

Noções básicas de ECMO—Parte 2

Dr Aalekh Prasad^{1†}, Dr Sara Scialpi², Dr Sabina Popa³

¹Intensive Care Medicine Registrar, Cambridge University Hospital, UK

²Intensive Care Medicine Clinical Fellow, Cambridge University Hospital, UK

³Supervising Intensive Care Medicine Consultant, Peterborough City Hospital, UK

Edited by: Dr Julia Weinkauf, Intensivist and Anesthesiologist, Abbott Northwestern Hospital, Minneapolis, MN, USA

†Corresponding author email: aalekhprasad@gmail.com

Published 30 January 2024



PONTOS CHAVE

- Uma vez que o paciente tenha sido colocado em oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO), a revisão dos parâmetros do circuito, pressão arterial e valores laboratoriais deve ser parte da avaliação diária.
- Enquanto estiver em ECMO, podem ocorrer problemas com o circuito, bomba, troca gasosa ou membrana/oxygenador que podem requerer intervenção urgente.
- ECMO não está livre de complicações, e intercorrências como sangramento, trombose, isquemia de membro ou hipoperfusão cerebral enquanto os pacientes estão no circuito devem ser constantemente monitorados e corrigidos.
- O desmame da ECMO depende da condição clínica do paciente e deve ser feito individualmente, já que critérios padronizados não existem até o momento.

INTRODUÇÃO

A oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO) é uma técnica avançada de suporte à vida que pode substituir temporariamente a função dos pulmões e/ou coração enquanto eles se recuperam de uma doença reversível subjacente. Uma vez que o paciente tenha sido colocado em ECMO (por favor, consulte ATOTW 514), a revisão dos parâmetros do circuito, pressão arterial e valores laboratoriais deve fazer parte da avaliação diária. Além disso, complicações podem surgir da ECMO, e estas devem ser reconhecidas e tratadas para prevenir danos permanentes ao paciente.

AVALIAÇÕES DIÁRIAS PARA PACIENTES EM ECMO

Além do cuidado rotineiro da UTI, pacientes em ECMO precisam de atenção específica. Parâmetros do circuito da ECMO, pressão arterial e exames laboratoriais devem ser revisados a cada avaliação.

Parâmetros do Circuito da ECMO

Estes podem ser facilmente monitorados e ajustados na tela externa da ECMO, exceto o fluxo de gás para a membrana oxygenadora (“sweep”) e a FiO₂, que têm seus próprios medidores de fluxo separados no misturador de gás (Tabela 1).

V (Flow) 3.5 L/min	RPM 2500
P_{ven} (venous pressure, inlet pressure) -80 mm Hg	P_{art} (arterial pressure, outlet pressure) 200 mm Hg
P_{int} (post pump, premembrane pressure) 250 mm Hg	T_{art} (temperature) 36.8°C
ΔP (P_{int} - P_{art}) 50 mm Hg	SvO₂ (premembrane saturation) 73.5%

Table 1. Examples of Standard ECMO Circuit Parameters

V (Fluxo): 3,5 L/min

RPM: 2500

P_{ven} (pressão venosa, pressão de entrada): -80 mm Hg

P_{art} (pressão arterial, pressão de saída): 200 mm Hg

P_{int} (pós bomba, pressão pré-membrana): 250 mm Hg

T_{art} (temperatura): 36.8°C

ΔP (P_{int} - P_{art}): 50 mm Hg

SvO₂ (saturação pré-membrana): 73.5%

Tabela 1. Exemplos de Padronização dos Parâmetros do Circuito da ECMO

Fluxo

O fluxo sanguíneo é determinado pelas rotações por minuto: quanto maior as rotações por minuto, maior o fluxo, e mais oxigênio é ofertado.

Para pacientes em ECMO veno-venoso (V-V), a taxa de fluxo é ajustada para garantir um fornecimento adequado de oxigênio aos tecidos, baseando-se nas relações entre oferta e consumo de oxigênio (DO₂:VO₂) em vez da saturação periférica de oxigênio:

$$DO_2 = CaO_2 \times CO,$$

onde CaO₂ é o conteúdo arterial de oxigênio e CO é o débito cardíaco. CaO₂ é obtido pela seguinte fórmula:

$$CaO_2 = 1,34 \times Hb \times SaO_2 + [PaO_2 \times 0,003],$$

onde Hb é a hemoglobina, SaO₂ é a saturação de oxigênio do sangue arterial e PaO₂ é a pressão parcial de oxigênio arterial multiplicada por 0.003, que é o coeficiente de solubilidade do oxigênio no plasma, obtendo-se assim:

$$CaO_2 = 1,34 \times 15 \text{ g/dL} \times 100 + [100 \times 0,003] = 20,4 \text{ mL O}_2/\text{dL}$$

Onde 1.34 é uma constante que expressa os mililitros de oxigênio transportados por cada grama de hemoglobina, 15 g/dL é a concentração padrão de hemoglobina no homem adulto e o valor 100 corresponde ao valor esperado da saturação de O₂ (SaO₂).

O débito cardíaco pode ser calculado usando uma estimativa de Fick. Assumindo um CO normal de 5 L/min.

$$DO_2 = 20,4 \text{ mL O}_2/\text{dL} (\times 10) \times 5 \text{ L/min} = 1020 \text{ mL}$$

Para calcular o VO₂:

$$VO_2 = CO \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$$VO_2 = 5 \text{ L/min} \times (3-5 \text{ mL O}_2/\text{dL}) \times 10 = 250 \text{ mL/min}$$

Com base nas fórmulas acima, uma relação DO₂/VO₂ normal seria em torno de 4:1 (1020:250 = 4,08).

De maneira semelhante, para pacientes em ECMO veno-arterial (V-A), o fluxo pode ser aumentado se houver sinais contínuos de choque cardiogênico e diminuído a medida que o paciente mostra sinais de recuperação. Os fluxos tipicamente não devem ser reduzidos abaixo de 1 L/min em um paciente anticoagulado ou abaixo de 2 L/min em um paciente sem anticoagulação por mais do que alguns minutos, devido ao risco de formação de coágulos no circuito.

Fluxo de Gás para a Membrana Oxigenadora (“Sweep”) e FiO₂

O fluxo de gás para a membrana oxigenadora deve ser aumentado se os pacientes desenvolverem hiper carbia ou se mostrarem aumento do trabalho respiratório. Além disso, a FiO₂ pode ser aumentada em caso de hipoxemia.

“Chatter”

“Chatter” é um movimento errático de pulsação na cânula da ECMO. Isso geralmente acontece quando a bomba tenta sugar mais sangue do paciente do que está disponível. É um sinal de relativo deficit de volume ou do mau posicionamento da cânula de drenagem, causando obstrução intermitente do fluxo.

Anticoagulação

Todo paciente em ECMO deve ser anticoagulado, a menos que haja sangramento incontrolável e com risco de vida. As consequências da anticoagulação inadequada na ECMO incluem falha do oxigenador e acidente vascular cerebral isquêmico. Uma relação do tempo de tromboplastina parcial ativada (TTPa) de 1.7 a 2.3 ou um TTPa de 45-60 segundos é geralmente apropriado. O oxigenador precisa ser inspecionado visualmente diariamente, para avaliar a presença de quaisquer coágulos (manchas escuras) ou depósitos de fibrina (branco), e assim monitorar a adequada anticoagulação e ajustar conforme necessário.

Pressão Arterial

O traçado da linha arterial de um paciente em ECMO V-V deve se assemelhar a um traçado de linha arterial normal, e o paciente deve ter uma pressão de pulso. Por outro lado, em ECMO V-A, o fluxo da bomba não é pulsátil, portanto o traçado arterial perderá uma quantidade considerável de pulsatilidade.

Além disso, como o fluxo da cânula de retorno é retrógrado e compete com o débito cardíaco (CO) do paciente, ele causa um aumento significativo na pós-carga. Se o coração do paciente não pode gerar a força necessária para superar essa pós-carga, então a válvula aórtica não abrirá, o que pode levar à ausência total de pulsatilidade. Isso é comum no choque cardiogênico severo, onde apenas a pressão arterial média pode ser medida. A ausência completa de pulsatilidade deve ser investigada para determinar se o sangue está sendo ejetado pelo ventrículo esquerdo, pois o sangue represado na circulação pulmonar e no coração irá coagular, com consequências potencialmente catastróficas. Em algumas circunstâncias, o ventrículo esquerdo deve ser drenado com uma via de saída separada, ou outra via de retorno da ECMO deve ser fornecida à artéria pulmonar para restaurar o fluxo através dessa circulação.

Exames Laboratoriais

O manejo do paciente em ECMO requer exames laboratoriais frequentes, no mínimo deve incluir hemograma completo, coagulograma, gasometria arterial (troca de gases e lactato), eletrólitos, ureia sérica e creatinina. De acordo com as diretrizes mais recentes da Organização de Suporte à Vida Extracorpórea, o alvo para os níveis de hemoglobina deve variar entre 7,0 e 8,0 g/dL e transfusões devem ser consideradas abaixo desse limite. O pH deve ser mantido em uma faixa fisiológica entre 7,35 e 7,45, e o fluxo para a membrana oxigenadora deve ser ajustado para corrigir isso.

SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A solução de problemas da ECMO pode ser classificada como uma das seguintes:

Problemas de circuito (Tabela 2a)

Problemas da bomba (Tabela 2b)

Problemas de troca gasosa (Tabela 2c)

Problemas de membrana/oxigenador (Tabela 2d)

COMPLICAÇÕES DA ECMO

Além das complicações já mencionadas no texto (sangramento, trombose, acidente vascular cerebral (AVC) isquêmico), alguns cenários adicionais valem a pena mencionar.

Problema de Circuito	Complicação	Tratamento
Deslocamento da Cânula	Comprometimento do circuito, pode causar embolia aérea, sangramento significativo e redução do fluxo sanguíneo	Clampear as linhas de drenagem e retorno. Pedir ajuda. Retornar às configurações do ventilador pré-ECMO. Pode ser necessária a reinserção da cânula.
Trombose do Circuito	Coágulos na tubulação podem aumentar a resistência ao fluxo, o que pode prejudicar a troca gasosa e levar à falha do oxigenador.	Considerar transfusão maciça. Anticoagulação adequada, troca do oxigenador
“Chattering”	Pode causar oclusão da cânula de drenagem e hemólise	Reduzir RPM, administrar fluidos e avaliar a posição da cânula.
Embolia aérea	Pode causar falha imediata da bomba do oxigenador ou do circuito.	Clampear as linhas de drenagem e retorno. Pedir ajuda. Retornar às configurações do ventilador pré-ECMO. Pode ser necessária a troca do oxigenador ou do circuito inteiro. Posicionar em céfalodeclive, localizar a fonte para prevenir mais entrada de ar. Se a fonte for venosa, posicionar o paciente em decúbito lateral esquerdo e aspirar pela cânula de drenagem.

Tabela 2a. Problemas de Circuito e Tratamentos. ECMO, oxigenação por membrana extracorpórea; RPM, rotações por minuto

Problemas da Bomba	Causas	Tratamento
Fluxo Inadequado	Torção, mal posicionamento da cânula, retorno venoso diminuído e trombose do circuito	Inspeção do circuito, avaliação do paciente e tratar a causa
Falha da Bomba	Trombose do circuito ou embolia aérea	Uma bomba de reserva deve estar prontamente disponível

Tabela 2b. Problemas da Bomba e Tratamentos

Lesão Vascular

Isso é comum no momento da canulação inicial ou quando os pacientes são descanulados. A incidência é de 7% a 14% e inclui lesões como dissecação, pseudoaneurisma e, às vezes, sangramento na cavidade retroperitoneal. Hematomas de grande volume são mais comuns nesses pacientes devido à necessidade de anticoagulação sistêmica durante a ECMO.

Isquemia de Membro

O risco de isquemia do membro aumenta na ECMO V-A periférica, quando cânulas de artéria femoral grandes (> 20 Fr) são inseridas (especialmente em canulações difíceis) na vigência de instabilidade hemodinâmica, e em mulheres jovens que já apresentam doença arterial periférica. A apresentação clínica pode variar de dor e palidez a gangrena. Como uma opção adicional, uma cânula de perfusão menor pode ser conectada à cânula de saída para prevenir a isquemia do membro.

Embolia Aérea no Circuito

As causas mais comuns de embolia aérea no circuito são através do acesso venoso periférico ou pelo próprio circuito (por exemplo, se a membrana se romper ou quando os conectores entre as tubulações estão soltos). No evento de embolia aérea dentro do circuito, medidas devem ser tomadas emergencialmente. As opções incluem clampear o circuito, fornecer suporte hemodinâmico e ventilatório máximo (FiO₂ 100% para permitir a reabsorção

de bolhas de ar) e colocar o paciente na posição de Trendelenburg.

Aparência de Arlequim

Essa condição, também conhecida como síndrome norte-sul, representa uma complicação extrema da ECMO V-A, quando a canulação ocorre periféricamente (femoral) e a função cardíaca começa a se recuperar. O nome da síndrome deriva de sua aparência específica, com a cabeça e membros superiores do paciente tornando-se cianóticos, enquanto a metade inferior do corpo parece normalmente perfundida. A síndrome de Arlequim ocorre porque duas circulações paralelas coexistem: uma do sistema venoso, através da ECMO e de volta à artéria femoral do paciente (desviando do coração e dos pulmões do paciente), a segunda gerada pela função cardíaca recuperada do paciente. As duas circulações (sangue oxigenado pela ECMO e sangue cuja oxigenação depende da função pulmonar do paciente) irão se misturar na aorta. A interface entre os fluxos anterógrado (do paciente) e retrógrado (ECMO) irá variar entre o arco aórtico e a aorta abdominal, dependendo do grau de recuperação da função cardíaca do paciente. Se, apesar da melhora na função cardíaca, a troca gasosa nos pulmões permanecer insuficiente, o sangue da circulação do paciente estará desoxigenado. Isso causará hipóxia dos membros superiores (acima do ponto de mistura), enquanto o resto do corpo (abaixo do ponto de mistura) receberá oxigenação normal (dependendo da função da ECMO). A síndrome de Arlequim pode ser tratada realocando a cânula arterial, convertendo o circuito para ECMO V-A central ou até mesmo ECMO veno-arterio-venoso (VA-V). Nesta última modalidade, uma terceira cânula venosa é colocada, por exemplo, na veia jugular interna, e conectada em forma de “Y” para aliviar parcialmente a cânula de retorno arterial femoral.

Problema de Troca Gasosa	Causas	Tratamento
Hipoxemia (crítica quando SpO2 < 85%)	ECMO V-V: baixa Hb, recirculação (ver abaixo), shunt de circuito (baixa relação fluxo sanguíneo/CO do paciente [< 60%])	Considerar transfusão. Descartar recirculação. Aumentar taxa de fluxo sanguíneo (pode ser limitado por “chatter”). Aumentar FdO2. Reduzir débito cardíaco do paciente com sedação, analgesia ou beta-bloqueadores. Descartar mau funcionamento do oxigenador.
	ECMO V-A: troca gasosa pulmonar insuficiente (síndrome de Arlequim em canulação periférica)	Melhorar troca gasosa. Aumentar fluxo sanguíneo do ECMO para diminuir fluxo sanguíneo pulmonar. Considerar mudança de V-A para V-A-V.
Hipercapnia/acidose	Aumento da produção de CO2 (por exemplo, febre), redução da eliminação de CO2 (piora das funções pulmonar do paciente ou da membrana), compensação renal prejudicada	Aumentar o fluxo do gás para a membrana oxigenadora e corrigir a causa subjacente (controle de febre, considerar terapia de substituição renal).
Recirculação (tolerar até 25%)	As pontas das cânulas estão muito próximas (por exemplo, ECMO V-V). A cânula de drenagem aspira sangue oxigenado da cânula de retorno, reduzindo a eficácia do circuito.	Reposicionar ou reconfigurar cânulas. Reduzir fluxo, se o paciente tolerar.

Tabela 2c. Problemas de Troca Gasosa e Tratamentos. CO (débito cardíaco); ECMO (oxigenação por membrana extracorpórea); FdO2 (Fração de Oxigênio Entregue); Hb (hemoglobina); SpO2 (saturação de oxigênio); V-A (veno-arterial); V-V (veno-venoso); VV-A (híbrido veno-arterial e veno-venoso)

Problema da Membrana	Causas	Tratamento
Aumento da pressão transmembrana (ΔP no console)	Trombose da membrana com aumento da resistência e, portanto, piora da função do oxigenador	Pode requerer troca do oxigenador.
Falha do Oxigenador	Embolia aérea, trombose do circuito ou qualquer outro insulto mecânico	Trocar oxigenador e
Síndrome Pós-Canulação	Inflamação semelhante a SIRS conforme o sangue reage ao oxigenador nas 24-48 horas iniciais, semelhante ao observado em circulação extracorpórea	monitorar. Vasopressores, considerar corticoides. Considerar azul de metileno em caso de vasoplegia severa.

Tabela 2d. Problemas da Membrana/Oxigenador e Tratamentos

DESMAME DA ECMO

As decisões sobre o desmame são tomadas caso a caso e dependem do julgamento do clínico. Todos os pacientes devem ser avaliados diariamente quanto à possibilidade de desmame. Vários protocolos para retirada da ECMO foram publicados, mas não há critérios bem definidos. Em geral, para a ECMO V-V, o desmame pode ser iniciado quando o processo patológico pulmonar se resolveu ao ponto dos pulmões do paciente serem capazes de fornecer oxigenação e ventilação adequadas. O desempenho dos pulmões pode ser testado com as cânulas ainda inseridas para prever como o paciente se comportará após a decanulação. Um teste fora da ECMO V-V é razoável quando o pulmão começa a fornecer 70% a 80% da oxigenação sistêmica, a complacência pulmonar e a resistência das vias aéreas permitem ventilação a pressões razoáveis, a FiO_2 fornecida pelo ventilador é menor que 50% a 60% e a pressão parcial do CO_2 arterial pode ser mantida em um nível próximo ao normal.

Quando o paciente é considerado apto para o desmame, o fluxo de gás para a membrana oxigenadora é reduzido a zero e o paciente é observado em relação aos sinais de insuficiência respiratória. Normalmente, os pacientes são mantidos com o fluxo, para a membrana oxigenadora, desligado por pelo menos 24 horas antes de se tomar a decisão de decanular.

A retirada da ECMO V-A é um pouco mais complexa do que a ECMO V-V e exige que a causa do choque cardiogênico tenha sido resolvida, associada com outros critérios. Dois dos mais usados são:

1. Pressão arterial média (PAM) > 70 mm Hg com ou sem o suporte de dispositivos mecânicos (balão intra-aórtico (BIA), dispositivo de assistência ventricular esquerda (DAVE)) e com doses baixas de vasopressores e inotrópicos contínuos; frações de ejeção do ventrículo esquerdo (FEVE) > 25% a 30%; função normal do ventrículo direito.
2. Saturação de oxigênio > 95% e saturação de oxigênio venoso > 70%; melhora do raio-X de tórax, ventilação normal, sem edema pulmonar.

Uma vez atendidos os critérios de desmame da ECMO V-A, o suporte da bomba é reduzido lentamente, o que permitirá ao paciente desenvolver mais pré-carga. O fluxo sanguíneo é diminuído em 0,5 a 1,0 L/min, mas nunca abaixo de 2,0 L/min, pois isso pode causar coagulação no circuito em uma fase muito delicada. Cada diminuição deve ser mantida por pelo menos 60 minutos. Durante a tentativa de desmame, a FEVE deve ser monitorada, assim como o suporte ventilatório, pois o fluxo sanguíneo pulmonar também aumentará. Um bom indicador de capacidade para o desmame completo é um índice cardíaco normal (IC) > 2,5 L/min com uma FEVE > 25%. Sinais de descompensação nesta fase podem

ser débito cardíaco inadequado, instabilidade hemodinâmica (PAM menor que 60 mm Hg com aumento dos vasopressores), perfusão tecidual inadequada com aumento nos níveis de lactato ou deterioração da função ventricular em ecocardiografia transtorácica ou transesofágica. Esses sinais devem levar os clínicos a reiniciar o suporte completo ao paciente e a monitorar a recuperação.

DECANULAÇÃO

Antes da decanulação, a infusão de heparina deve ser interrompida por pelo menos 30 a 60 minutos (ou suspensão de qualquer outra anticoagulação sistêmica pelo tempo apropriado). Além disso, alguns autores sugerem administrar uma dose adicional de inotrópicos após clampar as cânulas para ajudar na manutenção do débito cardíaco. As cânulas periféricas inseridas percutaneamente podem então ser removidas no leito, devendo-se pressionar os locais de punção. Cânulas inseridas cirurgicamente e centrais precisarão ser removidas no centro cirúrgico, com sutura adicional ou reparo dos vasos sanguíneos arteriais quando necessário. Atenção especial deve ser dada à decanulação venosa, pois pode ocorrer entrada de ar no sistema venoso do paciente através dos orifícios laterais das cânulas. Isso pode ser facilmente prevenido realizando uma manobra de Valsalva no ventilador, ou administrando agentes bloqueadores neuromusculares de curta duração. Após a decanulação, a perfusão dos órgãos deve ser monitorada de perto para qualquer sinal de descompensação. Finalmente, uma resposta inflamatória intensa, semelhante a SIRS (síndrome da resposta inflamatória sistêmica), pode ser observada após a decanulação (além de logo após a inserção das cânulas). Isso é conhecido como SIRS pós-ECMO e não é incomum (60%), durando até uma semana após a decanulação. A distinção entre SIRS pós-ECMO e infecção sistêmica é muito difícil, portanto, para melhor desfecho, deve-se tratar como sendo infecção até confirmação do diagnóstico.

RESUMO

A ECMO é uma técnica avançada de suporte de vida que pode substituir temporariamente a função dos pulmões e/ou coração enquanto eles se recuperam de patologias subjacentes reversíveis. Além dos cuidados de rotina em unidade de terapia intensiva, os pacientes em ECMO precisam de atenção específica para os parâmetros do circuito, valores de pressão arterial e exames laboratoriais. O próprio circuito da ECMO também pode requerer solução de problemas ou manutenção quando certos cenários surgem. A ECMO está associada a complicações como sangramento, trombose, AVC isquêmico e alguns cenários específicos, como a aparência de Arlequin. Todos os pacientes devem ser avaliados diariamente quanto à possibilidade de desmame e, uma vez aptos, deve-se tentar a decanulação.

REFERENCES

1. Mossadegh C. Monitoring the ECMO. *Nurs Care ECMO*. 2016;Nov 10:45-70.
 2. Eckman PM, Katz JN, El Banayosy A, Bohula EA, Sun B, van Diepen S. Venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation for cardiogenic shock: an introduction for the busy clinician. *Circulation*. 2019;140(24):2019-2037.
 3. Rupprecht L, Lenz D, Philipp A, Lubnow M, Schmid C. Pitfalls in percutaneous ECMO cannulation. *Heart Lung Vessel*. 2015;7(4):320-326.
 4. Singh G, Nahiriak S, Arora R, et al. Transfusion thresholds for adult respiratory extracorporeal life support: an expert consensus document. *Can J Cardiol*. 2020;36(9):1550-1553.
 5. Al Hanshi SAM, Al Othmani F. A case study of Harlequin syndrome in VA-ECMO. *Qatar Med J*. 2017;2017(1):39.
 6. Pillai AK, Bhatti Z, Bosserman AJ, et al. Management of vascular complications of extra-corporeal membrane oxygenation. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2018;8(3):372-377.
 7. Bishop MA, Moore A. *Extracorporeal Membrane Oxygenation Weaning*. Treasure Island, FL: StatPearls Publishing; 2023.
 8. Thangappan K, Cavarocchi NC, Baram M, Thoma B, Hirose H. Systemic inflammatory response syndrome (SIRS) after extracorporeal membrane oxygenation (ECMO): incidence, risks and survivals. *Heart Lung*. 2016;45(5):449-453.
 9. Kirupaharan P, Blazoski C, Hilton R, Feduska E, Leong R, Baram M. Systemic inflammatory response syndrome after extracorporeal membrane oxygenation decannulation in COVID-19 patients. *Cureus*. 2023;15(3):e36436.
-