

## 34

## Indicaciones de asistencias ventriculares: ¿alternativa o puente a trasplante? Tipos de asistencias ventriculares

María Dolores García-Cosío Carmena

*Unidad Insuficiencia Cardíaca y Trasplante. Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona*

### 34.1. Introducción

Las asistencias ventriculares son dispositivos mecánicos que permiten generar flujo sanguíneo para sustituir parcial o totalmente la función del corazón. Su uso comenzó en la década de 1950 con el desarrollo de los sistemas de circulación extracorpórea para cirugía cardíaca y desde entonces se han desarrollado distintos tipos para dar soporte circulatorio a pacientes en situación de insuficiencia cardíaca (IC) aguda o crónica.

Existe una terminología propia de este ámbito para denominar el uso de la asistencia mecánica circulatoria (AMC):

- **Puente a la decisión** (BTD, del inglés *Bridge to Decision*): se indica una AMC para mantener al paciente con vida en casos de colapso circulatorio agudo refractario al tratamiento farmacológico con riesgo inmediato de muerte, hasta que se pueda realizar una evaluación completa de su estado y de las opciones terapéuticas.
- **Puente a candidatura** (BTC, del inglés *Bridge to Candidacy*): para mejorar la función de los órganos dañados por el bajo gasto y conseguir que el paciente sea candidato a trasplante cardíaco.
- **Puente al trasplante** (BTT, del inglés *Bridge to Transplant*): como soporte vital de pacientes de alto riesgo que están en lista de espera hasta que haya un órgano disponible.
- **Puente a la recuperación** (BTR, del inglés *Bridge to Recovery*): la AMC permite mantener al paciente con vida hasta que su función cardíaca mejora lo suficiente para poder explantarla.
- **Terapia de destino** (DT, del inglés *Destination Therapy*): uso de AMC de largo plazo como alternativa al trasplante en pacientes que no son candidatos al mismo.

Como se puede ver, en las distintas posibilidades se incluyen, en ocasiones, el trasplante cardíaco y la AMC en el mismo paciente, ya que son terapias complementarias para la IC avanzada.

### 34.2. Tipos de asistencias ventriculares

Las asistencias se pueden clasificar según las características de la propia máquina o según el uso que se necesite de la misma (**Tabla 34.1**).

En los últimos años ha tenido lugar el desarrollo de una gran variedad de dispositivos y cada uno tiene características propias en cuanto a técnica de implante, recomendaciones de manejo e incidencia de complicaciones sin que haya disponibles estudios comparativos entre la mayoría de ellos. En la **Figura 34.1** se puede observar un esquema de los tipos de bombas según el sistema y el flujo que producen. En las bombas centrífugas la sangre accede por la cánula de entrada para girar en el vórtice que genera el flujo y salir finalmente por la cánula de salida (que es perpendicular a la entrada). Las bombas axiales contienen un tornillo sin fin o una hélice que genera el flujo al girar sobre sí mismo y la sangre sigue siempre la misma dirección. En las bombas pulsátiles el flujo se genera por el desplazamiento intermitente de la sangre situada en una cámara que se separa de la cánula de entrada y de salida por válvulas.

Según dispositivo
<p><b>Flujo suministrado</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Continuo:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rodillos: DeBakey®</li> <li>- Centrífugas: Biomedicus®, Rotaflow®, HeartWare®, DuraHeart®</li> <li>- Axiales: Jarvik 2000®, CircuLite®, Impella®, INCOR®, HeartMate® II</li> </ul> </li> <li>· <i>Pulsátil:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impulso neumático: BVS® 5000, Thoratec® VAD, HeartMate® IP LVAS, EXCOR®</li> <li>- Impulso eléctrico: HeartMate® I, Novacor®</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Localización respecto al paciente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Extracorpóreas:</i> BVS® 5000, CentriMag</li> <li>· <i>Paracorpóreas:</i> Thoratec® VAD, EXCOR®</li> <li>· <i>Intracorpóreas:</i> HeartMate® I, Novacor®, INCOR®, HeartMate® II, HeartWare®, DuraHeart®, corazón artificial total</li> </ul>
Según utilización
<p><b>Tiempo de asistencia</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Corto plazo</i> (1 semana): ECMO</li> <li>· <i>Medio plazo</i> (hasta 1 mes): Levitronix® CentriMag, BVS® 5000, Abiomed®</li> <li>· <i>Largo plazo</i> (alta hospitalaria): INCOR®, HeartMate® II, HeartWare®, DuraHeart®</li> </ul> <p><b>Ventrículo asistido</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· <i>Izquierda:</i> Levitronix® CentriMag, HeartMate® II, INCOR® Novacor®, HeartWare®</li> <li>· <i>Derecha:</i> Levitronix® CentriMag, BVS® 5000</li> <li>· <i>Biventricular:</i> Levitronix® Centrimag, corazón artificial total, BVS® 5000, EXCOR®</li> </ul>

**Tabla 34.1.** Tipos de asistencias ventriculares y algunos ejemplos de cada tipo de dispositivo

En ocasiones resulta complicado seleccionar el dispositivo óptimo entre dos de similares características disponibles en el mercado y, sin duda alguna, la experiencia de cada centro es un punto importante en la elección de la asistencia ventricular a implantar. En este capítulo se describirán las indicaciones y el uso de la AMC atendiendo a conceptos generales del estado clínico del paciente y de las posibles máquinas a utilizar, pero sin realizar valoraciones de cada dispositivo en concreto. El desarrollo de nuevas

bombas y sistemas es un proceso en continua evolución que puede variar la disponibilidad de cada una en el mercado, por lo que se hará hincapié en las características generales a tener en cuenta en función de las necesidades del paciente.

Los factores más importantes implicados en la elección del dispositivo a implantar son la enfermedad de base, la situación clínica del paciente y la intención con la que se quiere suplementar el gasto cardíaco.

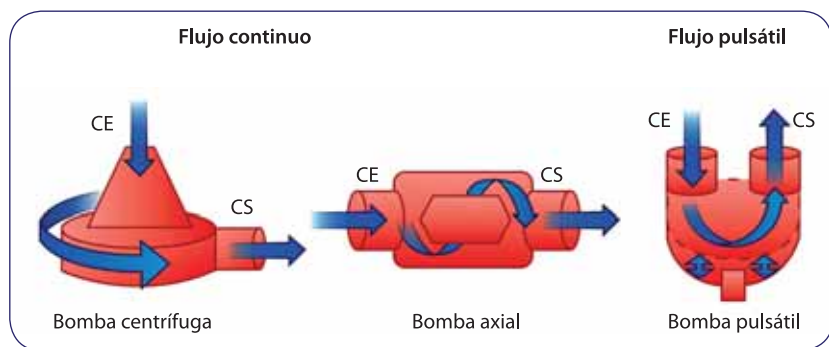
### 34.3. Indicaciones para el implante de una asistencia ventricular

La indicación de las asistencias ventriculares tiene dos vertientes: su uso en el intervencionismo coronario para procedimientos de alto riesgo y en la insuficiencia cardíaca avanzada en situación de *shock* refractario a las medidas habituales. En este capítulo se orientará el uso de la asistencia circulatoria al tratamiento de pacientes con IC.

A pesar de la diversidad de opciones que existen, a la hora de la verdad se dan situaciones clínicas diferenciadas que permiten agrupar el uso de las asistencias ventriculares en tres escenarios fundamentales: corto plazo, medio plazo y largo plazo.

La clasificación de la *New York Heart Association* (NYHA) permite clasificar a los pacientes con IC según el grado de limitación en su actividad, y ésta se relaciona con su pronóstico. Sin embargo, resulta poco discriminativa para el grupo de pacientes en clase funcional III-IV, ya que puede referirse tanto a pacientes que están en su domicilio gravemente limitados como a otros con *shock* cardiogénico refractario y fracaso multiorgánico que están en una

unidad de cuidados intensivos intubados y con tratamiento con noradrenalina y balón de contrapulsación. Para una mejor descripción de estos pacientes en clase funcional avanzada se utilizan los perfiles de INTERMACS (del inglés *Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support*)<sup>(1)</sup>. INTERMACS es un registro que se lleva a cabo en Estados Unidos y que recoge información de todos los pacientes a los que se les ha implantado una asistencia ventricular de larga duración que les permitiría a irse de alta al domicilio. Se definieron siete estadios con los que se etiquetaba a los pacientes previamente al implante de la



**Figura 34.1.** Diferentes tipos de bombas según el flujo que producen. Las flechas indican la dirección del flujo sanguíneo que accede a la bomba por la cánula de entrada (CE) y sale de la misma por la cánula de salida (CS) para volver de nuevo al paciente

Perfil	Descripción
INTERMACS 1	<i>Crash and burn.</i> Inestabilidad hemodinámica pese a dosis crecientes de catecolaminas y/o soporte circulatorio mecánico con hipoperfusión crítica de órganos diana ( <i>shock</i> cardiogénico crítico)
INTERMACS 2	<i>Sliding on inotropes.</i> Soporte inotrópico intravenoso con cifras aceptables de presión arterial y deterioro rápido de la función renal, el estado nutricional o los signos de congestión
INTERMACS 3	<i>Dependent stability.</i> Estabilidad hemodinámica con dosis bajas o intermedias de inotrópicos e imposibilidad para su retirada por hipotensión, empeoramiento sintomático o insuficiencia renal progresiva
INTERMACS 4	<i>Frequent flyer.</i> Es posible retirar transitoriamente el tratamiento inotrópico, pero el paciente presenta recaídas sintomáticas frecuentes, habitualmente con sobrecarga hídrica
INTERMACS 5	<i>Housebond.</i> Limitación absoluta de la actividad física, con estabilidad en reposo, aunque habitualmente con retención hídrica moderada y un cierto grado de disfunción renal
INTERMACS 6	<i>Walking wounded.</i> Menor limitación de la actividad física y ausencia de congestión en reposo. Fatiga fácil con actividad ligera
INTERMACS 7	<i>Placeholder.</i> Paciente en clase funcional de la NYHA II-III sin balance hídrico inestable actual ni reciente

**Tabla 34.2.** Escala INTERMACS para la clasificación de pacientes con insuficiencia cardíaca avanzada

AMC y éstos resultaron un buen marcador del pronóstico con una clara relación con la evolución del paciente a corto plazo y tras el implante<sup>(2)</sup>. Su uso se ha extendido en el mundo de la IC avanzada y se ha validado también como indicador de la evolución de los receptores de trasplante cardíaco urgente<sup>(3)</sup>. En la **Tabla 34.2** se pueden ver los perfiles incluidos en la escala INTERMACS.

### Asistencia mecánica circulatoria de corto plazo: reanimación del paciente crítico

En este grupo de pacientes se engloba el perfil INTERMACS 1-2, con un deterioro crítico resistente a tratamientos habituales, que en España incluye generalmente el balón de contrapulsación intraaórtico (BCIA) si no hay contraindicaciones para su implante.

Han sido múltiples los estudios observacionales que describieron el beneficio hemodinámico del implante del BCIA en diferentes cardiopatías, incluyendo el puente al trasplante cardíaco. Sin embargo, los estudios aleatorizados publicados en el seno del infarto han encontrado una falta de mejoría en la supervivencia con su uso<sup>(4,5)</sup> y existe poca evidencia para el implante del BCIA como tratamiento del *shock* cardiogénico fuera del infarto. Se han buscado posibles explicaciones para justificar estos ensayos negativos, como puede ser la mala selección de pacientes para los estudios o que el efecto del mismo se haya diluido en el gran beneficio que tienen los pacientes desde que se emplea la angioplastia primaria como técnica de revascularización en el infarto agudo<sup>(6)</sup>.

Las guías de práctica clínica entienden de hecho que el BCIA se debe emplear como soporte circulatorio previo a la corrección quirúrgica de complicaciones mecánicas, en las miocarditis agu-

das graves y en pacientes seleccionados con isquemia o infarto. A pesar de ello, en España es frecuente el uso del BCIA como puente al trasplante cardíaco y esto se debe en gran medida a las normas que rigen a los pacientes que están en lista de espera de trasplante, que obtienen prioridad regional para un órgano cuando reciben soporte con este dispositivo.

El paciente con un perfil INTERMACS 1-2 tiene riesgo de muerte inminente en las horas siguientes, por lo que precisa una AMC de rápida instauración y que suponga una agresión lo mínima posible para evitar precipitar un daño mayor a este paciente tan críticamente enfermo. En general en estas situaciones se busca un soporte para estabilizar la situación del paciente en unos días y poder tomar entonces la siguiente decisión terapéutica.

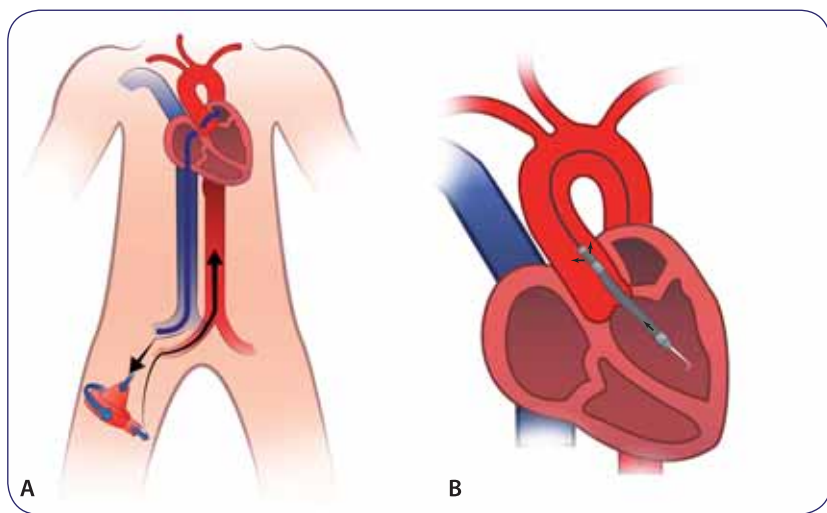
Las complicaciones más frecuentes con estas AMC están relacionadas con su inserción e incluyen isquemia de la extremidad, sangrado, daño vascular, infección y embolia. También puede producirse hemólisis, pero la mortalidad y las complicaciones mayores relacionadas directamente con el sistema son infrecuentes.

### Asistencia mecánica circulatoria percutánea: Impella® LP 2.5 y TandemHeart®

Las asistencias percutáneas intentan dar un soporte suplementario más allá del balón de contrapulsación con la ventaja de mantener un abordaje mínimamente invasivo. En la **Figura 34.2** se puede ver un esquema de las AMC utilizadas en este ámbito.

El Impella® LP 2.5 es una bomba axial de flujo continuo para dar asistencia al ventrículo izquierdo. Se inserta por vía arteria femoral (grosor del catéter de 12 Fr) y se avanza por la aorta hasta el interior del ventrículo izquierdo, de forma que la microbomba queda alojada en el ventrículo y la zona de salida del flujo en la aorta ascendente. Se puede dar flujo de hasta 2,5 l/min durante 1 semana y requiere anticoagulación completa durante su uso (existe otro sistema de inserción quirúrgica que permite un mayor soporte y que se ha probado en cirugía cardíaca, pero con el que no hay mucha experiencia para tratar la IC avanzada). Una de las limitaciones que tiene este sistema es la falta de estabilidad de la bomba a lo largo de los días, que puede requerir su recolocación para que funcione correctamente.

El TandemHeart® es una bomba centrífuga de flujo continuo para dar soporte al ventrículo izquierdo que se inserta por vía femoral (15-21 Fr). La cánula de entrada se lleva hasta la aurícula izquierda



**Figura 34.2.** Diferentes sistemas de asistencias ventriculares percutáneas. **A:** TandemHeart®, bomba de flujo continuo centrífuga; **B:** Impella®, bomba de flujo continuo axial

por la vena femoral a través de punción transeptal y la cánula de salida se introduce en la arteria femoral proporcionando un flujo de 3,5-5 l/min. Aunque requiere anticoagulación, ésta se puede reducir cuando el flujo de la asistencia sea mayor de 2 l/min. Su uso se limita a días. Uno de sus inconvenientes es que se necesita experiencia para su colocación, ya que es más laboriosa por necesitar la realización de una punción transeptal.

En ambos casos se logra mejor flujo que con el balón de contrapulsación y se mantiene la ventaja de que el paciente puede estar estubado. Desafortunadamente este aumento en el soporte no se ha acompañado de mejores resultados clínicos en cuanto a mejoría de la supervivencia y comporta un mayor riesgo de complicaciones<sup>7)</sup>. No está claro, por tanto, el papel de las AMC percutáneas como tratamiento de los pacientes con IC avanzada y su uso está reservado a las experiencias individuales en algunos centros.

### ECMO (sistema de oxigenador de membrana extracorpórea)

El ECMO es un dispositivo diseñado para realizar soporte respiratorio y/o circulatorio de los pacientes con fallo cardíaco, respiratorio o cardiorrespiratorio grave refractario al tratamiento habitual. Consiste en una modificación del sistema de circulación extracorpórea que no tiene reservorio ni sistema de recuperación de sangre y es más transportable. La cánula de entrada recoge la sangre desde una vena central del paciente, una bomba centrífuga impulsa la sangre haciéndola pasar a través de la membrana de intercambio de gases (para el aumento de la oxigenación y/o eliminación de CO<sub>2</sub>) y, a través de la cánula de salida, la devuelve a una arteria en caso de soporte circulatorio (ECMO-VA) o una vena si se proporciona únicamente soporte respiratorio (ECMO-VV). En la **Figura 34.3** se pueden ver los distintos componentes del sistema.

Las indicaciones del ECMO-VA son<sup>(8)</sup>:

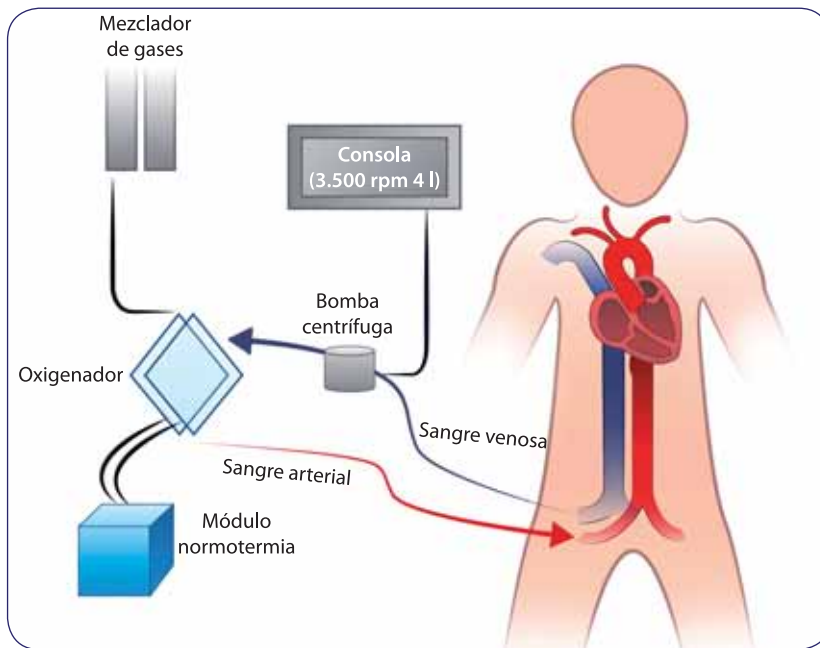
- Pacientes en *shock* cardiogénico refractario, con deterioro hemodinámico progresivo a pesar de tratamiento máximo que incluya soporte inotrópico/vasoactivo y BCIA, y con una causa reversible que hace prever una mejoría de la situación cardiovascular en las siguientes semanas (puente a la recuperación). Algunos ejemplos son *shock* postinfarto agudo de miocardio (incluyendo la tormenta eléctrica refractaria, así como las complicaciones mecánicas del mismo tales como ruptura de músculo papilar, comunicación interventricular o ruptura de pared libre del ventrículo izquierdo), contusión cardíaca, miocarditis fulminante, fracaso primario del injerto tras el trasplante cardíaco o rechazo agudo postrasplante.

- Pacientes candidatos a trasplante de corazón en situación de *shock* cardiogénico refractario a tratamiento máximo que incluya soporte inotrópico/vasoactivo y opcionalmente BCIA (como puente al trasplante).
- Pacientes en los que no se logra salir de circulación extracorpórea tras cirugía cardíaca a pesar de realizar un soporte máximo (*shock* poscardiotomía).

Las indicaciones del ECMO-VV son<sup>(9,10)</sup>: paciente con insuficiencia respiratoria grave potencialmente reversible (neumonía, contusión pulmonar, estatus asmático) que cumpla al menos alguna de las siguientes características:

- No responde a los primeros días del inicio de ventilación mecánica convencional optimizada y maniobras de reclutamiento y ventilación en decúbito prono (según experiencia) con tratamiento médico máximo.
- Paciente con síndrome de distrés respiratorio del adulto.
- Paciente con una FiO<sub>2</sub> del 100% y una PEEP > 15 cmH<sub>2</sub>O durante más de 24 h.
- Paciente en lista de espera de trasplante pulmonar con deterioro agudo que precise intubación y ventilación mecánica. Esta indicación es muy controvertida y se considera una contraindicación para trasplante pulmonar en algunos centros por el aumento de la mortalidad exponencial que supone.
- Pacientes con fracaso primario del injerto pulmonar.

Se puede hacer implante con canulación central (aurícula derecha y aorta) o periférica (vena y arteria femoral generalmente). Esto último es lo que se prefiere para los pacientes en INTERMACS 1-2 para evitar las frecuentes complicaciones que tienen en una cirugía mayor. Una de las principales ventajas del ECMO es que presenta una gran versatilidad, accesibilidad y facilidad de



**Figura 34.3.** ECMO: esquema de los componentes del sistema de oxigenador con membrana de extracorpórea. Aunque se pueden hacer funcionar otros tipos de bombas como ECMO al intercalar un oxigenador, lo más frecuente es que se utilicen los sistemas preformados que resultan, además de prácticos, más económicos

námico del paciente. Durante el soporte se requiere anticoagulación completa del paciente, que normalmente se monitoriza con ACT (del inglés *Activated Clotting Time*, tiempo de coagulación activado) de 200 s. La duración del soporte se sitúa entre 15 días y 1 mes. Se puede emplear para fracaso ventricular derecho, izquierdo o biventricular, si bien es cierto que en depresiones muy graves de la contractilidad no llega a descargar el ventrículo izquierdo correctamente y existen dudas de su papel en estos casos como puente a la recuperación. En la **Figura 34.4** se presentan imágenes de alguno de los componentes del sistema.

Se considera que son contraindicaciones para el implante de ECMO:

- Patología cardíaca o pulmonar no reversible y no candidata a trasplante.
- Contraindicación para recibir anticoagulación con heparina.
- Disección aórtica.
- Insuficiencia aórtica grave.

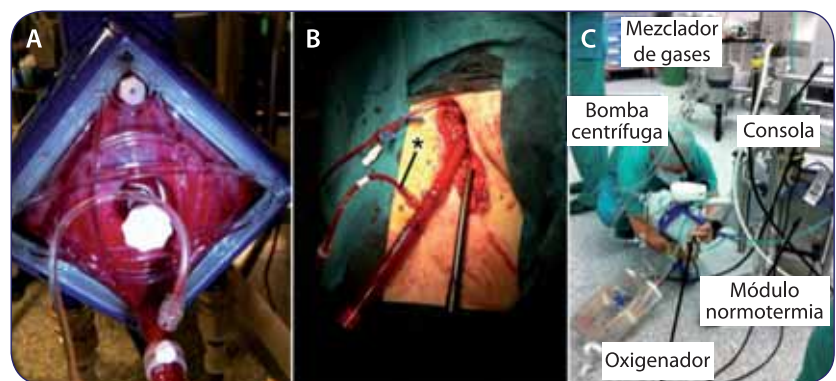
implante. Además, dada su transportabilidad, permite hacer un traslado interhospitalario con relativa facilidad.

Aunque se puede hacer a pie de cama y mediante técnica de Seldinger, lo más frecuente (y recomendado) es que se implante con cirugía abierta de la zona de acceso, dado que así se puede elegir mejor el tamaño de la cánula (18-23 Fr, factor fundamental para su buen funcionamiento) y se minimizan las complicaciones vasculares locales. La cánula arterial puede implantarse mediante una conexión terminolateral con un tubo de Gore-Tex® interpuesto, aunque la mayoría de los centros realizan el implante mediante una canulación intravascular del mayor tamaño posible. Esta cánula suele comprometer el flujo distal de la extremidad, por lo que hay que recordar la colocación de un *bypass* desde la cánula arterial hasta la zona distal de la extremidad para reducir esta complicación. Las tubuladuras son largas, lo que puede producir hipotermia en el paciente (fácilmente corregible por el módulo de temperatura que suele incluirse en el sistema)<sup>(11)</sup>.

La bomba de flujo continuo (*rotaflow*) puede llegar a proporcionar 7 l/min de flujo (lo habitual es en torno a 4-5 l/min), muy dependientes del manejo hemodi-

- Edad avanzada.
- Sepsis con fracaso multiorgánico.
- Daño neurológico irreversible.
- Neoplasia no controlada.
- Obesidad mórbida (IMC > 40 kg/m<sup>2</sup>).

Sus inconvenientes principales son, por un lado, la complejidad de manejo para mantener correctamente al paciente y, por otro, la tasa de complicaciones, en gran medida asociadas al estado de base del paciente. Además, resulta insuficiente para proporcionar un soporte total de la función cardíaca y puede necesitar asociar



**Figura 34.4.** Imágenes de algunos componentes del sistema ECMO Maquet®. **A:** membrana de oxigenación; **B:** zona de inserción de las cánulas con cirugía abierta con detalle del *bypass* para perfusión distal del miembro (\*); **C:** situación de los diferentes componentes del sistema



una AMC percutánea tipo Impella®, balón de contrapulsación o escalada a otro tipo de asistencia de mayor flujo.

Hay una alta frecuencia de fenómenos cerebrales, tanto hemorrágicos como embólicos, que son difíciles de manejar por las alteraciones hematológicas que suelen tener estos pacientes, incluyendo resistencia a la heparina, coagulopatía de consumo o hemólisis.

Generalmente los pacientes permanecen conectados a un respirador e inmovilizados y presentan infecciones asociadas a la ventilación mecánica o por catéteres que, unidas a la miopatía del paciente crítico si el soporte se prolonga, condicionan en gran medida el devenir de los mismos.

Como norma general se asume que el ECMO es un sistema de reanimación que permite asistir a los pacientes sacándolos de la situación más crítica y que da una ventana de actuación de aproximadamente 7-10 días. Tras la primera semana, la incidencia de complicaciones comprometerá su pronóstico, por lo que hay que tener claro cuáles son las opciones siguientes: explante por mejoría (típico de la miocarditis fulminante o del fracaso primario del injerto tras el trasplante cardíaco), trasplante cardíaco urgente (para lo que el ECMO permite prioridad nacional) o implante de otro dispositivo de mayor durabilidad<sup>(12)</sup>. El ECMO es, por todo esto, el dispositivo estrella como puente a la decisión.

### Asistencia mecánica circulatoria de medio plazo: ganando tiempo

En este grupo de pacientes se encuadra el perfil INTERMACS 2-3 o pacientes que se recuperan desde una asistencia de corto plazo y que necesitan algo más de tiempo (o un mayor soporte) sin llegar a ser candidatos a un implante de una AMC de larga duración en el momento en que se valoran. Los casos de *shock* cardiogénico agudo suelen necesitar por norma una AMC biventricular, aunque se deban a enfermedades que afecten al corazón izquierdo como un infarto anterior. Clásicamente se han implantado varios dispositivos en este contexto, como la BVS® 5000, que producía un flujo pulsátil mediante un sistema extracorpóreo de bombas en forma de columnas cuyo funcionamiento dependía en parte de la altura de las mismas respecto al paciente y podía dar soporte ventricular derecho, izquierdo o biventricular. También es otro ejemplo la bomba extracorpórea centrífuga BioMedicus® empleada en muchas ocasiones para el *shock* poscardiotomía. Estos dispositivos se enmarcan en el seno de pacientes graves, generalmente intubados e ingresados en unidades de cuidados intensivos cardiovasculares, por lo que los resultados con los mismos oscilan entre un 30% y un 60% de supervivencia al alta según la selección de los pacientes (si el soporte es como rescate en *shock* establecido, la supervivencia esperable en centros con experiencia ronda el 40%).

En las guías de práctica clínica de IC no se diferencia entre los dispositivos percutáneos, el ECMO y las AMC denominadas en este tema "de medio plazo", ya que todos se incluyen en el apartado de soporte circulatorio de corto plazo. Sin embargo, las indicaciones de estas bombas son un poco diferentes, ya que permiten mantener al paciente con mayor seguridad y son una buena opción como puente a la recuperación o como puente al trasplante, asegurando el buen estado del paciente.

Sus complicaciones más frecuentes son los fenómenos tromboembólicos (incluidos los del sistema nervioso central), las infecciones y las alteraciones hematológicas como la plaquetopenia y la hemólisis.

### Levitronix®-CentriMag

Es el dispositivo que se utiliza más hoy en día en este grupo de pacientes y se tiene una amplia experiencia tanto en Europa como en Estados Unidos. Esta AMC extracorpórea es una bomba centrífuga que proporciona un flujo continuo generado en un rotor que levita en un campo magnético. Gracias a este sistema su hemodinámica es menos traumática, por lo que parece producir menor grado de hemólisis y de trombosis, lo que hace que las necesidades de anticoagulación sean algo menores (ACT por debajo de 100 s).

Puede producir un flujo de hasta 10 l/min y es fácilmente transportable con baterías que duran 1 h, lo que permite trasladar al paciente a realizar pruebas complementarias o incluso a otros centros. Entre sus ventajas se incluyen su sencillez de uso (únicamente hay que ajustar las revoluciones por minuto a las que rota la bomba, véase la **Figura 34.5**) y su versatilidad, ya que puede dar soporte a ventrículo izquierdo, ventrículo derecho, biventricular o como el ECMO si se intercala un oxigenador, y hacer canulación central o por acceso quirúrgico periférico<sup>(13)</sup>.

La canulación como regla general se hace mediante esternotomía con acceso central, en el que se implanta una cánula auricular derecha y otra en la arteria pulmonar en el caso de asistencia derecha y una cánula de entrada en el ápex del ventrículo izquierdo con salida a la aorta para asistencia ventricular izquierda. Clásicamente se recomendaba la canulación de entrada de la asistencia izquierda en la aurícula sobre la base de que el ventrículo izquierdo se mantenía intacto y así se favorecía su recuperación. Con el paso del tiempo se describieron casos de trombosis intracavitarias por falta de flujo en cavidades izquierdas y, además, se observó una falta de descarga del ventrículo. Además, ahora se sabe que es posible retirar con seguridad una cánula apical en casos de mejoría del paciente que permitan el explante del dispositivo, por lo que la aproximación preferida en la actualidad es implantar la cánula de entrada en el ápex del ventrículo izquierdo<sup>(14, 15)</sup>.



**Figura 34.5.** Levitronix® CentriMag. **A:** detalle de la bomba centrífuga; **B:** consolas en un caso de soporte biventricular durante una prueba de destete a bajas revoluciones por minuto; **C:** como soporte biventricular en una paciente con miocardiopatía dilatada. Se observa la deambulación de la paciente con las bombas extracorpóreas que van alojadas en el carro

La Levitronix® CentriMag está aprobada para proporcionar soporte durante un plazo de 30 días, aunque se han documentado experiencias más prolongadas sin incidencias (fuera de las recomendaciones de la casa comercial). Una de sus mayores ventajas es que puede permitir avanzar en el cuidado de los pacientes llegando a extubarlos, movilizarlos e incluso hacer rehabilitación y nutrición enteral adecuada con una correcta fijación de las cánulas<sup>(16)</sup> (Figura 34.5).

### Asistencia mecánica circulatoria de largo plazo: una alternativa real

El trasplante cardíaco es el tratamiento de elección establecido para los pacientes con IC avanzada refractaria al tratamiento habitual. Sin embargo, en los últimos años en España se está reproduciendo la situación que ya se vivía en otros países desde hace décadas, y es que el número de candidatos es cada vez mayor y los donantes disponibles se reducen progresivamente<sup>(17)</sup>. Este desequilibrio ha creado la necesidad de buscar alternativas para el tratamiento de la IC terminal, lo que unido al desarrollo tecnológico de la última década hacen que hoy en día la AMC de largo plazo (que permite que el paciente se vaya de alta al domicilio) sea una posibilidad real para el tratamiento de estos pacientes.

Aunque desde hace años se conocía casos aislados en los que se empleaba AMC para el tratamiento de los pacientes (generalmente como puente al trasplante), el punto de inflexión que

permitió incluir esta terapéutica en el día a día fue la realización del primer ensayo clínico aleatorizado en este campo: el estudio REMATCH<sup>(18)</sup>. Se aleatorizaron 129 pacientes con IC terminal (70% dependientes de inotrópicos) no candidatos a trasplante cardíaco a recibir una AMC pulsátil intracorpórea (HeartMate® I) y se observó un aumento en la supervivencia al año y a los 2 años de seguimiento. Además, se mejoró significativamente la calidad de vida y la clase funcional en el grupo tratado con AMC, aunque su mortalidad a los 2 años fue elevada debido a sepsis y a fallos del dispositivo. Un estudio posterior comparó el mismo dispositivo 1:2 con una AMC intracorpórea de flujo continuo axial (HeartMate® II) y se observó una nueva mejoría en la supervivencia de los pacientes, que además tuvieron una menor tasa de eventos cerebrales y de fallos del dispositivo<sup>(19)</sup>, lo que reforzó el uso de AMC como terapia de destino. Como puente al trasplante los dispositivos pulsátiles se habían aprobado con anterioridad, por

lo que la mayoría de los estudios publicados son no aleatorizados y constatan unos buenos resultados con un 75% de supervivencia, trasplante o recuperación al año de tratamiento<sup>(20)</sup>. Existe un interesante trabajo de los hospitales Royal Brompton y Harefield en el que se logró la recuperación de la función cardíaca tras dar soporte circulatorio a 15 pacientes con un HeartMate® I asociado a tratamiento médico intensivo de la IC y clembuterol, posteriormente ampliado al uso del HeartMate® II en otros 20 pacientes<sup>(21, 22)</sup>. Aunque fueron resultados muy esperanzadores en el potencial de la AMC como tratamiento definitivo de la IC, es el único centro que ha logrado esta reversibilidad y no está claro cómo reproducir los excelentes resultados de un 70% y un 60% de éxito libre de AMC y/o trasplante.

Desde ese momento se comenzó a desarrollar un nuevo campo en el que había mucho por conocer: ¿cómo hacer el seguimiento de los pacientes?, ¿qué limitaciones se han de establecer en su actividad diaria?, ¿cómo mejorar la selección para el implante?, ¿qué complicaciones específicas se pueden derivar del uso de estas AMC, que en la mayoría de los casos cambian la circulación del paciente reduciendo su pulsatilidad sanguínea?

El número de implantes ha crecido en pocos años y desde junio de 2006 éstos se han recogido en el registro INTERMACS<sup>(23)</sup>, de participación obligatoria en los centros autorizados para implante de AMC de larga duración en Estados Unidos que cuenta hoy en día con información de más de 10.000 implantes de AMC de

larga duración de diferentes tipos. Este registro está actualmente en proceso de generalización a la Sociedad Internacional de Trasplante de Corazón y Pulmón y se ha activado ya la inclusión de pacientes en el registro IMACS (*International Society of Heart and Lung Transplantation Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support*) para poder recoger datos de todo el mundo (si bien la participación en éste es voluntaria).

Este cambio de escenario se ha visto reflejado en las guías de práctica clínica de la Sociedad Europea y Americana de Cardiología. Según éstas, las indicaciones para el implante de una AMC de larga duración son<sup>(24, 25)</sup>:

- Se recomienda el implante de una AMC izquierda o biventricular en pacientes seleccionados afectados de IC terminal a pesar de tratamiento óptimo y que son candidatos a trasplante cardíaco con la intención de mejorar los síntomas, reducir las hospitalizaciones por IC y el riesgo de muerte prematura mientras esperan el trasplante (recomendación I, nivel de evidencia B en la Sociedad Europea y, en la Americana, IIa con evidencia B).
- Se recomienda el implante de una AMC izquierda en pacientes altamente seleccionados no candidatos a trasplante cardíaco con IC terminal a pesar de tratamiento óptimo y que tengan un pronóstico vital de más de 1 año con la intención de mejorar los síntomas, reducir las hospitalizaciones por IC y el riesgo de muerte prematura (recomendación IIa, nivel de evidencia B).

Llama la atención la escasa información de AMC que se puede encontrar en las guías de práctica clínica de insuficiencia cardíaca y esto se debe probablemente a que el campo es tan amplio pero a la vez tan específico, que requiere una atención especial y unas guías propias en las que se pueda especificar recomendaciones concretas en cuanto a la selección, el implante y el manejo de los pacientes (tanto agudo como tras el alta domiciliaria). En los últimos 2 años hay disponibles unas recomendaciones para el uso de AMC de la Sociedad Americana de Cardiología<sup>(26)</sup> y más recientemente las guías de la Sociedad Internacional de Trasplante de Corazón y Pulmón<sup>(27)</sup>, si bien hay que remarcar que la mayoría de recomendaciones tienen un nivel de evidencia C.

En España, hasta ahora, el soporte circulatorio no era la práctica habitual y, de hecho, no estaba necesariamente disponible en todos los centros que realizan trasplante (que es la indicación más frecuente). Los tiempos de espera para un corazón, incluso en situación de urgencia, se han prologado y ahora mismo mantener a un paciente con un BCIA o un soporte circulatorio de corto plazo no constituye ya una alternativa segura, lo que favorecerá el uso de AMC de largo plazo como puente al trasplante. En cuanto a la AMC como terapia de destino, está muy poco desarrollada y se ciñe a casos anecdóticos en algunos centros. Aunque se aboga por el tema económico como principal causa del infradesarrollo de la AMC en España, hay otras técnicas que sí están pro-

gresando y que tienen también un alto coste como las terapias inmunológicas. Seguramente la coyuntura de la crisis económica en el momento de la explosión de la AMC como terapia de destino haya influido, pero también juega un papel fundamental la escasa experiencia y, por tanto, la falta de especialización (que es tan necesaria) para el desarrollo exitoso de un programa de AMC.

Los potenciales receptores de una AMC de largo plazo son pacientes con síntomas graves de IC a pesar de tratamiento óptimo y, además, uno de los siguientes: fracción de eyección ventricular izquierda menor del 25% (y si hay disponible medición de consumo de oxígeno por debajo de 12 ml/kg/min), tres o más hospitalizaciones por IC sin una causa clara en el último año, dependencia de tratamiento con inotrópicos, daño orgánico progresivo por hipoperfusión a pesar de presiones de llenado adecuadas y deterioro de función ventricular derecha.

Se han desarrollado sistemas de puntuación para valorar el riesgo del implante, pero no hay uno exclusivo que se pueda generalizar para todos los dispositivos. Sin embargo, existen varios factores que coinciden en los distintos trabajos y que están relacionados con un mayor riesgo, entre los que se encuentran:

- Edad.
- Perfil de INTERMACS: riesgos aceptables con perfil mayor de 2.
- Cirugía cardíaca previa.
- Asistencia mecánica previa.
- Ventilación mecánica.
- Infección previa.
- Implante urgente.
- Hipoalbuminemia.
- Deterioro de la función renal.
- Coagulopatía.
- Volumen de implantes del centro.

En la selección de un paciente para el implante de una AMC de largo plazo se debe realizar una valoración minuciosa de los factores que pueden complicar la evolución del paciente después de la cirugía, con especial atención en los siguientes aspectos:

- **Accidentes vasculares cerebrales previos.** Hay un riesgo de hemorragia y/o isquemia cerebral en pacientes con AMC de largo plazo y la frecuencia es mayor si el paciente ya tenía antecedentes.
- **Alteraciones hematológicas.** Dado el riesgo de sangrado y/o trombosis tras el implante, se debe investigar posibles trombofilias o anemias por sangrado de causa no aclarada.
- **Infecciones.** Una de las mayores complicaciones que podrá aparecer es la infección, por lo que se ha de asegurar que no hay infección o que está bajo control en el momento del implante. Se ha de elegir la profilaxis antibiótica según la situación particular de cada paciente.
- **Nivel intelectual y soporte familiar.** Dado que el paciente deberá cuidar de la AMC tras el alta hospitalaria, debe indagarse las posibilidades de ayuda que tendrá. Un mal sopor-



te familiar y un mal cuidado de la AMC equivalen a un alto riesgo de fallo o infección del dispositivo que puede llegar a desencadenar la muerte del paciente.

- **Estado nutricional y de masa muscular.** Es uno de los factores que se relacionan con la evolución de los pacientes y que se debe mejorar en la medida de lo posible previamente al implante.

Lo más frecuente es que las asistencias de larga duración sean para soporte del ventrículo izquierdo (LVAD), por lo que su uso está limitado en casos de fracaso biventricular y éste es su principal talón de Aquiles. El fracaso de ventrículo derecho tras el implante de una LVAD se define en este contexto como la necesidad de AMC derecha, de óxido nítrico durante más de 48 h o tratamiento inotrópico durante más de 14 días. Su incidencia oscila entre un 15% y un 30% según las series y ha sido un tema relevante de estudio. En la evaluación de un paciente para el implante de una LVAD una información fundamental es, por tanto, la valoración del riesgo de fracaso de ventrículo derecho. En la **Tabla 34.3** se pueden observar los factores de riesgo para el fracaso de ventrículo derecho descritos.

Factores de riesgo para el fracaso de ventrículo derecho	
•	<b>Demográficos:</b>
-	Sexo femenino
-	Superficie corporal pequeña
-	Miocardiopatía no isquémica
-	Intubación orotraqueal
-	Asistencia ventricular previa
-	Tratamiento con inotrópicos
•	<b>Analíticos:</b>
-	Creatinina
-	Bilirrubina
-	Transaminasas
-	Plaquetas
•	<b>Ecocardiográficos:</b>
-	Diámetro ventricular izquierdo pequeño
-	Área fraccional del ventrículo derecho
-	Insuficiencia tricúspide grave
-	Ratio entre diámetro corto y largo de VD
-	Ratio entre diámetro de AI y VI
•	<b>Hemodinámicos:</b>
-	Presión de aurícula derecha alta
-	Gradiente transpulmonar alto
-	Presiones pulmonares bajas
-	PAD > PCP
-	Step-up pressure < 15 mmHg
-	RVSWI < 400
(VD: ventrículo derecho; AI: aurícula izquierda; VI: ventrículo izquierdo; PAD: presión de aurícula derecha; PCP: presión de enclavamiento pulmonar; step-up pressure: presión pulmonar media – presión de aurícula derecha; RVSWI: índice de trabajo del ventrículo derecho)	

**Tabla 34.3.** Predictores de fracaso de ventrículo derecho tras el implante de una asistencia mecánica circulatoria izquierda

Curiosamente son los factores clínicos (elevación de transaminasas y/o bilirrubina, deterioro renal) y hemodinámicos (dependencia de inotrópicos, *step-up pressure*, índice de trabajo del ventrículo derecho) los que más están asociados con esta complicación, mientras que la valoración con ecocardiografía habitual no permite utilizar los mismos límites de referencia para valorar correctamente este cuadro y se han tenido que desarrollar nuevos índices como la relación entre el diámetro del ventrículo derecho respecto al izquierdo o entre el tamaño auricular y ventricular izquierdos.

Cuando los pacientes reciben una asistencia biventricular en lugar de una LVAD, la mortalidad aumenta exponencialmente, por lo que en algunos centros se considera que puede llegar a ser una contraindicación para el implante de una AMC de largo plazo. Sin duda alguna, el campo del soporte circulatorio biventricular tiene mucho por crecer y, con las opciones actuales, está reservado a algunos centros que implantan corazón artificial total con resultados peores a LVAD (seguramente condicionados por las circunstancias de los pacientes que presentan este tipo de enfermedad).

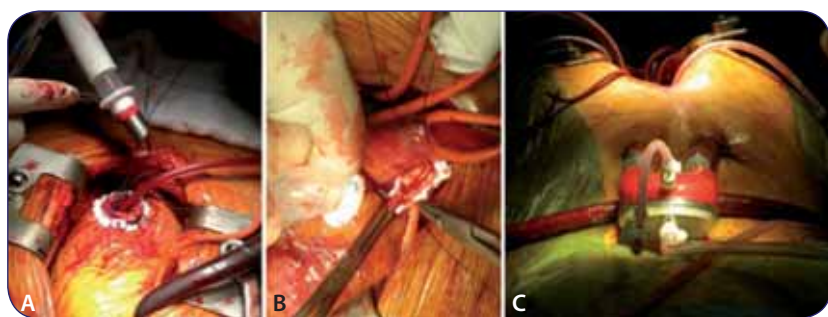
### Asistencia pulsátil

En este grupo se incluyen las asistencias paracorpóreas (Thoratec® VAD, Berlin Heart EXCOR®, Abiomed AB 5000®) o intracorpóreas (Thoratec® IP o HeartMate® I). En la **Figura 34.6** se muestran algunos ejemplos. Desde el desarrollo de la LVAD de flujo continuo con mejores resultados, el uso de este tipo de asistencias se reserva fundamentalmente para casos en los que se necesita soporte biventricular. Además, el EXCOR® se emplea como AMC en niños en todo el mundo por la gran variedad de tamaño de ventrículos y cánulas de que dispone. Hay otra indicación que no se hace en Estados Unidos pero que es frecuente en nuestro medio, y es el uso de asistencia paracorpórea pulsátil para soporte de ventrículo izquierdo como soporte de largo plazo puente al trasplante. Este sistema tiene un menor coste que las bombas de flujo continuo intracorpóreas, lo que tiene importancia en un sistema sanitario público. Al tener una AMC de largo plazo, el paciente adquiere una prioridad regional para recibir un corazón, que suele tardar alrededor de 1 mes desde que se activa en la lista de espera. Aunque no se dispone de estudios aleatorizados para comparar resultados, en general el tiempo de soporte necesario para recibir un corazón es más corto que en otros países, por lo que el riesgo-beneficio parece razonable, ya que el tiempo de exposición a posibles complicaciones se reduce.

En general, la canulación se realiza con cánula de entrada en aurícula derecha y de salida en pulmonar para la asistencia derecha y con cánula de entrada desde ápex de ventrículo izquierdo con salida a la aorta ascendente para la asistencia izquierda. Las cánulas atraviesan la piel por debajo de la parrilla costal y las bombas quedan alojadas sobre la superficie del abdomen (**Figura 34.7**). El sistema se conecta a la consola de control en la que se progra-



**Figura 34.6.** Detalles de algunos dispositivos pulsátiles de larga duración. **A:** controlador de HeartMate® I; **B:** soporte biventricular con Thoratec® VAD; **C:** controlador y baterías en el carro transportable de Berlin Heart EXCOR®



**Figura 34.7.** Implante de una asistencia ventricular izquierda pulsátil de larga duración Berlin Heart EXCOR®. **A:** inserción de cánula de entrada en ápex de ventrículo izquierdo; **B:** cánula de salida suturada a la aorta ascendente; **C:** salida de ambas cánulas a través de la piel y conexión con el ventrículo artificial

man parámetros para su funcionamiento (frecuencia de la bomba, porcentaje de sístole, presión de succión o de eyección) y que van unidos a corriente eléctrica o baterías según el tipo de consola empleada. En el caso del HeartMate® I, Novacor® o Thoratec® IP los ventrículos artificiales quedan alojados en la cavidad abdominal.

Tienen válvulas de entrada y de salida en el ventrículo artificial, que pueden tener riesgo de trombosis en el caso de ser mecánicas o de degeneración si son biológicas. Requieren que el paciente reciba tratamiento con antiagregación (con dos fármacos en algunos dispositivos) y anticoagulación a dosis plenas.

Sus principales ventajas son la capacidad para dar soporte biventricular y la posibilidad de adaptación del tamaño necesario de ventrículo según la superficie corporal. Además, en los casos de bomba paracorpórea, puede monitorizarse la aparición de trombos o complicaciones a nivel del ventrículo de forma precoz, que se pueden solucionar en muchas ocasiones con el recambio del ventrículo sin necesitar una nueva cirugía.

### Asistencia intracorpórea de flujo continuo

Dentro de estos sistemas se incluyen HeartMate® II, Berlin Heart INCOR® (que no está aprobado en Estados Unidos), DuraHeart®

(centrífuga de levitación magnética), Jarvik 2000® y HeartWare® (centrífuga en uso en Europa y en fase de desarrollo de ensayo clínico en Estados Unidos; **Figura 34.8**). Todos ellos proporcionan asistencia ventricular izquierda exclusivamente y, aunque hay casos descritos de asistencia biventricular con HeartWare®, son sólo series de casos y esta indicación no está recomendada por la casa comercial<sup>(28)</sup>.

El implante varía según el dispositivo concreto, pero todos ellos tienen una cánula de entrada en el ápex del ventrículo izquierdo y una cánula de salida que se conecta a la aorta. No hay válvulas que separen el sistema de producción del flujo de las cavidades del paciente, por lo que son bombas especialmente dependientes del estado del paciente y su funcionamiento puede verse comprometido de forma fácilmente reversible en casos de hipovolemia o hipertensión arterial. La bomba tiene una línea de salida que se distribuye por el tejido celular subcutáneo del abdomen y sale al exterior para conectarse al controlador y las baterías.

Aunque sean de flujo continuo, siempre tienen cierta pulsatilidad debido a que funcionan con interdependencia con el ventrículo derecho del paciente, que tiene que tener una contractilidad aceptable. En los ajustes a realizar se debe programar las revoluciones por minuto y, según las mismas y el estado de precarga y poscarga, se dará un flujo que puede alcanzar hasta los 10 l/min en condiciones ideales.

Requiere tratamiento con anticoagulación y al menos un antiagregante.

La reducción en la pulsatilidad de la circulación de los pacientes acarrea una serie de complicaciones específicas. Se ha observado que se puede producir fusión de los velos de la válvula aórtica e insuficiencia aórtica secundaria debido a que el paciente deja de abrir la válvula si todo el flujo sanguíneo va a través de la LVAD. Esto se puede prevenir intentando ajustar las revoluciones de la bomba para que el gasto cardíaco se produzca a medias entre la asistencia y el corazón del paciente, que abrirá la válvula aórtica de forma intermitente. Se ha observado un aumento de sangrado en estos pacientes y esto puede deberse a dos factores: el desarrollo de malformaciones arteriovenosas intestinales (supuestamente debidas a la pérdida de la pulsatilidad) y el desarrollo



**Figura 34.8.** Sistemas intracorpóreos de flujo continuo. **A:** monitorización invasiva de presión arterial en el que se observa la pérdida de pulsatilidad; **B:** línea de salida en la que se observa inflamación y supuración, ambas sugerentes de infección; **C:** bomba axial tras su colocación en la cavidad pericárdica (Berlin Heart INCOR®); **D:** bomba centrífuga (HeartWare®)

El gran inconveniente es que, dado que se retiran los ventrículos del paciente, el fallo del dispositivo conlleva la muerte del paciente y, en caso de requerir recambio por infección, la única opción de tratamiento sería el trasplante o el recambio por un nuevo corazón artificial.

La experiencia se concentra en muy pocos centros, fundamentalmente en Estados Unidos y en el Hospital de La Pitié en París, y los resultados son más dependientes del centro implantador que para cualquier otro tipo de AMC.

del déficit de Von Willebrand adquirido, que es reversible tras el explante de la LVAD.

Estas asistencias son los sistemas con mejores durabilidad y resultados en la actualidad para el soporte ventricular izquierdo aislado. Sin embargo, la mayoría de los datos de los que se dispone provienen del HeartMate® II y hay que tener en cuenta que las tasas de trombosis, infección, fallo del dispositivo o sangrado pueden variar en cada AMC en concreto. Además, el eterno debate de flujo continuo frente a flujo pulsátil no se puede dar por terminado ya que, aunque la información actual parece favorecer el uso del flujo continuo como asistencia circulatoria a largo plazo, no está claro qué consecuencias pueden tener las complicaciones específicas del mismo a muy largo plazo ni si surgirán sistemas pulsátiles con una durabilidad suficiente para poder establecer comparaciones de igual a igual.

### Corazón artificial total

El corazón artificial total es un sistema de AMC biventricular que sustituye los ventrículos del paciente por unos artificiales que se alojan en la cavidad pericárdica. Los dispositivos disponibles son fundamentalmente CardioWest® y AbioCor®.

Los resultados en cuanto a mortalidad y complicaciones son peores que con las asistencias continuas totalmente implantables, lo que podría explicarse al menos en parte porque el perfil de paciente que recibe la AMC es muy diferente.

Su ventaja fundamental es la posibilidad de soporte biventricular, pero no existen estudios que comparen este dispositivo con otros capaces de darlo, como las bombas paracorpóreas pulsátiles. Su uso reconocido es como puente al trasplante porque ha demostrado una mejoría en la supervivencia de los pacientes tanto al trasplante como después del mismo respecto al tratamiento estándar<sup>(29)</sup>.

## Ideas para recordar

- ❖ La asistencia mecánica circulatoria permite sustituir parcial o totalmente la función cardíaca y está indicada en insuficiencia cardíaca refractaria a los tratamientos habituales.
- ❖ El dispositivo de asistencia a implantar depende de la situación clínica y de las necesidades de soporte. Se diferencian tres grupos fundamentales: corto, medio y largo plazo.
- ❖ En la insuficiencia cardíaca avanzada deben utilizarse los perfiles de INTERMACS para describir diferentes situaciones clínicas que se relacionan con el pronóstico de los pacientes y ayudan a guiar la estrategia terapéutica.
- ❖ En los pacientes con *shock* establecido (INTERMACS 1) la asistencia circulatoria a emplear debe ser de corto plazo, mínimamente invasiva y con la intención de rescatar al paciente en horas. Algunas posibilidades son las asistencias percutáneas y el ECMO.
- ❖ Las asistencias de medio plazo (1 mes) permiten asistir mejor al paciente y sustituir completamente la función del corazón, pero requieren por lo general una cirugía con esternotomía para su implante.
- ❖ En pacientes con insuficiencia cardíaca crónica dependientes de inotrópicos (INTERMACS 3) se puede implantar una asistencia ventricular izquierda de largo plazo en casos seleccionados para reducir la mortalidad y hospitalizaciones, y mejorar la calidad de vida.
- ❖ La asistencia circulatoria de largo plazo se puede utilizar como puente al trasplante o como alternativa en pacientes no candidatos a trasplante y es un campo muy específico de gran desarrollo en el mundo que está infrutilizado en España.

## Bibliografía

1. Stevenson LW, Pagani FD, Young JB, Jessup M, Miller L, Kormos RL, *et al.* INTERMACS profiles of advanced heart failure: The current picture. *J Heart Lung Transplant* 2009; 28 (6): 535-541.
2. Boyle AJ, Ascheim DD, Russo MJ, Kormos RL, John R, Naka Y, *et al.* Clinical outcomes for continuous-flow left ventricular assist device patients stratified by pre-operative INTERMACS classification. *J Heart Lung Transplant* 2011; 30 (4): 402-407.
3. Barge-Caballero E, Segovia-Cubero J, Almenar-Bonet L, Gonzalez-Vilchez F, Villa-Arranz A, Delgado-Jimenez J, *et al.* Preoperative INTERMACS profiles determine postoperative outcomes in critically ill patients undergoing emergency heart transplantation: Analysis of the spanish national heart transplant registry. *Circ Heart Fail* 2013; 6 (4): 763-772.
4. Unverzagt S, Machemer MT, Solms A, Thiele H, Burkhoff D, Seyfarth M, *et al.* Intra-Aortic balloon pump counterpulsation (IABP) for myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Cochrane Database Syst Rev* 2011 (7): CD007398.
5. Cheng JM, van Leeuwen MA, de Boer SP, Wai MC, den Uil CA, Jewbali LS, *et al.* Impact of intra-aortic balloon pump support initiated before versus after primary percutaneous coronary intervention in patients with cardiogenic shock from acute myocardial infarction. *Int J Cardiol* 2013; 168 (4): 3.758-3.763.
6. Romeo F, Acconcia MC, Sergi D, Romeo A, Muscoli S, Valente S, *et al.* The outcome of intra-aortic balloon pump support in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock according to the type of revascularization: A comprehensive meta-analysis. *Am Heart J* 2013; 165 (5): 679-692.
7. Cheng JM, den Uil CA, Hoeks SE, van der Ent M, Jewbali LS, van Domburg RT, Serruys PW. Percutaneous left ventricular assist devices vs. Intra-Aortic balloon pump counterpulsation for treatment of cardiogenic shock: A meta-analysis of controlled trials. *Eur Heart J* 2009; 30 (17): 2.102-2.108.
8. Taghavi S, Zuckermann A, Ankersmit J, Wieselthaler G, Rajek A, Laufer G, *et al.* Extracorporeal membrane oxygenation is superior to right ventricular assist device for acute right ventricular failure after heart transplantation. *Ann Thorac Surg* 2004; 78 (5): 1.644-1.649.
9. Brodie D, Bacchetta M. Extracorporeal membrane oxygenation for ARDS in adults. *N Engl J Med* 2011; 365 (20): 1.905-1.914.
10. Davies A, Jones D, Bailey M, Beca J, Bellomo R, Blackwell N, *et al.* Extracorporeal membrane oxygenation for 2009 influenza A (H1N1) acute respiratory distress syndrome. *JAMA* 2009; 302 (17): 1.888-1.895.
11. Marasco SF, Lukas G, McDonald M, McMillan J, Ihle B. Review of ECMO (extra corporeal membrane oxygenation) support in critically ill adult patients. *Heart Lung Circ* 2008; 17 (Suppl 4): S41-S47.
12. Takayama H, Truby L, Koekort M, Uriel N, Colombo P, Mancini DM, *et al.* Clinical outcome of mechanical circulatory support for refractory cardiogenic shock in the current era. *J Heart Lung Transplant* 2013; 32 (1): 106-111.
13. Takayama H, Naka Y, Kodali SK, Vincent JA, Addonizio LJ, Jorde UP, Williams MR. A novel approach to percutaneous right-ventricular mechanical support. *Eur J Cardiothorac Surg* 2012; 41 (2): 423-426.
14. Shuhaiber JH, Jenkins D, Berman M, Parameshwar J, Dhital K, Tsui S, Large SR. The papworth experience with the levitronix centrimag ventricular assist device. *J Heart Lung Transplant* 2008; 27 (2): 158-164.
15. Worku B, Pak SW, van Patten D, Housman B, Uriel N, Colombo P, *et al.* The centrimag ventricular assist device in acute heart failure refractory to medical management. *J Heart Lung Transplant* 2012; 31 (6): 611-617.
16. Takayama H, Chen JM, Jorde UP, Naka Y. Implantation technique of the centrimag biventricular assist device allowing ambulatory rehabilitation. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2011; 12 (2): 110-111.
17. Alonso-Pulpón L, Segovia J, Gómez-Bueno M, García-Pavía P. Heart transplantation: Organisational aspects and current trends in immunosuppression—a view from Spain. *Heart* 2012; 98 (11): 878-889.
18. Rose EA, Gelijns AC, Moskowitz AJ, Heitjan DF, Stevenson LW, Dembitsky W, *et al.* Long-Term use of a left ventricular assist device for end-stage heart failure. *N Engl J Med* 2001; 345 (20): 1.435-1.443.
19. Slaughter MS, Rogers JG, Milano CA, Russell SD, Conte JV, Feldman D, *et al.* Advanced heart failure treated with continuous-flow left ventricular assist device. *N Engl J Med* 2009; 361 (23): 2.241-2.251.
20. Miller LW, Pagani FD, Russell SD, John R, Boyle AJ, Aaronson KD, *et al.* Use of a continuous-flow device in patients awaiting heart transplantation. *N Engl J Med* 2007; 357 (9): 885-896.

21. Birks EJ, Tansley PD, Hardy J, George RS, Bowles CT, Burke M, *et al.* Left ventricular assist device and drug therapy for the reversal of heart failure. *N Engl J Med* 2006; 355 (18): 1.873-1.884.
22. Birks EJ, George RS, Hedger M, Bahrami T, Wilton P, Bowles CT, *et al.* Reversal of severe heart failure with a continuous-flow left ventricular assist device and pharmacological therapy: A prospective study. *Circulation* 2011; 123 (4): 381-390.
23. Kirklin JK, Naftel DC, Stevenson LW, Kormos RL, Pagani FD, Miller MA, *et al.* INTERMACS database for durable devices for circulatory support: First annual report. *J Heart Lung Transplant* 2008; 27 (10): 1.065-1.072.
24. McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Böhm M, Dickstein K, *et al.* ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012: The task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 2012; 33 (14): 1.787-1.847.
25. Yancy CW, Jessup M, Bozkurt B, Butler J, Casey DE, Drazner MH, *et al.* 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association task force on practice guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2013; 62 (16): e147-e239.
26. Peura JL, Colvin-Adams M, Francis GS, Grady KL, Hoffman TM, Jessup M, *et al.* Recommendations for the use of mechanical circulatory support: Device strategies and patient selection: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 2012; 126 (22): 2.648-2.667.
27. Feldman D, Pamboukian SV, Teuteberg JJ, Birks E, Lietz K, Moore SA, *et al.* The 2013 International Society for Heart and Lung Transplantation guidelines for mechanical circulatory support: Executive summary. *J Heart Lung Transplant* 2013; 32 (2): 157-187.
28. Krabatsch T, Potapov E, Stepanenko A, Schweiger M, Kukucka M, Huebler M, *et al.* Biventricular circulatory support with two miniaturized implantable assist devices. *Circulation* 2011; 124 (11 Suppl): S179-S186.
29. Copeland JG, Smith RG, Arabia FA, Nolan PE, Sethi GK, Tsau PH, *et al.* Cardiac replacement with a total artificial heart as a bridge to transplantation. *N Engl J Med* 2004; 351 (9): 859-867.