



GUIAS ELSO PARA CIRCUITOS DE OXIGENACION DE MEMBRANA EXTRACORPOREOS ADULTO Y PEDIATRICO

Evan F. Gajkowski , Guillermo Herrera, Laura Hatton, Marta Velia Antonini , Leen Vercaemst, // Elaine Cooley.

Revisores: *Elizabeth Moore, Bishoy Zakhary, Mark Ogino, Giles Peek, and Thomas Mueller*

Traducción: *Luis Ignacio Soto*

Revisores: *Rene D. Gomez, Barbara Cardenas*

Descargo de responsabilidad: Estas guías describe al ECMO para todas las poblaciones de pacientes. Estas guías describen la práctica segura basada en una amplia experiencia y se consideran guías ya acordadas. Estas guías no intentan definir un estándar en el cuidado y son revisadas en períodos regulares de acuerdo a la disponibilidad de nueva información, nuevos dispositivos, medicación y técnicas.

Circuito Extracorpóreo de Oxigenación de Membrana (ECMO)

El circuito extracorpóreo de oxigenación de membrana (ECMO) se compone de tres elementos principales que incluyen una bomba, un oxigenador y un intercambiador de calor. La sangre venosa se drena y se impulsa a través del componente de calentamiento (el cual generalmente está integrado en el oxigenador), a través del oxigenador y posteriormente se regresa al paciente. La sangre del circuito se regresa a través de una arteria (ECMO venoarterial [VA ECMO]) o bien a una vena (ECMO venovenoso [VV ECMO]). Los circuitos pueden tener múltiples puntos de entrada de acceso que se agregan de acuerdo a las necesidades. El beneficio de los puntos de acceso en el circuito es la facilidad para administrar medicamentos, poder realizar terapia continua de reemplazo renal (CRRT) a través del circuito de ECMO y poder tener la facilidad de ofrecer monitoreo adicional. Sin embargo, demasiados conectores y puntos de acceso en el circuito puede llevar al estancamiento de sangre y formación de coágulos, así como a ruptura o desconexión accidental. Los sistemas de ECMO altamente complejos requerirán de un especialista de ECMO más preparado y habilidoso disponible al lado de la cama (Guías ELSO para soporte Vital Cardiopulmonar Extracorpóreo, 2019). El especialista de ECMO debe

tener amplios antecedentes en el cuidado crítico en recién nacidos, pacientes pediátricos o en adultos. (ELSO Red Book 5ª Edición Capítulo 4).¹

Oxigenación de Membrana Extracorpórea Venoarterial o Venovenosa.

VA ECMO está indicado en caso de falla cardíaca aguda en la cual el corazón no puede mantener la perfusión y las demandas metabólicas del organismo. VA ECMO se utiliza para soporte respiratorio en los neonatos y en algunos niños pequeños; también puede utilizarse en niños y en adultos en caso de falla cardíaca y respiratoria concomitantes. (ELSO Red Book, 5ª. Edición Cap. 4).

El VV ECMO se utiliza tradicionalmente en pacientes en caso de alguna condición potencialmente reversible en la cual los pulmones no pueden ventilar ni oxigenar a pesar del tratamiento y ventilación mecánica óptimos. El VV ECMO puede utilizarse en neonatos que presenten falla respiratoria. El neonato debe estar en un área con experiencia en falla respiratoria aguda y que cuente con disponibilidad y colocación de sondas de doble lumen. También está indicado para utilizarse como puente para trasplante pulmonar, haciendo posible que los pacientes se puedan destetar de la ventilación mecánica y se puedan movilizar mientras esperan para ser trasplantados.

Sitios para canulación en caso de Oxigenación de Membrana Extracorpórea Venoarterial

Canulación en cuello

La cánula venosa se inserta en la vena yugular interna derecha y la cánula arterial se inserta en la arteria carótida común derecha.

La vena yugular interna derecha se utiliza para drenaje. Puede utilizarse una estrategia alterna de canulación en caso de pacientes pediátricos más grandes y/o pacientes adultos para administrar sangre oxigenada es utilizar la arteria subclavia derecha o bien la arteria axilar.

Puede utilizarse esta técnica alterna de canulación (subclavia o axilar) ya que permite una mayor movilidad al paciente a la vez que se reducen las complicaciones que se presentan con la canulación en la ingle a la vez que se preserva la arteria carótida (**Figura 1**). (ELSO Red Book, 5ª Edición, Cap.5).

Canulación Central

La canulación central incluye la canulación venosa directa dentro de la aurícula derecha y la canulación arterial directa de la aorta ascendente.

La canulación central es mayormente utilizada en paciente que no se pueden destetar de la circulación extracorpórea (CPB) en el quirófano (OR). La CPB es para soporte pulmonar y cardiaco por corto tiempo durante la cirugía cardíaca. Utiliza un reservorio, así como una configuración de circuito abierto para administrar medicamentos y aplicación de volumen. El ECMO es para uso por largo tiempo y utiliza una configuración cerrada. La conversión entre CPB y ECMO puede realizarse utilizando la cánula ya existente.

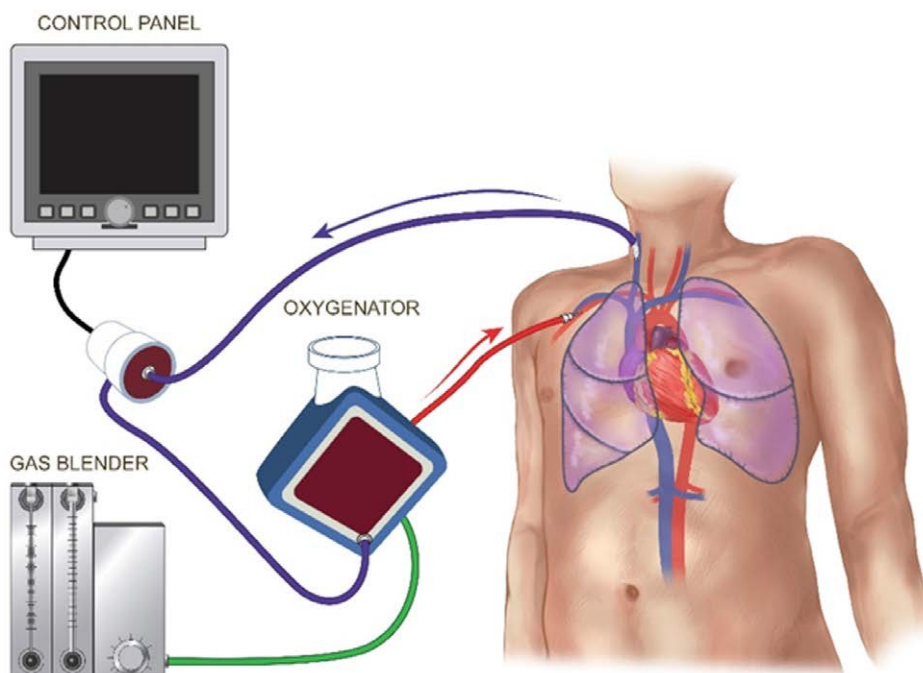


Figura 1. Venoarterial (VA) Vena Yugular interna Arteria Subclavia

La canulación central puede utilizarse para obtener flujos más altos de sangre para apoyar de manera completa las necesidades metabólicas del paciente durante condiciones clínicas como la sepsis.

La canulación central permite un drenaje más óptimo y un mejor vaciamiento cardíaco comparado con el VA ECMO periférico (**Figuras 2 y 3**).

Canulación de la Vena y Arteria femorales

La canulación de la vena y arteria femorales generalmente se utiliza para la canulación del VA ECMO en los adultos y potencialmente en niños con peso mayor a 30 Kg.

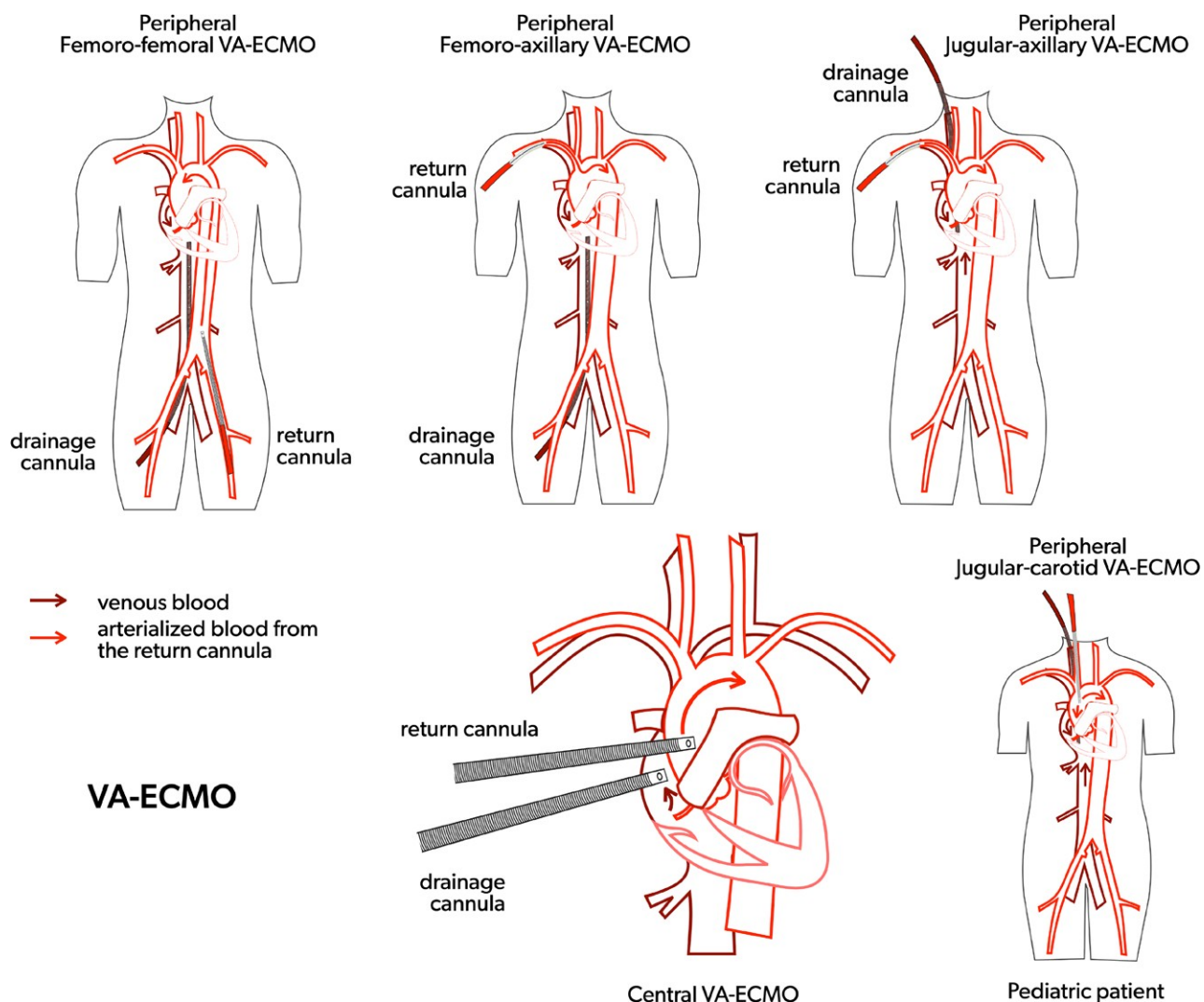


Figura 2. Estrategias de canulación para oxigenación de membrana extracorpórea venoarterial (VA ECMO)

En caso de canular la arteria femoral debe colocarse idealmente una cánula de reperfundación en esa extremidad para prevenir isquemia de la misma a menos que la canulación se realice utilizando una técnica de injerto que asegura un flujo sanguíneo adecuado a la extremidad inferior.

Podría ser de beneficio durante la reanimación cardiopulmonar extracorpórea (ECPR), ya sea por vía percutánea o mediante disección debido a la facilidad para canular con menor interferencia o cese de las compresiones torácicas a diferencia de la canulación central.

Debido a la circulación dual (gasto del paciente vs gasto del ECMO), siempre habrá cierto grado de gradiente en

la oxigenación entre la parte superior e inferior del cuerpo, dependiendo del grado de función del ventrículo izquierdo y el pulmón del paciente. Lo anterior será más pronunciado cuando la función pulmonar del paciente sea pobre y la contractilidad del ventrículo izquierdo esté mejorando. Esta mezcla de sangre pobre en oxígeno, producto del gasto cardíaco del paciente, debe ser vigilada ya que puede producir isquemia miocárdica y/o isquemia cerebral (ELSO Red Book 5ª Edición Cap.4). Será importante asegurar la presencia de una línea arterial en la extremidad superior derecha (se prefiere la línea arterial radial derecha), oximetría cerebral y/o pulso oxímetro colocado en el mismo lugar de la línea arterial (**Figura 4**).

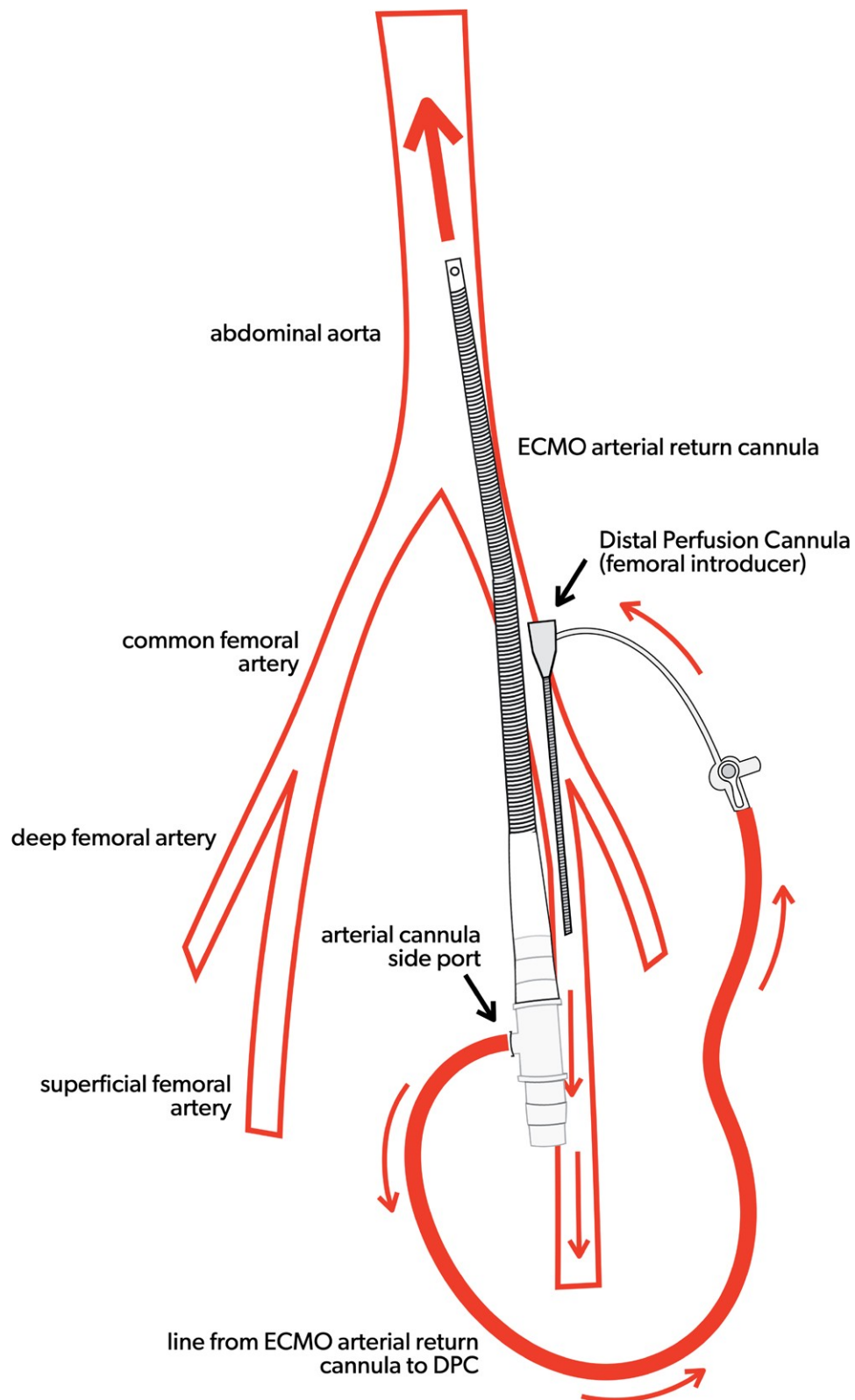


Figura 3. Cánula arterial en la oxigenación de membrana extracorpórea venoarterial (VA ECMO) con cánula de perfusión distal.

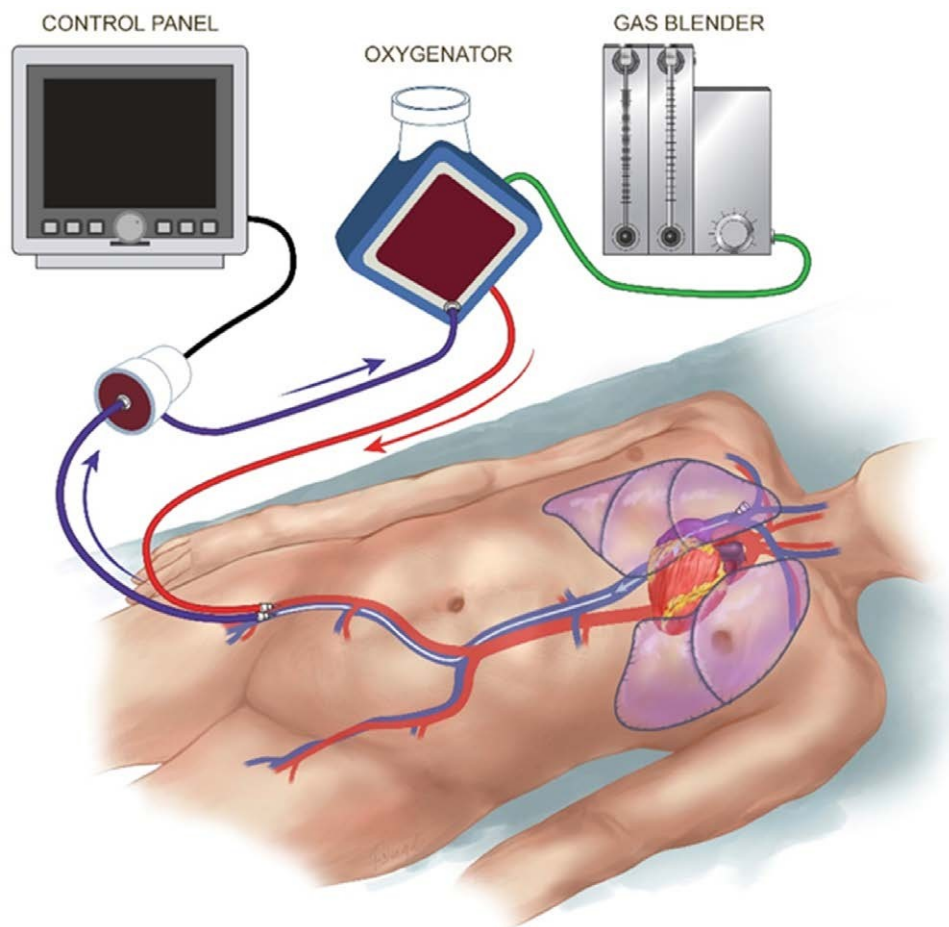


Figura 4. Canulación Venoarterial (VA) vena femoral arteria femoral.

Sitios de canulación en la oxigenación de membrana extracorpórea Venovenosa

Canulación en sitio único

Cánula de doble lumen con la punta en la aurícula derecha; aquí la sangre es drenada de la vena cava superior (SVC) y de la aurícula derecha (RA) regresando la sangre oxigenada dentro de la RA hacia la válvula tricúspide dentro de la arteria pulmonar (PA).

Cánula bicaval con la punta de la cánula en la vena cava inferior (IVC); aquí la sangre se drena desde IVC/SVC y la sangre oxigenada se regresa hacia la RA hacia la válvula tricúspide dentro de PA.

También puede colocarse dentro de la PA principal una cánula de doble lumen con sitio único de drenaje ; aquí la sangre venosa se drena desde la RA y la sangre oxigenada se perfunde directamente dentro de la PA (**Figuras 5 y 6**).

Canulación en dos sitios

Vena femoral/vena yugular: drenaje desde la vena femoral y el retorno dentro de la vena yugular interna, o drenaje desde la vena yugular con retorno de la sangre dentro de la vena femoral.

Vena femoral/vena femoral: drenaje mediante una cánula más corta en la bifurcación de la vena femoral con una cánula más larga que retorna a la aurícula derecha o a la vena cava inferior.

Vena femoral/arteria pulmonar: drenaje a través de una cánula colocada en RA a través de la vena femoral y reinfusión de sangre oxigenada a través de una segunda cánula colocada en la PA principal a través de canulación directa o percutánea (a través de la vena yugular interna derecha (**Figuras 7 y 8**)).

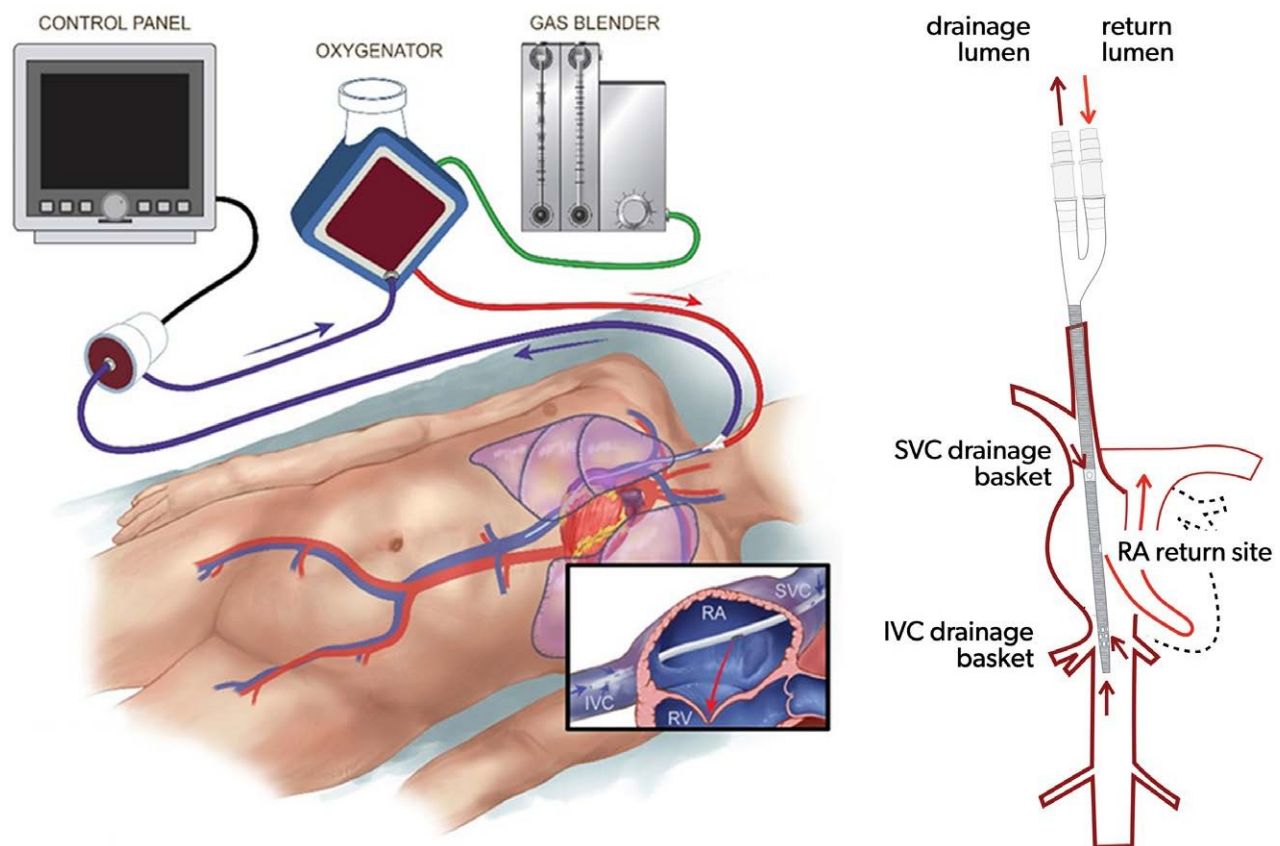


Figura 5. Canulación única Venovenosa (VV) (RIJV).

Recirculación

La recirculación se presenta en VV ECMO cuando la sangre oxigenada reperfundida se regresa al circuito de ECMO causando hipoxemia sistémica y saturaciones elevadas en la entrada del circuito de ECMO (ELSO Red Book 5aEdición Cap. 4).

La magnitud de la recirculación está directamente relacionada con la posición de la cánula, el flujo de la bomba y el gasto cardíaco.

La mal posición de la cánula puede afectar de manera importante la magnitud de la recirculación, por ejemplo, si el catéter en la yugular interna derecha está demasiado bajo con dos sitios VV o bien rotado de manera incorrecta en caso de los catéteres de doble lumen.

La recirculación se presenta cuando el flujo sanguíneo en la bomba es mayor al del gasto cardíaco basal del paciente debido a falla cardíaca izquierda/derecha o hipertensión pulmonar severa.

En caso de adecuado gasto cardíaco y una posición correcta de la cánula, el flujo de la bomba aumenta la oxigenación proporcionada al paciente.

La recirculación se puede estimar mediante el cálculo de la fracción de recirculación:

$$S_{pre\text{Ox}} - S_{VO_2} / S_{post\text{Ox}} - S_{VO_2}$$

Cálculo de flujo efectivo:

Flujo total – (Flujo total * Fracción de recirculación)

Síntomas de recirculación:

Desaturación arterial del paciente

Habrà un pequeño gradiente entre la S_{VO_2} y la SpO_2 (ejemplo: S_{VO_2} 87% y SpO_2 92%), o en casos severos la S_{VO_2} podría ser más alta a la SpO_2 (S_{VO_2} 92% y SpO_2 87%).

La sangre venosa será igualmente de rojo brillante a la sangre post oxigenador. Si las saturaciones de O_2 pre y post oxigenador se miden, ambas saturaciones de O_2 serán muy elevadas y sólo habrá pequeñas diferencias (Figura 9).

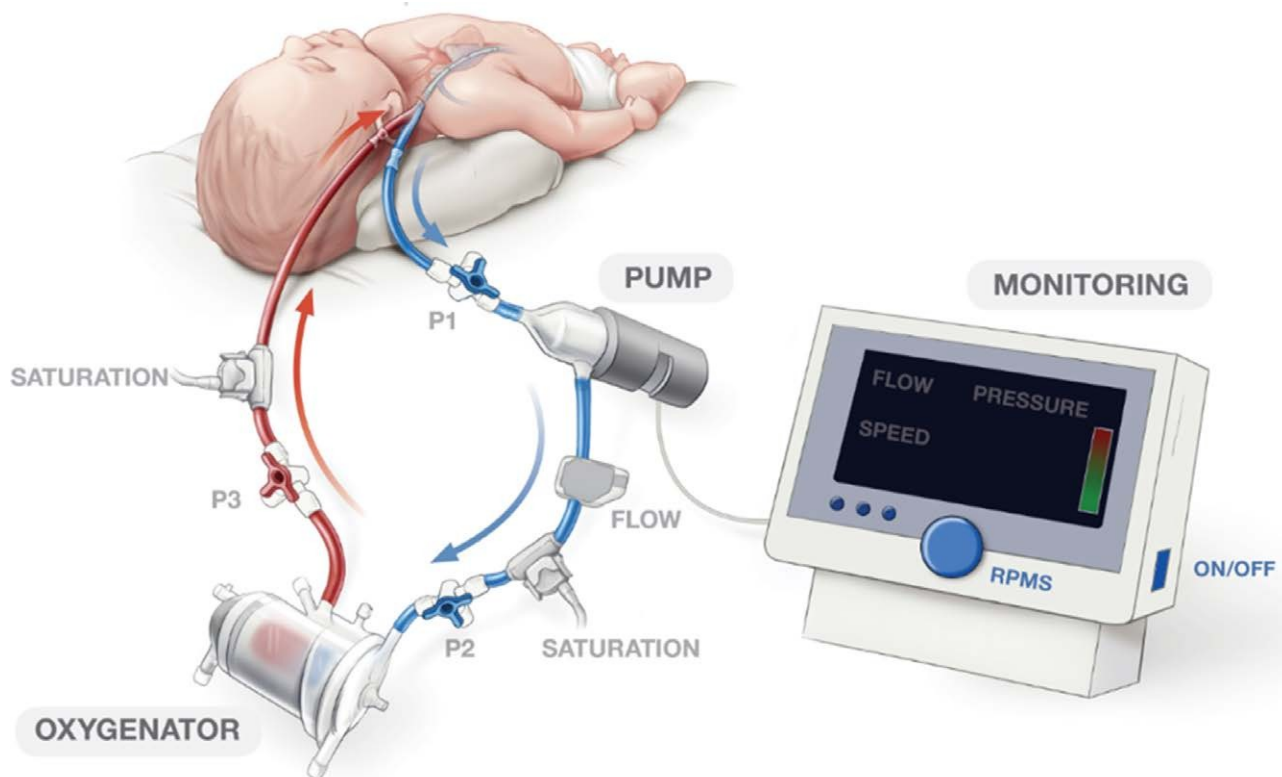


Figura 6. Canulación única (RIJV) Venovenosa (VV).

Selección de la Canulación

La selección de la cánula correcta es vital para el funcionamiento exitoso del ECMO y es necesario que se seleccione cuidadosamente de manera individual en cada paciente. El flujo de sangre debe ser el suficiente en cantidad, sin embargo, también es importante la eficiencia en términos de dónde se drena y se regresa la sangre. La elección de la cánula no solamente depende del grado de apoyo que se desea, sino también por el

calibre y condición del vaso, talla del paciente, sitio posible de colocación, tipo de procedimiento de inserción y sitio deseable de drenaje/retorno de la sangre. (ELSO Red Book 5ª Edición Cap. 4).

El tamaño o diámetro de la cánula se refiere al diámetro externo de la cánula y se expresa en French (1French = 0.33mm). El tamaño del diámetro debe seleccionarse de acuerdo a la magnitud de flujo deseado para cada paciente y puede servir de guía utilizar la caída de presión/tablas de flujo de la cánula correspondiente (instructivo).

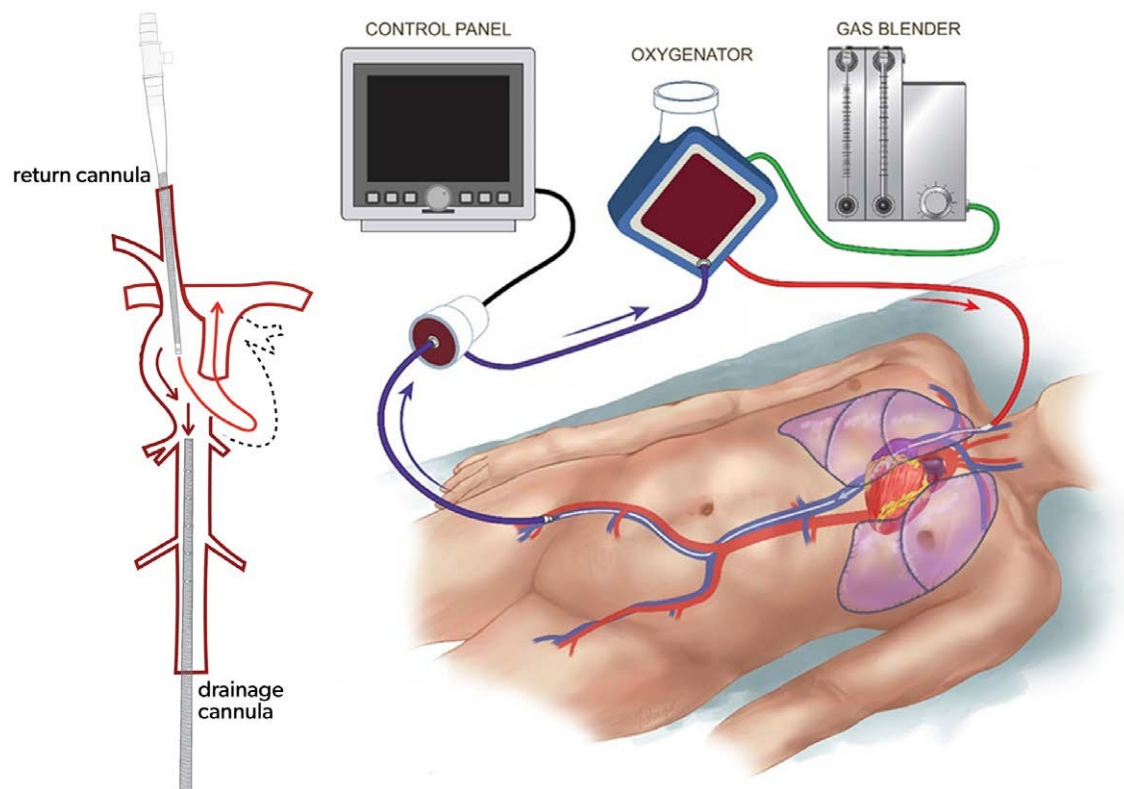


Figura 7. Canulación Venovenosa (VV) vena femoral yugular interna derecha.

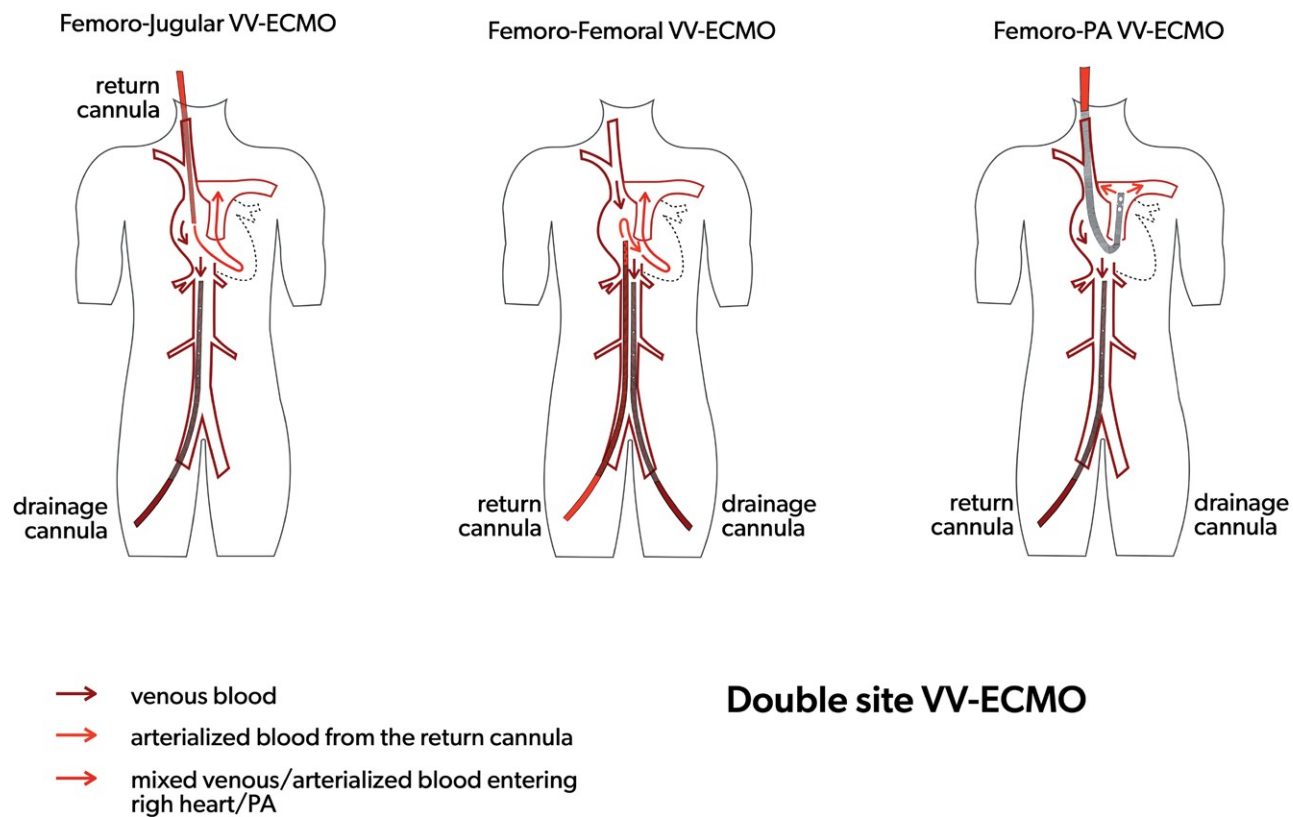


Figura 8. Estrategias de canulación de doble sitio de oxigenación de membrana extracorpórea Venovenosa (VVECMO).

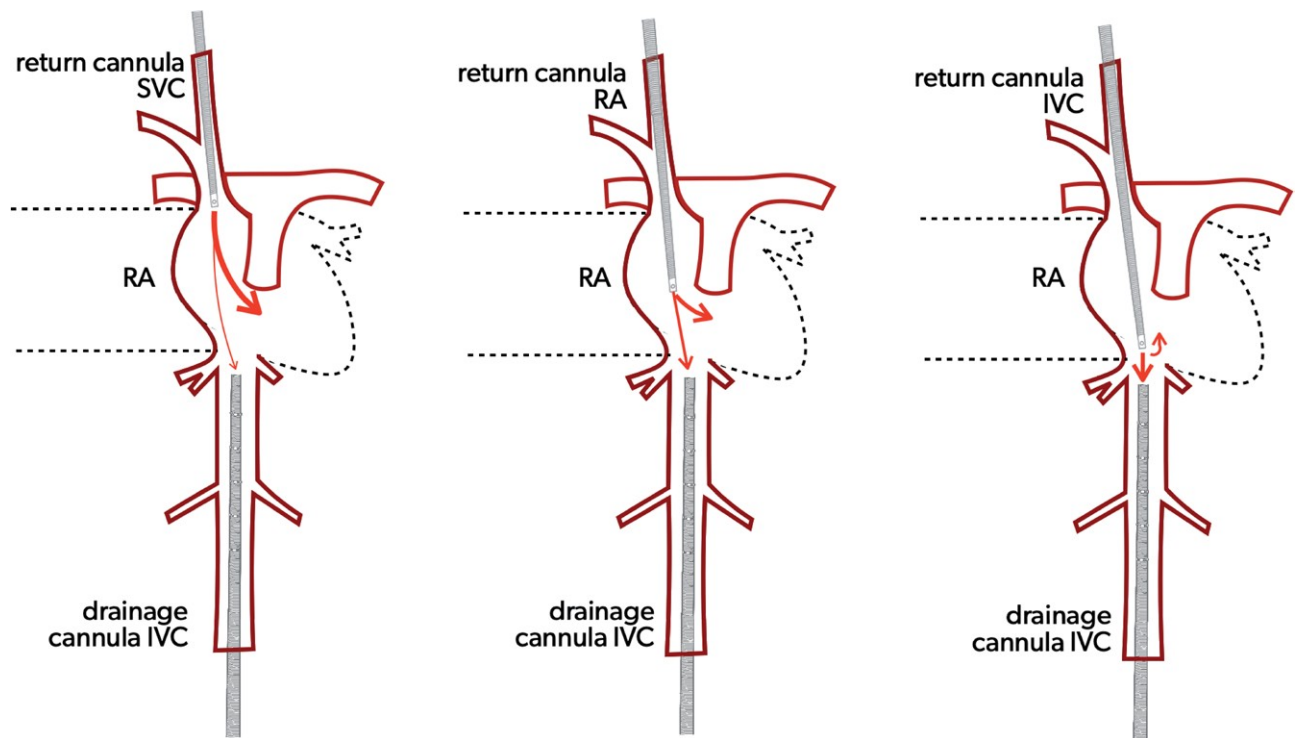


Figura 9. Recirculación.

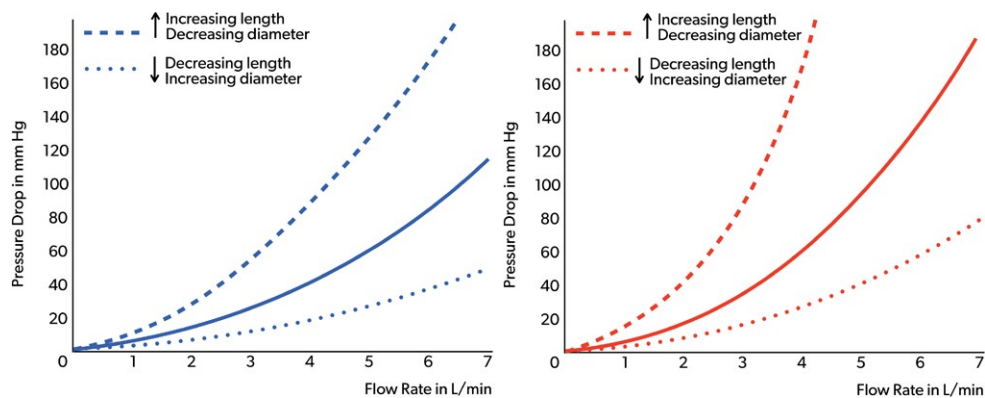


Figura 10. Caída de la presión en la cánula arterial y venosa.

Caída de la presión

La caída de presión es la diferencia entre la presión de entrada a la cánula y la presión de salida de la cánula. Es directamente proporcional a la longitud de la cánula y a la viscosidad del fluido e inversamente proporcional a la cuarta potencia del diámetro de la cánula. Por consiguiente, el doble de la longitud hará que la presión caiga al doble, y el doble del calibre hará que la caída de la presión descienda a 1/16th de la línea basal.

Una práctica común es no exceder una caída de presión de 100 mmHg. La hemólisis se puede monitorear de forma rutinaria para determinar si existe flujo sanguíneo no turbulento a través de la cánula. La caída de la presión vs las tablas de flujo generalmente se utiliza para determinar el calibre correcto de la cánula. Debe hacerse notar que las tablas del fabricante se ajustan utilizando agua lo cual hace que se subestime la verdadera caída de presión de la sangre. Puede utilizarse la Ecuación de Hagen-Poiseuille para describir la relación entre la presión, resistencia y flujo sanguíneo (**Figuras 10 y 11**).

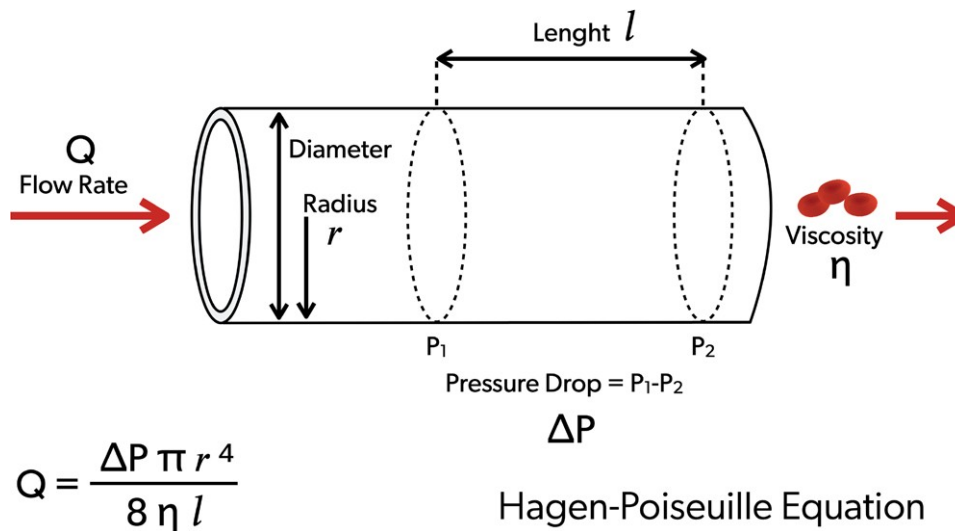


Figura 11. Ecuación de Hagen-Poiseuille.

Diseño de la cánula

Diseño de la punta y orificios laterales

El número y posición de los orificios laterales son importantes debido a que ejercen impacto en la caída de presión, la colocación del drenaje venoso y la re-infusión de sangre. Los diseños más comunes de cánula:

Cánula de punta roma: un orificio central en la punta.

Cánula de punta de faro: un orificio central con orificios laterales distales alrededor de la punta.

Cánula multinivel: orificios laterales a diferentes niveles a lo largo de la cánula.

Número de lumen (1 o 2): doble lumen para ECMO con sitio de inserción único (VV ECMO).

Conexión con tubos: con o sin conector, calibre del conector (1/2", 3/8", 1/4" y 3/16").

Con recubrimiento: para mejorar la biocompatibilidad.

Con alma de acero y rígidas: para evitar colapso u obstrucción de la cánula.

Herramientas para la inserción de la cánula: el alambre guía (longitud, rigidez, y curvas) y dilatadores para vaso (diseño de punta, transición suave con la punta de la

cánula) son importantes para una inserción percutánea sin complicaciones.

Indicadores de cánula: para control durante la aplicación (Figura 12).²

Visión general del circuito de oxigenación de membrana extracorpóreo

Los circuitos de ECMO VV y VA son similares excepto que podría haber cánulas/líneas extras adicionales; se puede agregar una línea extra de drenaje si se realiza vaciamiento ventricular izquierdo directo realizado mediante el circuito de ECMO, o bien puede agregarse una línea de retorno si la perfusión distal de la extremidad canulada se realiza mediante ECMO. En casos de ECMO híbrido (veno-venoarterial o VP) se agregan a la cánula extra líneas adicionales de drenaje y de retorno. Es necesario que estas líneas se agreguen en forma segura al circuito a la vez que se monitorizan los flujos adicionales. Es comprensible que existan diferentes calibres de circuitos ECMO dependiendo de la talla del paciente o del grado de soporte requerido. El calibre puede depender de la elección del oxigenador, de la bomba y del diámetro/longitud de la tubería (Figura 13). (ELSO Red Book 5ª Edición Cap. 5).

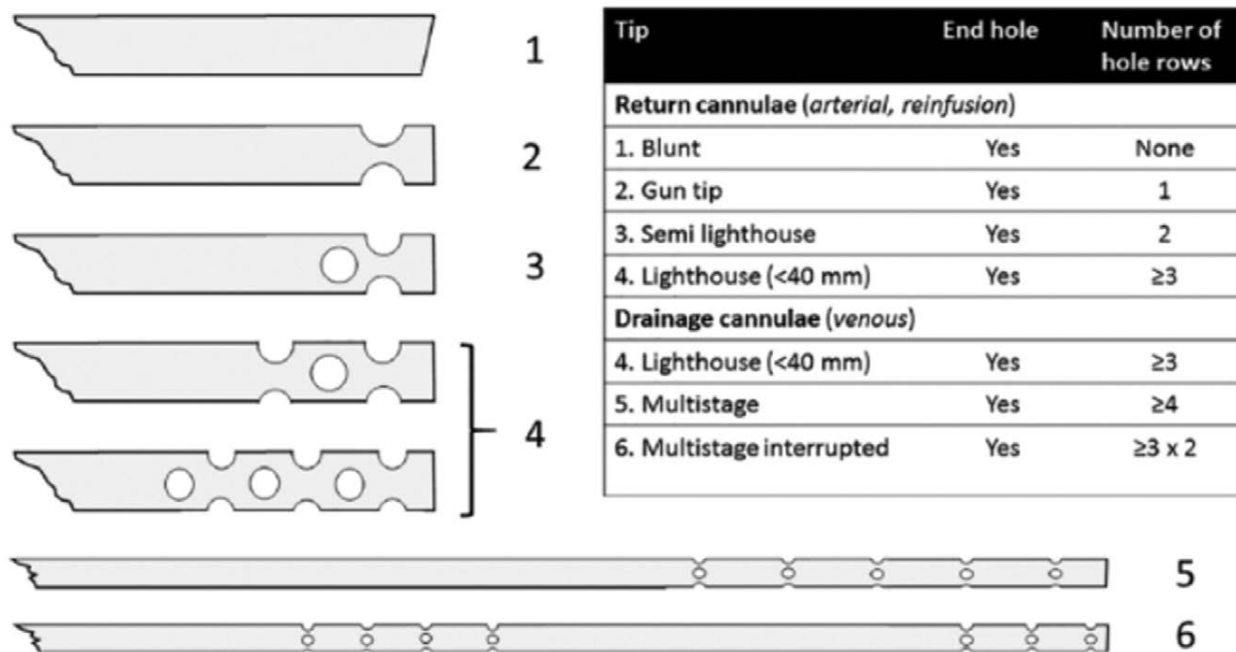


Figura 12. Diferentes puntas de cánulas.²

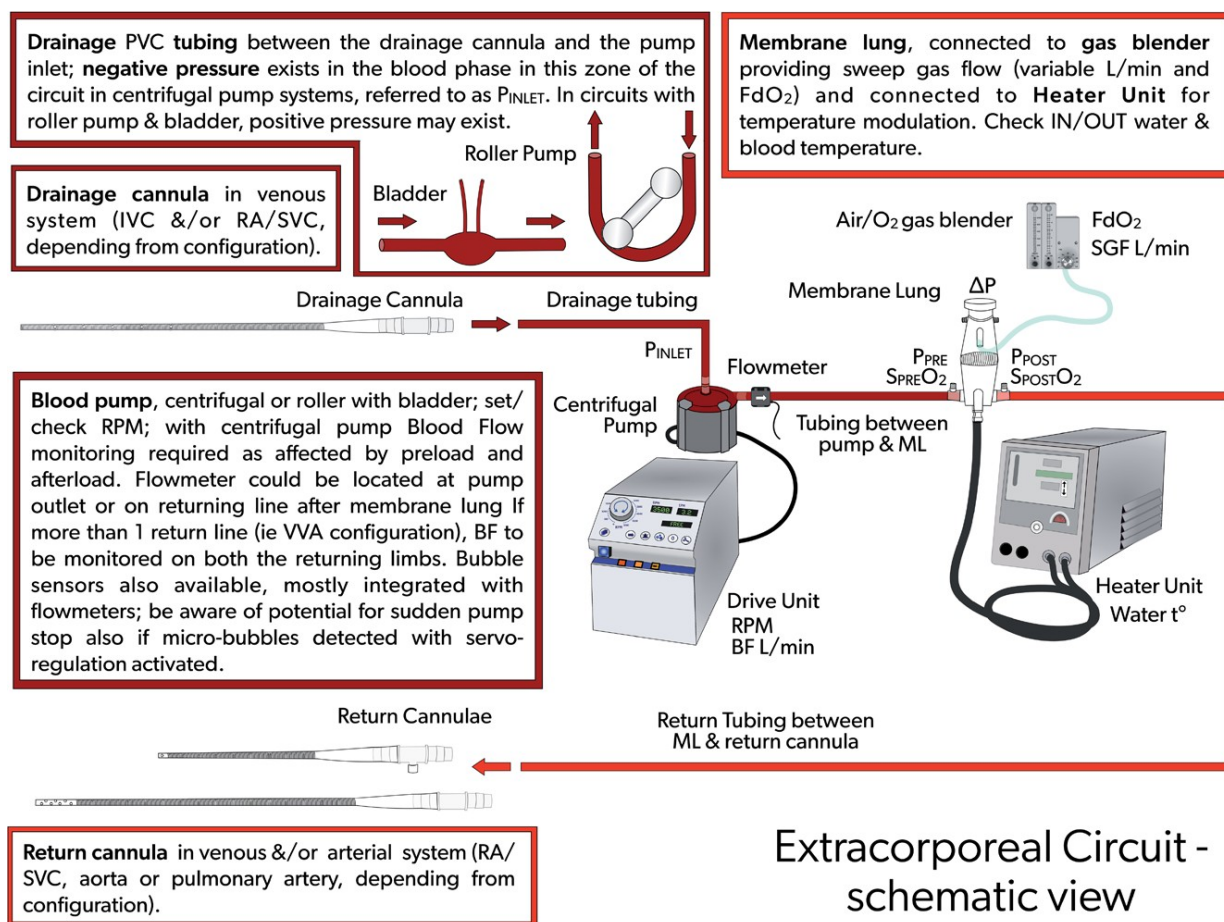


Figura 13. Visión general de un circuito de oxigenación de membrana extracorpóreo (ECMO).

Componentes del Circuito

La longitud de la tubería es un punto específico. A mayor longitud de la tubería la resistencia es mayor, y el paciente se expondrá a una mayor superficie artificial. Sin embargo, se necesita que haya suficiente tubería para poder movilizar apropiadamente al paciente, operar en otras áreas del hospital como el laboratorio de cateterismo o quirófano, o para transporte en caso necesario (**Figura 14**).

Puente (opcional): un puente conecta el lado venoso del circuito con el lado “arterial” o post-oxigenador utilizando conectores adicionales. Los Centros (de ECMO) han utilizado varios tipos de puentes para adaptar a otras necesidades como monitoreo continuo de gasometría arterial o mantener flujos seguros durante el destete. El puente se utiliza principalmente para el destete del VA ECMO en pacientes neonatos y pediátricos con el fin de mantener la integridad del circuito durante el período de destete.

Bolsa de depósito (Bladder) (opcional): se puede utilizar una bolsa de depósito para atenuar las presiones negativas en la línea venosa generadas por la bomba centrífuga del ECMO. La idea de la bolsa de depósito es actuar como un amortiguador eliminando cualquier trauma causado por excesiva succión por el catéter de drenaje. La bolsa de depósito es mandatoria para las bombas de rodillo debido a que también actúa como auto-controlador para la bomba. La Better-Bladder permite que se pueda medir la presión en la línea venosa en su cámara sin accesar al circuito, reduciendo el riesgo de embolismo aéreo. En caso de que la bolsa no esté presente, puede utilizarse un conector adicional con llave de tres vías para monitorizar de manera continua las presiones en la línea venosa (entrada a la bomba).

Shunt (*cortocircuito*) (opcional): Si se utiliza una línea de shunt puede agregarse una llave de tres vías con tubería adicional para dirigir el flujo de sangre desde el lado de presión positiva del circuito (post-oxigenador) hacia el lado de presión negativa del circuito (antes del oxigenador).



Main principles in building an ECMO Circuit

- ✓ Keep it **safe, simple & safely transportable**
- ✓ **Adapt size** of tubing, pump and oxygenator **in function of desired support**
- ✓ **Lines as short as possible** (*while keeping safe patient care, safe mobilization, component change-out,... in mind*).
- ✓ **Avoid stagnant blood zones** (*avoid Y-lines, bridges, pressure isolators*)
- ✓ **Minimize change of diameters** : 3-way stopcocks, connectors & inline probes (*preferably use 360° rotatable stopcocks & online monitoring*)
- ✓ **Streamline** orientation of lines, pump & oxygenator
- ✓ **Secure**/tie all non-sealed connections
- ✓ Ensure sufficient & appropriately situated **access ports** (*priming, hemofiltration, air removal, blood sampling, pressure monitoring*)

Figura 14. Principios principales en la composición de un circuito de oxigenación de membrana extracorpóreo (ECMO).

(1) *Beneficios del Shunt:* Monitoreo adicional ya que se puede obtener a través del shunt gasometría arterial continua de la bomba. El flujo adicional proporcionado a través del shunt hacia el oxigenador puede prevenir que el puente se abra con los flujos de destete en los pacientes más pequeños. Puede colocarse un hemofiltro en el shunt para ultra-filtración lenta continua (SCUFF).

(2) *Desventajas del Shunt:* Los conectores adicionales pueden producir coágulos y/o hemólisis; requiere monitoreo adicional de flujo para evaluar el shunt del circuito; aumenta la complejidad del circuito y disminuye su seguridad ya que existe un riesgo adicional de drenar aire dentro del lado de presión negativa.

Puede obtenerse acceso a la tubería desde la cabeza de la bomba hacia el oxigenador insertando conectores con

llave para obtener muestras, administrar medicamentos y/o productos sanguíneos.

- (1) *Esté atento*: Las presiones elevadas post-bomba complicarán la administración de fluidos y de medicamentos, y el acceso continuo puede elevar el riesgo de infección o de rompimiento de las llaves de tres vías.

Transductores de presión se pueden añadir inmediatamente antes de la entrada al oxigenador para monitorizar las presiones pre-membrana, y después del oxigenador para monitorizar las presiones post-membrana. Se puede agregar un transductor adicional antes de la bomba para medir las presiones de drenado. Los transductores de presión, aun cuando no son necesarios, pueden proporcionar información relevante para el cuidado del paciente mientras se encuentra en el ECMO.

Tubería

Calibres: Por lo general, los pacientes de menos de 10-15 Kg requieren de tubería de 1/4". Pacientes con peso mayor a 15Kg típicamente requieren de tubos de 3/8". (ELSO Red Book 5ª Edición Cap. 5).

Recubrimiento: Puede utilizarse agregar un recubrimiento o modificación de la superficie al circuito de ECMO para reducir la adsorción de las proteínas del plasma al circuito de ECMO y así la consecuente generación de trombos.

La adsorción de la proteína plasmática a la superficie del biomaterial produce adhesión/activación plaquetaria y activación de la trombina dando por resultado la formación de un trombo.

Están disponibles diferentes variedades de recubrimiento debido a que aún no se ha descubierto una superficie perfectamente bio-compatible.

Puede administrarse albúmina al 25% al llenado primario con cristaloide como una forma de recubrimiento a la vez de agregar potencialmente propiedades oncóticas (ELSO Red Book 5ª Edición Cap. 5).

Están disponibles recubrimientos de superficie con heparina y sin heparina. En caso de trombocitopenia inducida por la heparina es recomendable utilizar un circuito recubierto libre de heparina.

Oxigenador para Oxigenación de Membrana Extracorpórea

El oxigenador de ECMO está diseñado para administrar oxígeno, remover el CO₂ y, en la mayoría de los modelos, calentar la sangre (**Figura 15**). La membrana más utilizada es fabricada con polimetilpenteno (PMP). Los oxigenadores modernos se caracterizan por un flujo sanguíneo de baja resistencia, bajo volumen de llenado primario, facilidad para retirar el aire y raros casos de fuga de plasma (ELSO Red Book 5ª Edición Cap. 5). Los rangos típicos de volúmenes de llenado van desde 80ml en los oxigenadores específicos más pequeños para los neonatos hasta 250 ml en los oxigenadores más grandes para adultos.

Flujo de Sangre

El índice de flujo sanguíneo debe permitir la transferencia de la cantidad de oxígeno que consume el paciente. (Ver tabla siguiente para la selección del oxigenador).

Barrido de Gas

Se administra directamente a la entrada para gas del oxigenador una mezcla de oxígeno y aire (se puede utilizar un mezclador (blender) de acuerdo a la etiología y talla del paciente). Elevar el flujo de gas de barrido da como resultado que se eleve la eliminación de CO₂. La disminución del flujo de gas de barrido disminuirá la eliminación del CO₂.

Gradiente de Presión

El gradiente de presión es la diferencia entre las presiones en los puntos de entrada y salida del oxigenador. El gradiente de presión refleja la resistencia interna del oxigenador y su función de acuerdo al diseño específico del oxigenador en relación al flujo sanguíneo y la formación de depósitos internos. Las caídas de presión a través de las membranas del oxigenador difieren de acuerdo al fabricante. Calcular/documentar las caídas de presión cada hora y dividirlo entre el flujo es una común en algunos centros de ECMO. Si el gradiente de presión se eleva gradualmente o repentinamente es independiente del flujo, lo que resulta en un aumento del cociente, es un buen indicador de la formación de coágulos en el oxigenador (**Figuras 16 y 17**).

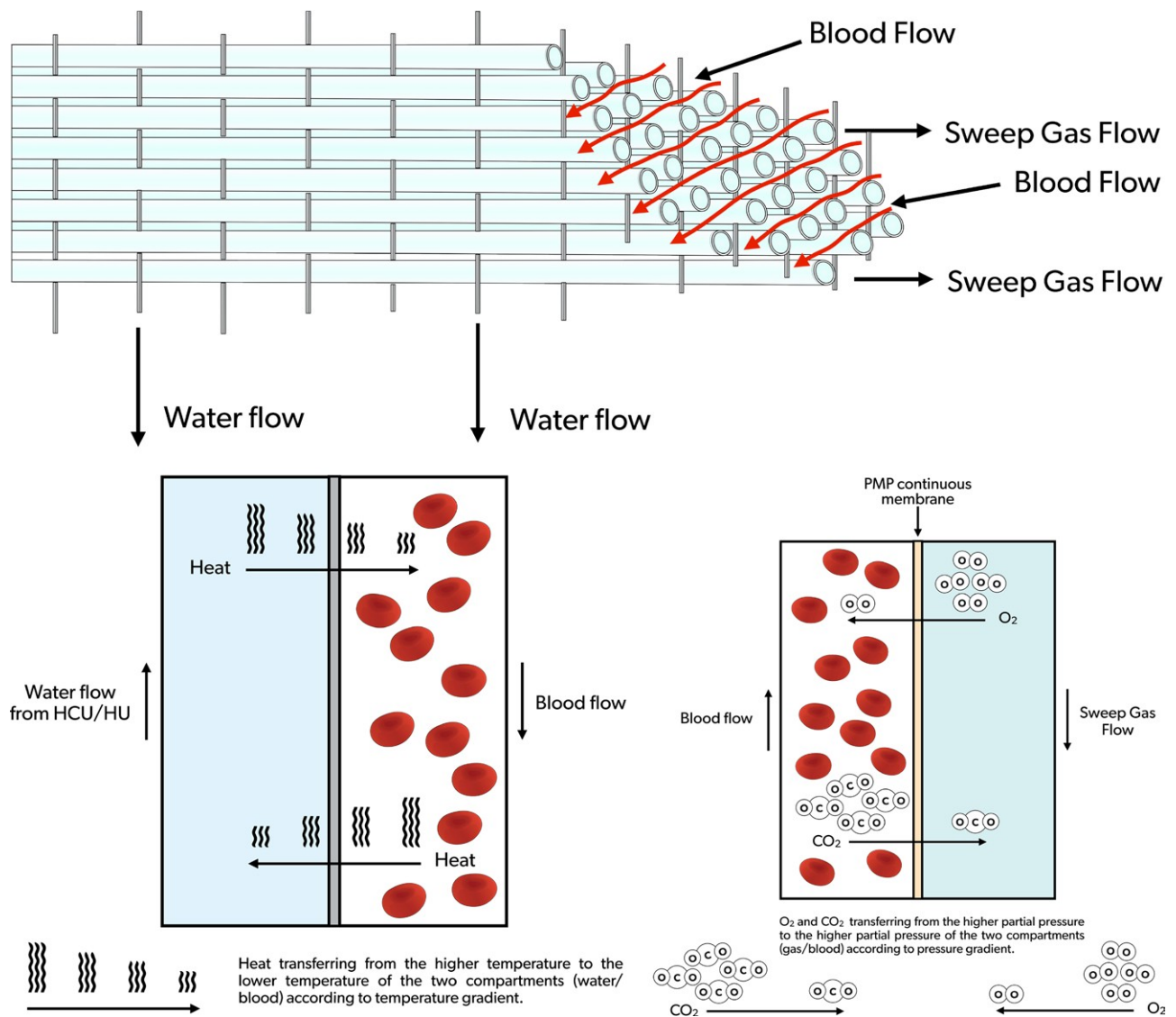


Figura 15. Flujo de sangre, gas y agua en el oxigenador de la oxigenación de membrana extracorpórea (ECMO).

Membrane Lung selection	
	Appropriate membrane lung size : a ML should be able to transfer the amount of O ₂ consumed by the patient (VO ₂ - O ₂ consumption). In practice, this will be feasible as long as patient's VO ₂ is below ML maximum gas transfer capacity (MLVO _{MAX}).
	Every membrane lung has a Rated Flow = the MAX blood flow through the ML enabling the inlet blood saturation (S _{ML-PRE} O ₂) to increase from 75% to 95% when Hb = 12g/dl (= standard to rate gas exchange devices, AAMI). Ideal flow is the flow required to increase S _{ML-PRE} O ₂ to 99%, achievable as long as required flow is below Rated Flow.

Figura 16. Selección del oxigenador en la oxigenación de membrana extracorpórea (ECMO).

2 blood ports - IN/OUT
 2 gas ports - INLET/OUTLET
 2 water ports - INLET/OUTLET
 0-1 deairing port with membrane
 1-3 purge/sample ports - without membrane

Membrane Lung - schematic view

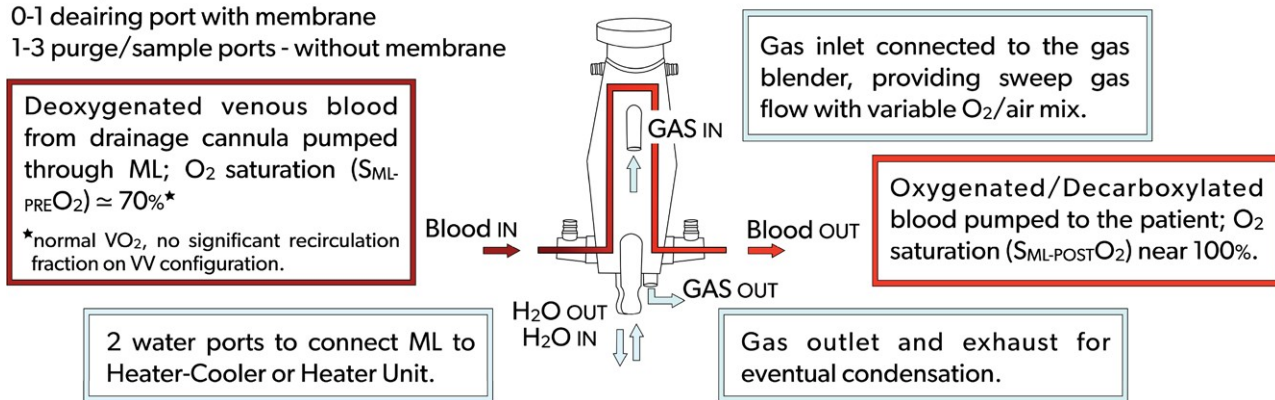


Figura 17. Vista esquemática del pulmón de membrana.

Complicaciones Relacionadas con el Oxigenador

El registro ELSO define la “falla de oxigenador” como “requerir cambio debido a la formación de coágulo, falla en el intercambio de gas o fuga de sangre”.³

Siempre que un oxigenador no permita el paso suficiente de sangre, transferencia de gas, o se vuelve una potencial carga para el paciente (en términos de inducir coagulopatía de consumo o no proporcionar la transferencia requerida de gas), deberá de considerarse reemplazarlo y deberá ser de manera electiva y planeada tan pronto como sea posible.

Posponer el cambio puede poner en peligro al paciente y podría conducir a un cambio urgente en condiciones subóptimas lo cual siempre se tratará de evitar. Por otra parte, deben también de evitarse cambios innecesarios ya que estas acciones invasivas requieren de una corta interrupción del soporte causando potencialmente infecciones por iatrogenia, dilución de la sangre renovada, consumo adicional de plaquetas, así como inflamación debido a la activación por nueva superficie de contacto. Además, los recursos como el oxigenador del ECMO o los circuitos son puestos en riesgo de manera innecesaria.⁴

Los diferentes oxigenadores en el mercado muestran diferente resistencia interna dependiendo de las propiedades de diseño y tamaño, todos permiten flujos diferentes a cierta presión de flujo. Una elevación en la caída de presión indica un aumento en la resistencia interna, y si se acompaña de una caída en el flujo sin variar las rotaciones de la bomba, indican una embolización dentro del oxigenador. En caso de no acompañarse de una reducción del flujo sin variar las rotaciones de la bomba, podría tratarse de un error de medición el cual debe resolverse.

Siempre que el flujo de sangre en el ECMO es relativamente bajo en relación a la capacidad del oxigenador, los cambios en la caída de presión pueden ser demasiado bajos para servir como un indicador temprano de formación de coágulo.

En caso de un CRRT con coágulo, las mediciones de presión del oxigenador pueden estar falsamente elevadas si éstas se realizan en el sitio de conexión del CRRT. Un CRRT con coágulo puede producir trombos por el oxigenador. Por consiguiente, los dispositivos CRRT con coágulo deben ser cambiados inmediatamente, y en caso de repetición de dispositivos CRRT con coágulo, debe considerarse un acceso alternativo para conectar el dispositivo CRRT.

Gradiente de presión elevada dentro del oxigenador

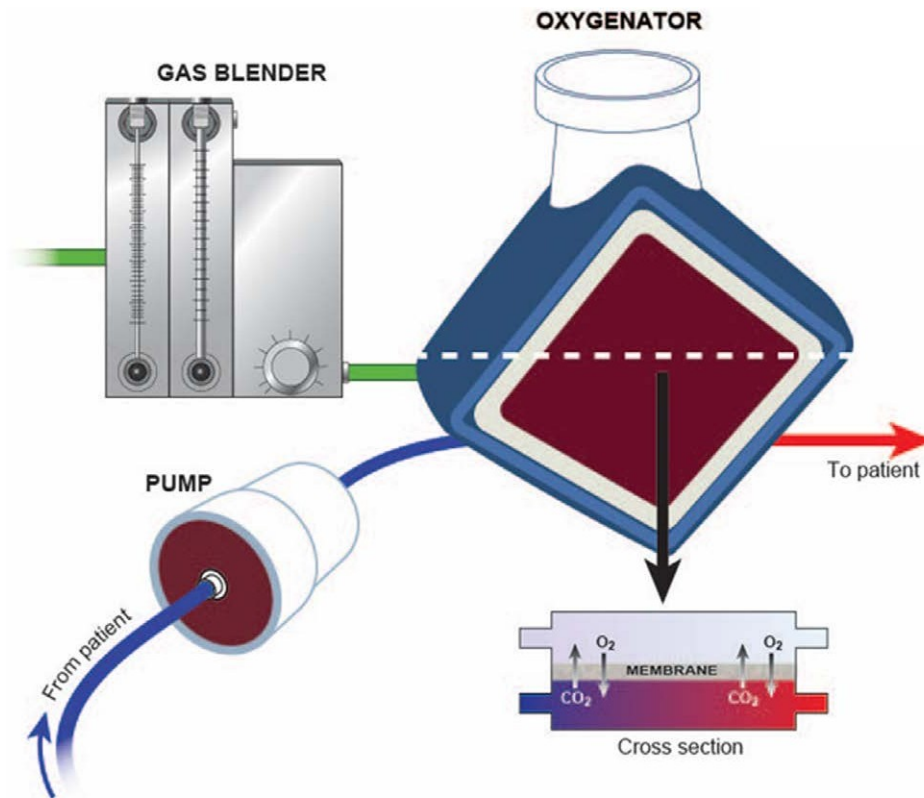


Figura 18. Esquema del trayecto de sangre, gas y agua dentro del oxigenador.

Pruebas Sanguíneas

Un cambio de tendencia en los resultados de las pruebas de coagulación durante el ECMO podría indicar que se encuentra en proceso la formación de un coágulo, como sería una elevación rápida de dímeros-D y caída en el número de plaquetas. Siempre deben de excluirse otras causas potenciales para los cambios en estos parámetros. El dímero D es muy sensible a los coágulos en el circuito; sin embargo, también puede elevarse repentinamente debido a otras causas como inflamación severa y trombos intravasculares.

La mayoría de los pacientes en ECMO muestran algún grado de trombocitopenia desde el inicio del ECMO, lo cual no necesariamente indica de manera sólida la formación de coágulo. Sin embargo, las plaquetas pueden producir coágulos sólidos en caso de una pobre anticoagulación o debido a trombocitopenia inducida por heparina (HITT). En esta caso se requerirá cambiar el oxigenador. Si se presenta HITT es necesario sustituir la heparina por anticoagulantes alternativos.

Desempeño de la Transferencia de Gas

Cada oxigenador posee una capacidad específica de transferencia de O₂ la cual se puede encontrar en las instrucciones de uso del fabricante. Esta información da

una idea de la transferencia esperada de O₂ con un cierto flujo de sangre y de gas con una FiO₂ del 100%. Los requerimientos de consumo de O₂ pueden variar en adultos desde 3 a 5 ml/Kg/min, en pediátricos de 4-6 ml/Kg/min, y en neonatos de 6-8 ml/Kg/min.

Transferencia de O₂ durante el ECMO:

La transferencia de O₂ durante el ECMO (V'O₂) se calcula mediante la fórmula: $V'O_2 = BFR \times (C_{postO_2} - C_{preO_2})$ (donde V'O₂ = O₂ transferido a través del pulmón de membrana (ML) en ml/min, BFR = índice de flujo de sangre (L/min), C x O₂ = contenido de O₂ (pre-/post-ML) de la sangre (ml/L))

Cálculo de contenido de O₂ (CxO₂):

(CxO₂): $CxO_2 = 13.4 \times Hgb \times SxO_2 + 0.03 \times PxO_2$
(Hb = hemoglobina g/dl, SxO₂ = saturación de O₂ de pre-/post ml de sangre,

PxO₂ = PxO₂ presión parcial de (pre/post-ML) sangre (mm Hg))

Example:

$(Hgb \times 1.34) \times (Sat\ Oxi\ Post - Sat\ Pre\ oxi) + (PaO_2 \times 0.003) \times \text{flujo (en decilitros)}$

Un paciente con Hct sp. 35, SVO₂ (circ) 71, SaO₂ (circ) 100, PO₂ post oxigenador 365 mmHg, flujo de bomba de 5 LPM

Para calcular la transferencia de O₂ a través del oxigenador:

$(12 \times 1.34) \times (1.0 - 0.71) + (365 \times 0.003) \times 50$

$$\begin{aligned}
 &= [(16.08 \times 0.29) + 1.095] \times 50 \\
 &= (4.6632 + 1.095) \times 50 \\
 &= 5.7582 \times 50 \\
 &= 287.9 \text{ ml de transferencia de O}_2 \text{ por minuto a través del oxigenador.}
 \end{aligned}$$

Se puede calcular la transferencia de CO₂ mediante Contenido de CO₂ de entrada—contenido de CO₂ de salida x flujo de sangre. Sin embargo, es más exacto calcular la cantidad de CO₂ en la salida de gas.

La transferencia de CO₂ siempre es mayor que la transferencia de O₂ si el pulmón de membrana funciona normalmente. La transferencia de CO₂ se controla ajustando el gas de barrido.

Falla en el Pulmón de membrana

El cálculo de la captación de O₂ dentro del oxigenador puede proporcionar información útil en relación al desempeño del oxigenador.

Al comparar la transferencia de O₂ mediante lo que está indicado en las instrucciones de uso del fabricante, podría darnos una visión del desempeño en ml; sin embargo, es más importante la tendencia diaria a los valores absolutos. Antes de extraer la sangre del oxigenador para gasometría los gases del oxigenador deben ajustarse a una FiO₂ de 100% para comparar de manera correcta las capacidades de transferencia en ml con el IFU.

Un control diario de gasometría podría detectar deterioro del oxigenador, y si esto se presenta acompañado de un soporte insuficiente del paciente, debe considerarse el cambio.

Se pueden realizar similares observaciones para detectar una disminución en la remoción de CO₂. En este caso la causa simplemente puede ser una membrana húmeda:

Podría mejorar el funcionamiento del oxigenador aumentar el gas de barrido durante unos segundos para quitar la condensación o liberar una obstrucción que está impidiendo el intercambio de gas. Lo anterior debe realizarse si existe sospecha de falla en el oxigenador. Si el índice de remoción de CO₂ en ml es menor a 10mmHg a pesar de un flujo máximo de gas, debe considerarse el cambio del oxigenador.

Los DNE del Fabricante (DNE no exceder) de los índices de flujo de barrido de gas deben anotarse y observarse ya que los índices de flujo de gas elevados pueden exceder los límites de presión ajustados para cada oxigenador lo que resulta en ruptura de la membrana.

Coágulos visibles

Podrían ser visibles los coágulos en el oxigenador dependiendo del diseño. La mayoría de los coágulos estarán situados en el lado venoso del dispositivo, donde la resistencia interna dirige el paso de la sangre a través de ciertos trayectos. Las áreas con la menor velocidad, alta resistencia o salida más lenta serán las primeras más proclives a formar coágulos.

Es necesario vigilar la formación de coágulos y debe considerarse un cambio del componente si esto se acompaña de una disminución del flujo de sangre manteniendo las mismas revoluciones por minuto (rpm), deterioro del perfil de coagulación del paciente (coagulopatía de consulo), hemólisis (elevación de PfHb), o soporte insuficiente del paciente.

Volumen de sangre del Oxigenador

La medición del tiempo de tránsito de un bolo de solución salina pasando a través del oxigenador realizado mediante un sensor colocado antes y después del oxigenador puede permitir la valoración cuantitativa del desempeño del oxigenador (**Figura 18**).

Bomba de Sangre del ECMO

La bomba de sangre controla el flujo requerido por el paciente. Existen diferentes diseños disponibles: bombas de rodillo y bombas centrífugas, de las cuales las bombas centrífugas son las más utilizadas. (ELSO Red Book 5ª Edición Cap. 5).

Bombas de rodillo

Genera succión directa en el tubo de entrada de la bomba la cual se puede limitar mediante bolsa (reservorio) servo-controlador para prevenir succión excesiva en el catéter de drenaje.

El tubo puede desgastarse o romperse en el cabezal de la bomba o bien si existe alguna oclusión en el tub o después de la bomba (**Figura 19**).

Bombas Centrífugas

Rotor magnético de bomba con control axial que genera succión negativa en un eje central mediante alta velocidad de rotación; la sangre se impulsa a través de un orificio lateral.

Todas las bombas centrífugas tienen sus consolas específicas de control las cuales aseguran la operatividad de la bomba y cada una posee ciertas características de monitoreo y seguridad (alarmas para flujo, burbujas de

aire, presiones, visuales y auditivas). La mayoría poseen baterías de respaldo. Debe existir siempre disponible un respaldo (manivela, motor de respaldo o consola extra). En caso de que sea necesario realizar el transporte del ECMO, debe estar disponible un sistema seguro para transporte.

El desempeño se relaciona con las rpms y depende de la precarga y la postcarga (**Figuras 20-22**).

Llenado del Circuito

Los circuitos se rellenan con soluciones cristaloides y/o productos sanguíneos (paquete globular * hemodilución) antes de iniciar el soporte con ECMO, a menos que esté en progreso la RCP, debido a que el objetivo es establecer el soporte ECMO tan pronto como sea posible.

Los aditivos al llenado primario con sangre pueden incluir NaHCO_3 , CaCl , Heparina, Plasma Fresco Congelado (FFP), y Albúmin a al 25%. Se recomienda checar la composición de electrolitos de la sangre de llenado antes de iniciar el ECMO.

Llenado con Cristaloide

Los pacientes >15Kg se les puede hacer el llenado primario con una solución cristaloides, sin embargo también depende del circuito según el volumen del paciente o la hemodilución.

Monitoreo In-Line y Online del Circuito de ECMO

Los monitores del circuito de ECMO, ya sea conectados por dentro o colocados sobre el circuito, se utilizan para medir la operatividad mientras funciona el circuito y alerta al operador acerca de condiciones no deseables. Cada institución debe examinar si el monitoreo de presión es apropiada para su población de pacientes para ECLS (**Figura 23**). (ELSO Red Book 5ª Edición Cap. 5).

Monitores de flujo

El flujo de sangre generalmente se monitorea de manera directa mediante flujómetros ultrasónicos sobre los circuitos de bombas con bombas centrífugas, o bien calcularse a partir de la capacidad del tubo y las revoluciones por minuto en

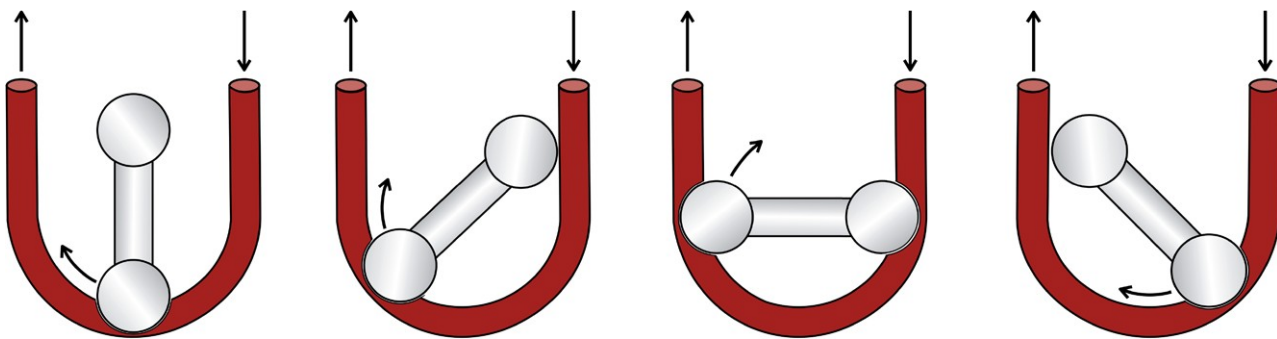


Figura 19. Ejemplo de bomba de rodillo.

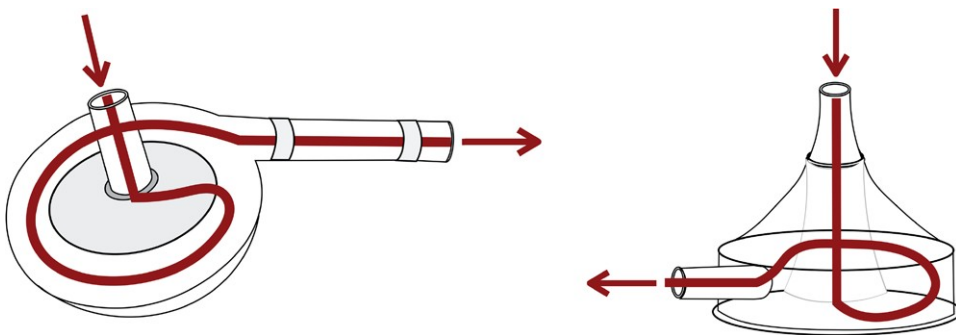


Figura 20. Ejemplos de bomba centrífuga.

DESIGN	IMPACT OF DESIGN ON PERFORMANCE
1. Small CP & designs without impellers	Higher rpms to produce flows
2. Fixed shaft CP	More thrombolytic & hemolytic
3. CP with impellers	Fractionizes & forward bubbles faster than CP with cones
4. Small designs	Easier blocked by thrombus
5. Levitated impellers	Can tilt due to disruption magnetic field (by air/thombus) creating turbulence, hemolysis & potential pump failure
5. High flow CP	Potential hemolytic in low flow/high P conditions
6. Failing CP	Handcrank or back-up motor

Figura 21. Existen diferentes diseños de bombas centrífugas clínicamente disponible. Todas poseen diferentes características las cuales impactan el desempeño. Todas se comportan diferente en relación a coágulos y el aire y requieren protocolos en relación a la problemática y en caso de falla técnica.

las bombas de rodillo. Debe considerarse el monitoreo directo en las bombas de rodillo para asegurar una oclusión apropiada y un flujo exacto de sangre.

Monitoreo de las presiones del circuito

Presión de entrada (P1): la magnitud de la presión negativa producida al vaciar la sangre desde el paciente hacia la bomba.

En caso de las bombas de rodillo deben utilizarse servoreguladores de entrada a la bomba para asegurar que no se produzca efecto de sifón debido a la fuerza de gravedad resultando en cavitación por excesiva presión

negativa o entrada de aire a través de los conectores variados o las llaves de tres vías.

En caso de las bombas centrífugas el monitoreo de la presión de entrada se puede lograr mediante un dispositivo de circuito de monitoreo de presión, el cual en algunas bombas puede servir como regulador automático de las rpm en caso de exceder los límites de presión negativa (**Figura 24**).

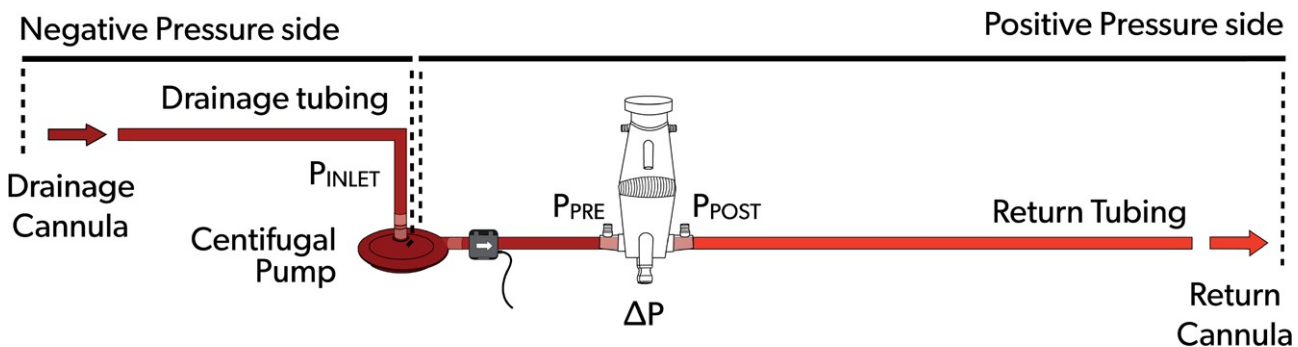
Presión pre-oxigenador (P2): presión entre la bomba y el oxigenador.

Presión post-oxigenador(P3): presión en el circuito después del oxigenador.

El gradiente de presión transmembrana o caída de presión (ΔP) se determina mediante la diferencia entre la presión pre-oxigenador y post-oxigenador y refleja la

resistencia interna dentro del oxigenador (**Figuras 25-27**).

	Pump behavior	Action	CAVE
Air	- Might pump micro or macroair (design) - Unable to produce flow in case of gross air - Might overheat and fail	- Address cause of air - Remove air - Exchange pump if needed	Massive air : immediately clamp circuit!! Do not handcrank!
Clots	- Noise - Tilted impeller - Blocked pump - Might forward clots	Exchange clotted pump	Hemolysis Do not handcrank !
Power failure	Pump will stop if no back-up battery	Exchange battery or take a fully charged console	Use handcrank or back-up motor during exchange
Technical failure of console	Pump will stop	Exchange console	Use handcrank or back-up motor during exchange



Extracorporeal Circuit - Pressures

Figura 23. Presiones del circuito extracorpóreo.

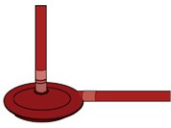
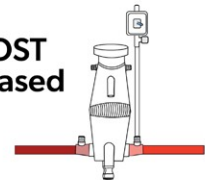
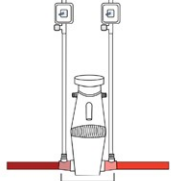
Centrifugal Pump Circuit Pressures	
Acronym	Definition & Determinants
P_{INLET} decreased 	Pump inlet or pre-pump pressure is the negative pressure in the blood phase from drainage cannula to the pump. Affected by: drainage cannula size & length, drainage tubing size & length, patient volume status/venous return, patient's venous resistances, site of pressure monitoring, relative position of pump vs patient. Be careful! P _{INLET} monitoring could be associated to the risk of air embolism if requiring circuit manipulation: consider pre-pump side as NO-touch
P_{PRE} severely increased 	Pre-membrane pressure is the positive pressure in the blood phase from the pump to the membrane lung inlet. Affected by: membrane lung internal resistances, return cannula size & length, return tubing size & length, patient afterload (depending from ECLS configuration), relative position of pump vs patient.
P_{POST} increased 	Post-membrane pressure is the positive pressure in the blood phase at the membrane lung outlet. Affected by: return cannula size & length, return tubing size & length, patient afterload (depending from ECLS configuration), relative position of pump vs patient.
ΔP 	ΔP or Delta P or Pressure Drop is the pressure gradient between the inlet and outlet of the membrane lung, calculated as P _{PRE} - P _{POST} . Affected by: extracorporeal blood flow, membrane lung internal resistances, return cannula size & length, return tubing size & length, patient afterload (depending from ECLS configuration).

Figura 24. Presiones del circuito con bomba centrífuga.

Be aware of ≠ pressures within the centrifugal pump circuit

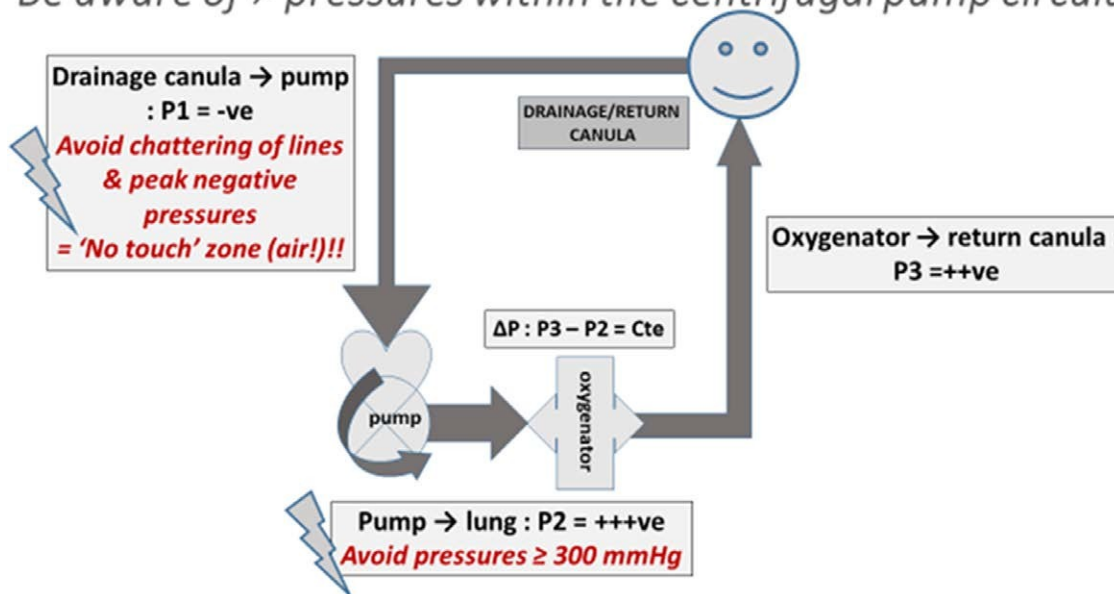


Figura 25. Las diferentes zonas de presión en un circuito de oxigenación de membrana extracorpórea (ECMO) con bomba centrífuga. Las zonas de presión en el circuito ECMO con bomba centrífuga son valores relativos y están en relación con ciertas variables.

Be aware of $\neq$ pressures within the centrifugal pump circuit

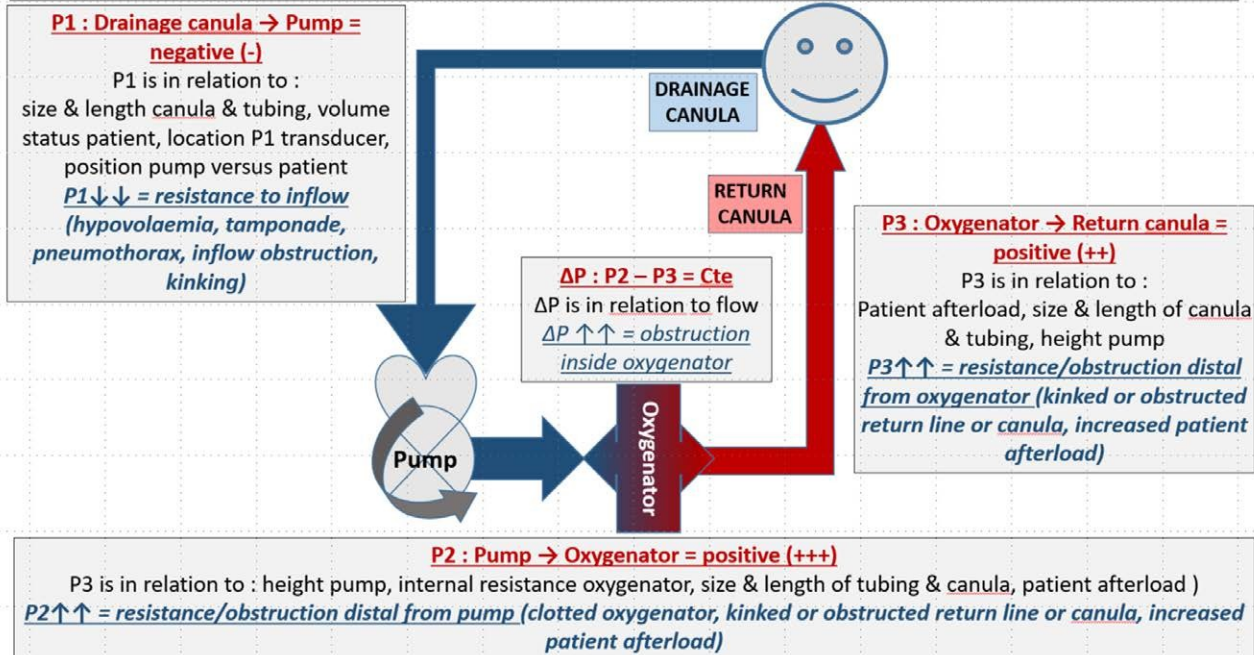


Figura 26. Las diferentes zonas de presión en un circuito de oxigenación de membrana extracorpórea (ECMO) con bomba centrífuga. Las zonas de presión en el circuito ECMO con bomba centrífuga son valores relativos y están en relación con ciertas variables.

P1 -50/ -100	P2 250/ 350	P3 200/ 300	ΔP (P1-P2)	Flow	Rpms	Possible causes	Corrective actions
↓	↓	↓	↓	↓	=	Hypovolemia, Tamponade, Pneumothorax Venous cannula malposition or venous line kinking, venous canula clot	Improve patient fluid status, Check for tamponade and pneumothorax Check patency and position of lines & canula
↑	↓	↓	↓	↓	↓ =	Pump failure Clot or air in pump	Hand crank or use back-up pump Remove clotted pump or air
↑	↑	↓	↑	↓	=	Oxygenator failure (thrombosis)	Exchange failing oxygenator
↑	↑	↑	↓	↓	=	Increased pump afterload (hypertension in VA ECMO, arterial line kinking, arterial canula kink or clot)	Check patency and position of return line & canula

P1 = drainage pressure / P2 = pre oxygenator pressure / P3 = post oxygenator pressure / ΔP = pressure drop over oxygenator

Figura 27. Relación entre presiones, flujo y rpms – causas probables y acciones correctivas.

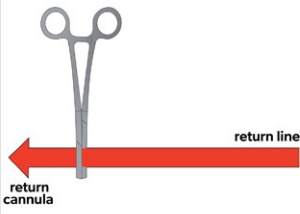
Clamp ECMO		Required	NOT Required
 Clamp return tubing first	VV	disconnected circuit or cannula circuit rupture (place 2 clamps pre/post leak)	pump failure/sudden pump stop resuscitation with external chest compressions but properly secure cannulae/tubings and monitor BF to eventually adjust RPM
	VA	pump failure/sudden pump stop to prevent back-flow; if LV vent present, also clamp venting tubing disconnected circuit or cannula circuit rupture (place 2 clamps pre/post leak)	resuscitation with external chest compressions, and ventricular fibrillation (providing shock as needed), but properly secure cannulae/tubings and monitor BF to eventually adjust RPM

Figura 28. Donde pinzar el circuito de oxigenación de membrana extracorpórea (ECMO).

Monitoreo de la saturación periférica arterial de oxígeno

La saturación arterial de O₂ (SaO₂) es la fracción de hemoglobina saturada con oxígeno en relación a la hemoglobina total de la sangre.

Detección de burbujas

Se pueden detectar las burbujas utilizando un sensor ultrasónico no invasivo colocado sobre el circuito o bien mediante reconocimiento visual. Es preferible colocar el detector de burbujas en el sitio post-oxigenador para asegurar que no se administra al paciente grandes cantidades de aire; éste puede desconectarse durante el mantenimiento del circuito para evitar confusión en la detección de aire. El detector de burbujas debe estar en uso durante el cuidado de rutina especialmente si el lado post-oxigenador del circuito se usará como sitio rutinario de acceso.

Indicación de la batería

La consola debe estar siempre conectada a un contacto eléctrico el cual estará diseñado como respaldo de electricidad de emergencia.

Circuitos ECMO pre-llenados para Standby

Debido al tiempo necesario que toma ensamblar y llenar el circuito de ECMO muchos centros mantienen circuitos ensamblados y llenos con solución cristaloide y con aditivos para aplicar cuando se necesite el ECMO (ver llenado de circuito anteriormente). Debido al tiempo y meticulosidad requeridos para no contaminar el circuito, es mejor armar y llenar con cristaloide el circuito en una

situación controlada y no en circunstancias de urgencia. Utilizando técnica estéril y una solución libre de sustratos para crecimiento bacteriano, el circuito no desarrollará crecimiento bacteriano durante un tiempo si se previene la contaminación durante los períodos de standby. De acuerdo a las Guías para Control de Infección de la ELSO, “es seguro mantener los circuitos pre-llenados hasta por 30 días, y posiblemente por más de 30 días si: 1) se arma y llena el circuito utilizando técnicas estériles estándar, y 2) el llenado primario es a base de solución electrolítica y no a base de soluciones con contenido de glucosa o de albúmina.” (ELSO Red Book 5ª. Edición Cap. 5).

Configuración Especial de ECMO

Puede configurarse una cánula adicional dentro del circuito en caso de falta de drenaje (agregando un catéter [venoso] de drenaje) o por la necesidad de liberación adicional de oxígeno (agregando un catéter adicional de retorno). El uso de *pinzas de control de flujo* (Pinza de Hoffman) pudieran ser necesarios en estas configuraciones con el fin de proporcionar los flujos de sangre deseados hacia ciertas áreas del paciente. Pueden utilizarse flujómetros adicionales para determinar los flujos exactos dirigidos a cada área.

¿Cuándo y dónde retirar el circuito ECMO?

Destete de ECMO

Disminuyendo la magnitud de soporte hacia el paciente para determinar se encuentra listo para retirarlo del soporte de ECMO (**Figura 28**).

En el momento del destete se debe estar consciente del flujo mínimo requerido a través del oxigenador de acuerdo al fabricante. Para alcanzar el flujo mínimo requerido por el fabricante, puede abrirse el puente (en caso de ser posible) o bien se puede agregar al circuito un shunt el cual aumentará el flujo de sangre a través del oxigenador mientras se mantienen bajos los flujos de sangre al paciente. (ELSO Red Book 5ª. Edición Cap. 51).

VA ECMO

Intentos con bajo flujo

Considerar anticoagulación adicional o elevar los niveles de anticoagulación para prevenir la formación de coágulo durante los intentos con flujo bajo al destetar de VA ECMO.

Destetar gradualmente durante el intento con flujo bajo de acuerdo al protocolo institucional. No dejar el flujo de sangre por debajo de los límites inferiores para bajo flujo más allá de lo necesario de acuerdo a los límites.

También puede utilizarse flujo retrógrado controlado por la bomba.

Intento con pinzado

Considere intentos breves de pinzado en los pacientes neonatos y pediátricos antes de la decanulación.

VV ECMO

Suspender el gas de barrido del oxigenador: la línea de gas puede desconectarse para asegurar que no existe intercambio de gas. Un ensayo VV con pinza no requiere despinzar el flujo de sangre porque no existe soporte cardíaco que se proporcione al paciente. Dar por terminado el soporte se realiza por un mínimo de varias horas para asegurar la tolerancia del paciente a la decanulación.

Terminología

Para la terminología de nomenclatura para los diferentes tipos de ECMO favor de dirigirse al Tratado Maastricht de la Organización de Soporte Vital Extracorpóreo para la

Nomenclatura en Soporte Vital, un documento realizado por la Organización de Soporte Vital Extracorpóreo.⁶

Reconocimientos

Los autores agradecen a Christine Stead, CEO, Peter Rycus, Director Ejecutivo, y a los miembros del Consejo por su invaluable contribución al desarrollo de estas guías.

Referencias

1. Brogan TV, Lequier L, Lorusso R, MacLaren G, Peek GJ: *Extracorporeal life support: The ELSO red book*. (5th ed.). Ann Arbor, MI: Extracorporeal Life Support Organization. 2017.
2. Broman LM, PrahL Wittberg L, Westlund CJ, *et al*: Pressure and flow properties of cannulae for extracorporeal membrane oxygenation II: Drainage (venous) cannulae. *Perfusion* 34(Suppl 1): 65–73, 2019.
3. Extracorporeal Life Support Organization Registry: The ELSO Registry. Retrieved from www.ELSO.org. ELSO Data Registry Guidelines – Definitions. Accessed February 2021.
4. Zachary B, Vercaemst L, Mason P, *et al*: How I approach membrane lung dysfunction. *Critical Care* 24:671, 2020.
5. Westrope C, Harvey C, Robinson S, Speggorin S, Faulkner G, Peek GJ: Pump controlled retrograde trial off from VA-ECMO. *ASAIO J* 59: 517–519, 2013.
6. Conrad SA, Broman LM, Taccone FS, *et al*: The extracorporeal life support organization maastricht treaty for nomenclature in extracorporeal life support. A position paper of the extracorporeal life support organization. *Am J Respir Crit Care Med* 198: 447–451, 2018.