

Herztransplantation und mechanische Kreislaufunterstützung

Aktueller Stand und Perspektiven (Teil 2)

Paul Mohacsi^a, Mario Stalder^b, Michele Martinelli^a, Thierry Carrel^b

Schweizer Herz- und Gefässzentrum, Inselspital, Bern

^a Universitätsklinik für Kardiologie

^b Universitätsklinik für Herz- und Gefässchirurgie

Quintessenz

Die Fortschritte bei der medikamentösen Therapie, bei den elektrophysiologischen Behandlungsmöglichkeiten (implantierbarer Kardiofibrillator zum Schutz vor gefährlichen Rhythmusstörungen oder Einlage von Schrittmachern zur kardialen Resynchronisation) und schliesslich bei den mechanischen Herzpumpen (*Ventricular Assist Devices* – auch als VAD abgekürzt) ermöglichen heute glücklicherweise vermehrt Alternativen für Patienten, so dass die Herztransplantation (HTx) oft vermieden oder hinausgezögert werden kann. Diese Konzepte entschärfen auch den akuten Mangel an Spenderorganen. Da mechanische Herzpumpen jedoch vorderhand das Problem nur zeitlich hinauszögern, bleibt vor allem bei der Therapie jüngerer Patienten oft keine andere Wahl als die Herztransplantation.

In Abhängigkeit von der Blutgruppe und des Körpergewichtes muss mit einer unterschiedlichen Wartezeit gerechnet werden. Zum Beispiel für Patienten der Blutgruppe O und B oder solche mit einem Gewicht über 90–100 kg dauert es erfahrungsgemäss deutlich länger, um ein passendes Organ zu erhalten. Diese Patienten müssen unter Umständen (z.B. bei Auftreten von zusätzlichen schweren, aber potentiell reversiblen Organschäden an Leber, Nieren und Lungen) zuerst mit einem mechanischen Herzunterstützungssystem (VAD) stabilisiert und bis zur HTx überbrückt werden (*bridge to transplant*). Das ist mit einem zusätzlichen Operationsrisiko verbunden, denn ein solches Verfahren bedeutet eine zusätzliche Herzoperation. Der zunehmende Einsatz von VADs führt – sofern die Implantation erfolgreich ist – zwar zu einer Entschärfung der akuten Situationen, ist jedoch je nach Schweregrad der Herzinsuffizienz und den oft davon abhängenden Folgezuständen (Nieren- und Leberinsuffizienz, pulmonale Komplikationen) mit einer Mortalitätsrate von 10 bis 20% verbunden.

alle herkömmlichen Therapiemassnahmen (medikamentös, mittels ICD/Resynchronisationstherapie und konventionell chirurgisch) ausgeschöpft wurden. Die möglichen Ziele einer Kreislaufunterstützung sind:

1. Überbrückung bis zu einer weiteren Entscheidung (*bridge to decision*);
2. Überbrückung bis zur Organerholung (*bridge to recovery*);
3. Überbrückung zuerst mittels Kurzzeit, später mit Langzeit-VAD (*bridge to bridge*);
4. Überbrückung bis zu einer definitiven Entscheidung, ob HTx sinnvoll oder möglich (*bridge to candidacy*);
5. Überbrückung bis zur HTx (*bridge to transplant*);
6. Definitiver Organersatz (*destination therapy* oder *alternative to transplantation*).

Finanzierung und Perspektiven von Herzersatzverfahren

Aus den obgenannten Zielen einer Kreislaufunterstützung wird klar, dass die Indikation für einen LangzeitVAD eng mit der Indikationsstellung für eine HTx verbunden ist. Die Anzahl von LangzeitVADs (bei der *bridge-to-transplant*-Indikation) wird von der Anzahl der vorhandenen und zahlenmässig konstanten bis leicht rückgängigen Spenderherzen limitiert. LangzeitVADs sollten deshalb nur durch HTx-Zentren implantiert werden. Die Resultate der Implantation eines Langzeit-VADs sind (wie bei der HTx) eng mit der Erfahrung des Zentrums verbunden [1]. Derzeit wird die Implantation eines Langzeit-VAD (ca. 280 000 CHF) zu einem Drittel von der SVK (Schweizerischer Verband der Krankenkassen) und zu zwei Dritteln durch den Wohnkanton des Patienten bezahlt. Die Destination-Therapie (DT) ist in der Schweiz (im Gegensatz z.B. zu Deutschland, Österreich, USA oder Kanada) noch nicht anerkannt. In diesen Ländern gilt indes die Maxime, dass Patientinnen und Patienten Anrecht auf eine individuell bestmögliche Therapie haben und die DT deshalb eine gültige Alternative sein muss. Da VADs technisch immer sicherer und kleiner werden und sich die Lebenserwartung und -qualität von Patienten, die mit einem solchen System unterstützt werden, damit zusehends verbessert, sollte unseres Erachtens eine DT auch in der Schweiz bald ermöglicht werden. Es stellt sich jedoch die Frage, was eine bestmögliche Therapie bedeutet. Ist maximal immer auch optimal? Eine zurückhaltende Indikationsstellung nach vorausgehender ausführlicher Diskussion mit dem Patienten und dem Hausarzt ist deshalb von grosser Bedeutung.

Die Finanzierung von Langzeit-VADs (inkl. DT) und von Herztransplantationen muss in naher Zukunft überdacht



Paul Mohacsi

Das seit Jahren zunehmend eingeschränkte Angebot an Spenderherzen und die damit verbundenen immer länger werdenden Wartezeiten bei gleichzeitig steigender Anzahl von Transplantationskandidaten hat die Suche nach therapeutischen Alternativen in den letzten 10 bis 15 Jahren gefördert. Gegenwärtig wird zunehmend an miniaturisierten, voll implantierbaren Geräten gearbeitet, denn ausser hoher technischer Zuverlässigkeit und Effektivität sollen diese Geräte den Patienten auch zu einer annehmbaren Lebensqualität verhelfen.

Indikationen zur Herzunterstützungstherapie

Eine mechanische Kreislaufunterstützung (VAD) ist indiziert bei Patienten mit fortgeschrittenem Herzversagen und drohendem Multiorganversagen sowie bei Patienten mit einem drohenden oder vorliegenden kardiogenen Schock unterschiedlicher Ursache, bei denen

Die Autoren erklären, dass sie keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag haben.

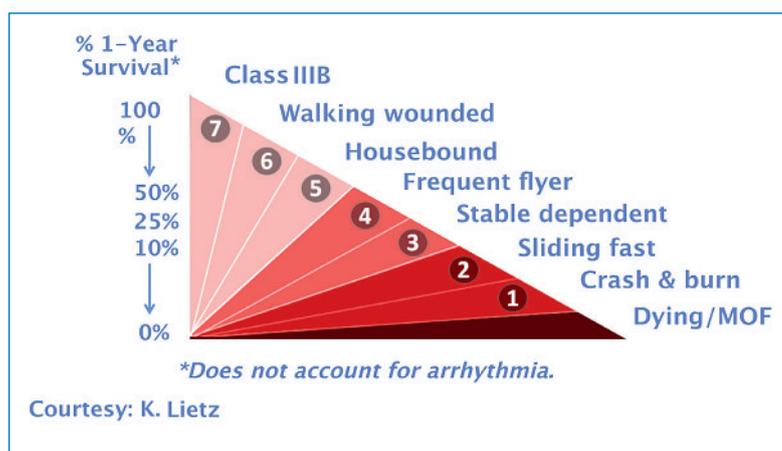


Abbildung 1
Kriterien der terminalen Herzinsuffizienz von INTERMACS.

und neu festgelegt werden. Es gibt keinen Grund, warum Herzersatzverfahren nicht auch im Rahmen von Swiss-DRG abgegolten werden können. Damit würden endlich die Kantonsgrenzen aufgehoben. Beachtenswert ist, dass Deutschland im Gegensatz zu den schweizerischen Kantons- und Bundeslandsgrenzen im Gesundheitswesen keine Grenzen von Bundesland zu Bundesland kennt. In der Schweiz herrscht auf diesem Gebiet eine «Planwirtschaft», indem jeder Kanton den Behandlungsort eines schwerkranken Patienten diktieren kann. Somit besteht in der Schweiz in speziell heiklen Situationen, wo es ganz besonders auf das Vertrauen in die Erfahrung mit Transplantation und Kunstherzen ankommt, keine freie Arzt- oder Zentrums-wahl. So kam es in den letzten Jahren immer wieder zu belastenden Situationen, indem Patienten, die z.B. am Zentrum X behandelt werden wollten, keine Bewilligung vom Kantonsarztamt ihres universitären Wohnkantons erhielten. Die Begründung war jeweils, dass die eigene Universitätsklinik Herzersatzverfahren ebenfalls als Serviceleistung anbiete. Kanada ist ca. 240-mal grösser als die Schweiz. Trotzdem können sich z.B. Patienten/-innen aus der Provinz British Columbia in der Provinz Ontario (oder umgekehrt) behandeln lassen. In diesem Sinne ist schwer zu hoffen, dass im Jahr 2012 die Kantonsgrenzen endlich auch für hochspezialisierte medizinische Leistungen fallen.

Unverständlich ist auch die Tatsache, dass für Herzersatzverfahren die Krankenkassen-Klassenneutralität gilt: Die Kosten von Privatpatienten werden bei Herzersatzverfahren nämlich den Spitälern seit Jahrzehnten nicht besser vergütet als bei grundversicherten Patienten.

Die Kostenträger scheinen grosse Angst davor zu haben, dass mit der Etablierung von Herzersatzverfahren ein erneuter und nennenswerter Kostenschub auf die Prämienszahler zukommt. Nicht beachtet wird dabei, dass die Kosten von selten eingesetzten Herzersatzverfahren im Vergleich zu den Kosten, die zum Beispiel im Gesamten herzinsuffiziente Patienten verursachen, die jedes Jahr mehrere Hospitalisationen benötigen, sehr klein sind. In den USA wurde ausgerechnet, dass die Kosten einer LVAD-Implantation mit Spitalentlassung des Patienten bereits nach 40 Tagen die Kosten eines auf der Intensivstation auf eine HTx wartenden Patienten unter-

schreiten. Bezogen auf die Kosten der Implantation eines prophylaktischen implantierbaren Kardioderibrillators (ICD) scheint uns der Effekt eines Langzeit-VADs auf die Lebenserhaltung (mit vergleichbarer Lebensqualität nach HTx) durchaus kompetitiv zu sein. Bezogen auf die Anzahl der in den USA durchgeführten DT-VAD-Implantationen [1] dürfte die Anzahl der DT-VAD-Implantationen in der Schweiz pro Jahr die Zahl von 5–10 in den nächsten fünf Jahren wohl kaum überschreiten. Auch in diesem Bereich wäre es sinnvoll, die Anzahl der Zentren in der Schweiz, die autorisiert sind, solche Systeme zu implantieren, auf 1–2 zu limitieren. Andernfalls wird die für eine adäquate Erfahrung notwendige Implantationszahl pro Zentrum nicht erreicht.

Grosse europäische oder amerikanische VAD-Zentren implantieren über 100 Langzeit-VADs pro Jahr. Bei kritischer Indikationsstellung und unter Anwendung eines klaren, auf die Bedürfnisse der Patienten abgestimmten Strategiekonzeptes, werden in der Schweiz kaum solche Implantationszahlen zu budgetieren sein.

Bridge to decision

In Notfallsituationen (kardiogener Schock im Rahmen eines Herzinfarktes, Myokarditis, postoperatives Herzversagen) sind Kurzzeit-VADs Gold wert. Sie können den Patienten stabilisieren und ermöglichen die Beurteilung der Funktionsfähigkeit wichtiger Organsysteme (Hirnfunktion, Lunge, Leber, Nieren). Vor allem kann während dieser Zeit versucht werden, die Situation und die allfälligen Wünsche des Patienten in Zusammenarbeit mit den Familienangehörigen zu evaluieren. Gelegentlich kann der Patient sogar extubiert und direkt gefragt werden. Bei den Kurzzeit-VADs können Systeme wie das Cardiac Assist (TANDEM-Heart), Impella LP 5.0, DeltaStream (Medos) oder Levitronix CentriMag® eine bis mehrere Wochen eingesetzt werden.

Bridge to recovery

Für eine Überbrückung bis zur Organerholung qualifizieren Patienten mit einem Myokardinfarkt, mit einer Myokarditis, mit einem Versagen des Transplantates (v.a. rechtsventrikulär) sowie Patienten mit Intoxikation oder Patientinnen mit einer sog. postpartalen Kardiomyopathie [2]. Inwieweit ein Erholungseffekt für das erkrankte Herz über eine vorübergehende Entlastung durch eine mechanische Unterstützung erreicht werden kann, ist zurzeit noch nicht abschliessend geklärt. Insbesondere gibt es bis heute keinen Konsens über anerkannte Biomarker, die den Erholungsprozess zuverlässig anzeigen. Zwar konnten Untersuchungen nachweisen, dass bei Langzeitunterstützung mit kompletter Entlastung der linken Kammer ein *reverse remodelling* eintreten kann, das gleichzeitig mit einer Verbesserung der Kontraktilität der linken Kammer einhergeht. Allerdings konnte ein LVAD bisher nur bei weniger als 5 bis 10% der Patienten mit dilatativer Kardiomyopathie erfolgreich und dauerhaft explantiert werden. Am Inselspital Bern konnten wir in den letzten zehn Jahren nur gerade bei zwei Patienten ein solches System definitiv explantieren.

Bridge to bridge

Bei der Überbrückung bis zur Überbrückung handelt es sich um Patienten, bei denen sich zum Zeitpunkt der Notwendigkeit einer mechanischen Kreislaufunterstützung noch nicht endgültig abschätzen lässt, ob es sich um eine Überbrückung bis zu einer allfälligen Transplantation oder bis zur Erholung handeln wird. Die Mehrzahl dieser Patienten befindet sich im kardiogenen Schock, und die Implantation eines Herzunterstützungssystems erfolgte unter Reanimationsbedingungen. Diese Patienten benötigen im Rahmen der Notfallindikation primär eine effiziente kurzfristige Unterstützung durch ein schnell und einfach zu implantierendes Gerät. Häufig besteht zu Beginn der Therapie ein unklarer neurologischer Status. Durch die Unterstützung gewinnt man Zeit, um das Ausmass der Endorganschädigung und ein mögliches Erholungspotential des Herzens zu beurteilen.

Bridge to candidacy

Gelegentlich braucht es mehr Zeit, um eine definitive Beurteilung – ob eine HTx sinnvoll sein könnte – abzugeben. Der Patient wird dann mit einem Langzeit-VAD versorgt, bis zum Beispiel eine pulmonale Hypertonie sich soweit erholt hat, dass eine Transplantation gewagt werden kann. Ein anderes, seltenes Beispiel ist ein im Rahmen einer HTx-Evaluation diagnostizierter Tumor, der zuerst entfernt werden muss. Wenn Unsicherheit bezüglich Rezidivfreiheit besteht, kann mittels VAD Zeit gewonnen werden und die Empfehlungen der Onkologen befolgt werden.

Bridge to transplant

Bei Patienten im Endstadium einer chronischen Herzkrankung (z.B. dilatative, ischämische, valvuläre oder angeborene Kardiomyopathie), bei denen generell eine Indikation zur HTx besteht, ist die Überbrückung zur Transplantation mit einer Langzeit-Kreislaufpumpe die häufigste Indikation. Sie ist gegeben, wenn bei ausgeschöpfter medikamentöser Therapie eine drohende fortschreitende Schädigung anderer Organe (Leber, Nieren und Lungen) verhindert werden muss. Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine möglichst frühe Implantation den Erfolg der Therapie am ehesten garantiert. Im klinischen Alltag sind es vorwiegend Patienten mit einem ausgedehnten Myokardinfarkt oder mit einer austherapierten dilatativen Kardiomyopathie, die im Sinne einer Überbrückungstherapie unterstützt werden. Für das Abschätzen des idealen Zeitpunktes einer VAD-Implantation haben sich sog. INTERMACS-Levels eingebürgert [3] (siehe Abb. 1 )

Mit den neueren Systemen ist nach einer Hospitalisationszeit von 3 bis 4 Wochen in vielen Fällen eine ambulante Nachsorge möglich. Bei einer Kreislaufunterstützung übernimmt bzw. unterstützt eine mechanische Pumpe die Aufrechterhaltung des Kreislaufes. Die Unterstützung kann für kurze oder lange Zeit erfolgen. Dabei werden in praktisch allen Fällen die linke Kammer, in den seltensten Fällen nur die rechte Kammer und bei

ca. 20 bis 30% der Fälle beide Kammern unterstützt. Das klinische und echokardiographische präoperative Abschätzen der Funktion der rechten Herzkammer und deren peri- resp. postoperatives Management sind wichtige Bestandteile eines guten VAD-Programms und brauchen viel Erfahrung.

Destination therapy

Zielgruppe für eine definitive Organersatztherapie (*destination therapy*) sind bisher überwiegend Patienten, bei denen eine *bridge-to-transplant*-Indikation besteht, die jedoch eine Kontraindikation zur Herztransplantation aufweisen, wie zum Beispiel das Alter (d.h. über 65–70 Jahre), Unverträglichkeit einer immunsuppressiven Therapie aufgrund anderer Krankheiten oder erschwerende zusätzliche Krankheiten. Die definitive Organersatztherapie ist gegenwärtig das ultimative Ziel der Weiterentwicklung mechanischer Kreislaufunterstützungssysteme. Der langfristige Erfolg wird wesentlich von den Technologiefortschritten dieser Systeme abhängig sein.

Neueste Studienergebnisse zeigen eine zunehmende Verlässlichkeit der Pumpensysteme mit einer Einjahr-überlebensrate von bis zu 86%; diese Ergebnisse sind mit den Resultaten nach HTx vergleichbar. Bereits in naher Zukunft mag diese Behandlung für eine immer grössere Patientenzahl eine echte Alternative zur Herztransplantation sein. Insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Alterung der Gesellschaft und die Spenderknappheit ist gerade für Patienten älter als 65 Jahre eine Alternative zur HTx wünschenswert.

Einer der wesentlichsten Fortschritte für eine wirkliche Destinationtherapie wäre die klinische Alltagstauglichkeit des sog. *Transcutaneous Energy Transfer System (TETS)*. Mittels TETS kann das energiezuführende Kabel vermieden werden, das wegen des perkutanen Zugangs immer wieder Ausgangspunkt für Infektionen ist. Zusätzlich ist das Kabel nebst dem Sicherheitsrisiko auch eine Beeinträchtigung der Lebensqualität (die Patienten können z.B. nicht schwimmen gehen). Parallel zur Einführung des TETS erhoffen wir uns auch eine weitere Verbesserung der Batterietechnologie.

2003 erhielt das HeartMate I (XVE) als erstes linksventrikuläres Pumpensystem die FDA-Zulassung für die Destination Therapie. Die ersten Systeme waren durch grosse, extrakorporelle Konsolen angetrieben. Deshalb mussten die Patienten bis zur Transplantation im Spital verbleiben und konnten nur beschränkt mobilisiert werden. Es wurden parallel dazu immer kleinere, portable Antriebskonsolen entwickelt, die es erlaubten, einzelne Patienten während der Überbrückungsphase nach Hause zu entlassen. Die nordamerikanische REMATCH-Studie konnte nachweisen, dass Patienten mit einer mechanischen Herzunterstützung gegenüber denen mit ausgeschöpfter medikamentöser Behandlung einen deutlichen Überlebensvorteil und eine bessere Lebensqualität aufweisen, sowohl nach einem wie nach zwei Jahren [4].

Im Gegensatz zur ersten Generation von pulsatilem, meist pneumatisch angetriebenen Pumpen wurde vermehrt an der Entwicklung nichtpulsatiler, miniaturisierter Rotati-



Abbildung 2
Pneumatisch angetriebenes Thoratec-IVAD-System.

onspumpen gearbeitet. Eine der überzeugendsten Pumpen ist das HeartMate II LVAS [5], die seit 2010 für die Destination Therapie eine FDA-Bewilligung besitzt. Bei aller Betriebssicherheit sind in den letzten Jahren leider mit dem Betrieb von LVADs verbundene neue, bislang unbekannte Phänomene (gastrointestinale Blutungen, erworbenes von-Willebrand-Syndrom) aufgetreten [6].

Gegenwärtig befindet sich die dritte Generation von Unterstützungssystemen im klinischen Einsatz; es handelt sich dabei um kleinere Rotationspumpen, die ohne Lager und mit magnetisch freischwebendem Rotor (ähnlich einer Schiffschraube) konstruiert sind. Diese Pumpen sind wartungsärmer und gleichzeitig weniger schädlich für Blutzellen, womit die Gefahr einer Hämolyse reduziert wird.

Parallel zur Entwicklung von Herzunterstützungssystemen (VAD) gibt es seit mehreren Jahrzehnten Bemühungen, ein vollständig implantierbares Kunstherz (*total artificial heart [TAH]*) zu entwickeln. Anfang der 1980er Jahre wurde das totale Kunstherz Jarvik-7 bei einzelnen chronisch herzkranken Patienten in Salt Lake City eingesetzt. Seit 1991 wurde das Jarvik-7 (neu mit den Namen CardioWest) weltweit bei über 500 Patienten eingesetzt. Davon konnten ca. 75% der Patienten erfolgreich transplantiert werden. Der grosse Nachteil des Systems war bis vor kurzem die sehr grosse Antriebskonsole, die eine dauerhafte stationäre Behandlung der Patienten erforderte. Seit 2005 steht eine kleinere Konsole (Berlin-Excor-Antrieb) zur Verfügung, die die Mobilisierung der Patienten erlaubt.

Trotz grosser Anstrengungen, die Herzunterstützungsgesetze fortlaufend zu optimieren, kann es während der Unterstützung zu gefährlichen Komplikationen kommen:

- Blutungen, besonders in der perioperativen Periode;
- Neurologische Komplikationen und Thromboembolien;
- Infekte. Diese sind bei Patienten mit einem mechanischen Kreislaufunterstützungssystem die häufigste Komplikation und stehen oft ursächlich mit dem System in Zusammenhang. So können sich chir-

urgische Wunden, die Pumpentasche oder die perkutanen Zugänge zur Pumpe entzünden und/oder infizieren;

- Hämolyse. Auch diese Komplikation ist vom Pumpendesign abhängig. Sie geht häufig auf die Scherkräfte zurück, denen die Erythrozyten bei ihrer Passage durch die Pumpe ausgesetzt sind.

Drei Beispiele von herzunterstützenden Systemen, die in Bern verwendet werden

Das parakorporelle System von Thoratec

Bei parakorporellen Systemen liegen die eigentliche Pumpe und der Antrieb ausserhalb des Körpers. Das Thoratec-PVAD kann als links- oder rechtsventrikuläres und als biventrikuläres System eingesetzt werden. Das System wurde 1984 zum ersten Mal als erfolgreiche Überbrückung bis zur Transplantation eingesetzt. Die Pumpe (auch künstliche Kammer genannt) wird auf die vordere Bauchwand unterhalb des Rippenbogens gelegt. Sie besteht aus einem starren Aussengehäuse, in welchem eine weiche, glatte und nahtlose Pumpenkammer eingebettet ist. Dieser Blutsack besteht aus Thoralon, einem Polyurethanmaterial, das die Bildung von Blutgerinnseln verhindern soll und die mechanische Belastungen dauerhaft verkraftet. Zwei mechanische Klappen bestimmen die Richtung des Blutflusses. Ein Sensor erkennt, wenn die Pumpe mit Blut gefüllt ist, und gibt der Konsole das Signal, das Blut aus der Pumpe in den Kreislauf auszuwerfen. Die klinische Erfahrung hat gezeigt, dass ein effektives Schlagvolumen von bis zu 65 ml erreicht werden kann und bei einer Pulsrate von ca. 70 bis 100/min somit ein Herzminutenvolumen von 4 bis 7 l/min erzielt werden kann.

Als Alternative bietet die Firma Thoratec-System auch ein implantierbares Thoratec-System an, den IVAD. Es besteht im Wesentlichen aus den gleichen Komponenten wie das PVAD-System. Allerdings ist die implantierbare Pumpe etwas kleiner, wiegt ca. 340 g und besteht aus einem Titangehäuse, das in der Hülle des grossen geraden Bauchmuskels gelagert wird (Abb. 2 ). Eine ambulante Nachbehandlung der Patienten ist mit diesem System möglich.

Das *Berlin-Heart-Excor*-System ist ein weiteres parakorporelles System mit pneumatischem Antrieb. Es wurde in Bern ausschliesslich bei Patienten im pädiatrischen Alter verwendet, da die Kammer in verschiedener Grösse (10 bis 80 ml) an die individuellen Verhältnisse des Patienten angepasst werden kann. Einfluss- und Ausflussklappen bestehen aus Polyurethan und sind ähnlich wie eine Aorten- oder Pulmonalklappe konstruiert. Der Einsatz erfolgt in der Regel ähnlich wie beim Thoratec-PVAD-System.

Das HeartMate II

Mit den intrakorporellen Rotationspumpen entstand eine weitere Generation von Herzunterstützungssystemen mit axialem Flussmuster. Die Grösse dieser Rotationspumpen konnte im Vergleich mit den bisherigen pulsatilen Systemen deutlich reduziert werden. Die Pumpen arbeiten nicht mit einem pulsatilen, sondern mit einem kontinuierlichen Blutfluss, werden von ei-

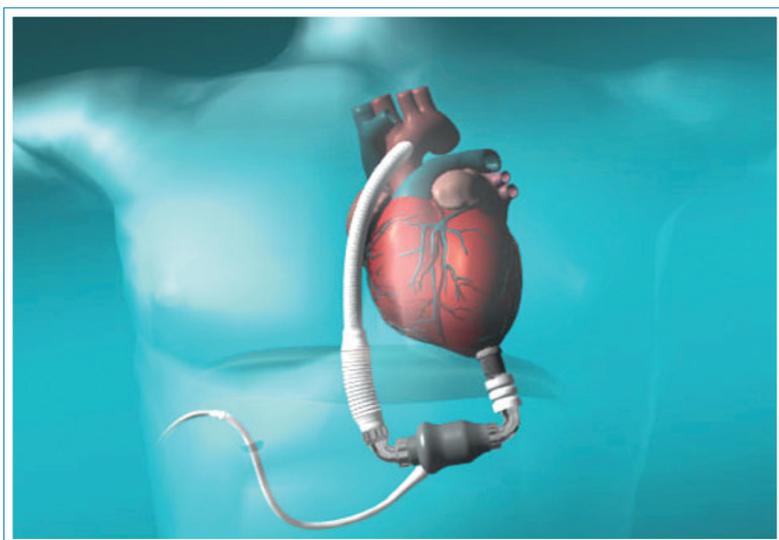


Abbildung 3
Intrakorporelles axiales HeartMate-II-LVAD-System.

nem rotierenden Impeller angetrieben und können bis zu 15 000 Umdrehungen pro Minute leisten. Damit sind theoretische Blutflüsse bis zu 8–10 l/min möglich. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zur ersten Generation der pulsatilen Systeme ist die Abwesenheit von Klappen zur Flussregulierung und von Compliance-Kammern (als Windkesselfunktion). Ausserdem sind diese Geräte wesentlich leiser als die pulsatilen Systeme. Sie erlauben eine rasche Mobilisierung der Patienten und fast ausnahmslos eine anschliessende ambulante Langzeitnachbehandlung. Dadurch steigern sie die Lebensqualität der Patienten. Infektionen und Blutungen treten seltener auf als bei pulsatilen Pumpen. Das HeartMate-II-System wurde zum ersten Mal im Jahre 2000 klinisch verwendet. Bei den ersten Patienten traten schwere Komplikationen auf, meistens durch Bildung von Blutgerinnseln in der Pumpe selbst. In den folgenden Jahren wurden das Pumpendesign und die Oberflächenkontaktstellen überarbeitet. Das neue System wurde 2003 eingeführt und seither an mehr als 6000 Patienten weltweit angewandt (Abb. 3 ). Auch diese Pumpe wird elektrisch angetrieben. Sie wiegt 300 g und wird an der Spitze der linken Kammer angeschlossen; sie befindet sich in einem Titangehäuse. Die Rotorbau-

gruppe wird mittels der vom Motor erzeugten elektromotorischen Kraft bewegt. Die Drehung des Rotors leistet die Antriebskraft, mit der das Blut in den nativen Kreislauf bewegt wird.

Miniaturisierte Zentrifugalpumpen (Beispiel HeartWare)

Die neueste dritte Generation von Herzunterstützungssystemen sind die miniaturisierten Zentrifugalpumpen. Wie die Pumpen der zweiten Generation arbeiten sie nicht pulsatil und sorgen für einen kontinuierlichen Blutfluss. Dieser ist jedoch nicht axial, da Ein- und Ausflussskanülen im 90°-Winkel angeordnet sind. Ausserdem laufen sie mit einer geringeren Geschwindigkeit, d.h. mit geringeren Umdrehungsraten von 1000 bis 2500 pro Minute. Hauptvertreter dieser Gruppe sind unter anderem das HeartWare-System [7], das DuraHeart LVAD und das VentrAssist LVAD. Die geringe Grösse der Pumpe ermöglicht eine Implantation innerhalb des Brustkorbes (Abb. 4 ). Die Pumpe ist über eine relativ dünne Driveline, die durch den Muskel tunneliert wird, mit dem Controller verbunden. Sie verlässt den Körper im rechten oberen Quadranten des Abdomens.

Korrespondenz:

Prof. P. Mohacsi
Schweizer Herz- und Gefässzentrum
Inselspital
CH-3010 Bern
paul.mohacsi@insel.ch
thierry.carrel@insel.ch

Empfohlene Literatur

- 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;28:535–41.
- Lietz K, Long JW, Kfoury AG, Slaughter MS, Silver MA, Milano CA, et al. Impact of center volume on outcomes of left ventricular assist device implantation as destination therapy: analysis of the Thoratec HeartMate II Registry, 1998 to 2005. *Circ Heart Fail.* 2009;2:3–10.
- 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. Randomized Evaluation of Mechanical Assistance for the Treatment of Congestive Heart Failure (REMATCH) Study Group. *N Engl J Med.* 2001;345:1435–43.
- Slaughter MS, Roger 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;361:2241–51.

Die vollständige nummerierte Literaturliste finden Sie unter www.medicalforum.ch.

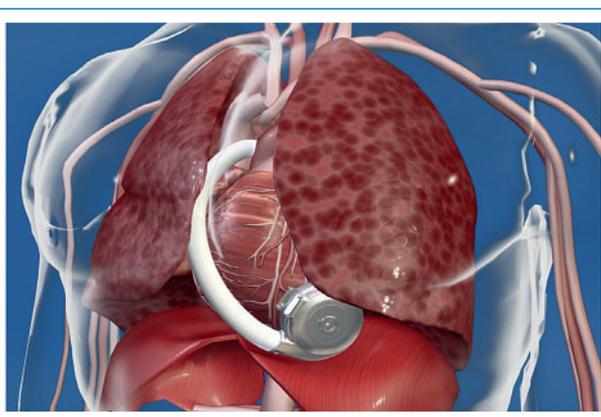


Abbildung 4
Intrakorporelles miniaturisiertes HeartWare-System mit magnetischer Levitation.

Herztransplantation und mechanische Kreislaufunterstützung:

aktueller Stand und Perspektiven (Teil 2) /

Transplantation cardiaque et assistance circulatoire mécanique

Situation actuelle et perspectives (2^{ème} partie)

Literatur (Online-Version) / Références (online version)

- 1 Lietz K, Long JW, Kfoury AG, Slaughter MS, Silver MA, Milano CA, et al. Impact of center volume on outcomes of left ventricular assist device implantation as destination therapy: analysis of the Thoratec HeartMate II Registry, 1998 to 2005. *Circ Heart Fail.* 2009;2:3–10.
- 2 Hilfiker-Kleiner D, Meyer GP, Schieffer E, Goldmann B, Podewski E, Struman I, et al. Recovery from postpartum cardiomyopathy in 2 patients by blocking prolactin release by bromocriptine. *J Am Coll Cardiol.* 2007;50:2354–5.
- 3 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;28:535–41.
- 4 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. Randomized Evaluation of Mechanical Assistance for the Treatment of Congestive Heart Failure (REMATCH) Study Group. *N Engl J Med.* 2001;345:1435–43.
- 5 Slaughter MS, Roger 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;361:2241–51.
- 6 Uriel N, Pak SW, Jorde UP, Jude B, Vincentelli A, Ennezat PV, et al. Acquired von Willebrandt syndrome after continuous flow mechanical device support contributes to a high prevalence of bleeding during long-term support and at the time of transplantation. *J Am Coll Cardiol.* 2010;56:1207–13.
- 7 Wiesenthaler GM, Driscoll G, Jansz P, Khaghani A, Strueber M, HVAD Clinical Investigators. Initial clinical experience with a novel left ventricular assist device with a magnetically levitated rotor in a multi-institutional trial. *J Heart Lung Transplant.* 2010;29:1218–25.