

CUIDADOS PERIOPERATORIOS. CIRUGÍA. SOPORTE EXTRACORPÓREO COMO PUENTE AL TRASPLANTE Y EN EL POSTRASPLANTE (NOVALUNG, ECMO)

Pablo Gámez García, Andrea Mariscal de Alba, Olga González González

INTRODUCCIÓN

El acto quirúrgico del trasplante pulmonar es un procedimiento de alta complejidad que requiere un profundo conocimiento de las características de estos pacientes y del procedimiento en sí por parte de todos los profesionales implicados. Asimismo, la coordinación entre los mismos debe ser exquisita, evitando de esta forma tiempos de isquemia prolongados.

PROCEDIMIENTO QUIRÚRGICO

Posición del paciente

La posición en la que se coloca al paciente depende de: tipo de trasplante (unipulmonar o bipulmonar), características del receptor y predicción de la necesidad de circulación extracorpórea durante la cirugía.

Para trasplantes pulmonares bilaterales, el paciente se coloca en decúbito supino con los brazos, ya sea pegados al cuerpo o abiertos en abducción.

Para trasplantes unilaterales, el receptor puede ser posicionado en decúbito lateral (toracotomía posterolateral) o decúbito supino (toracotomía anterior o *hemiclamshell*). Si el paciente está colocado en supino para un trasplante unilateral, el esternón puede ser o no seccionado para mejorar la exposición de la aorta y la aurícula en caso de que sea necesario el *bypass* cardiopulmonar.

Incisión

El tipo de incisión depende también del tipo de trasplante (uni o bipulmonar), las características antropométricas del paciente y la

predicción de necesidad de *bypass* cardiopulmonar.

En trasplantes pulmonares bilaterales se realiza toracotomía anterior bilateral sin o con esternotomía transversa (*clamshell*) (Fig. 1). Este tipo de apertura ofrece una excelente exposición del corazón, mediastino y ambos espacios pleurales.

Para trasplantes unipulmonares con el paciente colocado en decúbito lateral se realiza una toracotomía posterolateral. Si el receptor está colocado en decúbito supino el tipo de incisión es una toracotomía anterior submamaria con o sin sección del esternón.

Cirugía

La apertura al espacio pleural se realiza normalmente a través del cuarto espacio intercostal. Se deben disecar y ligar los vasos mamarios a la altura del esternón si la incisión elegida es *clamshell* o *hemiclamshell*.

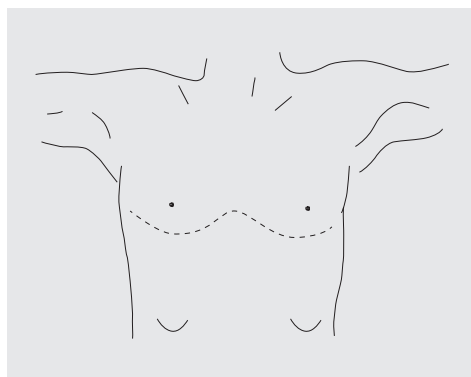


FIGURA 1. Incisión tipo *clamshell*.

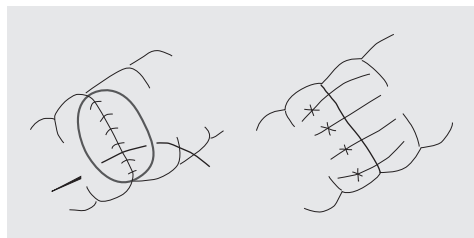


FIGURA 2. Anastomosis bronquial.

Como norma general, en los trasplantes bipulmonares secuenciales se debe comenzar con el pulmón que presenta menor perfusión (determinado de manera preoperatoria por un estudio de gammagrafía ventilación-perfusión).

Una vez abierto el tórax se deben cauterizar todas las adherencias entre el pulmón y la pared torácica. Se procede a disecar y dividir las estructuras hiliares (arteria y venas pulmonares) con endograpadoras o ligaduras. La última estructura en ser disecada y dividida es el bronquio inmediatamente antes de la salida del bronquio del lóbulo superior. Se debe tener especial cuidado en la hemostasia tanto de la pared como de las estructuras peribronquiales.

Antes de implantar el injerto se prepara el hilio pulmonar para las anastomosis (bronquio, venas pulmonares y arteria)⁽¹⁾. La primera anastomosis que se realiza es la bronquial pues se trata de la estructura más posterior a nivel hilar. La pared posterior se sutura de manera continua y la pared anterior cartilaginosa con puntos simples (Fig. 2).

La siguiente anastomosis es la de la arteria pulmonar. Se coloca un clamp lo más cerca posible del tronco principal. Antes de iniciar la anastomosis se debe localizar la salida de la arteria mediastínica en el receptor para asegurar que la arteria pulmonar no se torsione. Se sutura de manera continua iniciando por la pared posterior. El clamp arterial se mantendrá en esa posición hasta la reperfusión (Fig. 3).

Las dos venas pulmonares se retraen del mediastino y se coloca un clamp vascular a la altura de la aurícula, distal a la base de las venas pulmonares. Las venas se unen quedando un pastilla común.

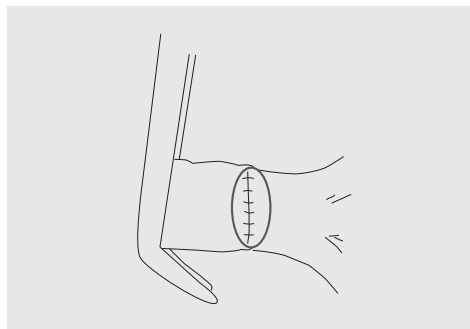


FIGURA 3. Anastomosis arteria pulmonar.

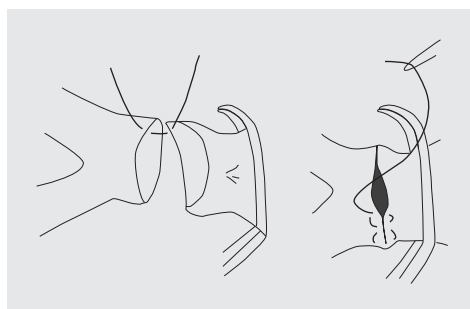


FIGURA 4. Anastomosis VVPP.

do un pastilla común. Se inicia siempre con la pared posterior asegurando que la íntima del donante se encuentra en contacto con la íntima del receptor. Se puede realizar con sutura continua simple o continua evertida⁽²⁾. La cara anterior de la aurícula se mantiene sin atar para permitir la salida del aire en el momento de la reperfusión. El pericardio del donante puede ser utilizado para realizar técnicas reconstructivas en los casos en los que las venas del donante estén separadas⁽³⁾ o la pared auricular sea insuficiente. Se puede realizar también anastomosis de las venas de manera independiente⁽⁴⁾.

El clamp venoso se mantiene en esa posición hasta ese momento (Fig. 4).

Antes de reperfundir se inicia la ventilación del injerto lentamente, se abre el clamp arterial de manera parcial permitiendo la salida de sangre a través de la anastomosis venosa para asegurar que no queda aire dentro de la aurícula

antes de proceder a anudar. Se retira el clamp venoso (auricular). El clamp arterial se va soltando lentamente (durante aproximadamente 10 minutos) para controlar la reperfusión. Con esta maniobra disminuye la incidencia de disfunción primaria del injerto (DPI).

En algunos casos en los que el tamaño del injerto es mayor que la cavidad torácica del receptor puede ser necesario realizar cirugía de reducción de volumen o incluso trasplantar un solo lóbulo pulmonar⁽¹⁾.

El mismo procedimiento se repite en el pulmón contralateral en el caso de que se trate de un trasplante bipulmonar. Se comprueba nuevamente la hemostasia de manera cuidadosa, se colocan los drenajes endotorácicos (habitualmente, un drenaje apical y otro basal), y se procede al cierre de la pared torácica.

MANEJO ANESTÉSICO

Visita preoperatoria. Preparación del quirófano

El paciente sometido a un trasplante pulmonar es un paciente de alto riesgo. La visita preoperatoria incluye una evaluación global: etiología de la enfermedad pulmonar, presencia o no y grado de hipertensión pulmonar, revisión de analíticas (creatinina, iones, hemoglobina y gasometrías), y confirmación de la administración de antibioterapia e inmunosupresión. La medicación habitual deberá continuarse para optimizar la condición del paciente hasta el momento de la intervención: broncodilatadores, antiarrítmicos, antihipertensivos, vasodilatadores pulmonares (se mantendrán hasta la entrada en CEC), oxígeno o la ventilación no invasiva. No se recomienda premedicación de rutina. La sedación se realizará en quirófano con el paciente monitorizado.

Al tratarse de un procedimiento complejo, es necesario preparar y comprobar con antelación todo el material necesario (Tabla 1).

Inducción anestésica. Monitorización

Una vez anunciada la validez del órgano, el paciente se traslada a quirófano. Es importante que, previamente a la inducción anestésica, el

TABLA 1. Preparación del quirófano

1. Confirmación de la reserva de concentrados de hematíes, plasma y plaquetas
2. Preparar y verificar el correcto funcionamiento de los equipos:
 - Máquina de anestesia
 - Sistema de CPAP externo
 - Monitor
 - Bombas de infusión
 - Calentador de aire
 - Infusor rápido de líquidos
 - Desfibrilador con palas externas e internas
 - Marcapasos externo
 - Bomba CEC
 - Analizador de gases, iones, glucosa, calcio y lactato
 - Máquina y bombona de óxido nítrico
 - Nebulizador de prostaglandinas inhaladas
3. Preparar material:
 - Material de intubación: laringoscopio, tubos convencionales, doble luz, Univent, Frova
 - Fibrobroncoscopio
 - Catéteres de vía central
 - Catéter de arteria pulmonar de gasto cardiaco continuo y FEVD
 - Catéteres arteriales (radial y femoral)
 - BIS
 - SNG
4. Medicación:
 - Drogas vasoactivas: adrenalina, noradrenalina, efedrina, fenilefrina, dobutamina, milrinona
 - Prostaglandinas inhaladas
 - Drogas anestésicas
 - Cloruro cálcico, sulfato de magnesio, lidocaína, bicarbonato, insulina, heparina, protamina
 - Antifibrinolíticos: ácido tranexámico

equipo completo se encuentre presente en quirófano (anestesiólogo, cirujano, perfusionista y enfermera de quirófano). La **monitorización básica** del paciente incluye:

1. Electrocardiografía de seis derivaciones con análisis del ST, visualizando en el monitor las derivaciones II (identificación de arritmias supraventriculares) y V5 (identificación de isquemia miocárdica). Además, se colocan 3 electrodos adicionales para el monitor del desfibrilador.
2. TA incruenta.
3. Pulsioximetría.
4. Análisis biespectral BIS para monitorización de la profundidad anestésica.
5. Línea arterial para monitorización de la presión arterial (PA) latido a latido previo a la inducción.

Se canaliza vía venosa periférica de grueso calibre y se procede a la inducción anestésica de forma lenta y progresiva, utilizando habitualmente etomidato junto a fentanilo a dosis de 10-15 µg/kg. El relajante muscular utilizado puede ser cisatracurio o rocuronio. La ventilación del paciente previa a la intubación es realizada, si fuera necesario, a través de la mascarilla facial empleando ventilación manual con bajos flujos siempre con la válvula abierta para evitar hiperinsuflación pulmonar.

La intubación se realiza siempre con tubo de doble luz izquierdo tipo Robertshaw, con posterior comprobación con fibroscopio⁽⁵⁾, tomando muestras en ese momento para cultivos. En pacientes con fibrosis quística se utilizará de inicio tubo orotraqueal convencional para aspiración de secreciones y toma de muestras, reemplazándose a continuación por tubo de doble luz izquierdo. Tras la intubación se realiza conexión a ventilación mecánica, teniendo en cuenta las características del paciente según su patología respiratoria.

Tras la inducción se completará la **monitorización avanzada** del paciente:

1. Línea central.
2. Catéter Swan-Ganz de gasto cardiaco continuo para monitorización de presiones pulmonares, PVC, índice cardiaco, fracción

de eyección del ventrículo derecho (FEVD), saturación venosa mixta y temperatura central. Durante el procedimiento, el cirujano palpará el catéter previo al clampaje de la arteria pulmonar por si fuera necesario retirarlo momentáneamente. En los pacientes con riesgo alto de inestabilidad hemodinámica en la inducción anestésica (presencia de hipertensión pulmonar), la colocación de este catéter se realizará previo a la misma con el paciente despierto.

3. Ecocardiografía transesofágica: que permite monitorizar la función del ventrículo derecho e izquierdo, el llenado biventricular, la presencia de foramen oval permeable y el flujo a través de las venas pulmonares.
4. Monitorización respiratoria: capnografía, medidas de volúmenes espiratorios e inspiratorios, presiones pico y meseta en vía aérea, resistencia y *compliance*, curvas de flujo-volumen, presión-volumen y flujo-tiempo.
5. Sondaje vesical para monitorización gasto urinario. Asimismo, se colocará SNG, calentador de fluidos y mantas conectadas a convectores de aire caliente.

La duración de la intervención quirúrgica varía desde las 5 horas para un trasplante unipulmonar hasta las 8-10 horas en el caso del bipulmonar. El mantenimiento anestésico se realiza con sevoflurane inhalado y una mezcla de oxígeno-aire, evitando en todo momento el óxido nitroso, que inhibe la vasoconstricción pulmonar hipóxica⁽⁶⁾. Cada 1-2 horas se administrará una dosis suplementaria de fentanilo (5 µg/kg).

Manejo respiratorio y hemodinámico.

Momentos críticos intraoperatorios

El manejo respiratorio depende de la patología pulmonar subyacente, siendo necesario un profundo conocimiento de las implicaciones fisiológicas de la misma. Los pacientes con *enfermedad pulmonar obstructiva* (OCFA), enfisema por déficit de alfa1-antitripsina, bronquiectasias, bronquiolitis obliterante y fibrosis quística) presentan atrapamiento aéreo

importante y pueden tener episodios de broncoespasmo. Además, la ventilación con presión positiva puede condicionar hiperinsuflación pulmonar con repercusión hemodinámica y pueden cursar con disfunción ventricular derecha. Estos pacientes requieren:

- Volúmenes tidal bajos y tiempos espiratorios prolongados para evitar el atrapamiento aéreo (I:E 1:4, 1:5)⁽⁷⁾. El test de apnea (desconexión del respirador) es una maniobra diagnóstica y terapéutica en casos de repercusión hemodinámica por hiperinsuflación pulmonar.
- Tratamiento del broncoespasmo y succión frecuente de las secreciones (sobre todo en fibrosis quística).

Los pacientes con *enfermedad del parénquima pulmonar* (fibrosis pulmonar, sarcoidosis, linfanguleiomiosomatosis, enfermedades del colágeno, granulomatosis eosinofílica, histiocitosis...) presentan una reducida *compliance* y tienen un reducido intercambio gaseoso, gran predisposición a la hipoxia y a la hipercapnia. No presentan atrapamiento aéreo por lo que la relación I:E puede ser más elevada (1:2, 1:1,7) y toleran niveles moderados de PEEP. Asimismo, presentan una cavidad torácica pequeña, que dificulta la disección, por lo que la manipulación mediastínica puede ser, hemodinámicamente, mal tolerada⁽⁸⁾.

Hay que tener en cuenta, tanto en los pacientes con enfermedad pulmonar obstructiva como en los pacientes con enfermedad del parénquima pulmonar que:

- Es necesario un respirador capaz de proporcionar flujos inspiratorios elevados. En algunas ocasiones son requeridas presiones pico elevadas⁽⁷⁾.
- El pH es el mejor determinante de una ventilación adecuada, mejor que la presión parcial de CO₂. La hipercapnia permisiva es, habitualmente, bien tolerada. La hipercapnia progresiva o la acidosis (pH < 7,20 con inestabilidad hemodinámica) o la hipoxia en ventilación unipulmonar son indicaciones de entrada en CEC⁽⁹⁾.

En los pacientes con *enfermedad de la vasculatura pulmonar* (hipertensión pulmonar primaria), es importante recordar:

- Las presiones en la arteria pulmonar pueden estar próximas a las presiones sistémicas.
- Presentan nula tolerancia al aumento de las resistencias vasculares pulmonares y a la depresión miocárdica, por lo que los anestésicos, episodios de hipoxemia o hipercapnia y la hiperinsuflación pulmonar pueden desencadenar un colapso cardiovascular⁽¹⁰⁾. En estos pacientes la CEC se realiza de forma programada.
- Es aconsejable utilizar volúmenes tidal moderados, FiO₂ elevadas y frecuencias respiratorias altas para mantener la normocapnia.

Es muy importante en todos ellos evitar presiones intratorácicas excesivamente elevadas, intentando obtener el mejor intercambio gaseoso con el menor compromiso hemodinámico.

Durante la ventilación unipulmonar se recomienda FiO₂ de 1,0, volumen tidal y frecuencia respiratoria igual a las previas⁽¹¹⁾. La hipoxia durante la ventilación unipulmonar es debida al *shunt* que se produce, y se corrige tras el clampaje de la arteria pulmonar del mismo lado.

La ventilación del injerto se realizará con una ventilación protectora, limitando presiones meseta a 30 cm H₂O, PEEP moderada (5-10 cm H₂O) y FiO₂ adecuada para mantener saturación de O₂ > 92%. La ventilación del injerto reperfundido se mantendrá incluso en CEC.

El **manejo hemodinámico** comprende el conocimiento de las distintas fases del procedimiento ya que, durante el mismo, se distinguen varios momentos críticos, en los que pueden surgir importantes alteraciones hemodinámicas⁽¹²⁾:

1. Paso de respiración espontánea a ventilación mecánica.
2. Ventilación a un solo pulmón.
3. Clampaje de la arteria pulmonar.
4. Compresión mecánica del mediastino durante el implante.
5. Reperfusion del injerto.

Los objetivos hemodinámicos son: precarga adecuada (PCP 6-8), PAM > 50 mmHg, IC entre 2,5-3,0, SpO₂ > 85%, SvO₂ > 60%, pH > 7,20. Hay que tener en cuenta que, incluso con función miocárdica conservada y presiones pulmonares ligeramente elevadas, estos pacientes presentan una hiperrespuesta de la vasculatura pulmonar debido a la hipertrofia de la media. Esta condición les hace especialmente susceptibles al desarrollo de hipertensión pulmonar y disfunción del VD. El fenómeno de dependencia interventricular hace referencia al fracaso izquierdo por fracaso de llenado del mismo cuando el VD falla.

Para mejorar la función del VD se aconseja el uso de inotrópicos como dobutamina o milrinona y vasodilatadores pulmonares, preferentemente inhalados para evitar la hipotensión sistémica que producen si se administran de forma intravenosa. Se incluyen:

- Óxido nítrico (ON) a dosis de 5-40 ppm. Algunos estudios documentan efectos beneficiosos del mismo, disminuyendo la lesión por reperfusión⁽¹³⁾.
- Prostaglandinas inhaladas⁽¹⁴⁾.

La hipotensión arterial se maneja con perfusión de noradrenalina, iniciándose a 0,5 µg/kg/min y titulando hasta conseguir el efecto. Grupos como el de Toronto asocia vasopresina a dosis de 1-4 U/h por su efecto vasodilatador de la arteriola aferente renal (no disponible en España). Los fármacos presores consiguen aumentar la presión de perfusión sistémica, mejorando la perfusión del VD, que en estos pacientes no es bifásica (durante sístole y diástole) como en individuos normales, sino que se realiza durante la fase diastólica del ciclo cardiaco, como ocurre con el flujo coronario del lado izquierdo⁽¹²⁾.

Circulación extracorpórea (CEC)

Aproximadamente un 40% de los casos requieren CEC. En presencia de hipertensión pulmonar moderada-severa, ya sea primaria o secundaria, la CEC se realizará de forma programada. En ausencia de ella, si no se cumplen los objetivos hemodinámicos ya descritos, se

indicará CEC según los Criterios de Dinardo⁽⁹⁾: IC < 2 l/min/m², SvO₂ < 60%, PAM < 50 mmHg, SatO₂ < 85% y pH < 7,0.

Previo a la canulación se administra dosis de heparina de 300-400 U/kg para alcanzar tiempos de coagulación activados (TCA) > 480 segundos. Si no hay cirugía cardíaca, el corazón permanece latiendo en normotermia. El respirador se mantendrá en modo CEC (presión positiva continua de 5 cm H₂O) hasta la primera reperfusión.

Se administra bolo y perfusión de antifibrinolítico (ácido tranexámico) y se realiza un control glucémico mediante la administración de insulina⁽¹⁵⁾. A la salida de la bomba, se administra protamina según TCA y se valora estudio de coagulación, cifra y función plaquetarias (si es posible, mediante tromboelastografía). Se recomienda la administración de sulfato de magnesio⁽¹⁶⁾, cloruro cálcico y mantener K entre 3,5-5,0.

La activación del complemento y el desarrollo de una respuesta inflamatoria sistémica puede contribuir al desarrollo de disfunción primaria tras la reperfusión⁽¹⁷⁾.

Disfunción primaria del injerto (DPI)

El injerto pulmonar presenta un riesgo incrementado de edema debido a la alteración del endotelio por la isquemia, a la lesión por reperfusión y a la ausencia de drenaje linfático. El manejo de fluidos durante la intervención debe evitar la administración excesiva de cristaloideos.

La DPI es un edema no cardiogénico que representa una importante causa de mortalidad y morbilidad en los primeros 30 días tras el trasplante. La *International Society for Heart and Lung Transplantation* (ISHLT) ha dado una definición que combina la alteración de la oxigenación según pO₂/FiO₂ y la presencia o no de infiltrados en la placa del tórax⁽¹⁸⁾, estableciendo grados desde 0 (pO₂/FiO₂ > 300 sin infiltrados) hasta 3 (pO₂/FiO₂ < 200 con infiltrados). El manejo de esta entidad incluye: restricción hídrica, manejo ventilatorio similar al de pacientes con SDRA, utilizando ventila-

ción protectora⁽¹⁹⁾, ON a dosis de 10-20 ppm y, en casos severos, el soporte extracorpóreo con ECMO.

CUIDADOS POSTOPERATORIOS

El tubo de doble luz es reemplazado por un tubo convencional al final de la cirugía. Se recomienda un periodo de observación de unas 4 horas antes de plantear la extubación del paciente. En caso de hipertensión pulmonar, fracaso del VD o inestabilidad hemodinámica, el periodo de observación será mayor, valorando la situación hemodinámica y la función del injerto. En caso de trasplante unipulmonar que no requiere CEC, se puede plantear la colocación de un catéter paravertebral para analgesia. En los trasplantes bipulmonares, se recomienda la colocación de una bomba de analgesia controlada por el paciente cuando se plantee la retirada de la sedación.

El manejo ventilatorio incluye la utilización de una ventilación protectora utilizando niveles moderados de PEEP. En caso de trasplante unipulmonar en paciente obstructivo hay que evitar la sobredistensión del pulmón nativo. Es fundamental la fisioterapia precoz. En casos de sospecha de ventilación mecánica prolongada se indicará la traqueostomía precoz.

Una vez alcanzada la estabilidad hemodinámica, es primordial conseguir un balance negativo con el uso racional de diuréticos. Cuando la respuesta a los mismos no es adecuada, algunos grupos proponen la utilización de ultrafiltración continua con buenos resultados, evitando siempre la depleción excesiva de volumen que podría ocasionar fracaso renal prerrenal o el desarrollo de arritmias supraventriculares.

SOPORTE EXTRACORPÓREO: EXTRACORPOREAL MEMBRANE OXYGENATION (ECMO) Y NOVALUNG®

Definición y descripción de los circuitos.

Anticoagulación

SopORTE extracorpóreo incluye todos aquellos dispositivos con un circuito más o menos complejo capaz de conducir la sangre fuera del

organismo hasta una membrana y, posteriormente, devolverla al paciente, proporcionándole soporte respiratorio parcial (Novalung®, elimina CO₂) o respiratorio total (ECMO, oxigena y elimina CO₂) con o sin soporte cardiovascular.

Según la localización de la cánula de retorno al paciente distinguimos:

- Cánula de retorno en vena: **circuito venovenoso**: soporte respiratorio.
- Cánula de retorno en la arteria: **circuito veno-arterial**: soporte respiratorio y cardiovascular.

El circuito ECMO se compone de:

1. **Cánula de drenaje**: desde el paciente al circuito. Siempre estará colocada en una vena en el circuito ECMO.
2. **Bomba centrífuga**: capaz de succionar la sangre desde la vena y conducirla al oxigenador. Incluye una consola, donde se controlan las revoluciones por minuto (rpm) que desarrolla la bomba para alcanzar el flujo de sangre deseado, y un medidor de flujo que atraviesa el circuito. Uno de los grandes avances ha sido la sustitución de las bombas de rodillo y el desarrollo de las bombas centrífugas de última generación que reducen la hemólisis mecánica observada en los primeros diseños y evitan el riesgo de rotura del circuito observado con aquellas⁽²⁰⁾.
3. **Oxigenador**: membrana de polimetilpenteno que lleva a cabo la oxigenación de la sangre que pasa a su través.
4. **Caudalímetro**: conectado, a su vez, al oxigenador para suministrar un flujo de oxígeno a la membrana, denominado gas de arrastre o *sweep gas* que es el encargado de eliminar CO₂. Además lleva incorporado un rotámetro donde se controla la FiO₂.
5. **Calentador**: conectado al oxigenador para minimizar la pérdida de calor de la sangre y mantener la normotermia.
6. **Cánula de retorno**: puede estar colocada en una vena, proporcionando soporte respiratorio, o en una arteria, proporcionando de esta forma soporte cardiorrespiratorio. La

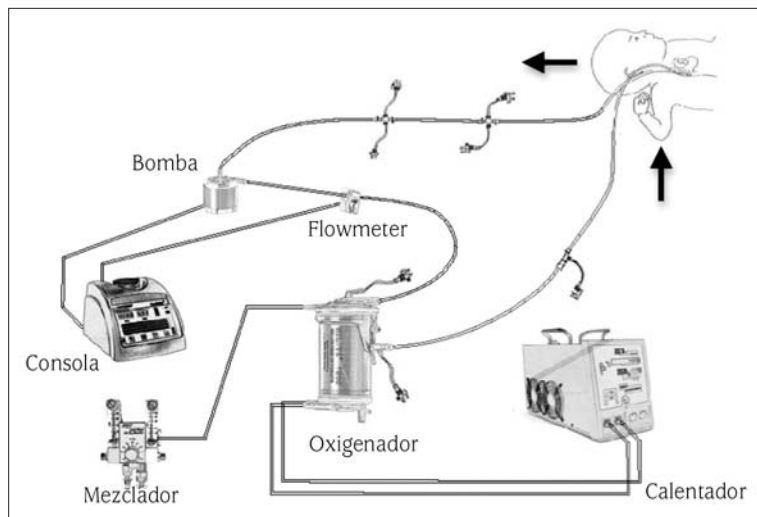


FIGURA 5. Circuito ECMO.

tabla muestra las cánulas recomendadas según peso y altura del paciente.

7. **Tubos de conexión** entre las cánulas, la bomba y el oxigenador.

El circuito se describe en la figura 5.

El funcionamiento es el siguiente: la sangre es drenada desde una vena hacia la membrana gracias a la succión que realiza la bomba centrífuga, que funciona según las revoluciones por minuto (rpm) programadas en la consola. El flujo de sangre alcanzado depende así del tamaño de la cánula, de las rpm programadas y de la volemia del paciente. La sangre es oxigenada en la membrana en mayor o menor medida dependiendo del flujo de sangre que atraviesa la membrana. La eliminación de CO₂ depende del gas de arrastre que se selecciona en el caudalímetro. Habitualmente, la selección es 1:1 (flujo gas de arrastre: flujo bomba de sangre). Es decir, si la bomba está desarrollando 4 L/min deberán seleccionarse 4 L/min en el caudalímetro del gas de arrastre. Este flujo debe modificarse en función de las cifras de CO₂. Tras atravesar la membrana, la sangre es calentada y devuelta al paciente.

El circuito Novalung® es más sencillo. Es un dispositivo que solo elimina CO₂ y apenas es capaz de oxigenar⁽²¹⁾. La colocación de las

cánulas es diferente a la ya comentada en el circuito ECMO. La cánula de drenaje se coloca en una arteria, preferentemente la femoral. La cánula de retorno se coloca en vena femoral. De esta forma no precisa bomba, ya que el impulso es producido por el corazón. Requiere PAM > 70 mmHg para su correcto funcionamiento. El circuito Novalung® solo se compone de las cánulas, la membrana, que tiene una superficie menor que la membrana ECMO, y los tubos de conexión entre los diferentes componentes, que incluyen una conexión entre la rama arterial y la rama venosa denominada puente. Al tratarse de una canulación arterial, se han descrito episodios de isquemia en un 10% de casos⁽²¹⁾.

Algunos autores proponen la interposición de una bomba centrífuga en el circuito Novalung®, colocando ambas cánulas en vena y haciendo un circuito veno-venoso, que en este caso sí sería capaz de oxigenar⁽²²⁾.

La exposición de la sangre a los materiales no biológicos que componen estos circuitos pone en marcha la cascada de la coagulación e inicia una respuesta inflamatoria. Para evitar la coagulación del circuito, se requiere anticoagulación del mismo mediante infusión de heparina sódica. El grado de anticoagulación se mide mediante el TCA, precisando ser mante-

TABLA 2. Diferencias entre ECMO V-V y ECMO V-A

ECMO	Cánula drenaje	Cánula de retorno	Eliminación CO ₂	Oxigenación	Flujo recomendado	Soporte cardiovascular
VV	Vena	Vena	Sí	Sí	60 ml/kg/min	No
VA	Vena	Arteria	Sí	Sí	50 ml/kg/min	Sí

nido entre 160-180 segundos. Algunos autores proponen utilizar el tiempo de cefalina como control, manteniendo este entre 40 y 60 segundos⁽²³⁾. El INR debe ser < 1,5 y el recuento plaquetario debe mantenerse por encima de 75.000.

ECMO veno-venoso (VV) y veno-arterial (VA). Cánulas. Recirculación

En el apartado anterior se describe la importancia de la localización de la cánula de retorno desde el circuito para proporcionar mayor o menor soporte extracorpóreo. En la tabla 2 se resumen las diferencias básicas entre la ECMO VV y la VA.

Previo a la canulación, es aconsejable la administración de antibióticos profilácticos⁽²⁴⁾. La selección del tamaño de las cánulas se realiza según el peso del paciente (Tabla 3). El abordaje a los vasos suele ser periférico (canulación periférica), aunque en algunas ocasiones es necesaria una canulación central, colocando la cánula de drenaje en la aurícula derecha y la cánula de retorno en la raíz aórtica.

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. La **cánula de retorno** va a ser siempre una cánula corta que se posicionará según se trate de una ECMO VV o ECMO VA.

– ECMO VV: hemos visto que la cánula de retorno es posicionada en una vena, que habitualmente es la yugular interna derecha. En los últimos años se ha comercializado una cánula de doble luz para el circuito veno-venoso (Avalon® Bicaval Dual

TABLA 3. Tamaño de las cánulas según peso y altura

Peso paciente	Cánula de drenaje	Cánula de retorno
60 kg	20	14-16
70 kg	22	14-16
> 100 kg	2 x 22	16

Lumen)⁽²⁵⁾, que presenta 3 orificios: el proximal y el distal quedan posicionados en la vena cava superior e inferior, respectivamente y desde ambas venas drena la sangre al circuito. El orificio medial debe quedar posicionado en aurícula derecha, donde retorna la sangre una vez oxigenada. Esta cánula debe ser colocada bajo control fluoroscópico o ecocardiográfico para una correcta colocación y posicionamiento de los orificios. La ventaja de esta cánula es que permite una canulación única. Su principal inconveniente es el elevado precio y la posibilidad de recirculación. Se define **recirculación** como la fracción de sangre ya oxigenada que, una vez vuelta al paciente, vuelve a ser succionada de nuevo por el catéter de drenaje. Es un fenómeno que solo ocurre en la ECMO veno-venosa.

– ECMO VA: la cánula de retorno es posicionada en una arteria que suele ser femoral. En algunos centros canulan arteria y vena del mismo lado. Para evitar isquemias del miembro inferior, habitualmente se coloca un *bypass* que proporciona flujo al miembro inferior canulado.

Indicaciones

Durante muchos años, la ECMO y la ventilación mecánica eran consideradas contraindicaciones para la realización del trasplante pulmonar⁽²⁶⁾. En cambio, en los últimos años se ha producido un avance cualitativo en el desarrollo de los circuitos extracorpóreos, mejorando significativamente su simplicidad y su seguridad. De esta forma se ha facilitado en gran medida el manejo del paciente en ECMO. Todo ello, unido a un mejor entendimiento de la lesión pulmonar asociada a la ventilación mecánica y a un mejor pronóstico del paciente trasplantado, ha hecho posible el uso con éxito de estos circuitos como puente al trasplante y en el postoperatorio como tratamiento de la disfunción primaria del injerto.

Dado que la conexión a un dispositivo extracorpóreo es un procedimiento invasivo y con riesgo de numerosas complicaciones, es importante disponer de un consentimiento informado, así como explicar detalladamente al paciente o a la familia en qué consiste.

Como puente al trasplante

1. Pacientes en lista de trasplante y episodio de reagudización sobreañadido, con fallo respiratorio hipercápnico y/o hipoxémico, habitualmente $p\text{CO}_2 > 80$ mmHg y $p\text{O}_2/\text{FiO}_2 < 80$. Si no hay compromiso hemodinámico se indica una ECMO VV⁽²⁷⁾.
2. Pacientes en lista de espera de trasplante con hipertensión pulmonar severa que desarrollan fracaso del ventrículo derecho. En este caso se indica una ECMO VA, aunque algunos grupos proponen una descarga completa del VD colocando un Novalung® desde la arteria pulmonar hacia aurícula izquierda. Otro procedimiento que se propone es la colocación de una ECMO VV y la realización de una septostomía, provocando así un *shunt* derecha-izquierda de sangre oxigenada. Tanto este como el primero son procedimientos que producen una significativa mejoría del paciente^(26,27).

En el periodo postoperatorio

1. Fallo cardíaco severo con imposibilidad de desconexión del *bypass* cardiopulmonar intraoperatorio, indicándose en este caso una ECMO VA. Grupos como el de Viena, con amplia experiencia en el empleo de ECMO VA intraoperatoria en sustitución del *bypass* cardiopulmonar, utilizan la ECMO postoperatoria profiláctica en pacientes con hipertensión pulmonar⁽²⁸⁾.
2. Disfunción primaria del injerto severa, con $p\text{O}_2/\text{FiO}_2 < 100$ a pesar del soporte ventilatorio con $\text{FiO}_2 > 0,6$ y $\text{PEEP} > 10$ o imposibilidad para ventilar con Pmeseta < 35 cm H₂O⁽²⁷⁾.

Contraindicaciones

Las principales contraindicaciones son: *shock* séptico, fallo multiorgánico, arteriopatía severa, trombocitopenia inducida por heparina y todas aquellas contraindicaciones de la anticoagulación.

Factores de mal pronóstico previo a la conexión son: fracaso renal agudo, altos requerimientos de drogas vasoactivas, ventilación mecánica de larga duración, edad avanzada y obesidad.

Complicaciones

Las complicaciones pueden aparecer durante la canulación, durante 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. Durante la canulación, las complicaciones más importantes son las lesiones vasculares.

Las complicaciones hemorrágicas son las más frecuentes y son, además, la principal causa de mortalidad y de morbilidad. Es por ello muy importante monitorizar los posibles focos de sangrado (puntos de inserción de las cánulas, cirugía reciente...), mantener unos niveles rigurosos de anticoagulación, así como mantener INR normal, plaquetas > 75.000 y fibrinógeno al menos por encima de 100 mg/dl.

Otro grupo son las **complicaciones infecciosas**, por lo que en estos pacientes debe mantenerse un alto nivel de sospecha y realizar hemocultivos al menos cada 3-4 días. Las **complicaciones neurológicas** son más frecuentes cuando se realiza una canulación arterial.

Otras complicaciones menos frecuentes, pero no por ello menos importantes, son las **relacionadas con el circuito**: formación de coágulos o entrada de aire, malfuncionamiento de la bomba centrífuga o del oxigenador. Según los centros, además de la enfermería de la Unidad de Cuidados Críticos encargada del paciente, existe una perfusionista de presencia física o localizada que realiza revisiones diarias del funcionamiento del circuito.

Por todo ello, el abordaje de un paciente conectado a ECMO previo al trasplante o tras él, debe ser multidisciplinar, con alto nivel de sospecha de las posibles complicaciones a las que hacer frente en este tipo de soportes y teniendo en cuenta que podrían ser frecuentes. Asimismo, la escasez de órganos hace que la selección de pacientes deba ser cuidadosa. En general, pacientes jóvenes, en ausencia de fallo multiorgánico y con posibilidades de realizar rehabilitación tras el trasplante, presentan un buen pronóstico.

BIBLIOGRAFÍA

- Boaquevisque CH, Yi dirim E, Waddell TK, Keshavjee S. Surgical techniques: lung transplant and lung volume reduction. *Proc Am Thorac Soc.* 2009; 6 (1): 66-786.
- De Perrot M, Keshjavee S. Everting Mattress running suture: an improved technique of atrial anastomosis in human lung transplantation. *Ann Thorac Surg.* 2002; 73 (5): 1663-4.
- Gámez P, Álvarez R, Hernández H, Córdoba M, de Pablo A. Lung transplantation: How to do the venous anastomosis when the pulmonary graft has no auricular cuff. *J Heart Lung Transplant.* 2005; 24 (8): 1123-5.
- Yarbrough W, Bates M, Deuse T, Tang DG, Robbins RC, Reitz BA et al. Alternative technique for salvage of donor lungs with insufficient atrial cuffs. *Ann Thorac Surg.* 2009; 88 (4): 1374-6.
- Campos JH. Lung isolation techniques. *Anesthesiol Clin North America.* 2001; 19 (3): 455-74.
- Choice of anesthetic drugs and techniques. En: Benumoff. *Anesthesia for Thoracic Surgery.* 2ª ed. Saunders Company; 1995.
- Ramos Briones. Manejo respiratorio intraoperatorio en el trasplante pulmonar. En: de Vicente R. *Tratado de trasplante de órganos.* Madrid: Arán Ediciones; 2006.
- Pierre AF, Keshavjee S, De Perrot M, Mc Rae K. Surgical procedure. En: *Lung Transplantation Manual.* Canadá: Editorial Elsevier; 2007.
- Dinardo JA. Anesthesia for heart, heart-lung and lung transplantation. En: *Anesthesia for Cardiac Surgery.* 3ª ed. Oxford: Blackwell; 2008.
- Castillo M. Anesthetic management for lung transplantation. *Current Opinion Anesthesiol.* 2011; 24: 32-6.
- Lohser J. Evidence-based management of one-lung ventilation. *Anesthesiology Clin.* 2008; 26: 241-72.
- Myles PS. Pulmonary transplantation. En: Kaplan JA, Slinger PD. *Thoracic anesthesia.* 3ª ed. Philadelphia PA: Churchill Livingstone; 2003.
- Pasero D, Martin EL, Davi A et al. The effects of inhaled nitric oxide after lung transplantation. *Minerva Anesthesiol.* 2010; 76: 353-61.
- Della Rocca G, Coccia C, Pugliese F, Costa MG et al. Inhaled aerosolized prostacyclin and pulmonary hypertension during anesthesia for lung transplantation. *Transplant Proc.* 2001; 33: 1634-6.
- Carvalho G, Moore A, Qizilbash B, Lachapelle K, Schricker T. Maintenance of normoglycemia during cardiac surgery. *Anesth Analg.* 2004; 99: 319-24.
- Nussmeier NA, Hauser MC, Sarwar MF, et al. Anesthesia for cardiac surgical procedures. En: *Miller's Anesthesia.* 7ª ed. Churchill Livingstone Elsevier; 2010.
- Nieman G, Searles B, Carney D et al. Systemic inflammation induced by cardiopulmonary bypass: a review of pathogenesis and treatment. *J Extra Corpor Technol.* 1999; 31: 202-10.
- Christie JD et al. Report of the ISHLT Working Group on primary graft lung dysfunction part II: Definition. A Consensus Statement of the International Society for Heart and Lung Transplantation. *J Heart Lung Transplant.* 2005; 24: 1454-9.

19. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network: Ventilation with lower tidal volumes as compares with traditional tidal volumes for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2000; 342 (18): 1301-8.
20. Toomasian J, Lawson S, Harris W. The circuit. En: Annich GM, Lynch WR, McLaren G, et al. eds. *ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care.* 4^a ed. ELSO. 2012.
21. Fischer S, Hoepfer M et al. Interventional lung assist: a new concept of protective ventilation in bridge to lung transplantation. *ASAIO J.* 2008; 54 (1): 3-10.
22. Fischer S, Hoepfer M et al. Bridge to Lung Transplantation with the Extracorporeal Membrane Ventilator Novalung in the Venovenous Mode: the Initial Hannover Experience. *ASAIO J.* 2007; 53 (2): 168-70.
23. Brodie D, Bacchetta M. Extracorporeal membrane oxygenation for ARDS in adults. *N Engl J Med.* 2011; 365: 1905-14.
24. Sun HY, Ko WJ, Tsai PR, Sun CC, Chang YY, Lee CW et al. Infections occurring during extracorporeal membrane oxygenation use in adult patients. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010; 140: 1125-32.
25. Reeb J, Falcoz PE, Santelmo N, Massard G. Double lumen bi-cava cannula for veno-venous extracorporeal membrane oxygenation as bridge to lung transplantation in non-intubated patient. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2012; 14 (1): 125-7.
26. Keshavjee S, Cypel M. Extracorporeal life support pre and post lung transplantation. En: Annich GM, Lynch WR, McLaren G et al. *ECMO Extracorporeal Cardiopulmonary Support in Critical Care.* 4^a ed. ELSO; 2012.
27. Hoepfer M, Granton J. Intensive care unit management of patients with severe pulmonary hypertension and right heart failure. *Am J Respir Crit Care Med.* 2011; 184: 1114-24.
28. Aigner C, Wisser W, Taghavi S et al. Institutional experience with extracorporeal membrane oxygenation in lung transplantation. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2007; 31: 468-74.