

Invasive Kreislaufunterstützungssysteme bei intra- und interhospitalen Transporten

In den letzten Jahren haben invasive Kreislaufunterstützungssysteme auch abseits der Herzchirurgie v. a. aufgrund der einfacheren Handhabung und der unkomplizierteren Implantation zunehmend weitere Verbreitung erfahren. Die neuesten Systeme sind auch von der Größe her schon dezidiert für den Transport ausgelegt. Zunehmend werden schwerkranke Patienten in einer primär behandelnden Klinik durch ein angereichertes Spezialteam mit einem Kreislaufunterstützungssystem versorgt, um sie dann in ein spezialisiertes Zentrum zur Weiterbehandlung bringen zu können.

Entwicklung der linksventrikulären Unterstützungssysteme

Seit der ersten Beschreibung einer Herzlungenmaschine in den 1950er Jahren konnten auch perkutan implantierbare Geräte entwickelt werden [22]. In **Tab. 1** wird ein Überblick über die aktuell erhältlichen Systeme gegeben. Diese perkutan implantierbaren kardialen Unterstützungssysteme haben in den letzten Jahren auch eine immer weitere Verbreitung gefunden. Die Indikationen für Kreislaufunterstützungssysteme haben sich vom reinen therapierefraktären kardiogenen Schock [1, 30] über ein akutes Lungenversagen (ARDS; [13, 19]) bis hin zum septischen Schock ausgeweitet; bei letzterem wird eine hämodynamische Unterstützung aktuell allerdings nur bei Kindern und Neugeborenen empfohlen [3, 10]. Je nach Indikation kön-

nen Systeme mit reiner Kreislaufunterstützung und/oder mit Kreislaufunterstützung verbunden mit einem Oxygenator eingesetzt werden. Darüber hinaus werden Unterstützungssysteme vermehrt eingesetzt, um die Transportfähigkeit von akut gefährdeten Patienten in primär versorgende Krankenhäusern herzustellen und so einen Transfer in tertiäre Spezialzentren zur weiteren Behandlung zu gewährleisten [6, 12, 14, 15, 20, 21, 23, 25, 29].

Aktuell stehen 3 unterschiedliche Technologien zur Verfügung [8, 18, 28], schematisch dargestellt in **Abb. 1**. In den nächsten Abschnitten wird näher auf

die einzelnen Systeme eingegangen und über die Erfahrungen und Empfehlungen der einzelnen Systeme für den Patienten-transport berichtet.

Extrakorporale Membranoxygenierung

Die extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) stellt eine kleinere Form der herkömmlichen Herzlungenmaschine dar (**Abb. 2**). In der neuesten Generation sind die vorhandenen Geräte auch dezidiert für den Transport optimiert. Aktuell stehen mehrere Systeme zur Verfü-

Tab. 1 Technische Details der aktuell erhältlichen perkutanen linksventrikulären Unterstützungssysteme

	ECMO (mehrere Systeme)	Impella Recover® LP 5.0	Impella Recover® LP 2.5	TandemHeart™
Kathetergröße (French)	–	9	9	–
Kanülengröße (French)	17–21 venös, 16–18 arteriell	21	12	21 venös, 12–19 arteriell
Fluss (l/min)	Max. 7,0	Max. 5,0	Max. 2,5	Max. 4,0
Pumpengeschwindigkeit (U/min)	Max. 5000	Max. 33000	Max. 51000	Max. 7500
Insertionsstelle/ Platzierung	Perkutan (A. und V. femoralis)	Periphere chirurgische Implantation (A. femoralis)	Perkutan (A. femoralis)	Perkutan (A. femoralis und linkes Atrium nach transseptaler Punktion)
Antikoagulation	+	+	+	+
Empfohlene maximale Verweildauer	Bis 7 Tage	10 Tage	10 Tage	Bis 14 Tage
CE-Zertifizierung	+	+	+	+
FDA-Zulassung	+	+	+	+
Relative Kosten im Vergleich zur IABP	++	++++	+++	+++++
Erfahrungen mit Transport	+	+	+	–

+ vorhanden, – nicht vorhanden, ECMO extrakorporale Membranoxygenierung, IABP intraaortale Ballonpumpe, FDA Food and Drug Administration.

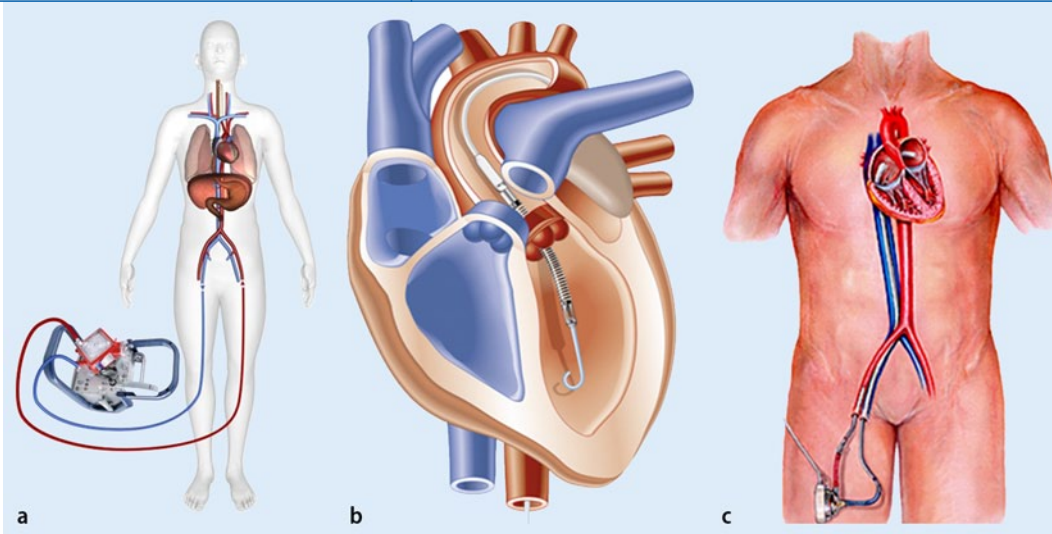


Abb. 1 ◀ Schematische Darstellung der aktuell verfügbaren kardialen Unterstützungssysteme. **a** extra-korporale Membranoxygenierung (ECMO), **b** Impella Recover® LP 2.5, **c** TandemHeart™



Abb. 2 ▲ Perkutan implantierbare ECMO mit Fixierung auf einem fahrbaren Gestell für den intrahospitalen Transport



Abb. 3 ▲ Perkutane Implantation einer ECMO im Herzkatheterlabor

gung, das ELS-System™ und die CARDIO-HELP™ (beide MAQUET Cardiopulmonary AG, Hirrlingen, Deutschland) sowie die LIFEBRIDGE® (LIFEBRIDGE Medizintechnik AG, Ampfing, Deutschland). Alle Systeme können perkutan implantiert werden und stehen somit auch ohne herzchirurgisch ausgestatteten Operationssaal zur Verfügung. Sogar über eine Verwendung im Rahmen einer Reanimation außerhalb eines Spitals mit erfolgreicher Implantation im Rahmen eines Notarzteeinsatzes gibt es einen Erfahrungsbericht [2]. Die Systeme werden als Herz-

unterstützung venoarteriell meist über die A.- und V. femoralis implantiert, jedoch ist für den Fall einer reinen pulmonalen Problematik auch eine venovenöse Implantation möglich (■ **Abb. 3**).

Beim intrahospitalen Transport von ECMO-Patienten, z. B. vom Herzkatheterlabor oder OP-Saal auf die Intensivstation oder zu einer Computertomographie, ist v. a. eine ausreichende Anzahl an Begleitpersonen notwendig, die einerseits das Bett und andererseits die angeschlossenen Geräte inklusive ECMO schieben, um eine Diskonnektion der ECMO-Ka-

nülen zu vermeiden, insbesondere bei einer notwendigen Umlagerung des Patienten. Die aktuellen Systeme können für den Transport von Netz- auf Batteriebetrieb umgeschaltet werden. Kapazitäten bestehen hier bis zu 2,5 h Akkuzeit. Ansonsten bestehen keine weiteren Probleme, die hier gesondert über den üblichen Transport intubiert beatmeter Patienten beachtet werden müssen.

► Auf eine sichere Fixierung der ECMO im jeweiligen Transportmittel muss geachtet werden

Bei dem interhospitalen Transport, besonders bei Flugtransporten, muss auf eine sichere Fixierung der ECMO im jeweiligen Transportmittel geachtet werden. Bei längeren Transporten muss auch eine adäquate Stromversorgung vorhanden sein. Ein geschultes Team, das im externen Krankenhaus die ECMO implantiert und den Transport in ein spezialisiertes Zentrum durchführt, kann meist einen problemlosen Transport von ursprünglich nicht transportfähigen Patienten gewährleisten. Hier bestehen schon teilweise jahrzehntelange Erfahrungen speziell bei Kindern [7, 9], aber auch bei Erwachsenen [6, 16]. Durch die aktuell auf dem Markt befindlichen Geräte der neuesten Generation, welche für einen Transport optimiert sind, ist der logistische Aufwand in den letzten Jahren immer geringer geworden. Eine mobile ECMO-Einheit könnte in mittlerer Zukunft für große Spezialzentren zum Standard werden, um die Verlegung kritisch kranker Patienten in eben diese Zentren zu gewährleisten.

Mikroaxiale Pumpe

Die Impella®-Pumpe (Abiomed Inc., Danvers, MA, USA) steht in 2 verschiedenen Größen zur Verfügung: als 2,5-l/min-Flusssystem perkutan über die Leiste implantierbar und mit maximalem Fluss von 5,0 l/min chirurgisch implantierbar. Die katheterbasierte Version wird über die Leiste eingeführt und retrograd über die Aortenklappe in den linken Ventrikel platziert. Über eine mikroaxiale Pumpe wird das Blut vom linken Ventrikel in die Aorta ascendens gepumpt. Die Pumpe arbeitet mit einer Geschwindigkeit bis zu 50.000 Umdrehungen pro Minute. Kontraindikationen gegen eine Implantation bestehen bei schwerer peripherer arterieller Verschlusskrankheit, künstlicher Aortenklappenprothese und höhergradiger Aortenklappeninsuffizienz oder -stenose, weiterhin bei linksventrikulären Thromben. Für die Impella®-Pumpe konnte eine bessere Hämodynamik gegenüber der Unterstützung mit einer intraaortalen

Gegenpulsation in einer kleinen prospektiv-randomisierten Studie gezeigt werden [24]. Außerdem gibt es Registerdaten, die die Sicherheit bestätigen und im therapieresistenten kardiogenen Schock ein besseres Überleben vermuten lassen [11, 17]. Randomisierte Daten in adäquat großen Studien fehlen aber noch. Eine initial geplante Studie wurde wegen langsamer Rekrutierung und auch wegen finanzieller Probleme bei der Studiendurchführung abgebrochen.

► Beim Transport muss eine Dislokation des Systems verhindert werden

Beim Transport muss v. a. eine Dislokation des Systems entweder im Ventrikel oder in die Aorta verhindert werden, da damit auch die hämodynamische Unterstützung der Pumpe verloren geht. Aus diesem Grund sollte immer die Bereitschaft zur medikamentösen hämodynamischen Unterstützung mit bereitgestellten Perfusoren mit Katecholaminen vorhanden sein. Weiterhin gilt auch hier, dass die Gerätschaften im jeweiligen Transportmittel adäquat fixiert werden müssen. Um eine Malposition der Impella®-Pumpe zu verhindern, sollte auch die Extremität, über die die Implantation erfolgt ist, unbedingt gut fixiert werden, da übermäßige Bewegungen zu einer Dislokation führen können. Um eine Thrombosierung der Pumpe zu verhindern, sollte laut Herstellerangaben die Heparinisierung bei einer aktivierten Gerinnungszeit („activated clotting time“, ACT) von 160–180 s gehalten werden. Im Transportmittel muss bei längeren Wegen eine geeignete Stromquelle (110–220 V) vorhanden sein. Der Akku der Versorgungseinheit hat eine ungefähre Kapazität für 1 h Betrieb. Eine genaue Beschreibung der Vorgaben für den Transport wurde unlängst publiziert [14]. Auch für die chirurgisch zu implantierende größere Pumpe mit bis zu 5,0 l/min Herzzeitvolumen gibt es einen Bericht zum interhospitalen Transport [15]. Anzumerken wäre noch, dass Patienten, die über die lineare Druckkurve der Impella®-Pumpe keinen pulsatilen Fluss aufbauen und somit faktisch keinen eigenen linksventrikulären Auswurf mehr haben, nicht mit diesem System transpor-

Notfall Rettungsmed 2011 · [jvn]:[afp]–[alp]
DOI 10.1007/s10049-011-1417-0
© Springer-Verlag 2011

G. Fürnau · H. Thiele

Invasive Kreislaufunterstützungssysteme bei intra- und interhospitalen Transporten

Zusammenfassung

Linksventrikuläre Unterstützungssysteme kommen aktuell immer häufiger zum Einsatz. Die Weiterentwicklung der Geräte mit inzwischen perkutaner Implantationsmöglichkeit und einfacherer Handhabung ermöglichen auch ohne herzchirurgischen Operationssaal eine Versorgung mit einem Unterstützungssystem. Dadurch ist es jetzt möglich, auch in kleineren Krankenhäusern ohne entsprechende Abteilung diese Systeme zur Anwendung zu bringen. Aus diesen Gründen werden in letzter Zeit auch immer häufiger Transporte von Patienten an Unterstützungssystemen aus kleineren Kliniken in spezialisierte Zentren durchgeführt. Dieser Übersichtsartikel soll die aktuell vorhandene Erfahrung mit den verschiedenen Systemen beim Patiententransport beleuchten.

Schlüsselwörter

Herzunterstützungssysteme · Kardiogener Schock · Patiententransfer · Perkutane Kanülierung · Extrakorporale Membranoxygenierung

Invasive circulation assist devices for intrahospital and interhospital transport

Abstract

The use of left ventricular assist devices is becoming increasingly more common. Current developments allow percutaneous cannulation without the setting of a cardiac surgery department or a perfusionist. This brings assist device treatment also to smaller facilities and makes the transfer of unstable patients from the primary clinic to specialized centers for extended treatment possible. This review describes the different systems and current experience in patient transfer.

Keywords

Heart-assist devices · Cardiogenic shock · Patient transfer · Percutaneous cannulation · Extracorporeal membrane oxygenation



Abb. 4 ◀ Aufbau des TandemHeart™ mit Versorgungs- und Monitorinheit

tiert werden sollten, da bei einer Dislokation eine sofortige Reanimationspflichtigkeit gegeben wäre. Stattdessen sollte in diesen Fällen ein komplettes linksventrikuläres Unterstützungssystem, wie z. B. eine ECMO, benutzt werden.

Transseptales linksventrikuläres Unterstützungssystem

Als drittes perkutanes System steht das TandemHeart™ (Cardiac Assist, Pittsburgh, PA, USA) zur Verfügung. Dieses System saugt Blut aus dem linken Atrium über eine venöse Kanüle ab, die transseptal vom rechten ins linke Atrium gelegt wird (▣ Abb. 1). Das Blut wird dann durch eine Zentrifugalpumpe wieder über eine arterielle Schleuse (femoral bis in die abdominelle Aorta reichend) in den Körper zurückgeleitet ([26], ▣ Abb. 4). In zwei kleinen randomisierten Studien konnte eine verbesserte Hämodynamik mit TandemHeart™ gegenüber einer Unterstützung mittels intraabdomineller Ballonpumpe gesehen werden [4, 27]. Allerdings bestehen hier keine publizierten Erfahrungen bezüglich interhospitaler Transporte. Die eigenen persönlichen Er-

fahrungen mit diesem System beschränken sich auf den Transport vom Herzkatheterlabor bis zur Intensivstation. In erster Linie spricht hier die transseptale Lage der ansaugenden Kanüle mit der Gefahr der Dislokation bzw. größerer Verletzungen oder Perforation der Vorhöfe bei Manipulation gegen längere Transporte.

Fazit für die Praxis

- Linksventrikuläre Unterstützungssysteme können die hämodynamische Stabilisierung von instabilen Patienten gewährleisten. Ob sich daraus ein Überlebensvorteil ergibt, konnte bis jetzt noch nicht eindeutig bewiesen werden [5].
- Einerseits fehlen noch klare Grenzwerte, ab wann welche hämodynamische Unterstützung indiziert ist, andererseits muss ein definitiver Überlebensvorteil noch durch große randomisierte Studien belegt werden. Allerdings können perkutane Unterstützungssysteme verwendet werden, um eine ausreichende Stabilität für einen Transport zu erreichen.

- Für den Transport in eine Spezialklinik mit erweiterten Therapieoptionen sollten spezialisierte Teams herangezogen werden. Im besten Fall können externe Kliniken solch ein Team aus der tertiären Klinik anfordern, welches dann die Implantation und den Transport übernimmt. So ist auch gewährleistet, dass die eingesetzten Versorgungssysteme und das Transportmittel mit dem verwendeten Assist Device kompatibel sind.
- Vor einem Transport muss auf jeden Fall geprüft werden, ob eine adäquate Stromversorgung und -quelle sowie Befestigungsmöglichkeiten für die Gerätschaften vorhanden sind, um einen sicheren Transport zu ermöglichen.
- Wenn die wichtigen Punkte beachtet werden, sollte ein Transport eines Patienten mit linksventrikulärem Unterstützungssystem meist gefahrlos möglich sein.

Korrespondenzadresse

Dr. G. Fürnau

Klinik für Innere Medizin/
Kardiologie, Universität Leipzig; Herzzentrum
Strümpellstraße 39, 04289 Leipzig
fuerg@med.uni-leipzig.de

Prof. Dr. H. Thiele

Klinik für Innere Medizin/Kardiologie,
Universität Leipzig; Herzzentrum
Strümpellstraße 39, 04289 Leipzig
thielh@medizin.uni-leipzig.de

Interessenskonflikt. Der korrespondierende Autor weist auf folgende Beziehungen hin:
G.F.: keine.

H.T.: Vortragshonorare und Wissenschaftsunterstützung Maquet Cardiovascular, Hirrlingen, Deutschland; Wissenschaftsunterstützung, Teleflex Medical, USA

Literatur

1. Arlt M, Philipp A, Voelkel S et al (2011) Hand-held minimised extracorporeal membrane oxygenation: a new bridge to recovery in patients with out-of-centre cardiogenic shock. *Eur J Cardiothorac Surg* 40:689–694
2. Arlt M, Philipp A, Voelkel S et al (2011) Out-of-hospital extracorporeal life support for cardiac arrest-A case report. *Resuscitation* 82:1243–1245
3. Brierley J, Carcillo JA, Choong K et al (2009) Clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock: 2007 update from the American College of Critical Care Medicine. *Crit Care Med* 37:666–688

4. Burkhoff D, Cohen H, Brunckhorst C et al (2006) A randomized multicenter clinical study to evaluate the safety and efficacy of the TandemHeart percutaneous ventricular assist device versus conventional therapy with intraaortic balloon pumping for treatment of cardiogenic shock. *Am Heart J* 152:469 e461–e468
5. Cheng JM, Den Uil CA, Hoeks SE et al (2009) Percutaneous left ventricular assist devices vs. intra-aortic balloon pump counterpulsation for treatment of cardiogenic shock: a meta-analysis of controlled trials. *Eur Heart J* 30:2102–2108
6. Ciapetti M, Cianchi G, Zagli G et al (2011) Feasibility of inter-hospital transportation using extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) support of patients affected by severe swine-flu(H1N1)-related ARDS. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 19:32
7. Clement KC, Fiser RT, Fiser WP et al (2010) Single-institution experience with interhospital extracorporeal membrane oxygenation transport: A descriptive study. *Pediatr Crit Care Med* 11:509–513
8. Combes A, Leprince P, Luyt CE et al (2008) Outcomes and long-term quality-of-life of patients supported by extracorporeal membrane oxygenation for refractory cardiogenic shock. *Crit Care Med* 36:1404–1411
9. Coppola CP, Tyree M, Larry K et al (2008) A 22-year experience in global transport extracorporeal membrane oxygenation. *J Pediatr Surg* 3:46–52, discussion 52
10. Dellinger RP, Vincent JL, Marshall J et al (2008) Important issues in the design and reporting of clinical trials in severe sepsis and acute lung injury. *J Crit Care* 23:493–499
11. Engstrom AE, Cocchieri R, Driessen AH et al (2011) The Impella 2.5 and 5.0 devices for ST-elevation myocardial infarction patients presenting with severe and profound cardiogenic shock: the Academic Medical Center intensive care unit experience. *Crit Care Med* 39:2072–2079
12. Forrest P, Ratchford J, Burns B et al (2011) Retrieval of critically ill adults using extracorporeal membrane oxygenation: an Australian experience. *Intensive Care Med* 37:824–830
13. Ganslmeier P, Philipp A, Rupperecht L et al (2011) Percutaneous cannulation for extracorporeal life support. *Thorac Cardiovasc Surg* 59:103–107
14. Griffith KE, Jenkins E (2010) Abiomed Impella®) 2.5 patient transport: lessons learned. *Perfusion* 25:381–386
15. Guirgis M, Kumar K, Zieroth S et al (2010) Interprovincial spoke-to-hub transport using the Impella Recover LP 5.0 left ventricular assist device as a bridge to long-term circulatory support. *Can J Cardiol* 26:320–322
16. Haneya A, Philipp A, Foltan M et al (2009) Extracorporeal circulatory systems in the interhospital transfer of critically ill patients: experience of a single institution. *Ann Saudi Med* 29:110–114
17. Lamarche Y, Cheung A, Ignaszewski A et al (2011) Comparative outcomes in cardiogenic shock patients managed with Impella microaxial pump or extracorporeal life support. *J Thorac Cardiovasc Surg* 142:60–65
18. Maunz O, Horisberger J, Von Segesser L (2008) Bridge to life: the Lifebridge B2T extracorporeal life support system in an in vitro trial. *Perfusion* 23:279–282
19. Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R et al (2009) Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 374:1351–1363
20. Perez A, Butt WW, Millar KJ et al (2008) Long-distance transport of critically ill children on extracorporeal life support in Australia. *Crit Care Resusc* 10:34
21. Philipp A, Arlt M, Amann M et al (2011) First experience with the ultra compact mobile extracorporeal membrane oxygenation system Cardiohelp in interhospital transport. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*
22. Phillips SJ, Ballentine B, Slonine D et al (1983) Percutaneous initiation of cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 36:223–225
23. Prodhon P, Fiser RT, Cenac S et al (2010) Intrahospital transport of children on extracorporeal membrane oxygenation: indications, process, interventions, and effectiveness. *Pediatr Crit Care Med* 11:227–233
24. Seyfarth M, Sibbing D, Bauer I et al (2008) A randomized clinical trial to evaluate the safety and efficacy of a percutaneous left ventricular assist device versus intra-aortic balloon pumping for treatment of cardiogenic shock caused by myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 52:1584–1588
25. Staley LL, Dobberpuhl J, Pierce CN et al (2010) Bridge to decision: SWAT team approach used by Mayo Clinic Arizona's cardiac transport team. *Prog Transplant* 20:118–124
26. Thiele H, Lauer B, Hambrecht R et al (2001) Reversal of cardiogenic shock by percutaneous left atrial-to-femoral arterial bypass assistance. *Circulation* 104:2917–2922
27. Thiele H, Sick P, Boudriot E et al (2005) Randomized comparison of intra-aortic balloon support with a percutaneous left ventricular assist device in patients with revascularized acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Eur Heart J* 26:1276–1283
28. Thiele H, Smalling RW, Schuler GC (2007) Percutaneous left ventricular assist devices in acute myocardial infarction complicated by cardiogenic shock. *Eur Heart J* 28:2057–2063
29. Wagner K, Sangolt GK, Risnes I et al (2008) Transportation of critically ill patients on extracorporeal membrane oxygenation. *Perfusion* 23:101–106
30. Werdan K, Ruß M, Buerke M et al (2011) Deutsche Leitlinie S3-Leitlinie Infarktbedingter kardiogener Schock. Diagnose, Monitoring und Therapie. *Kardiologie* 5:166–224