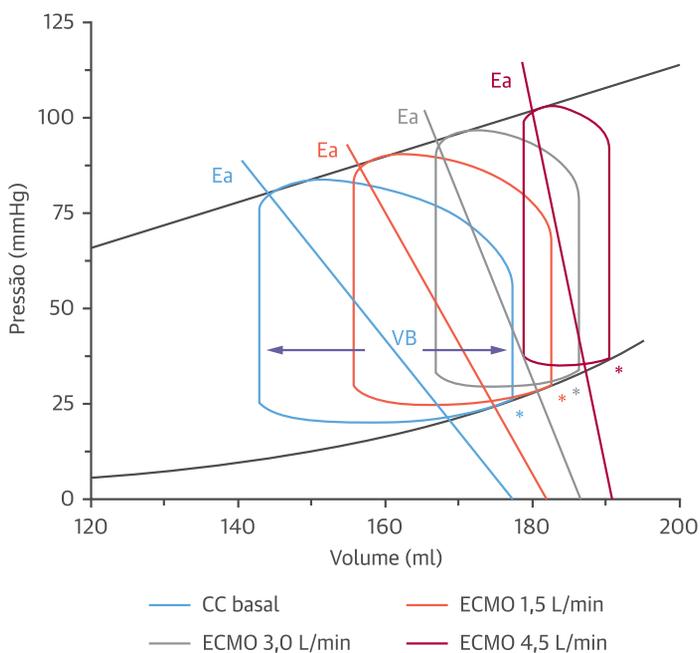


FIGURA 3 Ciclos de PV na condição normal, com infarto do miocárdio, e em insuficiência cardíaca crônica agudizada complicada pelo choque cardiogênico

(A) Ciclo de pressão-volume (PV) em condição normal. O Ponto 1 observa o final do relaxamento isovolumétrico. A Fase 1 a 2 define a diástole. O Ponto 2 (diástole final) representa o volume máximo do ventrículo esquerdo (VE) e o início do relaxamento isovolumétrico. O Ponto 3 define o pico de contração isovolumétrica, em que a pressão do VE excede a pressão aórtica e marca o início da ejeção sanguínea na aorta. A Fase 3 a 4 define a fase de ejeção sistólica, além de ilustrar a diminuição do volume do VE. O Ponto 4 define o ponto de PV sistólica final em que a pressão aórtica excede a pressão do VE e marca o fechamento da válvula aórtica. A largura do ciclo de PV representa o volume de bombeamento (VB), definido como a diferença entre os volumes diastólico final e sistólico final. A área sombreada dentro do ciclo representa o trabalho de bombeamento. $Emáx$ representa a contratilidade do VE independente de carga definida como a inclinação máxima do ponto de PV sistólica final sob várias condições de carga. A elastância arterial efetiva (Ea) é um componente da pós-carga do VE e é definida como a razão entre a pressão sistólica final e o VB. (B) Ciclo de PV em infarto do miocárdio (ciclo azul). A contratilidade do VE ($Emáx_2$), a pressão sistólica do VE (PSVE), o VB e o trabalho de bombeamento são levemente reduzidos. A pressão diastólica final do VE (PDFVE) é aumentada. (C) Ciclo de PV em choque cardiogênico em insuficiência cardíaca crônica agudizada (ciclo cinza escuro). A contratilidade do VE ($Emáx_1$) é bastante reduzida, o volume médio da PDFVE e o volume diastólico final do VE são aumentados significativamente e a VS é significativamente reduzida. Adaptado com permissão de Rihal et al. (10).

FIGURA 4 Efeitos hemodinâmicos do VE da ECMO venoarterial

O impacto negativo da oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO) venoarterial no ciclo de PV faz uma curva com um aumento dependente do fluxo em PDFVE (asteriscos) e o aumento associado na Ea efetiva, conforme definido na Figura 2. Uma diminuição dependente de fluxo associada no SB do VE é mostrada nos ciclos de PV e é representada pela largura do ciclo de PV como a diferença de volume entre os volumes sistólico final e diastólico final. Modificado e adaptado com permissão de Burkhoff et al. (12). CC = choque cardiogênico; outras abreviações conforme a Figura 3.

1. Aumento do fluxo direto pela introdução de inotrópicos ou dispositivos como o Impella (Abiomed, Danvers, Massachusetts, EUA) ou o balão intra-aórtico (BIA).
2. Diminuição da pós-carga do VE pela colocação de um BIA.
3. Descompressão mecânica do VE desviando o sangue para o lado direito por meio de atrioseptostomia ou remoção do volume do VE por meio da colocação do Impella, de canulação transeptal do VE ou do átrio esquerdo (AE) ou da drenagem apical cirúrgica direta do VE.
4. Remoção de líquido do espaço intravascular usando agentes diuréticos, ultrafiltração ou hemodiálise.
5. Redução da velocidade da ECMO e, conseqüentemente, fluxo de ECMO (que pode não ser bem tolerado).

O uso de contrapulsção de BIA na ECMO-VA é debatido em relatórios publicados, e se acredita que traga melhorias à descarga sistólica e à relação oferta/demanda de oxigênio do miocárdico (17). Dois estudos apresentaram menores dimensões de VE e menor pressão arterial pulmonar com ECMO-VA mais a assistência ativa de BIA (11, 15). Em um estudo de coorte retrospectivo com 1.650 pacientes adultos apresentando choque cardiogênico da base de dados nacional de pacientes internados do Japão, a mortalidade em 28 dias e intra-hospitalar foi significativamente menor com ECMO-VA mais BIA (48,4% vs. 58,2%; $p = 0,001$) do que somente com ECMO-VA (55,9% vs. 64,5%; $p = 0,004$)

(18). No entanto, uma metanálise observacional de 16 estudos mostrou uma falta de benefício de sobrevida da ECMO-VA com BIA concomitante (19). Até o momento, nenhum ensaio clínico randomizado foi realizado para esclarecer o papel da ventilação e qual é a melhor estratégia (BIA vs. dispositivos alternativos) para atenuar o aumento dependente do fluxo da VA-ECMO em PDFVE.

A ECMO fornece fluxo sanguíneo contínuo. Qualquer pulsatilidade, se presente, é criada pela função residual do VE. Em casos graves de choque cardiogênico ou na presença de tamponamento cardíaco, os sons de Korotkoff podem estar ausentes e apenas a pressão arterial média pode ser medida, sendo necessário o uso de uma linha arterial. À medida que a função cardíaca melhora, a pulsatilidade no traçado arterial fica cada vez mais pronunciada e pode ser um sinal de recuperação.

INDICAÇÕES E CONTRAINDICAÇÕES

INDICAÇÕES. O segredo para o sucesso da ECMO é seu princípio como uma ponte para a recuperação ou para o tratamento definitivo. A ECMO não cura a condição subjacente; ela dá tempo para a cura do paciente ou para a equipe de profissionais encontrar uma solução de longo prazo, como um dispositivo para assistência ventricular durável ou um transplante de coração (Ilustração Central). A inserção da ECMO-VA é geralmente feita para: 1) fornecer assistência circulatória enquanto o coração se recupera espontaneamente ou com tratamento (ponte para a recuperação/desmame); 2) determinar a reversibilidade do dano ao órgão-alvo comumente observado após um evento catastrófico ou grave do miocárdio (ponte para a decisão); e 3) atingir um período de estabilidade temporária até que seja implantada uma assistência mais definitiva ao bombeamento (assistência circulatória mecânica durável) ou uma terapia de substituição cardíaca (transplante de coração ou coração totalmente artificial) (ponte para a ponte) (Tabela 2).

A falta de uma solução (listada anteriormente) ou um potencial de recuperação devem desencorajar a iniciação da ECMO. A equipe da ECMO deve levar em consideração os objetivos (Tabela 2) e as indicações (Tabela 3) para a ECMO-VA antes da canulação do paciente: 1) parada cardiorrespiratória; 2) choque cardiogênico; 3) taquicardia ventricular refratária; 4) insuficiência do VD durante o auxílio do DAVE; e 5) falha de desmame do *bypass* cardiopulmonar.

CONTRAINDICAÇÕES. Entre as contraindicações para ECMO-VA, há (20):

Absoluta

- Insuficiência de órgão não cardíaco grave e irreversível que limita a sobrevida (por exemplo, lesão cerebral anóxica grave ou câncer metastático)

TABELA 2 Objetivos comuns para inserção da oxigenação por membrana extracorpórea venoarterial

Cenário	Explicação
Ponte para a recuperação	Usar a assistência circulatória enquanto estratégias de tratamento definitivo e de assistência são implantadas para restaurar a recuperação miocárdica e obter sucesso no desmame
Ponte para a decisão	Para determinar a reversibilidade do dano ao órgão-alvo comumente observado após um evento catastrófico ou grave do miocárdio ou para decidir o próximo nível de ação
Ponte para a ponte	Para obter uma breve estabilidade à perfusão de órgãos-alvo até que seja implantada uma assistência mais definitiva ao bombeamento (assistência circulatória mecânica durável) ou uma terapia de substituição cardíaca (transplante cardíaco ou coração totalmente artificial)
Ponte para o transplante	Para obter uma breve estabilidade à perfusão de órgãos-alvo até que o transplante cardíaco seja realizado

- Insuficiência cardíaca irreversível caso o transplante ou o DAV de longo prazo não sejam cogitados
- Dissecção aórtica

Relativa

- Coagulopatia grave ou contraindicação à anticoagulação, incluindo doença hepática avançada
- Acesso vascular limitado (doença arterial periférica grave, obesidade extrema, membros amputados, entre outros)

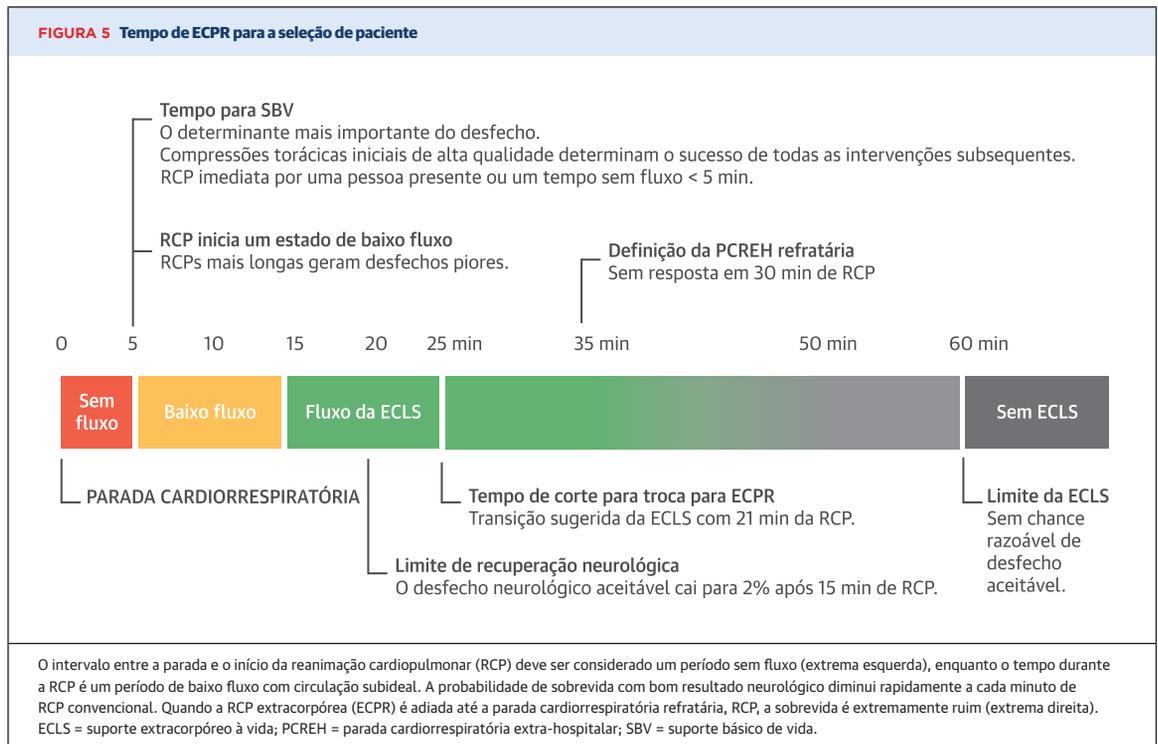
Entre os preditores de mortalidade em ECMO-VA, temos: idade, sexo feminino, tempo de assistência maior, diminuição da função cardíaca na linha de base (21), alta concentração de lactato, doença vascular periférica, doença pulmonar obstrutiva crônica, disfunção renal (22, 23), AVC, infecção, hipoglicemia, alcalose (24), inserção de dispositivo durante RCP e diminuição de débito urinário (25).

PARADA CARDIORRESPIRATÓRIA

A ECMO-VA está sendo cada vez mais usada durante a ressuscitação inicial da parada cardiorrespiratória. ECPR – o acrônimo pelo qual essa modalidade é conhecida – é a aplicação da ECMO de rápida implantação para fornecer assistência circulatória em pacientes

TABELA 3 Indicações para oxigenação por membrana extracorpórea venoarterial

1. Parada cardiorrespiratória (RCP extracorpórea)
Choque cardiogênico devido a
2. Infarto do miocárdio
3. Miocardite aguda
4. Progressão de cardiomiopatia isquêmica ou não isquêmica
5. Insuficiência aguda do VD devido a embolia pulmonar
6. Progressão da insuficiência do VD devido a doença pulmonar
7. Progressão da cardiopatia congênita
8. Insuficiência primária de enxerto e rejeição aguda de aloenxerto após transplante cardíaco
9. Overdose de medicamentos cardiotoxicos
10. Cardiomiopatia séptica
11. Taquicardia ventricular refratária
12. Insuficiência do VD durante a assistência do DAVE
13. Falha ao desmamar o <i>bypass</i> cardiopulmonar*
*Indicação cirúrgica além do escopo desta revisão. DAVE = dispositivo de assistência ventricular esquerda; RCP = reanimação cardiopulmonar; VD = ventrículo direito.



que não conseguem obter um retorno da circulação espontânea (RCE) sustentado (definido como 20 minutos consecutivos sem a necessidade de compressões torácicas por RCP convencional) (26). O uso da ECMO iniciada devido a baixo débito cardíaco após RCE sustentado não é considerado ECPR (27). Essa importante distinção é frequentemente negligenciada nos relatórios publicados, dificultando a análise dos desfechos. Um estudo recente de coorte prospectivo de ECPRs intra- e extra-hospitalar em pacientes selecionados apresentou 54% de sobrevida para alta com função neurológica completa (6).

O determinante mais importante do desfecho é o tempo para o suporte básico de vida. As compressões torácicas precoces influenciam todas as intervenções subsequentes. A RCP imediata da pessoa presente ou um tempo sem fluxo < 5 min são pré-requisitos para a ECPR (4). O intervalo entre a parada e o início da RCP deve ser considerado um período sem fluxo, enquanto o tempo de RCP é um período de baixo fluxo (28) com circulação subideal. A probabilidade de sobrevida com um bom desfecho neurológico diminui rapidamente a cada minuto de RCP convencional. Quando a ECPR é atrasada até a parada cardiorrespiratória refratária, definida como sem resposta aos esforços de reanimação após 30 min de RCP convencional, a sobrevida é extremamente ruim (29).

A ECPR deve ser tentada logo após a parada cardíaca, e não após a falha completa das medidas tradicionais (30). Estudos sugerem 21 min de RCP convencional antes do início do suporte extracorpóreo à vida (ECMO-VA), com a preparação da ECPR nos primeiros 10 min de RCP e canulação dentro de 20 min de colapso (Figura 5) (31).

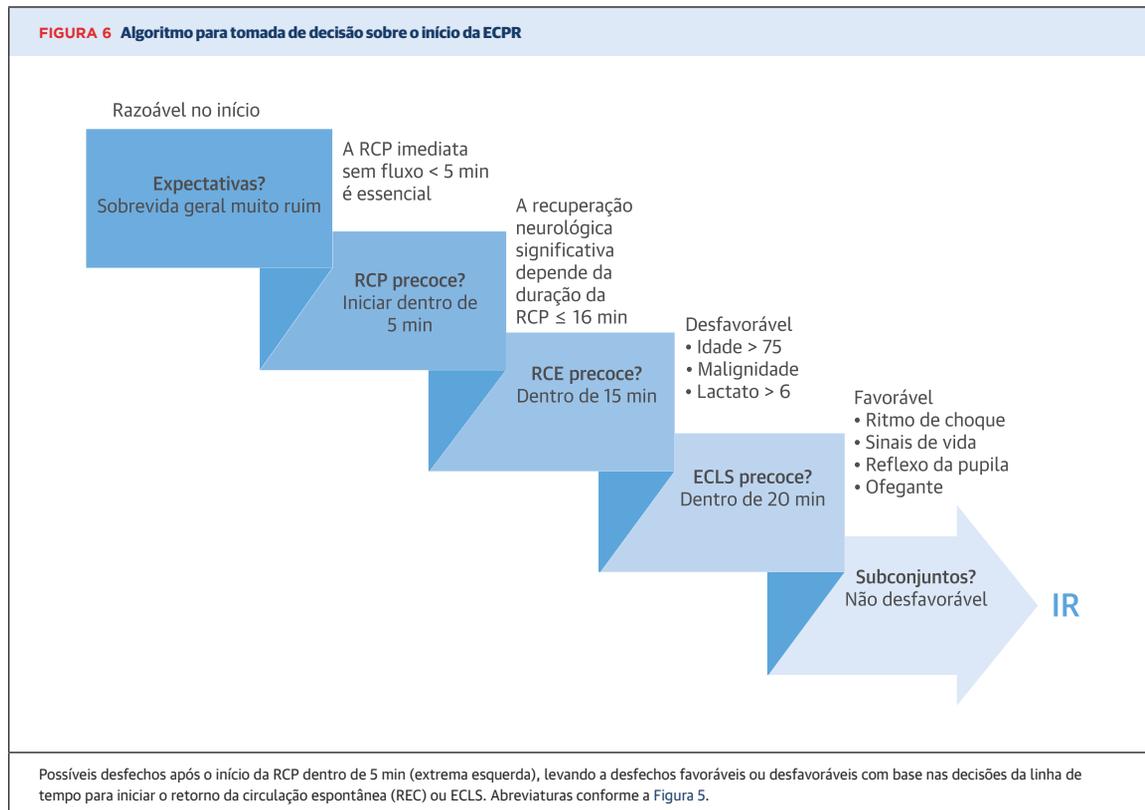
Embora o limite superior de idade para ECPR varie conforme o centro, alguns estudos excluem pacientes > 70 a 75 anos de idade (32, 33). Os critérios de inclusão ou exclusão comumente usados para ECPR são:

Critérios de inclusão

- Idade < 70 anos
- Ritmo inicial de fibrilação ventricular ou taquicardia ventricular
- Parada presenciada
- RCP por pessoa presente dentro de 5 min
- Falha em obter RCE dentro de 15 minutos do início da RCP (20)

Critérios de exclusão

- Assistolia como um ritmo inicial
- Parada não presenciada
- Tempo total de parada cardiorrespiratória > 60 min
- Doença neurológica ou sistêmica grave preexistente (incluindo AVC, demência grave, malignidade avançada, distrofia neuromuscular crônica, condições psiquiátricas, lesão cerebral anóxica)



- Contraindicações para anticoagulação
- Dissecção aguda da aorta
- Suspeita de choque devido a hemorragia ou outra causa não cardiovascular
- Status conhecido de “não reanimar” (NR)

Um algoritmo de tomada de decisão para iniciar a ECPR é apresentado na Figura 6. A parada cardiorrespiratória intra-hospitalar pode ser um cenário particularmente favorável para a ECPR. Em coortes não correspondentes, a ECPR resultou em uma taxa de sobrevida mais alta para o recebimento de alta (log-rank $p < 0,0001$) e uma melhor taxa de sobrevida em 1 ano (log-rank $p = 0,007$). Entre os grupos de escore de propensão pareada, ainda houve uma diferença significativa na sobrevida até a alta [razão de risco (HR): 0,51; intervalo de confiança de 95% (IC): 0,35 a 0,74; $p < 0,0001$], sobrevida em 30 dias (HR: 0,47; IC95%: 0,28 a 0,77; $p = 0,003$) e sobrevida de 1 ano (HR: 0,53; IC95%: 0,33 a 0,83; $p = 0,006$) favorecendo a ECPR em detrimento à RCP convencional (6).

Uma metanálise recente de estudos de ECPR mostrou que ela estava associada a um aumento absoluto na sobrevida em 30 dias de 13% (IC95%: 6% a 20%; $p < 0,001$; quantidade necessária para tratamento: 7,7) e uma taxa maior de desfecho neurológico favorável aos 30 dias (diferença de risco absoluta 14%; IC95%: 7% a 20%;

$p < 0,0001$; quantidade necessária para tratamento: 7,1) comparada com a RCP convencional (34).

CHOQUE CARDIOGÊNICO

O choque cardiogênico é uma condição crítica de instabilidade hemodinâmica com comprometimento da perfusão tissular e do órgão-alvo. Entre os parâmetros hemodinâmicos comumente aceitos que definem o choque cardiogênico, estão o índice cardíaco $< 2,0$ l/min/m² com pressão arterial sistólica < 90 mmHg, pressão capilar pulmonar ≥ 24 mmHg e dependência a pelo menos dois inotrópicos ou vasopressores, com ou sem BIA (35). Com tratamento somente farmacológico, a recuperação é rara. Se a causa do choque for reversível, o paciente deve ser cogitado para ECMO-VA.

O choque cardiogênico pode ser originado por diversas condições, incluindo insuficiência do VE, VD ou biventricular. As causas típicas de choque cardiogênico estão listadas na Tabela 3, e uma revisão detalhada de estudos publicados sobre cada etiologia pode ser encontrada em nosso trabalho publicado anteriormente (36). A sobrevida para alta em choque cardiogênico por infarto do miocárdio varia de 19,2% (37) a 87,5% (38). Os desfechos de sobrevida variam de 47% (22) a 83,3% (39, 40) para miocardite e 57% (41) a 100% (42) para

TABELA 4 Sobrevida com a ECMO em miocardite fulminante

Primeiro autor, ano (Ref. #)	n	Sobrevida em ECMO (%)	Sobrevida para alta (%)	Dias em ECMO
Asaumi, 2005 (84)	14	71	71	5,4*
Pages, 2009 (40)	6	83	83	13 ± 4
Kawahito, 1998 (39)	6	83	83	8,3 ± 2,1
Kato, 1999 (85)	9	100	78	6,4 ± 2,2
Carroll, 2015 (22)	13	80	70	–
Hsu, 2011 (86)	75	–	64	7,1 ± 5,0
Mirabel, 2011 (87)	35	–	69	–
Gariboldi, 2010 (88)	10	–	70	12,0*
Ishida, 2013 (89)	20	–	60	–
Wu, 2012 (90)	16	–	88	–
Montero, 2018 (91)	11	72	72	–
Liao, 2017 (92)	33	–	79	3,0 ± 1,9
Lorusso, 2016 (93)	57	–	71,9	9,9 ± 19
Nakamura, 2015 (94)	22	–	59	7,5 ± 1,1
Aso, 2016 (95)	122	–	45	–

Os valores são média ± DP, a menos que indicado de outra forma. *Valor mediano.
ECMO = oxigenação por membrana extracorpórea.

embolia pulmonar. A ECMO-VA para rejeição aguda de aloenxerto cardíaco pode ser usada como uma medida preventiva, com uma taxa de sobrevida de 79% até a alta, ou como uma estratégia de resgate com taxa de sobrevivência de 14% (43). Existem relatos de uso bem-sucedido de ECMO em overdose de medicamentos ou intoxicação por medicamentos, mas estão associados à depressão grave da função cardíaca (33).

Dois grupos de pacientes, aqueles com miocardite fulminante (Tabela 4) e aqueles com embolia pulmonar com falência aguda do VD (Tabela 5), atraem especial interesse devido à excelente sobrevida relatada, e a ECMO-VA deve ser considerada nos primeiros sinais de instabilidade hemodinâmica. A revisão dos dados da ELSO sobre miocardite aguda identificou 147 pacientes com 61% de sobrevida até a alta hospitalar (44). Além disso, a ECMO está se tornando uma ferramenta universal de resgate para um comprometimento hemodinâmico agudo resultante de diversos procedimentos invasivos, como a substituição valvular aórtica transcater (45).

TABELA 5 Sobrevida com ECMO em embolia pulmonar com insuficiência aguda do VD

Primeiro autor, ano (Ref. #)	n	Sobrevida em ECMO (%)	Sobrevida para alta (%)	Dias em ECMO
Kawahito, 2000 (41)	7	57	57	2,8 ± 2,8
Maggio, 2007 (96)	21	–	62	4,7 ± 4,1
Munakata, 2012 (97)	10	–	70	2 ± 1,9
Akkanti, 2015 (42)	4	100	100	–
Aso, 2016 (95)	353	57,2	34	–
Dolmatova, 2017 (98)	5	60	60	10,4 ± 4,4
Corsi, 2017 (99)	17	59	47	4,0*
George, 2017 (100)	32	65,6	53,1	–
Pasrija, 2018 (101)	20	95	95	5,1*

Os valores são média ± DP, a menos que indicado de outra forma. *Valor mediano.
ECMO = oxigenação por membrana extracorpórea; VD = ventrículo direito.

TAQUICARDIA VENTRICULAR REFRACTÁRIA

A ECMO-VA é usada com sucesso para estabilizar hemodinamicamente pacientes com taquicardia ou fibrilação ventricular refratária, independentemente da etiologia. Ao criar um fluxo sanguíneo contínuo, a ECMO mantém a hemodinâmica adequada no cenário de taquicardia ventricular, fibrilação ventricular ou tempestade elétrica enquanto terapias antiarrítmicas são administradas ou a ablação por radiofrequência é realizada (46), ajudando os pacientes a sobreviverem, seja devido a estabilidade, a transplante cardíaco ou a implantação de um DAVE (47-52).

LOGÍSTICA DA ECMO-VA: ATIVAÇÃO, CANULAÇÃO, GERENCIAMENTO, DESMAME

A logística de colocar um paciente em ECMO pode ser dividida em várias etapas, com cada uma exigindo um conjunto específico de competências. Geralmente, os padrões de práticas históricas determinarão qual combinação de especialistas estará envolvida no cuidado do paciente com ECMO. Quase invariavelmente, porém, a equipe inclui cardiologistas intervencionistas e clínicos, especialistas em cuidados intensivos, perfusionistas, cirurgiões vasculares ou cardiorríticos, enfermeiros intensivistas especialmente treinados e, às vezes, médicos de emergência e especialistas em cuidados paliativos. Existem pelo menos 5 etapas: 1) ativação; 2) canulação; 3) gerenciamento contínuo; 4) desmame; e 5) decanulação.

ATIVAÇÃO. A ativação da equipe de ECMO requer (exceto em circunstâncias de emergência) uma discussão interativa *a priori* entre os membros da equipe para fazer uma avaliação inicial com relação à probabilidade de sucesso com base no cenário clínico, nas capacidades institucionais e nas estimativas de sobrevida. Depois que a maioria dos membros da equipe concorde em prosseguir, o médico que faz a inserção precisa coordenar o processo com os perfusionistas ou com enfermeiros do laboratório de cateterização, além de providenciar uma maca de cuidados críticos e uma unidade de transporte paramédica avançada, quando indicado.

CANULAÇÃO. A canulação é extremamente importante. Geralmente o acesso é realizado por via percutânea no laboratório de cateterismo ou à beira do leito, conforme seja necessário durante a EPCR. Em situações menos urgentes, deve ser cogitado o corte cirúrgico na sala de cirurgia. A inserção de uma cânula de grande calibre na artéria de um paciente que será sistemicamente anticoagulado deve ser feita meticulosamente para evitar hematomas, sangramentos e comprometimento vascular. Para a inserção percutânea, essa etapa é

frequentemente realizada usando a orientação por ultrassom e agulhas de micropunções. Na medida do possível, a canulação deve ser realizada por pessoas experientes, como cardiologistas intervencionistas ou cirurgiões cardiotorácicos ou vasculares.

O tamanho das cânulas necessárias para canulação arterial e venosa para assistência à ECMO-VA não é definido de modo claro pelos dados publicados atualmente. É prática comum selecionar cânulas que darão assistência completa a um determinado paciente, isto é, atingir um índice de 2,2 l/min/m².

Investigadores da Universidade de Michigan afirmam que uma queda de pressão no circuito não deve exceder 100 mmHg na cânula venosa e 300 mmHg no lado arterial. O fluxo necessário para uma assistência total em um adulto é de cerca de 60 cm³/kg/min. O comprimento e o diâmetro da cânula são importantes, e há características especiais de fluxo para cada cânula que podem ser descritas por uma curva de fluxo de pressão. Um número único, chamado de número UM (fluxo obtido com uma queda de pressão de 100 mmHg em uma cânula) pode ser usado para descrever a cânula e suas características de fluxo (53).

A canulação pode ser realizada periféricamente ou centralmente. A inserção periférica pode ser mais rápida, mas ela é conhecida por estar associada ao comprometimento vascular da extremidade inferior, devido ao grande tamanho da cânula, particularmente em mulheres pequenas ou em um estado de alta resistência vascular sistêmica (“clamped down”). Geralmente, a menos que o vaso seja pelo menos 1 a 2 mm maior que a cânula, existe o risco de isquemia do membro. Esse problema pode ser resolvido com a colocação de uma pequena bainha anterógrada ou um introdutor de 6-F a 8-F na artéria femoral superficial no momento da inserção da cânula, desviando uma pequena porção do fluxo de retorno arterial membro abaixo (cateter de reperfusão).

A abordagem mais comum é da veia femoral para a artéria femoral. Pacientes não emergentes com ECMO-VA podem ser cogitados para canulação da veia jugular interna para a artéria subclávia, denominada “modelo esportivo” (54, 55). Esse desenvolvimento na técnica mudou os locais de canulação não emergentes de ECMO-VA dos vasos da virilha (femoral) para o corpo superior (subclávia), facilitando a deambulação (56, 57). A ECMO ambulatorial é bastante importante em pacientes aguardando transplante para reduzir o risco de descondição do paciente durante essa espera (58).

As necessidades únicas do paciente podem ser satisfeitas pela adição de uma segunda cânula venosa [incluindo cânulas de duplo lúmen, como a Avalon Elite (Getinge, Gotemburgo, Suécia) ou OriGen (OriGen Bio-medical, Inc., Austin, Texas, EUA)] para conversão entre

a VV e a configuração híbrida venoarterial-venosa. A canulação venoarterial-venosa raramente é usada como uma estratégia inicial, mas pode ser usada para oxigenação adicional. Uma série de casos de Biscotti et al. (58) apresentou 21 pacientes reanimados usando a ECMO híbrida com uma taxa de sobrevida de 43%.

MANEJO. Fluxo da ECMO. Geralmente, um fluxo da ECMO de 50 a 70 ml/kg/min (~4 a 6 l/min) é suficiente para a redução acentuada completa, e a aorta é preenchida pelo fluxo retrógrado da cânula da ECMO arterial. Assim, a pós-carga enfrentada pelo VE é aumentada. Isso pode resultar na elevação da PDFVE e da pressão capilar pulmonar, levando à congestão pulmonar. Nessa situação, pode ser cogitado o uso de inotrópicos ou, em circunstâncias não usuais, uma septostomia por balão interatrial pode ser realizada para desviar o sangue do AE para o átrio direito, reduzindo as pressões elevadas do lado esquerdo. Há várias abordagens para descarga ou “ventilação” do VE revisadas na seção Fisiopatologia. Outra desvantagem do *bypass* VA é que quaisquer partículas, bolhas ou êmbolos que possam ter sido infundidos no circuito arterial ou venoso podem levar a um evento cerebral adverso. Por fim, é possível que diminuição do fluxo através dos pulmões permita o desenvolvimento de tromboes microvasculares intrapulmonares, o que pode agravar ainda mais a patologia pulmonar.

Monitoramento. Um paciente com ECMO deve, invariavelmente, ter uma linha arterial, podendo ter um cateter de artéria pulmonar. O cateter de artéria pulmonar normalmente é usado para monitorar a saturação venosa mista, embora algumas das bombas mais recentes (Maquet CardioHelp) monitorem continuamente a saturação venosa mista, podendo evitar a necessidade do cateter de artéria pulmonar. O uso do débito cardíaco de termodiluição é enganoso porque a uma quantidade desconhecida de bolus frio é atraída pelo circuito da ECMO, invalidando o cálculo. Um cateter de Swan-Ganz deve ser equipado e usado como uma ferramenta para monitorar a pressão arterial pulmonar como um substituto da distensão do VE. A medição intermitente de lactato pode ser útil.

Anticoagulação. A terapia anticoagulação sistêmica minimiza a interação de produtos sanguíneos com a superfície do circuito da ECMO. O fibrinogênio e a albumina se adsorvem aos componentes do biopolímero do circuito, resultando na agregação, ativação e consumo de plaquetas em 1 hora da iniciação da ECMO (59). O sistema de coagulação ativado pode resultar em trombocitopenia, a qual pode ser profunda, exigindo transfusões de plaquetas algumas vezes.

Tanto a escolha do agente usado para a anticoagulação quanto o monitoramento do nível de anticoagulação variam de local para local. A heparina é o anticoagulante

mais comum, usado de acordo com um protocolo padrão baseado em peso e monitorado pelo tempo de trombo-plastina ativada, com meta de 50 a 75 s (linha de base 1,5× a 2,5×) ou antifator Xa, com meta de 0,3 a 0,7 UI/ml. Alguns centros preferem seguir o tempo de coagulação ativado devido à sua disponibilidade à beira do leito e ao rápido tempo de retorno, com meta de 180 a 220 s.

Os inibidores diretos da trombina, como a bivalirudina e a argatrobana parenteral, representam alternativas à heparina em indivíduos com trombocitopenia induzida por heparina. Os pacientes anticoagulados fazendo uso desses inibidores diretos da trombina têm seu tempo de trombo-plastina parcial ativada entre 50 e 60 segundos monitorado (60).

MANEJO DO RESPIRADOR. Pacientes em ECMO podem ou não necessitar de assistência de um respirador. Como a ECMO proporciona uma troca gasosa completa, o paciente consciente em choque cardiogênico pode respirar espontaneamente enquanto estiver em ECMO, independentemente da função respiratória. No entanto, a assistência de um respirador pode ser necessária para a proteção das vias aéreas em pacientes que necessitam de sedação, como pacientes com parada cardiorrespiratória. A maioria dos centros usa a ventilação com volume corrente baixo (3 a 5 ml/kg) para reduzir o risco de lesão pulmonar. As configurações da ventilação mecânica protetora incluem uma taxa < 8/min, pressão positiva expiratória final de 10 a 15 Torr, fração inspirada de oxigênio < 0,40 e volume corrente baixo (61).

Hemodiálise em ECMO. A hemodiálise VV contínua pode ser feita por meio do circuito de ECMO ou por meio do acesso vascular separado. A hemodiálise convencional também é uma opção.

Temperatura. Um trocador de calor integral é incluído com o oxigenador de membrana. Dessa forma, um paciente pode ser aquecido ou resfriado conforme o necessário. Isso pode ocultar a presença de uma “febre” e dificultar o reconhecimento de uma infecção. Se a ECMO for usada em um paciente após um insulto anóxico, a manutenção de uma temperatura não superior a 36 °F por até 24 horas pode ser valiosa (62).

DESMAME. Se um paciente apresenta melhoria durante a ECMO, o desmame é o próximo passo. O fluxo da ECMO é diminuído em aproximadamente 1 l/h em um período de 3 a 4 h, embora também tenham sido relatadas taxas mais baixas de desmame de 0,5 l a cada 6 a 24 h (57). O paciente deve ser capaz de manter uma saturação venosa mista > 65% e uma saturação arterial > 90% com um fluxo de ECMO < 1,5 l/min. Também é possível usar uma ponte entre as cânulas arterial e venosa para separar completamente a circulação do paciente do circuito de ECMO sem decanulação. Caso haja sinais de descompensação, a ponte é fixada e o paciente volta para a assistência total

(63). A decanulação geralmente ocorre no laboratório de cateterismo ou na sala de cirurgia.

COMPLICAÇÕES

ISQUEMIA DE MEMBRO. Historicamente, a isquemia de membro ocorreu em 16,9% dos pacientes em assistência de ECMO-VA periférica. A fasciotomia devido a síndrome compartimental foi necessária em 10,3% dos pacientes, sendo que 4,7% precisaram sofrer amputação (54). Atualmente, o uso de cateteres de perfusão anterógrada profilática (como descrito anteriormente) provavelmente reduz a incidência dessa complicação. Conforme Lamb et al. (64), nenhum dos 55 pacientes com um cateter de perfusão distal apresentou isquemia de membro desenvolvida profilaticamente, em oposição a 12 de 36 pacientes sem esse cateter. Uma metanálise de Juo et al. (65) relatou uma relação de risco relativo de 0,41 com um cateter de perfusão distal, por isso ele é altamente recomendável.

Entre os sintomas típicos da isquemia de membro, estão: palidez, perda de pulsos e gangrena. A síndrome compartimental raramente é vista em membros profundamente isquêmicos antes da reperfusão, com um cateter de perfusão distal. Após a reperfusão, porém, o membro pode ficar inchado e a pele tensionada. Caso a medição das pressões do compartimento revelem um valor acima de 20 mmHg, geralmente uma fasciotomia é necessária. É preciso haver um alto índice de suspeita, assim como verificações frequentes do Doppler e um monitoramento por hora. A presença de níveis elevados de creatinina fosfoquinase ou lactato (embora não consistentemente observados) geralmente é uma descoberta tardia e muito preocupante.

ACIDENTE VASCULAR CEREBRAL. AVCs isquêmicos e hemorrágicos ocorrem em aproximadamente 4% dos pacientes com ECMO VA (66). A taxa de AVCs varia de acordo com a indicação e a técnica de canulação. O AVC isquêmico é mais comum em pacientes com ECPR, diagnosticado em 7% das ressuscitações bem-sucedidas (66). A canulação via artéria carótida triplica o risco de AVC isquêmico em comparação com a canulação da artéria femoral (67). Um em cada 4 pacientes com isquemia cerebral em ECMO-VA sobrevive, enquanto apenas 1 em cada 10 pacientes com hemorragia cerebral sobrevive (68), geralmente com déficit neurológico. A função cognitiva deve ser monitorada continuamente em pacientes com ECMO.

A causa do AVC é multifatorial, acreditando-se que eventos tromboembólicos, a anticoagulação sistêmica e a instabilidade hemodinâmica contribuam para a ocorrência. A presença do circuito gera risco secundário de partículas, bolhas ou êmbolos, que podem ser infun-

didados inadvertidamente no circuito arterial. Devido ao estado de baixo fluxo, os trombos podem se formar espontaneamente no AE e no VE.

SANGRAMENTO. Pacientes em ECMO-VA são tipicamente anticoagulados e propensos a sangramento. Para otimizar a saturação de oxigênio no sangue, a hemoglobina deve ser mantida entre 8 e 10 mg/dl. Transfusões podem ser necessárias, mas elas podem deixar sensível um potencial candidato a transplante e causar lesão pulmonar aguda relacionada à transfusão.

O sangramento é tratado por meio da redução da dosagem de heparina (ou inibidor direto da trombina) ou da interrupção da anticoagulação. Vários relatos sugerem que é seguro suspender a anticoagulação por até 3 dias em circunstâncias de intolerância à anticoagulação (69). Quando a modificação da anticoagulação é inadequada, são necessárias a protamina e, mais comumente, produtos contendo fatores; além disso, deve ser cogitada a possibilidade de trombocitopenia induzida pela heparina.

INFECÇÃO. As complicações infecciosas mais prováveis da ECMO-VA são a bacteremia e a sepse, sendo os ciclos mais longos de ECMO associados a taxas mais altas de infecção. Mais de 53% dos adultos adquirem uma infecção dentro de 14 dias após o início da ECMO. A mortalidade em pacientes com complicações infecciosas atinge 60%. A técnica estéril durante a canulação é de suma importância, especialmente devido à natureza urgente ou emergente do procedimento.

SÍNDROME DE ARLEQUIM. À medida que o VE se recupera, ele começa a ejetar o sangue que recebe da circulação pulmonar. O fluxo direto do sangue desoxigenado proveniente de pulmões nativos com falha se mistura imprevisivelmente com o fluxo retrógrado do oxigenador, o que pode resultar no suprimento inadequado de sangue oxigenado no arco aórtico, resultando em hipoxia no tronco e no cérebro. Esse fenômeno, conhecido como síndrome de arlequim, pode resultar em cianose das extremidades superiores, enquanto as extremidades inferiores aparecem em rosa. O monitoramento da saturação da síndrome de arlequim é realizado na mão direita, na testa, no nariz ou na orelha direita, e a gasometria arterial deve ser obtida a partir de uma linha arterial do braço direito.

PROGRAMA DE ECMO

A ECMO é uma terapia complexa e de alto risco que deve ser administrada em centros experientes, além de pessoal adequado e recursos suficientes para garantir que ela seja usada de modo eficaz (70, 71). Os novos programas da ECMO devem se associar a programas

maiores e mais experientes para, não apenas aprender com seu pessoal, mas obter planos de atendimento da amostra, protocolos de enfermagem e políticas. Os programas avançados de atendimento da insuficiência cardíaca que oferecem diversas formas de assistência circulatória mecânica, transplante de coração e pulmão e terapia médica avançada em centros de atendimento terciário de alto volume devem atuar como centros *hub* de ECMO. Todos os centros participantes desse sistema *hub and spoke* devem seguir estritamente os protocolos padronizados escritos que detalham os critérios para o início do suporte de ECMO, contraindicações, atendimento de seguimento e estratégias de saída.

ESTRUTURA DA EQUIPE DE ECMO

Os pacientes que necessitam da assistência de ECMO precisam do mais alto nível de terapia intensiva de uma equipe multidisciplinar. Por o início da terapia com ECMO ser sensível ao tempo, várias intervenções ocorrem simultaneamente ou em rápida sucessão até que a condição do paciente esteja estabilizada. É preciso que especialistas em ECMO façam uma triagem para confirmar os candidatos adequados, evitando uma aplicação fútil da terapia. As equipes principais de ECMO geralmente são compostas por médicos treinados e dedicados, um coordenador de ECMO, enfermeiros, técnicos em enfermagem, perfusionistas e terapeutas respiratórios (72). As diretrizes da ELSO recomendam que os diretores do programa sejam especialistas em cuidados intensivos certificados pelo conselho; especialistas cardiovasculares; cirurgiões torácicos, vasculares ou de traumas; anestesistas de cuidados cardíacos e críticos; ou outro especialista certificado pelo conselho, com treinamento e experiência em terapia com ECMO (70, 73, 74). Os especialistas em ECMO devem estar disponíveis em tempo integral para dar suporte à equipe e completar o gerenciamento diário do paciente. Em alguns hospitais, os médicos do setor de emergência se tornam parte integrante do programa, plenamente capazes de iniciar a ECMO (75).

Após a seleção apropriada do paciente e a notificação da equipe, um médico da ECMO orienta a equipe, realiza a canulação e conduz o gerenciamento multidisciplinar do paciente. Os enfermeiros intensivistas gerenciam as linhas intravenosas, administram os medicamentos, monitoram os dados de pressão e de eletrocardiograma, solicitam exames laboratoriais e documentam o atendimento. De modo específico, uma enfermeira aplica os eletrodos de desfibrilação no peito, assegura o acesso intravenoso adequado, prepara a heparina e os tipos e as referências cruzadas de glóbulos vermelhos, plasma fresco congelado e plaquetas. O perfusionista fornece cânulas, prepara e configura o circuito ECMO e inicia

a assistência após a conclusão do circuito. Depois que a assistência é iniciada, os locais da cânula são fixados com bandas, um curativo estéril é colocado e as radiografias são realizadas para verificar quais são os locais apropriados para a cânula. A assistência contínua à ECMO requer cuidados na proporção de 1:1 ou 1:2, e os médicos da ECMO devem estar nas imediações e devem fornecer gerenciamento médico contínuo.

O pessoal da equipe de ECMO varia consideravelmente entre as instituições, com volume de casos e outras responsabilidades sendo o principal determinante. A disponibilidade do médico 24 horas por dia para fazer a canulação e gerir os casos atuais requer um mínimo de três médicos, mas esse número depende muito de suas responsabilidades totais durante o serviço. Se o médico também for responsável por outros pacientes críticos ou casos pós-DAVE ou pós-transplante, a acuidade aumenta consideravelmente.

Quando as instituições iniciarem um novo programa de ECMO, deve ser conduzida uma análise completa do volume do paciente potencial, da capacidade da unidade de terapia intensiva e da equipe para assegurar que uma quantidade apropriada de apoio financeiro, recursos humanos e espaços esteja disponível. A administração do hospital deve estar comprometida com os custos iniciais do programa, mas também deve estar ciente de que, se o volume de casos superar a estimativa, serão necessários mais equipamentos e recursos humanos.

PROGRAMA DE TRANSPORTE DA ECMO

A ELSO fornece diretrizes detalhadas para o transporte de pacientes assistidos pela ECMO (2). O estabelecimento de sistemas avançados de atendimento cardíaco que são projetados com hospitais *hub* de alto volume integrados a sistemas médicos de emergência e centros *spoke* comunitários podem afetar os resultados de pacientes com insuficiência cardíaca ou pulmonar profunda (71). Uma rede regional *hub and spoke* é composta por três níveis de atendimento. Os centros de Nível 1 fornecem todos os aspectos de atendimento, incluindo transplantes, DAVs duráveis e suporte circulatório de curto prazo, incluindo a ECMO. Os centros de Nível 2 fornecem cateterismo e cirurgia cardíaca, com a capacidade para assistência mecânica de curto prazo. Os centros de Nível 3 fornecem ressuscitação, com terapia médica para estabilização (Figura 7) (76). Reunir esses centros de diferentes níveis para oferecer a assistência de ECMO requer compromisso e comunicação de diversos profissionais de saúde. Os protocolos que definem comunicações, a triagem e a seleção de pacientes, o manejo de pacientes e o processo de transporte devem estar em vigor e devem ser estritamente seguidos por todos os centros participantes para que o debate seja

minimizado durante o processo de triagem. A coordenação geral do sistema de ECMO é de responsabilidade do hospital *hub* de Nível 1.

A equipe móvel de ECMO deve estar disponível 24 horas por dia e ter uma equipe experiente e treinada em canulação e transporte de pacientes, iniciação do suporte de ECMO e manejo do paciente. Um especialista em ECMO no centro *hub* Nível 1 precisa estar disponível 24 horas por dia para consultar os centros de Nível 2 e Nível 3 com relação à escolha de cuidados para os pacientes nos centros *spoke*. Quando a ECMO é o tratamento escolhido, a implementação rápida da terapia é essencial (77). Pacientes em choque cardiogênico grave ou insuficiência pulmonar que se apresentem nos centros de Nível 3, devem ser prontamente transportados para o centro *hub*, se sua condição for suficientemente estável. Para casos instáveis, uma equipe de transporte de ECMO é enviada para iniciar a terapia no local.

Dependendo da distância e do tamanho da área metropolitana, podem ser usadas ambulâncias terrestres, helicópteros ou aeronaves de asa fixa. Idealmente, o hospital *hub* tem serviços de helicóptero prontamente disponíveis e pode fornecer o transporte oportuno. Para o transporte de um paciente estável para o hospital *hub*, uma ambulância terrestre pode ser a melhor opção se a distância não for excessiva (78). No programa regional em Oklahoma, 250 pacientes de quatro estados diferentes foram transportados por vários modos de transporte.

ÁREAS DE DESENVOLVIMENTO E DIREÇÕES FUTURAS

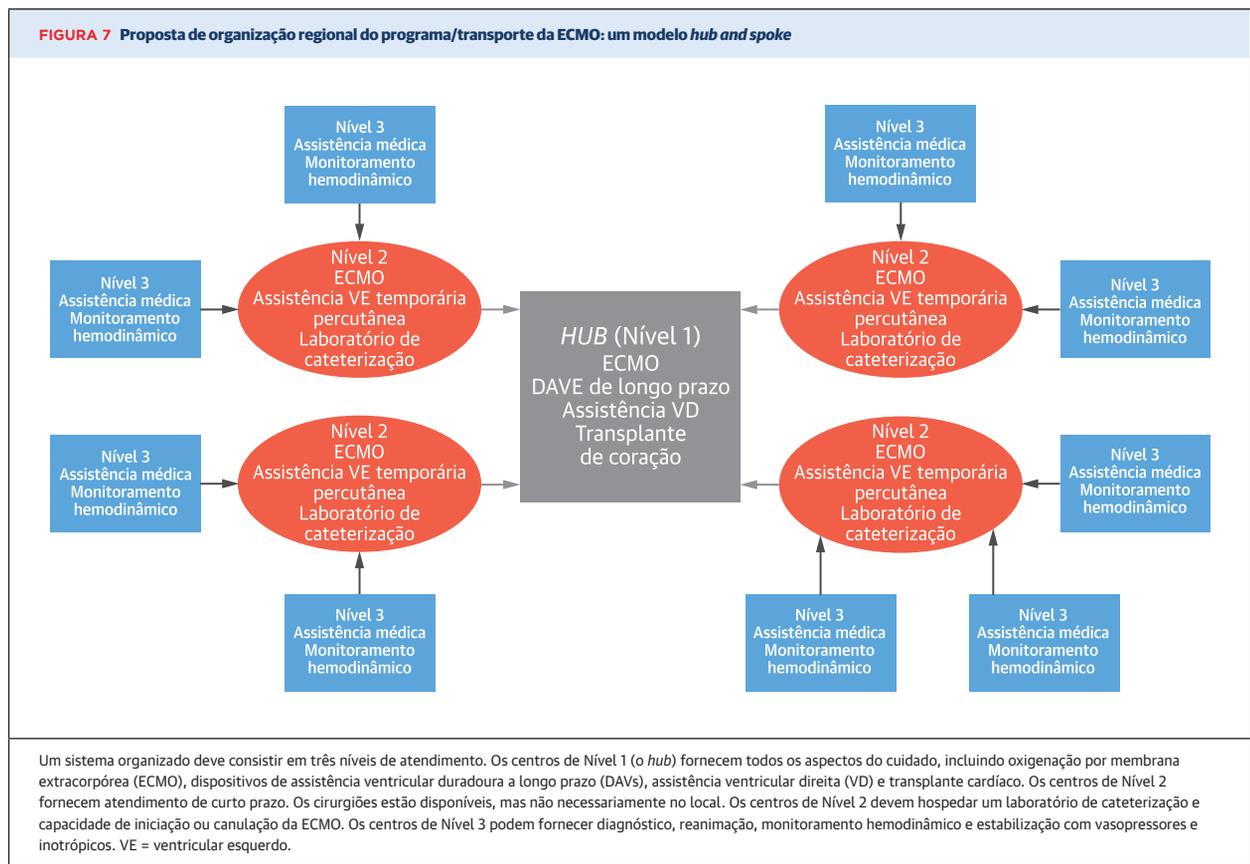
Há muitos tópicos em torno do uso da ECMO-VA em cardiologia bastante debatidos. Nós discutimos vários de grande importância.

ÉTICA

Assim como com todos os pacientes críticos com grandes chances de ter um desfecho ruim, as considerações éticas desempenham um papel importante no manuseio da ECMO. As considerações éticas dizem respeito a três pilares: 1) pacientes e suas famílias; 2) a equipe de assistência à saúde; e 3) sociedade em geral.

PACIENTE E FAMÍLIA. A ECMO é frequentemente realizada sem tempo adequado para uma discussão detalhada entre a equipe de assistência à saúde e os pacientes e suas famílias. Isso pode resultar em percepções pouco claras das metas, em compreensões ruins das limitações e casos de futilidade e situações que obrigam a retirada. Um formulário de consentimento específico à ECMO deve ser cogitado pelas instituições.

FIGURA 7 Proposta de organização regional do programa/transporte da ECMO: um modelo *hub and spoke*



Em situações em que há discordância, pode ser benéfico o envolvimento precoce da equipe de ética, da equipe de cuidados paliativos e da liderança hospitalar (79).

EQUIPE DE ASSISTÊNCIA À SAÚDE. O atendimento da ECMO pode resultar em um ônus significativo para a equipe de assistência à saúde. Não é incomum observar divergências entre os profissionais sobre metas de atendimento, duração do apoio e retirada significativa (80). Uma consulta ética deve ser considerada logo após o início da assistência de ECMO. Além disso, o encaminhamento automático à ética pode reduzir o fardo e a sensação de discordância entre os membros da equipe de assistência à saúde. As instituições que estabelecerem equipes de ECMO podem cogitar ter diretrizes de políticas para estabelecer uma estrutura para casos de discórdia entre as várias partes interessadas envolvidas. O significado do status de NR em pacientes em assistência de ECMO pode precisar de maior definição e pode variar de acordo com cada cenário. A NR entre os pacientes com ECMO-VA pode assumir as formas de não escalonamento, incluindo o uso de vasopressores ou nenhuma substituição de componentes com falha do circuito de ECMO, se necessário.

SOCIEDADE. Na ausência de resultados definitivos sobre a utilidade e a relação entre custo e benefício da ECMO, torna-se um desafio aceitar seu uso disseminado, o que pode sobrecarregar recursos limitados em certas comunidades. É possível que leis locais e estaduais precisem ser abordadas para permitir a rescisão e a retirada de pacientes da assistência conforme decisão dos médicos em caso de futilidade comprovada, cenário de ponte para lugar algum ou lesão irreversível com desacordo entre paciente e paciente substituto e as equipes clínicas. Por fim, algumas questões sensíveis precisam ser abordadas, como se hospitais sem capacidade para ECMO devem ser obrigados a transferir pacientes para centros de ECMO.

NECESSIDADE DE ALTERAR A CLASSIFICAÇÃO

A classificação das indicações para ECMO-VA é um legado do passado pediátrico, com forte ênfase na cardiopatia congênita, que representa apenas uma fração das canulações da ECMO-VA. A ELSO divide os eventos cardíacos conforme as seguintes indicações:

parada cardiorrespiratória, choque cardiogênico, miocardite aguda, cardiomiopatia congênita e miscelânea. De 1990 a 2016, de acordo com o relatório de 2017 do ELSO, 4% dos eventos cardíacos foram realizados para cardiopatia congênita, 5% para parada cardiorrespiratória, 2,2% para miocardite, 6,7% para cardiomiopatia, 24,4% para choque cardiogênico e 58% para outras indicações (2).

A miocardite aguda e a cardiomiopatia requerem ECMO somente se levarem a choque cardiogênico. Além disso, a categoria “outros” é maior do que todas as outras juntas, mostrando que o sistema de classificação não serve ao seu propósito. Para aumentar a confusão, um “evento cardíaco” não é igual à ECMO-VA, pois há alguns ECMO-VV nesta categoria. Assim, estamos propondo mudar a classificação para essa que usamos neste artigo.

PADRÕES DE TREINAMENTO PARA MEMBROS DA EQUIPE DE ECMO

O nível inicial de qualificação e avanço ou da manutenção da qualificação deve ser padronizado devido às altas demandas e habilidades específicas exigidas.

ECMO-VA PARA CHOQUE SÉPTICO. A sepse tem sido historicamente considerada uma contraindicação à ECMO. A explicação padrão é que a sepse está associada à falência múltipla de órgãos e sobrevida ruim, independentemente do suporte extracorpóreo à vida. No entanto, a falta de diferença na sobrevida entre os grupos sépticos e não sépticos indicou que a infecção não afeta adversamente os desfechos da ECMO (10). A ECMO pode ser benéfica para os pacientes sépticos selecionados com disfunção do VE relacionada à sepse.

USO DA ECMO-VA PARA UMA PRESERVAÇÃO MELHOR DE ÓRGÃOS DOADOS PARA TRANSPLANTE.

Os órgãos de transplante recuperados pela ECMO-VA apresentam uma promessa excepcional. Centros únicos demonstraram que os órgãos (rim, fígado) perfundidos pela ECMO-VA após a morte cardíaca apresentam os mesmos desfechos de transplantes de órgãos adquiridos após a morte encefálica, o atual padrão-ouro da coleta de doador póstumo (81). A ECMO mantém um órgão à temperatura corporal e oferece perfusato a um “pulmão em uma caixa” ventilado mecanicamente ou a um “coração em uma caixa” com batimento para permitir o aprimoramento e avaliação de órgãos antes do transplante com resultados promissores (82, 83).

CONCLUSÕES

A ECMO-VA é uma ferramenta poderosa que precisa ser usada de maneira criteriosa. À medida que ficamos proficientes, diversos desafios são criados pela falta de estudos prospectivos randomizados ou de um sistema de classificação útil, além da existência de áreas de incerteza. A infraestrutura adequada, o conjunto de competências adequadas dos membros da equipe e a avaliação completa de cada candidato à ECMO, com uma avaliação de indicações e contraindicações à assistência da ECMO, são etapas fundamentais para garantir desfechos ideais.

CORRESPONDÊNCIA. Dr. Maya E. Guglin, Diretor Médico do Programa de Assistência Circulatória Mecânica da Divisão de Medicina Cardiovascular, Gill Heart & Vascular Institute, University of Kentucky Albert B. Chandler Hospital, First Floor, Suite G100, 800 Rose Street, Lexington, Kentucky, EUA 40536. E-mail: maya.guglin@uky.edu. Twitter: @MGuglin.

REFERÊNCIAS

1. G.J. Peek, M. Mugford, R. Tiruvoipati, et al., CESA trial collaboration. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet*, 374 (2009), pp. 1351-1363.
2. Extracorporeal Life Support Organization. Available at: <http://www.elseo.org>, Accessed 4th Dec 2018.
3. F.H. McCarthy, K.M. McDermott, V. Kini, et al. Trends in U.S. extracorporeal membrane oxygenation use and outcomes: 2002-2012. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 27 (2015), pp. 81-88.
4. S. Rajan, M. Wissenberg, F. Folke, et al. Association of bystander cardiopulmonary resuscitation and survival according to ambulance response times after out-of-hospital cardiac arrest. *Circulation*, 134 (2016), pp. 2095-2104.
5. T.G. Shin, J.H. Choi, I.J. Jo, et al. Extracorporeal cardiopulmonary resuscitation in patients with in-hospital cardiac arrest: a comparison with conventional cardiopulmonary resuscitation. *Crit Care Med*, 39 (2011), pp. 1-7.
6. Y.S. Chen, J.W. Lin, H.Y. Yu, et al. 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*, 372 (2008), pp. 554-561.
7. N.K. Kapur, D.C. Zisa. Veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation (VA-ECMO) fails to solve the haemodynamic support equation in cardiogenic shock. *EuroIntervention*, 11 (2016), pp. 1337-1339.
8. M. Schmidt, G. Tachon, C. Devilliers, et al. Blood oxygenation and decarboxylation determinants during venovenous ECMO for respiratory failure in adults. *Intensive Care Med*, 39 (2013), pp. 838-846.
9. D. Burkhoff, I. Mirsky, H. Suga. Assessment of systolic and diastolic ventricular properties via pressure-volume analysis: a guide for clinical, translational, and basic researchers. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 289 (2005), pp. H501-H512.
10. C.S. Rihal, S.S. Naidu, M.M. Givertz, et al. 2015 SCAI/ACC/HFSA/STS clinical expert consensus statement on the use of percutaneous mechanical circulatory support devices in cardiovascular care: endorsed by the American Heart Association, the Cardiological Society of India, and Sociedad Latino Americana de Cardiología Intervención; Affirmation of Value by the Canadian Association of Interventional Cardiology-Association Canadienne de Cardiologie d'intervention. *J Am Coll Cardiol*, 65 (2015), pp. e7-e26.

11. N. Bréchet, C.E. Luyt, M. Schmidt, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support for refractory cardiovascular dysfunction during severe bacterial septic shock. *Crit Care Med*, 41 (2013), pp. 1616-1626.
12. D. Burkhoff, G. Sayer, D. Doshi, N. Uriel. Hemodynamics of mechanical circulatory support. *J Am Coll Cardiol*, 66 (2015), pp. 2663-2674.
13. D. Boulate, C.E. Luyt, M. Pozzi, et al. Acute lung injury after mechanical circulatory support implantation in patients on extracorporeal life support: an unrecognized problem. *Eur J Cardiothorac Surg*, 44 (2013), pp. 544-549, discussion 549-50.
14. S.M. Patel, J. Lipinski, S.G. Al-Kindi, et al. Simultaneous venoarterial extracorporeal membrane oxygenation and percutaneous left ventricular decompression therapy with impella is associated with improved outcomes in refractory cardiogenic shock. *ASAIO J*, 65 (2019), pp. 21-28.
15. T. Petroni, A. Harrois, J. Amour, et al. Intra-aortic balloon pump effects on macrocirculation and microcirculation in cardiogenic shock patients supported by venoarterial extracorporeal membrane oxygenation*. *Crit Care Med*, 42 (2014), pp. 2075-2082.
16. O.J. Akanni, K. Takeda, L.K. Truby, et al. EC-VAD: combined use of extracorporeal membrane oxygenation and percutaneous microaxial pump left ventricular assist device. *ASAIO J* (2018 Apr 19) [E-pub ahead of print].
17. S.K. Annamalai, L. Buiten, M.L. Esposito, et al. Acute hemodynamic effects of intra-aortic balloon counterpulsation pumps in advanced heart failure. *J Card Fail*, 23 (2017), pp. 606-614.
18. S. Aso, H. Matsui, K. Fushimi, H. Yasunaga. The effect of intraaortic balloon pumping under venoarterial extracorporeal membrane oxygenation on mortality of cardiogenic patients: an analysis using a nationwide inpatient database. *Crit Care Med*, 44 (2016), pp. 1974-1979.
19. C. Lazerri, P. Bernardo, A. Sori, et al. Venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiac arrest: a clinical challenge. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*, 2 (2013), pp. 118-126.
20. B.E. Jaski, B. Ortiz, K.R. Alla, et al. A 20-year experience with urgent percutaneous cardiopulmonary bypass for salvage of potential survivors of refractory cardiovascular collapse. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 139 (2010), pp. 753-757, e1-2.
21. T. Murashita, K. Eya, T. Miyatake, et al. Outcome of the perioperative use of percutaneous cardiopulmonary support for adult cardiac surgery: factors affecting hospital mortality. *Artif Organs*, 28 (2004), pp. 189-195.
22. B.J. Carroll, R.V. Shah, V. Murthy, et al. Clinical features and outcomes in adults with cardiogenic shock supported by extracorporeal membrane oxygenation. *Am J Cardiol*, 116 (2015), pp. 1624-1630.
23. P. Ariyaratnam, L.A. McLean, A.R. Cale, M. Loubani. Extra-corporeal membrane oxygenation for the post-cardiotomy patient. *Heart Fail Rev*, 19 (2014), pp. 717-725.
24. C. Lan, P.R. Tsai, Y.S. Chen, W.J. Ko. Prognostic factors for adult patients receiving extracorporeal membrane oxygenation as mechanical circulatory support--a 14-year experience at a medical center. *Artif Organs*, 34 (2010), pp. E59-E64.
25. A. Combes, P. Leprince, C.E. Luyt, et al. Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med*, 36 (2008), pp. 1404-1411.
26. M.S. Link, L.C. Berkow, P.J. Kudenchuk, et al. Part 7: adult advanced cardiovascular life support: 2015 American Heart Association guidelines update for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation*, 132 (2015), pp. S444-S464.
27. R.R. Thiagarajan, T.V. Brogan, M.A. Scheurer, P.C. Laussen, P.T. Rycus, S.L. Bratton. Extracorporeal membrane oxygenation to support cardiopulmonary resuscitation in adults. *Ann Thorac Surg*, 87 (2009), pp. 778-785.
28. E. Kagawa, I. Inoue, T. Kawagoe, et al. Assessment of outcomes and differences between in- and out-of-hospital cardiac arrest patients treated with cardiopulmonary resuscitation using extracorporeal life support. *Resuscitation*, 81 (2010), pp. 968-973.
29. A. Hutin, M. Abu-Habsa, B. Burns, et al. Early ECPR for out-of-hospital cardiac arrest: best practice in 2018. *Resuscitation*, 130 (2018), pp. 44-48.
30. J.C. Reynolds, A. Frisch, J.C. Rittenberger, C.W. Callaway. Duration of resuscitation efforts and functional outcome after out-of-hospital cardiac arrest: when should we change to novel therapies? *Circulation*, 128 (2013), pp. 2488-2494.
31. S.J. Kim, J.S. Jung, J.H. Park, J.S. Park, Y.S. Hong, S.W. Lee. An optimal transition time to extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for predicting good neurological outcome in patients with out-of-hospital cardiac arrest: a propensity-matched study. *Crit Care*, 18 (2014), p. 535.
32. T. Wengenmayer, S. Rombach, F. Ramshorn, et al. Influence of low-flow time on survival after extracorporeal cardiopulmonary resuscitation (eCPR). *Crit Care*, 21 (2017), p. 157.
33. N.J. Johnson, M. Acker, C.H. Hsu, et al. Extracorporeal life support as rescue strategy for out-of-hospital and emergency department cardiac arrest. *Resuscitation*, 85 (2014), pp. 1527-1532.
34. D.M. Ouweneel, J.V. Schotborgh, J. Limpens, et al. Extracorporeal life support during cardiac arrest and cardiogenic shock: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med*, 42 (2016), pp. 1922-1934.
35. F.D. Pagani, W. Lynch, F. Swaniker, et al. Extracorporeal life support to left ventricular assist device bridge to heart transplant: a strategy to optimize survival and resource utilization. *Circulation*, 100 (1999), pp. II206-II210.
36. M. Guglin, A. Burchett. VA-ECMO in cardiogenic shock in adults: indications and outcomes. *The VAD Journal*, 2 (2016), p. 8.
37. T. Aiba, H. Nonogi, T. Itoh, et al. Appropriate indications for the use of a percutaneous cardiopulmonary support system in cases with cardiogenic shock complicating acute myocardial infarction. *Jpn Circ J*, 65 (2001), pp. 145-149.
38. F.A. Shawl, M.J. Domanski, T.J. Hernandez, S. Punja. Emergency percutaneous cardiopulmonary bypass support in cardiogenic shock from acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*, 64 (1989), pp. 967-970.
39. K. Kawahito, S. Murata, T. Yasu, et al. Usefulness of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of fulminant myocarditis and circulatory collapse. *Am J Cardiol*, 82 (1998), pp. 910-911.
40. O.N. Pages, S. Aubert, A. Combes, et al. Paracorporeal pulsatile biventricular assist device versus extracorporeal membrane oxygenation-extracorporeal life support in adult fulminant myocarditis. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 137 (2009), pp. 194-197.
41. K. Kawahito, S. Murata, H. Adachi, T. Ino, K. Fuse. Resuscitation and circulatory support using extracorporeal membrane oxygenation for fulminant pulmonary embolism. *Artif Organs*, 24 (2000), pp. 427-430.
42. B. Akkanti, S. Nathan, E.N. Centeno, et al. Massive pulmonary embolism with hemodynamic compromise successfully treated with venoarterial extracorporeal membrane oxygenation. *VAD J*, 1 (2015), Article 20.
43. M.M. Kittleson, J.K. Patel, J.D. Moriguchi, et al. Heart transplant recipients supported with extracorporeal membrane oxygenation: outcomes from a single-center experience. *J Heart Lung Transplant*, 30 (2011), pp. 1250-1256.
44. J.W. Diddle, M.C. Almodovar, S.K. Rajagopal, P.T. Rycus, R.R. Thiagarajan. Extracorporeal membrane oxygenation for the support of adults with acute myocarditis. *Crit Care Med*, 43 (2015), pp. 1016-1025.
45. I. Banjac, M. Petrovic, M.H. Akay, et al. Extracorporeal membrane oxygenation as a procedural rescue strategy for transcatheter aortic valve replacement cardiac complications. *ASAIO J*, 62 (2016), pp. e1-e4.
46. F.C. Tsai, Y.C. Wang, Y.K. Huang, et al. Extracorporeal life support to terminate refractory ventricular tachycardia. *Crit Care Med*, 35 (2007), pp. 1673-1676.
47. F. Baratto, F. Pappalardo, T. Oloriz, et al. Extracorporeal membrane oxygenation for hemodynamic support of ventricular tachycardia ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 9 (2016), p. e004492.
48. A. Enriquez, J. Liang, J. Gentile, et al. Outcomes of rescue cardiopulmonary support for periprocedural acute hemodynamic decompensation in patients undergoing catheter ablation of electrical storm. *Heart Rhythm*, 15 (2018), pp. 75-80.
49. C.Y. Chen, J. Tsai, T.Y. Hsu, et al. ECMO used in a refractory ventricular tachycardia and ventricular fibrillation patient: a national case-control study. *Medicine (Baltimore)*, 95 (2016), p. e3204.
50. S.P. Bhandary, N. Joseph, J.P. Hofmann, T. Saranteas, T.J. Papadimos. Extracorporeal life support for refractory ventricular tachycardia. *Ann Transl Med*, 5 (2017), p. 73.
51. S. Le Pennec-Prigent, E. Flecher, V. Auffret, et al. Effectiveness of extracorporeal life support for patients with cardiogenic shock due to intractable arrhythmic storm. *Crit Care Med*, 45 (2017), pp. e281-e289.
52. C. Palaniswamy, M.A. Miller, V.Y. Reddy, S.R. Dukkupati. Hemodynamic support for ventricular tachycardia ablation. *Card Electrophysiol Clin*, 9 (2017), pp. 141-152.
53. M.J. Paulsen, R. Orizondo, D. Le, A. Rojas-Pena, R.H. Bartlett. A simple, standard method to characterize pressure/flow performance of vascular access cannulas. *ASAIO J*, 59 (2013), pp. 24-29.

54. R. Cheng, R. Hachamovitch, M. Kittleson, et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis of 1,866 adult patients. *Ann Thorac Surg*, 97 (2014), pp. 610-616.
55. C.H. Wang, N.K. Chou, L.B. Becker, et al. Improved outcome of extracorporeal cardiopulmonary resuscitation for out-of-hospital cardiac arrest--a comparison with that for extracorporeal rescue for in-hospital cardiac arrest. *Resuscitation*, 85 (2014), pp. 1219-1224.
56. J.P. Nolan, J. Soar, D.A. Zideman, et al., ERC Guidelines Writing Group. European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2010 Section 1. Executive summary. *Resuscitation*, 81 (2010), pp. 1219-1276.
57. D. Stub, S. Bernard, V. Pellegrino, et al. Refractory cardiac arrest treated with mechanical CPR, hypothermia, ECMO and early reperfusion (the CHEER trial). *Resuscitation*, 86 (2015), pp. 88-94.
58. M. Biscotti, A. Lee, R.C. Basner, et al. Hybrid configurations via percutaneous access for extracorporeal membrane oxygenation: a single-center experience. *ASAIO J*, 60 (2014), pp. 635-642.
59. D. Abrams, M.R. Baldwin, M. Champion, et al. Thrombocytopenia and extracorporeal membrane oxygenation in adults with acute respiratory failure: a cohort study. *Intensive Care Med*, 42 (2016), pp. 844-852.
60. B. Bridges, M. Ranucci, L. Lequier. Anticoagulation and disorders of hemostasis. T.L.L. Brogan, R. Lorusso, G. MacLaren, G. Peek (Eds.), *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book (5th ed)*, Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), Ann Arbor, MI (2017), pp. 81-92.
61. Z. Zhang, W.J. Gu, K. Chen, H. Ni. Mechanical ventilation during extracorporeal membrane oxygenation in patients with acute severe respiratory failure. *Can Respir J*, 2017 (2017), p. 1783857.
62. J. Swol, J. Belohlávek, J.W. Haft, S. Ichiba, R. Lorusso, G.J. Peek. Conditions and procedures for in-hospital extracorporeal life support (ECLS) in cardiopulmonary resuscitation (CPR) of adult patients. *Perfusion*, 31 (2016), pp. 182-188.
63. V.L. Vida, M. Lo Rito, M.A. Padalino, G. Stellin. Extracorporeal membrane oxygenation: the simplified weaning bridge. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 143 (2012), pp. e27-e28.
64. K.M. Lamb, P.J. DiMuzio, A. Johnson, et al. Arterial protocol including prophylactic distal perfusion catheter decreases limb ischemia complications in patients undergoing extracorporeal membrane oxygenation. *J Vasc Surg*, 65 (2017), pp. 1074-1079.
65. Y.Y. Juo, M. Skancke, Y. Sanaia, A. Mantha, J.C. Jimenez, P. Benharash. Efficacy of distal perfusion cannulae in preventing limb ischemia during extracorporeal membrane oxygenation: a systematic review and meta-analysis. *Artif Organs*, 41 (2017), pp. E263-E273.
66. D.M. Nasr, A.A. Rabinstein. Neurologic complications of extracorporeal membrane oxygenation. *J Clin Neurol*, 11 (2015), pp. 383-389.
67. J. Di Gennaro, R. Farris, D. McMullan. Risk of stroke by location of arterial cannulation and age in veno-arterial ECMO. *Crit Care Med*, 41 (2013), pp. A168-A169.
68. D. Camboni, C. Schmid. Neurologic and pulmonary complications in ECLS. L.L. Brogan T, R. Lorusso, G. MacLaren, G. Peek (Eds.), *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book (5 ed)*, Extracorporeal Life Support Organization (ELSO), Ann Arbor, MI (2017), pp. 575-581.
69. Y.S. Chung, D.Y. Cho, D.S. Sohn, et al. Is stopping heparin safe in patients on extracorporeal membrane oxygenation treatment? *ASAIO J*, 63 (2017), pp. 32-36.
70. A. Combes, D. Brodie, R. Bartlett, et al., International ECMO Network (ECMONet). Position paper for the organization of extracorporeal membrane oxygenation programs for acute respiratory failure in adult patients. *Am J Respir Crit Care Med*, 190 (2014), pp. 488-496.
71. S. van Diepen, J.N. Katz, N.M. Albert, et al., American Heart Association Council on Clinical Cardiology, Council on Cardiovascular and Stroke Nursing, Council on Quality of Care and Outcomes Research; and Mission: Lifeline. Contemporary management of cardiogenic shock: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 136 (2017), pp. e232-e268.
72. M. Salna, S. Chicotka, M. Biscotti 3rd, et al. Management of surge in extracorporeal membrane oxygenation transport. *Ann Thorac Surg*, 105 (2018), pp. 528-534.
73. J.T. Gutsche, W.J. Vernick. Cardiac and critical care anesthesiologists may be ideal members of the mobile ECMO team. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 30 (2016), pp. 1439-1440.
74. D.S. Lawson, A.F. Lawson, R. Walczak, et al. North American neonatal extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) devices and team roles: 2008 survey results of Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) centers. *J Extra Corpor Technol*, 40 (2008), pp. 166-174.
75. G. Nichol, R. Karmy-Jones, C. Salerno, L. Cantore, L. Becker. Systematic review of percutaneous cardiopulmonary bypass for cardiac arrest or cardiogenic shock states. *Resuscitation*, 70 (2006), pp. 381-394.
76. V. Tchanchalashvili, W. Hallinan, H.T. Massey. Call for organized statewide networks for management of acute myocardial infarction-related cardiogenic shock. *JAMA Surg*, 150 (2015), pp. 1025-1026.
77. S. Beurtheret, P. Mordant, X. Paoletti, et al. Emergency circulatory support in refractory cardiogenic shock patients in remote institutions: a pilot study (the cardiac-RESCUE program). *Eur Heart J*, 34 (2013), pp. 112-120.
78. R. Kaliyev, T. Kapyshv, A. Goncharov, T. Lesbekov, Y. Pya. Maternal and fetal recovery after severe respiratory failure: a case report of air transportation of a pregnant woman on ECMO using the CentriMag transporter system. *ASAIO J*, 61 (2015), pp. e33-e35.
79. K. Ramanathan, M.E. Cove, M.G. Caleb, K.L. Teoh, G. MacLaren. Ethical dilemmas of adult ECMO: emerging conceptual challenges. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 29 (2015), pp. 229-233.
80. A.M. Courtwright, E.M. Robinson, K. Feins, et al. Ethics committee consultation and extracorporeal membrane oxygenation. *Ann Am Thorac Soc*, 13 (2016), pp. 1553-1558.
81. D.A. Christopher, K.J. Woodside. Expanding the donor pool: organ donation after brain death for extracorporeal membrane oxygenation patients. *Crit Care Med*, 45 (2017), pp. 1790-1791.
82. A. Ardehali, F. Esmailian, M. Deng, et al. Ex vivo perfusion of donor hearts for human heart transplantation (PROCEED II): a prospective, open-label, multicentre, randomised non-inferiority trial. *Lancet*, 385 (2015), pp. 2577-2584.
83. J.M. Perez-Villares, R. Lara-Rosales, A. Fernandez-Carmona, P. Fuentes-Garcia, M. Burgos-Fuentes, B. Baquedano-Fernandez. Mobile ECMO team for controlled donation after circulatory death. *Am J Transplant*, 18 (2018), pp. 1293-1294.
84. Y. Asami, S. Yasuda, I. Morii, et al. Favourable clinical outcome in patients with cardiogenic shock due to fulminant myocarditis supported by percutaneous extracorporeal membrane oxygenation. *Eur Heart J*, 26 (2005), pp. 2185-2192.
85. S. Kato, S. Morimoto, S. Hiramitsu, M. Nomura, T. Ito, H. Hishida. Use of percutaneous cardiopulmonary support of patients with fulminant myocarditis and cardiogenic shock for improving prognosis. *Am J Cardiol*, 83 (1999), pp. 623-625, A10.
86. K.H. Hsu, N.H. Chi, H.Y. Yu, et al. Extracorporeal membranous oxygenation support for acute fulminant myocarditis: analysis of a single center's experience. *Eur J Cardiothorac Surg*, 40 (2011), pp. 682-688.
87. M. Mirabel, C.E. Luyt, P. Leprince, et al. Outcomes, long-term quality of life, and psychologic assessment of fulminant myocarditis patients rescued by mechanical circulatory support. *Crit Care Med*, 39 (2011), pp. 1029-1035.
88. V. Gariboldi, D. Grisoli, A. Tarmiz, et al. Mobile extracorporeal membrane oxygenation unit expands cardiac assist surgical programs. *Ann Thorac Surg*, 90 (2010), pp. 1548-1552.
89. K. Ishida, H. Wada, K. Sakakura, et al. Long-term follow-up on cardiac function following fulminant myocarditis requiring percutaneous extracorporeal cardiopulmonary support. *Heart Vessels*, 28 (2013), pp. 86-90.
90. M.Y. Wu, M.Y. Lee, C.C. Lin, Y.S. Chang, F.C. Tsai, P.J. Lin. Resuscitation of non-postcardiotomy cardiogenic shock or cardiac arrest with extracorporeal life support: the role of bridging to intervention. *Resuscitation*, 83 (2012), pp. 976-981.
91. S. Montero, N. Aissaoui, J.M. Tadie, et al. Fulminant giant-cell myocarditis on mechanical circulatory support: management and outcomes of a French multicentre cohort. *Int J Cardiol*, 253 (2018), pp. 105-112.
92. X. Liao, B. Li, Z. Cheng. Extracorporeal membrane oxygenation in adult patients with acute fulminant myocarditis: clinical outcomes and risk factor analysis. *Herz*, 43 (2018), pp. 728-732.
93. R. Lorusso, P. Centofanti, S. Gelsomino, et al. Venoarterial extracorporeal membrane oxygenation for acute fulminant myocarditis in adult patients: a 5-Year multi-institutional experience. *Ann Thorac Surg*, 101 (2016), pp. 919-926.
94. T. Nakamura, K. Ishida, Y. Taniguchi, et al. Prognosis of patients with fulminant myocarditis managed by peripheral venoarterial extracorporeal membranous oxygenation support: a retrospective single-center study. *J Intensive Care*, 3 (2015), p. 5.
95. S. Aso, H. Matsui, K. Fushimi, H. Yasunaga. In-hospital mortality and successful weaning

from venoarterial extracorporeal membrane oxygenation: analysis of 5,263 patients using a national inpatient database in Japan. *Crit Care*, 20 (2016), p. 80.

96. P. Maggio, M. Hemmila, J. Haft, R. Bartlett. Extracorporeal life support for massive pulmonary embolism. *J Trauma*, 62 (2007), pp. 570-576.

97. R. Munakata, T. Yamamoto, Y. Hosokawa, et al. Massive pulmonary embolism requiring extracorporeal life support treated with catheter-based interventions. *Int Heart J*, 53 (2012), pp. 370-374.

98. E.V. Dolmatova, K. Moazzami, T.P. Cocke, et al. Extracorporeal membrane oxygenation in massive pulmonary embolism. *Heart Lung*, 46 (2017), pp. 106-109.

99. F. Corsi, G. Lebreton, N. Bréchet, et al. Life-threatening massive pulmonary embolism rescued by venoarterial-extracorporeal membrane oxygenation. *Crit Care*, 21 (2017), p. 76.

100. B. George, M. Parazino, H.R. Omar, et al. A retrospective comparison of survivors and non-survivors of massive pulmonary embolism receiving veno-arterial extracorporeal membrane

oxygenation support. *Resuscitation*, 122 (2018), pp. 1-5.

101. C. Pasrija, Z. Kon. A protocolized approach to veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation for massive pulmonary embolism. *Resuscitation*, 126 (2018), p. e12.

PALAVRAS-CHAVE choque
cardiogênico, ECLS, parada
cardiorrespiratória