

Rechtsventrikuläres Weaning vom Biventrikulären Assist Device (BiVAD)

ZUSAMMENFASSUNG

Bei einem Patienten mit primärem Pumpversagen des rechten Ventrikels und späterer biventrikulärer Herzinsuffizienz stellte sich die Frage des Weanings vom Biventrikulären Assist Device (BiVAD, Berlin Heart EXCOR®). Laut unserer Information gibt es kein beschriebenes systematisches Vorgehen zur Testung der rechtsventrikulären Pumpfunktion am BiVAD.

Ein 11 Jahre alter männlicher Patient mit akuter Myokarditis, Niereninsuffizienz, Leberstauung, unklarer Koagulopathie und biventrikulärem Low-Cardiac-Output wurde notfallmäßig mit einer ECMO über eine Sternotomie hämodynamisch stabilisiert. Das rechte Vorhofrohr war komplett voller organisierter Thromben und wurde vor ECMO-Implantation mit Hilfe der Herz-Lungen-Maschine ausgeräumt und exziiert. Nach 6 Tagen zeigte sich keine Erholung des Herzens bei einem neurologisch unauffälligen Patienten, worauf ein biventrikuläres Kreislaufunterstützungssystem (BiVAD, Berlin Heart EXCOR) implantiert wurde. Nach 90 Tagen maschineller Kreislaufunterstützung konnte eine zunehmende Erholung der biventrikulären kardialen Funktion verzeichnet werden, so dass ein Weaning vom BiVAD in Erwägung gezogen wurde. Nach dem von Berlin Heart beschriebenen Protokoll ist nur eine Testung des linken Ventrikels möglich. Da unsere Bedenken jedoch insbesondere der Funktion des rechten Ventrikels galten, haben wir ein Weaning-Protokoll vom BiVAD entwickelt, das es uns erlaubt, unter laufender maschineller Unterstützung die Funktion sowohl des rechten als auch des linken Ventrikels selektiv unter zunehmender Last zu beurteilen.

Entsprechend dem Weaning-Protokoll wurde der Patient innerhalb einer Woche bis zu einer Unterstützungsfrequenz von 30 Schlägen pro Minute vom BiVAD entwöhnt und die Kreislaufunterstützung konnte nach 130 Tagen beendet und erfolgreich explantiert werden. Der Patient wurde eine Woche später nach Hause entlassen. Im Follow-up nach einem halben Jahr zeigte sich eine gute biventrikuläre Pumpfunktion.

SCHLÜSSELWÖRTER

BiVAD, Rechtsherzversagen, mechanische Kreislaufunterstützung, Weaning, Gerinnung, Zeitfenster, Explantation

ABSTRACT

Objective: Drug-resistant biventricular heart failure is commonly treated with a mechanical circulatory support system. However, testing of right ventricular performance in order to wean from biventricular assist device (BiVAD) is indeterminate.

An 11-year old boy presented with severe cardiac and multiorgan failure. Echocardiography showed biventricular low cardiac output with right atrial thrombus formation. The patient was treated with operative thrombectomy, and ECMO. After six days, a BiVAD, Berlin-Heart EXCOR® was implanted due to failing recovery. After 90 days of mechanical support and biventricular recovery on ECHO cardiac weaning from BiVAD was discussed. On basis of the Berlin Heart weaning protocol, solely testing of left ventricular performance is possible. However, our concern pertained on right ventricular performance. We developed a weaning protocol in order to evaluate left and right ventricular function selectively. Over one week, the patient was consecutively weaned to a support rate of 30 bpm, BiVAD was explanted successfully, and the patient was sent home one week postoperatively. At the half year follow-up, the patient is still presenting with good biventricular cardiac function on echo.

Selective evaluation of right and left ventricular function during BiVAD support is possible. Unclear remains the optimal timing for weaning from mechanical support.

KEY WORDS

BiVAD, right ventricular decompensation, mechanical circulatory support, weaning, coagulation, timing, explantation

EINLEITUNG

Ein elf Jahre alter männlicher Patient (Größe: 150 cm, Gewicht: 50 kg) wurde mit akuter globaler Herzinsuffizienz und Multiorgan-

versagen bei V. a. chronische Autoimmunmyokarditis in die Kinderklinik des Universitätsklinikums Erlangen verlegt.

Direkt bei Aufnahme wurde aufgrund hämodynamischer Instabilität die Indikation zur mechanischen Kreislaufunterstützung mit Hilfe der extrakorporalen Membranoxygenation (ECMO) gestellt. Der Anschluss an die extrakorporale Zirkulation erfolgte über eine Sternotomie. Während des ECMO-Anschlusses fiel ein induriertes, derbes rechtes Vorhofrohr auf, so dass zunächst über eine bikavale Kanülierung der Anschluss an die Herz-Lungen-Maschine (HLM) erfolgte. Bei der Vorhofinspektion zeigte sich ein komplett mit wandständigen Thromben ausgefülltes rechtes Vorhofrohr, welches vollständig exziiert wurde. Dies weist auf ein länger andauerndes Problem des rechten Ventrikels hin. Nach dem Vorhofverschluss wurde zur besseren Linksherzentlastung zusätzlich eine venöse Kanüle in den linken Vorhof eingeführt, die HLM wurde beendet und die ECMO gestartet. Nach sechs Tagen wurde bei ausbleibender kardialer Rekompensation unter ECMO-Therapie ein biventrikuläres Assist Device (BiVAD, Berlin Heart – EXCOR) implantiert.

– Rechts: 50-ml-Ventrikel, Vorhofkanüle Berlin Heart C26V-002 im rechten Vorhof sowie in der Pulmonalarterie eine Medos Graftkanüle (ME 656S0125 12 mm)

– Links: 60-ml-Ventrikel, Apex kanüliert mit einer Berlin Heart C27A-001 Apexkanüle und in der Aorta eine Medos Graftkanüle (ME 656S0145 14 mm)

Der Patient konnte bereits am ersten postoperativen Tag extubiert werden, Leberstauung und Niereninsuffizienz waren rückläufig. Beide Ventrikel füllten sich gut bei einer Frequenz von 70 Schlägen/min (bpm) bei einem Herzzeitvolumen (HZV) von 4,2 l/min. Die Antikoagulation erfolgte nach dem Schema von Berlin Heart mit Marcumar und Dipyridamol.

Im Verlauf zeigte der Patient eine rasche körperliche Erholung. Echokardiographisch konnte eine zunehmende Verbesserung der biventrikulären kardialen Funktion festgestellt werden, so dass nach drei

Monaten die Indikation zur Explantation vom BiVAD gestellt wurde. Das Weaning wurde nach dem unten aufgeführten Protokoll durchgeführt.

Histologisch und immunhistologisch zeigte sich ein mit einer dilatativen Kardiomyopathie oder einer chronischen Myokarditis vereinbarer Befund.

ALLGEMEINES ZU DEM EXCOR VAD

Das EXCOR-VAD-System ist für die Anwendung als Herzunterstützungssystem, sowohl univentrikulär als auch biventrikulär, am Menschen vorgesehen. Mögliche Behandlungsziele sind:

- Bridge to transplant (BTT)
- Bridge to recovery (BTR)
- Destination therapy (DT)

Die stationäre Antriebseinheit, der sogenannte IKUS-Antrieb, bietet die Möglichkeit, alle von Berlin Heart angebotenen externen Ventrikel zwischen 10 und 80 ml zu betreiben. Für den intraoperativen Start ist der IKUS der einzige zugelassene Antrieb. Ein weiterer Vorteil besteht in der Möglichkeit, beide Ventrikel sowohl synchron als auch asynchron bei verschiedenen Frequenzen zu betreiben. Diesen Vorteil erkaufte man sich mit einem relativ großen, schwerfälligen Gerät mit eingeschränkter Flexibilität und einer Akkukapazität von nur 30 bis 40 Minuten (Abb. 1.).



Abb. 1: IKUS, stationärer Antrieb

Der wesentlich kleinere Antrieb EXCOR-Mobil ist ausschließlich zum Betreiben von Blutpumpen mit einer Größe von 60 und 80 ml konzipiert. Für den intraoperativen Start der Blutpumpen sowie zur Erstversorgung des Patienten besteht we-



Abb. 2: EXCOR-Mobil-Antrieb in Erlangen an unseren beiden BiVAD-Patienten

der eine Zulassung noch die oftmals notwendigen Einstellungsmöglichkeiten. Ein Wechseln vom IKUS zum EXCOR-Mobil kann bei Frequenzgleichheit sowie synchroner Pumpfrequenz bei vorausgesetzter Mobilität des Patienten erfolgen. Die Vorteile des EXCOR-Mobil bestehen vor allem in seiner Größe (kleiner Caddy) und der längeren Akkulaufzeit (Abb. 2). Diese netzunabhängige Betriebszeit beträgt bei univentrikulärem Betrieb ca. zehn Stunden und bei biventrikulärem Betrieb ca. fünf Stunden (Tab. 1). Die Bewegungsfreiheit kann mit einer erhöhten Anzahl von Ersatzakkus verlängert werden, wodurch eine erhöhte Lebensqualität erzielt werden kann. Mit diesem System ist es auch möglich, Pa-

	IKUS	EXCOR-Mobil
Ventrikel-Größen	10–80 ml	60–80 ml
Pumpfrequenz	30–150 bpm	60–90 bpm
Systolischer Druck	60–350 mmHg	max. 250 mmHg
Diastolischer Druck	-100 bis 0 mmHg	–100 mmHg
Einst. Relative Systolendauer	20–70 %	40–60 %
Einsatzdauer	max. 500 Tage (empfl. 1 Jahr)	120 Mill. Zyklen (138–92 Tage)
Netzunabhängiger Betrieb	min. 30–40 min	5–10 h

Tab. 1: Übersichtsvergleich Antriebseinheiten

tienten in das heimische Umfeld zu entlassen. Bei dem beschriebenen Patienten wurde die Mobilität aufgrund des Alters über das EXCOR-Mobil auf das Krankenhausareal und den klinikumsnahen Park beschränkt. Ein weiterer Vorteil des mobilen

EXCOR im Gegensatz zum IKUS besteht darin, dass das System immer auf seine Grenzwerte eingestellt werden kann und durch die Berechnung der Luftbewegung nur der benötigte Druck bzw. Sog anliegt. So passt sich das System den Bewegungen des Patienten an und sorgt für eine optimale Unterstützung. Im Gegensatz dazu müssen beim IKUS der zuständige Kardiotechniker gemeinsam mit den Ärzten eine optimale Einstellung für die Patienten finden und diese gegebenenfalls bei Leistungsänderung jeweils anpassen.

VORAUSSETZUNG FÜR WEANING

Für das Testen der kardialen Erholung ist zunächst ein Wechsel des EXCOR-Mobil auf den IKUS notwendig, da der mobile Antrieb lediglich minimale Frequenzen von 60 bpm zulässt, wohingegen bei dem IKUS-Antrieb die Frequenz auf 30 bpm reduziert werden kann.

Nach zwei Monaten stellte sich die Frage, ob die globale Erholung beider Ventrikel einen Assist-Ausbau im Sinne eines „Bridge to Recovery“ zulassen würde oder ob ein „Bridge to Transplant“ erforderlich wäre.

Unter echokardiographischem Monitoring wurde die Assist-Frequenz auf 30 bpm gesenkt und dadurch das Assist-HZV auf 1,8 l/min reduziert. Unter diesen kontrollierten Bedingungen wurden die biventrikulären Funktionen echokardiographisch evaluiert und die Hämodynamik dokumentiert. Anschließend wurde das BiVAD wieder auf das mobile Antriebssystem (EXCOR-Mobil) mit 60 bpm eingestellt. Dies bedeutete ein Reduzierung des LVAD-HZV (60-ml-Ventrikel) von zuvor 4,2 l/min auf 3,6 l/min sowie des RVAD-HZV (50-ml-Ventrikel) von 3,5 l/min auf 3,0 l/min.

Eine Woche vor dem geplanten Assist-Ausbau sollte ein kontrollierter Funktionstest beider Ventrikel erfolgen.

Nach Abwägung der Risiken planten wir einen Ausbau des Assist-Systems nach weiteren zwei Monaten Erholungszeit-

raum. Dieser Zeitpunkt schien uns adäquat. In den Literaturen sind die Zeitpunkte für LVAD-Ausbau mit 3 bis 6 Monaten beschrieben. [1–6]

GLOBALER TEST

Schrittweise Reduktion der Pumpfrequenz am IKUS von 60 auf 30 bpm. Die Reduktion um jeweils 10 bpm erfolgt für mindestens 5 min unter Dokumentation von Druckwerten und echokardiographischer Kontrolle. Bei einer Frequenz von 30 bpm wird zunächst der rechte Kunstventrikel pausiert. Um Thrombenbildung zu vermeiden, wird alle 30 bis 40 Sekunden im Handbetrieb ein Ventrikelschlag durchgeführt. Nach 2 Minuten wird nun auch der linke Kunstventrikel auf die Handpumpe umgestellt und auch hier alle 30 Sekunden ein Schlag zur Durchspülung des Systems manuell verursacht. Währenddessen erfolgt das hämodynamische Monitoring unter echokardiographischer Kontrolle. Der IKUS-Antrieb läuft in dieser Zeit weiter und wird mit Kesselmodulen versorgt, um keine Alarmer zu generieren. Nach ca. 10 Minuten wird die maschinelle Kreislaufunterstützung am IKUS wieder begonnen und die Ventrikel Frequenz langsam wieder auf 60 bpm erhöht. Diese Frequenz wird für 15 Minuten aufrechterhalten, bevor die selektive Testung des rechten Ventrikels vorgenommen werden sollte.

SELEKTIVER FUNKTIONSTEST DES RECHTEN VENTRIKELS

Bei diesem Test wird der „Problemventrikel“ unter simulierter Volumenbelastung gefordert. Die Frequenz beider Ventrikel wird wieder auf 30 bpm reduziert. Der rechte Kunstventrikel wird erneut vom System genommen und alle 30 Sekunden durch einen manuell verursachten Ventrikelschlag durchgespült (Thrombenschutz). Jetzt wird der linke Kunstventrikel schrittweise um 5 bpm für je 2 Minuten bis auf eine Maximalfrequenz von 70 bpm erhöht. Voraussetzung ist dabei immer, dass der linke Kunstventrikel fortwährend vom rechten eigenen Ventrikel gefüllt wird. Die LVAD-Frequenz von 70 bpm wird unter kontinuierlichem hämodynamischen und echokardiographischen Monitoring für 10 Minuten aufrechterhalten. Die Füllung des LVAD-Ventrikels wird dabei ausschließlich durch die native RV-Funktion verursacht. Dabei ist echokardiographisch insbesondere auf eine zunehmende Trikuspidalklappeninsuffizienz sowie eine abnehmende Pumpfunktion oder Größenzunahme des rechten Ventrikels zu achten.



Abb. 3: BiVAD-Ventrikel vor Explantation

Sollte der rechte Ventrikel es schaffen, den linken Kunstventrikel ohne zusätzliche medikamentöse Unterstützung innerhalb dieses Zeitfensters ordentlich zu füllen, sollte auch einem kontrollierten Weaning nichts mehr im Wege stehen.

WEANINGPHASE

Das Weaning von der maschinellen Kreislaufunterstützung erfolgt über einen Zeitraum von einer Woche unter Monitorüberwachung und regelmäßigen echokardiographischen Kontrollen. Während der Weaningphase kann eine medikamentöse kardiale Unterstützung in Form eines Kalziumsensitizers verabreicht werden, auf Katecholamine sollte verzichtet werden.

Nach erfolgreicher Testung erfolgt die Weaningphase mit langsamer Reduktion des BiVAD um 5 bpm pro Tag am IKUS unter ansonsten „normalen Bedingungen“. Der Patient sollte sich „frei“ im Klinikum bewegen, um so die Alltagstauglichkeit unter Beweis zu stellen. Nach sechs Tagen wird die BiVAD-Frequenz von 30 bpm für weitere 24 Stunden belassen. In dieser Phase ist insbesondere auf eine vermehrte Thrombenbildung in den Pumpen zu achten, welche sich bei Frequenzen unter 50 bpm deutlich erhöht. Bei positivem Thrombennachweis muss das Weaning zunächst beendet und die Frequenz wieder auf über 50 bpm erhöht werden.

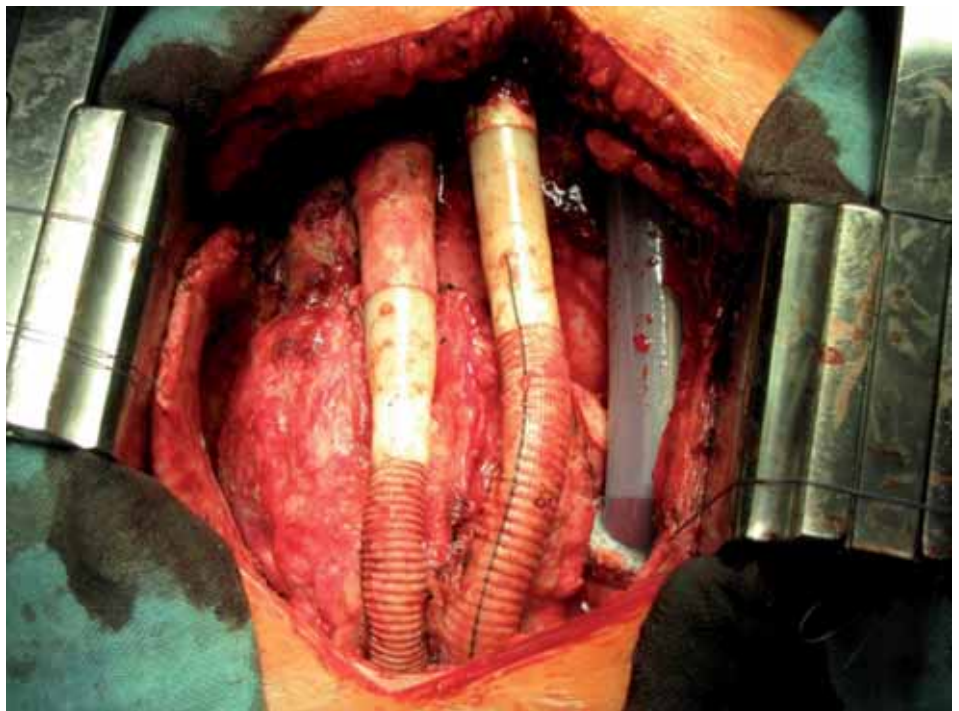


Abb. 4: Intraoperativer Befund vor Explantation

GERINNUNGSREGIME WÄHREND DER WEANINGPHASE

Eine Empfehlung von Berlin Heart lautet 4 Tage vor Explantation:

- Marcumar/Enoxaparin pausieren und überlappend Gabe von Heparin auf eine Ziel-PTT von 60–80 Sek., bei vorher angepassten AT-III-Werten auf Normwerte
- mindestens 48 h vor Ausbau ASS und Dipyridamol pausieren

EXPLANTATION

Bei dem beschriebenen Patienten erfolgte die Explantation des BiVAD-Systems (Abb. 3 und 4) zur kontrollierten Mobilisierung und Übernähung der Apex-Kanüle unter Zuhilfenahme der Herz-Lungen-Maschine für neun Minuten ohne Ischämie. Unter medikamentöser Unterstützung mit Suprenin und Corotrop in geringer Dosierung war eine zufriedenstellende Hämodynamik erzielbar. Am ersten postoperativen Tag erfolgte die Extubation und bis zum 4. postoperativen Tag die Entfernung der Drainagen. Am 7. Tag nach Explantation wurde der Patient nach Hause entlassen.

NACHBEHANDLUNG

Die Herzinsuffizienztherapie mit Betablockern und ACE-Hemmern und Diuretika wurde zunächst beibehalten. Ein Sportverbot wurde für 3 Monate erteilt.

SCHLUSSFOLGERUNG

Mit dem vorliegenden Testprotokoll ist es möglich, die Funktion sowohl des linken als auch des rechten Ventrikels während der maschinellen Unterstützung am BiVAD unabhängig voneinander zu beurteilen. Die bisher im Abseits stehende rechtsventrikuläre Pumpfunktion konnte durch unser Regime in den Vordergrund gerückt werden. In dem vorliegenden Fallbeispiel konnten wir nach erfolgreicher Testung sicher davon ausgehen, eine gute biventrikuläre Pumpfunktion nach der BiVAD-Explantation vorzufinden. Der Patient ist mittlerweile seit sechs Monaten zu Hause und geht wieder zur Schule. In der echokardiographischen Kontrolluntersuchung nach einem halben Jahr zeigte sich eine komplette Erholung beider Ventrikel mit normaler biventrikulärer Pumpfunktio-

on. Nach dieser Zeit nimmt der Patient erneut am Schulsport teil und spielt wieder Fußball im Verein.

LITERATUR

- [1] Dandel M et al: Prediction of Cardiac stability after weaning from left ventricular assist devices in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy. *Circul J Am Heart Ass* 2008; 118: 94–105
- [2] Jones CB et al: Successful bridge to recovery with 120 days of mechanical support in an infant with myocarditis. *J Heart Lung Trans* 2009; 28: 202–205
- [3] Cavanaugh JL et al: Predicting recovery: Successful explant of a ventricular assist device in a child with dilated cardiomyopathy. *J Heart Lung Trans* 2010; 29: 105–108
- [4] Liang H et al: Prediction of cardiac function after weaning from ventricular assist devices. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005; 130(6): 1555–1560
- [5] Dandel M et al: Long-term results in patients with idiopathic dilated cardiomyopathy after weaning from left ventricular assist devices. *Circul* 2005; 112(9 Suppl): I37–145
- [6] Mueller J et al: Predictive factors for weaning from a cardiac assist device. An analysis of clinical, gene expression, and protein data. *J Heart Lung Trans* 2001; 20(2): 202

Frank Münch
Herzchirurgische Klinik
Kardiotechnik
Universitätsklinikum Erlangen-Nürnberg
Krankenhausstr. 12
91054 Erlangen