

# Noções Básicas de ECMO: Parte 1

Dr Aalekh Prasad<sup>1†</sup>, Dr Sara Scialpi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Intensive Care Medicine Registrar, Cambridge University Hospital, UK

<sup>2</sup>Intensive Care Medicine Clinical Fellow, Cambridge University Hospital, UK

Consultor supervisor: Dr Sabina Popa, Intensive Care Medicine Consultant, Peterborough City Hospital, UK

Editado por: Dr Julia Weinkauff, Intensivist and Anesthesiologist, Abbott Northwestern Hospital, Minneapolis, MN, USA

† Email do autor correspondente: [aalekhprasad@gmail.com](mailto:aalekhprasad@gmail.com)

## PONTOS CHAVE

- A oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO) é uma técnica avançada de suporte à vida que pode substituir temporariamente a função dos pulmões e/ou do coração enquanto eles se recuperam de uma patologia reversível subjacente.
- A seleção do paciente é fundamental para otimizar as chances de bons resultados.
- Existem 2 configurações distintas do circuito ECMO: ECMO V-A e ECMO V-V.
- As indicações para ECMO podem ser resumidas em 2 categorias: terapia de resgate e terapia de ponte.
- As únicas contraindicações absolutas para ECMO são condições comórbidas nas quais a recuperação, decanulação e transplante de órgãos não são viáveis e a recusa do paciente.

## INTRODUÇÃO

A oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO) é uma circulação artificial externa na qual o sangue venoso do paciente passa por um circuito e é enriquecido com oxigênio enquanto o dióxido de carbono é removido. O sangue então reentra na circulação do paciente via sistema venoso (veno-veno, V-V ECMO) ou sistema arterial (veno-arterial, V-A ECMO). Estas são 2 configurações distintas do circuito ECMO, cada uma oferecendo diferentes suportes fisiológicos dependendo da condição subjacente.

## V-V ECMO

Para V-V ECMO, a principal estratégia terapêutica envolve apoiar temporariamente pacientes com insuficiência respiratória durante a recuperação quando, apesar do manejo ventilatório convencional máximo, eles permanecem hipoxêmicos ou hipercárbicos. As três razões mais comuns para isso incluem síndrome do desconforto respiratório agudo severo (SDRA), exacerbações da doença pulmonar obstrutiva crônica e como uma ponte para o transplante de pulmão.<sup>1</sup> Nesse contexto, o V-V ECMO fornece suporte pulmonar completo, oxigenando e removendo dióxido de carbono da circulação enquanto também limita o desenvolvimento de lesões pulmonares induzidas pelo ventilador<sup>2</sup>, como distensão alveolar, atelectrauma, atelectasia por reabsorção e sobredistensão.<sup>3</sup>

## V-A ECMO

A indicação geral para V-A ECMO é insuficiência cardiocirculatória (com ou sem envolvimento respiratório), com choque cardiogênico refratário. Isso inclui infarto agudo do miocárdio (mais de 80% desses casos), miocardite fulminante, cor pulmonale agudo, tromboembolismo pulmonar maciço tromboembolismo pulmonar, falha do enxerto do transplante primário, choque cardiogênico pós-cardiotomia, exacerbação aguda da insuficiência cardíaca crônica, ingestões tóxicas e arritmias refratárias.<sup>4</sup> O V-A ECMO fornece suporte hemodinâmico e respiratório (circulação extracorpórea completa) à medida que o circuito desvia tanto o coração quanto os pulmões, e o sangue oxigenado do circuito mistura-se com o sangue arterial, perfundindo diretamente os órgãos distais.<sup>5</sup>

## INDICAÇÕES PARA ECMO

As indicações para ECMO podem ser resumidas em 2 categorias: terapia de resgate (para ganhar tempo e permitir a recuperação do órgão suportado) e terapia de ponte.

Terapia de resgate com base no suporte de órgão fornecido<sup>5</sup>

1. Sistema cardiocirculatório (V-A ECMO)
2. Sistema respiratório (V-V ECMO, V-A ECMO)
3. Ambos (V-A ECMO)

Como ponte para

1. Recuperação, quando a patologia subjacente é reversível (como SDRA grave)
2. Transplante (coração, pulmões) ou enquanto aguarda decisão de transplante
3. Terapia avançada, por exemplo, dispositivos de assistência ventricular esquerda permanentes

O suporte fornecido pelo V-V e V-A ECMO é temporário, como uma ponte para recuperação ou para permitir a transição para outras terapias de longo prazo (dispositivos de assistência cirúrgica ou transplante de órgãos), mas se o paciente apresenta uma disfunção de órgão grave e irreversível, então deve ser evitado.

## Indicações para V-V ECMO

V-V ECMO deve ser considerado em pacientes com função cardíaca preservada que tenham 1 ou mais dos seguintes:

- Insuficiência respiratória hipoxêmica associada a uma alta taxa de mortalidade: o escore de Murray >3 (CESAR; Tabela 1) ou PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> <80 mm Hg (EOLIA) foram utilizados, mas até o momento, não há dados fortes indicando a superioridade de qualquer um destes<sup>6</sup>

- Insuficiência respiratória hipercápnica: hipercapnia refratária causando acidose apesar da ventilação mecânica ótima e manejo médico
- Pressões de platô persistentemente elevadas apesar da ventilação mecânica ótima e manejo médico

#### Indicações para VA-ECMO

Além das condições clínicas mencionadas acima, o V-A ECMO é tipicamente iniciado em choque cardiogênico quando o débito cardíaco (CO) permanece baixo (índice cardíaco [CI] <2 L/mi/m<sup>2</sup>) apesar dos terapêuticos ótimos. Por exemplo, em um paciente com CI baixo e função pobre do ventrículo esquerdo (LV) e/ou direito (RV) apesar do volume intravascular adequado, agentes inotrópicos em alta dose e balão intra-aórtico de contrapulsção (IABP) (5).

#### Ressuscitação Cardiopulmonar Extracorpórea (ECPR)

Nos últimos anos, mais atenção foi dada ao ECPR, a iniciação emergencial do V-A ECMO em um paciente que sofre uma parada cardíaca e na qual a RCP convencional não alcançou o retorno da circulação espontânea. O ECPR pode ser iniciado naqueles pacientes em que se acredita que a condição cardíaca subjacente seja reversível. Isso permite uma perfusão adequada dos órgãos terminais (incluindo o cérebro) enquanto outros esforços ressuscitativos são continuados.<sup>7</sup> Evidências da literatura mostraram um benefício de sobrevivência, tanto a curto quanto a longo prazo, para pacientes que recebem ECPR quando comparado com RCP convencional para parada cardíaca presenciada dentro do hospital e de origem cardíaca.<sup>8,9</sup>

| Parâmetro                            | 0            | 1               | 2               | 3               | 4            |
|--------------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
| PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>   | ≥40 kPa      | 30-40 kPa       | 23-30 kPa       | 13-23 kPa       | <13 kPa      |
| (100% de oxigênio)                   | (>300 mm Hg) | (225-299 mm Hg) | (175-224 mm Hg) | (100-174 mm Hg) | (<100 mm Hg) |
| CXR (quadrantes infiltrados)         | Normal       | 1               | 2               | 3               | 4            |
| PEEP (cmH <sub>2</sub> O)            | <5           | 6-8             | 9-11            | 12-14           | >15          |
| Complacência (mL/cmH <sub>2</sub> O) | >80          | 60-79           | 40-59           | 20-39           | <19          |

Tabela 1. Escore de Murray. O escore é usado para ajudar a selecionar pacientes para oxigenação por membrana extracorpórea (ECMO). Os pacientes recebem a pontuação mais alta com base no parâmetro mais grave em cada linha, e o escore é calculado somando os escores individuais e dividindo por quatro (número de parâmetros)

#### CONTRAINDICAÇÕES PARA ECMO

Existem algumas contraindicações para a iniciação do suporte ECMO, de acordo com as diretrizes da ELSO de 2021 e a literatura mais recente. 6

Absolutas

1. Condições comórbidas críticas nas quais a recuperação, decanulação e transplante de órgãos não são viáveis; estas podem variar desde câncer metastático avançado até patologia intracerebral fatal (herniação cerebral, hemorragia intracerebral grave ou hipertensão intracraniana intratável) e dano destrutivo irreversível ao parênquima pulmonar, onde a cicatrização pulmonar não parece viável após a decanulação<sup>10</sup>
2. Recusa do paciente

#### Relativas

1. Ventilação mecânica em ajustes altos ( $FiO_2 > 90\%$ ,  $P_{plat} > 30$  cmH<sub>2</sub>O) por 7 dias ou mais
2. Patologia do sistema nervoso central (hemorragia, lesão irreversível e incapacitante)
3. Imunossupressão farmacológica importante (contagem absoluta de neutrófilos  $< 400/mm^3$ )
4. Qualquer contraindicação à anticoagulação ou sangramento sistêmico
5. Idade avançada (risco aumentado de mortalidade, mas sem um limiar estabelecido; alguns autores recomendam uma escolha individual caso a caso quando os pacientes têm mais de 70 anos<sup>11</sup>)
6. Dissecção aórtica ou doença arterial periférica grave
7. Quando a causa do choque cardiogênico poderia ser rapidamente corrigida sem suporte ECMO (aplica-se a V-A ECMO<sup>4</sup>)

#### O CIRCUITO ECMO

O circuito ECMO consiste em uma cânula de acesso no sistema venoso (cânula de drenagem), uma bomba centrífuga, uma unidade de troca de gases sanguíneos e, finalmente, uma cânula de retorno que pode ser colocada no sistema venoso (V-V ECMO) ou no sistema arterial (V-A ECMO) (Figura).

A pressão de sucção negativa (pressão de entrada, que não deve exceder -300 mm Hg) na cânula de drenagem permite que o sangue flua do sistema venoso do paciente para a bomba, onde a força centrífuga então move o sangue para o oxigenador. A partir daqui uma pressão positiva consistente (pressão de saída, que não deve exceder 400 mm Hg) nas cânulas de retorno permite que o sangue do oxigenador reentre na circulação do paciente.

Portanto, o circuito em si pode ser dividido funcionalmente em três membros<sup>12</sup>:

1. O membro de drenagem (da cânula de drenagem para a bomba)
2. O membro entre a saída da bomba e o lado "venoso" do oxigenador
3. O membro de retorno, estendendo-se do lado "arterial" do oxigenador até a cânula de retorno

Embora as duas configurações sejam ligeiramente diferentes, os princípios principais permanecem os mesmos (Tabela 2). No V-V ECMO, o sangue desoxigenado é drenado de uma veia central grande e o sangue oxigenado é retornado ao átrio direito ou a outra veia central grande. No V-A ECMO, o sangue venoso é drenado de uma veia central grande e é retornado à circulação arterial centralmente (via aorta ascendente) ou periféricamente (via artéria femoral e eventualmente para a aorta descendente).

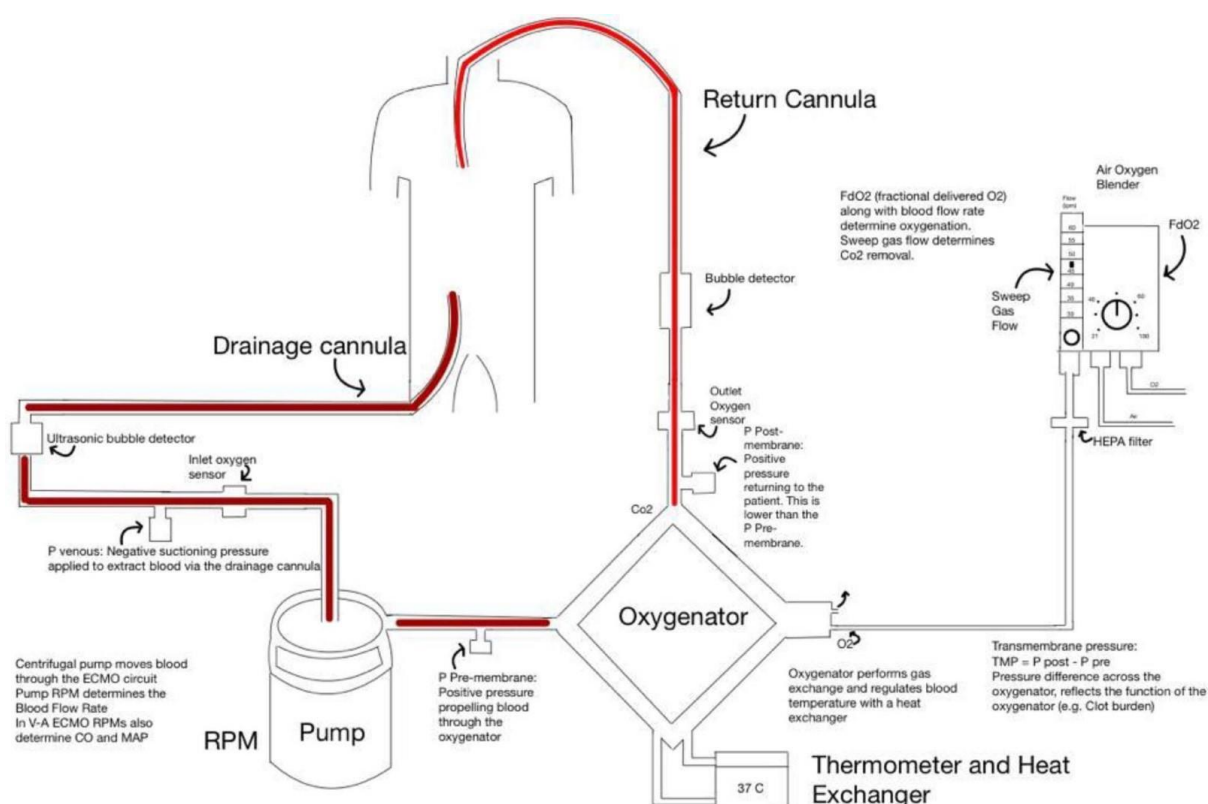
#### Componentes do Circuito

## Cânulas

As cânulas modernas são fortes e de parede fina e feitas de poliuretano de silicone biocompatível (que é maleável à temperatura corporal, facilitando a inserção). Às vezes, são revestidas com polímeros adicionais para reduzir a ativação de plaquetas e o desencadeamento da cascata inflamatória. No entanto, até o momento, nenhum revestimento provou eliminar o conhecido risco de sangramento e coagulopatia associado à exposição ao circuito. As cânulas também são reforçadas com aço inoxidável para reduzir o risco de dobramento e colapso (com subsequente interrupção do fluxo ECMO) às vezes causado por altas pressões de sucção.<sup>13</sup>

A cânula de drenagem permite que o sangue flua através da bomba para o oxigenador. Elas são tipicamente de 23 a 29 F (cerca de 7,5 a 10 mm de diâmetro) e são configuradas com vários orifícios nas laterais para otimizar a sucção do sangue da circulação. Normalmente, são posicionadas em grandes veias centrais, como a veia cava inferior via veia femoral ou a veia cava superior (SVC). A ponta deve ser posicionada na fronteira entre o átrio direito e a SVC para minimizar o risco de recirculação no V-V ECMO.

A cânula de retorno retorna o sangue do oxigenador para o paciente. Elas são tipicamente de 15 a 19 F para V-A ECMO ou 21 a 23 F para V-V ECMO. Elas são posicionadas no átrio direito (para V-V ECMO) ou na artéria femoral com a ponta na artéria ilíaca ou na aorta abdominal distal (para V-A ECMO).



|  | V-V ECMO   | V-A ECMO  |
|--|--|---|
| Indicação  | Insuficiência respiratória isolada com função cardíaca adequada. | Choque cardiogênico de causa potencialmente reversível com ou sem falha respiratória aguda.                     |
| Circuito   | Conectado ao coração e pulmões 'em série'.                       | Desvia ambos coração e pulmões, criando um 'sistema paralelo'   |
| Drenagem   | Veia central grande  | Veia central grande   |
| Oxigenação/Sangue é oxigenado através da membrana                        |  |   |
| Retorno  | Veia central grande. Átrio direito                               | Qualquer grande artéria como a aorta ascendente.<br><br>Circuito periférico. Artéria femoral, aorta descendente |
| Pulsatilidade do fluxo   | Preservada (coração nativo).                                     | Fluxo contínuo; a pulsatilidade é devido à função cardíaca residual.  |
| Ambas configurações podem ser usadas como resgate e/ou terapia de ponte. |  |   |

Tabela 2. Diferenças entre V-V e V-A ECMO

## Bomba

Bombas de rolete, que geram sucção direta no cateter de entrada, têm sido usadas por décadas, mas agora foram substituídas por bombas centrífugas modernas.<sup>14</sup> Estas últimas parecem ser menos destrutivas dos componentes sanguíneos, com ativação reduzida de plaquetas e resposta inflamatória reduzida.<sup>15</sup> Bombas centrífugas usam um sistema rotativo de lâminas (chamadas de impelidores) que são acopladas magneticamente a um motor. As lâminas giram para criar um vórtice, resultando em uma diferença de pressão para conduzir o fluxo sanguíneo. As velocidades típicas da bomba estão entre 2000 e 6000 rotações por minuto (RPM), e a taxa na qual o sangue viaja através da bomba é o fluxo (L/min). Uma interface externa exibe a velocidade, fluxo, pressões de entrada e saída e a diferença delas (Dp). As configurações da bomba também podem ser ajustadas usando esta interface.

Um aumento excessivo no Dp (Pin–Pout) quando todas as outras variáveis estão estáveis pode indicar deterioração da membrana (ver abaixo), o que poderia afetar negativamente a troca de gases, portanto, exigindo a substituição do componente.

Os requisitos do fluxo sanguíneo extracorpóreo variam com base na patologia subjacente:

- 3 L/m<sup>2</sup>/min para suporte cardíaco (V-A ECMO)
- 60-80 mL/kg/min para insuficiência respiratória (V-V ou V-A ECMO)<sup>16</sup>

Em geral, cerca de 3 a 4 L/min é indicado para um adulto de 80 kg; portanto, a velocidade da bomba deve ser ajustada para permitir isso.<sup>6</sup> Essa taxa de fluxo apoiaria o metabolismo normal do paciente, e isso é válido tanto para V-A quanto para V-V ECMO.

O fluxo depende de vários fatores no circuito, como velocidade da bomba (RPM), volume de sangue, pré-carga, resistência descendente e pós-carga. Um fluxo mais alto será determinado por uma velocidade de bomba mais alta, grande volume de sangue ou alta pré-carga. Por outro lado, alta resistência descendente ou pós-carga levarão a fluxos baixos. O fluxo sanguíneo (L/min) é fundamental no V-V ECMO, e a estabilidade hemodinâmica é necessária para operar o V-V ECMO, pois ele suporta apenas a função pulmonar e não a cardíaca. O V-V ECMO contribuirá para a oxigenação sistêmica dependendo da taxa de fluxo em relação ao débito cardíaco do paciente (esta é a razão fluxo sanguíneo/débito cardíaco).

### Unidade de Troca de Gases Sanguíneos

A unidade de troca de gases sanguíneos é composta por um oxigenador de membrana (também conhecido como pulmão de membrana ou oxigenador). Os oxigenadores modernos são compostos por fibras ocas que separam a fase sanguínea e gasosa e permitem a difusão de gases através dela. As fibras são geralmente feitas de borracha de silicone, polipropileno (microporoso) ou polimetilpenteno.

O sangue e os gases fluem em lados opostos da membrana em direções opostas. O fluxo de gás em contracorrente, conhecido como velocidade de varredura, pode ser ajustado e pode variar entre 0 e 15 L/min. A eliminação de dióxido de carbono é alcançada principalmente ajustando a velocidade de varredura (taxa de fluxo de gás de varredura L/min). A remoção de CO<sub>2</sub> é facilmente e eficientemente alcançada por ECMO através da difusão em contracorrente (taxa de fluxo sanguíneo, L/min). Outros fatores que determinam a remoção de CO<sub>2</sub> no ECMO são propriedades de difusão, design e área da membrana, PCO<sub>2</sub> de entrada (portanto, a troca de gases do pulmão nativo) e presença de vapor de água (que pode impedir a remoção de CO<sub>2</sub>).

O misturador ar-oxigênio é um dispositivo que determina a fração desejada de oxigênio sendo entregue ao oxigenador. Isso é chamado de FdO<sub>2</sub> (porcentagem da fração de oxigênio entregue) e varia entre 21%, mistura de O<sub>2</sub>/ar, e 100% O<sub>2</sub>. Portanto, a oxigenação é determinada pela área de superfície, integridade e design da membrana; taxa de fluxo sanguíneo (L/min) e o tempo de contato entre o sangue e a membrana; razão de fluxo sanguíneo/CO; o FdO<sub>2</sub> do gás de varredura; e a saturação de oxigênio do sangue pré-oxigenador. O pulmão de membrana deve fornecer troca completa de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> naqueles casos em que suporte total é necessário.

Finalmente, o sangue é aquecido a 37,8°C pelo trocador de calor antes de ser retornado ao paciente através da cânula de reinfusão.

### ANESTESIA E VENTILAÇÃO PARA ECMO

Sedação, analgesia e paralisia são questões importantes para pacientes de cuidados críticos recebendo ECMO, pois apresentam fisiologia e farmacocinética alteradas. Além disso, a membrana retém alguns dos analgésicos e sedativos mais comumente usados, exigindo doses maiores. Os pacientes são tipicamente profundamente sedados durante o período de canulação, mas podem ser autorizados a acordar após o suporte estável ser alcançado.

As indicações para sedação incluem o seguinte:

1. Para aliviar a dor e ansiedade
2. Para diminuir o consumo de oxigênio e produção de CO<sub>2</sub>
3. Em um paciente inquieto e agitado para prevenir a deslocação de linhas
4. Para permitir um padrão de sono normal à noite
5. Antes de qualquer procedimento

Indicações para relaxantes musculares incluem:

1. Assincronia paciente-ventilador
2. Quando movimentos do paciente interferem no retorno venoso
3. Quando movimento excessivo do paciente ameaça decanulação acidental

Um nível de sedação de cerca de 0 e -1 na Escala de Agitação-Sedação de Richmond provou ser suficiente para gerenciar pacientes em ECMO com a ajuda de opióides e analgésicos de infusão contínua, muitas vezes sem o uso de agentes bloqueadores neuromusculares. Embora nem todos os pacientes em ECMO exijam intubação endotraqueal ou ventilação mecânica, a maioria dos pacientes em ECMO precisará de ventilação mecânica em algum momento. A principal diferença entre um paciente 'padrão' da unidade de terapia intensiva e um paciente em ECMO é que o último não depende de seus pulmões nativos para oxigenação ou ventilação, e isso permite o ajuste das configurações de ventilação sem se preocupar com o desenvolvimento de hipoxia e/ou hiper carbida. Nos últimos anos, observou-se que os pacientes são extubados mais cedo do que no passado, e mais comumente, se permanecerem acordados durante o ECMO.

Há evidências insuficientes para apoiar uma estratégia de ventilação específica em ECMO. A ventilação protetora (volume corrente <6 mL/kg e Pplat <29 cmH<sub>2</sub>O) pode contribuir para a recuperação pulmonar reduzindo a liberação de citocinas pulmonares, bem como limitando o risco de volutrauma e barotrauma. Outros objetivos a ter em mente são limitar o FiO<sub>2</sub> (pois a hiperóxia pode causar atelectasia por reabsorção e danificar ainda mais o tecido pulmonar) e manter uma pressão expiratória final positiva (PEEP) para evitar atelectrauma e consolidação pulmonar. Pacientes de ECMO V-V podem ser iniciados em 'configurações de ECMO' ou 'configurações de repouso', que é um modo de controle de pressão, mantendo a pressão de condução em 10 cmH<sub>2</sub>O com uma frequência respiratória de 10 respirações/min, um PEEP de 10 cmH<sub>2</sub>O e um FiO<sub>2</sub> de 40%. O objetivo é manter as unidades alveolares recrutadas tanto quanto possível, evitando mais lesões aos pulmões. O volume corrente pode ser mínimo e espera-se que melhore conforme a complacência pulmonar melhora.

## RESUMO

A terapia ECMO é indicada em pacientes com patologia respiratória e/ou cardíaca reversível, quando a recuperação e a decanulação são viáveis. O circuito ECMO é composto por vários componentes que podem fornecer oxigenação e substituir a função cardíaca, dependendo da modalidade empregada (ECMO V-V ou V-A). Pacientes em ECMO possuem requisitos clínicos e farmacológicos especiais para otimizar a tolerância e a segurança durante o tratamento.