Estado actual de los sistemas de soporte circulatorio mecánico

Paul Mc-Nab M, Pablo Castro G, Ricardo Zalaquett S.

Circulatory mechanical support. State of the art

Despite advances in medical treatment, the prognosis of advanced heart failure remains poor. The number of hospitalizations for heart failure exacerbations continues to increase and most patients will ultimately die of complications related to heart failure. Implantable left ventricular assist devices (LVAD) are currently in use throughout the world with increasing frequency. This paper is a comprehensive review about mechanical support, focusing on a general description of the different LVAD, complications and mortality (Rev Méd Chile 2006; 134: 1330-37).

(Key-words: Hear-assist devices; Heart failure, congestive; Heart transplantation; Ventricular dysfunction)

Recibido el 29 de diciembre, 2005. Aceptado el 24 de mayo, 2006.

Departamento de Enfermedades Cardiovasculares. Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile.

La insuficiencia cardíaca (IC) es una de las principales causas de mortalidad y hospitalización, se estima que su prevalencia se incrementará con el envejecimiento de la población. Pese al avance en la terapia farmacológica, el trasplante es una alternativa probada, pero restringida por la disponibilidad de donantes, observándose una elevada mortalidad en lista de espera de alrededor de 16% al año¹. A lo anterior se suma el que en casos de IC aguda, muchas veces no se logra el trasplante dado lo crítico de la situación o a contraindicaciones. Es por estos motivos que los sistemas de soporte circulatorio mecánico (SSCM) han crecido en importancia, primordialmente como puente al trasplante, para lograr recuperación de una IC aguda, y en forma preliminar como terapia definitiva. Nuestro centro inició, a mediados de 2003, un programa de soporte circulatorio de corto plazo (ABIOMED BVS 5000). Este sistema ha sido utilizado en 4 pacientes, logrando el trasplante en tres de ellos. Esta experiencia inicial nos motivó a revisar el estado actual de los SSCM.

Correspondencia a: Dr. Pablo Castro G. Departamento Enfermedades Cardiovasculares, Pontificia Universidad Católica de Chile. Marcoleta 347, Santiago Chile. Fax: 56-2-6392037. E-mail: pcastro@med.puc.cl

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE PACIENTES PARA ASISTENCIA VENTRICULAR

Estos dispositivos son utilizados en pacientes con IC grave refractaria a terapia habitual y que no han tenido respuesta al uso del balón de contrapulsación (BCIA) y drogas vasoactivas (DVA). En general, se utilizan criterios similares a los usados para el ingreso a lista de trasplante cardíaco de urgencia. La presencia de disfunción hepática o renal, determinada por la IC y que potencialmente es reversible, no contraindica su uso. Del punto de vista hemodinámico, se utilizan valores referenciales para plantear el uso de SSCM como un índice cardíaco de 2 L/min/m², presión arterial sistólica <90 mmHg y con capilares pulmonares mayores de 20 mmHg.

INDICACIONES DEL USO DE SOPORTE VENTRICULAR

1. *Shock cardiogénico* postcardiotomía: La necesidad de soporte circulatorio postcirugía cardíaca es relativamente baja (0,2 a 1%)². Es más frecuente en cirugías de revascularización coronaria con disfunción ventricular significativa. El objetivo es

tener un soporte circulatorio en espera de una posible recuperación de la función cardíaca y retiro del dispositivo. Es la indicación más frecuente, con una duración del soporte, en promedio, de 1 a 6 días, logrando una sobrevida global de 25%³. Los distintos SSCM para esta indicación se incluyen en la Tabla 1.

2. Terapia de puente para el trasplante o recuperación: Los tiempos de espera para trasplante se han incrementado. Esto hace que los pacientes se deterioren o fallezcan. Los SSCM permiten alcanzar el trasplante en mejores condiciones. Pacientes activados como urgencia, requieren soporte entre 4 y 108 días^{4,5}. Alrededor de 70%⁶ logra ser trasplantado y 55% de ellos egresan del hospital^{3,4}. La sobrevida de estos es de 80% al año de seguimiento^{7,8}.

3. Shock cardiogénico posinfarto al miocardio: Ocurre en 6% a 7% de los infartos⁹ y presenta una mortalidad de 80%. La terapia farmacológica, BCIA y la reperfusión precoz son terapias útiles. A pesar de ello, existe un grupo que no responde, planteándose en ellos el uso de soporte ventricular, obteniéndose así el tiempo necesario para una eventual resolución quirúrgica o trasplante. En caso de utilizar soporte ventricular, se logra disminuir la mortalidad a alrededor de 30%¹⁰.

4. Soporte definitivo en IC terminal: En algunos pacientes con IC terminal y contraindicaciones para trasplante cardíaco se puede plantear la alternativa SSCM de largo plazo. Todos ellos están en una fase inicial y el uso con esta indicación no ha sido aprobado por la *Food and Drugs Administration* (FDA) de los Estados Unidos de Norteamérica.

SOPORTE CIRCULATORIO DE CORTO PLAZO

Proveen apoyo por alrededor de 15-30 días, a través de bombas externas al paciente. Son de fácil instalación y tienen un costo menor que los dispositivos de soporte más prolongado. Entre las desventajas, se cuenta la limitación al desplazamiento, un período de soporte restringido y el riesgo potencial de infecciones y embolias. En los casos en que la necesidad de soporte se prolongue, se debe plantear el cambio a un dispositivo de largo plazo.

1. Bombas no pulsátiles.

a. Bombas centrífugas: Usa conos giratorios que generan flujo. Existen actualmente varios tipos de bombas centrífugas disponibles Bio-Medicus® (Bio-Medicus Inc), Sarns® (Sarns/3M Ann Arbor®), AB-180® y Tandem heart VAD®, (*Cardiac Assist Technologies*). La mayoría requiere de toracotomía para su instalación, se asocian a hemólisis significativa y un alto riesgo de infección. Una experiencia en 18 pacientes cursando shock cardiogénico, en que se les instaló en forma percutánea un catéter en aurícula izquierda por vía transeptal y otro en arteria femoral, en ellos el uso de la bomba Tandem Heart® logró gastos cardíacos hasta de 4 L/min, permitiendo estabilizar a los pacientes¹¹.

b. Bombas de flujo axial: Funcionan bajo el principio de Arquímedes, en que una espiral al girar rápidamente empuja la sangre logrando un flujo continuo sin requerir válvulas. Al ser pequeñas, permiten su uso en pacientes pediátricos y utilizan menos energía, pero también tienen riesgo de embolias. Giran a alrededor de 10.000-20.000 rpm, logrando flujos entre 5 y 7 L/min. Existe la posibilidad de instalarlas en forma percutánea. La importancia del flujo pulsátil vs el flujo continuo es controvertida¹².

c. ECMO: Combina el uso de una bomba centrífuga en conjunto con un oxigenador, que permite canulación periférica o central, ya sea veno-venosa o veno-arterial, lo que se define según la necesidad de soporte hemodinámico. Resulta una opción atractiva al existir compromiso respiratorio importante asociado a compromiso hemodinámico, permitiendo su uso en pacientes pediátricos hasta de 2,2 kg¹³. Las desventajas son su necesidad de anticoagulación, fallas de las bombas y el riesgo de infecciones.

2. Bombas pulsátiles

a. Abiomed BVS 5000: Está diseñado para dar soporte hasta por 4 semanas¹⁴. Las cánulas auriculares y arteriales son exteriorizadas a través de la pared abdominal. El dispositivo ABIOMED BVS 5000® es una bomba paracorpórea que permite apoyo uni o biventricular (Figura 1).

En el caso de asistencia ventricular mecánica izquierda, la cánula drena la sangre desde el ventrículo o aurícula izquierda. En caso de soporte del lado derecho, la cánula se conecta a la

aurícula derecha para el drenaje de la sangre. Las cánulas de retorno se suturan a la aorta ascendente o tronco de la arteria pulmonar.

La bomba se compone de 2 cámaras dispuestas en serie. Estas cámaras tienen una capacidad de 100 mL y están separadas por una válvula mecánica de 3 velos. La cámara superior o atrial, se llena en forma pasiva, evitando el colapso auricular en cada ciclo y previniendo la entrada de aire al circuito. El llene de esta cámara depende de la altura en que se encuentra (en relación a la aurícula del paciente), de la presión venosa central (precarga) y de la capacitancia venosa. La cámara inferior o ventricular eyecta la sangre en forma activa por un sistema de compresión neumático, permitiendo un volumen eyectivo de alrededor de 80 mL.

La consola del BVS es un aparato de soporte pulsátil automático y autorregulado, controlado por un microprocesador (Tabla 1). Permite el control y

FIGURA 1. Cámaras de llene del dispositivo ABIOMED®. Autorizado uso por ABIOMED, inc.

Tabla 1. Características generales de diversos dispositivos de soporte ventricular

	ECMO	Biomedicus	Abiomed BVS5000	Thoratec	Novacor	Heartmate I	Jarvik 2000
Aprobación FDA (USA)	NA	NA	Post Cardiotomía Shock cardiogénico postinfarto	Puente a trasplante	Puente a trasplante	Puente a trasplante y destinación en casos con IC CF4 refractaria no candidatos a trasplante	Puente a trasplante pediátrico
Ubicación de la bomba	Externa	Externa	Externa	Externa	Interna	Interna	Interna
Flujo pulsátil	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No
Válvulas usadas	No	No	Trivalva de poliuretano	Bjork Shiley	Válvulas biológicas	Válvulas biológicas	No
Soporte izquierdo o derecho	Cardiopulmonar	Izquierdo y/o derecho	Izquierdo y/o derecho	Izquierdo y/o derecho	Izquierdo	Izquierdo	Izquierdo
Uso en pacientes pequeños (<1,5 mts ² superficie corporal)	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí
Anticoagulación	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí
Posibilidad de deambular	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
Uso ambulatorio	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí
Duración del soporte	Corto	Corto	Corto	Intermedio	Largo	Largo	Largo
Costo	+	+	++	+++	++++	++++	+++

NA: No aplicable.

registro de los flujos, tanto izquierdo como derecho, en forma independiente. La frecuencia de la bomba y la duración de cada ciclo están determinadas por la capacidad de la bomba de expulsar un volumen fijo de sangre. Por lo tanto, la pre y postcarga serán determinantes del gasto cardíaco. Al disminuir la altura de las cámaras o aumentar el intravascular, aumenta la precarga y llena más rápidamente el lado auricular de la bomba. El descenso del sistema respecto del paciente incrementa la resistencia al vaciamiento de la bomba. El sistema requiere anticoagulación sistémica con heparina (TTPA 2,5 veces lo normal).

b. Abiomed AB5000: Su diseño permite soporte por periodos algo más prolongados, permitiendo una mayor movilidad del paciente. No permite su uso ambulatorio y existen escasos reportes en la literatura sobre su uso¹⁵.

SOPORTE CIRCULATORIO DE LARGO PLAZO

Proveen de soporte circulatorio por más de 1 mes. Inicialmente fueron planteados para dar soporte intrahospitalario en espera de recuperación miocárdica y posterior retiro del soporte, o en espera de un trasplante cardíaco. En los últimos años, se han desarrollado bombas intracorpóreas con resultados prometedores para plantear su uso como terapia definitiva. Por lo anterior, clasificaremos estos dispositivos según la forma de bombeo y según la disposición intra o extracorpórea.

1. Bombas pulsátiles de ubicación extracorpórea

a. Thoratec®: Diseñado en 1982 (Figura 2), da soporte a través de dispositivos neumáticos de instalación extracorpórea en la pared abdominal. La bomba consiste en 2 cámaras separadas por un diafragma de poliuretano. Mediante un sensor magnético, logra determinar el momento del llenado completo de la cámara sanguínea, momento en el cual se inicia la entrada de aire a presión a la otra cámara. El volumen eyectivo es de 65 mL y logra gastos cardíacos entre 1,3 y 7,1 L/min. Se ha utilizado por periodos de hasta 500 días¹⁶.

Recientemente, fue diseñada una consola de menor tamaño, permitiendo una mayor movilización del paciente y en ocasiones el uso ambulatorio (TLC-II driver®)¹⁷. Además de lo anterior, se logró miniaturizar la bomba, existiendo la posibili-

dad de instalar ésta en posición intracorpórea (Thoratec IVAD®)¹⁸.

Thoratec® ha sido incorporado en varios centros para iniciar un programa de soporte ventricular mecánico, dadas su versatilidad y seguridad.

b. Berlin Heart Excor®: Funciona gracias a una bomba pulsátil extracorpórea, y una consola portátil que permite cierta autonomía al paciente, existiendo una versión para uso pediátrico¹⁹.

2. Bombas pulsátiles de ubicación intracorpórea.

Fueron diseñados para su uso crónico y permitir la deambulación con un menor riesgo de infecciones.

a. Heartmate®: Sistema de soporte pulsátil implantable que sólo da soporte izquierdo. Destaca de su diseño la rugosidad del poliuretano de la superficie interna, lo que determina, al estar en contacto con la sangre, el que se genere una delgada capa «biológica» que incluye células circulantes y proteínas, que la hace resistente a la formación de trombos, requiriendo sólo ácido acetilsalicílico. Una desventaja de este dispositivo atribuido a la membrana es la sensibilización del paciente, lo que puede dificultar la posibilidad de trasplante. Se conecta al ápex del ventrículo izquierdo y a la aorta ascendente. El funcionamiento de la bomba está dado por, ya sea un

FIGURA 2. Diagrama de soporte biventricular con Thoratec®. Autorizado uso por Thoratec corporation.

sistema neumático externo que envía aire a presión por una línea al dispositivo (HeartMate® IP LVAS) o a través de una bomba eléctrica que logra flujo pulsátil, la cual se conecta a las baterías por medio de una línea eléctrica (HeartMate® XVE LVAS)²⁰ (Figura 3).

El estudio REMATCH²¹ (*Randomized Evaluation of Mechanical Assistance for the Treatment of Congestive Heart Failure*) incluyó 129 pacientes con IC terminal capacidad funcional IV, no elegibles para trasplante cardíaco, los que fueron randomizados a tratamiento médico óptimo (n=68) o a asistencia ventricular izquierda con un dispositivo Heartmate® (n=61). Destaca de sus resultados la disminución de mortalidad de 48% (RR=0,52 p=0,001). Al año, la sobrevida fue de 52% con el dispositivo y de 25% en el grupo con tratamiento óptimo. A los 2 años de seguimiento, la mortalidad en ambos grupos fue similar. La principal causa de muerte en el grupo de tratamiento médico fue la IC refractaria, en cambio, en el grupo con el dispositivo, las infecciones (41%) y falla del dispositivo (17%).

b. Novacor®: Dispositivo implantable pulsátil e intracorpóreo en posición preperitoneal. Provee soporte ventricular izquierdo mediante un sistema electromecánico. La energía se transmite por una línea eléctrica percutánea, conectado a baterías recargables que duran 4 a 6 horas en un cinturón, no requiriendo de consola portátil. El riesgo de formación de trombos y embolias obliga a anti-coagulación permanente. Existen reportes del uso de este dispositivo hasta por 4 años²². Nuevas generaciones de este modelo, como el Novacor II LVAS®, tendrían un menor riesgo embólico y un menor tamaño y se encuentran en evaluación.

c. Arrow Lionheart ventricular assist device®: Dispositivo completamente implantable, que utiliza baterías implantadas con una duración de alrededor de 20 minutos, que se recargan continuamente gracias a la transmisión transcutánea de energía, lo que permite una gran autonomía al paciente. Fue diseñado como terapia definitiva, para lo cual se encuentra en evaluación²³.

Existen otros dispositivos que se encuentran en investigación o uso clínico inicial.

3. Bombas de flujo continuo: Existen 2 mecanismos para lograr flujo continuo. Sistemas de flujo axial y sistemas de flujo centrífugo. Destacan de estos dispositivos el hecho de ser más pequeños, por lo

FIGURA 3. Diagrama del dispositivo Heartmate I®. Autorizado uso por Thoratec corporation

que podría utilizarse en niños, por tener menos partes móviles requieren menos energía²⁴. Entre las desventajas está el potencial riesgo embólico, la hemólisis y el hecho que el efecto del flujo no pulsátil a nivel celular no es bien conocido. En general, no logran flujos mayores de 5 L/min.

4. Bombas de flujo axial. Existen múltiples dispositivos en etapa inicial de uso: Nimbus/TCI IVAS®, Jarvik 2000 IVAS®, De-Bakey/MicroMed IVAS®, HeartMate® II y III, Berlin Heart Incor®.

a. HeartMate® II: Es una bomba axial de 7 centímetros de tamaño que se conecta al ápex y a la aorta ascendente y que, a través de un mecanismo electromagnético, mueve un rotor a alta frecuencia, se conecta por un cable eléctrico a baterías externas. Existe un diseño en prueba denominado HeartMate® III, en el cual el rotor está completamente suspendido por energía magnética y se alimenta por energía eléctrica por vía transcutánea. Existen pocos reportes en la literatura sobre su utilidad²⁵.

b. Jarvik 2000®: Una experiencia en 23 pacientes, 20 en espera de trasplante de urgencia y 3 para terapia definitiva, mostró a las 48 horas de la implantación, una mejoría significativa del índice cardíaco. Cinco fallecieron en espera del trasplante, y

14 fueron trasplantados, existiendo 1 en soporte al momento del reporte. El tiempo promedio del uso fue de 90 días. De los pacientes que recibieron la terapia como definitiva, uno falleció a los 382 días de soporte y 2 estaban vivos al momento del reporte, a los 700 y a los 952 días de soporte²⁶.

5. Corazón artificial total. Son dispositivos capaces de dar soporte cardíaco completo. El corazón nativo es removido y el dispositivo implantado en su lugar, requiriendo anticoagulación permanente. Uno de los problemas en el diseño de estos dispositivos es el desbalance entre el gasto derecho y el izquierdo, determinado por el retorno de la circulación bronquial, lo que determina un *shunt* izquierdo-izquierdo aumentando el gasto entre 5% y 10% respecto del derecho, lo que a su vez determinaría un aumento de la presión de la aurícula izquierda desproporcionado, lo cual ha obligado a desarrollar complejos mecanismos de compensación. Existen diferentes dispositivos en etapa de prueba como el *Penn State Total Artificial Heart*[®], *Abiocr*[®] y *CardioWest Total Artificial Heart*[®].

a. CardioWest Total Artificial Heart[®]: Dispositivo neumático pulsátil biventricular con una consola que inyecta aire a presión a una cámara que desplaza una membrana, permitiendo el bombeo de sangre. La movilidad del paciente está limitada. Logra gastos sobre los 9 L/min con un volumen eyectivo de 70 mL. Es una opción en casos en que se contraindique el soporte ventricular, como la insuficiencia aórtica severa, una comunicación interventricular o la necesidad de mantener gastos cardíacos altos. Un reporte de la literatura²⁷, evaluó el uso de este dispositivo en 81 pacientes entre los años 1993 y el 2002, los cuales fueron comparados con una cohorte histórica de 35 pacientes. La sobrevida hasta lograr el trasplante fue de 79% en el grupo con el dispositivo y de 46% en el grupo control ($p < 0,001$). La sobrevida global al año en los pacientes con el dispositivo fue de 70%, y en el grupo control de 31% ($p < 0,001$).

b. Abiocr[®]: Es un corazón artificial total diseñado para terapia crónica, que consta de una pequeña bomba centrífuga que inyecta un fluido hidráulico de baja viscosidad a las cámaras de bombeo derecha e izquierda en forma alternada, existiendo una cámara de compensación para equiparar los gastos cardíacos derecho e izquierdo. Logra frecuencias entre 75 y 150 lt/min y gastos entre 4 y 8 L/min. Tiene una batería interna de respaldo que dura 20 min y baterías externas recargables que transmiten la

FIGURA 4. Fotografía del dispositivo ABIOCR[®]. Autorizado uso por ABIOMED, inc.

energía en forma transcutánea a las baterías internas. Este dispositivo y su durabilidad aún se encuentran en evaluación²⁸ (Figura 4).

COMPLICACIONES DEBIDAS AL USO DE DISPOSITIVOS DE ASISTENCIA VENTRICULAR

1. Hemorragias: Se presentan entre 14% y 50% postinstalación y requieren reintervención en una proporción elevada de los casos⁵. Es más frecuente en pacientes cursando un shock cardiogénico y en aquellos en que se utilizó un dispositivo con bomba centrífuga, sobre aquellos con bomba pulsátil. La etiología del sangrado es multifactorial, siendo útil el uso de aprotinina²⁹.

2. Embolias: Ocurren entre 6% y 47% de los pacientes siendo en muchas ocasiones asintomáticas^{3,4,30-32}. Son más frecuentes en pacientes con falla multisistémica, cuando el flujo no es adecuado o si la anticoagulación es insuficiente.

3. Infecciones: Se presentan en alrededor de 59% de los pacientes. La infección del dispositivo ocurre en 18% de los pacientes, en estos casos, a pesar del retiro de éste y dar terapia antibiótica adecuada, el pronóstico es sombrío^{30,33}.

4. Otras complicaciones son la presencia de falla renal aguda⁴ y la falla ventricular derecha, cuando

se optó por soporte ventricular izquierdo único. El uso de óxido nítrico para disminuir la presión de la arteria pulmonar e inótrupos como milrinona son de utilidad. Sin embargo, la necesidad de agregar soporte ventricular derecho es de alrededor de 11%³⁴.

PROYECCIONES FUTURAS

Actualmente, los costos asociados al uso de estos dispositivos son elevados, en parte debido a hospitalizaciones prolongadas y a las múltiples complicaciones que presentan durante su evolución. Es por esto que las esperanzas están cifradas

en dispositivos portátiles e intracorpóreos que permitan manejo ambulatorio y una menor tasa de complicaciones. Entre los desafíos actuales, está el lograr bombas con bajo consumo de energía junto con desarrollar mejores sistemas de transferencia de energía transcutáneo, que no causen daño a la piel y logren flujos de energía adecuados por períodos más prolongados. Las expectativas son lograr sistemas más confiables y con menores fallas mecánicas en el largo plazo.

Otro punto a considerar, será la amplia variedad de dispositivos en el mercado, lo que dificultará determinar cuál es el dispositivo más adecuado para cada paciente. Estudios prospectivos contribuirán a esclarecer estos aspectos.

REFERENCIAS

1. BARR M, BOURGE R, ORENS J, MCCURRY K, RING W, HULBERT-SHEARON T, MERION R. Thoracic organ transplantation in the United States, 1994-2003. *Am J Transplant* 2005; 5: 934-49.
2. DOLL N, KIAH B, BORGER M, BUCERIUS J, KRAMER K, SCHMITT DV ET AL. Five-year results of 219 consecutive patients treated with extracorporeal membrane oxygenation for refractory postoperative cardiogenic shock. *Ann Thorac Surg* 2004; 77: 151-7.
3. KORFER R, EL-BANAYOSY A, ARUSOGLU L, MINAMI K, BREYMAN T, SEIFERT D ET AL. Temporary pulsatile ventricular assist devices and biventricular assist devices. *Ann Thorac Surg* 1999; 68: 678-83.
4. MCBRIDE L, NAUNHEIM KS, FIORE AC, MORONEY D, SWARTZ M. Clinical experience with 111 thoratec ventricular assist devices. *Ann Thorac Surg* 1999; 67: 1233-8.
5. MCCARTHY P, SMEDIRA N, VARGO R, GOORMASTIC M, HOBBS R, STARLING R ET AL. One hundred patients with the HeartMate left ventricular assist device: evolving concepts and technology. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115(4): 904-12.
6. FRAZIER O, MYERS T, RADOVANCEVIC B. The HeartMate left ventricular assist system. Overview and 12-year experience. *Tex Heart Inst J* 1998; 25: 265-71.
7. HOSENPUD J, BENNETT L, KECK B, FIOL B, BOUCEK M, NOVICK R. The Registry of the International Society for Heart and Lung Transplantation: sixteenth official report 1999. *J Heart Lung Transplant* 1999; 18: 611-26.
8. SIMON M, KORMOS R, MURALI S, NAIR P, HEFFERNAN M, GORCSAN J ET AL. Myocardial recovery using ventricular assist devices: prevalence, clinical characteristics, and outcomes. *Circulation* 2005; 112: 132-6.
9. GOLDBERG R, GORE J, THOMPSON C, GURWITZ J. Recent magnitude of and temporal trends (1994-1997) in the incidence and hospital death rates of cardiogenic shock complicating acute myocardial infarction: the second national registry of myocardial infarction. *Am Heart J* 2001; 141: 65-72.
10. CHEN J, DEROSE J, SLATER J, SPANIER T, DEWEY T, CATANESE K ET AL. Improved survival rates support left ventricular assist device implantation early after myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1999; 33: 1903-8.
11. THIELE H, LAUER B, HAMBRECHT R, BOUDRIOT E, COHEN H, SCHULER G. Reversal of cardiogenic shock by percutaneous left atrial-to-femoral arterial bypass assistance. *Circulation* 2001; 104: 2917-22.
12. THOHAN V, STETSON S, NAGUEH S, RIVAS-GOTZ C, KOERNER M, LAFUENTE J ET AL. Cellular and hemodynamic responses of failing myocardium to continuous flow mechanical circulatory support using the DeBakey-Noon left ventricular assist device: a comparative analysis with pulsatile-type devices. *J Heart Lung Transplant* 2005; 24: 566-75.
13. WALKER G, LIDDELL M, DAVIS C. Extracorporeal life support - state of the art. *Paediatr Respir Rev* 2003; 4: 147-52.
14. SAMUELS L, HOLMES E, THOMAS M, ENTWISTLE J 3RD, MORRIS R, NARULA J ET AL. Management of acute

- cardiac failure with mechanical assist: experience with the ABIOMED BVS 5000. *Ann Thorac Surg* 2001; 71: S67-72.
15. SAMUELS L, HOLMES E, GARWOOD P, FERDINAND F. Initial experience with the Abiomed AB5000 ventricular assist device system. *Ann Thorac Surg* 2005 Jul; 80: 309-312.
16. EL-BANAYOSY A, ARUSOGLU L, KIZNER L, TENDERICH G, BOETHIG D, MINAMI K ET AL. Predictors of survival in patients bridged to transplantation with the thoratec VAD device: a single-center retrospective study on more than 100 patients. *J Heart Lung Transplant* 2000; 19: 964-8.
17. SOBIESKI M, GEORGE T, SLAUGHTER M. The Thoratec mobile computer: initial in-hospital and out-patient experience. *ASAIO J* 2004; 50: 373-5.
18. REICHENBACH S, FARRAR D, HILL J. A versatile intracorporeal ventricular assist device based on the thoratec VAD system. *Ann Thorac Surg* 2001; 71: S171-175.
19. HETZER R, ALEXI-MESKISHVILI V, WENG Y, HUBLER M, POTAPOV E, DREWS T ET AL. Mechanical cardiac support in the young with the Berlin Heart EXCOR pulsatile ventricular assist device: 15 years' experience. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu* 2006; 99-108.
20. MARTIN J, FRIESEWINKEL O, BENK C, SORG S, SCHULTZ S, BEYERSDORF F. Improved durability of the HeartMate XVE left ventricular assist device provides safe mechanical support up to 1 year but is associated with high risk of device failure in the second year. *J Heart Lung Transplant* 2006; (4): 384-90.
21. ROSE E, GELJNS A, MOSKOWITZ A, HEITJAN D, STEVENSON L, DEMBITSKY W ET AL. Randomized Evaluation of Mechanical Assistance for the Treatment of Congestive Heart Failure (REMATCH) Study Group. Long-term mechanical left ventricular assistance for end-stage heart failure. *N Engl J Med* 2001; 345: 1435-43.
22. DAGENAIS F, PORTNER PM, ROBBINS RC, OYER P. The Novacor left ventricular assist system: clinical experience from the Novacor registry. *J Card Surg* 2001; 16: 267-71.
23. EL-BANAYOSY A, ARUSOGLU L, KIZNER L, MORSHUIS M, TENDERICH G, PAE WE JR ET AL. Preliminary experience with the LionHeart left ventricular assist device in patients with end-stage heart failure. *Ann Thorac Surg* 2003; 75: 1469-75.
24. SONG X, THROCKMORTON A, UNTAROIU A, PATEL S, ALLAIRE P, WOOD H ET AL. Axial flow blood pumps. *ASAIO J* 2003; 49: 355-64.
25. DELGADO R, BERGHEIM M. HeartMate II left ventricular assist device: a new device for advanced heart failure. *Expert Rev Med Devices* 2005; 2: 529-32.
26. FRAZIER O, MYERS T, WESTABY S, GREGORIC I. Clinical experience with an implantable, intracardiac, continuous flow circulatory support device: physiologic implications and their relationship to patient selection. *Ann Thorac Surg* 2004; 77: 133-42.
27. COPELAND J, SMITH R, ARABIA F, NOLAN P, SETHI G, TSAU P ET AL. Cardiac replacement with a total artificial heart as a bridge to transplantation. *N Engl J Med* 2004; 351: 859-67.
28. DOWLING R, GRAY LA JR, ETOCH S, LAKS H, MARELLI D, SAMUELS L ET AL. Initial experience with the AbioCor implantable replacement heart system. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; 127: 131-41.
29. GOLDSTEIN D, SELDOMRIDGE J, CHEN J, CATANESE K, DEROSA C, WEINBERG A ET AL. Use of aprotinin in LVAD recipients reduces blood loss, blood use, and perioperative mortality. *Ann Thorac Surg* 1995; 59: 1063-7.
30. CURTIS J, WALLS J, SCHMALTZ R, DEMMY T, WAGNER-MANN C, MCKENNEY C ET AL. Improving clinical outcome with centrifugal mechanical assist for postcardiotomy ventricular failure. *Artif Organs* 1995; 19: 761-5.
31. SUN B, CATANESE K, SPANIER T, FLANNERY M, GARDOCKI M, MARCUS L ET AL. 100 long-term implantable left ventricular assist devices: the Columbia Presbyterian interim experience. *Ann Thorac Surg* 1999; 68(2): 688-94.
32. SCHMID C, WEYAND M, NABAVI D, HAMMEL D, DENG M, RINGELSTEIN E ET AL. Cerebral and systemic embolization during left ventricular support with the Novacor N100 device. *Ann Thorac Surg* 1998; 65: 1703-10.
33. PRENDERGAST T, TODD B, BEYER A, FURUKAWA S, EISEN H, ADDONIZIO V ET AL. Management of left ventricular assist device infection with heart transplantation. *Ann Thorac Surg* 1997; 64(1): 142-7.
34. MCCARTHY P, SMEDIRA N, VARGO R, GOORMASTIC M, HOBBS R, STARLING R ET AL. One hundred patients with the HeartMate left ventricular assist device: evolving concepts and technology. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998; 115(4): 904-12.