

# Soporte vital extracorpóreo. Oxigenación por membrana extracorpórea. ECMO

## RESUMEN / ABSTRACT

Los permanentes avances y la incorporación de las nuevas tecnologías y técnicas de asistencia a pacientes con graves patologías respiratorias y/o cardiocirculatorias, obligan a los equipos a una preparación más especializada y adecuada para poder afrontarlos con seguridad y calidad para el paciente, especialmente necesarias en estas situaciones de actuación crítica.

Los sistemas de perfusión o bypass cardiopulmonar utilizados por los perfusionistas en quirófano, están diseñados para sustituir de forma completa la función del corazón y los pulmones y hacer posible que pueda llevarse a cabo la cirugía cardiaca, estos sistemas, mantienen la asistencia necesaria para garantizar las funciones vitales, es por ello que son los perfusionistas los únicos profesionales que están adiestrados en los procesos y en los dispositivos y pueden orientar o guiar en el diseño y utilización de los nuevos sistemas de soporte vital extracorpóreo, miniaturizados y portátiles, diseñados para garantizar las funciones vitales durante un periodo de tiempo mayor.

La diversidad de hospitales con su multitud de normas y costumbres, hacen que esta guía pueda ayudar a unificar criterios, aportando los conocimientos y experiencia de los perfusionistas para un adecuado manejo de los dispositivos de soporte vital extracorpóreo y suavizar la curva de aprendizaje facilitando su implantación.

Los resultados y el éxito de esta nueva tecnología dependen en gran medida de la selección de los pacientes, del momento óptimo de su implantación, pero fundamentalmente del correcto manejo del post-operatorio.

**Palabras clave:** Soporte vital extracorpóreo, oxigenación por membrana extracorpórea, guía ECMO, cuidados críticos en ECMO.

The continuous advances and new incorporation of lung/heart assistance techniques and technologies result in our teams having to specialise and reach an appropriate knowledge, due to providing qualified and safe care to our patients.

Patients undergoing cardiac and thoracic surgery need a perfusionist in depth understanding of cardiopulmonary bypass (CPB) mechanics, which can be confusing and intimidating. Problems with CPB can lead to significant morbidity and mortality. This is why perfusion professionals are the best choice to guide the designing and use of the new extracorporeal life support (ECLS) devices, which are designed to maintain vital functions during a longer period of time.

The existence of so many professionals working in different hospitals with all their norms and habits, makes us think a guide could help in unifying criteria. Providing information, knowledge and experience, that would soften the learning curve and the project implementation.

The good results of this new technology depends on the selection of patients (who) and the best moment of implantation (when), but above all this, the most important would be the postoperative care and management.

**Keywords:** Extracorporeal life support, extracorporeal membrane oxygenation, ECMO, ECMO guide, critical care in ECMO.



Marisol García Asenjo

Perfusionista

Hospital Universitario de Basurto. Bilbao



Kesare Eiguren Goitz

Perfusionista

Hospital Universitario de Basurto. Bilbao

Artículo coordinado desde la  
Comisión de Calidad de la AEP

Correspondencia:

COMISIÓN DE CALIDAD

e-mail: info@aep.es

Marisol García

OSI Bilbao-Basurto. Hospital Universitario de Basurto

Equipo de Perfusión Cirugía Cardiaca

Avda. Montevideo nº 18

48013 Bilbao. Bizkaia

Tel.: +34 944006000

e-mail: mgarcia@aep.es

Recibido: febrero de 2017

Aceptado: abril de 2017

## OBJETIVO

Liderar el implante y mantenimiento de los dispositivos de soporte vital extracorpóreo (ECLS), como profesionales en activo formados académicamente para la circulación extracorpórea y abalados por la práctica asistencial diaria, como responsables de todos los procesos de circulación extracorpórea que desarrolla la Cirugía Cardíaca en nuestro país, garantizan nuestra capacidad de afrontar los eventos adversos que se desencadenen dentro de los mismos, lo que contribuye a elevar la Seguridad del Paciente sometido a circulación extracorpórea y la Calidad Asistencial de todo el proceso.

Son los perfusionistas los que están en la posición más adecuada para liderar la formación del equipo interdisciplinar. El objetivo de este monográfico es dar a conocer los dispositivos de ECLS y las pautas para el mantenimiento, que ayuden a resolver las dificultades que surgen en la incorporación de esta tecnología y promover la formación de los profesionales de unidades de críticos, dotándolos de los conocimientos y habilidades necesarias para un adecuado manejo.<sup>1</sup>

## INTRODUCCIÓN

No todas las tecnologías abarcan lo mismo, algunas se integran fácilmente en la práctica, ya que son técnicas sustitutivas de las ya existentes, otras requieren de cambios sustanciales para poder desarrollar todo su potencial, los resultados no sólo dependen de la eficacia de la tecnología, si no de la forma en que se aplican, el éxito depende en gran medida de la habilidad de la organización y de los profesionales para desarrollar toda su efectividad.

Los sistemas denominados asistencia cardio-circulatoria y asistencia ECMO: ECMO e Extra Corporeal Membrane Oxygenation.

También se les denomina ECLS, siglas de Extra Corporeal Life Support. Soporte vital extracorpóreo, que engloban aquellos sistemas mecánicos que son capaces de asistir o ayudar a mantener la función del corazón, de los pulmones o de ambos, de manera temporal y prolongada. Los sistemas de ECLS son sistemas de reanimación que permite asistir a los pacientes sacándolos de la situación más crítica, permitiendo obtener más tiempo de actuación, bien para que la patología de base se recupere o bien para la toma de decisiones.

Estos sistemas son muy diferentes a los tratamientos aplicados en nuestro entorno hasta ahora para estas patologías, por lo que se hace necesaria una completa identificación de su finalidad, sus componentes y sobre todo de los cuidados especiales que requieren. Tanto las organizaciones, como los profesionales, deben entender que se requiere de una formación específica para poder desarrollar todo su potencial.

Los dispositivos de soporte vital extracorpóreo no son una nueva tecnología, ya que fue aceptada como práctica a principios de 1990, en España su desarrollo se está llevando a cabo de manera más lenta e irregular que en el resto de países de la U.E., EE.UU. o Canadá, probablemente por varios factores, el alto coste, las complicaciones de la alta tecnología y la falta de experiencia de los equipos.

A pesar de los intentos de la Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) de establecer las directrices para creación de las unidades con esta tecnología y las necesidades básicas de formación de las distintas profesiones del equipo, sigue existiendo una gran variabilidad en el diseño de los equipos y los de los profesionales que la componen, así como las competencias de cada uno de los miembros, lo que dificulta, no sólo el estudio de los resultados, sus complicaciones y sus costes, sino establecer las necesidades mínimas para su implantación. Aunque no es nuestra intención establecer estas necesidades mínimas, esperamos que sirva como guía para resolver las dificultades y problemas, dotar de los conocimientos y habilidades necesarias, para un adecuado manejo de los dispositivos, así como enriquecer el desarrollo de estas nuevas unidades a la hora de elaborar sus propios protocolos.<sup>2,3</sup>

Los ECLS que tratamos en este Monográfico, son de tipo extracorpóreo, permitiendo una asistencia univentricular o bi-ventricular, solamente hemodinámica o hemodinámica y respiratoria, mediante bombas de tipo centrífuga, de levitación magnética, dando un flujo continuo, siendo la asistencia considerada de corto plazo (hasta 30 días).

## ASISTENCIA CARDIO-CIRCULATORIA

Se trata de un dispositivo mecánico de soporte circulatorio, capaz de generar artificialmente y por sí mismo, un flujo sanguíneo suficiente para suplementar o sustituir completamente el gasto cardiaco en situaciones de fracaso cardiaco severo que no responde a los tratamientos habituales.

El sistema consiste en recoger la sangre que llega del sistema venoso pulmonar o de la circulación sistémica, mediante una cánula localizada en la aurícula o en el ventrículo, (dependiendo el tipo de asistencia que queramos implantar), enviándola de regreso a la circulación a través de otra cánula situada en la aorta o en la arteria pulmonar.

Las asistencias cardiocirculatorias descargan el corazón y asumen parte de su trabajo, por lo que el corazón late pero no bombea (en ocasiones bombea un volumen pequeño), lográndose así una disminución de las presiones sistólica y telediastólica de los ventrículos, que conlleva una serie de beneficios a nivel celular miocárdico.

Estos dispositivos consiguen el mantenimiento de una presión arterial y un gasto cardiaco normal, permiten una correcta perfusión de órganos vitales como el cerebro, ri-

ñón e hígado, propiciando su correcto funcionamiento y evitando así el llamado fracaso multiorgánico.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la disminución de la función del ventrículo izquierdo (VI) junto con la reducción de la contractilidad determina un descenso del gasto cardíaco (GC) y de la presión arterial. La perfusión coronaria sufre, asimismo, una importante disminución con posterior compromiso de la reserva coronaria. Como consecuencia, se pondrán en marcha diferentes respuestas neurohormonales que incluyen la activación de los sistemas simpático y del eje renina-angiotensina, que producirán vasoconstricción, taquicardia y retención de líquidos. Estos mecanismos defensivos desembocarán en un declive tanto de la isquemia como de la función miocárdica y por lo tanto, en un empeoramiento del cuadro.<sup>4</sup>

Cualquier causa que produzca una disfunción aguda grave del ventrículo derecho (VD) o del VI puede desembocar en shock cardiogénico.

Los pacientes en esta situación de shock cardiogénico que no responden a tratamientos convencionales necesitan cuanto antes restablecer la perfusión tisular adecuada, para evitar que el fracaso multiorgánico llegue a ser irreversible. La elección inicial del dispositivo depende de si se precisa asistencia hemodinámica aislada o si se necesita soporte cardiopulmonar, en este último caso, el dispositivo de elección sería la ECMO con configuración venoarterial.

En caso de fallo biventricular (que además de ser el más frecuente en situación de shock cardiogénico refractario), cuando hay que realizar el implante del dispositivo de asistencia mecánica circulatoria de forma urgente o emergente, el dispositivo de elección será la ECMO, fundamentalmente por la facilidad del implante percutáneo y más fácil manejo. Los dispositivos de soporte ventricular izquierdo o biventricular son más difíciles de mantener y habitualmente se implantan para soporte de más largo plazo, hasta lograr el trasplante.

## ECMO

A diferencia de los sistemas de perfusión o bypass cardiopulmonar que están diseñados para sustituir de forma completa y breve la función del corazón y pulmón en el quirófano y así facilitar la cirugía, la ECMO mantiene la asistencia necesaria para garantizar las funciones vitales durante un periodo de tiempo mayor.

Es una asistencia mecánica circulatoria y respiratoria, capaz de proporcionar soporte cardíaco y pulmonar, durante un periodo de días o semanas, en la insuficiencia cardíaca o respiratoria refractarias a tratamiento convencional. Es un soporte vital extracorpóreo con oxigenador incorporado.

Como norma general se asume que los sistemas de ECLS son sistemas de reanimación que permite asistir a los pa-

cientes sacándolos de la situación más crítica y aportando un tiempo de actuación, bien para que la patología de base se recupere o bien para la toma de decisiones.<sup>5</sup>

La asistencia ECMO cubrirá las necesidades tisulares de aporte de oxígeno y de eliminación de dióxido de carbono cuando la lesión cardíaca o pulmonar pueda ser recuperable en un corto periodo de tiempo. También permitirá reducir la intensidad del tratamiento convencional de la insuficiencia cardíaca o respiratoria y sus efectos adversos sobre la recuperación cardiopulmonar.

Uno de los objetivos de la implantación de la ECMO es conseguir el descanso de los órganos y a su vez ganar tiempo para la recuperación, por lo cual el manejo de estos dispositivos irán encaminados a asegurar el reposo y continuar con los tratamientos necesarios para la recuperación.

En algunos casos es necesario sustituir la función respiratoria solamente, con el uso de ECMO se logra un contenido arterial de oxígeno suficiente, y siendo el propio paciente el encargado de mantener el gasto cardíaco. En otros casos es preciso mantener el transporte de oxígeno asegurando no sólo el contenido de oxígeno sino el gasto cardíaco. Por lo tanto su indicación son, aquellas situaciones en las que existe insuficiencia respiratoria grave o insuficiencia cardiorrespiratoria con falta de respuesta a los tratamientos convencionales.

## COMPONENTES DEL SISTEMA

### ASISTENCIA CARDIO CIRCULATORIA DE CORTA DURACIÓN

Los dispositivos utilizados para este fin deben reunir algunas características importantes tales como generar flujos altos, de hasta 6-8 l/min, descargar el ventrículo de forma adecuada, provocar daños mínimos de los elementos sanguíneos y del miocardio, no producir fenómenos tromboembólicos, mantener su funcionamiento de forma adecuada al menos durante 10-30 días, así como ser fiables, de bajo coste y fáciles de montar y manejar.

El circuito se compone de los siguientes elementos ensamblados en serie.

#### Cánulas

Son cánulas de poliuretano reforzadas con anillos de acero inoxidable, que presentan flexibilidad y resistencia al acodamiento, son radiopacas y permiten altos flujos.

- Venosas: De salida del paciente, conectada a un circuito de tubos que conectara con la entrada al sistema. (Color azul)
- Arteriales: De entrada en el paciente conectada con circuito de tubos que salen del dispositivo. (Color rojo)

Se seleccionarán en función de la superficie corporal del paciente, así como el calibre del vaso que se va a canular, pero siempre se intentará elegir la de mayor calibre posible para asegurar el flujo adecuado y las mínimas resistencias al flujo.

Cuando la canulación es femoral, deberá añadirse una cánula de perfusión del miembro, dado que se puede producir una isquemia distal al ocluir totalmente la arteria femoral, esta cánula profundizará la extremidad inferior.

## Sistema de tubos

Conectan las cánulas con el sistema. Las líneas también son dos: Línea venosa, a través de la cual la sangre del paciente circula hacia la bomba. Línea arterial, a través de la que la sangre vuelve a la cánula de retorno.

## COMPONENTES DEL DISPOSITIVO

### Consola

Es la encargada del control hemodinámico del sistema, suministra la fuerza electromotriz a la bomba, regula su potencia, es decir la velocidad de rotación de la centrífuga, registra la información aportada por el sensor externo colocado en la línea de salida y por los demás sensores hemodinámicos, bioquímicos y de seguridad implantados en el circuito. Cada tipo de bomba funciona con su propia consola, que como mínimo nos indicará las revoluciones por minuto (RPM) y el flujo en litros por minuto (LPM).

Son consolas diseñadas para el transporte por lo que la duración de la batería también es un parámetro a controlar.

### Bomba centrífuga

La bomba centrífuga proporciona la energía necesaria para impulsar la sangre a través del circuito, generando presiones negativas en la línea y cánula venosas, que da lugar al flujo de sangre hacia la bomba, y presión positiva en la línea y cánula arteriales que permite el retorno de sangre al paciente.

La carcasa de forma piramidal o de vórtice tiene una toma de entrada apical de acceso central y otra de salida periférica en la base hacia el enfermo.

La base tiene un imán que se conecta con otro que hay en el motor que es la unidad magnética, controlada por la consola, que regula la velocidad del giro del rotor en forma de revoluciones minuto, generando un flujo rotatorio desde el centro hacia la periferia de forma centrífuga, que se transmite a la sangre en forma de presión y velocidad.

Estas bombas generan flujo laminar no pulsátil y son de naturaleza no oclusiva. Modificando la precarga y la post-

carga conseguiremos el flujo o gasto cardíaco deseado en cada paciente. Todo esto se controla a través de un dispositivo de detección de flujo colocado en la línea de salida (sensor de flujo).<sup>6</sup>

En general son bombas de flujo continuo, de levitación magnética, (el rotor está suspendido magnéticamente, no contiene soportes que lo fijen a la carcasa), este hecho diferencial con otras bombas centrífugas, hace que haya menos fricción entre los elementos formes de la sangre, generando menos producción de calor y por tanto disminuyendo las posibilidades de hemólisis y la formación de trombos, que facilita trabajar con tiempos de coagulación activada más bajos y sobre todo aumenta su durabilidad con respecto a otras centrífugas. Estas bombas no son oclusivas, por lo que si la bomba se para o se enlentece lo suficiente como para no conseguir el flujo anterógrado, la sangre fluirá retrógradamente, por lo que habrá que pinzar la línea arterial. (Figura 1)

## COMPONENTES DEL SISTEMA. ECMO

Los componentes del circuito están revestidos interiormente por sustancias biocompatibles, lo que reduce la necesidad de anti-coagulación y las complicaciones hemorrágicas.<sup>7</sup>

### Oxigenador de membrana

Además de los anteriores elementos al circuito de ECMO se le añade un oxigenador de membrana que da nombre a la

Figura 1.



asistencia. El oxigenador se compone de una fase gaseosa y una fase sanguínea, separadas por una membrana, que en el caso de los que se utilizan actualmente en ECMO son de polimetilpenteno (PMP) impermeables al plasma que favorece su uso continuado durante varios días manteniendo un intercambio gaseoso de calidad, evita las fugas de plasma y previene la formación de microburbujas.<sup>8</sup>

La transferencia de gas desde la fase gaseosa a la sanguínea, o viceversa, es motivada por difusión, que es el movimiento de los átomos o moléculas de un gas desde las regiones de más alta concentración a las regiones de concentración más baja.

### Mezclador de gas o caudalímetro

Por medio de este dispositivo, formado por un mezclador de gases que regula la proporción de oxígeno/aire y un caudalímetro que regula el flujo de esta mezcla que entra en el oxigenador, se lleva a cabo el aporte de oxígeno adecuado.

El aporte de oxígeno y la eliminación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) son relativamente independientes. El control de la eliminación de CO<sub>2</sub> se realiza variando el flujo de gas del mezclador; si se aumenta el flujo de gas aumentamos la eliminación de CO<sub>2</sub> al disminuir la presión parcial de CO<sub>2</sub> en la fase gaseosa, muy similar a la respiración profunda del pulmón y viceversa.

El control del aporte de oxígeno se lleva a cabo aumentando o disminuyendo la proporción de oxígeno del gas suministrado por el mezclador.

### Intercambiador de calor

Los oxigenadores además van provistos de un serpentín por donde circula agua a una temperatura variable, permitiendo enfriar o calentar la sangre en contacto con dicho serpentín. La sangre que circula por el circuito va perdiendo calor en su recorrido, por lo que debe mantenerse en normotermia de 36°, para evitar complicaciones del ritmo cardíaco.

## INDICACIONES

La asistencia mecánica circulatoria, (AMC) es considerada una alternativa para el tratamiento en la etapa final de la Insuficiencia Cardíaca (IC) en la cual el uso obligado de drogas inotrópicas, aunque recomendado en estos pacientes con severa depresión del gasto cardíaco, se asocia con elevada mortalidad a medio y largo plazo.

La decisión de emplear un dispositivo de asistencia se basa en criterios clínicos de Shock cardiogénico en situación hemodinámica crítica con todos los tratamientos médicos y de soporte agotados, incluyendo inserción de un balón de contrapulsación y empleo de al menos dos drogas inotrópicas y vasoactivas a dosis máxima.

La decisión de la implantación debe de ser rápida, pero ni muy pronto ni muy tarde, una indicación precoz somete al paciente a un riesgo innecesario, pero cuando se demora la decisión, el soporte mecánico no será capaz de revertir el deterioro del fallo multiorgánico por la hipoperfusión.

Los candidatos potenciales a recibir asistencia mecánica circulatoria de corta duración se pueden agrupar como ya se ha comentado en tres grupos importantes. (Figura 2)

Puente a la recuperación. Puente a la decisión. (Cuando es necesaria la estabilización hemodinámica inicial para permitir el retraso en la decisión del objetivo terapéutico). Puente al trasplante o a la asistencia de larga duración.

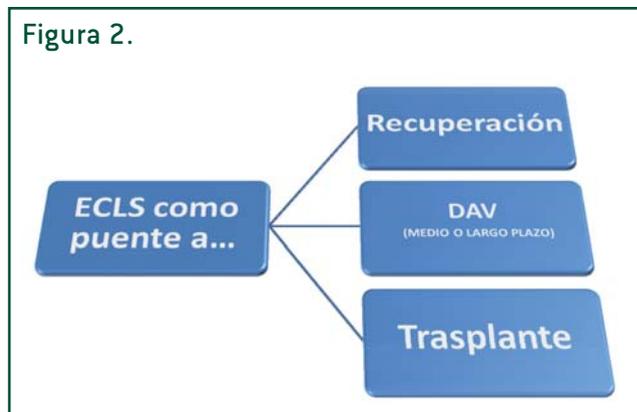
Los criterios o las indicaciones para la implantación de una ECMO son muy parecidos a los establecidos para la asistencia circulatoria, es decir el shock cardiogénico, añadiéndose además la posibilidad de asistencia respiratoria en pacientes con fallo respiratorio refractario al tratamiento, ya que permite mantener la oxigenación y la ventilación adecuada para evitar el fallo multiorgánico, utilizando parámetros ventilatorios que no producen lesión pulmonar añadida.

Por otro lado, la ECMO como asistencia respiratoria, asistencia veno-venosa (V-V) estará indicada en:

- Pacientes con insuficiencia respiratoria grave potencialmente reversible y función cardíaca preservada; como es el caso de neumonías graves, contusiones pulmonares, estatus asmáticos o Síndrome de distrés respiratorio del adulto (SDRA).
- Pacientes con fallo precoz del injerto tras trasplante pulmonar.
- Pacientes en lista de espera para trasplante pulmonar con gran deterioro y necesidad de intubación y ventilación mecánica.

La selección adecuada de los pacientes a si como el momento óptimo de su implantación, dependerán en gran medida los resultados.

Figura 2.



## TIPOS DE ASISTENCIA

Los sistemas de asistencia mecánica de corta duración dependiendo de la localización de las cánulas pueden dar soporte:

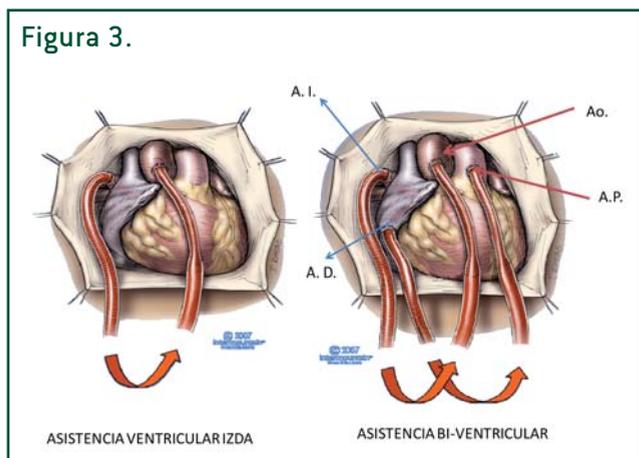
- Univentricular, cuando dan soporte solo a uno de los ventrículos. (Asistencia ventricular derecha o izda).
- Bi-ventriculares, dará soporte a ambos ventrículos.

Para soportar el ventrículo izquierdo (VI) se canulan el ápex del VI (excepcionalmente la aurícula izquierda) y la aorta ascendente. Para soportar el ventrículo derecho (VD) se canulan la aurícula derecha (ocasionalmente el ápex del VD) y el tronco de la arteria pulmonar. (Figura 3)

Los sistema de asistencia ECMO, se pueden configurar para dar soporte cardio-respiratorio, o soporte respiratorio exclusivamente. (Figura 4)

### ECMO VENO-ARTERIAL (V-A)

Este tipo de asistencia está indicado para soporte cardiorespiratorio. La cánula venosa, que se conecta a la línea



**Figura 4.**

	ECMO V-A	ECMO V-V
Soporte	Cardiaco - pulmonar	Pulmonar
Canulación	Yugular interna, AD o Vena femoral + carótida, aorta o arteria femoral.	Doble luz yugular interna, yugular - vena femoral.
Efecto cardíaco	Disminuye precarga/ aumenta poscarga.	Mejora oxigenación coronaria.

venosa del circuito, se introduce habitualmente a través de la vena femoral (VF) y se avanza hasta la aurícula derecha, desde donde recoge la sangre del sistema venoso del paciente. La cánula arterial, que se conecta a la línea arterial del circuito, se introduce (habitualmente) en la arteria femoral (AF) común, por la facilidad y rapidez de su abordaje, por donde la sangre oxigenada en el circuito ECMO retorna al sistema arterial del paciente (la punta se posiciona en la arteria iliaca o en la aorta descendente)

### ECMO VENO-VENOSA (V-V)

Está indicada cuando se precisa exclusivamente una asistencia respiratoria, no da soporte cardíaco directamente, pero al disminuir las resistencias pulmonares mejora la función del VD.

En la ECMO VV la sangre se drena y se reinfunde en el sistema venoso del paciente (por tanto, el circuito de la ECMO está conectado en serie al corazón y los pulmones, a diferencia de la ECMO VA, donde funciona en paralelo). Tras oxigenarse y decarboxilarse, la sangre se reinfunde en la aurícula derecha (AD) y es eyectada en la circulación pulmonar por la propia función cardíaca del paciente.

Hay varias posibilidades de configuración, la canulación femoro-femoral, la canulación femoro-yugular y con una sola cánula de doble luz. En la configuración femoro-femoral, la sangre se drena de la vena cava inferior, mediante una cánula venosa femoral y se reinfunde mediante una cánula introducida en la vena femoral (normalmente contralateral) y avanzada hasta la aurícula derecha. La cánula de drenaje suele ser una cánula multiperforada (con orificios laterales y en la punta) de 21-25 Fr, mientras que para reinfusión se utiliza una cánula de 17-21 Fr, con orificios solo en la punta. En la configuración femoro-yugular, la sangre se drena de la vena cava inferior, mediante una cánula introducida desde la vena femoral, con la punta 5-10 cm por debajo de la unión aurícula derecha- vena cava inferior; la sangre se reinfunde en la aurícula derecha mediante una cánula insertada en la vena yugular interna, con la punta avanzada hasta la unión aurícula derecha-vena cava superior. Esta suele ser la técnica de elección.

La cánula de doble luz está diseñada para drenar sangre de ambas venas cavas y retornar la sangre oxigenada a la aurícula derecha con el flujo dirigido hacia la válvula tricúspide. La inserción de la cánula de doble luz se hace a través de la vena yugular interna derecha. Tiene la ventaja de requerir solo un único punto de canulación y favorecer la movilidad del paciente.<sup>9</sup>

## TIPO DE CANULACIÓN

La canulación puede realizarse a nivel periférico o a nivel central. La canulación periférica es la más rápida, indicada en los pacientes más críticos con dificultades para su traslado a quirófano. Puede llevarse a cabo de dos formas diferentes, bien de manera percutánea mediante la técnica de Seldinger o por disección o a cielo abierto.

En la canulación a cielo abierto o por disección, pueden utilizarse cánulas de mayor calibre, al poder estimar visualmente el diámetro de la arteria y la vena, además facilita la observación directa de posible arteriosclerosis. El paciente en shock cardiogénico o parada cardiaca el pulso puede estar disminuido o ausente lo que hará más difícil, insegura y prolongada la canulación percutánea.

En la canulación periférica se suele utilizar la arteria femoral común y esta puede ocluir la perfusión del miembro inferior, por lo que se conecta una derivación a otra cánula de menor calibre que perfundirá el miembro a través de la arteria femoral superficial.

La canulación central se utiliza con más frecuencia en el shock cardiogénico poscardiotomía, (con imposibilidad de desconexión de la circulación extracorpórea) se suelen utilizar las mismas cánulas que se usan para el bypass cardiopulmonar, que se tunelizan para permitir el cierre de la esternotomía. Este tipo de canulación permite un drenaje más adecuado y una mayor descompresión cardiaca que la canulación periférica, además como la sangre entra en la aorta ascendente, se produce menos flujo retrógrado y mejor oxigenación de la parte superior del cuerpo, pero requiere la estereotomía tanto para la implantación como para la decanulación, además de mayor riesgo de hemorragias, mediastinitis.<sup>10</sup>

## IMPLANTE

### IMPLANTE. ASISTENCIA CARDIO-CIRCULATORIA

La canulación se llevará a cabo generalmente en quirófano por el equipo de cirugía cardíaca junto con el equipo de perfusión, que pondrán en marcha la asistencia ventricular.

La preparación del paciente será igual que los pacientes de cirugía cardíaca, canalizar una vía venosa periférica de grueso calibre y otra central, así como la monitorización de la presión arterial (si es posible radial derecha). Analítica completa que incluya lactato, gasometría arterial y venosa, estudio de coagulación, sin olvidar las pruebas cruzadas y la reserva de hemoderivados.

Si el paciente no dispone de un catéter de Swan-Ganz y está indicada su colocación, es conveniente colocarlo antes de la canulación, por las dificultades para avanzar el catéter una vez que está colocada la cánula venosa. Se colocarán

los electrodos de desfibrilación externa, por si aparecieran arritmias supra-ventriculares durante la implantación por estímulo auricular con las cánulas.

Los componentes del circuito están revestidos interiormente por sustancias biocompatibles, lo que reduce la necesidad de anti-coagulación y las complicaciones hemorrágicas, pero a pesar de esto, para evitar la coagulación del circuito, será necesario mantener un nivel adecuado de anticoagulación con la infusión de heparina no fraccionada. En algunos centros una vez colocadas las cánulas (canulación central) e iniciada la asistencia aconsejan revertir la heparina, aunque en estudios recientes se indica que la protamina puede alterar las propiedades de biocompatibilidad de los circuitos, revestidos con heparina.

Una vez comprobada la ausencia de sangrado durante al menos cuatro horas se inicia de nuevo la perfusión de heparina para mantener un tiempo de coagulación activado entre 150-170 seg., (según el protocolo de cada centro o las condiciones del paciente) así como un aPTT entre 50-60, durante la asistencia.

En el caso de que el paciente sea portador de un BIACP previo a la colocación de la asistencia, no hay consenso en cuanto a la necesidad de mantenerlo. Unos grupos defienden que puede comprometer el flujo de la asistencia ventricular, dado que el inflado puede interferir en el momento de la eyección del dispositivo de asistencia. Otros grupos defienden que es beneficioso las primeras 48-72 horas hasta la estabilización, ya que disminuye la postcarga, favoreciendo el GC propio del paciente y se mantiene cierta pulsatilidad arterial.

### IMPLANTE DE ECMO

Su implante es sencillo y se puede llevar a cabo de forma percutánea a través de un acceso femoral. Si la situación del paciente condiciona la colocación en el box de la unidad de cuidados intensivos, esta se llevará a cabo también por el equipo de cirugía cardíaca (cirujanos y enfermeras) y el perfusionista. El abordaje a los vasos suele ser periférico, aunque si se precisa en el postoperatorio de cirugía cardíaca, puede llevarse a cabo una canulación central, colocando la cánula de drenaje en aurícula derecha y la cánula de retorno en la raíz aórtica.

Antes del inicio de la canulación, ya sea en quirófano o en el box de cuidados intensivos, el perfusionista realizará un Tiempo de Coagulación Activado (TAC) basal y se procederá a la heparinización con 1 mg./kg. de heparina, seguido de un TAC de respuesta antes de iniciar la terapia.

La elección del tamaño de las cánulas vendrá determinada por el calibre de los vasos, pero siempre serán las de mayor calibre posible, que aseguren el flujo necesario tanto para el drenaje venoso como para el flujo arterial, que debe-

rán permitir al menos el 60% del gasto cardiaco necesario en el paciente.

En la canulación periférica, tanto en la ECMO VV como en la ECMO VA, se suele utilizar habitualmente una cánula larga de drenaje en la vena femoral, de tal forma que el extremo distal de la cánula quede posicionado en vena cava inferior. (unión vena cava inferior-aurícula derecha)

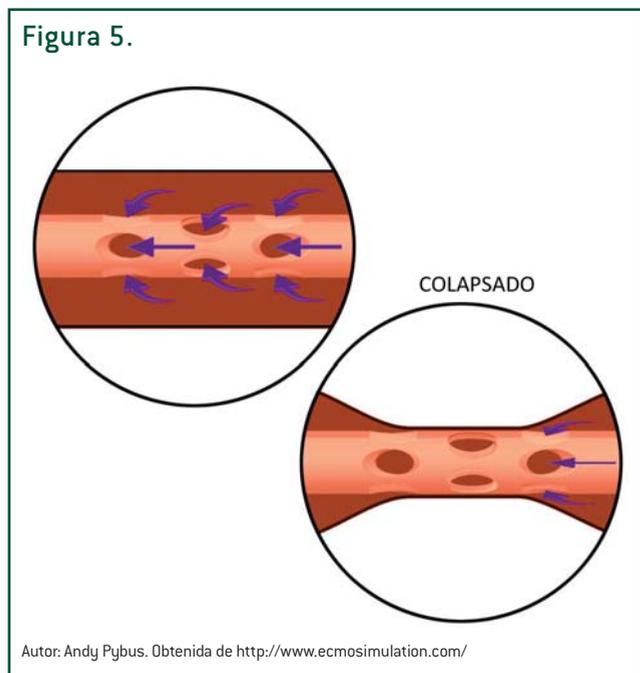
La cánula de retorno va a ser siempre una cánula corta que se posicionará según se trate de una ECMO V-V o ECMO V-A: en ECMO V-V, habitualmente vena yugular interna derecha, y en ECMO V-A, habitualmente arteria femoral, pudiendo ser canuladas, en este caso, arteria y vena del mismo lado. (La punta se posicionará en la arteria iliaca o en la aorta descendente distal). A la cánula arterial femoral, se conecta una cánula de menor calibre en la femoral superficial para la perfusión del miembro inferior, ya que al quedar ocluida la femoral común interrumpe el flujo hacia la pierna.

## MANEJO

### MANEJO. ASISTENCIA CARDIO-CIRCULATORIA

Una vez que ha sido instaurada la asistencia y se alcanza el soporte circulatorio óptimo y el paciente está estabilizado, de tal manera que se garantiza la perfusión de todos los órganos diana, se intentará mantener los siguientes parámetros:

Presión arterial media mayor de 60 mmHg. Saturación venosa mixta de O<sub>2</sub> entre 60-70%. Diuresis mayor de 20cc hora. Cifras de Lactato normales.



En ocasiones es conveniente reducir o incluso retirar los fármacos inotrópicos para disminuir el consumo miocárdico de oxígeno. A diferencia de la ECMO, no es imprescindible que la válvula aortica se abra en cada ciclo cardiaco, ya que al estar la cánula de drenaje en el ápex del ventrículo o en la aurícula izda., el ventrículo izdo., se descargará adecuadamente.

Como se ha comentado, estas bombas generan un flujo laminar no pulsátil, que ocasionará modificación en la onda de la presión arterial. El flujo no pulsátil además de modificar la onda de presión, que se verá prácticamente plana, (por lo que habrá que controlar solo la presión arterial media), también puede modificar los resultados de la pulsioximetría al no captar la presión de pulso, lo cual hará necesario la monitorización de la oximetría cerebral para poder controlar este parámetro.<sup>11</sup>

Este tipo de bombas además no son oclusivas, por lo que hay que tener en cuenta que si la bomba se para o se enlentece lo suficiente como para no conseguir el flujo anterógrado, es decir hacia el enfermo, por la disminución de las revoluciones o cualquier otro evento, la sangre fluirá retrógradamente, desde la zona arterial hacia la zona venosa, por lo que habrá que pinzar primero la línea arterial y luego la línea venosa. Por ello habrá que tener siempre dos clanes a la vista o próximos al sistema.

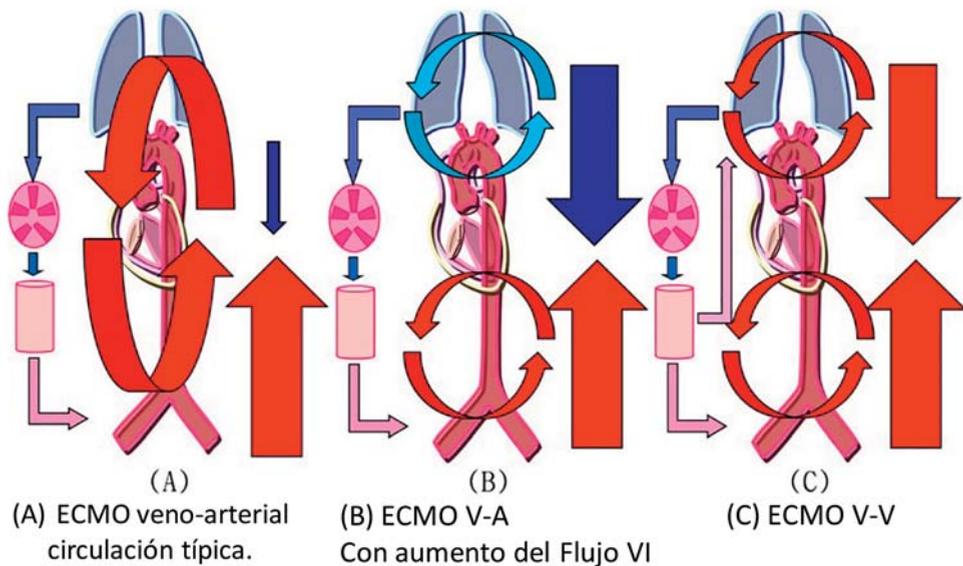
En condiciones óptimas de precarga y poscarga al aumentar las revoluciones por minuto (rpm) aumentará el flujo de la bomba y a la inversa. Siempre con un mínimo según el tipo de bomba. El flujo establecido puede verse modificado por las condiciones hemodinámicas del paciente, tanto de la precarga como de la poscarga. A menor volemia o precarga menor flujo de asistencia y a la inversa, incluso sin modificar las revoluciones. Este concepto es muy importante de entender dado que en ocasiones, queriendo aumentar el flujo o la asistencia, se aumentan las revoluciones sin obtener la respuesta deseada, pudiendo provocar que la cánula de drenaje «cavite» o aspire en vacío. En otras ocasiones el drenaje puede verse alterado por mal posición de las cánulas, trombosis o taponamiento. (Figura 5)

Por otra parte también es importante recordar que a un mayor aumento de la presión arterial, (aumento de las resistencias vasculares periféricas) puede haber un menor flujo de la bomba, por autorregulación. Por todo ello se deben de revisar los parámetros establecidos y anotarlos cada 8h. y en el momento de algún cambio.

### MANEJO DE ECMO

Además de todo lo descrito anteriormente para el manejo de la asistencia ventricular, hay que tener en cuenta que la oxigenación depende principalmente del flujo sanguíneo a través del circuito ECMO en relación con el gasto

Figura 6. La circulación en ECMO



Esquema de la circulación durante la ECMO

Las flechas rojas o rosadas = sangre oxigenada; Las flechas azules = sangre sin oxígeno; flechas hacia abajo = gasto cardíaco; flechas hacia arriba = salida de ECMO.

Choi et al.: Application of veno-arterial-venous extracorporeal membrane oxygenation in differential hypoxia. *Multidisciplinary Respiratory Medicine* 2014 9:55.  
doi:10.1186/2049-6958-9-55

cardíaco del paciente, mientras que la eliminación del dióxido de carbono depende del flujo de gas a través del oxigenador (denominado flujo de gas de lavado).

Durante la ECMO veno-venosa, tanto el drenaje como la reinfusión ocurren a nivel del sistema venoso sistémico y por tanto, una cierta fracción del flujo sanguíneo drenado hacia el sistema ECMO consiste inevitablemente, en sangre oxigenada recientemente liberada por el sistema de asistencia extracorpóreo. La magnitud de esta recirculación afecta directamente al aporte de oxígeno periférico, la intensidad de esta recirculación dependerá de la localización de las cánulas.

En la ECMO veno-venosa atrio-femoral, el flujo es dirigido desde la cánula de infusión hacia la cánula de drenaje facilitándose la recirculación, mientras que el fémoro-atrial puede reducir ésta al dirigir más directamente la sangre oxigenada proveniente del circuito extracorpóreo hacia la válvula tricúspide.<sup>12</sup>

En el caso de la V-A, si el retorno de la sangre (la entrada en el paciente) se produce a nivel de la arteria subclavia o el tronco braquiocéfálico, la sangre más oxigenada estará más cerca del corazón y la cabeza, además de aportar mayor movilidad al paciente, mientras que el acceso femoral obliga a un reposo en cama y requerirá la perfusión de la pierna con una cánula añadida.

Además de todo esto dependiendo de la función cardíaca nativa, la mezcla de la sangre procedente del circuito

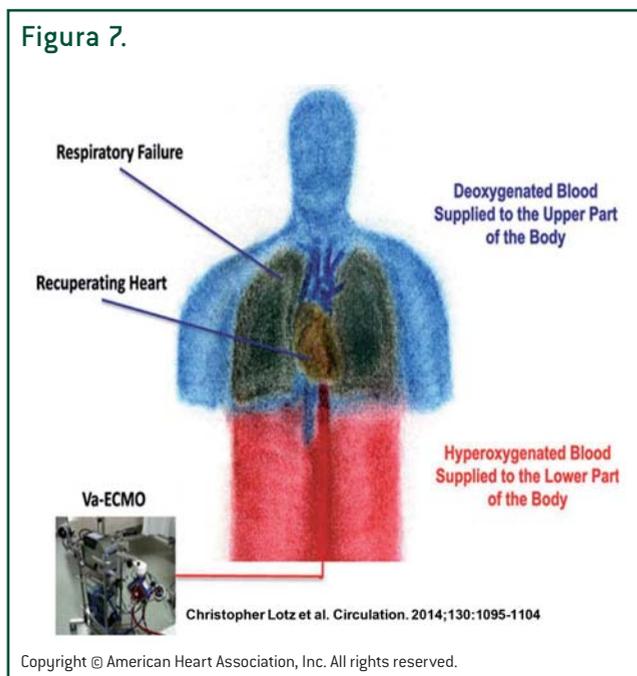
ECMO y de la sangre bombeada por el corazón, se mezclarán de forma más proximal o distal. (Figura 6)

Cuando el ventrículo izdo., es capaz de generar un gasto cardíaco importante (sobre todo en la fase de recuperación), este flujo o gasto competirá con el que aporta el dispositivo extracorpóreo en la aorta descendente desde la femoral, entonces se producirá lo que se denomina «Síndrome de Arlequín» o «Norte-Sur», la parte inferior del cuerpo estará más oxigenada que la parte superior (donde se encuentran los órganos que requieren oxigenación más importante (cabeza y perfusión coronaria).<sup>13</sup> (Figura 7)

También puede haber otras causas que ocasionen este síndrome, por lo cual es importante recordar, que para conocer la oxigenación real de los órganos diana (corazón y cerebro) la recogida de muestras para los gases arteriales deberá ser una arteria periférica, tanto arteria radial derecha como izda., en general lo más alejada posible del punto de entrada de la sangre procedente del circuito ECMO. (Figura 8)

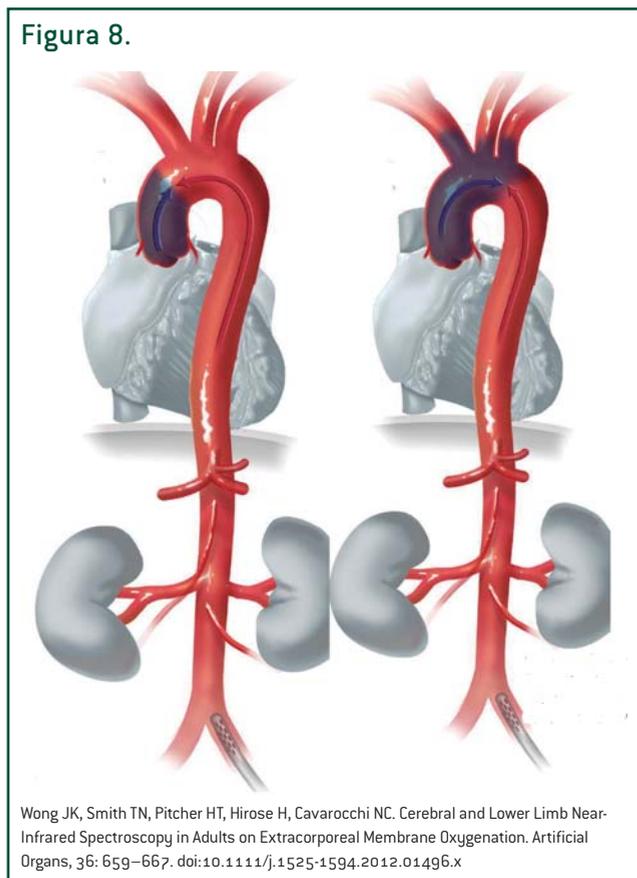
Una vez instaurada la asistencia con ECMO el flujo debe ajustarse a las necesidades de cada paciente con el objetivo de preservar la función de todos los órganos y recuperar los que estén dañados. El flujo debe de ser suficiente para mantener la perfusión sistémica adecuada, controlando la diuresis, el nivel de saturación venosa mixta y el ácido láctico, pero por otro lado el flujo no debe de ser tan alto como para impedir la circulación pulmonar, para evitar el desa-

Figura 7.



rollo de trombos pulmonares, por lo que el soporte completo no conviene mantenerlo durante largos periodos de tiempo.

Figura 8.



Debe vigilarse que se mantengan las presiones de llenado adecuadas para poder mantener el flujo de bomba marcado, por lo que es conveniente disponer de una vía venosa canalizada con un abocath de calibre grueso, para añadir volumen si fuera necesario, que habrá sido canalizada antes de la implantación de la ECMO ya que al estar heparinizado el paciente se deben restringir todas las punciones.

La necesidad de optimizar al máximo la precarga y la poscarga es otra característica similar a la asistencia ventricular, al tratarse también de una bomba no oclusiva dependiente de estas para conseguir el flujo constante programado. También será similar a lo descrito en cuanto a la ausencia de la pulsatilidad y sus repercusiones.

En el caso de los pacientes con función cardíaca marginal es importante estimular el inotropismo a pesar de tener colocada la asistencia extracorpórea, ya que mantener el latido cardíaco ayuda a disminuir el estasis de sangre intracardiaca y reducir la posible aparición de trombosis.

Los parámetros de ventilación también deben modificarse y ajustarse para evitar la lesión pulmonar. En general se aplicará una FiO<sub>2</sub> baja, volúmenes tidal pequeños y frecuencias bajas (parámetros de descanso) con PEEP suficiente para evitar la atelectasia.

La anticoagulación requiere un manejo muy especial, se realiza también con heparinización controlada con el tiempo de coagulación activada (TAC) que se mantendrá alrededor de 150-180 segundos (siempre según el protocolo de cada centro).

## CUIDADOS

### CUIDADOS DE LA ASISTENCIA CARDIO-CIRCULATORIA

Los cuidados de estos pacientes así como su monitorización son muy parecidos a los pacientes del postoperatorio de cirugía cardíaca.

Monitorización continua de tensión arterial invasiva, presión venosa central (si se trata de una asistencia univentricular de VI, se debe implantar un catéter de Swan-Ganz), saturación de oxígeno, frecuencia cardíaca, temperatura central y periférica, diuresis horaria y cantidad y aspecto del líquido acumulado a través de los drenajes. También en cuanto a los cuidados del paciente con ventilación mecánica, infección, etc., serán igual que cualquier paciente del postoperatorio de cirugía cardíaca.

Vigilancia de los cambios de las constantes hemodinámicas relacionadas con la volemia, (PCP, PVC, etc.) que ante cualquier cambio no solo hay que anotarlo sino que habrá que notificarlo por si se considera tomar las medidas oportunas de la manera más inmediata posible.

Es importante controlar las presiones de llenado (precarga), pues de ello dependerá el volumen de eyección, o el flujo de la bomba que queremos mantener. Para evitar la aparición de edema intersticial, se recomienda el reemplazo de volumen con sangre o hemoderivados incluso albúmina mejor que cristaloides. Sin embargo hay que manejar con cuidado la volemia, no sobrecargando el ventrículo derecho, sobre todo en la asistencia ventricular izda.

Evitar especialmente la congestión pulmonar. La situación de edema pulmonar se traduce en un mayor GC derecho, lo cual se puede mejorar aumentando GC izquierdo y/o disminuyendo GC derecho. Cuando aparece en la asistencia Biventricular habrá que programar adecuadamente las revoluciones por minuto (rpm/GC). En la asistencia ventricular izquierda, aumentar las rpm/GC izquierdo, disminuir vasodilatadores pulmonares, disminuir inotrópicos. En la A.V. derecha, disminuir rpm/GC derecho, colocar Balón Intraaortico de contrapulsación (BIAC) y revisar los inotrópicos. Si con estas medidas no se consigue el objetivo, se debe valorar mediante ecocardiografía transesofágica (ETE) la posición de las cánulas y la existencia de derrame pericárdico que pudiera impedir el correcto llenado del dispositivo o los ventrículos por compresión extrínseca.

El uso de inotrópicos también se controlará de manera especial y se procurará disminuir de manera progresiva.

Controles de anticoagulación mediante el Tiempo de Coagulación Activado (TCA ó ACT), que se explica más adelante.

Se debe realizar una inspección meticulosa de todo el circuito al menos una vez al día. Si se apareciera alguna de las formas de depósito, se debe revisar los niveles de anticoagulación/antiagregación.

Como regla general, los depósitos pequeños, de color blanco (fibrina), inmóviles y localizados en el circuito de VD, no suelen producir problemas importantes. Sin embargo los de gran tamaño, oscuros (trombo), con movilidad y situados en el circuito de VI pueden llegar a requerir un cambio del dispositivo. Vigilar la posición y fijación de las tubuladuras, controlar los flujos y las revoluciones por minuto (RPM).

Los objetivos principales serán: Flujo de bomba estable (acorde a la superficie corporal y necesidades). Presión arterial media mayor de 60 mmHg., mantener volemia adecuada, con presión venosa central entre 10-15 mmHg., diuresis  $> 0.5 - 1$  cc/Kg/h., Sat.O<sub>2</sub>v.mixta de 60 - 70%. HCTO 25-30%. Disminuir el Lactato. Evitar las complicaciones de manejo del dispositivo. Evitar infecciones. Control estricto de la coagulación (controlar hemorragias, tromboembolismos).

Los pacientes portadores de desfibrilador automático implantable deben mantener el dispositivo en funcionamiento, en caso de asistencia univentricular.

## CUIDADO DE ECMO

Cuando se decide la colocación de un soporte ECMO, la preparación del paciente consistirá en conocer la situación real del paciente antes del implante, para poder valor la repercusión y la evolución de los distintos parámetros, para lo cual:

### Antes del implante

- Extraer analítica completa (si hace más de 2 horas de la última): bioquímica (con determinación de ácido láctico) hemograma, hemostasia y gasometría arterial.
- Cruzar y reservar 4 unidades de concentrados de hematíes. Dependiendo de los resultados de la analítica está indicado antes de la colocación de ECMO, transfundir concentrado de hematíes si hematocrito  $< 30\%$ . Plaquetas si recuento  $< 100.000/mm^3$ . Plasma fresco, si alteraciones de la coagulación.
- Iniciar el protocolo de profilaxis antibiótica. La primera dosis se administrará previa al inicio del acto quirúrgico. Se mantendrá 48 horas tras la colocación del ECMO.

Si precisa balón de contrapulsación intraaórtico intentar colocarlo por femoral izquierda (para preservar la derecha para la colocación del ECMO).

Si precisa catéter de Swan-Ganz intentar colocarlo previo a la inserción del ECMO

Canalizar la arteria para el control hemodinámico y la toma de gasometrías. Según la arteria canulada para el sistema ECMO, será la radial derecha siempre que se canule la arteria femoral de cualquier lado o la subclavia izquierda y la radial izquierda si la cánula arterial está colocada en la subclavia derecha.

Revisar la dotación para la doble monitorización de la saturación de O<sub>2</sub>, debido a que el sistema ECMO (con canulación femoral) oxigenará principalmente la parte media-baja del cuerpo y el respirador la parte media-alta del cuerpo. Por lo tanto colocar un sensor en frente o pulpejo de la oreja del paciente y otro sensor en dedos del pie del paciente (en canulación arteria femoral lo colocaremos en el mismo miembro inferior).

Dada las reacciones que se producen al contacto de la sangre con las cánulas, el circuito y la membrana del oxigenador, antes de iniciar el implante los pacientes tiene que estar anticoagulados, para lo que se utiliza dosis en bolo y perfusión de heparina sódica no fraccionada.

Tanto el sistema como las cánulas están tratados para que produzcan la menor alteración posible, lo que nos permite poder retrasar el inicio de la anticoagulación en casos

de alteraciones de la coagulación y/o hemorragia activa del paciente.

El control de la anticoagulación se realizará mediante la determinación del tiempo de coagulación activada (TCA). Cada centro establece su propio protocolo pero en general se siguen los siguientes pasos:

- Paciente anticoagulado previa colocación del ECMO:
  - Si está anticoagulado con heparina de bajo peso molecular se suspenderá la misma inmediatamente, tras conocer que se va a colocar el ECMO y se iniciará anticoagulación con heparina no fraccionada (heparina sódica). La dosis inicial se determinará mediante la realización de un TCA.
- Paciente no anticoagulado previa colocación del ECMO:
  - En los pacientes no anticoagulados pero que tengan trastornos de la coagulación también se deberá realizar TCA previo y actuar según el resultado.
  - Los pacientes no anticoagulados y sin problemas de hemostasia recibirán bolo de heparina sódica de 1 mg/Kg. Puede administrarse un segundo bolo si se prolonga la colocación de la cánula venosa. (30 minutos), se repetirá un nuevo TAC y si es inferior a 200 seg., administrar un segundo bolo de 0,5 mg/Kg.

Una vez colocadas las cánulas y conectado el circuito se iniciará la ECMO con los parámetros en el mezclador aire/oxígeno del ECMO al 100%. El flujo del caudalímetro será 1:1 respecto al de la bomba y flujo de gasto inicial se puede fijar en 50–80 ml/Kg/min. Es conveniente comenzar con un flujo de 20ml/kg./min e incrementar gradualmente cada 5–10 min 10ml/kg/min. Hasta alcanzar el flujo deseado observando tanto las condiciones del paciente como del circuito.

Durante la asistencia

La cantidad y naturaleza invasiva del equipo ECMO supone un aumento del riesgo de infección en un paciente que ya está en estado crítico. El uso del intercambiador del calor en el circuito produce una pérdida de información respecto a los cambios de temperatura como síntoma de un proceso infeccioso, por ello es importante extremar las medidas de asepsia: lavado de manos, utilización de soluciones alcohólicas, técnicas estériles ante la manipulación de las vías, aspiración de secreciones, etc., se hará control analítico diario para detectar parámetros de infección y se aplicarán los protocolos habituales de neumonía cero y bacteriemia cero.

La anticoagulación se mantendrá mediante la perfusión continua de heparina a dosis de 2 mgr./kg. y se modificará con el objetivo de mantener el tiempo de coagulación activado (TCA) entre 160–180 seg. En situaciones normales, 10 unidades de heparina por kg./hora se obtienen un TAC 1,5 veces la cifra basal, sin embargo en los pacientes con soporte vital extracorpóreo, ya sea la asistencia ventricular o la ECMO es difícil establecer una concentración estándar, ya que se modificará en función del recuento de plaquetas o leucocitos, o por hipercoagulabilidad que necesitarán mayor dosis de heparina, o bien si existe trombocitopenia, insuficiencia renal o tiene fibrina circulante, que pueden necesitar menor dosis de heparina.<sup>14</sup>

La anticoagulación terapéutica, aceptada por la ELSO está definida por un rango de TCA entre 150 y 200 seg., y que generalmente se obtiene con la infusión de Heparina de 20–50 unidades/kg./h. Se aconseja no añadir bolos durante el mantenimiento de la terapia, exceptuando el bolo inicial que será de 1–1,5 und./kg, con objetivos de TAC de 200.

También se pueden utilizar otro tipo de mediciones para el control de la anticoagulación, como el aPTT, tromboelastograma, pero la ventaja del TCA es que se puede medir a la cabecera del paciente, la respuesta es inmediata y pueden tomarse las decisiones de dosificación que a menudo requieren una actuación rápida.

Una alternativa son los test cuantitativos, que se basan en la medición de la heparina circulante, la prueba de determinación de heparina utiliza el principio de titulación de heparina/protamina, para determinar cuantitativamente la concentración de heparina en la muestra. Con estos sistemas también se puede determinar la dosis respuesta a la heparina a fin de estimar la dosis mínima de heparina requerida para conseguir el tiempo de coagulación diana deseado. Este modo se puede utilizar durante un procedimiento para calcular la cantidad adicional de heparina necesaria para mantener la concentración deseada.

Tiempo de Trombina con altas dosis de heparina, es un test cuantitativo que se correlaciona bien con las concentraciones de heparina porque mide las concentraciones de fibrinógeno (activado por la trombina) en fibrina. Proporcionando un reflejo directo de la actividad antitrombótica de la heparina.

Es difícil medir las diferentes etapas de la coagulación en forma aislada y muy especialmente la etapa II, porque en ella la protrombina se convierte en trombina con el auxilio de la tromboplastina (sea extrínseca o intrínseca) y calcio, manifestándose el punto final de esta reacción por el paso de fibrinógeno a fibrina, que sería la etapa III de la coagulación.

El tiempo de protrombina es la prueba más importante para medir la etapa II e indirectamente la etapa III. Se trata de un tiempo de coagulación obtenido al agregar al plasma un exceso de tromboplastina hística y calcio. Mide los niveles de factor I (fibrinógeno), factor II (protrombina), y facto-

res V, VII y X. Es decir que el nombre de esta prueba daría una idea equivocada, porque no es sólo el factor II el medido, sino todos los factores intervinientes en la etapa II.

Tiempo de tromboplastina parcial (PTT). Es un tiempo de recalcificación del plasma sin plaquetas al que se agrega un sustituto plaquetario (tromboplastina parcial). Constituye una medida del sistema intrínseco de coagulación; no mide deficiencias del factor VII, necesario sólo en el sistema extrínseco. El plasma del paciente provee todos los factores de coagulación, excepto el ión calcio y las plaquetas. El anticoagulante remueve el calcio de la sangre y la centrifugación, las plaquetas. El PTT depende de la totalidad de factores de coagulación involucrados en las etapas I, II y III, excepto calcio, plaquetas y factor VII.

En general el tiempo de tromboplastina parcial resulta más sensible para detectar valores bajos de factores de la primera etapa de coagulación (XII, IX, VIII) que para los de las etapas II y III.

Independientemente de los test que se utilicen, que en general suele ser el TCA, se debe realizar un seguimiento individualizado y continuo (cada 2h), incluso si es necesario cada hora, sobre todo en las primeras 24 - 48 h, y ajustar la anticoagulación a las circunstancias concretas de cada paciente, en cada momento (hemorragia, necesidad de cambio de bomba o de sistema, eventos trombóticos, etc.). Estos rangos de TCA deben ser algo inferiores en los pacientes poscardiotomía (140-170 seg), por el mayor riesgo de hemorragia; incluso, no debe administrarse heparina si el drenado torácico es mayor de 100ml/h. y deberán mantenerse algo más elevados en el caso de flujos de bomba menores, sobre todo durante la desconexión.

En esta situación es importante minimizar al máximo la manipulación y las movilizaciones de las cánulas, vigilar signos de sangrado, mucosas, heridas, no retirar coágulos o costras que se pudieran haber formado y un mantenimiento de apósitos secos y bien fijados. Evitar toda clase de punciones para analíticas o canalización de vías, traumatismos durante el cuidado de la boca o en las aspiraciones, etc..

Tanto el mantenimiento de esta anticoagulación, como el contacto con las superficies extrañas, así como las altas presiones tanto negativas como positivas a las que está sometida la sangre en el circuito, existirá un consumo continuo de células sanguíneas, (hemólisis) por lo que es necesario un riguroso control del hematocrito (que debe mantenerse por encima de 30%) y de las plaquetas, (mantener igual o superior a 1000.000/mm<sup>2</sup>).

Por ello deberemos controlar el suministro de concentrado de hematíes y hemoderivados en cada turno y comunicar al banco de sangre el posible aumento de las necesidades.

Al finalizar la colocación del ECMO se realizará gasometría del sistema y se modificarán los parámetros del mezclador según los niveles de CO<sub>2</sub> y la relación PaO<sub>2</sub> /FiO<sub>2</sub>. En el seguimiento posterior realizamos controles gasométricos

cada 8 horas (por turno de enfermería) tanto del sistema (que realizará el perfusionista), como del paciente. Si entre los controles pautados se detecta desaturación también hay que realizar gasometrías del sistema y paciente para valorar cuáles son los parámetros a modificar.

La toma de la muestra para el análisis de los gases arteriales se hará siempre en el punto más distal a la entrada de la de sangre procedente del circuito.

Los objetivos respiratorios a lograr son:

- Saturación arterial de O<sub>2</sub>: ECMO Venó-Arterial >95%
- ECMO Venó-Venoso 85-92%
- PaO<sub>2</sub> > 60 mmHg
- PaO<sub>2</sub>/ FiO<sub>2</sub> del paciente >200
- PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> del ECMO >150
- PaCO<sub>2</sub> 35 - 45 mmHg
- pH 7,35 - 7,45

Si el oxigenador de membrana proporciona una PaO<sub>2</sub> / FiO<sub>2</sub> < 150 aumentaremos la FiO<sub>2</sub> al 100% y repetiremos la gasometría 1 hora después. También revisaremos el oxigenador para detectar la presencia de coágulos o fibrina en el mismo.

Si persiste PaO<sub>2</sub> /FiO<sub>2</sub> < 150 hay que cambiar el oxigenador (por tanto también todo el sistema) en las 4h siguientes. Hay que tener en cuenta que en el proceso de desconexión, hay que ir aumentando los parámetros del respirador (sobre todo volumen corriente y frecuencia respiratoria, la FiO<sub>2</sub> no debe modificarse)

Los objetivos hemodinámicos que debemos intentar conseguir tras la colocación del ECMO son:

- Flujo inicial del ECMO 50 - 80 ml/Kg./min.
- Presión arterial media ≥ 65 mmHg.
- Índice cardíaco ≥ 2.5 l/min./m<sup>2</sup>.
- Presión de enclavamiento de arteria pulmonar (PEAP) 8-14 mmHg
- PVC 8-10 mmHg.
- Saturación venosa mixta >65%.
- Restauración de la diuresis (>0,5 ml/Kg. /h.)
- Disminuir el ácido láctico en las primeras 4 horas.

Algunos sistemas, incorpora a la pantalla principal el registro de las presiones del circuito ECMO, que nos proporciona la información del estado del paciente, de las cánulas, de la bomba y del oxigenador de membrana. En otros modelos también pueden medirse presiones intrasistémica, pero la consola no nos facilita directamente los datos, por lo que precisa conexión a un monitor adicional. (Figura 9-10)

- P1: presión negativa de succión venosa (valores normales hasta -70 mmHg).

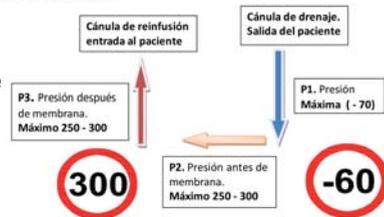
Figura 10.

P1. Presión Máxima (-70)	P2. Presión antes de membrana. Máximo 250 - 300	P3. Presión después de membrana. Máximo 250 - 300	$\Delta P2 - P3$	
↑	↓	↓	↓	Resistencia a la aspiración aumentada: Cánula venosa acodada Hipovolemia Taponamiento Neumo o Hemotorax
↓	↓	↓	↓	Fallo de bomba: Mecánico. Trombo en bomba
↓	↑	↓	↑	Fallo de oxigenador: Trombo en oxigenador
↓	↑	↑	↓	Obstáculo a la eyección: Cánula arterial acodada. Paciente incorporado Obstrucción en la cánula.

Figura 9.

La monitorización de las presiones del circuito nos proporciona información de:

- El estado del paciente
- De las cánulas
- De la bomba
- Del oxigenador



- P2: presión entre la bomba y el oxigenador (valor máximo de la normalidad entre 250 - 300 mmHg).
- P3: presión entre el oxigenador y la cánula arterial (valor máximo de la normalidad entre 250 - 300 mmHg).
- Diferencial de presión (calculado)  $\Delta P (P2 - P3)$

Algunos sistemas, también lleva integrado un sensor de medición de parámetros sanguíneos de saturación venosa de oxígeno, hematocrito y hemoglobina, lo que evita las múltiples extracciones que son necesarias. También mide la temperatura venosa y la arterial.

## Otros cuidados especiales

El paciente con ECMO puede presentar complicaciones neurológicas de etiología isquémica, embólica y hemorrágica. Cada día debe realizarse una ventana de sedación (a partir de las 12h de inicio del ECMO) para valorar estado neurológico y siempre que se pueda, mantener al paciente con el mínimo grado de sedación. En el caso de utilizar propofol, hay que tener en cuenta que puede alterar el normal funcionamiento del oxigenador debido a la formación de depósitos de grasa. La exploración neurológica debe ser diaria y ante deterioros hemodinámicos, y/o respiratorios (pupilas, reflejos, etc.).<sup>15</sup>

El control de las glucemias se llevará a cabo igual que en los pacientes del postoperatorio de cirugía cardíaca, evitando las tendencias a la hipoglucemia de estos pacientes.

Los cuidados especiales que requerirán serán fundamentalmente enfocados al control del dispositivo y las diferencias en cuanto al control del color y la temperatura de las extremidades (signos de isquemia, livideces, etc.) sabiendo que los pulsos pedios generalmente están ausentes.

Se debe realizar una inspección metódica de todo el circuito al menos una vez al día, además de controlar el nivel de batería y el nivel del agua del intercambiador de temperatura.

Figura 17.



### DESCONEXIÓN DEL ECMO

Se debe hacer de forma progresiva. Disminuir el flujo de la bomba del ECMO 500 ml y ver respuesta en PA media, presión diferencial de pulso, PCP y FEVI. Si es bien tolerado se irá disminuyendo progresivamente en 24 horas. Si cuando se alcanza un flujo de < 2 l/min persiste estabilidad clínica y cumple los criterios se proceder a la desconexión. Hay que tener en cuenta que a medida que vayamos disminuyendo el flujo del ECMO habrá que ir aumentando los parámetros de la ventilación mecánica.

En el momento del destete de ECMO ha de tenerse especial atención a la anticoagulación, ya que al proporcionar menores flujos se ha de mantener al paciente más anticoagulado. Ante flujos de bomba inferiores a 1,5l/min, el ACT debe ser superior a 200 s.

Las primeras horas se llevará a cabo una vigilancia más estrecha por la posibilidad de que reaparezca la inestabilidad hemodinámica.

### RIESGOS Y COMPLICACIONES

Aunque la aplicación tanto de la asistencia cardiocirculatoria, pero sobre todo de la ECMO, han sido unas técnicas cuestionadas por los riesgos y las complicaciones asociadas, actualmente hay suficiente evidencia que demuestra que es la única alternativa para el rescate de pacientes en situación de gravedad tanto del shock cardiogénico o la insuficiencia respiratoria aguda, en los que la respuesta al tratamiento convencional es insuficiente o ineficaz.<sup>16</sup>

Los resultados publicados demuestran que hay una gran morbilidad asociada, aunque estos estudios y resultados, están limitados por la gran heterogeneidad y la falta de uniformidad en las definiciones de las complicaciones, sirven para un análisis de riesgo beneficio y para mejorar las técnicas.<sup>17</sup>

El estudio (no muy actual, dado los cambios y modificaciones que se van incorporando por las distintas experien-

cias acumuladas) publicado por JoHN Ranjit en 2011, puede servirnos de guía o aproximación a las posibles complicaciones. En ese estudio multicéntrico, obtenían unos resultados sobre las mismas de: sangrado (21%), infección (5%), insuficiencia respiratoria (3%), hemólisis (5%), y disfunción neurológica (11%).<sup>18</sup>

Es importante destacar que estos hallazgos pueden ser una consecuencia de la condición que provocó la ECMO, en lugar de una complicación del proceso de oxigenación por membrana extracorpórea.<sup>19</sup>

Las complicaciones pueden aparecer durante la canulación, durante la conexión y el mantenimiento del circuito o durante la desconexión del mismo, y pueden estar relacionadas con el paciente, con las cánulas o con el circuito en sí.

Los riesgos y complicaciones de la asistencia mecánica cardiocirculatoria y de la ECMO son frecuentes y algunas de ellas implican un riesgo vital importante para el paciente, el éxito, depende del reconocimiento PRECOZ, la elaboración de pautas de actuación concisas y claras, así como la adecuada formación de TODO el personal implicado en la asistencia a estos pacientes.

### RELACIONADOS A LA PATOLOGÍA

Debido a la complejidad de estos pacientes, hay que tener en cuenta todas sus características diferenciales, intentado disminuir las posibles complicaciones que se puedan asociar de esta situación: Distensión ventrículo izdo., Insuficiencia respiratoria. Taponamiento cardiaco. Disfunción hepática. Insuficiencia renal. Alteraciones neurológicas. Hemorragias. Hemólisis. (Figura 17)

Riesgos relacionados con la insuficiencia cardiaca

#### a) Distensión ventricular izquierda

Aunque la respuesta hemodinámica a la ECMO es compleja y variable entre pacientes, la ECMO por sí misma no descarga el VI. Cuando la función ventricular izquierda se encuentra gravemente deprimida, el VI puede ser incapaz de eyectar el volumen de sangre que recibe a través de la circulación pulmonar, efecto magnificado por el aumento de la postcarga del VI que produce el ECMO. El aumento de la presión telediastólica del VI puede provocar distensión de VI (reduciendo la posibilidad de recuperación miocárdica), con aumento de la presión capilar pulmonar y riesgo de edema pulmonar y hemorragia pulmonar, así como formación de trombos intracardiacos y en raíz aórtica, por la estasis sanguínea. Es una complicación grave que requiere una solución inmediata.

#### Medidas

Conseguir la descarga del VI con las siguientes maniobras:

- Reducir el flujo de la ECMO para mantener la apertura valvular aórtica y la pulsatilidad (esto solo es posible en pacientes con una función cardíaca parcialmente recuperada).
- Aumentar del soporte inotrópico.
- Implantar un balón intraaórtico de contrapulsación.

Si estas estrategias resultan insuficientes, será necesaria la descarga activa del VI, con medidas quirúrgicas.

Otras medidas alternativas podrán ser, cambiar la canulación de la ECMO de periférica a central, para aumentar el drenaje venoso y disminuir el flujo sanguíneo al VI, o bien implantar un dispositivo de asistencia ventricular de medio o largo plazo.<sup>20</sup>

Inadecuada perfusión de los órganos diana.

Esta situación se produce generalmente cuando no se ha podido canular con el calibre de las cánulas adecuado o en los pacientes en los que se produce un síndrome de respuesta inflamatoria importante, en los que no es posible alcanzar el flujo necesario para la adecuada perfusión.

#### *Medidas*

Intentar aumentar el flujo, recordando que para ello debemos conseguir una precarga adecuada, por lo que habrá que corregir la volemia hasta conseguir una PVC de 16-18 mmHg. Incorporar la ayuda de vasopresores / vasodilatadores para conseguir una presión arterial media de 60-70 mmHg.

Si a pesar del aumento de las revoluciones y la aplicación de estas medidas no es posible aumentar el flujo con este sistema y con esas cánulas, cabría plantear la posibilidad cambiar a otro sistema.

Riesgos de la alteración en la oxigenación

La ECMO no mejora la patología respiratoria, pero si provee un adecuado intercambio gaseoso hasta que el sistema respiratorio se recupere con la ventaja de evitar la lesión asociada a la ventilación mecánica.

Los riesgos y complicaciones que tienen posibilidades de producirse son todos los asociados a un paciente con ventilación mecánica, el barotrauma, el neumotorax, reclutamiento alveolar, atelectasias.

#### *Medidas*

Durante la terapia con ECMO se procede a disminuir los parámetros ventilatorios hasta unos valores conocidos como de reposo pulmonar, dado el severo compromiso de la distensibilidad pulmonar en estos pacientes en las etapas iniciales el volumen corriente será cercano a 0 mL, aumentando en la medida que la función pulmonar se recupere.

Vigilar los parámetros de la ventilación mecánica que suelen ser: PIP < 30 , PEEP 5-15 ; FR 10 ; FiO<sub>2</sub> 30-40%. Esto

hace necesaria la higiene bronquial frecuente, recurriendo incluso el lavado broncoalveolar. Mantener la vía aérea permeable aspirando secreciones cuando precise utilizando sondas de aspiración abiertas. Realizar fisioterapia respiratoria si tolera

Realización de gasometrías horarias y valoración de los resultados.

Control radiológico.

En la medida que la función pulmonar se recupere habrá un aumento en el volumen corriente, una mejoría en la eliminación del dióxido de carbono, una mejoría radiológica de los campos pulmonares y una mejoría de los índices de oxigenación.

Riesgo de Infección

La exteriorización de las cánulas a través de la piel favorece el riesgo de sepsis y mediastinitis, (en canulación central) por lo que en estos pacientes debe mantenerse un alto nivel de sospecha y realizar hemocultivos al menos cada 3-4 días, así como un riguroso cumplimiento del protocolo de prevención de infecciones.

También pueden producirse a nivel local de la herida, por lo que se realizarán las curas con las medidas habituales de prevención de infecciones.

#### *Medidas*

Protocolo de bacteriemia cero. Protocolo de neumonía cero.

Complicaciones neurológicas

Estas complicaciones se relacionan generalmente con la trombosis, con infarto o hemorragia. La hemorragia intracraneal en particular, se ha asociado con mayores tasas de mortalidad. Sin embargo, gran parte de la evidencia con respecto a la incidencia y los resultados de las complicaciones neurológicas entre los pacientes ECMO se limita a pequeñas series de casos.<sup>21</sup>

## **RELACIONADOS CON LAS CÁNULAS Y TUBOS**

Otras complicaciones menos frecuentes pero no por ello menos importantes son las relacionadas con el circuito: formación de coágulos o entrada de aire, etc.<sup>22</sup>

Durante el implante

Dificultad para el implante por arteria de mala calidad. Imposibilidad de canular por punción. Isquemia del miembro inferior.

En la canulación periférica se suele utilizar la arteria femoral común y esta puede ocluir la perfusión del miembro

inferior, por lo que se conecta a otra cánula de menor calibre que perfundirá el miembro a través de la arteria femoral superficial. Si no se coloca la cánula de perfusión distal en la arteria femoral superficial, se pueden producir una isquemia aguda o pérdida del miembro, pero a pesar de ello es obligatorio llevar a cabo una inspección rigurosa y estricta de la perfusión distal, control del pulso, monitorización de la Sat. de O<sub>2</sub> en la extremidad afectada, vigilar la palidez o livideces, gangrena, síndrome compartimental, etc..

La posición adecuada también es importante, sobre todo en la V-V ya que si las dos puntas están demasiado cerca una de la otra, se verá el fenómeno de la recirculación y una parte importante de la sangre arterializada se dirigirá a la cánula de drenaje en lugar de a la arteria pulmonar. En este punto es muy importante el control y seguimiento con la ecocariografía.

Otro riesgo o complicación importante en este apartado, es la posibilidad de producir embolia aérea durante la conexión de las cánulas al circuito (en especial la arterial).

Durante la asistencia:

#### a) Decanulación

Las cánulas se fijan a la piel del paciente con puntos de sutura, pero con el paso de los días, con la disminución de la inflamación y con la movilización del paciente, estas suturas pueden aflojarse y permitir desplazamientos de las cánulas, sobre todo las colocadas en vía venosa yugular (insertadas en una zona de mayor movilidad y con menor longitud intravascular). Para prevenir la decanulación hay que:

- Realizar una correcta fijación de todas las cánulas.
- Vigilar diariamente esta fijación.
- Extremar el cuidado en las movilizaciones del paciente.
- Incrementar las medidas de fijación si el paciente está consciente y con mayor autonomía para realizar movimientos.

La decanulación implica el desangrado del paciente y la entrada de aire en el circuito, por tanto habrá que:

- Hacer presión sobre el vaso decanulado evitando o reduciendo el sangrado.
- Clampar inmediatamente la cánula que permanezca bien colocada y parar la bomba del ECMO.

Si es la cánula de perfusión del miembro, clampar y presionar, reponer el volumen y avisar al equipo quirúrgico. Si es la cánula arterial, parar la consola y clampar la línea venosa, si es la cánula venosa, clampar primero la línea arterial para evitar que progrese aire, parar y clampar la línea venosa, siempre habrá que revisar los parámetros ventilatorios, optimizar la hemodinámica, mediante la reposición de volumen, iniciar inotrópicos y avisar al equipo quirúrgico.

#### b) Desplazamiento de las cánulas

Asegurar las cánulas monitorizando y marcando el punto de distancia a la entrada

No aplicar tensión a las cánulas, asegurarlas a la pierna, en diversos puntos y fijar la entrada con apósito transparente

Estabilizar las conexiones y dejar visible el punto de entrada

Vigilar la aparición de: Inflamación, Infección, Hemorragia.

#### c) Rotura de las tubuladuras

Aunque es una complicación poco frecuente, puede aparecer por acodaduras de los tubos mantenidas en el tiempo, pinzamientos accidentales con otros aparatos o durante la higiene o movilización del paciente, sobre todo en los traslados. Su aparición implica una pérdida sanguínea importante, potencialmente letal, y la posible entrada de aire en el circuito.

La primera maniobra será clampar la cánula o línea arterial y la venosa lo más rápido posible en la zona más próxima al paciente y parar la bomba de ECMO y valorar el cambio rápido del sistema.

#### d) Salida de sangre por tubuladura arterial

Si la tubuladura es de conexión rápida: conectar rápidamente.

Si sale por otro nivel de la tubuladura o no tiene conexión rápida:

- Clampar cánula arterial y venosa lo más próximo al paciente.
- Parar la bomba.
- Aumentar frecuencia respiratoria y FiO<sub>2</sub> del respirador.
- Incrementar dosis de drogas vasopresoras si hipotensión. Iniciar RCP si es necesario.
- Si precisa cambio del sistema por entrada de aire. Preparar material para el purgado del nuevo sistema.

Valorar la recanulación del paciente y el purgado de nuevo sistema para el cambio rápido del mismo.

#### e) Desconexión de llaves de tres pasos colocadas en el circuito ECMO

Su incidencia disminuye con las siguientes medidas:

- Apretándolas de forma adecuada durante el proceso de purgado del sistema y comprobando posteriormente en cada turno su correcta posición y sellado.
- Evitar su manipulación para la extracción de analíticas de forma sistemática.
- Sólo se debe utilizar la llave de tres pasos colocada en la cánula arterial para realización de

gasometrías, para valorar el adecuado funcionamiento del oxigenador y regular el intercambio gaseoso, (lo realizará el perfusionista).

La entrada de aire en el circuito implica el cambio de todo el sistema.

#### f) Salida de sangre por tubuladura venosa

Cuando se observe salida de sangre por la tubuladura venosa hay que:

- Clampar cánula arterial y venosa lo más próximo al paciente.
- Parar la bomba.
- Aumentar frecuencia respiratoria y FiO<sub>2</sub> del respirador.
- Incrementar dosis de drogas vasopresoras si hipotensión. Iniciar maniobras de RCP si es necesario.
- Si precisa cambio del sistema por entrada de aire. Preparar material para el purgado del nuevo sistema.

### RIESGOS RELACIONADOS CON EL SISTEMA

Por malfuncionamiento de la bomba centrífuga o del oxigenador.

#### Fallo del oxigenador

El deterioro del oxigenador no suele aparecer antes de los 15 días tras su colocación. La causa más frecuente es la aparición de trombos y depósitos de fibrina en su interior, aunque ello no implique riesgo para el paciente siempre que pueda mantener una adecuada oxigenación (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> sea > 150).

Sospechamos fallo del oxigenador cuando se vaya reduciendo la PO<sub>2</sub>/FIO<sub>2</sub> del ECMO progresivamente hasta niveles de < 150, o que el CO<sub>2</sub> sea cada vez más costoso de lavar.

#### Medidas

- Vigilaremos diariamente la aparición de trombos o depósitos de fibrina con una buena linterna, (trasiluminación).
- Comprobar suministro de gases y línea. (verde).
- Aumentar FIO<sub>2</sub> al 100% y repetir gasometría 1 hora después.
- Revisar oxigenador para detectar presencia de coagulo o fibrina.
- Si persiste PAO<sub>2</sub>/FIO<sub>2</sub> ≤150, hay que cambiar el oxigenador (por lo tanto todo el sistema) en las 4 horas siguientes. (Figura 11-12)

Salida de líquido por oxigenador (por el orificio de salida del CO<sub>2</sub>)

Es normal que salgan gotas de vapor de agua. Si hay salida de plasma (espuma amarillenta):

- Si la relación pO<sub>2</sub> / FiO<sub>2</sub> del oxigenador es >150, realizar gasometría del ECMO cada 4 horas y si disminuye cambiar el sistema.
- Si la relación pO<sub>2</sub> / FiO<sub>2</sub> del oxigenador es <150, cambiar el sistema.
- Si hay duda si el líquido es vapor de agua o plasma, realizar del líquido una determinación con tira reactiva urinaria para determinar la existencia de proteínas.

Se aconseja que el perfusionistas dentro de las tareas de mantenimiento del sistema, realice una operación de barrido de la membrana, dando flujos elevados de oxígeno, al menos una vez al día, para mantener en buen estado el mayor tiempo posible el oxigenador. (Figura 13)

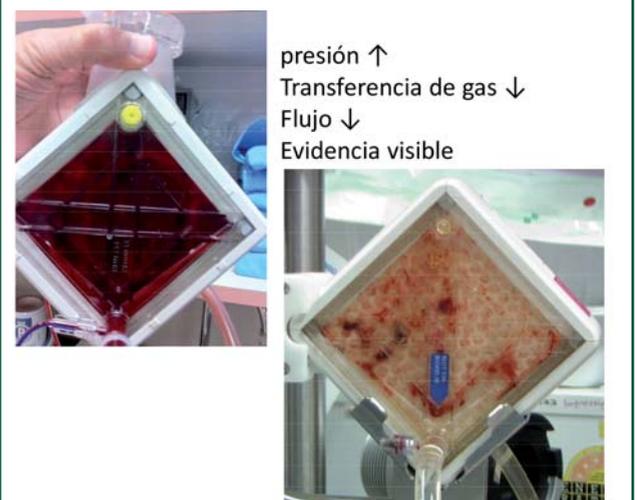
#### Disfunción de la bomba

Una complicación relativamente rara pero muy grave es la trombosis de la bomba. La misma produce hemólisis intravascular franca con hemoglobinuria. Puede desarrollarse en forma súbita y se asocia a fallo de la bomba. Debe diagnosticarse y tratarse rápidamente, ya que conduce al bloqueo del circuito.

Las causas de disfunción de la bomba suelen ser debidas a:

- Presencia de coágulos.
- Necesidad de flujos elevados y por tanto altas revoluciones de la bomba.

Figura 11.

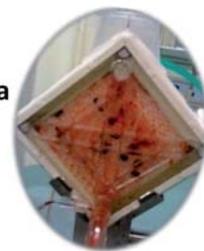


Imágenes de: <http://www.ecmosimulation.com>

Figura 12.

## FALLO DEL OXIGENADOR:

- ✗ Sospechamos fallo del oxigenador cuando se vaya reduciendo la  $PO_2/FIO_2$  del ECMO progresivamente hasta niveles de  $< 150$  o que el  $CO_2$  sea cada vez más costoso de lavar.
- ✗ **Comprobar suministro de gases y línea. (verde)**
- ✗ **AUMENTAR  $FIO_2$  AL 100%** y repetir gasometría 1 hora después.
- ✗ **Revisar oxigenador para detectar presencia de coágulo o fibrina.**
- ✗ **Si persiste  $PAO_2/FIO_2 \leq 150$ , hay que cambiar el oxigenador (por lo tanto todo el sistema) en las 4 horas siguientes.**
- ✗ Las causas más frecuentes del deterioro del oxigenador suelen ser la aparición de **trombos y depósitos de fibrina** en su interior.



- Incremento de la temperatura del motor.
- Disminución de la potencia por desgaste.

Si se aprecian cambios en la intensidad o tono del ruido habitual de la bomba se debe sospechar la existencia de trombos en la bomba o disfunción de la misma. Su apari-

ción indica la necesidad de programar el cambio de la bomba. (Figura 14)

Se debe realizar una inspección meticulosa de todo el circuito al menos una vez al día. Si se aparecía alguna de las formas de depósito, se debe revisar los niveles de anticoagulación/antiagregación.

Como regla general, los depósitos pequeños, de color blanco (fibrina), inmóviles y localizados en el circuito de VD, no suelen producir problemas importantes. Sin embargo los de gran tamaño, oscuros (trombo), con movilidad y situados en el circuito de VI pueden llegar a requerir un cambio del dispositivo.

Aparecen variaciones en el flujo de bomba

Valorar inicialmente si existe un fallo en el retorno venoso, por lo que habrá que descartar alguna de las siguientes complicaciones:

- Problema de volumen intravascular: disminuir el número de revoluciones por minuto del ECMO y realizar expansión de volumen si las presiones de llenado (PVC y/o PEAP) lo permiten
- Acodadura o mala posición de las cánulas o tubuladuras: revisar
- Si las resistencias vasculares sistémicas están elevadas: mejorar la sedación y/o disminuir las drogas vasoactivas según protocolos y objetivos hemodinámicos. (Figura 15)

Figura 13.

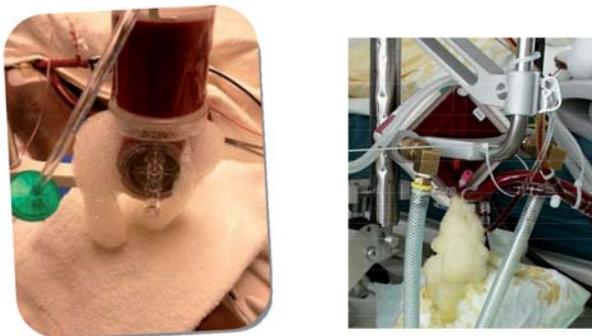
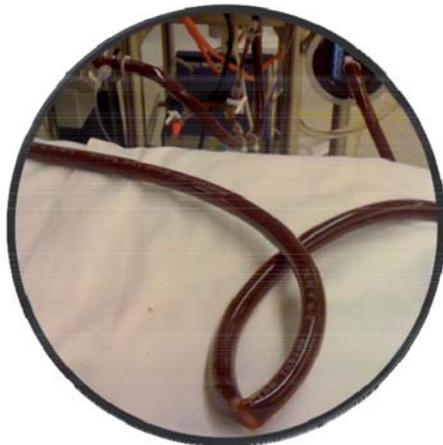


Figura 14.



Figura 15.



Imágenes de: <http://www.ecmosimulation.com>

El mezclador de gases comienza a emitir un pitido

Comprobar colocación de las conexiones de aire y oxígeno. Si no hay suministro de gases hay que cambiar la/las conexiones a las balas de repuesto correspondientes.

Comprobar balas estén llenas y prever repuestos. (Figura 16).

Alteración en las presiones del ECMO

Cuando existan desviaciones de las presiones máximas habituales hay que hacer un diagnóstico diferencial de las causas más probables como queda reflejado en la tabla de la (Figura 10).

#### INDICACIONES DE REEMPLAZAMIENTO DEL SISTEMA ECMO:

- Fuga plasmática en la fase gaseosa del oxigenador.
- Relación PaO<sub>2</sub> post-oxigenador/FiO<sub>2</sub> oxigenador inferior a 150mmHg.

Figura 16. El mezclador de gases emite un pitido

El mezclador de gases emite un pitido:



Imágenes de: <http://www.ecmosimulation.com>

- PCO<sub>2</sub> post-oxigenador igual o superior a 50mmHg o con relación flujo gas/flujo sanguíneo 3/1 o mayor.
- Presencia de coágulos en alguno de los componentes del circuito.
- Disminución del flujo de bomba con o sin aumento del gradiente de presión transoxigenador.
- Aumento del ruido habitual de la bomba.

#### RIESGOS RELACIONADOS CON LA ANTICOAGULACIÓN

El difícil equilibrio entre la necesidad de anticoagulación y el control de la misma, es uno de los principales retos en la asistencia a estos pacientes,<sup>23</sup> también es el que mayores complicaciones presenta, según la base de datos de los registros de la ELSO ocurren en el 60% de las complicaciones y en los casos del implante postcardiotomía pueden llegar hasta el 80%. Estas complicaciones son de etiología multifactorial están relacionadas fundamentalmente con el manejo de la administración continua de la heparina y la disfunción plaquetaria.

Las causas relacionadas con esta complicación son en primer lugar por el hecho de que la sangre está en contacto con la superficie artificial de la membrana del oxigenador y el circuito de tubos, ello pone en marcha el sistema de coagulación, desencadenando una coagulopatía de consumo. También están relacionadas con el manejo de la anticoagulación para evitar la trombosis del sistema y también porque el implante del dispositivo no deja de ser una intervención quirúrgica.

Las complicaciones relacionadas con la anticoagulación son muy variadas, y pueden ir desde un sangrado difuso y lento secundario a la coagulopatía, que no producirá inestabilidad hemodinámica, pero que tendrá efecto a medio y largo plazo si no se consigue controlar, hasta importantes hemorragias que pondrán en riesgo la vida del paciente como las hemorragias intracraneales o retroperitoneales y con más frecuencia el taponamiento cardiaco en la canulación central.

El traumatismo que causan estos dispositivos a la sangre además genera hemólisis y un aumento de la respuesta inflamatoria, que con el tiempo de uso causa un deterioro progresivo al resto del organismo desembocando en fallo multiorgánico.

Por otra parte también habrá riesgo de la aparición de cuadros de trombembolismo bien por una insuficiente anticoagulación o por la disminución de las revoluciones por minuto, la estasis de la sangre en el circuito aumenta la coagulabilidad y el riesgo de la formación de trombos.

#### Medidas

Para su prevención y control es fundamental un estricto control de TAC y una adecuada pauta de anticoagulación, además de analíticas seriadas, la revisión quirúrgica para localizar los puntos sangrantes o la aplicación de sustancias hemostáticas.

Las recomendaciones actuales para el mantenimiento de la ECMO son la utilización de la heparina para conseguir un

TCA entre 180 y 220 al inicio y el mantenimiento entre 160 - 200 y conseguir un tiempo de tromboplastina parcial activada (aPTT) de 1,2 a 1,5 veces o una actividad anti-Xa entre 0,2 y 0,4 UI / ml).<sup>24</sup>

Recordar siempre que cualquier pequeño traumatismo o lesión puede ocasionar pérdidas y sangrado importante, por lo que se evitará al máximo toda clase de punciones, ya sea para la canalización de vías, como para la administración de medicación, utilizando si es posible solo la vía intravenosa canalizada previamente a la implantación de la ECMO.

Minimizar al máximo también la manipulación y movilización de las cánulas. Vigilar los signos de sangrado de mucosas y heridas, procurar no retirar los coágulos o costras ya formados. Ordeño frecuente de los drenajes y control y características de los mismos. Evitar el traumatismo de los tejidos durante el cuidado de la boca o limpieza y evitar las succiones agresivas, utilizando aspiración abierta.

Registrar los componentes sanguíneos administrados y asegurar el completo suministro de concentrados de hematíes y otros hemoderivados en cada turno.

Los controles de TAC en principio se realizarán cada 15 min., hasta alcanzar el rango deseado, o marcado en nuestro protocolo, modificando el flujo de la heparina si fuera necesario. Para evitar la aparición de trombos es muy importante no suspender la heparina, que solamente se suspenderá cuando el resto de tratamientos para combatir el sangrado se hayan agotado. Aunque esta descrito que se pueden pasar entre 6 y 30 horas sin perfusión de heparina, es fundamental tener preparado otro sistema por si hay que cambiarlo.

Recordar también que en las pautas de desconexión cuando se disminuye el flujo de la bomba hay que aumentar el nivel de TCA hasta 200 seg.,

Cada centro debe protocolizar el manejo del tratamiento antitrombótico que se adapte al paciente en cada lugar.

### Complicaciones

Isquemia, trombosis, sangrado, ...Hemorragia intracranial, hemorragia pulmonar, hemorragia retroperitoneal.

La Trombocitopenia inducida por la heparina (HIT), es una complicación poco frecuente pero potencialmente mortal, si se complica con la trombosis la mortalidad puede llegar al 16%. Cuando se detecta este problema es obligado la retirada de la heparina y utilizar los fármacos sustitutorios que se dispongan como la Bivalirudina y el Argatroban, inhibidores directos de la trombina. La HIT es una complicación a tener en cuenta, dado que los circuitos de ECMO vienen recubiertos con heparina. No hay datos de la incidencia de HIT en este contexto, pero es esperable que sea similar a la vista en otros pacientes críticos (0.3% a 0.6%). La sospecha y el diagnóstico se basan en puntajes pre test y en ensayos que detectan anticuerpos contra el FP4- heparina y en pruebas funcionales, como se hace en la práctica habitual.

### CONCLUSIONES

Con el aumento de la seguridad y la mejora de la tecnología, es un procedimiento que está aquí para quedarse, va en aumento y seguramente que cambiaran las indicaciones y las funciones del soporte mecánico, llegará a ser más individual y se desarrollarán nuevos sistemas que harán que vayan en aumento.

La curva de aprendizaje supone para el personal involucrado, superar no sólo la adaptación al manejo de forma completamente diferente de este tipo de pacientes,<sup>25</sup> que nosotros con el apoyo de la Comisión de Calidad de la Asociación Española de Perfusionistas, hemos intentado suavizar y colaborar con este artículo, además hay que aprender a asumir, que a pesar de pasar largos periodos de tiempo dedicados a estos cuidados intensivos y la gran cantidad de recursos que consumen, no todos los pacientes alcanzan el objetivo final, ya sea la recuperación, el paso a un dispositivo de larga duración o bien al trasplante. Ninguno de estos factores debe de ser un elemento de disuasión para el objetivo final, mejorar la calidad y la seguridad de nuestros pacientes.

Pero lo que sin duda es indiscutible, después de todos estos años de evolución, es que los sistemas de soporte vital extracorpóreo obtienen los mejores resultados cuando son implantados por profesionales con formación y experiencia, no sólo en su indicación, (elegir el paciente correcto, el tipo correcto de asistencia y el tipo correcto de configuración), sino además con los perfusionistas implicados en su implantación mantenimiento y desconexión, y desde luego con personal de enfermería de cuidados intensivos entrenado para la anticipación, identificación y resolución de las complicaciones que puedan desencadenarse. El trabajo en equipo multidisciplinar con protocolos escritos, conocidos y establecidos es fundamental.<sup>26,27</sup>

### REFERENCIAS

1. Robert M. McCoach Larry D. Baer Robert K. Wise Karl R. Woitas David A. Palanzo Walter E. Pae Aly El Banayosy. The new role of the perfusionist in adult extracorporeal life support. *Perfusion* 2010, vol. 25, 1: pp. 21-24.
2. Guerguerian, A.M.; Ogino, M. T.; Dalton, H. J.; Shekerdemian, L.S. Setup and Maintenance of Extracorporeal Life Support Programs. 2013; 14, Number 5 (Suppl.):84-03.
3. Mullany DV, Bull TN, Hunt W, et al. Outcomes of the first 30 cases of an adult extracorporeal membrane oxygenation program: Strategies to manage the "learning curve" and implications for intensive care unit risk adjustment models. *Crit Care Resusc.* 2012;14:119-129
4. E. Perez, M. Olivares, M.T. García. Cap. 51 Asistencia circulatoria en el shock cardiogénico, C. Gomar, M. Mata, J.L. Pomar. *Fisiopatología y técnicas de circulación extracorpórea*. 2º edc. A.E.P. 2012 p. 587-601.

5. I. Moreno, M. P. Fust, S. Torregrosa. Cap. 57 Asistencia respiratoria (ECMO): técnica e indicaciones. C. Gomar, M. Mata, J.L. Pomar. *Fisiopatología y técnicas de circulación extracorpórea*. 2º edc. A.E.P. 2012 p. 651-662.
6. C. García, S. Caballero, M.A. Tena. Cap. 16 Bombas de circulación extracorpórea. C. Gomar, M. Mata, J.L. Pomar. *Fisiopatología y técnicas de circulación extracorpórea*. 2º edc. A.E.P. 2012 p. 191-198
7. Timothy M. Maul, M Patricia Massicotte and Peter D. Wearden (2016). ECMO Biocompatibility: Surface Coatings, Anticoagulation, and Coagulation Monitoring, Extracorporeal Membrane Oxygenation - Advances in Therapy, Dr. Michael Firstenberg (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/63888. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/extracorporeal-membrane-oxygenation-advances-in-therapy/ecmo-biocompatibility-surface-coatings-anticoagulation-and-coagulation-monitoring>
8. M. E. Lores, M. J. Alonso Cap. 17 Dispositivos para la Oxigenación artificial, C. Gomar, M. Mata, J.L. Pomar. *Fisiopatología y técnicas de circulación extracorpórea*. 2º edc. A.E.P. 2012 pp 199-208.
9. Doñate Bertolín L., Torregrosa Puerta S., Montero Argudo A., Asistencia mecánica circulatoria de Corta Duración. *Cirugía Cardiovascular*, 23 suplemento. 1 (2016):26-40. <http://doi.org/10.1016/j.circv.2016.06.007>
10. Mikus E, Tripodi A, Calvi S, Giglio MD, Cavallucci A, Lamarra M. CentriMag venoarterial extracorporeal membrane oxygenation support as treatment for patients with refractory postcardiotomy cardiogenic shock. *ASAIO J* 2013;59:18-23.
11. Wong, Joshua K; Smith, Thomas N; Pitcher, H. T. et al: Cerebral and Lower Limb Near-Infrared Spectroscopy in Adults on Extracorporeal Membrane Oxygenation. *Artificial Organs*. 2012;36(8):659-667.
12. Jayaraman AL, Cormican D, Shah P, Ramakrishna H. Cannulation strategies in adult veno-arterial and veno-venous extracorporeal membrane oxygenation: Techniques, limitations, and special considerations. *Ann Card Anaesth* 2017;20, Suppl S1:11-8
13. Christopher Lotz, MD; Oliver Ritter, MD, PhD; Ralf Michael Muellenbach, MD, PhD, MHBA. Assisted Beating of the Ischemic Heart How to Manage the Pulseless ST—Segment-Elevation Myocardial Infarction Patient. *Circulation* 2014; 130: 1095-1104.
14. Aris Cancela ME. Control y manejo hemostático-trombótico en adultos. *HEMATOLOGÍA Volumen 20. Número Extraordinario XII Congreso del Grupo CAHT: 128-132. Septiembre 2016.*
15. Lorusso R., Barili F., Di Mauro M, and col. In-Hospital Neurologic Complications in Adult Patients Undergoing Venoarterial Extracorporeal Membrane Oxygenation: Results From the Extracorporeal Life Support Organization Registry. *Critical Care Medicine* .2016- 44 (10): pp 964-972. Doi: 10.1097 / CCM.0000000000001865
16. Tramm R, Ilic D, Davies AR, Pellegrino VA, Romero L, Hodgson C. Extracorporeal membrane oxygenation for critically ill adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2015 Jan 22; 1: CD010381. DOI: 10.1002/14651858.CD010381.
17. Cheng R, Hachamovitch R, Kittleson M, et al. Complications of extracorporeal membrane oxygenation for treatment of cardiogenic shock and cardiac arrest: a meta-analysis of 1,866 adult patients. *Ann Thorac Surg*. 2014;97:610-616.
18. John, Ranjit et al. Outcomes of a multicenter trial of the Levitronix CentriMag ventricular assist system for short-term circulatory support. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* , 2011;141(4):pp 932 – 939. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtcvs.2010.03.046>
19. Mateen FJ, Muralidharan R, Shinohara RT, et al. Neurological injury in adults treated with extracorporeal membrane oxygenation. *Arch. Neurol*. 2011; 68: 1543-9. doi:10.1001/archneurol.2011.209
20. Banfi C, Pozzi M, Brunner M-E, et al. Venous-arterial extracorporeal membrane oxygenation: an overview of different cannulation techniques. *Journal of Thoracic Disease*. 2016;8(9):E875-E885. doi:10.21037/jtd.2016.09.25. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5059274/>
21. Ryu J-A, Cho YH, Sung K, et al. Predictors of neurological outcomes after successful extracorporeal cardiopulmonary resuscitation. *BMC Anesthesiology*. 2015;15:26. doi:10.1186/s12871-015-0002-3.
22. Rupperecht L, Lunz D, Philipp A, Lubnow M, Schmid C. Pitfalls in percutaneous ECMO cannulation. *Heart, Lung and Vessels*. 2015;7(4):320-326.
23. Rastan AJ, Lachmann N, Walther T, Doll N, and col. Autopsy findings in patients on postcardiotomy extracorporeal membrane oxygenation (ECMO). *Int J Artif Organs*. 2006 Dec;29(12):1121-31.
24. Aubron C, DePuydt J, Belon F, et al. Predictive factors of bleeding events in adults undergoing extracorporeal membrane oxygenation. *Annals of Intensive Care*. 2016;6:97. doi: 10.1186/s13613-016-0196-7
25. Swol J, Belohlávek J, Haft JW, Ichiba S, Lorusso R, Peek GJ. Conditions and procedures for in-hospital extracorporeal life support (ECLS) in cardiopulmonary resuscitation (CPR) of adult patients. *Perfusion*. 2016 Apr;31(3):182-8. doi: 10.1177/0267659115591622.
26. George Makdisi, I-wen Wang. Extra Corporeal Membrane Oxygenation (ECMO) review of a lifesaving technology. *Journal of Thoracic Disease. Artículo de revisión*. 2015;7(7):E166-E176. doi: 10.3978 / j.issn.2072-1439.2015.07.17
27. Khorsandi M, Dougherty S, Sinclair A, et al. A 20-year multicentre outcome analysis of salvage mechanical circulatory support for refractory cardiogenic shock after cardiac surgery. *Journal of Cardiothoracic Surgery*. 2016;11:151. doi:10.1186/s13019-016-0545-5. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5100311/>