

## PROTOCOLO OXIGENADOR DE MEMBRANA EXTRACORPÓREA – ECMO.

Redactado por:	Revisado por:	Aprobado por:
<ul style="list-style-type: none"><li>Equipo Ecmo Servicio Medicina Intensiva</li><li>Servicio Cirugía Cardíaca</li><li>Equipo Perfusionistas Cirugía Cardíaca</li></ul>	<p><b>Servicio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>López Sánchez, Luis</li><li>Robles Marcos, Manuel Santiago</li></ul> <p><b>Coordinación de Calidad:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>Campal Donaire, M. Soledad</li><li>Torres Fernández, Carlota</li></ul>	<p><b>Comisión de Dirección</b></p>
Fecha: 01/04/2024	Fecha: 26/04/2024	Fecha: 02/05/2024

## ÍNDICE DEL PROTOCOLO

1	INTRODUCCIÓN .....	2
2	INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES .....	7
2.1	Indicaciones ECMO VV .....	7
2.2	Contraindicaciones ECMO VV .....	10
2.3	Indicaciones ECMO VA .....	10
2.4	Contraindicaciones ECMO VA .....	13
3	ECMO EN SITUACIONES ESPECIALES .....	16
3.1	ECMO RCP .....	16
4	CANULACIÓN, CONFIGURACIÓN Y ASPECTOS QUIRÚRGICOS .....	19
4.1	Modos de canulación .....	19
4.2	Estrategias y abordajes .....	20
5	INICIO DE SOPORTE CON ECMO .....	22
5.1	Inicio de la ECMO VV .....	22
5.2	Inicio de la ECMO VA .....	23
6	MANEJO Y MONITORIZACIÓN .....	25
6.1	Monitorización hemodinámica .....	25
6.2	Monitorización ecocardiográfico .....	25
6.3	Manejo de la ventilación mecánica en el paciente en ECMO .....	28
6.4	Anticoagulación y monitorización .....	29
6.5	Profilaxis y control de infecciones .....	31
6.6	Analgesia, sedación y monitorización neurológica .....	32
7	COMPLICACIONES MECÁNICAS Y CLÍNICAS .....	33
7.1	Complicaciones asociadas al circuito .....	33
7.2	Relacionadas con el paciente .....	37
8	TRASLADO INTRA/INTERHOSPITALARIO DEL PACIENTE EN ECMO .....	44
9	DESTETE DE ECMO .....	46
9.1	Destete ECMO venovenoso .....	46
9.2	Destete ECMO VA .....	47
10	BIBLIOGRAFIA .....	53

## 1 INTRODUCCIÓN

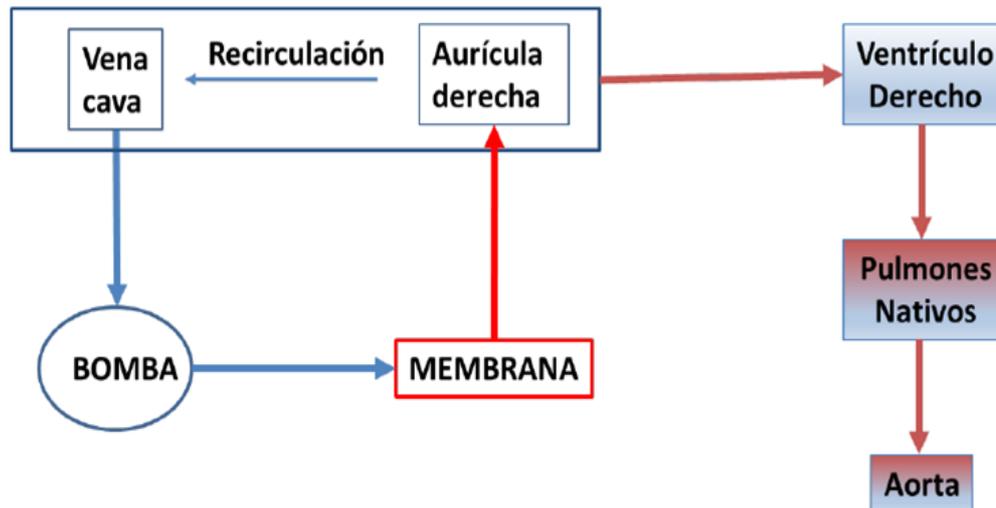
La membrana de oxigenación y circulación extracorpórea (ECMO) es un dispositivo de asistencia circulatoria/y o respiratoria extracorpórea de uso en situaciones potencialmente reversibles y refractarias a tratamiento convencional. Permite oxigenación, ventilación, o mantenimiento de gasto cardíaco gracias a dispositivos externos al organismo.

El sistema ECMO es un circuito extracorpóreo que drena sangre venosa a través de la cánula de drenaje y mediante una bomba centrífuga pasa por una membrana donde se realiza la oxigenación y descarboxilación, para finalmente retornar al cuerpo del paciente por la línea de retorno o infusión. La línea de retorno puede ser venosa, con una función puramente respiratoria o arterial (ECMO V-A), en aquellos casos que precise asistencia cardíaca añadida.

El flujo de la ECMO viene determinado por el sitio del acceso vascular, el diámetro de la cánula de drenaje, el tamaño de la cánula, la resistencia y las propiedades de la bomba.

El diámetro del sistema se elige para permitir drenaje venoso libre con mínima resistencia.

### CIRCUITOS Y COMPONENTES



*Imagen 1. Esquema Circulación Extracorpórea*

El sistema está constituido por los siguientes componentes:

- Cánulas
- Bomba
- Oxigenador de membrana
- Mezclador de gases
- Calentador

## Tipo de cánulas

Las cánulas están fabricadas con material biocompatible, al igual que el circuito, para reducir la aparición de síndrome de respuesta inflamatoria sistémica, por el contacto de la sangre con material extraño. Se encuentran reforzadas en su interior con una zona anillada de alambre para dar flexibilidad y permitir mayor flujo, evitando acodadura.

Las cánulas pueden ser venosas o arteriales, con la principal diferencia de que las cánulas venosas son multiperforadas, para aumentar la aspiración y evitar el colapso en el circuito de succión. Para la mayoría de los adultos, la cánula de drenaje debe ser de 23F a 25F, y la cánula de retorno debe ser 17F a 21F. En el caso del ECMO VV se emplean cánulas arteriales para la perfusión de la sangre oxigenada, pero de mayor tamaño por necesidad de flujos más elevados.

Deben tener el mayor calibre posible mínima resistencia y siempre de un diámetro menor al vaso en el que se insertan para evitarla obstrucción completa del flujo. La resistencia al flujo varía directamente proporcional con la longitud de la cánula e inversamente proporcional al radio de ésta (Ley de Poiseuille); cuanto menos longitud y mayor diámetro, mayor flujo. Para la valoración del tamaño se recomienda el uso de ecografía y la canulación ecoguiada.

Existe la posibilidad de utilizar una sola cánula de doble luz utilizando la vena yugular interna, aunque su colocación precisa de experiencia, y se recomienda colocarla bajo control radiológico, además los flujos que proporciona no son tan elevados.

## Bomba

La bomba es la encargada de extraer la sangre del paciente hacia el oxigenador y, por tanto, establece el flujo de la ECMO. Actualmente, se utilizan bombas centrifugas (Rotaflow), que generan presiones más altas con menos rpm, de flujo continuo, produciendo flujo laminar no pulsátil y de naturaleza no oclusiva; poseen un motor rotativo que aplica succión prebomba provocando una presión negativa, y la empujan después del filtro con presión positiva; esto ocurre sin compresión de la tubuladura permitiendo una vida más larga del sistema y así como la posibilidad de clampar el sistema u ocluirlo sin romper la integridad del mismo, y provocando menos hemólisis. Proporcionan flujos sanguíneos de hasta 5-7 l/min.

El flujo depende de la precarga del paciente (volumen) y están limitadas por la postcarga (resistencias), adaptándose a las mismas mediante el aumento de las rpm.

Una vez iniciada la ECMO VV, las presiones del circuito deben monitorizarse continuamente para determinar el gradiente de presiones en tres puntos clave:

1. *La presión de succión* que se genera en el drenaje venoso.
2. *La presión transmembrana* que se genera entre uno y otro lado de la membrana de intercambio.
3. *La presión de retorno* generada en la cánula del mismo nombre.

La **presión de succión** nos permite evaluar dos tipos de fenómenos: el fenómeno de *cavitación*, que se produce al generarse presiones de succión muy elevadas en la zona del rotor cuando se trabaja a revoluciones elevadas; produce oclusión transitoria de la línea en el rotor y se pueden producir burbujas de gas y hemólisis.

Un segundo fenómeno, más frecuente con las bombas electromagnéticas, es el “*chattering*” o “*castañeteo*”; consiste en la vibración de la cánula de succión debido a cambios en la posición del paciente, presencia de hipovolemia o cambios en la relación de presiones intratorácica/intraabdominal. En la actualidad, la mayoría de los equipos se autorregulan, deteniéndose cuando aparecen ambos tipos de fenómenos. Se recomienda que el valor de P1 no supere los -100 mmHg e, idealmente, los -80 mmHg para prevenir la hemólisis.

La **presión de retorno** no suele presentar tantas variaciones. Su elevación está en relación con acodamientos de la cánula si está colocada en la vena yugular interna o de acodamientos del circuito. Variaciones bruscas en ambos sentidos deben alarmar por una posible desconexión del circuito o decanulación accidental y, en el caso de sobrepresión por la aparición de un neumotórax. Los valores de referencia están entre los 150-200 mmHg.

La **presión transmembrana** mide la permeabilidad de la membrana al paso de sangre y es un buen indicador del funcionamiento de la misma. Sus valores máximos dependen del fabricante de la membrana, y sus variaciones durante el tratamiento se correlacionan con la formación de trombos.

### **Oxigenador de membrana**

Compuesto por una membrana de polimetilpenteno impermeable al plasma, que separa la fase gaseosa y la sanguínea, permitiendo la transferencia de los gases por difusión y se

encarga de la oxigenación de la sangre. El oxigenador de membrana contiene una válvula de escape de aire desde la fase sanguínea (atrapa-burbujas)

	Conector	Flujo Mínimo (L/min)	Flujo Máximo (L/min)	Superficie Membrana (m <sup>2</sup> )	Presiones Integradas (IPS)	Intercambiador de Calor
X Lung 	3/8"	1	7	1,9	SI	SI
iLA 	3/8"	0.5	4.5	1,3	SI	-
Mini Lung 	1/4"	0.35	2.4	0,65	SI	SI
Mini Lung Petite 	1/4"	0.1	0.8	0,32	SI	SI

### Imagen 2. Tipos de membrana en Novalung

La capacidad de transferencia de O<sub>2</sub> que tiene la ECMO depende de 3 factores:

- **Flujo de bomba de sangre de la ECMO:** A mayor flujo, más cantidad de oxígeno es transferido a la hemoglobina. Cuando la hemoglobina alcanza la saturación de O<sub>2</sub> en la membrana, solo aumenta el O<sub>2</sub> disuelto en plasma.
- **Capacidad de oxigenación de la sangre:** Depende de 2 factores:
  - \*Concentración de hemoglobina, que transporta la mayoría del O<sub>2</sub>. A menor cantidad de hemoglobina, menor capacidad de transporte de O<sub>2</sub>.
  - \*Gradiente de oxígeno entre la sangre y el gas de barrido de la ECMO. Éste depende del oxígeno que hay en el gas de barrido, determinado por la FiO<sub>2</sub> del gas, y por otro lado de la SatO<sub>2</sub> y pO<sub>2</sub> de la sangre que entra en la ECMO. Cuanto mayor es la SatO<sub>2</sub> y pO<sub>2</sub> de la sangre que entra en la ECMO, menor gradiente con el gas de barrido, y menos difusión de O<sub>2</sub>.
- **Capacidad de oxigenación intrínseca de la membrana:** Influye el material de la membrana, la superficie total de intercambio y su grosor.

Además, las membranas tienen una característica en común, el flujo nominal o «rated flow», que define la cantidad de sangre venosa con una hemoglobina de 12 gr/dl cuya saturación de O<sub>2</sub> aumenta de 75% a 95%. Siempre que el flujo de sangre esté por debajo del flujo nominal, ésta aumentará su SatO<sub>2</sub> como se espera. Si pretendemos aumentar el

flujo de sangre por encima del flujo nominal, la membrana no es capaz de transferir más O<sub>2</sub> en esa cantidad de tiempo.

### **Mezclador de gases**

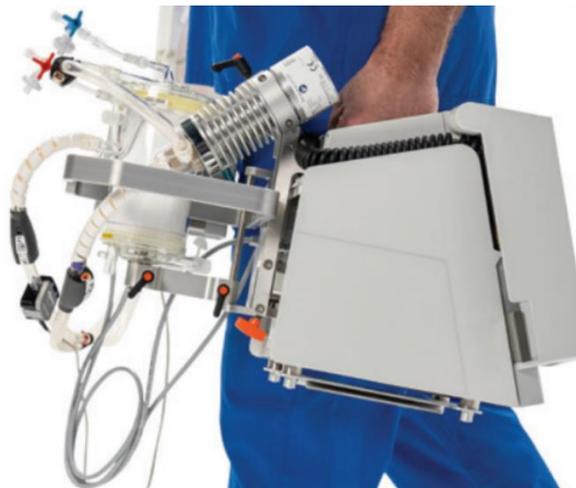
Dispositivo con 2 caudalímetros, uno de oxígeno y otro de aire, mediante el cual se regula la FiO<sub>2</sub> del gas de barrido; esta mezcla de aire y oxígeno entra en la membrana, realizando el intercambio gaseoso. Para mejorar la oxigenación tendremos que aumentar la FiO<sub>2</sub> del gas de barrido y para bajar los niveles de pCO<sub>2</sub> debemos aumentar flujo del gas de barrido; esto aumenta el aclaramiento de CO<sub>2</sub> sin afectar a la oxigenación.

El flujo del gas de barrido se ajusta para mantener una pCO<sub>2</sub> 35-45mmHg. El débito de gas se regula en función del CO<sub>2</sub> en sangre para conseguir la normocapnia.

El vapor de agua se puede condensar en el gas de compartimento, para eliminarlo aumentaremos temporalmente el flujo de gas de barrido, si se acumula mucho vapor, puede hacer que aumente el CO<sub>2</sub>.

### **Calentador**

Circuito de agua caliente que se acopla al oxigenador, consiguiendo el calentamiento de la sangre. El dispositivo de Fresenius es calentador/enfriador de forma que la temperatura tiene un rango de 15-39°.



*Imagen 3. Consola Xenius Novalung. Modalidad de transporte*

## 2 INDICACIONES Y CONTRAINDICACIONES

### 2.1 Indicaciones ECMO VV

El ECMO VV debe considerarse en aquellos pacientes que presentan un riesgo de mortalidad muy elevado a pesar de haber optimizado el manejo convencional con ventilación mecánica, incluyendo el uso VM protectora y al menos un cambio a terapia en decúbito prono.

Aunque la terapia con ECMO VV no proporciona soporte hemodinámico, consigue en cierta medida mejorar la función del ventrículo derecho (VD) en aquellos pacientes donde la hipoxemia y el reflejo de vasoconstricción alveolo-hipóxico provocan un aumento importante de las resistencias vasculares pulmonares (RVP) y de la poscarga del VD. Ya que el objetivo del ECMO en pacientes con fallo respiratorio es mejorar la oxigenación y la ventilación, se puede indicar en las siguientes situaciones:

a) HIPOXEMIA REFRACTARIA:

Las causas más frecuentes de hipoxemia refractaria que requieren soporte con ECMO VV son el SDRA, la disfunción primaria del injerto pulmonar, TEP, neumonía eosinofílica, hemorragia alveolar y fistula broncopleural.

Las indicaciones de la ELSO para iniciar terapia con ECMO VV están basadas en situaciones donde la morbimortalidad de la hipoxemia supera las complicaciones derivadas del soporte con ECMO. Podemos encontrar varias situaciones:

- INDICACIÓN DE SOPORTE CON ECMO VV = RIESGO DE MORTALIDAD > 80% definido como:
  - PaFiO<sub>2</sub> < 80 con FiO<sub>2</sub> > 90%
  - Murray score 3-4 y/o APSS 8 y/o AOI score 80
- CONSIDERAR SOPORTE CON ECMO VV = RIESGO DE MORTALIDAD > 50% definido como:
  - PaFiO<sub>2</sub> < 150 con FiO<sub>2</sub> > 90%
  - Murray score 2-3 y/o APSS 3 y/o AOI score 60

MURRAY SCORE	0 PUNTOS	1 PUNTO	2 PUNTOS	3 PUNTOS	4 PUNTOS
<b>RX DE TÓRAX</b>	0	1	2	3	4
<b>PaFiO2</b>	> 300	225-299	175-224	101-174	< 100
<b>PEEP (cmH2O)</b>	< 5	6-8	9-11	12-14	> 15
<b>Compliance (ml/cmH2O)</b>	> 80	60-79	40-59	20-39	< 19

**El total de puntos se divide entre 4 para obtener el resultado definitivo.**

Tabla 1. Murray score \*Rx de tórax: cuadrantes afectados en la radiografía

APPS SCORE	1 PUNTO	2 PUNTOS	3 PUNTOS
<b>Edad (años)</b>	< 47	47-66	> 66
<b>PaFiO2</b>	> 158	105-158	< 105
<b>Presión Plateau (cmH2O)</b>	< 27	27-30	> 30

Tabla 1. APSS Score

$$AOI = Edad + \frac{PM \text{ vía aérea} \times FiO2 (\%)}{(pO2)}$$

AOI score = 60 -- mortalidad del 50%/ AOI score = 80 -- mortalidad del 80%

Existen varios estudios con criterios de indicación similares, pero con particularidades entre ellos:

	(CESAR TRIAL)	EOLIA TRIAL	ECMONET
<b>INDICACIÓN ECMO VV</b>	- Fallo respiratorio potencialmente reversible. - Murray Score $\geq$ 3.0 - pH < 7.20 a pesar de optimizar tratamiento convencional	- P/F < 50 con FiO2 >0.8 durante >3 horas, - P/F <80 con FiO2 >0.8 durante >6 horas - pH<7.25 durante >6 hrs (FR de hasta 35/min) con Pplat <32 cmH2O	- Índice Oxigenación > 30 - P/F < 70 con PEEP $\geq$ 15 cmH2O - pH < 7.25 durante > 2 horas -Inestabilidad HD

<b>CONSIDERAR</b> <b>ECMO VV</b>	Murray score $\geq 2.5$	P/F < 100 con PEEP $\geq 10$ cmH <sub>2</sub> O en pacientes esperando transferencia a ECMO center.
-------------------------------------	-------------------------	--

Tabla 3. AOI (Índice de oxigenación adaptado)

Actualmente y basado en las nuevas guías europeas publicadas sobre el SDRA (junio 2023), se recomienda el uso de ECMO VV en pacientes con SDRA definidos por los criterios recogidos en el estudio EOLIA y tendrían que ser tratados en centros ECMO con logísticas estandarizadas y estrategias de manejo similares a las usadas en el estudio EOLIA.

#### b) HIPERCAPNIA REFRACTARIA

Los pacientes con enfermedades pulmonares obstructivas (EPOC o ASMA) pueden sufrir agudizaciones de su patología basal con insuficiencia respiratoria hipercápnica grave. La hipercapnia resulta de un empeoramiento brusco y limitación del flujo espiratorio provocado por un aumento de las resistencias en la vía aérea. Esto conlleva el desarrollo de hiperinsuflación y autoPEEP. El papel del ECCO<sub>2</sub>R en este tipo de pacientes representa una terapia atractiva permitiendo una reducción del volumen tidal y la frecuencia respiratoria permitiendo romper el círculo vicioso de hiperinsuflación y dar tiempo a la resolución del broncoespasmo.

La indicación de ECMO para la insuficiencia respiratoria hipercápnica refractaria viene definida como:

- pH < 7,20 y/o PCO<sub>2</sub> > 80 mmHg
- Ausencia de respuesta a pesar de VM con Pplateau > 30 cmH<sub>2</sub>O.

Actualmente las nuevas guías europeas sobre el SDRA desaconsejan el uso de ECCO<sub>2</sub>R en pacientes que presentan SDRA, fuera del marco de ensayos clínicos, ya que presentan un mayor número de complicaciones y no existen aún dispositivos del todo optimizados.

#### c) AIR-LEAK SYNDROMES (fugas aéreas severas)

Pacientes con fistulas broncopleurales, traqueoesofágicas, neumotórax con difícil resolución pueden beneficiarse del uso de ECMO VV ya que van a permitir alcanzar parámetros de protección y reposo pulmonar para dar tiempo hasta la resolución del

cuadro inicial e incluso permitir soporte respiratorio en caso de precisar reparación quirúrgica.

- d) NECESIDAD DE INTUBACIÓN EN PACIENTE EN LISTA DE TRASPLANTE PULMONAR
- e) PARO CARDÍACO INMINENTE O COLAPSO RESPIRATORIO

La ECMO VV también puede indicarse en aquellos pacientes donde la situación de hipoxemia severa amenace la vida en forma de parada cardiaca inminente por causas como TEP o vía aérea bloqueada.

## 2.2 Contraindicaciones ECMO VV

En base a las guías actuales de la ELSO sobre ExtraCorporeal Life Support (ECLS), no existen contraindicaciones absolutas. Tienen que existir consideraciones sobre el beneficio/riesgo y evaluación individual del caso. No obstante, las siguientes condiciones se han propuesto como contraindicaciones relativas al uso de ECLS:

- a) Hemorragia reciente de SNC o no controlada.
- b) Comorbilidades: enfermedad maligna terminal y lesión severa del SNC no recuperable.
- c) Inmunodepresión (definida como neutrófilos  $< 400/\text{mm}^3$ ).
- d) Edad: no existe un número de corte, pero, a mayor edad, mayor mortalidad.
- e) VM prolongada durante  $> 7$  días con parámetros de VM agresiva ( $\text{FiO}_2 > 90\%$  con  $\text{Pplat} > 30 \text{ cmH}_2\text{O}$ ).

## 2.3 Indicaciones ECMO VA

El ECMO VA como soporte circulatorio debe ser considerado en pacientes con shock cardiogénico refractario y no debe ser la primera medida a emplear. Es difícil establecer el momento idóneo para iniciar el soporte con ECMO y para ello nos ayudamos de la escala SAVE recomendada por la ELSO que predice mortalidad tras el inicio de ECMO. La asistencia ECMO se debe plantear en casos de shock cardiogénico refractario (INTERMACS I-II) como puente:

- Recuperación: objetivo más frecuente. Suelen ser disfunciones ventriculares (VI, VD, Biventricular) recuperables a corto plazo. Ejemplo: IAM, shock

postcardiotomía, FPI cardiaco, miocarditis, miocardiopatía periparto, miocardiopatía séptica, TEP...

- Decisión: no se dispone de suficiente información clínica y no podemos decidir en este momento si en un futuro podría ser tributario de otros tratamientos.
- Puente al puente: pacientes subsidiarios de dispositivos de asistencia ventricular. No hay tiempo por la situación clínica. Genera controversia y suelen ser pacientes más crónicos. Ejemplo: miocardiopatía dilatada.
- Trasplante cardíaco. no se espera la recuperación cardiológica y cumple criterios de trasplante. Ejemplo: CIV isquémica con reparación quirúrgica fallida.

Para considerar shock cardiogénico en situación refractaria se define como la persistencia de hipotensión y/o hipoperfusión tisular, asociando bajo gasto cardíaco ( $IC < 2,2$  l/min/m<sup>2</sup>) a pesar de optimizar volemia y uso de fármacos inotrópicos y vasopresores a dosis altas. Se consideran dosis elevadas (dopamina a  $> 10$  mcg/kg/min, noradrenalina  $> 0,5$  mcg/kg/min, adrenalina  $> 0,1$  mcg/kg/min, dobutamina  $> 10$  mcg/kg/min y milrinona  $> 0,5$  mcg/kg/min). El gasto cardíaco puede medirse por catéter de arteria pulmonar, mediante termodilución transpulmonar o con ecocardiografía. La hipoperfusión tisular se define como oliguria ( $< 0,5$  ml/kg/h), extremidades frías, alteración del estado mental y/o lactato sérico  $> 2$  mmol/L.

PERFILES	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
<b>INTERMACS 1</b>	Crash and burn	Inestabilidad hemodinámica pese a dosis crecientes de catecolaminas y/o soporte circulatorio mecánico con hipoperfusión crítica de órganos diana (shock cardiogénico crítico)
<b>INTERMACS 2</b>	Sliding on inotropes	Soporte inotrópico intravenosos con cifras aceptables de presión arterial y deterioro rápido de la función renal, el estado nutricional o los signos de congestión
<b>INTERMACS 3</b>	Dependent stability	Estabilidad hemodinámica con dosis bajas o intermedias de inotrópicos e imposibilidad para su retirada por hipotensión, empeoramiento sintomático o insuficiencia renal progresiva
<b>INTERMACS 4</b>	Frequent flyer	Es posible retirar transitoriamente el tratamiento inotrópico, pero el paciente presenta recaídas sintomáticas frecuentes, habitualmente con sobrecarga hídrica
<b>INTERMACS 5</b>	Housebond	Limitación absoluta de la actividad física, con estabilidad en reposo, aunque habitualmente con retención hídrica moderada y un cierto grado de disfunción renal
<b>INTERMACS 6</b>	Walking wounded	Menor limitación de la actividad física y ausencia de congestión en reposo. Fatiga fácil con actividad física ligera.

INTERMACS 7

Placeholder

Paciente en clase funcional NYHA II-III sin balance hídrico inestable actual ni reciente

*Tabla 4. Clasificación INTERMACS (Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support) para la clasificación de los pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada.*

Originalmente, el shock cardiogénico refractario (tras IAM o miocarditis) y el fallo en el destete del bypass cardiopulmonar tras cirugía cardíaca han sido las indicaciones más tradicionales de ECMO VA.

Existen otras patologías que podrían ser indicación de ECMO VA:

**1. Shock cardiogénico refractario:**

- a. Infarto agudo de miocardio (IAM).
- b. Tormenta arrítmica refractaria.
- c. Miocarditis aguda o fulminante.
- d. Miocardiopatía de estrés o Takotsubo.
- e. Miocardiopatía periparto

**2. Descompensación de miocardiopatía previa, en situación INTERMACS I-II**

**3. Tras cirugía cardíaca:**

- a. Shock postcardiotomía.
- b. Disfunción primaria del injerto.

**4. ECPR (Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation)**

**5. Tromboembolismo pulmonar**

**6. Hipertensión arterial pulmonar**

**7. Otras:**

- a. Soporte transitorio en procedimientos coronarios de alto riesgo.
- b. Miocardiopatía séptica.
- c. Intoxicación/sobredosis de fármacos cardiotóxicos.
- d. Anafilaxia grave.
- e. Hipotermia accidental.
- f. Soporte ventricular derecho durante implante de DAV izquierda.
- g. Pacientes con IRA grave que presentan disfunción uni o biventricular.

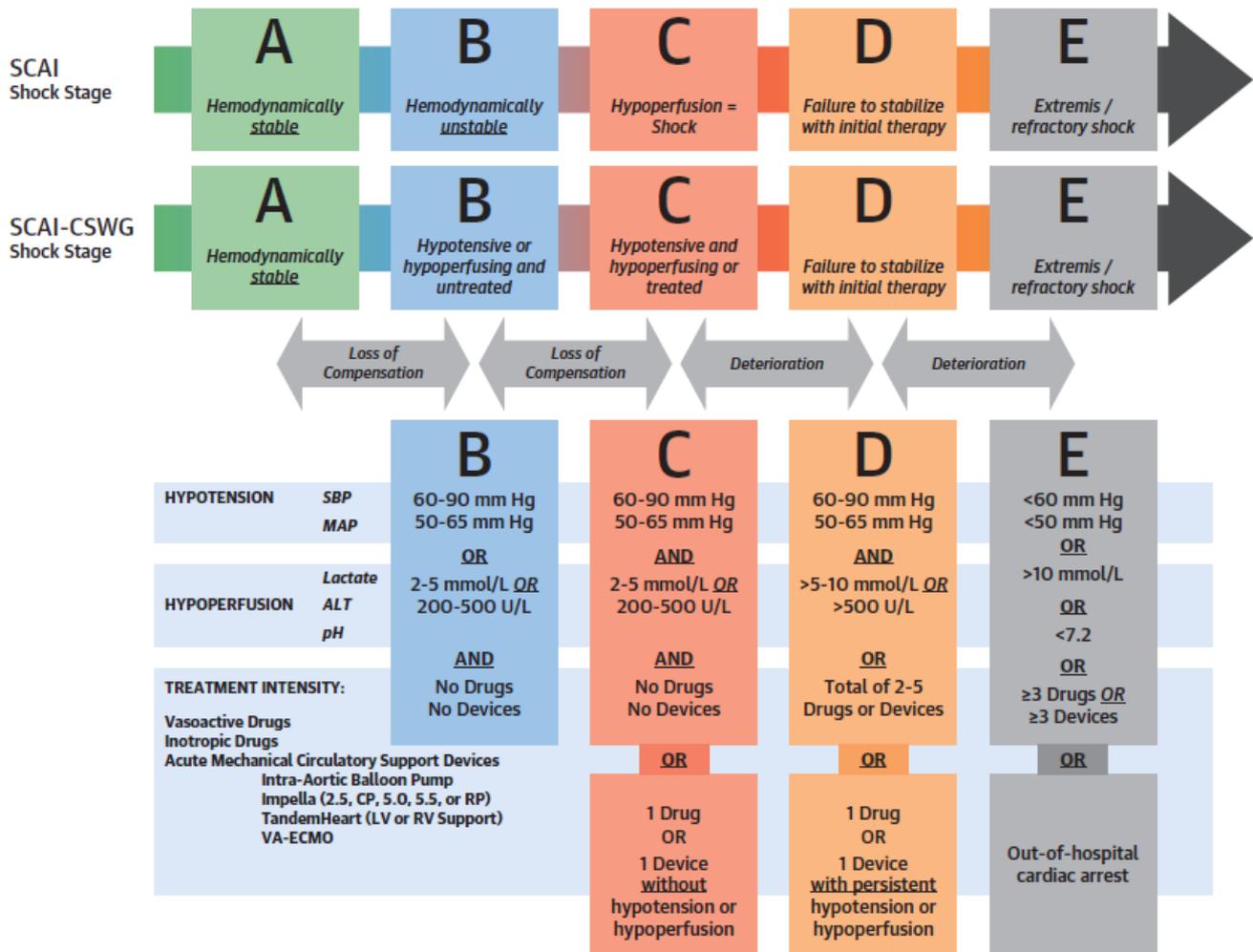
El ECMO VA presenta distintos grados de supervivencia en función de la etiología del shock. El shock cardiogénico más frecuentes es el shock post-IAM, pero presenta mayor mortalidad que la DPI, miocarditis fulminante o TEP.

*Imagen 4. Scala SCAI. Clasificación por etapas del shock cardiogénico*

## **2.4 Contraindicaciones ECMO VA**

Antes de iniciar soporte circulatorio con ECMO VA, debemos asegurarnos de que el paciente no presenta futilidad terapéutica y debemos de apoyarnos en escalas pronósticas (SAVE scale).





Kapur NK, et al. J Am Coll Cardiol. 2022;80(3):185-198.

Asimismo, existen contraindicaciones para terapia con ECMO VA:

a) **ABSOLUTAS:**

- a. Enfermedad terminal: neoplasia no controlada, lesión SNC irreversible, cirrosis hepática child B-C, ERC estadio 5 o diálisis, EPOC terminal, IC terminal no subsidiaria de DAV ni trasplante
- b. PCR (asistolia, PCR no presenciada)
- c. Disección aórtica tipo A no reparada
- d. Deseo del paciente

b) **RELATIVAS:**

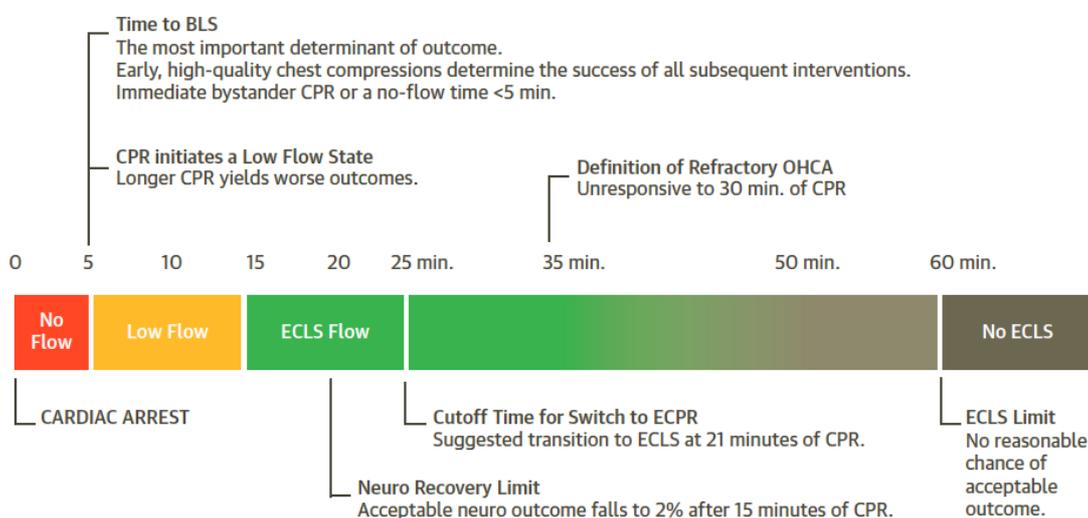
- a. Insuficiencia aórtica severa
- b. Acceso vascular limitado
- c. Sangrados/coagulopatías
- d. Edad



### 3 ECMO EN SITUACIONES ESPECIALES

#### 3.1 ECMO RCP

En situación de refractariedad a medidas convencionales de RCP se han introducido nuevas herramientas como la resucitación cardiopulmonar extracorpórea (eRCP), para la recuperación de la circulación y del medio interno y reperfusión de los órganos diana mientras se diagnostica o trata la causa de la PCR. El uso de eRCP tiene mayor impacto en el pronóstico neurológico y en la recuperación funcional del paciente, ya que asegura la presión de perfusión cerebral desde su implantación.



*Imagen 5. Tiempos en eRCP*

El Equipo ECMO se debe activar ante parada cardiocirculatoria presenciada, en la que tras 10-15 min de RCP avanzada no se ha logrado la recuperación de circulación espontánea, en aquellos pacientes que cumplan unos criterios definidos. El Equipo ECMO debe preparar el material y realizar una canulación precoz, idealmente en los primeros 30 min para minimizar el daño neurológico. Durante todo el proceso, se debe continuar con el manejo convencional de RCP establecido en las guías clínicas actuales. Si durante la preparación, recupera la circulación espontánea el paciente debe ser trasladado a la unidad de cuidados intensivos y no desactivar el protocolo hasta transcurrido al menos 30min. Aún no presentado nueva PCR, es posible que la situación de shock cardiogénico precise asistencia mecánica por shock cardiogénico refractario. Para llevar a poder llevar acabo un programa de eRCP, la ELSO recomienda la presencia

de infraestructura necesaria para dar soporte a este tipo de pacientes a nivel extra e intrahospitalario, incluyendo:

- Equipos de emergencia extrahospitalario 24/7 (con sistemas de compresión mecánicos)
- ECMO TEAM disponible en menos de 15 minutos.
- 24/7 personal especializado en ECMO.
- Canulación bajo PCR.
- ETT, ecografía vascular, laboratorio de hemodinámica, NIRSS
- Equipo de UCI entrenado disponible en el lugar del ECPR.

<b>ECPR</b>	
<b>For IHCA</b>	<b>For OHCA</b>
Resuscitation team for hospital 24/7	Resuscitation team at the site where OHCA is referred to 24/7
Early alert system to notify ECMO team leader about IHCA	Early alert system to notify cardiac center/emergency department coordinator about OHCA
Coordinated collaboration with CPR team leader	Coordinated collaboration with EMS crew/dispatcher during transport with ongoing CPR (mechanical chest compressions)
ECMO team ready within 15 minutes at the site of ECPR	
24/7 available preassembled ECLS device and perfusionist/specialist	
Ability to transport a patients with ongoing CPR in the hospital (mechanical chest compressions used)	Ability to admit patients with ongoing CPR via mechanical chest compressions
Ability to cannulate and perform invasive procedures (coronary angiography) under ongoing CPR (includes technical skills and equipment)	
Readily available: echocardiography, vascular ultrasound, basic laboratory examinations, optional monitoring of cerebral tissue saturation	
Trained ICU team available at the site of ECPR	

*Tabla 5. Infraestructura necesaria para desarrollar un programa de ECPR.*

Cuando hablamos de indicaciones de ECPR, debemos cambiar el término a “paciente ideal para ECPR”. Este paciente debe incluir las siguientes características, basadas en el estudio de PRAGUE-OHCA:

- a) Parada cardíaca súbita presenciada (vía pública, urgencias, UCI, laboratorio de hemodinámica...)
- b) Etiología reversible: SCA, TEP, miocarditis, ritmos desfibrilables, etc).
- c) RCP de alta calidad iniciada al momento de la PCR
- d) Recuperación de circulación espontánea intermitente.
- e) Ausencia de comorbilidades graves.
- f) Edad menor a 70 años.

#### **INDICACIONES PARA ECMO RCP:**

- Edad  $\leq$  65 años.
- Parada cardíaca intrahospitalaria presenciada.
- Ritmo inicial de fibrilación ventricular o taquicardia.
- No recuperación de circulación tras 15min de RCP convencional
- TEP con parada cardiorrespiratoria.

#### **CRITERIOS DE EXCLUSIÓN o CONTRAINDICACIONES:**

- Deseos previos de no RCP.
- PCR no presenciada
- Asistolia con ritmo inicial (excepción PCR en el contexto de tromboembolismo pulmonar).
- Tiempo de no flujo  $>$  10 min.
- Enfermedad terminal (tiempo de supervivencia  $<$  1 año).
- Vasculopatía periférica severa.
- Deterioro cognitivo moderado – severo.
- Enfermedad crónica avanzada (EPOC, IRC con necesidad de diálisis, cirrosis hepática). Insuficiencia renal crónica en diálisis.
- Neumopatía crónica severa.
- Cirrosis hepática.

## 4 CANULACIÓN, CONFIGURACIÓN Y ASPECTOS QUIRÚRGICOS

La ECMO VV está indicada cuando existe exclusivamente una asistencia respiratoria y se realiza tanto el drenaje como la reinfusión en el sistema venoso central. La cánula de succión debe situarse en vena cava superior por encima del diafragma y la cánula de retorno en la entrada de la aurícula derecha. Se ha demostrado que el flujo vena cava inferior-aurícula derecha es mejor que el contrario, por tanto, la configuración más frecuente es la femoro-yugular.

Otra configuración posible es realizar una terapia femoro-femoral (con mayor probabilidad de recirculación sanguínea). En pacientes que se encuentren en destete y para favorecer la recuperación funcional se puede colocar una sólo (Avalon o Protekduo). La configuración más frecuente de la ECMO VA es femoro-femoral, colocando el drenaje a nivel de la aurícula derecha y el retorno a través de la femoral común. Si el acceso vascular no es posible o se precisa una configuración con flujo anterógrado, se puede realizar el retorno en la arteria axilar izquierda.

### 4.1 Modos de canulación

Es necesario valorar las opciones de una canulación central o periférica en función de varios factores como son el lugar en donde nos encontremos para el implante, la situación clínica del paciente, así como la indicación para la que se requiere la terapia, la necesidad de instauración urgente de soporte o la cuantía del flujo que se precisa.

Previo a la canulación se realiza la valoración de la arteria y vena por ecografía y se decide el tipo y el tamaño de las cánulas, para evitar posibles complicaciones asociadas a la canulación (grosor, calcio, espasmos...).

Se necesitarán cánulas:

- Drenaje: 23 o 25 Fr
- Retorno: 17 a 21 Fr

#### Canulación periférica

La principal ventaja de realizar una canulación periférica es que es menos traumática y agresiva para el paciente. Según la anatomía y la dificultad técnica existen varios grados de invasividad (percutáneo, semi-seldinger y disección abierta) y existen diferentes configuraciones según la terapia requerida (Femoro-femoral, femoro-yugular, femoro-

axilar ...). Las principales complicaciones con esta canulación son el síndrome de Arlequín (explicado en el apartado de complicaciones) y la isquemia del miembro.

Las indicaciones para realizar una canulación periférica son:

- Parada cardiaca
- Shock cardiogénico primario
- Infarto agudo de miocardio
- ACTP de alto riesgo
- Miocarditis y cardiomiopatías
- Arritmias intratables
- Insuficiencia respiratoria aguda refractaria

### **Canulación central**

La canulación central se realiza mediante la canulación de la aurícula derecha como lugar de drenaje y el retorno en la aorta ascendente. Esta técnica implica un mejor drenaje y permite mayor flujo de ECMO. Además, al proporcionar un flujo anterógrado, mejora la oxigenación tanto de los troncos supraaórticos, como de las coronarias y del resto del organismo.

Las cánulas empleadas son:

- Cánulas de drenaje: 28-36 Fr
- Cánulas de retorno: 18-22 Fr

En la práctica clínica se requiere una canulación central:

- Enfermedad vascular periférica grave
- ECMO periférica insuficiente (mala descarga ventricular, flujo insuficiente) o cambio a asistencia de larga duración si no hay mejoría de la función cardiaca.
- Imposibilidad de salida de bomba en cirugía cardiaca
- Valorar en Síndrome de Arlequín

## **4.2 Estrategias y abordajes**

Elección por parte del cirujano de la vía de abordaje, así como la técnica de canulación en función de las características del paciente y los accesos vasculares que presente (calcificación femoral severa, hipotensión severa...).

La canulación periférica percutánea supone una intervención más rápida con un menor riesgo de sangrado. Se realiza por técnica de Seldinger y el implante es asistido y/o guiado por técnica de imagen.

La canulación periférica abierta (femoral/axilar) se realiza una disección y exposición quirúrgica de los vasos y se puede realizar totalmente abierta o semi-seldinger. Se debe elegir la zona más apropiada (menor arteriosclerosis), estimando mejor el tamaño de la cánula gracias a la visión directa del vaso. Supone un implante más rápido en casos de shock con hipotensión o espasmo de la arteria y permite la colocación de una cánula de perfusión de miembro de forma fácil y sencilla. Se debe realizar una bolsa de tabaco con prolene 5/0 o canulación a través de tubo de dacron de 8mm con anastomosis terminolateral en caso de arteria axilar o isquemia en miembro inferior.

Para la realización central es necesario realizar una esternotomía y tunelización de las cánulas. Siempre que sea posible se debe cerrar el tórax para disminuir las complicaciones y en los lugares de canulación se realizará sendas bolsas de tabaco con prolene 3/0 y 4/0. Existe la opción de realizar un acceso miniinvasivo (toracotomía anterior derecha); así como de la colocación de una cánula de drenaje del ventrículo izquierdo si fuera preciso.

## 5 INICIO DE SOPORTE CON ECMO

Para la preparación del circuito es necesario realizar el cebado con solución salina (CINa 0,9%) o una solución balanceada y heparina, permitiendo que las burbujas de aire salgan a través de los microporos de la membrana, cuando se infunde el suero a presión positiva. El circuito se puede mantener cebado durante un tiempo prolongado de hasta 30 días.

Una vez purgado el circuito, se clampa la línea arterial y venosa y se corta la unión, realizando la conexión de las líneas. Las tubuladuras que salen y retornan al paciente deben de ser lo más cortas posibles, estar alineadas con la anatomía del paciente y evitarse en la medida de lo posible conexiones adicionales que aumentan la turbulencia del flujo sanguíneo. Al iniciar la asistencia, en primer lugar, se desocluye la cánula venosa, después se aumentan las revoluciones de la bomba a 1000-1500 rpm, y luego se inicia la desoclusión progresiva de la cánula arterial, controlando que no se produzca flujo retrógrado (ECMO VA). Posteriormente, se aumenta de forma progresiva el flujo sanguíneo, mediante el aumento de rpm.

El flujo máximo se establece cuando aumenta la presión de succión  $> - 80$  mmHg o aparece cavitación (temblor o cimbreo) en la línea de drenaje por resistencia elevada y presiones muy negativas. A continuación, se debe disminuir las rpm hasta alcanzar el soporte respiratorio óptimo (~ un 60% del GC nativo): 50–80 ml/kg/min (para 70 kg: 3,5–5,6 lpm). Una vez alcanzado el flujo deseado, fijar el flujo del caudalímetro del mezclador de gases con relación inicial flujo gas: flujo sangre (en lpm) de 1:1 y mantener la FiO<sub>2</sub> del caudalímetro del ECMO al 100%.

### 5.1 Inicio de la ECMO VV

Una vez iniciada la ECMOVV, las presiones del circuito deben monitorizarse continuamente para determinar el gradiente de presiones en el sistema y se deben fijar los objetivos de tratamiento. Para ello, se podría calcular el transporte (DO<sub>2</sub>) y el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) de modo que la relación DO<sub>2</sub> > VO<sub>2</sub> sea de 3:1.

Los pasos para seguir inicialmente son:

- La relación gas de barrido/flujo de sangre de la bomba se fija en 1:1.
- La FiO<sub>2</sub> del gas de barrido se fija en 1.
- Subir lentamente el flujo de sangre y del gas de barrido, hasta alcanzar el 60% del gasto cardíaco.

- Alcanzado este objetivo, medir de nuevo DO<sub>2</sub> y VO<sub>2</sub> si precisa.
- Si la SaO<sub>2</sub> > 90%, se alcanza el objetivo de oxigenación. No es imprescindible mantener la SaO<sub>2</sub> > 90%, podemos mantener SaO<sub>2</sub> en torno al 80% siempre que el balance DO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub> sea 3-4 y sobre todo, mientras no existan signos de hipoxemia e hipoperfusión orgánica.
- Verificar que la PaCO<sub>2</sub> sea igual o mayor 35 mmHg. Ajustar el barrido de gas, subiéndolo si es necesario.
- Ajustar el ventilador a ventilación ultraprotectora (ver en el capítulo correspondiente).

Saturación arterial de O <sub>2</sub> (SaO <sub>2</sub> )	85-92%
Presión arterial de O <sub>2</sub> (PaO <sub>2</sub> )	> 60 mmHg
PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	> 200
PO <sub>2</sub> a la salida de la membrana	> 300 mmHg
Presión arterial de CO <sub>2</sub>	35- 45 mmHg
pH	7,35-7,45

Tabla 6. Objetivos de la terapia ECMO VV.

La monitorización de la eficacia de la ECMO V-V se debe de hacer de forma rutinaria cada 8 horas y la funcionalidad de la membrana cada 24 horas.

La PaO<sub>2</sub> que llega por la cánula de succión es equivalente a la PO<sub>2</sub> venosa mixta y se muestrea en el lado de succión del circuito; la PO<sub>2</sub> a la salida de la membrana debe de ser superior a 150 mmHg e idealmente de 300 mmHg o superiores (valores inferiores a 150 mmHg deben de alertar del malfuncionamiento de la membrana). Todo ello manteniendo unos niveles de hemoglobina plasmática > 8 gr/dL y con un flujo de bomba equivalente a los 2/3 del gasto cardíaco nativo.

## 5.2 Inicio de la ECMO VA

En la terapia con ECMO VA debemos inicialmente conseguir unos flujos de 10-15 ml/kg/min, realizando incrementos progresivos de las revoluciones por minuto hasta alcanzar flujos de 50-80 ml/Kg/min (aprox. 3,5-5,5 l/min). Por debajo de 40-50 ml/kg/min no suele conseguirse un transporte de oxígeno adecuado, ni controlar la situación de shock ni la acidemia y metabolismo anaeróbico, con lo que no

conseguiríamos realizar un soporte eficaz. A veces se requiere llegar hasta 80-90 ml/kg/min para controlar y revertir la situación de shock y conseguir una perfusión orgánica adecuada. El flujo de bomba depende de las condiciones de precarga, postcarga y las rpm de la bomba, además de las características de las cánulas.

Nuestros objetivos serían:

- Normovolemia, intentando no hacer sobrecarga hídrica y, por otro lado, evitando la hipovolemia.
- Saturación arterial de oxihemoglobina del 95-100%.
- Presión arterial media  $\geq 65$  mmHg y por debajo de 95-100 mmHg, ya que constituye un aumento de resistencia que ocasiona dificultad a la eyección de un sistema no oclusivo, lo que favorecería la distensión ventricular izquierda. La PAM se puede conseguir modificando el flujo o influyendo en la precarga o en las resistencias vasculares (vasoconstrictores).
- Índice cardíaco “total” (flujo de bomba más residual del paciente)  $\geq 2.5$  l/min/m<sup>2</sup> y saturación venosa mixta  $>65\%$ .
- Restauración de la diuresis ( $>0,5$  ml/Kg/h)
- Disminución/ normalización del ácido láctico en las primeras 4-6 horas.

## 6 MANEJO Y MONITORIZACIÓN

### 6.1 Monitorización hemodinámica

Durante la asistencia se deben monitorizar los siguientes parámetros:

- Presión arterial: manteniendo una presión adecuada para la perfusión de órganos, con el objetivo de mantener TAM > 65mmHg.
- Pulsatilidad: la ausencia de pulsatilidad arterial indica la incapacidad de vencer la postcarga generada por el circuito y se produce un estancamiento de la sangre en el ventrículo que aumenta el riesgo de trombosis y una sobredistensión con el aumento de las presión telediastólica comprometiendo el flujo coronario. En caso de insuficiencia mitral, se produce sobredistensión auricular con sobrecarga de la circulación pulmonar y edema pulmonar.
- Intercambio gaseoso: en ECMO VA se debe realizar extracción del sitio más alejado del sitio donde se mezcla la sangre oxigenada por el ECMO y la circulación sistémica (arterial radial derecha).
- Saturación venosa central (SvO<sub>2</sub>): en la cánula venosa con el objetivo de mantenerla > 70%, sirviendo como estimación del equilibrio DO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>.
- Gasto cardiaco: se puede monitorizar con Sawn-Ganz o mediante ecografía (midiendo el GC nativo y sumando el flujo de ECMO). El flujo global debe ser > 2,2l/min/m<sup>2</sup>.

### 6.2 Monitorización ecocardiográfico

La mayoría de estos pacientes requieren una monitorización hemodinámica avanzada para evaluar la función cardiovascular. La ecocardiografía (ETT o ETE) es el gold standard. Tiene multitud de funciones durante el soporte con ECMO incluyendo:

- Valoración ecocardiográfica PRE-ECMO
- Valoración del tamaño de vasos sanguíneos y guía durante la canulación.
- Seguimiento del paciente en ECMO (VV y VA)
- Destete ECMO (VV y VA)

En este apartado nos vamos a centrar en los parámetros ecocardiográficos previo la entrada en ECMO, así como la monitorización diaria. La valoración con ecocardiografía

nos permite detectar problemas reversibles de deterioro hemodinámico y detectar posibles contraindicaciones para su indicación (disección o insuficiencia aórticas severa).

### Valoración ecocardiográfica pre-ECMO

PRE-ECMO	VENTRÍCULO IZQUIERDO	VENTRÍCULO DERECHO
<b>MORFOLOGÍA</b>	Tamaño: VTDVI (N = 106±22) y DTDVI (N = 50,2±4,1)	Relación VD/VI Tamaño Signo de McConnell
<b>FUNCIÓN SISTÓLICA</b>	FEVI IVT en TSVI (N = > 18) Onda S en anillo mitral (N = > 10) Alteraciones segmentarias	TAPSE (N = > 14) Onda S' (N = > 9)
<b>F. DIASTÓLICA</b>	E/A E/e'	E/A
<b>ESTRUCTURAS</b>	Aurícula izda: volumen (N = < 34 ml/m <sup>2</sup> )	Aurícula derecha SIV: movimiento y excentricidad
<b>VÁLVULAS</b>	Insuficiencia aórtica/mitral Estenosis aórtica/mitral	Insuficiencia tricuspídea y estimación de PSAP (Gradiente AD-VD + PAD)
<b>OTROS</b>	Shunt; Derrame pericárdico; Disección aórtica; Venas cavas	

Tabla 7. Valoración ecocardiográfica pre-ECMO

Tras la instauración de la terapia ECMO se producen cambios hemodinámicos que varían en función del tipo de soporte, la configuración y la posición de las cánulas. Es importante la realización de al menos una ecocardiografía diaria y cuando exista algún problema.

En pacientes con ECMO VA se produce una disminución de la precarga del VI y aumento importante de la poscarga (flujo de retorno en dirección contraria al flujo nativo cardíaco).

Sin embargo, en los pacientes con ECMO VV se produce una disminución de la poscarga del VD al mejorar la oxigenación, la SvO<sub>2</sub> y disminuir las RVP.

#### I. Monitorización ECMO VA

- **Función cardíaca:** evaluar la función sistólica del VI y VD de forma diaria, ya que este exceso de poscarga puede comprometer el GC nativo del paciente impidiendo la apertura de la válvula aórtica y el vaciamiento del VI.
  - FEVI.
  - IVT en TSVI.
  - TAPSE y onda S.

- **Vaciamiento de las cámaras cardíacas:** si existe disfunción muy severa del VI, flujos elevados en la ECMO pueden comprometer la apertura de la válvula aórtica provocando edema agudo de pulmón y trombos de válvula aórtica o intracavitarios.
    - Volumen y tamaño del VI (VTDVI y DTDVI)
    - Válvulas: observar apertura de válvula aórtica y la aparición de insuficiencia mitral.
    - Aparición de ecocontraste en el VI
    - Trombos intracavitarios o en Ao ascendente.
- II. Monitorización ECMO VV
- **Función cardíaca:** durante las primeras 48-72h del inicio de ECMO VV produce una disminución transitoria del volumen sistólico, acompañándose de una disminución del gasto cardíaco que puede desencadenar stunning miocárdico.
    - FEVI.
    - IVT en TSVI.
    - TAPSE y onda S.
  - **Presiones pulmonares:** en fases iniciales la PSAP suele estar elevada y se normaliza posteriormente. La velocidad de regurgitación trisuspídea va a estar sobreestimada por el flujo de retorno de la ECMO.
    - Velocidad regurgitación de la AP: paraesternal eje corto en plano de grandes vasos.

VALORACIÓN ECOCARDIOGRÁFICA DIARIA EN ECMO	
ECMO VV	ECMO VA
- Volumen, tamaño biventricular y biauricular	- Volumen y tamaño biventricular y biauricular
- Función biventricular: IVT, FEVI, TAPSE, onda S	- Insuficiencia mitral/aórtica
- PSAP	- Apertura de VAo
- Trombos en cánulas o intracardíacos	- Trombos intracardíacos, aórticos o en cánulas
- Posición de las cánulas	- Posición de las cánulas
- Derrame pericárdico	- Derrame pericárdico
- Tamaño y colapsabilidad de VCI: > 2,1 cm < y colapsabilidad.	- Tamaño y colapsabilidad de VCI
	- PSAP

Tabla 8. Valoración con ETT diaria

### 6.3 Manejo de la ventilación mecánica en el paciente en ECMO

En el caso del ECMO V-V, el manejo de la ventilación mecánica cobrará importante trascendencia puesto que el objetivo del soporte se centrará en el aspecto ventilatorio.

No existe consenso en cuanto a qué parámetros o qué modos de ventilación aportan mayor beneficio. No obstante, sí que existe cierto consenso en cuanto a mínimos y tolerables objetivos en valores de presión, aporte de oxígeno y rangos de frecuencia respiratoria que se recomiendan emplear.

La premisa clave sobre el manejo de la ventilación mecánica se basará en el hecho de que el soporte en ECMO asumirá en la mayor medida de lo posible el intercambio gaseoso del paciente. Permitiendo establecer estrategias de protección pulmonar a su vez más “agresivas” que la clásica ventilación pulmonar protectora; pretendiéndose controlar y llevar a mínimos el estrés mecánico generado y la lesión pulmonar inducida en consecuencia, por la ventilación mecánica.

- Presión Plateau: Recomendable  $< 25$  cm H<sub>2</sub>O / Aceptable  $\leq 30$  cm H<sub>2</sub>O
- PEEP: Recomendable  $\geq 10$  cm H<sub>2</sub>O / Aceptable entre 10 – 24 cm H<sub>2</sub>O
- Frecuencia Respiratoria: Recomendable entre 4 y 15 rpm
- FiO<sub>2</sub>: Recomendable lo más baja posible (aceptable entre 30% - 50%).

En la medida de lo posible, se tendrá en cuenta que valores de Presión Plateau más bajos se asocian a mayor beneficio en términos de mortalidad. Pacientes más obesos o con más índice superficie corporal se beneficiarán de mayores niveles de PEEP y pacientes con signos de broncoespasmo severo se beneficiarán de ajustes I: E con fase espiratoria más prolongada.

Existe claro consenso en que la ventilación con volumen tidal  $\leq 6$  ml/kg de peso ideal predicho supone un claro beneficio en términos de mortalidad y algunos grupos apuestan por mantener un volumen tidal entre 4-6ml/kg para disminuir el volutrauma.

Por lo general, cualquier modo de ventilación (volumen o presión) permite realizar estrategias óptimas de ventilación protectora, siempre teniendo en cuenta los parámetros de presión y oxigenación objetivo.

El manejo de la ventilación mecánica en ECMO V-A, en el que el objetivo del soporte se centra en el aspecto cardiocirculatorio, no merece especial mención más allá de mantener los límites de presión habituales recomendados para cualquier paciente en ventilación mecánica sin enfermedad pulmonar subyacente; con la salvedad de la hipoxemia

secundaria al edema pulmonar por congestión cardíaca, en cuyo escenario será frecuentemente necesario aumentar la FiO<sub>2</sub> del ventilador, con el objetivo de asegurar la perfusión de sangre oxigenada procedente del circuito nativo pulmón-corazón a las arterias coronarias y órganos craneales; y que precisará en mayor o menor medida del tratamiento de la causa: mediante reducción del gasto cardíaco nativo o del flujo de sangre del circuito ECMO en el síndrome de hipoxemia diferencial (arlequín); o de medidas específicas para generar disminución de la postcarga cardíaca/descarga del ventrículo izquierdo; acompañadas por terapia deplectiva hídrica.

## 6.4 Anticoagulación y monitorización

No existe consenso sobre los valores límite que son necesarios mantener y los umbrales para realizar la administración de los hemoderivados. En general, evaluando el riesgo/beneficio, las recomendaciones de las principales sociedades son:

- Plaquetas >100000 x 10<sup>9</sup>/L en paciente con sangrado; >50000-100000 x 10<sup>9</sup>/L (sin sangrado)
- INR <1,5 (con sangrado); <3 (sin sangrado)
- Fibrinógeno >1,5 g/L (con sangrado o pre-cirugía) ; >1 g/L (sin sangrado)
- Hemoglobina >70-90 g/L, considerar límite mayor en pacientes con enfermedad cardíaca o en hipoxemia refractaria para aumentar el aporte de oxígeno.
- Antitrombina >50%–80% (>0,5–0,8 U/ml), considere el reemplazo de AT si está al máximo dosis de HNF e incapaz de obtener metas de anticoagulación

El uso de ECMO produce una alteración de la homeostasis causada por la interacción de la sangre con superficies no biológicas; que, sumado al proceso inflamatorio por la enfermedad de base, producen un estado proinflamatorio y protrombótico, ocasionando una disfunción inmune y endotelial. Por esta razón, durante la asistencia con ECMO el paciente debe estar anticoagulado de forma sistémica.

### 1. Anticoagulación con heparina

La heparina sódica es el anticoagulante de la elección debido a su corta vida media, la posibilidad de monitorización y la existencia de antídoto directo (protamina).

El bolo de heparina no fraccionada (HNF) debe administrarse una vez insertadas las guías de la canulación. En circuitos heparinizados la dosis de inducción es de 50-100 UI/kg de heparina no fraccionada en pacientes no anticoagulados y sin alteraciones de la

hemostasia. Considerar un bolo extra (50 UI/kg) si no se ha conseguido la canulación en los siguientes 15 min. El objetivo es un ACT inicial de 250-300.

La dosis inicial de perfusión de HNF en pacientes sometidos a esternotomía iniciar la perfusión intravenosa a las 2-3 horas si el débito a través de los drenajes quirúrgicos es <50 ml/h. En pacientes no sometidos a esternotomía comenzar inmediatamente con perfusión de HNF intravenosa si no existe sangrado activo ni alteraciones graves de la

SI FLUJO ECMO > 1,5L	ACT	TTPA	Modificación de dosis
<b>Bolo inicial 1mg/kg</b>	<90	< 35	Aumentar 20% (4UI/kg/h) --> 5ml/h
<b>Perfusión 2mg/kg/día en 250 ml de SSF (11ml/h)</b>	91-159	36-45	Aumentar 10% (2UI/kg/h) --> 2,5ml/h
	160-180	46-70	Mantener perfusión sin cambios
	181-320	71-90	Disminuir 10% (2UI/kg/h) --> 2,5ml/h
	> 320	> 90	Disminuir 20% (4UI/kg/h) --> 5 ml/h

coagulación, en cuanto el TCA esté por debajo de 300.

En pacientes ya anticoagulados o con trastornos de la coagulación medir ACT:

- ACT < 200: bolo y perfusión de heparina
- ACT 201-250: repetir a los 30 min: si > 200 bolo completo; si 201-250: ½ bolo
- ACT > 250 repetir a los 30 min

Inicialmente con controles de ACT o TTPa cada 15-30 min tras el bolo inicial e iniciar la perfusión continua cuando el ACT sea < 250. La dosis recomendada es 2mg/kg/día (2mg/kg en 250 ml de SSF iniciando a 11ml/h y ajustando según protocolo).

#### *Tabla 9. Protocolo de anticoagulación*

No hay un acuerdo unánime en la forma de monitorizar y varía según los diferentes grupos de trabajo y en función de los recursos disponibles en cada centro.

La ELSO recomienda realizar controles de ACT cada 2-4h (manteniendo niveles 160-180) y monitorizar la anticoagulación mediante TTPA en cada 6-12h (45-65) o antiXa (0,3-0,7 UI/ml). En caso de riesgo hemorrágico bajo mantener ACT 140-160 y TTPA (45-65) y si es posible aumentar el flujo de ECMO para reducir el riesgo de trombosis. **En caso de**

**que exista alto riesgo trombótico o flujos de ECMO < 2lpm se debe mantener ACT 180-200 y TTPA 70-90.**

Se realizará la siguiente monitorización en nuestro centro:

- ACT las primeras 6-12h o inestabilidad
- TTPA cada 8 h tras las primeras 12h
- Si se sospecha resistencia a la heparina se realizará control de AT y se repondrá en caso de deficiencia.
- En caso de sangrado importante realizar tromboblastograma si está disponible para valorar las alteraciones de la coagulación.

## 2. Anticoagulación con bivalirudina

La bivalirudina es un inhibidor directo de la trombina con una vida media de 25 min, que no produce trombopenia inmune. No existe antídoto disponible, por lo que en caso de hemorragia debe suspenderse ya que su vida media es muy corta.

La bivalirudina no precisa bolo inicial y se debe iniciar la perfusión continua con 0,2mg/kg/h (ajuste con insuficiencia renal) y su titulación se realiza mediante ACT o TTPA (en mismo rango que la heparina).

En caso de sospecha de HIT (reducción de plaquetas del 50%) o trombopenia grave, se suspenderá la perfusión de heparina y se iniciará anticoagulación alternativa.

## 6.5 Profilaxis y control de infecciones

- La canulación se debe realizar bajo los mismos protocolos de bacteriemia cero llevados a cabo en la unidad para canalización de catéteres endovenosos.
- El uso y la duración de la profilaxis antibiótica no está estandarizado y varía en función de los distintos centros. Se realizará profilaxis con doble cobertura en el momento del implante (Vancomicina 10mg/kg + Cefazolina 1g). Si existe insuficiencia renal considerar el cambio a Linezolid y usar Aztreonam si el paciente presenta alergia a betalactámicos. Cuando el paciente presente apertura prolongada de mediastino, inmunosupresión severa y antibioterapia de amplio espectro previa se debe considerar agregar un antifúngico.
- La bacteriemia en el paciente con ECMO puede ser complejo de detectar, ya que en el momento del implante y los componentes del circuito producen una respuesta inflamatoria con un aumento de reactantes que puede ser

malinterpretado. Además, la circulación extracorpórea produce hipotermia lo que dificulta su detección. Se debe mantener un umbral bajo de sospecha englobando tanto los datos analíticos como clínicos y comenzar antibioterapia ante sospecha de infección, hasta la confirmación.

## 6.6 Analgesia, sedación y monitorización neurológica

Se recomienda una infusión endovenosa de sedantes, analgésicos y relajantes musculares a dosis individualizadas según las necesidades y circunstancias clínicas de cada paciente. La relajación muscular se retira tras finalizar el acto quirúrgico de canulación, siempre que las condiciones respiratorias lo permitan. Se debe dejar con sedación-analgésia al menos las primeras 12h. Posteriormente, es recomendable realizar ventana de sedación diaria para valorar el estado neurológico del paciente. En casos excepcionales, se puede realizar la técnica con sedación y anestesia local, con una canulación percutánea y sin necesidad de intubación. El nivel de sedación se debe monitorizar por índice bispectral (BIS), vigilancia pupilar y escala de Glasgow, con una evaluación frecuente para detectar complicaciones de forma precoz.

La oximetría cerebral no invasiva (NIRS bilateral), es aconsejable para detectar eventos isquémicos o daños cerebrales que ocurren hasta en un 50% de los pacientes con ECMO. La desaturación bilateral se produce en los ECMO VA por el aumento del flujo de sangre poco oxigenada cuando ocurre el síndrome de Arlequín; produciéndose unilateralmente en el hemisferio derecho en ocasiones en las que el hemisferio izquierdo se nutre del flujo retrogrado desde la aorta descendente. En casos en los que se produce un ACV, también existirá una desaturación del lado afecto.

## 7 COMPLICACIONES MECÁNICAS Y CLÍNICAS

### 7.1 Complicaciones asociadas al circuito

#### A. Embolia gaseosa.

Se trata de una complicación muy poco frecuente y la entrada de aire suele producirse en la cánula de drenaje o en alguna de las conexiones o llaves. Normalmente son pequeñas burbujas de aire que quedan atrapadas en la membrana de oxigenación, pero si la entrada de aire se produce en el retorno supone mayor gravedad, pudiendo producir émbolos gaseosos sistémicos. Si se objetiva la presencia de aire en la línea arterial es necesario clampar la cánula lo más cercana al paciente, parar el ECMO y retirar el aire.

#### B. Fallo del oxigenador

La duración de la membrana depende de la integridad de los microporos que, poco a poco, se van ocluyendo a pesar de la anticoagulación. Su agotamiento se manifiesta por un aumento de la presión transmembrana, con una reducción de la  $PaO_2/FiO_2$  del ECMO de forma progresiva (será necesario el recambio de la misma si  $<150$ ) y por la visión de coágulos.

La membrana debe sustituirse siempre que ocurra uno de los siguientes fenómenos:

- Deposición grosera de coágulos o fibrina visibles en la superficie de la membrana.
- Severa hipoxia pesar de  $FiO_2$  de 1 en el gas de barrido de la ECMO
- Trombocitopenia severa
- Hemólisis masiva
- Rotura de la membrana (*excepcional*)
- Fallo de la bomba (*excepcional*)

Las principales complicaciones relacionadas con la membrana son:

- Trombosis: hasta 10-13%; para detectar la trombosis hay que fijarse en el aumento de la presión transmembrana, aumento de dímero D, descenso de la transferencia de gas, hemólisis y observación directa.
- Fallo del oxigenador y membrana húmeda: definido como la necesidad de cambio del oxigenador. La membrana del oxigenador puede mojarse debido a la condensación dentro del oxigenador por la diferencia de temperatura existente entre la sangre y el gas, haciendo que la membrana se vuelva permeable a  $CO_2$ . Se pueden producir disfunciones transitorias del oxigenador, siendo útil el aumento del flujo de gas de barrido durante un corto periodo junto con el

calentamiento del gas a 37°C para solucionar y prevenir este suceso. Posteriormente, debe de reducirse el flujo a valores previos.

- Salida de líquido por el oxigenador. Es normal que salga vapor de agua, si es salida de plasma (espuma amarillenta) o PaFI del oxigenador < 150, será necesario el cambio de sistema.

TIPO DE FALLO	PARÁMETRO	VALOR	MALFUNCIÓN
<b>TROMBOSIS MEMBRANA</b>	Inspección visual	No coágulos	Coágulos muy visibles
	P3 circuito	<50mmHg	Ascenso 30-50%
	D Dímero	<10ml/L	>25-30mg/L
	Plaquetas	>50.000	Descenso continuo/rápido
<b>ALTERACIONES</b>			
<b>COAGULACIÓN</b>	Fibrinógeno	>200mg/dL	<200mg/dL
<b>INTERCAMBIO GAS</b>			
<b>COÁGULOS EN EL CABEZAL</b>	LDH	<350UI/L	>1000UI/L
	Hb libre	<50-100 mg/L	>300mg/L
	Plaquetas	>50.000	Descenso continuo/rápido
	Ruido de la bomba	Silencio, sin vibrar	Vibración o ruido anormal

Tabla 10. Detección de complicaciones del circuito de la ECMO

### C. Coagulación o disfunción de la bomba

El fallo de bomba se produce como consecuencia de alteraciones en el magnetismo de la bomba, entrada de aire o pequeños coágulos en el sistema: la bomba suele hacer ruido distinto al habitual y puede pararse o dar un flujo inadecuado. Su aparición requiere programar el cambio de bomba. Si se produce una parada de la bomba, se debe de clampar ambas cánulas, tomar las medidas médicas necesarias puesto que se ha parado la terapia y cambiar a modo manual con la manivela, mientras se realiza el cambio de sistema.

#### D. Flujo insuficiente

Cuando objetivemos un descenso en el flujo de la bomba, sin haber realizado modificaciones en las rpm de la consola, debemos pensar en las siguientes posibilidades, para poder actuar sobre las mismas:

- Precarga baja: descartar situaciones clínicas que conducen a hipovolemia, como sangrados (externos o internos), diarrea o tercer espacio ( $P1 < -100$ ). También descartar causas de obstrucción mecánica de la cánula de extracción, como el aumento de las presiones intratorácicas que pueden conllevar los neumotórax. En todos estos casos, no se deben aumentar las rpm de la bomba; al contrario, una disminución de las rpm podría ayudar al mejor llenado de cavidades. Se debe explorar tanto al paciente como al circuito ECMO. En los casos de hipovolemia encontraremos descenso en la PVC y habitualmente el “cabeceo” de las tubuladuras.
- Postcarga elevada: provocada por el aumento de las resistencias vasculares sistémicas por hipertensión arterial no controlada, dolor o escasa sedación que provocan hipertensión, o sobredosificación de fármacos vasoconstrictores. Para la optimización del flujo es necesario la causa precipitante. Además, el aumento de la resistencia a nivel distal (acodamiento de la cánula de retorno o coagulación de la membrana) a la genera una situación similar.
- Problemas mecánicos que afectan a las cánulas o al circuito: taponamiento cardiaco, trombosis de las cánulas, acodamiento o desplazamiento de las cánulas o síndrome compartimental abdominal.

La alarma de bajo flujo también puede encontrarse:

- Mala programación de las alarmas
- HTA o vasoconstrictores en ECMO VA por aumento de la postcarga de manera repentina (tos, movimientos...)
- Embolia aérea

#### E. Rotura, desplazamiento o salida de cánula

La rotura de la cánula es una complicación muy infrecuente, suele ser causada por acodaduras mantenidas o compresión en determinadas maniobras, sobre todo durante la higiene del paciente. La decanulación se produce con mayor frecuencia tras varios días de asistencia, en accesos yugulares, ya que se trata de una zona con mayor movilidad y donde las cánulas tienen menos recorrido intravascular.

En caso de rotura, desplazamiento o salida de una de las cánulas es necesario una actuación rápida para evitar la exanguinación del paciente y la entrada de aire del paciente. En este caso, se debe de realizar el clampaje tanto de la cánula venosa como de la arterial lo más proximal al paciente e interrumpir la terapia. Durante esta maniobra, suele ser necesario aumentar las medidas de soporte (ventilación mecánica y/o soporte vasoactivas).

#### F. Fenómeno de cavitación

El fenómeno de cavitación se produce cuando hay una presión de succión excesiva, pudiendo formar burbujas de gas en el circuito, lo cual provoca hemolisis. También se pueden provocar microembolias gaseosas con  $P1 < -50\text{mmHg}$ , a medida que la presión disminuye, las burbujas de gas son de mayor tamaño. Para solucionar este problema se debe disminuir las rpm de la bomba de manera manual cuando ocurran estas bajadas extremas de presión.

#### G. Alteración en las presiones del circuito

En la siguiente tabla quedan reflejadas las causas más probables de alteración en las presiones que permite realizar un diagnóstico diferencial.

P1 Máx -100	P2 Máx 200	P3 Máx 50	DIAGNÓSTICO
			Resistencia aumentada a la aspiración: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hipovolemia.</li> <li>- Taponamiento.</li> <li>- Cánula venosa acodada.</li> <li>- Incorporación del paciente.</li> </ul>
			Fallo de la bomba: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mecánico.</li> <li>- Trombo en la bomba.</li> </ul>
			Trombo en el oxigenador
			Problemas en la eyección de la bomba: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Obstrucción cánula arterial.</li> <li>- Acodamiento de la cánula.</li> <li>- Neumotórax.</li> </ul>

Tabla 11. Alteración de las presiones del circuito

## 7.2 Relacionadas con el paciente

### A. Complicaciones neurológicas

- Hemorragia cerebral. Hasta un 3-8% de ECMO VA presentan sangrado intracraneales. El sangrado se produce como consecuencia de la actividad anticoagulante necesaria, la coagulopatía inducida por la exposición a superficies artificiales y como resultado del trauma producido por las técnicas invasivas, sumado a la propia enfermedad subyacente. Debe sospecharse por alteraciones en la monitorización neurológica en pacientes sedados o presencia de nueva focalidad o alteración del comportamiento. Debido a su gravedad, se debe realizar un diagnóstico precoz mediante prueba de imagen (Tc cerebral) para evitar futilidad.
- Edema cerebral: se produce sobre todo cuando existe una acidosis respiratoria grave y se coloca un dispositivo ECMO, el cambio de flujo cerebral brusco que se produce con la variación brusca de pCO<sub>2</sub> puede causar edema.
- Infarto cerebral como resultado de eventos embólicos (gaseosa o trombótica). Para la prevención de estos eventos es importante mantener las medidas de neuroprotección habituales y un adecuado nivel de anticoagulación

### B. Complicaciones cardiorácias

- Taponamiento cardiaco. Se produce como complicación vascular al realiza falsa luz o pseudoaneurisma durante la canulación (yugular) cursando con la clínica clásica. Si se ha introducido la cánula, esta debe clamparse y no retirarse hasta la corrección quirúrgica.
- Neumotórax: como complicación de la canulación o de la ventilación mecánica.
- Arritmias. La arritmia más frecuente es la fibrilación auricular. La taquicardia/fibrilación ventricular suele estar en relación con patología isquémica o con la dilatación ventricular.

### C. Complicaciones hematológicas

- Trombocitopenia: es muy frecuente en pacientes con ECMO y la principal causa el consumo de las mismas, aunque puede tener un origen multifactorial. La aparición de una trombopenia aislada puede ser indicador de trombosis de la membrana.

- Trombocitopenia inducida por heparina. Es un fenómeno caracterizado por trombopenia y con un aumento incrementado del riesgo de trombosis. A pesar de que el porcentaje de pacientes con trombocitopenia es elevado, esta complicación raramente aparece (0,3-0,6%). Han sido estudiados múltiples escalas para evaluar la probabilidad pretest, pero la más utilizada es “4Ts”. Para el diagnóstico se solicitan los anticuerpos contra el factor plaquetario (PF4). Sin embargo, solo unos pocos pacientes con este anticuerpo desarrollan HIT (tiene alta sensibilidad y baja especificidad).
- Hemólisis: puede darse como resultado de una presión excesivamente negativa, aumento de las revoluciones de la bomba (>3500 rpm) y el aumento del gradiente de la membrana de oxigenador. Tener en cuenta la posibilidad de hemólisis por contacto de la sangre con agua si se ha perdido la integridad del oxigenador. Además, el contacto directo entre el agua del calentador y la sangre puede producir una hemólisis inexplicable.

Normalmente es monitorizada por los niveles elevados de LDH, el aumento de hemoglobina libre en plasma (>50mg/dL) y por el cambio de coloración en la orina. La Hb libre causa nefrotoxicidad y se une rápidamente al NO, induciendo aumento de la resistencia vascular, generación de trombina activada, disfunción plaquetaria y alteraciones en la coagulación. Ante cualquiera de los datos previos, se debe solicitar los niveles de bilirrubina y de haptoglobina para completar el diagnóstico.

- Resistencia a la heparina: aparece como un aumento en las necesidades de heparina a dosis inusualmente altas para lograr el efecto terapéutico, de forma que pese al aumento progresivo de dosis los tiempos de coagulación no se alargan en proporción a la misma. La causa más importante de este fenómeno es el déficit de antitrombina (heredado o adquirido), que actúa como cofactor de la heparina y por tanto en su ausencia, la actividad disminuye. Si se detecta debe considerarse la sustitución de la antitrombina para mantener valores superiores al 60-70%, aunque la administración es controvertida. En caso de administración de antitrombina, tener en cuenta la necesidad de disminuir la dosis de heparina previa a la misma, para evitar fenómenos hemorrágicos.

**Dosis de concentrado de ATIII: AT deseada-AT medida x peso kg) 1,4**

- Sd de Von Willebrand adquirido: es una afectación estructural o funcional de dicho factor que se contribuye a la hemostasia primaria, lo que produce una mayor predisposición al sangrado. Se produce en condiciones de alto flujo por el rozamiento de la sangre con el circuito o por la aparición de autoanticuerpos. Se deberían descartar otras causas de este fenómeno como son los síndromes linfoproliferativos, enfermedades autoinmunes o enfermedades cardiovasculares. Aunque no existe una prueba única para su diagnóstico, lo test que se suelen usar para el diagnóstico son: nivel de FVW, Nivel de FVIII, PFA100 (agregación plaquetaria), el cofactor de la ristocetina y el recuento plaquetar. Cuando se sospecha y/o se realiza el diagnóstico de este fenómeno es necesario realizar un tratamiento de la causa, se debe reducir la velocidad de la bomba (considerar su retirada precoz) y revisar los accesos vasculares, evitando flujos turbulentos. En ocasiones puede ser necesaria la retirada de la anticoagulación. La plasmaféresis, el uso de inmunoglobulinas iv o la desmopresina son los fármacos que podrían tener cabida en déficit de FvWa mediado por autoanticuerpos.

#### **D. Otras complicaciones sistémicas**

- Infecciones /sepsis. La sobreinfección está presente hasta en un 30% de los pacientes con ECMO y supone un aumento de la morbimortalidad. Los principales factores de riesgo son la edad, la gravedad de la enfermedad de base, la duración de la terapia, la colonización y las complicaciones mecánicas. La detección de los procesos infecciosos supone un reto en estos pacientes debido a la variabilidad de temperatura por la circulación extracorpórea y al estado proinflamatorio que puede modificar los valores de los reactantes de fase aguda; por ello es importante la evaluación conjunta de todos los signos y síntomas, realizando un diagnóstico precoz de la misma.
- Insuficiencia renal.

#### **E. Complicaciones locales**

- Hemorragia en el sitio de punción. Es el sangrado más frecuente y suele controlarse con hemostasia local; en ocasiones es necesario manejo quirúrgico y apertura para controlar el sangrado.
- Perforación o disección del vaso

- Falsa vía vascular
- Formación de fistula arteriovenosa o pseudoaneurisma
- Isquemia del miembro: para evitarlo se puede colocar una cánula de perfusión distal en femoral superficial o alternativas (tibial posterior, dorsal del pie) o realizar un injerto en chimenea con tubo de dacrón de 8mm en arteria femoral.
- Hiperperfusión del miembro: como consecuencia de la obstrucción del retorno venoso debido a la ocupación de prácticamente toda la totalidad del vaso. En el miembro inferior se debe reposicionar la cánula hacia la arteria femoral común o realizar un banding de la femoral distal y en miembro superior será necesario reposicionar la cánula hacia la arteria axilar o banding de la axilar distal.

## F. Complicaciones específicas según configuración

### I. Hipoxemia refractaria en ECMO VV

La hipoxemia arterial durante el soporte de ECMO-VV es el resultado de una disminución en la relación del entre el O<sub>2</sub> que es portado por el ECMO y el O<sub>2</sub> aportado por el gasto nativo (con una oxigenación insuficiente). Por tanto, la diferentes causas pueden estar relacionadas con:

- Disminución en el Flujo efectivo (Flujo ECMO - % de recirculación). Si la recirculación es baja, el flujo efectivo y por tanto la saturación arterial aumenta de forma proporcional al aumento de flujo de ECMO. Sin embargo, cuando existe un porcentaje alto de recirculación, al aumentar el flujo de ECMO, la SO<sub>2</sub> disminuirá.
- Disminución de la SvO<sub>2</sub>: indica un alteración de la relación DO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>
  - o Incremento del consumo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>): fiebre, despertar, agitación ...
  - o Disminución en la concentración de Hb (anemia): no existe un valor de referencia, pero se recomienda mantener por encima de 8mg/dl y en caso caída de flujo o hemolisis, la transfusión para mantener valores cercanos a 10mg/dl mejora la oxigenación.
  - o VO<sub>2</sub> excesivo: por agitación, despertar, desadaptación de la VM, fiebre o infección.
- Incremento del GC nativo: si el porcentaje de recirculación es aceptable, el flujo de ECMO de ser de al menos el 60% del GC total. En caso de flujo adecuado y sin otra causa evidente, puede estar relacionado con un GC nativo

excesivo. Para controlar esta situación, se debe aumentar el flujo de ECMO si lo permite (siempre que no se presente fenómenos de cavitación o hemolisis) y en caso de que no sea posible el aumento del flujo, se intentará disminuir el gasto cardiaco nativo del paciente (aumento de la sedo/relajación, reducción de la taquicardia, retiro o reducción de inotrópicos, normotermia ...). En ocasiones, el uso de betabloqueantes puede ser de utilidad.

- Fallo del oxigenador. Un descenso en la PO<sub>2</sub> postmembrana, el aumento del gradiente transmembrana, la caída de flujo con mismas revoluciones o la presencia de coágulos o fibrina, sugieren disfunción de la membrana y debe considerarse el reemplazo de la misma.
- Disminución de la FPR (Función Pulmonar Residual) por neumotórax, atelectasias, derrame o sobreinfección. El aumento de la función pulmonar puede incluir el aumento del soporte ventilatorio, maniobras de reclutamiento, fibrobroncoscopia y/o posición de decúbito prono.

## II. Recirculación.

Es un fenómeno exclusivo de la configuración venovenosa, en el que se produce el drenaje directo de la sangre oxigenada sin pasar por la circulación sistémica y provocando una disminución de la eficacia de la asistencia.

Los principales factores que afecta a la recirculación:

- La configuración y la posición de las cánulas. Una separación menos de 10cm entre ambas cánulas suponen un mayor riesgo.
- El aumento de flujo de ECMO se correlaciona con un incremento de la recirculación, dependiendo del tipo de cánulas, el tamaño y la posición de las mismas. El uso de cánulas de mayor calibre disminuye este fenómeno, al permitir velocidades de flujo mayores con presiones menos negativas
- Cambios en la presiones intratorácica e intracardiaca. El aumento de las presiones intratorácica e intracardiaca produce una disminución del retorno venoso, aumentando la recirculación.
- Dirección de flujo. En ECMO VV la configuración femoro-yugular produce menor recirculación que la yugulo-femoral.

La recirculación debe sospecharse cuando la coloración de la sangre de drenaje es similar a la de retorno tras haber pasado por el oxigenador y por un aumento de la SvO<sub>2</sub> (premembrana). Puede ser cuantificada mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Recirculación (\%)} = (\text{SpO}_2 - \text{SvO}_2) / (\text{SpO}_2 - \text{SvO}_2) \times 100$$

Las intervenciones que permiten disminuir el fenómeno de recirculación son:

- Aumentar el espacio entre la cánula de drenaje y de retorno. La radiografía de tórax y la ecografía deben usarse para evaluar la posición diaria de las cánulas.
- Cambio de configuración: uso de cánula bicava con doble lumen, añadir una cánula de drenaje (permite reducir el flujo de ECMO y las presiones negativas) o manipular la cánula de retorno reposicionándola de forma que el retorno a través de la válvula tricúspide (no es recomendable).

### III. Dilatación de VI en ECMO VA

Los pacientes con una fracción de eyección baja y que presentan una válvula aórtica competente, el flujo retrogrado eyectado por el ECMO produce un aumento proporcional de la postcarga, que produce una sobredistensión del VI y como consecuencia edema pulmonar, hemorragia pulmonar e incrementa el riesgo de trombo ventricular o en la raíz aórtica.

Se debe sospechar este fenómeno cuando la presión de pulso (TAS-TAD) es < a 15 mmHg, perdiendo la onda dicrótica característica y evaluará mediante ecografía la apertura valvular, el aumento de la presión capilar pulmonar o de oclusión y la presencia de trombos ventriculares.

La descarga mecánica es necesaria en la mayoría de los casos, ya que la disminución farmacológica de la postcarga no es suficiente. Actualmente, la colocación periférica de un Impella 2,5 CP o %LD es la actuación preferible, bombeando la sangre desde el VI a través del tracto de salida hasta la aorta. Si existe un trombo ventricular o imposibilidad de colocar un Impella, se puede usar el balón de contrapulsación como medida de descarga.

### IV. Síndrome de Arlequín en ECMO VA

El síndrome de Arlequín se produce por una hipooxigenación de la mitad superior del cuerpo con respecto a la mitad inferior en los pacientes asistidos con ECMO VA, que puede causar daños cerebrales que puede ser muy grave. Se produce cuando mejora el

gasto cardiaco del paciente y existe afectación pulmonar, de forma que la sangre no es oxigenada adecuada por los pulmones nativos y al mejorar la fracción de eyección, esta sangre no oxigenada llega al cerebro (hipoxemia de los territorios del arco aórtico y coronarias). Sin embargo, los órganos de la mitad inferior y en ocasiones la mitad superior izquierda será sangre oxigenada por el ECMO y no existirá hipoxemia a estos niveles, dando lugar a esta diferencia de perfusión y coloración. Para detectar este fenómeno, se debe realizar una gasometría arterial derecha y la monitorización de la saturación regional de la mitad superior. El tratamiento consiste inicialmente en aumentar el flujo de ECMO y normalmente precisa un cambio de configuración para convertir el flujo retrogrado del ECMO VA, en un flujo anterógrado para que la sangre que llegue a nivel cerebral esté adecuadamente oxigenada; para ello, será necesario o bien que la cánula de retorno sea axilar o reconvertirlo a un ECMO central. Otra opción, en función del grado de afectación pulmonar, sería convertir el ECMO VA en una asistencia mixta (ECMO VVA), de forma que retorno arterial sigue perfundiendo los 2/3 inferiores del organismo y la venosa oxigena el resto del organismo. En los casos en los que el paciente se encuentra en destete del ECMO VA y la función cardiaca se encuentre en un estado óptimo, se puede reconvertir a ECMO VV.

## 8 TRASLADO INTRA/INTERHOSPITALARIO DEL PACIENTE EN ECMO

El transporte de pacientes con ECMO supone un aumento en la complejidad de transporte de pacientes críticos, tanto por la habilidad técnica en la implantación y traslado como por la coordinación de los diferentes centros implicados.

Según el lugar donde se encuentre el paciente se pueden distinguir varios tipos de transporte:

- Transporte primario: el equipo móvil se desplaza hacia el hospital donde se encuentre el paciente, realiza la canulación y la estabilización inicial y este es transferido a un centro ECMO.
- Transporte secundario: un paciente con ECMO debe ser trasladado a otro centro ECMO por requerir un tratamiento especializado (trasplanta o asistencia mecánica de larga duración).
- Transporte intrahospitalario: para realización de pruebas diagnósticas o procedimientos terapéuticos.

### Consideraciones específicas ECMO móvil

#### A. Comunicación y documentación

Para la realización de un transporte interhospitalario desde un centro sin equipo ECMO, debe realizarse la consulta telefónica a un especialista en ECMO (médico intensivista), que valorará el caso y recogerá la documentación clínica necesaria para realizar el traslado.

La información que debe registrarse es:

- Datos demográficos del centro y del paciente
- Hª Clínica básica
- Tratamiento actual, con especial importancia al nivel de sedación, el soporte inotrópico y tratamiento antibióticos/antifúngicos.
- Signos vitales y configuración del ventilador.
- Datos de laboratorio reciente (incluyendo últimas GA)
- Resultados de pruebas de imagen relevantes
- Accesos vasculares con fecha de inserción

Una vez aceptado el traslado por el médico intensivista, debe coordinar al equipo móvil y contactar con el servicio de referencia para indicar la preparación logística del mismo.

## B. Equipo

El equipo debe comprobar la lista de verificación (Checklist adjunto en los anexos) antes de la realización del traslado. Debe de ser autosuficiente tanto para la medicación necesaria, como el purgado y el material de canulación, con los recambios necesarios para solventar posibles incidencias.

El traslado por el equipo ECMO se realizará en una ambulancia medicalizada, diseñada para el traslado de pacientes ECMO de alta complejidad, con las necesidades estructurales que esto precisa.

Durante el traslado del paciente, todo el material debe estar montado y bien fijado, teniendo en cuenta las fuerzas de aceleración, vibración ... Además, las cánulas deben estar bien aseguradas y ser los más cortas posibles para evitar complicaciones. Se debe asegurar tanto la fuente de alimentación, como la suficiente cantidad de oxígeno y gas para el traslado.

### Estructura y responsabilidades del Equipo ECMO móvil

Es necesario contar con un equipo correctamente entrenado y con experiencia, en nuestro caso, lo formarán un médico intensivista como organizador del traslado y responsable del paciente crítico, un perfusionista encargado del manejo del dispositivo y un cirujano cardiaco para realizar la canulación y el manejo de las posibles complicaciones vasculares.

## 9 DESTETE DE ECMO

### 9.1 Destete ECMO venovenoso

La fase que transcurre entre la canulación del ECMO y la decanulación, es un periodo en el que la función del pulmón nativo se va recobrando hasta satisfacer las demandas metabólicas del organismo. Para identificar aquellos pacientes en los que se puede iniciar la fase de destete, es necesario identificar la contribución del oxigenador de membrana y el pulmón nativo en lo que respecta al intercambio gaseoso, al esfuerzo respiratorio y a la mecánica pulmonar.

Los criterios para el iniciar el destete en ECMO VV son:

- Estabilidad hemodinámica (o dosis bajas de aminas)
- Inicio de ventilación espontánea o asistida con mecánica pulmonar favorable con una  $FiO_2 < 50\%$  y sin acidosis respiratoria.
- Ausencia de agitación o alteración del nivel de conciencia

Además, la  $PO_2$  tras la prueba de 100% (consistente en aumento de  $FiO_2$  en el respirador al 100% durante 15 min) debe ser  $> 200$  mmHg con una  $P_{0.1} < 5$  cmH<sub>2</sub>O o ausencia de trabajo respiratorio.

La prueba de destete consiste en analizar de forma separada la dependencia del ECMO en términos de oxigenación y descarboxilación.

#### Test de oxigenación

Antes de iniciar la prueba, se aumentará la  $FiO_2$  del respirador al 60% para evitar la hipoxemia y los cambios hemodinámicos producidos por la vasoconstricción de los capilares pulmonares (consecuencia de la reducción de la  $SvO_2$  por la disminución de  $VO_2$  del ECMO) y dar tiempo para reestablecer el equilibrio V/Q, evitando el aumento del espacio muerto y de shunt. Posteriormente, se reducirá la  $FiO_2$  del ECMO desde 100% al 60%, 30% y 21% cada 5 minutos.

Si el paciente presenta  $SaO_2 < 88\%$ ,  $P_{0.1} > 10$  o aumento del trabajo respiratorio, se suspenderá la prueba y se declarará dependiente de ECMO. Si, por el contrario, la prueba de oxigenación es exitosa se pasará al siguiente punto.

### Test de descarboxilación

Durante esta fase, se reduce el 30% del flujo de barrido cada 5-10 min hasta llegar a 0 y se monitoriza la respuesta del paciente.

La prueba de destete debe abortarse si:

- Desaturación  $< 88\%$  mantenida más de 5 min
- Frecuencia respiratoria  $> 35$  rpm
- Presencia de trabajo respiratorio ( $P_{0,1} > 10$ , uso de musculatura accesoria ...)
- Aumento del end tidal o de los valores de  $PCO_2 > 20\%$
- Inestabilidad hemodinámica o signos de distrés.

Una vez superada la prueba de destete, se mantendrá el flujo de barrido a 0 durante 12-24 horas con monitorización del paciente y si no presenta complicaciones o empeoramiento se procederá a la decanulación del paciente.

### 9.2 Destete ECMO VA

El destete del ECMO se debe iniciar tan pronto como se consiga una estabilidad hemodinámica y adecuada perfusión tisular, con dosis bajas de vasopresores. No se ha establecido un mínimo de terapia, pero se recomienda iniciar el destete al menos trascurridas unas 72 horas del inicio de soporte, una vez tratada la causa y objetivado signos de recuperación miocárdica y mejoría de la función cardíaca. Además, se debe descartar afectación pulmonar con adecuada oxigenación y ventilación y mejoría de las disfunciones orgánicas encontradas al inicio de la terapia (la recuperación de la función renal no es posible en todos los pacientes). Si el paciente presenta una descarga del VI, se debe realizar la retirada del ECMO VA primero, manteniendo el la asistencia durante el mismo (balón de contrapulsación 1:1 o el flujo de Impella en 1,5/2L según necesidades).

Los criterios de inicio de destete:

- Estabilidad hemodinámica (dosis de aminos  $< 0,5$ mcg/kg/min o DBT  $< 5$  mcg/kg/min)
- Mejoría de función cardíaca (PP  $> 30$  mmHg, CI  $> 2,2$ l/min/m<sup>2</sup>, PCP  $< 15$  mmHg)
- Función pulmonar no comprometida
- Recuperación de la presión de pulso
- Ausencia de alteraciones metabólicas importantes

Para realizar la prueba de destete en el ECMO VA se debe valorar la adaptación del corazón a la retirada de este, disminuyendo el flujo de ECMO progresivamente con valoración ecocardiográfica de la función cardiaca y la hemodinámica del paciente.

Reducir el flujo en 0,5l/min cada 10-15 min hasta llegar a 1,5l/min. En cada reducción se debe valorar eco cardiográficamente y los parámetros hemodinámicos durante la reducción de flujo. Si con flujo de 1,5lpm el paciente mantiene estabilidad hemodinámica (presión de pulso > 20-30mmHg, FEVI > 25%, IVT > 10cm, TDSa > 6 cm/s No distensión ventricular y/o índice cardiaco > 2,2 l/min/m<sup>2</sup>), se mantendrá a mínimo flujo (2l/min) durante un mínimo de 6-8horas y se procederá a la decanulación. Durante el periodo de flujo mínimo, la anticoagulación debe ajustarse para mantener ACT 180-200 y evitar la trombosis de las cánulas.

En caso de disminución de la PAM > 10-20 mmHg o PAM <65mmHg, aumento de las presiones de llenado, alteraciones del ritmo o disminución del gasto cardiaco, el paciente no está listo para realizar la retirada de soporte. La prueba de destete debe repetirse a las 24 horas si continúa cumpliendo los criterios mencionados.

#### PARÁMETROS EN LA VALORACIÓN DEL DESTETE VA.

Criterios ecocardiográficos:

- IVT > 10-12 cm
- FEVI > 20-25%
- TDSa > 6cm/s
- No dilatación ventricular
- No estasis/no humo

Criterios hemodinámicos:

- Presión de pulso > 20-30 mmHg
- PAM > 60-65 mmHg
- IC > 2-2,4l/min/m<sup>2</sup>
- PCP < 15-18 mmHg
- PVC < 15-18 mmHG
- SatVm > 60%

Criterios clínicos

- Arritmias
- Desaturación arterial de oxígeno o signos de congestión pulmonar

- Hipotensión o signos de hipoperfusión

## MATERIAL NECESARIO PARA EL TRANSPORTE

A continuación, se proporciona una lista de verificación. El equipo de canulación deberá comprobar el listado de material y prepararlo antes de su salida.

### MALETA ECMO:

- Circuito x 2
- Consola ECMO con bomba de back up.
- Intercambiador de temperatura.
- Adaptadores de pared de gases.
- Mezclador de gases.
- Alargadera con varios enchufes.
- Bala de O<sub>2</sub> y aire, con conexión. Conexión O<sub>2</sub> y aire a la ambulancia.
- Clamps metálicos x4.
- Bomba infusión de heparina.
- Tijeras estériles.
- Jeringa de 50 cc cono luer.
- Plasmalite 500 cc x3.
- Gelaspan 500 cc x2.
- Jeringas 5 cc x4, jeringas 10 cc x2.
- Aguja de carga x6.
- Heparina 5% x5.
- Llaves de 3 pasos de alta presión x6.
- Conector luer 3/8x3/8 x4.
- Sistema de bomba x3.
- Bidas.
- Máquina ACT y cubetas.
- Gasómetro portátil y cubetas.

### MALETA CANULACIÓN.

- Cánulas: 2-3 cánulas venosas de drenaje y retorno. Ajustar en función de talla y peso del paciente.
- Introductor arteria 7 Fr y 8 Fr x2.
- Cánula de perfusión de miembro inferior: 7F, x2 y 8 fr x2.
- Tubos (3/8, 1/4 y 3/16) y conexiones (3/8x3/8 con luer, 3/8x3/8, 3/8x1/4, 1/4x1/4 y 1/4x3/16) para realizar adaptaciones.
- Set de punción x4.
- Alargadera de suero x2.
- Alargadera de oxígeno.
- Ecógrafo portátil si no hay en centro al que nos trasladamos.

### MALETA MATERIAL QUIRÚRGICO:

- Batas x3, gorros x6, mascarillas x6, guantes x4.
- Sabana estéril x3, paño estéril x6.
- Compresas x6, gasas x6.
- Apósitos x4
- Clorhexidina acuosa 250 cc x1
- Suero Fisiológico 500 cc de lavado estéril x 2.
- Separador x1
- 4 jeringas de 20cc
- Clamps metálico x4
- 6 jeringas de 10cc
- 2 pinzas de disección sin dientes
- 2 jeringas de irrigación
- 2 pinzas vasculares
- 4 suturas prolene 5/0
- 3 mosquitos
- 4 suturas seda 3/0
- 2 separadores Faraboeuf
- 6 suturas de seda nº 1
- Portaagujas x2
- Surgicel
- Tijera estéril x2
- Tijeras azules plástico x2
- Adaptador macho-macho x2
- Pelo de 100 cm
- 4 bisturís con mango
- Catéter micropunción
- Caudalímetro
- Conexiones 3/8 – 3/8 con luer
- Conector caudalímetro
- 6 conexiones de 3 pasos
- Bolsa de presurización
- 4 apósitos con bridas (hollister)
- Tubuladuras de Conexión de O2
- 4 apósitos hidrocelulares
- Vendaje fijación cánula en cabeza
- 4 jeringas de cono ancho

**MALETA COVID-19:**

- 6 batas buzos impermeables
- 1 fonendo
- 6 mascarillas FFP2
- 2 sistemas de aspiración cerrada
- 6 máscaras quirúrgicas
- 2 filtros respirador
- 2 máscaras con mampara
- 10 bolsas de plástico tipo Zip
- 2 gafas
- Solución hidroalcohólica
- 1 fonendo

## MALETA UCI:

### Material necesario para intubación

- TET 6,5/7/7,5/8 y guías
- Sondas de aspiración
- Laringoscopio
- Airtraq o videolaringoscopio
- Bolsa Mascarilla
- Guía de intubación tipo frova

### Catéteres vasculares

- CVV 3 luces x2
- Catéter arterial radial x2
- Catéter arterial femoralx2

### Medicación necesaria para la canulación y traslado

### Sedación, analgesia y relajación

- Propofol amp x5
- Midazolam x5
- Fentanilo x3
- Cisatracurio x3
- Diazepam 10mg x3

### Vasopresores, inotrópicos y cronotopos

- Noradrenalina (10mg) x5
- Fenilefrina x2
- Adrenalina 1mg x 10
- Atropina x5
- Dobutamina x2
- Isoproterenol x5
- Labetalol x3
- Amiodarona x3

## PREPARACIÓN DEL TRANSPORTE

1. Verificación previa al transporte
  - Hospital emisor:
  - Hospital receptor:
  - Distancia km:
  - Equipo de transporte:
  - Médico INTENSIVISTA. Nombre y apellidos. Telf. de contacto
  - Médico CIRUJANO CARDIACO. Nombre y apellidos. Telf. de contacto
  - Perfusionista. Nombre y apellidos. Telf. de contacto
  - Médico Coordinador ECMO. Nombre y apellidos. Telf. de contacto
  - Tlf UCI Hospital emisor:
  - Tlf UCI Hospital receptor:
2. Preparación para el traslado
  - Gasometría arterial (del paciente y post-membrana). Monitorización de los parámetros
  - del ECMO. Asegurar un correcto funcionamiento de la ECMO-VV.
  - Rx de tórax. Confirmar el adecuado posicionamiento de las cánulas.
  - Iniciar anticoagulación sistemática.
  - Fijar las cánulas.
  - Fijar elementos, tanto paciente como sistema ECMO.
  - Preparar perfusiones del paciente de cara al traslado. En la medida de lo posible se intentará minimizar el número de bombas necesarias para el traslado.
3. Material necesario en el SVA para el de traslado:
  - Monitor con ECG, SpO<sub>2</sub>, TA, desfibrilador, NIBP.
  - Respirador portátil.
  - Colocar parches del desfibrilador.
  - Bombas de infusión.
  - Fijación adecuada del ECMO.
  - Comprobar conexión de caudalímetro adecuada. Comprobar bala de O<sub>2</sub>. Llevar bala de
  - O<sub>2</sub> de repuesto.
  - Fluidoterapia para reposición de volumen enérgica.
  - Valorar la necesidad de preparar medicación que puede no estar disponible en el vehículo de SVA.
  - Hemoderivados que se prevean necesarios.
4. Durante el traslado:
  - Una vez se inicia el traslado, se debe avisar al hospital de referencia informando sobre el
  - tiempo estimado de llegada, así como las necesidades y situación del paciente.
  - En la ambulancia se trasladarán los tres miembros del ECMO.
  - De no ser posible, es recomendable que el resto del equipo ECMO viaje cerca del SVAE por si se requiriese su asistencia.

## 10 BIBLIOGRAFIA

- Aokage, T., Palmér, K., Ichiba, S., & Takeda, S. (2015). Extracorporeal membrane oxygenation for acute respiratory distress syndrome. In *Journal of Intensive Care* (Vol. 3, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40560-015-0082-7>
- Brechot, N., & Fan, F. E. (n.d.). *Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) Guidelines for ECMO Transport*.
- Brogan, T. V, Lequier, L., Lorusso, R., MacLaren, G., & Peek, G. (n.d.). *Extracorporeal Life Support: The ELSO Red Book 5th Edition*.
- ELSO Adult Respiratory Failure Guidelines Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) Guidelines for Adult Respiratory Failure ELSO Adult Respiratory Failure Guidelines*. (2017). [www.elseo.org](http://www.elseo.org)
- ELSO Anticoagulation Guideline*. (2014).
- ELSO General Guidelines Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) General Guidelines for all ECLS Cases*. (2017). [www.elseo.org](http://www.elseo.org)
- Extracorporeal Life Support Organization. (ELSO)*. (n.d.).
- Fried, J. A., Masoumi, A., Takeda, K., & Brodie, D. (2020). How i approach weaning from venoarterial ECMO. In *Critical Care* (Vol. 24, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-03010-5>
- Gattinoni, L., Coppola, S., & Camporota, L. (2022). Physiology of extracorporeal CO2 removal. In *Intensive Care Medicine* (Vol. 48, Issue 10, pp. 1322–1325). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00134-022-06827-6>
- Identification and management of recirculation in venovenous ECMO*. (n.d.).
- McMichael, A. B. V., Ryerson, L. M., Ratano, D., Fan, E., Faraoni, D., & Annich, G. M. (2022). 2021 ELSO Adult and Pediatric Anticoagulation Guidelines. *ASAIO Journal*, 68(3), 303–310. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001652>
- Richardson, A. S. C., Tonna, J. E., Nanjayya, V., Nixon, P., Abrams, D. C., Raman, L., Bernard, S., Finney, S. J., Grunau, B., Youngquist, S. T., McKellar, S. H., Shinar, Z., Bartos, J. A., Becker, L. B., Yannopoulos, D., Bělohávek, J., Lamhaut, L., Pellegrino, V., Neumar, R., ... Combes, A. (2021). Extracorporeal Cardiopulmonary Resuscitation in Adults. Interim Guideline Consensus Statement From the Extracorporeal Life Support Organization. *ASAIO Journal*, 67(3), 221–228. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001344>
- Sangalli, F., Patroniti, N., & Pesenti, A. (n.d.). *ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults*.
- Shekar, K., Badulak, J., Peek, G., Boeken, U., Dalton, H. J., Arora, L., Zakhary, B., Ramanathan, K., Starr, J., Akkanti, B., Antonini, M. V., Ogino, M. T., Raman, L., Barret, N., Brodie, D., Combes, A., Lorusso, R., MacLaren, G., Müller, T., ... Pellegrino, V. (2020). Extracorporeal Life Support Organization Coronavirus Disease 2019 Interim Guidelines: A Consensus Document from an International Group of Interdisciplinary Extracorporeal Membrane Oxygenation Providers. *ASAIO Journal*, 66(7), 707–721. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001193>
- Shekar, K., Mullany, D. V, Thomson, B., Ziegenfuss, M., Platts, D. G., & Fraser, J. F. (n.d.). *Extracorporeal life support devices and strategies for management of acute cardiorespiratory failure in adult patients: a comprehensive review*. <http://ccforum.com/content/18/2/219>

- Šoltés, J., Skribuckij, M., Říha, H., Lipš, M., Michálek, P., Balík, M., & Pořízka, M. (2023). Update on Anticoagulation Strategies in Patients with ECMO—A Narrative Review. In *Journal of Clinical Medicine* (Vol. 12, Issue 18). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jcm12186067>
- Tonna, J. E., Abrams, D., Brodie, D., Greenwood, J. C., Rubio Mateo-Sidron, J. A., Usman, A., Fan, E., Barrett, N., Schmidt, M., Mueller, T., Combes, A., & Shekar, K. (2021). Management of Adult Patients Supported with Venovenous Extracorporeal Membrane Oxygenation (VV ECMO): Guideline from the Extracorporeal Life Support Organization (ELSO). In *ASAIO Journal* (Vol. 67, Issue 6, pp. 601–610). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/MAT.0000000000001432>
- Vasques, F., Romitti, F., Gattinoni, L., & Camporota, L. (2019a). How i wean patients from veno-venous extra-corporeal membrane oxygenation. In *Critical Care* (Vol. 23, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2592-5>
- Vasques, F., Romitti, F., Gattinoni, L., & Camporota, L. (2019b). How i wean patients from veno-venous extra-corporeal membrane oxygenation. In *Critical Care* (Vol. 23, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13054-019-2592-5>

