

Anaesthesist 2018 · 67:321–325  
<https://doi.org/10.1007/s00101-018-0444-3>  
 Online publiziert: 7. Mai 2018  
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von  
 Springer Nature 2018



S. Eifert

Herzchirurgische Klinik und Poliklinik, Transplantationszentrum, Klinikum Großhadern, LMU München, München, Deutschland

# Perkutane und chirurgische Optionen der mechanischen Kreislaufunterstützung in der Therapie der terminalen Herzinsuffizienz

Die Entwicklungen der Medizintechnik ermöglichen heutzutage ein Überleben bei bestehender terminaler Herzinsuffizienz NYHA-Stadien III/IV (NYHA: New York Heart Association; **Abb. 1**).

Alle genannten Therapien steigern bei *rechtzeitiger* Indikationsstellung sowohl die Lebensqualität als auch die Überlebensrate der Patienten. Im Fall der mechanischen Kreislaufunterstützung wurde dies in der REMATCH-Studie gezeigt (**Abb. 2**): Die Behandlung mit einem ventrikulären „assist device“ (VAD) ist der optimalen medikamentösen Therapie (OMT) bei Patienten überlegen, die für eine Herztransplantation nicht infrage kamen. Nicht nur die Überlebensrate hat sich damit verbessert, sondern auch die Lebensqualität und der klinische Status (NYHA-Stadium). Komplikationen traten in der VAD-Gruppe 2,35-mal häufiger auf [1].

Allerdings setzen diese Maßnahmen umfassende Kenntnisse und Erfahrungen des multidisziplinären Teams über Indikationen sowie Kontraindikationen und ein sorgfältiges Abwägen der Vor- und Nachteile für den Patienten voraus. Verschiedene Fachrichtungen können mit der mechanischen Kreislaufunterstützung in Kontakt kommen.

Seit 2001 steigt die Zahl der Patienten auf der Warteliste zur Herztransplantation. Gleichzeitig ist die Zahl der jährlichen Herztransplantationen tendenziell rückläufig. Die Ursachen dieser Entwicklung

sind multifaktoriell. Die medikamentöse Therapie der fortgeschrittenen Herzinsuffizienz hat eine enorme Entwicklung genommen; sie ist als hocheffizient zu betrachten, besonders mit der Einführung der Angiotensinrezeptorblocker sowie des Präparats Entresto® (Sacubitril; Neprilysininhibitor in Kombination mit Valsartan) als auch des Kalzium-Sensitizers Levosimendan. Dies ist mit einer Stabilisierung des Krankheitsstatus, einer Verlangsamung der Progression sowie der Zunahme der durchschnittlichen Lebenserwartung verbunden. Diese Erklärung wird auch durch Strüber et al. [2] unterstützt: Bereits seit der Jahrtausendwende führte die OMT zunächst zu einer Abnahme der Meldungen für eine Herztransplantation. Jedoch nach Ausschöpfung dieser Optionen wurde die Transplantation zu einem späteren Zeitpunkt angestrebt. Im Jahr 2001 wurde das Allokationsverfahren verändert: Transplantate sollten in erster Linie hochdringlichen Empfängern zugeordnet werden. Eine weitere Erklärung ist die allgemeine demografische Entwicklung in unserem Land mit der Zunahme der Inzidenz von terminaler Herzerkrankung.

Gesamteuropäisch betrachtet, können nur 25 % Patienten, die zur Überbrückung ein Herzunterstützungssystem erhalten, innerhalb eines Jahres nach Implantation transplantiert werden. Somit entsteht zwangsläufig der Status einer chronischen Kreislaufunterstüt-

zung durch vorrangig linksventrikuläre Unterstützungssysteme („left ventricular assist device“, LVAD) bei Patienten, die ambulant betreut werden können und auf unbestimmte Zeit mit einem solchen Gerät leben müssen.

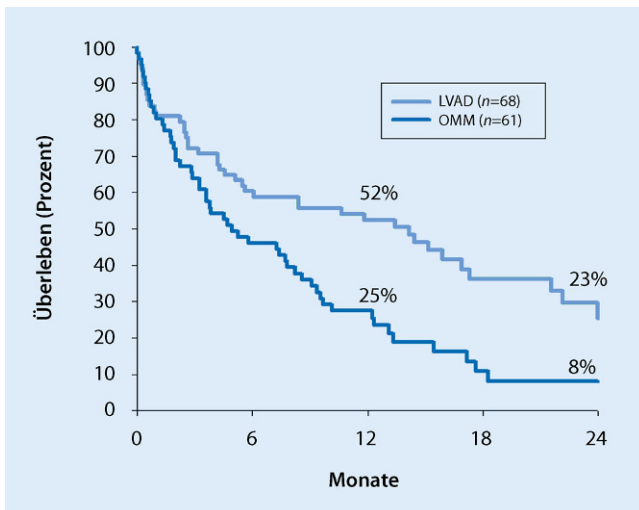
## Technische Entwicklung von Kunstherzsystemen

Vor knapp 50 Jahren stand das Thema Herzersatz bereits im Mittelpunkt des öffentlichen Interesses; zum einen wegen der ersten Herztransplantation im Dezember 1967, zum anderen, weil damals die Entwicklung und der Einsatz von Kunstherzsystemen begannen. Dies bedeutete zunächst den vollständigen Herzersatz durch ein pneumatisch angetriebenes Zweikammeraggregat. Damals wies das Kunstherz erhebliche technische Mängel auf, und der Antrieb über riesige extrakorporale Konsolen machte eine permanente Therapie nicht praktikabel.

Um technischen Problemen zu begegnen, verlegte man zunächst die künstlichen Ventrikel nach außen. Aus dem Herzersatz war somit ein Herzunterstützungssystem entwickelt geworden. Diese Technik konnte erfolgreich eingesetzt werden und wird bis heute angeboten. Die Entwicklung vom biventrikulären Herzersatz zur isolierten linksventrikulären Unterstützung nahm ihren Lauf. In den 1990er-Jahren wurden implantierbare, elektrisch angetriebene, linksven-

INTERMACS Score	NYHA	ACC/AHA	Zustand des Patienten	
1	IV	D	Kritischer kardiogener Schock	Stunden
2	IV	D	Steigender Katecholaminbedarf	Tage
3	IV	D	Stabil unter Inotropika	Woche
4	IV	D	Häufige Dekompensation	Woche-Monate
5	IV	C	Ruhebeschwerden/nicht belastbar	Variabel
6	IV	C	Ruhebeschwerden/kaum belastbar	1-JÜR
7	IIIb	C	Kaum belastbar	50-70%

**Abb. 1** ▲ Klassifikation der terminalen Herzinsuffizienz anhand der INTERMACS-Einteilung in Relation zu NYHA- und ACC/AHA-Klassifikation. INTERMACS Interagency Registry for Mechanically Assisted Circulatory Support, NYHA New York Heart Association, ACC Association Canadian Cardiology, AHA American Heart Association, JÜR Einjahres-Überlebensrate



**Abb. 2** ◀ REMATCH-Studie. OMM: „optimized medical therapy“, LVAD: „left ventricular assist device“

trikuläre Unterstützungssysteme produziert. Diese großen und schweren Verdrängerpumpen wurden in eine subdiaphragmale Tasche implantiert. Zum elektrischen Betrieb wurde ein perkutanes Kabel transkutan nach außen geführt: So entstand die auch noch heute am häufigsten verwendete Konfiguration. Die Größe und der Geräuschpegel der Geräte, die Infektionsgefahr sowie die mangelhafte mechanische Haltbarkeit stellten Limitationen dar [2, 3].

Die Technik der zweiten und dritten Generation von LVAD hat jedoch heute neue Möglichkeiten eröffnet: Diese LVAD arbeiten klappenfrei mit kontinuierlichem Blutfluss. Die neueren Generationen von Systemen werden elektrisch angetrieben und erzeugen über einen Ro-

tor einen kontinuierlichen, nichtpulsatilen Blutfluss: die so genannten Axial- bzw. Zentrifugalpumpen, die erheblich kleiner und geräuschlos sind. Darüber hinaus sind sie mechanisch über Jahre stabil. Der wesentliche Unterschied zwischen einer Axial- und Zentrifugalpumpe liegt im Design des Rotors. Daraus resultieren unterschiedliche Eigenschaften zur Modulation der Vor- und der Nachlast. Vorteile der Zentrifugalpumpe sind die geringe Hämolyserate und geringe Thrombogenität, einfache Handhabung und geringe Störanfälligkeit [4, 5].

Es stellte sich heraus, dass der kontinuierliche Blutfluss und die Pulslosigkeit physiologisch unproblematisch sind. Die mit der schweren Herzinsuffizienz verbundenen neurokognitiven Störungen

konnten mit pulslosen LVAD in gleicher Weise wie mit pulsatilen Geräten verbessert werden. Der Patient ist darüber hinaus in der Lage, eine zunehmende körperliche Belastung durch sein entlastetes natives Herz zu kompensieren.

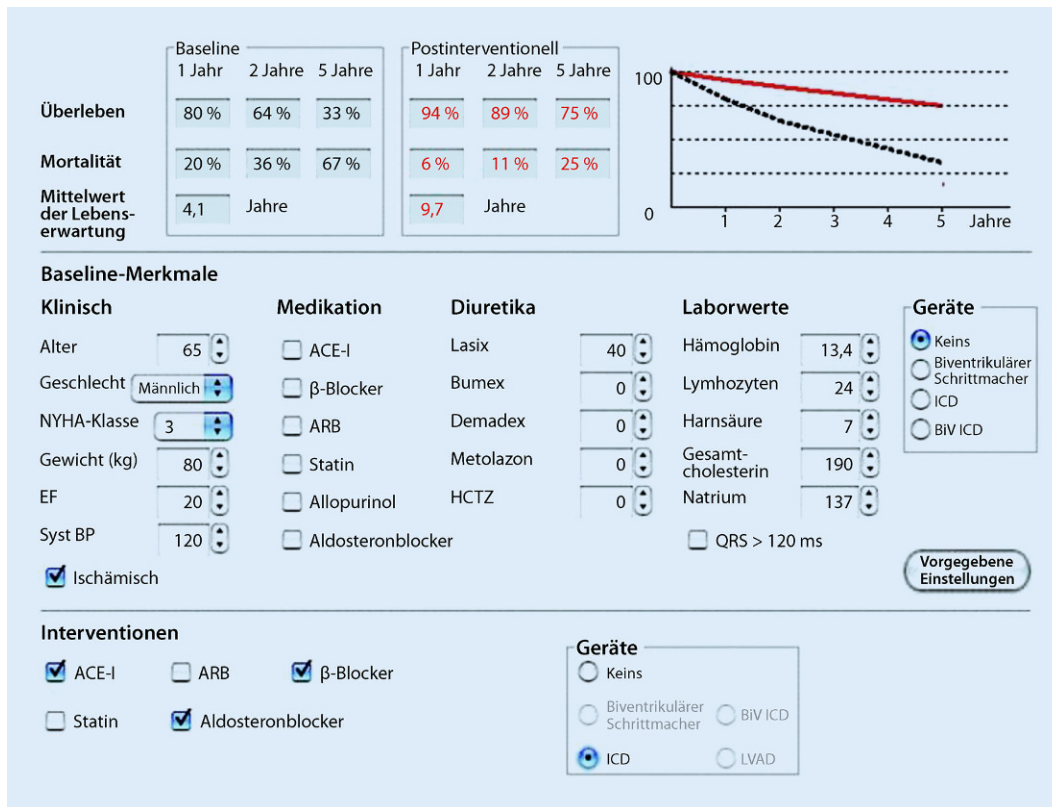
Wie von Strüber et al. gezeigt wurde, ist die Inzidenz von Infektionen und neurologischen Störungen – auch in Abhängigkeit von der operativen Technik – rückläufig: So wurden noch in der REMATCH-Studie für ein LVAD der ersten Generation schwere neurologische Störungen mit einer Inzidenz von 0,39/Patientenjahr beschrieben, in einer Untersuchung mit einer Axialpumpe (zweite Generation) waren es noch 0,18 Schlaganfälle/Patientenjahr, und in einer Studie mit einem Gerät der dritten Generation wurde ebenfalls eine Inzidenz von 0,18 genannt [1, 2].

Bei implantierbaren elektrisch betriebenen pulsatilen Systemen wird die benötigte Energie über ein Verbindungskabel oder per Induktion zwischen 2 Spulen über die unverletzte Haut von außen nach innen transportiert.

In ihrem Artikel „Minimalinvasive und operative Optionen zur mechanischen Kreislaufunterstützung in der Herzinsuffizienz“ geben die Autoren einen umfassenden Überblick über die wichtigsten aktuellen Verfahren zur mechanischen Kreislaufunterstützung. Die Autoren kategorisieren die verfügbaren Methoden und teilen die mechanische Kreislaufunterstützung nach Zugangsart sowie nach Dauer ihrer Anwendung in Systeme für kurzfristige sowie für mittel- bis langfristige Anwendung ein. Derwall et al. [6] stellen die unterschiedlichen verfügbaren, zugelassenen Systeme pulsatiler und kontinuierlicher Zirkulation vor. Sie unterscheiden intra- von extrakorporalen Pumpen.

### Perkutane Unterstützungssysteme

Die minimalinvasiv applizierbaren links- und rechtsventrikulären Unterstützungssysteme stellen zunehmend die zum Einsatz kommende Variante des kurzzeitigen mechanischen Kreislaufersatzes dar. Vor- und Nachteile der aufgeführten Systeme werden durch die Autoren aufge-



**Abb. 3** ◀ Seattle Heart Failure Model. NYHA New York Heart Association, EF Ejektionsfraktion, Syst BP systolischer Blutdruck, ACE-I Angiotensin-konversionsenzym-Inhibitor, ARB Angiotensinrezeptorblocker, HCTZ Hydrochlorothiazid, QRS QRS-Dauer, ICD implantierbarer Kardioverter-Defibrillator, BiV ICD biventrikulärer ICD, LVAD „left ventricular assist device“

zeigt; besonders der Vorteil der geringeren Invasivität bei den perkutanen, katheterbasierten Verfahren wird detailliert geschildert.

Begonnen wird mit der intraaortalen Ballonpumpe, dem am längsten klinisch verfügbaren perkutanen System. Die Implantationstechnik wird detailliert beschrieben.

### Extrakorporaler Life-Support (ECLS)/extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO)

Eine kurzzeitige Unterstützung der kardialen Funktion kann mittels venoarterieller ECMO (Nomenklatur ECLS) bis 14 Tage erfolgen; im Unterschied dazu wird die venovenöse ECMO für pulmonales Versagen verwendet. Indikationen zur ECLS-Anlage bestehen im Links- und/oder Rechtsherzversagen, als „bridge to transplant“, bei Risikointerventionen, für den kathetergestützten transfemorale Aortenklappenersatz (TAVI), im Rahmen der Postkardiotomie und unter Reanimation. Sowohl die perkutane als auch die offene operative Implantationstechnik finden Anwen-

dung. *Derwall et al.* erläutern umfassend die wesentlichen Kriterien, inklusive positiver und negativer Effekte, dieser Form der mechanischen Kreislaufunterstützung: die Fähigkeit zur Perfusatmodifikation und die Möglichkeit der Nutzung zur Absorption einerseits und die Unmöglichkeit zur linksventrikulären Entlastung (fehlendes „unloading“) bei gleichzeitiger Erhöhung der linksventrikulären Nachlast andererseits.

### Operative Therapie

Erst im Endstadium werden Patienten einer operativ-chirurgischen Therapie zugeführt und bislang nur selten frühzeitig in der interdisziplinären oder herzchirurgischen Herzinsuffizienzambulanz vorgestellt.

### Zugang

Der konventionelle Zugang erfolgt über eine mediane Sternotomie, v. a., wenn weitere chirurgische Eingriffe nötig sind oder es sich um eine Reoperation handelt. Dieser Eingriff wird mithilfe der extrakorporalen Zirkulation durchgeführt.

Eine Kardioplegie ist – je nach Ausmaß des Eingriffs – nicht zwingend erforderlich. Der Einflusstrakt des Unterstützungssystems wird über einen Haltering am Herzen befestigt und mittels Gefäßgraft an die Aorta ascendens anastomosiert. Das Kabel, das das Unterstützungssystem mit dem sog. Controller verbindet, wird über den Bauchraum ausgeleitet. Anschließend wird die Funktion vorrangig des linken Ventrikels schrittweise durch das Unterstützungssystem übernommen, bis eine vollständige Funktionsübernahme etabliert ist.

Alternativ kann die Operation am schlagenden Herzen ohne EKZ über eine linksseitige anterolaterale Ministor-tomie stattfinden. Diese Option ist bei später geplanter Herztransplantation eine gute Vorgehensweise. Für die Anastomosierung des aortalen Grafts kommen die Aortae ascendens et descendens infrage (obere Teilsternotomie oder eine parasternale Inzision rechts). Der Anschluss über die Aorta descendens (über laterale Thorakotomie) ist technisch aufwendiger und bietet z. T. schlechtere Sichtbarkeit für den Chirurgen. Alternativ stellt die linke A. subclavia

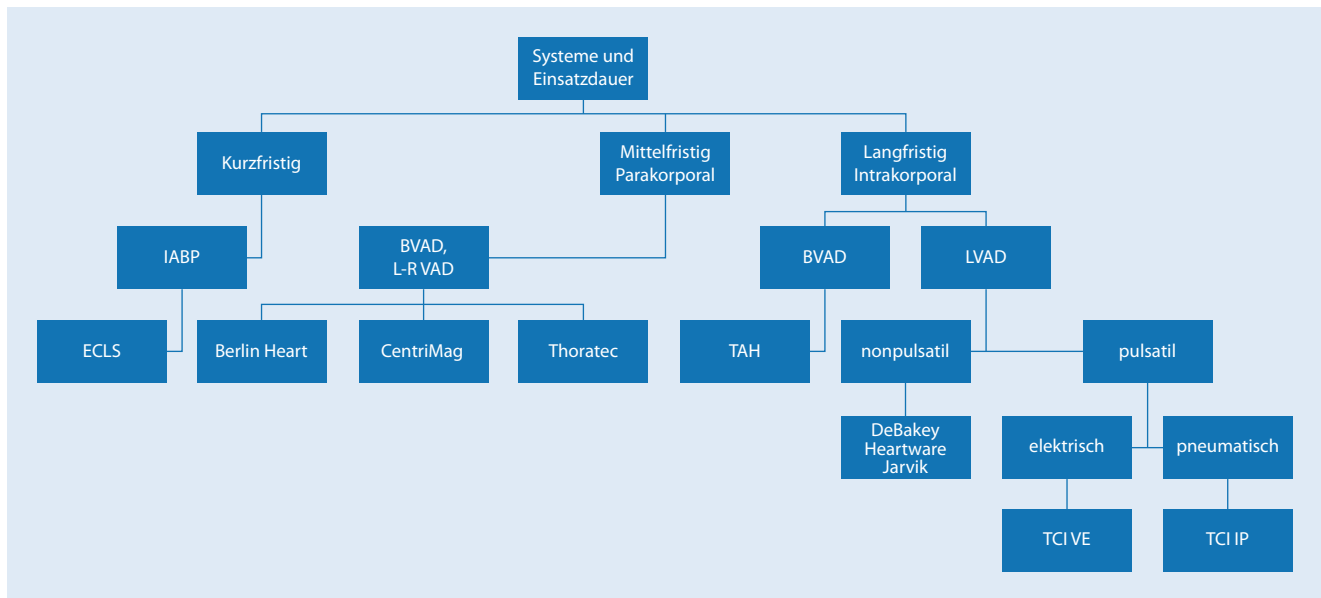


Abb. 4 ▲ Übersicht über verfügbare „assist devices“

eine Option dar (subklavikuläre Inzision links). Die Auswahl der Anschlussgefäße richtet sich nach der individuellen Anatomie des Patienten.

### Ventrikuläre Unterstützungssysteme

Die Indikationsstellung wird von *Derwall et al.* klar geschildert. Hinzu kommt, dass aufgrund des jeweils aktuellen Status des Patienten nicht nur hämodynamische Parameter relevant sind, sondern Indikatoren für eine beginnende Organ-dysfunktion. Diese sind über verschiedene Scoring-Systeme berechenbar und ermitteln nicht nur das Risiko des operativen Eingriffs, sondern auch den Erfolg der Operation im Sinne des Überlebens. Das Seattle Heart Failure Model (SHFM; **Abb. 3**; [7]) wurde als interaktives Programm implementiert und wendet den Seattle Heart Failure Score an. Er schätzt die mittlere, die Ein-, Zwei- und Fünfjahresüberlebensrate und die Erfolgchancen der medikamentösen als auch der implantierten Geräte für den individuellen Patienten ab, falls die Indikation gegeben ist. Darüber hinaus kann zur Beurteilung der Funktion des rechten Herzens, v. a. zur präoperativen Abschätzung der kürzlich entwickelte EUROMACS (European Registry for Patients with Mechanical Circulatory Support) Right-Sided

Heart Failure Risk Score herangezogen werden [8].

Bei der operativen Behandlung der terminalen Herzinsuffizienz steht eine Vielzahl an Geräten zur links- (LVAD), rechts- („right ventricular assist device“, RVAD) und biventrikulären („biventricular assist device“, BiVAD) Unterstützung zur Auswahl (**Abb. 4**).

In 97 % der Fälle findet weltweit die Implantation eines LVAD statt [9, 10].

Patienten, die eine Indikation zur Implantation eines LVAD aufweisen, zeigen *ohne* chirurgische Therapie (unter maximaler medikamentöser Behandlung) eine Einjahresüberlebensrate von 10–15 %. Damit übersteigt dieser Prozentsatz bei der schweren Herzinsuffizienz im NYHA-Stadium IV die Sterblichkeit maligner Erkrankungen deutlich und stellt die dritthäufigste Todesursache in Deutschland dar. Die Einjahresüberlebensrate nach LVAD-Implantation liegt hingegen bei 80 % [2].

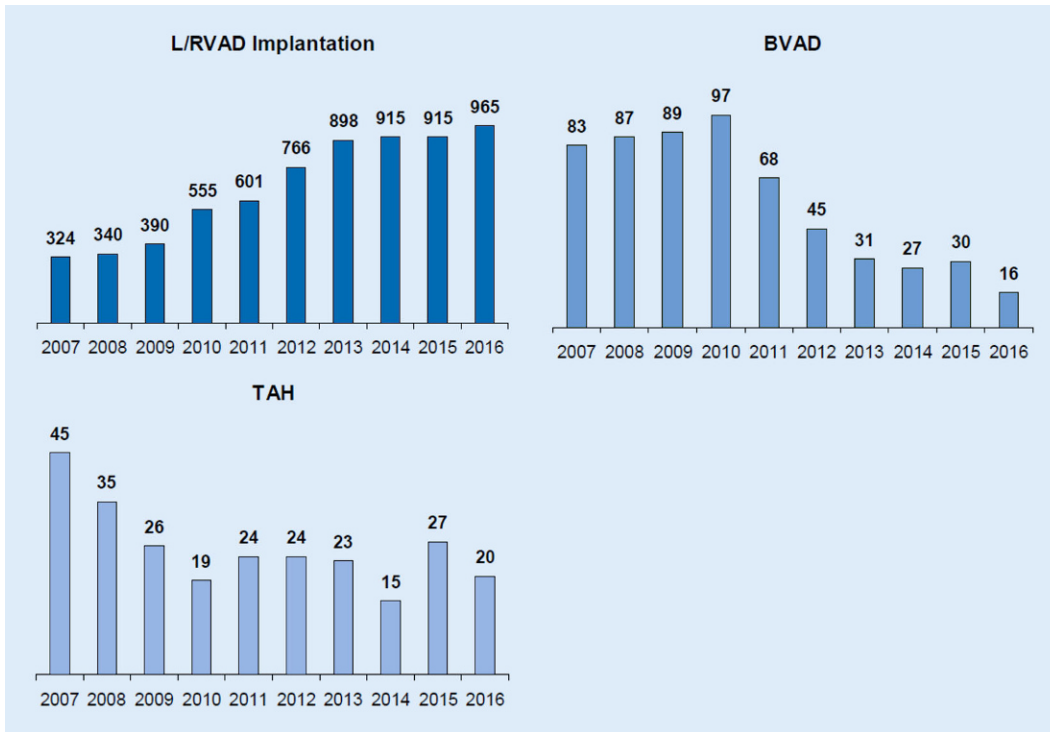
Die LVAD werden v. a. elektiv und nach präoperativer Konditionierung operativ implantiert, wenn eine langfristige Unterstützung indiziert ist. Durch eine grundlegend geänderte ventrikuläre Hämodynamik nach Implantation des LVAD – v. a. mit kontinuierlichem Blutfluss – kann es u. U. intra- oder postoperativ zum Rechtsherzversagen kommen. Dies ist meist bedingt durch

eine nicht an die linksventrikuläre Entlastung adaptierte v. a. septale myokardiale Dysfunktion. Daher empfehlen sich zunächst die detaillierte präoperative Abklärung sowie eine engmaschige Überprüfung der RV-Funktion intra-, peri- und postoperativ [9, 10].

Die Versorgung mittels RVAD ist selten erforderlich und erfolgt vorrangig als passagere Maßnahme bei rechtsventrikulärem Versagen, beispielsweise im Rahmen einer LVAD-Implantation. Nur wenige Systeme sind langfristig für den Einsatz als RVAD zugelassen, wenngleich sie technisch in der Lage sind, die rechtsventrikuläre Funktion komplett zu übernehmen und teilweise ausschließlich dafür entwickelt wurden.

Die Implantation eines BiVAD wird ausschließlich bei Patienten mit biventrikulärem Pumpversagen als mittelfristige Versorgung zur Überbrückung bis zu einer Transplantation verwendet: Entsprechend den internationalen und nationalen Registerdaten wird diese Operation in etwa 3 % der Fälle durchgeführt (**Abb. 5**; [9, 10]).

Im Unterschied zu den VAD werden für die Einbringung des „total artificial heart“ (TAH) operationsbedingt beide Ventrikel reseziert. Diese Operation erfordert einen viel größeren Aufwand für Patienten und implantierende Chirurgen sowie betreuende Mediziner.



**Abb. 5** ◀ DGTHG-Statistik: Implantierte VAD-Systeme. LVAD linksventrikulär, RVAD rechtsventrikulär, BVAD biventriculär, TAH total artificial heart

Allen Geräten ist gemein, dass sie ein striktes Antikoagulationsregime erfordern, gegenwärtig v. a. aus Marcumar und einem Thrombozytenaggregationshemmer in Kombination bestehend, um thrombembolische Komplikationen zu verhindern. Dies birgt andererseits die Gefahr von Blutungen in sich. Darüber hinaus besteht die Komplikationsgefahr einer Infektion, v. a. durch die sog. Driveline [9, 10].

## Postoperatives Prozedere

Die Pulslosigkeit und der u. U. nichtmessbare Blutdruck stellen eine Herausforderung für Ärzte und Patienten dar. Sie erfordern eine Umstellung der gewohnten Behandlungsmodalitäten für diese Patienten, insbesondere, wenn medizinische oder chirurgische Maßnahmen erforderlich sind, die mit der kardialen Situation nicht direkt im Zusammenhang stehen. Daher empfiehlt sich die Kontaktaufnahme mit dem implantierenden Zentrum.

Sandra Eifert

## Korrespondenzadresse

### Prof. Dr. S. Eifert

Herzchirurgische Klinik und Poliklinik, Transplantationszentrum, Klinikum Großhadern, LMU München  
Marchioninistr. 15, 81377 München, Deutschland  
Sandra.Eifert@med.uni-muenchen.de

**Interessenkonflikt.** S. Eifert gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- Rose EA, Gelijns CA, Moskowitz AJ et al (2001) Long-term use of a left ventricular assist device for end-stage heart failure. *N Engl J Med* 345:1435–1443
- Strüber M, Meyer AL, Malehsa D, Kugler C, Simon AR, Haverich A (2009) Situation der Herztransplantation und Weiterentwicklung von Kunstherzen. *Dtsch Arztebl Int* 106(28–29):471–477
- Beyersdorf F, Martin J, Zehender M et al (2005) Chirurgische Behandlungsoptionen bei terminaler chronischer Herzinsuffizienz. *Dtsch Arztebl* 102(37):A-2468 (B-2076 / C-1966)
- Moazami N, Fukamachi K, Kobayashi M et al (2013) Axial and centrifugal continuous-flow rotary pumps: a translation from pump mechanics to clinical practice. *J Heart Lung Transplant* 32(1):1–11
- Mehra MR, Goldstein DJ, Uriel N et al (2018) Two-year outcomes with a magnetically levitated cardiac pump in heart failure. MOMENTUM 3 investigators. *N Engl J Med* 378(15):1386–1395
- Derwall M, Moza A, Brücken A (2018) Die mechanische Kreislaufunterstützung in der

Herzinsuffizienz. Anaesthetist. <https://doi.org/10.1007/s00101-018-0435-4>

- Levy WC et al (2006) The Seattle Heart Failure Model Prediction of survival in heart failure. *Circulation* 113:1424–1433
- Soliman OI, Akin S, Muslem R et al (2018) EUROMACS investigators. Derivation and validation of a novel right-sided heart failure model after implantation of continuous flow left ventricular assist devices: the EUROMACS (European Registry for Patients with Mechanical Circulatory Support) Right-Sided Heart Failure Risk Score. *Circulation* 137:891–906
- Feldman D, Pamboukian SV, Teuteberg JJ et al (2013) The 2013 International Society for Heart and Lung Transplantation guidelines for mechanical circulatory support: executive summary. *J Heart Lung Transplant* 32(2):157–187
- Kirklin JD, Pagani FD, Kormos RL et al (2017) Eighth annual INTERMACS report: special focus on framing the impact of adverse events. *J Heart Lung Transplant* 36(10):1080–1108