

Intensivmedizin *up2date*

4 · 2017

Internistische Intensivmedizin 2

# Kreislaufunterstützungssysteme in der internistischen Intensivmedizin

*Markus W. Ferrari*

VNR: 2760512017152374650  
DOI: 10.1055/s-0043-112076  
Intensivmedizin up2date 2017; 13 (4): 403–420  
ISSN 1614-4856  
© 2017 Georg Thieme Verlag KG

## Unter dieser Rubrik sind bereits erschienen:

### Gefäßkomplikationen nach perkutanen Interventionen

P. Hartveg, A. Imhof Heft 3/2017

### Gerinnungsprobleme in der Intensivmedizin

L. Ney, M. Spannagl Heft 1/2017

### Steuerung des Blutzuckers – Ist ideal gleich optimal?

A. Gottschalk, H. Listing, L. Leser, B. Ellger Heft 1/2017

### Diabetisches Koma

M. Berndt, H. Lehnert Heft 4/2016

### Intensivmedizinische Behandlung der thyreotoxischen Krise

S. Zender, M. Dölle, C. Terkamp, H. Leitolf Heft 3/2016

### Intensivmedizinische Aspekte bei hämatologischen und onkologischen Erkrankungen

P. Schellongowski, G. Beutel, M. Kochanek, M. Kiehl Heft 3/2016

### Shuntvitien

S. Dittrich, R. Cesnjevar, M. Glöckler Heft 2/2016

### Akute Nierenschädigung

C. Hafer, J. Kielstein Heft 3/2015

### Die häufigen Komplikationen des akuten Koronarsyndroms

P. Bieber, C. Bode, D. Staudacher Heft 2/2015

### Lungenembolie auf der Intensivstation

D. Dürschmied, J. Heinz, M. Siepe, C. Bode Heft 1/2015

### Thrombozytenhemmung auf der Intensivstation

D. Dürschmied, C. Bode Heft 1/2015

### Update Postreanimationserkrankung – neue Evidenz und Rolle der Inflammation

K. Fink, H. J. Busch, T. Wengenmayer Heft 4/2014

### Das akute Koronarsyndrom

D. Staudacher, P. Bieber, C. Bode, T. Wengenmayer Heft 2/2014

### Intensivmedizinische Herausforderungen bei TAVI und MitraClip

T. Wengenmayer, M. Zehender, C. Bode Heft 2/2013

### Akute Herzinsuffizienz

H. Ebel, K. Werdan Heft 2/2012

### Therapie der akuten Pankreatitis

J. Mayerle, P. Simon, M. Lerch Heft 1/2012

### Nichtinvasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz

B. Schönhofer, P. Neumann, M. Westhoff Heft 4/2011

### Septische Kardiomyopathie

H. Ebel, K. Werdan Heft 2/2011

### Respiratorische Viren

B. Hauptmeier, G. Rohde Heft 3/2010

### Perioperatives akutes Koronarsyndrom

T. Schwab, H. J. Busch Heft 2/2010

### Das hepatorenale Syndrom

C. Kurschat, F. Grundmann, T. Benzing Heft 1/2010

### Die obere gastrointestinale Blutung: Differenzialdiagnose und Therapie

H. Pohl, T. Rösch Heft 3/2009

### Reisemedizin für Intensivmediziner

A. Stich, C. Kirchoff, B. Jany Heft 2/2009

### Hämoptysen

R. Eberhardt, M. Kreuter, F. Herth Heft 3/2008

### Eklampsie und HELLP-Syndrom

G. Knichwitz, W. Klockenbusch Heft 2/2008

### Probleme nach Lungentransplantation

T. Fühner, J. Gottlieb Heft 1/2008

### Ätiologie, Diagnostik und Therapie der Aortendissektion

I. Akin, S. Kische, T. Rehders, H. Ince, D. Böckler, C. Nienaber Heft 1/2008

### Pathophysiologie und Therapie des akuten Leberversagens

J. Hadem, A. Schneider, M. Manns Heft 1/2008

### Management der kritischen Atemwegsobstruktion

A. Jerrentrup, C. Vogelmeier Heft 4/2007

### Mikrobielle Endokarditis: Leitliniengerechte Diagnostik und Therapie

D. Horstkotte, C. Piper Heft 3/2007

### Diagnose, Prävention und Therapie des akuten Nierenversagens

J. Kielstein, D. Fliser Heft 3/2007

### Bronchoskopie auf der Intensivstation

J. Gottlieb Heft 2/2007

#### ALLES ONLINE LESEN



Mit der eRef lesen Sie Ihre Zeitschrift: online wie offline, am PC und mobil, alle bereits erschienenen Artikel. Für Abonnenten kostenlos! <https://eref.thieme.de/intensiv-u2d>

#### JETZT FREISCHALTEN



Sie haben Ihre Zeitschrift noch nicht freigeschaltet? Ein Klick genügt: [www.thieme.de/eref-registrierung](http://www.thieme.de/eref-registrierung)

# Kreislaufunterstützungssysteme in der internistischen Intensivmedizin

Markus W. Ferrari



Der kardiogene Schock und die akute Herzinsuffizienz sind lebensbedrohlich. Mechanische Kreislaufunterstützungssysteme dienen der hämodynamischen Stabilisierung von kritisch Kranken in dieser Situation. Grundsätzlich kann zwischen invasiven und nichtinvasiven Kreislaufunterstützungssystemen unterschieden werden. Dieser Artikel stellt die derzeit verfügbaren Systeme vor.

## ABKÜRZUNGEN

ACT	Activated clotting Time (aktivierte Gerinnungszeit)
CI	Cardiac Index
CK	Creatinkinase
CRP	C-reaktives Protein
ECLS	Extracorporeal Life Support
ECMO	extrakorporale Membranoxygenierung
F <sub>i</sub> O <sub>2</sub>	inspiratorische Sauerstofffraktion
IABP	intraaortale Ballongegenpulsation
IL6	Interleukin 6
KÖF	Körperoberfläche
LCA	linke Koronararterie
LVAD	Left ventricular Assist Device
MAD	arterieller Mitteldruck
MO	Membranoxygenator
MODS	Multiorgandysfunktionssyndrom
NT-proBNP	N-terminales pro-BNP (Brain natriuretic Peptide)
PCI	perkutane Koronarintervention
PTT	Partial Thromboplastin Time (partielle Thromboplastinzeit)
RCA	rechte Koronararterie
RCX	Ramus circumflexus
RIVA	Ramus interventricularis anterior
S <sub>a</sub> O <sub>2</sub>	arterielle Sauerstoffsättigung
SIRS	systemisches inflammatorisches Syndrom
SO <sub>2</sub>	Sauerstoffsättigung
va	venoarteriell
vav	venoarteriovenös
vv	venovenös

## FALLBEISPIEL

### Vorgeschichte

Ein 84-jähriger Mann bricht beim Abendessen mit seiner Frau bewusstlos zusammen, nachdem er sich zuvor mehrfach an den Brustkorb gegriffen hatte. Beim Anruf in der Leitstelle wird die Ehefrau instruiert, eine Herzdruckmassage durchzuführen, was die 76-jährige bis zum Eintreffen des Notarztes über 7 Minuten nach besten Möglichkeiten versucht.

Der Notarzt stellt Kammerflimmern fest, das nach entsprechenden Reanimationsmaßnahmen über weitere 8 Minuten und 2 Defibrillationen terminiert werden kann. Unter mehrfachen Bolusgaben von Noradrenalin und mit einem laufenden Dobutamin-Perfusor wird der Patient mit einem Blutdruck von 80/50 mmHg in den Schockraum der Klinik gebracht. Es werden 5000 IE Heparin und 500 mg Acetylsalicylsäure intravenös gegeben.

An Vorerkrankungen sind ein Diabetes mellitus Typ 2 und eine arterielle Hypertonie in Erfahrung zu bringen. Die Medikation umfasste bislang Metformin und Amlodipin. Der ca. 160 cm große und 75 kg schwere Mann zeigt sich mit einem F<sub>i</sub>O<sub>2</sub> von 0,6 ausreichend beatmet (SO<sub>2</sub> 94%).

## Indikationen zum Einsatz von Kreislaufunterstützungssystemen

Der kardiogene Schock und die akute Herzinsuffizienz stellen lebensbedrohliche Zustände bei kritisch kranken Patienten dar. Kommt es infolge eines verminderten Herzminutenvolumens zur relevanten Hypoperfusion wesentlicher Organsysteme, so ist mit Mortalitätsraten von rund 40% innerhalb eines Monats zu rechnen. Dabei stehen das Multiorgandysfunktionssyndrom (MODS) und die systemische Inflammation, kurz SIRS (systemic inflammatory Response Syndrome) pathophysiologisch im Vordergrund.

Mit über 80% ist die akute Myokardischämie die häufigste Ursache eines kardiogenen Schocks [1]. Im Rahmen des akuten Myokardinfarktes kommt es zur Myokarddysfunktion mit Kontraktionsstörungen und Abfall des arteriellen Mitteldrucks. In der Folge nimmt die Herzleistung weiter ab, bis der Kreislauf vollständig zum Stillstand gekommen ist.

Die frühe Revaskularisation – idealerweise mittels perkutaner Koronarintervention (PCI) – kann diesen Circulus vitiosus beim akuten Myokardinfarkt durchbrechen. Hierdurch hat die Rate des Auftretens eines kardiogenen Schocks im Rahmen von Myokardinfarkten in den letzten Jahren stetig abgenommen und liegt derzeit bei rund 6%, was maßgeblich durch die frühzeitige Behandlung auch bei Nicht-ST-Elevations-Myokardinfarkten zu erklären ist [2].

Andere Ursachen des akuten kardiogenen Schocks sind u. a.

- die Myokarditis,
- die akute Lungenembolie,
- primäre Herzrhythmusstörungen wie Kammertachykardien oder rasch übergeleitete Vorhoftachykardien sowie
- Überleitungsstörungen mit Bradykardien oder Asystolien.

Seltene Ursachen des kardiogenen Schocks stellen die akute Klappendysfunktion, z. B. im Rahmen einer Endokarditis mit Papillarmuskelabriss oder Wurzelabszess sowie mechanische Funktionsstörungen bei künstlichen Herzklappen dar. Nach Eingriffen am Herzen kann z. B. eine postprozedurale akute Herzbeuteltamponade zum kardiogenen Schock führen.

Klinisch imponiert beim kardiogenen Schock die Organhypoperfusion, welche zu Bewusstseinsstrübung bzw. Bewusstseinsverlust, Oligurie oder Anurie und peripherer Hypoperfusion mit Blässe und Kälte infolge der Zentralisierung führt. Neben einem Anstieg des Serum-Laktatpiegels zeigt sich eine Aktivierung der inflammatorischen Kaskade mit erhöhten CRP-Werten und IL6-Nachweis im Serum. Der NT-proBNP-Serumspiegel ist als Zeichen der akuten Herzinsuffizienz deutlich erhöht.

Infolge des Untergangs von Herzmuskelzellen, insbesondere beim akuten Myokardinfarkt, steigen Troponin und CK in den ersten Stunden an. Reflektorisch kommt es zu einer Tachykardie mit vermehrten Herzrhythmusstörungen, der arterielle Mitteldruck fällt unter 70 mmHg, und der Herzindex (cardiac Index, CI) unterschreitet 2,2 l/min/m<sup>2</sup> KÖF.

### Merke

**Beim Auftreten des kardiogenen Schocks ist es notwendig, die Ursache so rasch wie möglich zu beheben und den CI sowie den arteriellen Mitteldruck auf ein ausreichendes Niveau anzuheben, um ein drohendes MODS zu verhindern.**

Insbesondere beim Kreislaufstillstand treten bereits nach wenigen Minuten erste irreversible Schäden am zentralen Nervensystem auf. Daher ist in dieser Situation neben konventionellen Maßnahmen wie Volumengabe und Injektion von Vasopressoren oder Katecholaminen die mechanische Kreislaufunterstützung eine Option zur raschen hämodynamischen Stabilisierung des kritisch kranken Patienten.

Weitere Indikationen für mechanische Unterstützungssysteme stellen komplexe Koronarinterventionen mit großem Versorgungsareal sowie die Vor- und Nachbehandlung bei herzchirurgischen Eingriffen dar. Eine Sondergruppe bilden Patienten, die ein Kreislaufunterstützungssystem zur Überbrückung vor einer Herztransplantation oder Versorgung mit einem sogenannten Kunstherzsystem erhalten. Dies wird als Bridging (Bridge-to-Transplant oder Bridge-to-LVAD) bezeichnet [3].

### Merke

**Mechanische Kreislaufunterstützungssysteme dienen der hämodynamischen Stabilisierung von kritisch Kranken im kardiogenen Schock und damit zur Vermeidung eines MODS. Bei komplexen Eingriffen am Herzen können diese Systeme auch prophylaktisch implantiert werden.**

Bei der Auswahl der Systeme sind individuelle Faktoren entscheidend. Ferner sind organisatorische, aber auch ethische Fragen bei der akuten Indikationsstellung abzuwägen. Generell sollte es sich um eine behandelbare Ursache des akuten kardiogenen Schocks und im Falle eines kompletten Kreislaufstillstandes um eine beobachtete Situation handeln. Da unter Umständen eine Weiterversorgung mittels Implantation eines Kunstherzsystems oder gar eine Herztransplantation notwendig sein könnte, sind mechanische Kreislaufunterstützungssysteme bei Patienten über 70 Jahren oder bei Vorliegen einer infausten Grunderkrankung in der Regel sehr zurückhaltend einzusetzen. Ferner sollten insbesondere in derartigen Grenzsituation mangels prospektiver Studien Nutzen und Risiko individuell abgewogen werden.

## Merke

Die Indikationsstellung zum Einsatz mechanischer Kreislaufunterstützungssysteme ist immer individuell zu treffen. Beim akuten Schockgeschehen sollte es sich um eine behandelbare Ursache bei beobachtetem Kreislaufstillstand handeln. Kontraindikationen umfassen u. a. das Vorliegen einer infausten Grunderkrankung und ein Alter über 70 Jahren.

## Prinzipien der mechanischen Kreislaufunterstützung

Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen

- invasiven und
- nichtinvasiven Kreislaufunterstützungssystemen.

### Nichtinvasive Kreislaufunterstützungssysteme

Seit Einführung der mechanischen Kardiokompression in Form der Herzdruckmassage durch Kouwenhoven vor über 60 Jahren wurden diverse Systeme zur extrakorporalen nichtinvasiven Kreislaufunterstützung entwickelt [4].

#### Thoraxkompressionssysteme

Die heutzutage in Europa verfügbaren Thoraxkompressionssysteme umfassen das LUCAS-System, das corpuls cpr-System und das Autopulse-System [5] (s. a. Übersicht). Sie führen eine automatisierte Thoraxkompression durch, worunter Patienten mit akutem Kreislaufstillstand

### ÜBERSICHT

#### Die in Europa verfügbaren Thoraxkompressionssysteme

##### LUCAS™-System

Das LUCAS™-System führt 100 × pro Minute eine aktive Thoraxkompression und -dekompression mittels eines prästernal positionierten Stempels durch, welcher pneumatisch oder elektrisch betrieben und mittels eines großen Haltebügels extrathorakal befestigt wird.

##### corpuls cpr™-System

In gleicher Weise wie beim LUCAS-System wird beim corpuls cpr™-System, das mit einem Stempel an einem C-Bogen mit Rückenplatte montiert ist, elektromechanisch 100 × pro Minute eine aktive Thoraxkompression durchgeführt. Das corpuls cpr-System verursacht keine Artefakte im Röntgenbild.

##### Autopulse™-System

Das Autopulse™-System hat Antrieb, Steuerung und Akkumulator in einem großen Reanimationsbrett integriert, welches unter dem Patienten zu liegen kommt. Es zieht mit einem Band 80 × pro Minute den Brustkorb zusammen.

transportiert und weiteren diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen zugeführt werden können.

Bislang konnte in keiner Studie ein Überlebensvorteil durch den Einsatz dieser Systeme gezeigt werden. Dennoch haben sie eine Berechtigung in der modernen Intensiv- und Notfallmedizin, da durch ihren Einsatz der präklinische Transport für Patient und Personal sicherer gestaltet und in schwierigen Situationen (Strahlenbelastung im CT oder Herzkatheter) das medizinische Personal entlastet werden kann. Ferner ist die therapeutische Implantation von invasiven Kreislaufunterstützungssystemen unter kontinuierlicher automatisierter mechanischer Thoraxkompression in der Regel einfacher und sicherer.

Beim Einsatz eines Thoraxkompressionssystems ist unbedingt darauf zu achten, dass weiterführende diagnostische und therapeutische Maßnahmen unverzüglich durchgeführt werden, da nur ein begrenzter Zeitraum überbrückt und keine sichere hämodynamische Stabilität garantiert werden können.

## Merke

Externe Thoraxkompressionssysteme helfen bei der akuten hämodynamischen Stabilisierung, insbesondere unter Transportbedingungen und bei Durchführung weiterer diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen.

### Invasive Kreislaufunterstützungssysteme

Invasive Kreislaufunterstützungssysteme erfordern einen Zugang zum Blutkreislauf, welcher in der Regel mittels perkutaner Punktion in Seldinger-Technik zu realisieren ist. Differenzierungen in pulsatile und nichtpulsatile Systeme sowie in Rechtsherz- bzw. Linksherzunterstützungssysteme sind möglich. Invasive Kreislaufunterstützungssysteme ermöglichen eine selektive oder kombinierte links- und rechtskardiale Unterstützung, welche durch die Integration eines Membranoxygenators (MO) auch einen Ersatz der Lungenfunktion ermöglicht. Auch ein nur passageres Einbringen von Fremdoberflächen in die Blutzirkulation erfordert eine kontinuierliche Antikoagulation. Zumeist ist bei Implantation von mechanischen Kreislaufunterstützungssystemen die ACT bzw. pTT gesteuerte Gabe von Heparin ausreichend.

Da diese Systeme zumeist über einen peripheren Gefäßzugang eingebracht werden, ist eine regelmäßige Kontrolle des peripheren Pulsstatus, ggf. ergänzt durch duplexsonographische Untersuchungen, essenziell, um so rechtzeitig eine Extremitätenischämie erkennen zu können.

Der Therapieerfolg sollte klinisch (Stabilisierung der Vitalparameter und der Organfunktionen), laborchemisch (arterielle und gemischt-venöse Sauerstoffsättigung, Laktat) sowie kardial sonografisch kontrolliert werden. Die Adaptation bzw. das Weaning der mechanischen Kreis-

laufunterstützung wird unterstützt durch eine regelmäßige transthorakale oder transösophageale Evaluation des kardialen Eigenauswurfs.

Das Belassen von Fremdmaterial in der Blutzirkulation birgt stets die Gefahr einer Infektion (driveline infection). Daher muss engmaschig auf klinische Zeichen einer Infektion geachtet werden bzw. entsprechende laborchemische Parameter regelmäßig kontrolliert werden.

### Merke

Bei allen perkutan implantierten invasiven Kreislaufstützungssystemen sind regelmäßige Kontrollen der ausreichenden Perfusion der Extremitäten, idealerweise durch dokumentierte Messungen mit einem Pulsoxymeter oder Doppler, in Abhängigkeit von den Schleusendurchmessern auf der Intensivstation alle 2–4 Stunden routinemäßig durchzuführen. Ferner muss bei allen stets die potenzielle Infektionsgefahr bedacht werden.

## Formen der mechanischen Kreislaufunterstützung

### Intraaortale Ballongegenpulsation (IABP)

Seit über 60 Jahren stellt die Gegenpulsation ein Verfahren zur Kreislaufunterstützung dar, welches auf den

pathophysiologischen Experimenten der Gebrüder Kantowitz basiert. Sie haben entdeckt, dass bei Anhebung des arteriellen Mitteldrucks (MAD) im Bereich der Koronararterien während der Diastole die Koronarperfusion verbessert werden kann [6]. In der Regel wird hierfür ein 40 ml fassender Ballon in die Aorta descendens am Ende des Aortenbogens arteriell implantiert. Als Zugangswege stehen die A. femoralis oder alternativ die A. subclavia zur Verfügung.

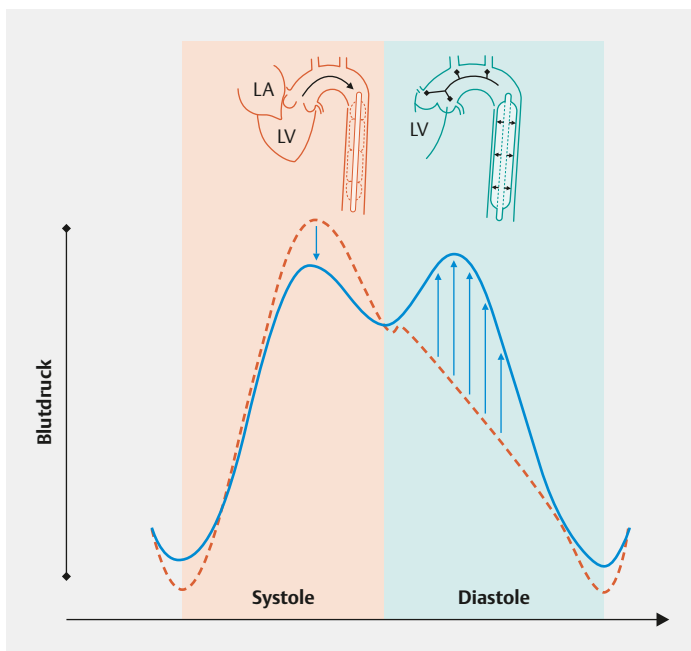
Durch die rasche Inflation des Ballons mit Helium während der Diastole werden 40 ml Blut verdrängt und somit der arterielle Mitteldruck im Aortenbogen gesteigert (► Abb. 1). Durch das abrupte Leersaugen während der Systole wird die Nachlast gesenkt, wodurch es zur Reduktion des myokardialen Sauerstoffverbrauchs und einer Steigerung des Herzzeitvolumens um ca. 0,5 l/min kommt. In mehreren Studien in den 1980er- und 1990er-Jahren wurde der Einsatz der IABP im infarktbedingten kardiogenen Schock unter thrombolytischer Therapie untersucht, wobei die Mortalität durch ihren Einsatz signifikant reduziert werden konnte [7, 8].

Messungen des Koronarblutflusses mit Doppler-Drähten konnten jedoch bereits vor über 20 Jahren zeigen, dass nach interventioneller Wiedereröffnung des den Myokardinfarkt induzierenden Koronargefäßes die IABP keinen wesentlichen Zusatznutzen für die Koronarperfusion erbrachte [9]. In einer großen Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass die IABP beim infarktbedingten kardiogenen Schock die Mortalität um über 30% senkt, wenn keine Akutrevaskularisation erfolgte. Bei alleiniger Thrombolysetherapie beträgt die Mortalitätssenkung 18%, jedoch zeigt sich nach interventioneller Behandlung der Koronarstenosen kein Zusatznutzen durch den Einsatz der IABP mehr [10].

Folglich wurde die IABP-Schock-II-Studie durchgeführt. Nach prospektiver Randomisierung von insgesamt 600 Patienten mit infarktbedingtem kardiogenem Schock wurde eine 1-Monats-Mortalität von 40% unabhängig vom Einsatz einer IABP beobachtet, nachdem eine sofortige PCI erfolgt war [11].

Da jedoch heutzutage die Akut-PCI meist mit Implantation eines Stents im infarktbedingten, kardiogenen Schock als Standardtherapie erfolgt, ist der Zusatznutzen durch die IABP limitiert. In der Folge wurde daher die Empfehlung für den Einsatz einer IABP im infarktbedingten kardiogenen Schock in den Leitlinien herabgestuft.

Heute hat die IABP noch einen Stellenwert in der Vor- und Nachbehandlung von kardiochirurgischen Patienten sowie bei Auftreten von mechanischen Infarkt komplikationen wie z. B. eines Ventrikelseptumdefektes oder eines akuten Papillarmuskelabrisses mit hochgradiger Mitralklappeninsuffizienz. Der Einsatz von IABP-Ballons mit



► **Abb. 1** Prinzip der intraaortalen Ballongegenpulsation (IABP). Nicht unterstützte Herzaktion: rote Kurve, Herzaktion unter IABP-Unterstützung: blaue Kurve. Durch rasche Deflation in der Systole wird der systolische Blutdruck und damit die Nachlast gesenkt. Die Inflation während der Diastole verdrängt das Blut in der Aorta, wodurch der diastolische Blutdruck und damit die Organperfusion gesteigert werden (LA: linker Vorhof; LV: linker Ventrikel).

50 ml Volumen soll darüber hinaus ihre Effektivität steigern. Entsprechende Studien zu dieser Frage werden derzeit durchgeführt. Ihre Ergebnisse können Ende 2018 erwartet werden.

Wesentliche Vorteile dieses Verfahrens sind:

- die sehr breite Verfügbarkeit,
- der einfache Einsatz und
- das geringe Eintrittsprofil von unter 7 F, woraus sich Vorteile bei kritischer Extremitätenperfusion im Vergleich zu anderen Systemen ableiten lassen.

Beim Betrieb der IABP ist auf eine kontinuierliche Antikoagulation, in der Regel mit unfraktioniertem Heparin, zu achten. Die aktivierte Gerinnungszeit (ACT) sollte bei 150–180 Sekunden liegen. Die Explantation des IABP-Katheters kann, wie bei Herzkatheterschleusen mit 7-F-Durchmesser, nach Pausieren der Heparin-Gabe (ACT < 150 Sekunden) mittels lokaler Kompression und Anlage eines Druckverbandes erfolgen. Wichtig ist ein ausreichendes Leersaugen des Ballons, bevor dieser herausgezogen wird.

#### FAZIT

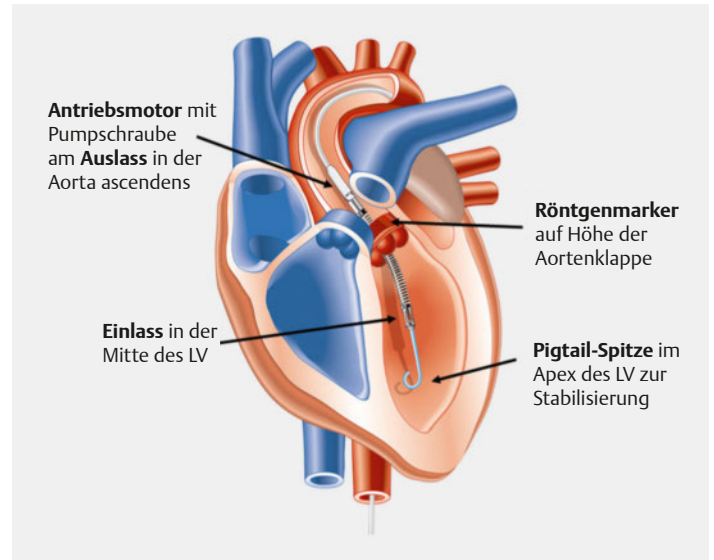
Durch Inflation eines in der Aorta descendens positionierten Ballons mit Helium während der Diastole und Deflation in der Systole führt der Einsatz einer IABP zu einer Verbesserung der Koronarperfusion sowie Anhebung des Blutdruckes in der Diastole und einer Nachlastsenkung während der Systole. Eine erhaltene linksventrikuläre Eigenaktion stellt somit eine essenzielle Voraussetzung für die korrekte Funktionsweise der IABP dar. Aufgrund des fehlenden Zusatznutzens in der IABP-Schock-II-Studie gibt es in den aktuellen Leitlinien jedoch keine generelle Empfehlung für ihren Einsatz im infarktbedingten, kardiogenen Schock.

## Perkutane Turbinenpumpen

### Impella™

Perkutane Turbinenpumpen fördern kontinuierlich Blut mithilfe eines „schiffsschraubenartigen Prinzips“, wobei das mit Abstand am weitesten verbreitete System die Impella™ darstellt (► **Abb. 2**). Sie kann im therapierefraktären, kardiogenen Schock über die A. femoralis oder A. subclavia perkutan innerhalb von 5 Minuten implantiert werden. Dazu wird zunächst ein Führungsdraht in den linken Ventrikel platziert, über den der Impella-Katheter vorgeschoben wird.

Die Impella saugt über eine Kanüle kontinuierlich Blut aus dem linken Ventrikel und pumpt es in die Aorta ascendens oberhalb des Bulbus aortae [12]. Abhängig vom Durchmesser der Pumpkanüle (12–22 F) und des arteriellen Blutdrucks sind maximale Flussraten zwischen 2,5



► **Abb. 2** Position der Impella im linken Ventrikel (LV). Über den Einlass in der Mitte des LV kann bis zu 4 l/min Blut (Impella CP) in die Aorta ascendens gefördert werden. Quelle: © 2017 Abiomed; Impella Herzpumpe® in Herz.

und 5,0 l/min möglich. Der Antriebsmotor befindet sich am Ende der Pumpkanüle unmittelbar an der Auslassöffnung. Er ermöglicht bis zu 51 000 Umdrehungen pro Minute. Über einen 130 cm langen 9-F-Katheter erfolgt die externe Stromversorgung mit bis zu 20 Volt.

Eine Sonderform der Impella stellt das 22-F-Rechtsherzsystem dar, welches das Blut aus dem rechten Vorhof in den Pulmonalarterienstamm nach Zugang über die V. femoralis fördert.

In einer Vergleichsstudie zur IABP beim infarktbedingten kardiogenen Schock konnte unlängst kein signifikanter Überlebensvorteil durch die Impella gezeigt werden [13]. Bei Hochrisiko-Koronarinterventionen konnte jedoch in der PROTECT-II-Studie ein signifikanter Vorteil bei Implantation einer Impella (LP 2,5) bezüglich der kardiovaskulären Komplikationsrate (Mortalität, Re-Infarkt, Re-Intervention) nach 90 Tagen im Vergleich zur IABP nachgewiesen werden [14].

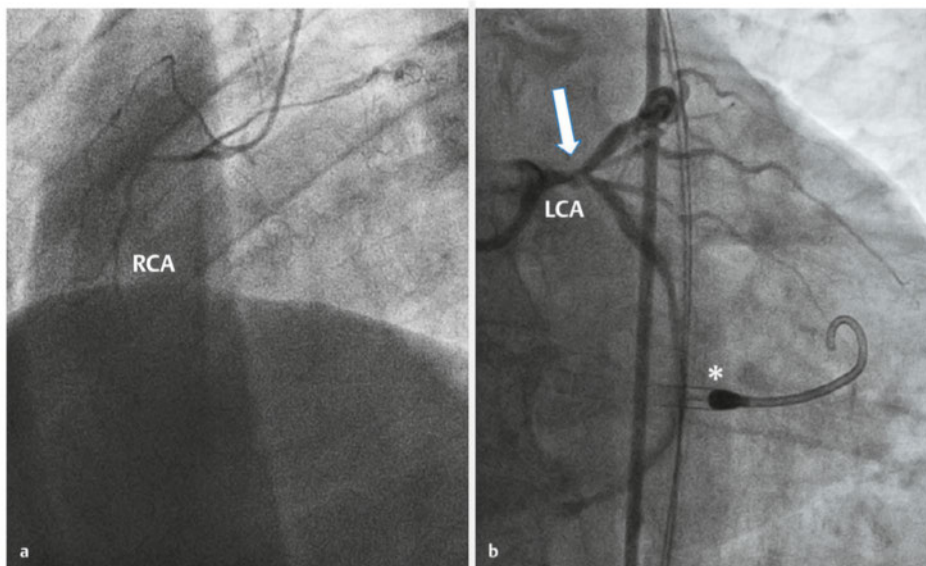
Einen wesentlichen Vorteil des Impella-Systems stellen die Unabhängigkeit vom Herzrhythmus und die kontinuierliche Entlastung des Ventrikels mit Senkung des ventrikulären Drucks und damit der myokardialen Wandspannung dar. So kann nicht nur im akuten Myokardinfarkt, sondern insbesondere bei akuter Myokarditis die Wandspannung und damit die Erholung des Myokards günstig beeinflusst werden. Das etwas dickere Eintrittsprofil von 12 F (Impella 2.5), 14 F (Impella CP) bzw. 22 F (Impella 5.0) erhöht jedoch das Risiko einer peripheren Beinischämie und birgt ebenfalls ein höheres Blutungsrisiko.

## FALLBEISPIEL

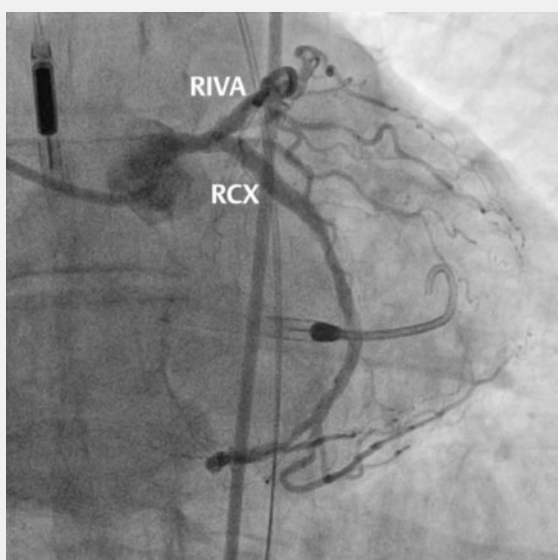
## Initiale Diagnostik und Implantation eines mechanischen Kreislaufunterstützungssystems

Nach präklinischer Reanimation zunächst durch die Ehefrau und danach durch den vor Ort eintreffenden Notarzt, wird der Patient per RTW in die Notaufnahme verbracht. Das dort sofort geschriebene EKG zeigt ST-Streckensenkungen und T-Negativierungen in den Brustwandableitungen sowie eine ST-Elevation in aVL. Der Patient wird sofort in das Herzkatheterlabor verbracht. Dort erfolgt bei weiterhin instabilen Kreislaufverhältnissen und steigendem Noradrenalin- und Dobutamin-Bedarf die Anlage einer Impella über die A. femoralis sinistra. Hierdurch kann die Gabe von Noradrenalin rasch beendet und die Dobutamin-Dosis halbiert werden. Die durchgeführte Koronarangiografie (► **Abb. 3**) zeigt eine funktionell unbedeutende rechte Koronararterie (RCA) und einen reduzierten Blutfluss der linken Koronararterie (LCA) bei Hauptstammstenose infolge einer Plaqueruptur.

Während der Implantation eines 4,0-mm-Stents in den linken Hauptstamm und den großen R. circumflexus (RCX) und eines 3,5-mm-Stents in den R. interventricularis anterior (RIVA) in Culotte-Technik nimmt vorübergehend die Pulsatilität der Blutdruckmessung ab. Der arterielle Mitteldruck ist 72 mmHg. Abschließend ist wieder ein guter koronarer Blutfluss in der LCA zu sehen (► **Abb. 4**).

► **Abb. 3**

**a** Funktionell unbedeutende rechte Koronararterie (RCA) mit diffusen arteriosklerotischen Veränderungen.  
**b** Darstellung der linken Koronararterie (LCA) nach Einbringen einer Impella in den linken Ventrikel. Bei Hauptstammstenose infolge einer Plaqueruptur (Pfeil) findet sich ein reduzierter Blutfluss in der LCA. Der Einlass der Impella in der Mitte der linken Herzkammer (Stern) fördert das Blut aus dem linken Ventrikel in die Aorta ascendens.



► **Abb. 4** Nach Implantation von insgesamt drei beschichteten Stents in den linken Hauptstamm, den großen R. circumflexus (RCX) sowie in den R. interventricularis anterior (RIVA) in Culotte-Technik wird der koronare Blutfluss wieder normalisiert.



Beim Betrieb der Impella ist ähnlich der IABP auf eine kontinuierliche Antikoagulation, in der Regel mit unfractioniertem Heparin, zu achten. Dabei wird zur Implantation eine Ziel-ACT von mindestens 250 Sekunden empfohlen, während des Pumpbetriebes ist in der Regel eine ACT von mindestens 180 Sekunden ausreichend. Damit kein Blut in den Motor eindringt und die Antriebseinheit ausreichend gekühlt ist, ist eine kontinuierliche Spülung mit Glukose-Heparin-Lösung notwendig.

Die Entfernung der Turbinenpumpen kann gefäßchirurgisch, durch lokale Versorgung mit einem Verschlussystem (z.B. bei der Implantation vorgelegte Proglide™-

#### FAZIT

##### Impella

Die Impella fördert über eine axiale Schraubpumpe kontinuierlich das Blut aus dem Ventrikel in die aufsteigende Aorta. Sie arbeitet unabhängig vom Herzrhythmus und bietet bei Hochrisiko-Koronarinterventionen einen signifikanten Vorteil gegenüber der IABP.

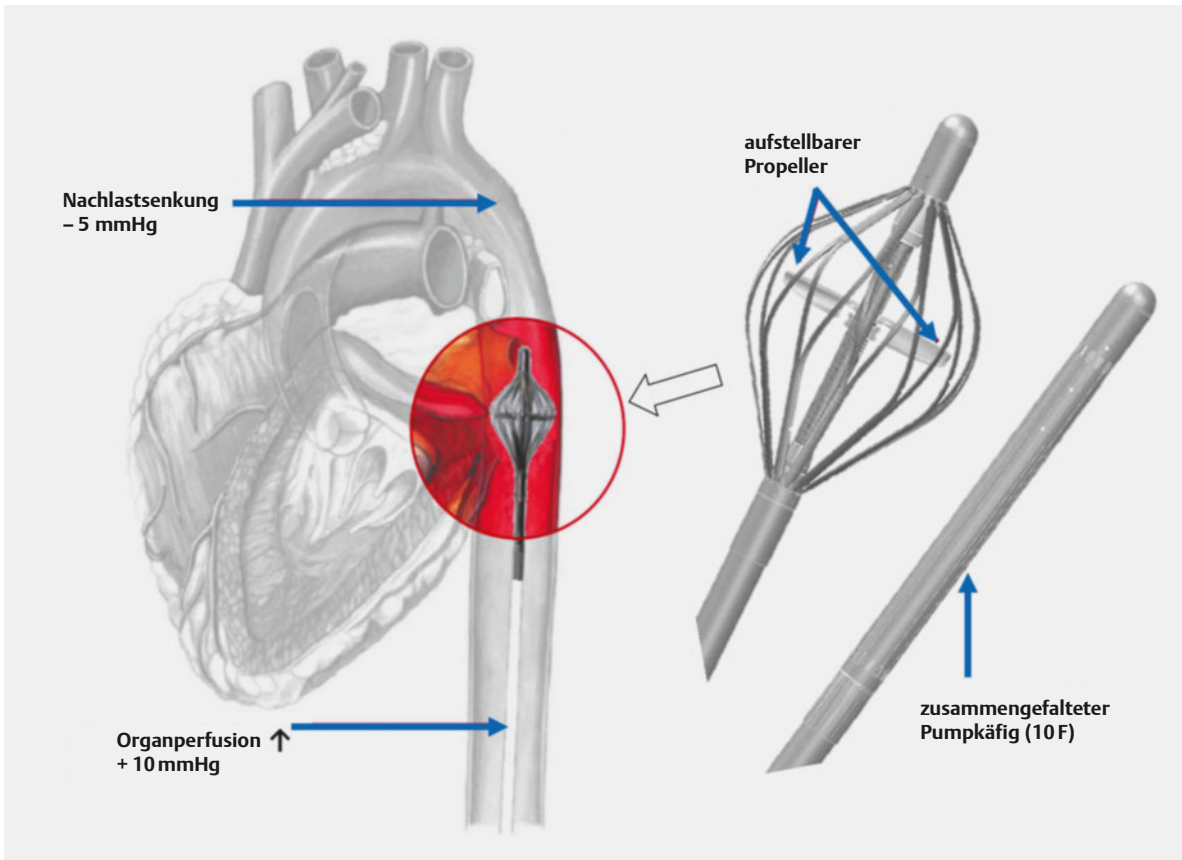
Nähte) oder mittels lokaler Kompression und Anlage eines Druckverbandes erfolgen.

##### HeartMate PHP™

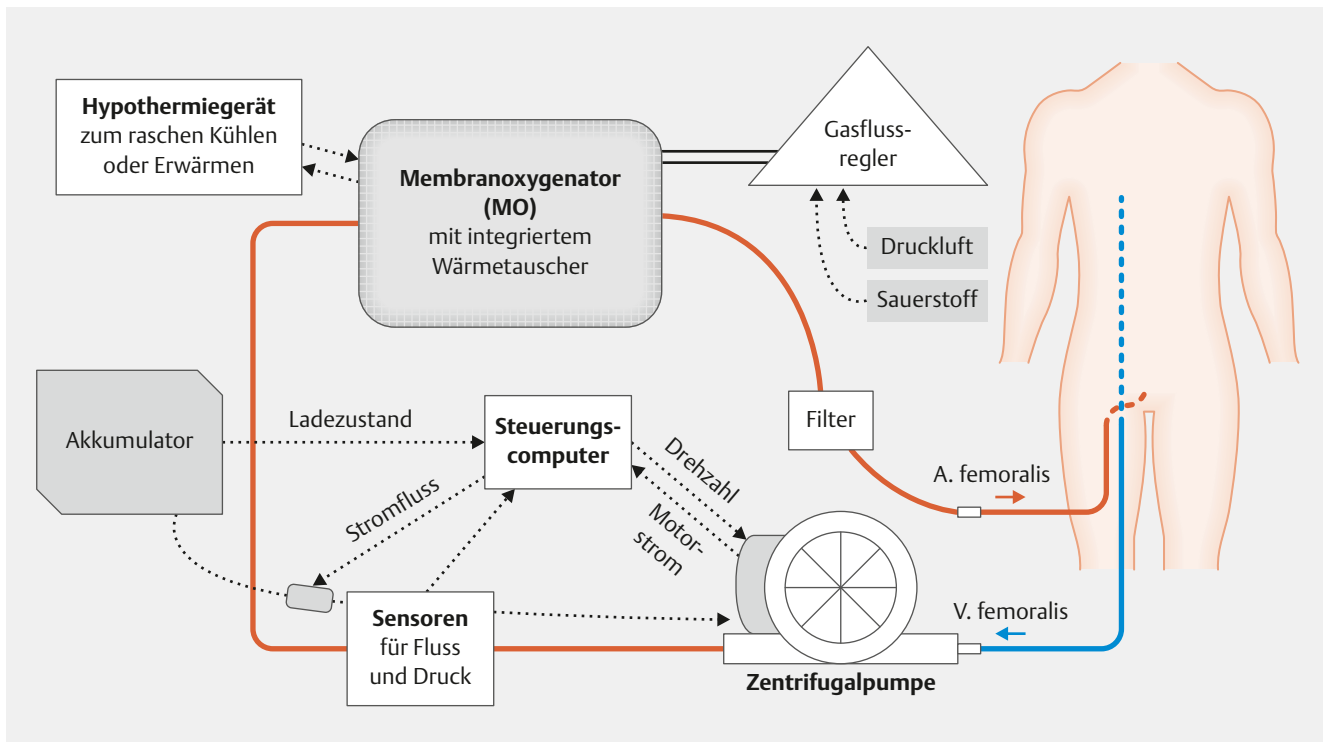
Ein ähnliches Prinzip wie die Impella bietet das HeartMate PHP™. Hierbei handelt es sich um ein expandierbares Kanülen- und Schraubensystem, welches von einem 14-F-Eintrittsdiameter intrakorporal auf 24 F expandiert und so Flussraten von bis zu 5 l/min aus dem linken Ventrikel in die Aorta ascendens fördert [15]. Da das HeartMate PHP-System derzeit nur für einen Betrieb von bis zu 6 Stunden zugelassen ist, stellt es lediglich eine Option für Hochrisiko-Koronarinterventionen dar. Bei der Implantation des PHP-Systems sollte die ACT bei über 250 Sekunden und während des Pumpbetriebes bei mindestens 180 Sekunden liegen.

##### Cardiobridge™

Die Cardiobridge™ besteht aus einem aufstellbaren Propeller, der mittels einer 10-F-Schleuse über die Femoralarterie eingeführt wird und in der Aorta descendens auf Zwerchfellhöhe zu liegen kommt. Dieses System stellt sich mit einem den Propeller umgebenden Käfig intravasal auf und kann theoretisch bis zu 10 l/min pumpen



► **Abb. 5** Prinzip der CardioBridge mit einer aufstellbaren Turbinenpumpe, welche perkutan bis auf Höhe des Zwerchfells vorgeschoben und dort entfaltet wird. Bei Flussraten von 1 bis 10 l/min wird die Nachlast gesenkt und die intestinale Organperfusion verbessert. Quelle: Cardiobridge GmbH, Hechingen.



► **Abb. 6** Schematischer Aufbau eines ECMO-Systems: Der Gasaustausch im Membranoxygenator ist abhängig vom  $F_iO_2$ , dem Gasfluss und den Blutflussraten. Die Einstellung der Drehzahl der Zentrifugalpumpe erfolgt am Steuerungscomputer, der diese in Abhängigkeit vom Motorstrom in den Fluss (in l/min) umrechnet oder diesen mittels Doppler-Flowsensor direkt misst.

(► **Abb. 5**). Da durch die Cardiobridge der Blutfluss in der Aorta antegrad beschleunigt wird, sinkt der arterielle Druck im Aortenbogen um bis zu 5 mmHg und steigt in der abdominalen Aorta um bis zu 10 mmHg an. Diese Nachlastsenkung ermöglicht in Analogie zur IABP eine bessere Auswurfleistung des linken Ventrikels und reduziert dessen Sauerstoffverbrauch. Gleichzeitig wird die intestinale Organperfusion deutlich verbessert [16].

In der Zulassungsstudie der Cardiobridge hat sich dies in einer erheblichen Steigerung der Urinproduktion bei zuvor Anurie bzw. Oligurie im kardiogenen Schock widerspiegelt. Ende dieses Jahres wird die Cardiobridge voraussichtlich als eine Therapieoption beim prärenalen Nierenversagen im Rahmen des Low-Output-Syndroms zur Verfügung stehen.

## FAZIT

### Axiale Turbinenpumpen

Axiale Turbinenpumpen wie die Impella oder Cardio-bridge fördern kontinuierlich das Blut und reduzieren die Wandspannung und den myokardialen Sauerstoffverbrauch des Herzens. Sie arbeiten Rhythmus unabhängig und können perkutan in Seldinger-Technik implantiert werden.

Auch die Cardiobridge benötigt bei der Implantation eine ACT von über 250 Sekunden und während des Pumpbetriebs eine ACT von mindestens 180 Sekunden.

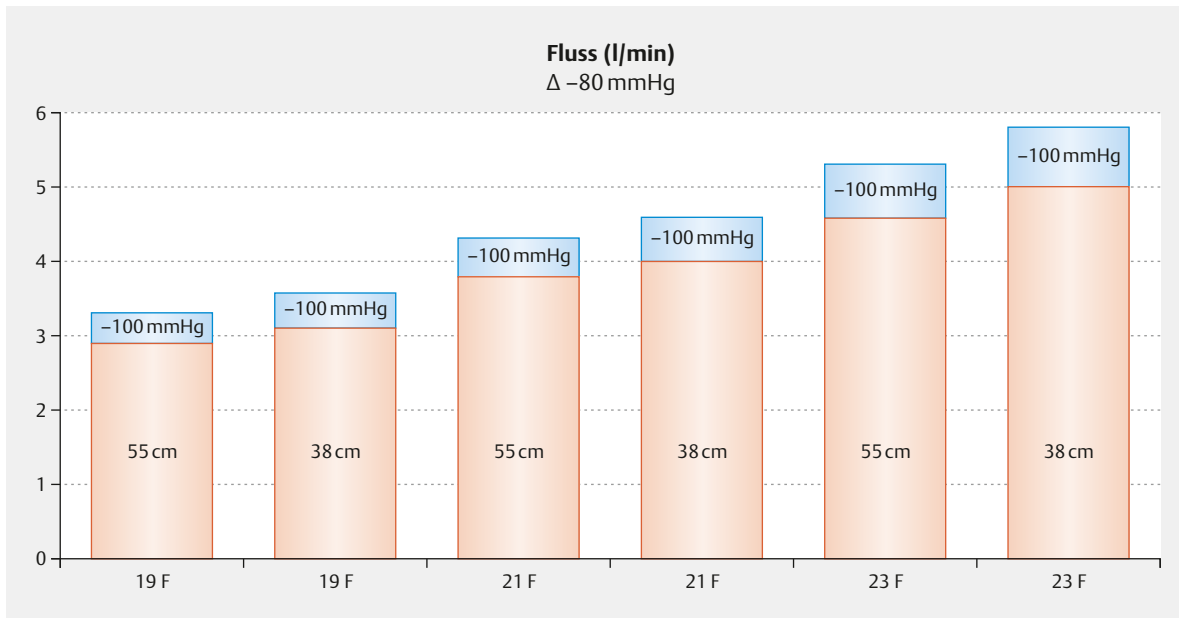
Die Explantation ist bei einer ACT kleiner 150 Sekunden wie bei den Turbinenpumpen bettseitig möglich.

## Zentrifugalpumpensysteme

### Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO)

Zentrifugalpumpen stellen das Kernstück für sogenannte ECMO-Systeme (extrakorporale Membranoxygenierung) dar (► **Abb. 6**). Es muss dabei zwischen venovenöser ECMO (vv-ECMO), venoarterieller ECMO (va-ECMO) und venoarteriovenöser ECMO (vav-ECMO) unterschieden werden. Während vv- und vav-ECMO beim akuten Lungenversagen eingesetzt werden, wird zur Therapie des kardiogenen Schocks fast ausschließlich das va-System verwendet. va-ECMO ermöglichen in Abhängigkeit vom Kanüledurchmesser Flussraten von über 5 l/min (► **Abb. 7**), wobei der Durchmesser entsprechend dem Gesetz von Hagen-Poiseuille den Radius mit der 4. Potenz und die Länge nur einfach den Maximalfluss determinieren.

Im Folgenden werden daher diese auch als ECLS (extracorporeal Life Support) bezeichneten va-ECMO kurz als ECMO bezeichnet. Sie drainieren über eine in die V. femoralis eingebrachte 38–55 cm lange Kanüle mit



► **Abb. 7** Flussraten des ECMO in Liter pro Minute in Abhängigkeit von der Länge der venösen Kanüle (38 oder 55 cm), dem Durchmesser (19–23 F) sowie dem Ansaugdruck der Zentrifugalpumpe. Dieser sollte im Dauerbetrieb bei  $-80$  mmHg liegen und kann kurzfristig auf  $-100$  mmHg gesteigert werden.

Seitlöchern das venöse Blut aus der V. cava in Höhe des rechten Vorhofes. Mit einem Sog von  $-60$  bis  $-80$  mmHg fördert die Zentrifugalpumpe das Blut in das ECMO-System.

Nachgeschaltet finden sich dort Fluss- und Drucksensoren sowie ein Membranoxygenator (MO), der in der Regel optional einen Wärmetauscher integriert hat. Dieser kann an ein externes Hypothermiegerät angeschlossen werden, worüber eine kontrollierte Kühlung bzw. Wiedererwärmung möglich ist. Das Blut wird danach über eine arterielle Kanüle meist von der Femoralarterie aus in die Bauchaorta zurückgeführt.

Alternativ sind zentrale Kanülierungen in der Herzchirurgie direkt an der Aorta sowie minimalinvasive Kanülierungen der A. subclavia möglich. Die heute gebräuchlichen ECMO-Systeme besitzen eine zentrale Steuereinheit, welche die Daten des Motorstroms an der Zentrifugalpumpe sowie die Messwerte der Sensoren und den Status des Akkumulators anzeigt und überwacht.

Verschiedene ECMO-Systeme werden im Folgenden vorgestellt.

#### Cardiohelp™

Bei der Cardiohelp™ sind Zentrifugalpumpe und Oxygenator in einem kompakten Bauteil zusammengeführt. Sie ist derzeit das kleinste und leichteste ECMO-System.

#### I-Cor™

Das I-COR™-System bietet bei ähnlicher Funktionsweise wie die Cardiohelp™ zusätzlich die Option, einen pulsatilen Fluss zu generieren. Tierexperimentelle Studien konnten zeigen, dass unter pulsatiler Augmentation die Erholung insbesondere des rechten Ventrikels und die Organperfusion günstig beeinflusst werden [17].

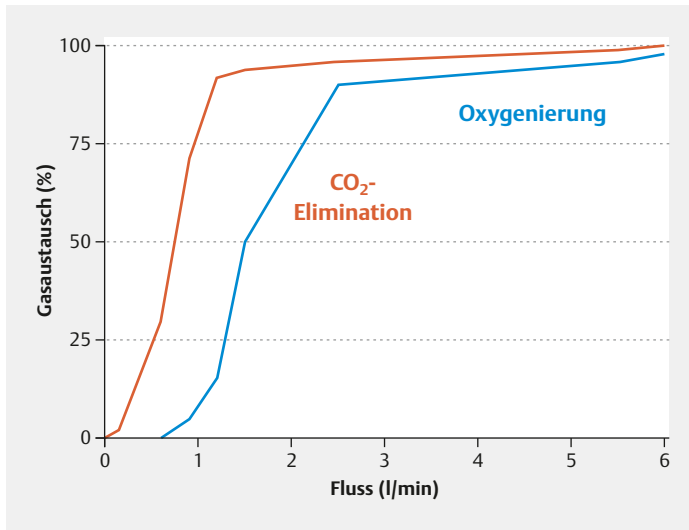
#### LifeBridge™

Ein weiteres zugelassenes System ist die LifeBridge™, welches Füllung und Entlüftung von Schlauchsystem und Oxygenator automatisiert durchführt sowie zusätzlich Luftblasen erkennt und automatisch eliminiert [18].

#### TandemHeart™

Ein besonderes Zentrifugalpumpensystem stellt das TandemHeart™ dar. Es arbeitet ohne MO, indem eine venös eingebrachte lange Kanüle transseptal bis in den linken Vorhof vorgeschoben wird. Von dort saugt es das oxygenierte Blut durch die Zentrifugalpumpe ab und pumpt es aktiv über eine femorale Kanüle in die abdominale Aorta [19]. Neben der Extremitätenischämie besteht das Hauptrisiko hier in einer Dislokation der transseptalen Kanüle. Ferner ist die transseptale Punktion unter Reanimation häufig nicht komplikationslos zu bewerkstelligen. Daher wird dieses System nur noch sehr selten eingesetzt.

Ein neueres TandemHeart-System ist für die Rechtsherzunterstützung entwickelt worden. Hierbei wird über eine vorgeformte Kanüle Blut aus dem rechten Vorhof durch



► **Abb. 8** Gasaustausch am Membranoxygenator des ECMO in Abhängigkeit von den Flussraten der Zentrifugalpumpe in Liter pro Minute bei adäquatem Gasfluss.

die Zentrifugalpumpe abgesaugt und durch den distalen Auslassschenkel in die Pulmonalarterie gefördert.

### Sonstige

Daneben finden überwiegend in herzchirurgischen Zentren verschiedene ECMO-Systeme mit getrennten Steuer-einheiten für Zentrifugalpumpe und Oxygenator ihren Einsatz bei Patienten mit schwerer akuter Herzinsuffizienz.

Beim Betrieb der Zentrifugalpumpensysteme ist auf eine ausreichende Antikoagulation, in der Regel mit unfraktioniertem Heparin, zu achten. Bei der Implantation der ECMO-Systeme sollte die ACT bei über 250 Sekunden und während des Pumpetriebs bei über 180 Sekunden liegen. Hierbei sind die jeweiligen Herstellerangaben zu beachten. Während beschichtete Systeme z. T. auch bei einer ACT von 150 Sekunden betrieben werden können, ist bei Verwendung älterer Oxygenatoren eine ACT von 250 Sekunden auch während des Betriebs sicherzustellen, damit es nicht zu einer Thrombenbildung kommt.

Die Thrombenbildung ist durch einen abnormen Druckanstieg am Membranoxygenator und damit verbundene Flussabfall festzustellen und bedarf einer sofortigen Heparin-Bolusgabe und des Wechsels des Oxygenators. Insbesondere bei Auftreten einer Heparin-induzierten Thrombozytopenie kann anstelle von unfraktioniertem Heparin ein direkter Thrombininhibitor wie z. B. Bivalirudin oder Argatroban verwendet werden. Durch die entsprechend notwendige Antikoagulation sowie die erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Verbrauchs-koagulopathie im Sinne einer disseminierten intravaskulären Koagulopathie besteht unter laufender ECMO-Therapie ein erhöhtes Blutungsrisiko.

### Merke

ECMO-Systeme bestehen aus einer Zentrifugalpumpe und einem Membranoxygenator mit der Möglichkeit des Anschlusses für einen Wärmetauscher. Diese Systeme können daher vollständig die Herz- und Lungenfunktion übernehmen sowie schnell Patienten herunterkühlen oder kontrolliert aufwärmen.

Da ECMO-Systeme bei der Implantation im Gegensatz zu den axialen Turbinenpumpen nicht zwingend eine Durchleuchtung brauchen, können sie unter fortgeführter Kardio-kompression mittels Punktion in Seldinger-Technik über die Femoralgefäße mit dem Patientenkreislauf verbunden werden. Nach Einführen einer venösen Kanüle (17–23 F Durchmesser) auf Vorhofebene und einer arteriellen Kanüle (15–19 F Durchmesser) über die Femoralarterie bis auf Höhe der abdominalen Aortenbifurkation wird der ECMO-Kreislauf nach Füllung mit kristalloiden Lösungen (Priming) luftblasenfrei mit dem Kreislauf verbunden.

So übernimmt das ECMO-System sofort die Herz- und Lungenfunktion, steigert den arteriellen Mitteldruck und das Herzminutenvolumen, sorgt für eine ausreichende Oxygenierung und Dekarboxylierung, wodurch der pH-Wert meist gebessert wird und die Zentralisation sichtbar zurückgeht.

Die Einstellung von Flussraten an der Zentrifugalpumpe mittels Veränderung der Drehzahl bedarf auch immer der passenden Einstellung des Gasflusses am MO (► **Abb. 8**).

Bei der Verwendung von ECMO-Systemen ist durch die große Fremdoberfläche mit der Aktivierung einer inflammatorischen Kaskade im Sinne eines SIRS (Systemic Inflammatory Response Syndrome) zu rechnen. Inwieweit die prophylaktische Gabe von Kortison diese inflammatorische Reaktion zu reduzieren vermag, konnte bislang in keiner prospektiv randomisierten Studie gezeigt werden.

Aufgrund der relativ großen Kanüldiameter besteht die Gefahr der Extremitätenischämie. Daher ist unbedingt auf eine suffiziente Perfusion der ischämiegefährdeten Extremität zu achten. Zur Vermeidung einer Extremitätenischämie hat es sich im Alltag bewährt, eine antegrade Perfusionskanüle in die A. femoralis superficialis einzulegen und diese mit dem arteriellen Auslassschenkel des ECMO-Systems zu verbinden. Weiterhin sind stündliche Kontrollen der Extremitätenperfusion (klinisch, duplexsonografisch, pulsoxymetrisch) unabdingbar. Ansaugdrücken von unter –100 mmHg lassen die Hämolyserate stark ansteigen. Dies kann durch eine Reduktion des Pumpenflusses bzw. ausreichende Volumengabe vermieden werden.

## FALLBEISPIEL

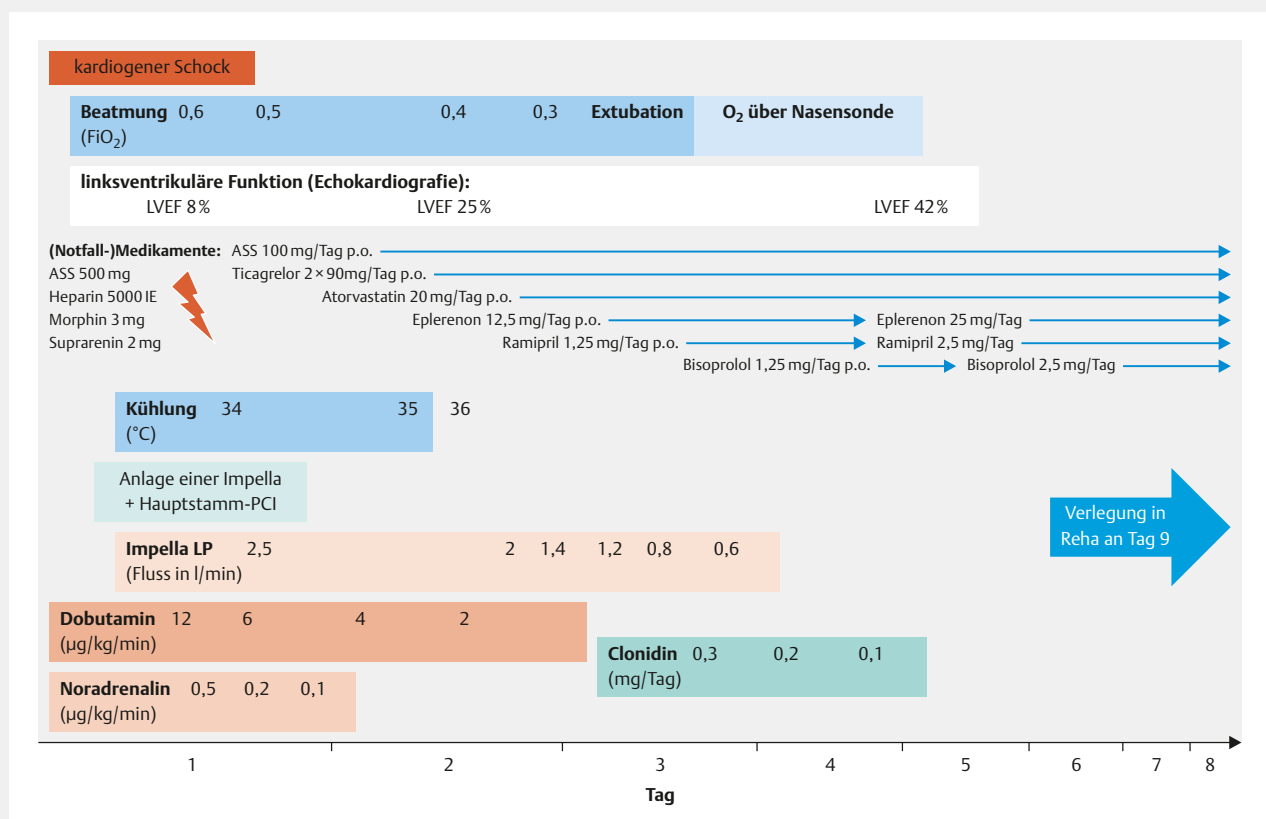
### Verlauf und Outcome

Nachdem die Körpertemperatur des Patienten über 24 Stunden mittels eines in der V. cava inferior platzierten Kühlungskatheters auf 34°C gesenkt wurde, erfolgt nun die schrittweise Wiedererwärmung. Die Gabe der Sedativa (Sufentanil und Disoprivan) wird nach 48 Stunden beendet. Nach 52 Stunden zeigt sich der Patient ohne Katecholamine hämodynamisch stabil bei einem Blutdruck von 112/86 mmHg. Nach 64 Stunden kann der Patient extubiert werden.

Die Impella wird nach 74 Stunden auf der Intensivstation explantiert und die Punktionsstelle mittels lokaler Kompression und Anlage eines Druckverbandes über weitere 24 Stunden versorgt. Die linksventrikuläre Funktion hat sich von einer Ejektionsfraktion von 8% im Schock auf aktuell 42% verbessert und stabilisiert.

Der Patient zeigt keine relevanten neurologischen Defizite, ist jedoch im weiteren Verlauf noch desorientiert und benötigt bei hochnormalem Blutdruckwerten die Gabe von Clonidin über 2 Tage. Die Kontrolle der Leiste zeigt ein 4 cm großes Hämatom. Ein Aneurysma spurium kann mittels Duplexsonografie ausgeschlossen werden.

Nach 9 Tagen kann der Patient auf Stationsebene gehen, ohne dass es zu Dyspnoe oder Angina pectoris kommt (► **Abb. 9**). Die medikamentöse Therapie umfasst bei der Verlegung zur Anschlussheilbehandlung Acetylsalicylsäure, Ticagrelor, Ramipril, Atorvastatin, Eplerenon und Bisoprolol.



► **Abb. 9** Klinischer Verlauf nach Reanimation bei Kammerflimmern und Notfallversorgung durch perkutane Koronarintervention (PCI) sowie mechanische Kreislaufunterstützung durch eine Impella. Zur Sedierung wurden Sufentanil und Disoprivan für 2 Tage gegeben.

### Merke

Um die Hämolyserate unter laufender ECMO-Therapie möglichst gering zu halten, ist auf eine ausreichende Volumensubstitution zu achten oder ggf. der Pumpenfluss zu reduzieren.

Bei der Akutversorgung im schweren Pumpversagen oder Kreislaufstillstand mit ausgeprägter Zentralisation

kommt es in der frühen Reperfusionphase zu einer ausgeprägten peripheren Vasodilatation. Oft ist dann die temporäre Gabe eines Vasopressors notwendig. Besteht der Herzstillstand unter laufender ECMO fort, kann es durch einen Rückstau in den linken Ventrikel zu einer Ballonierung mit schwerer Myokardischämie und konsekutivem Rückstau in die Lungenstrombahn mit Lungenödem kommen. Um dies zu verhindern, sollte mindestens alle

30 Sekunden eine externe Kardiokompression durchgeführt werden, die den linken Ventrikel vom Volumen entlastet. In der Kardiochirurgie werden dazu Venting-Kanülen verwendet, welche von außen direkt eingebracht werden. In der Intensivmedizin kann die Kombination mit einem Impella-System zum Venting erwogen werden, damit die Wandspannung des linken Ventrikels sich normalisiert.

### Merke

**Risiken beim Betrieb von ECMO-Systemen sind neben thrombembolischen Komplikationen die erhöhte Blutungsrate, die erhöhte Infektionsgefahr durch das in die Zirkulation eingebrachte Fremdmaterial sowie das Auftreten einer Extremitätenischämie. Letztere kann durch antegrade Kanülierung der Femoralarterien vermieden werden.**

Beim Entwöhnen, dem sog. Weaning, vom ECMO-System werden die Flussraten der Zentrifugalpumpe schrittweise reduziert, während der Eigenanteil der kardialen Pumpfunktion stetig steigt. Bei Flussraten von unter 1 l/min besteht jedoch die Gefahr einer Blutstase im System, was zu einer verstärkten Thrombenbildung mit Gefahr von arteriellen Embolien oder plötzlichem Verschluss des Oxygenators führen kann.

Im Rahmen des Weanings mit geringen Flussraten kann ggf. auf ein Impella-System oder wie bei I-COR auf die pulsatile Pumpoption zurückgegriffen werden. Die Entfernung der Kanülen kann entweder mittels manueller Kompression der Punktionsstelle, durch Verschluss der Punktionsstelle mit vorgelegten Nahtsystemen oder durch eine gefäßchirurgische Versorgung erfolgen.

### FAZIT

#### ECMO-Systeme

ECMO-Systeme können im kardiogenen Schock mit schwerem Pumpversagen oder Herz-Kreislauf-Stillstand rasch ohne Durchleuchtung implantiert werden und unter Hinzunahme eines Membranoxygenators Herz- und Lungenfunktion vollständig übernehmen.

## Zusammenfassung und Ausblick

Mechanische Kreislaufunterstützungssysteme stellen eine Option bei der Therapie von Patienten mit kardiogenem Schock dar. Obwohl bislang keine Studie mit prospektivem, randomisiertem Design eine eindeutige Mortalitätssenkung zeigen konnte, zeigen retrospektive Untersuchungen und klinische Erfahrung Vorteile, indem die Dosis von Katecholaminen und Vasopressoren redu-

ziert und damit deren negative Effekte gemindert werden können.

Durch den Einsatz mechanischer Kreislaufunterstützungssysteme sind komplexe Eingriffe am Herzen unter hämodynamisch stabilen Bedingungen möglich, wodurch letztlich bessere Behandlungsergebnisse erzielt werden können. Zukünftige Studien, z. B. die derzeit laufende DanSchock-Studie (Impella), werden uns bei der Indikationsstellung bessere Daten liefern.

Heute stellt der Einsatz eines Kreislaufunterstützungssystems immer eine individuelle Entscheidung dar, bei der Nutzen und Risiko abzuwägen sind. ► **Abb. 10** zeigt einen klinischen Entscheidungspfad, welcher neben der linksventrikulären auch die rechtsventrikuläre Funktion, die Beatmungssituation und die Prognose aufgrund des zu erwartenden neurologischen Status berücksichtigt. Neben den patientenbezogenen Faktoren sind auch organisatorische und technische Rahmenbedingungen und die lokale Verfügbarkeit der jeweiligen Systeme bei der Auswahl von Bedeutung.

Die Übersicht fasst Vor- und Nachteile der mechanischen Kreislaufunterstützung auf der internistischen Intensivstation zusammen.

Die S3-Leitlinie zum infarktbedingten kardiogenen Schock wird in diesem Jahr in überarbeiteter Fassung erscheinen, eine weitere Leitlinie, die sich speziell der mechanischen Kreislaufunterstützung widmet, wird im kommenden Jahr folgen [20].

### ÜBERSICHT

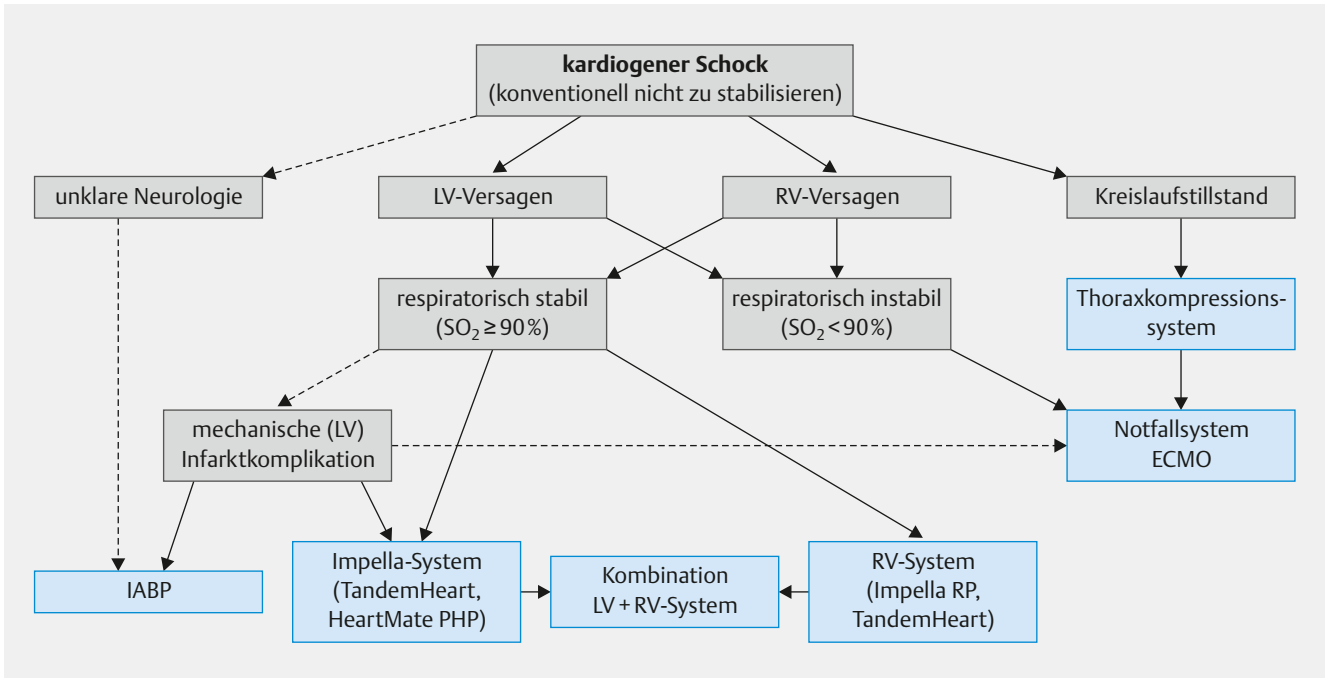
#### Gegenüberstellung der wichtigsten Vor- und Nachteile beim Einsatz mechanischer Kreislaufunterstützung in der internistischen Intensivmedizin

##### Vorteile

- arterieller Mitteldruck ↑
- Kreislauf-Zeit-Volumen ↑
- myokardialer Sauerstoffverbrauch ↓
- Katecholaminbedarf ↓
- Serum-Laktat Spiegel ↓
- komplexe Interventionen bei stabiler Hämodynamik möglich

##### Nachteile

- Infektionsgefahr ↑
- Aktivierung von Komplement und Entzündungskaskade (SIRS) ↑
- periphere Durchblutung (Zugang) ↓
- Blutungsgefahr ↑
- Versorgungsaufwand ↑



► **Abb. 10** Algorithmus zur Auswahl des Kreislaufunterstützungssystems nach klinischen Erwägungen im akuten kardiogenen Schock. Während die Impella bevorzugt bei akuter Linksherzinsuffizienz implantiert wird, kann die IABP in besonderen Fällen z. B. zum Einsparen von Katecholaminen bei unklarer Neurologie oder mechanischen Infarktkomplikationen wie Ventrikelseptumdefekt zum Einsatz kommen, wenn eine respiratorische Stabilität besteht. Im Kreislaufstillstand sollte unter ununterbrochener Reanimation ggf. mittels Thoraxkompressionssystem (z. B. LUCAS, corpus cpr oder Autopulse) ein Notfall-ECMO-System zu Einsatz kommen, das bei respiratorischer Instabilität ( $O_2$ -Sättigung ist nicht auf mindestens 90% anzuheben) auch die Lungenfunktion ersetzt.

## KERNAUSSAGEN

- Die Mortalität von 40% im ersten Monat ist im kardiogenen Schock auch heute noch unverhältnismäßig hoch.
- Der Einsatz von mechanischen Kreislaufunterstützungssystemen kann helfen, in der Akutphase die Organperfusion zu verbessern und den Bedarf an Katecholaminen und Vasopressoren zu reduzieren.
- Während die intraaortale Ballongegenpulsation (IABP) heute nur bei mechanischen Infarktkomplikationen oder in der Herzchirurgie als primäres System zum Einsatz kommt, haben Turbinenpumpen wie die Impella eine wachsende Bedeutung in der Akutversorgung.
- Impella-Systeme saugen das Blut kontinuierlich aus dem linken Ventrikel und pumpen es mit maximalen Flussraten von 2,5–5 l/min in die Aorta.
- Im kompletten Kreislaufstillstand können externe Thoraxkompressionssysteme zur ununterbrochenen Fortführung mechanischer Reanimationsmaßnahmen auch unter diagnostischen oder therapeutischen Prozeduren eingesetzt werden. ECMO-Systeme bieten die Möglichkeit zum vollständigen Ersatz der Herz- und Lungenfunktion und können ohne Durchleuchtung unter laufenden Reanimationsmaßnahmen implantiert werden.
- Die Auswahl des Kreislaufunterstützungssystems ist abhängig von der Ursache des kardiogenen Schocks bzw. Herzinsuffizienz, Begleiterkrankungen, dem Alter und dem mutmaßlichen Patientenwillen.
- Neue Systeme mit geringem Implantationsdiameter, welche nach Entfalten im Blutkreislauf betrieben werden, können in der Zukunft dazu beitragen, die Behandlungsmöglichkeiten in der internistischen Intensivmedizin zu erweitern.

## Interessenkonflikt

Der Autor erklärt, dass er in den vergangenen 5 Jahren von folgenden Firmen Vortrags- und Beraterhonorare auf das Drittmittelkonto der Klinik Innere Medizin I der HELIOS Dr. Horst Schmidt Kliniken Wiesbaden erhalten hat: Abiomed, BerlinHeart, Marquet, Medtronic, Xenios.

## Autorinnen/Autoren



### Markus W. Ferrari

Prof. Dr. med. Dr. disc. pol. 1986–1993 Studium der Medizin und Sportwissenschaften. Promotionen in beiden Fächern 1993 und 1994. Bis 1997 Assistenzärztin am Universitätsklinikum Göttingen, danach Wechsel nach Jena und Erwerb des Facharztes für Innere Medizin sowie der Zusatzbezeichnung Kardiologie. 2001 Fellowship am Texas Heart Institute, Houston, Texas. Anschließend Oberarzt und ab 2006 leitender Oberarzt in der Klinik für Innere Medizin 1 in Jena. Seit 2013 Direktor der Klinik für Innere Medizin 1 (Kardiologie, Angiologie und Intensivmedizin), HELIOS Dr. Horst Schmidt Kliniken in Wiesbaden.

## Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. med. Dr. disc. pol. Markus W. Ferrari**  
Klinik Innere Medizin I  
HELIOS Dr. Horst Schmidt Kliniken Wiesbaden  
Ludwig-Erhard-Straße 100  
65199 Wiesbaden  
markus.ferrari@helios-kliniken.de

## Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Prof. Dr. med. Dr. disc. pol. Markus W. Ferrari, Wiesbaden.

## Literatur

- [1] Goldberg RJ, Gore JM, Alpert JS et al. Cardiogenic shock after acute myocardial infarction. Incidence and mortality from a community-wide perspective, 1975 to 1988. *N Engl J Med* 1991; 325: 1117–1122. doi:10.1056/nejm199110173251601
- [2] Kolte D, Khera S, Dabhadkar KC et al. Trends in coronary angiography, revascularization, and outcomes of cardiogenic shock complicating non-ST-Elevation myocardial infarction. *Am J Cardiol* 2016; 117: 1–9. doi:10.1016/j.amjcard.2015.10.006
- [3] Ferrari M, Kruzliak P, Spiliopoulos K. An insight into short- and long-term mechanical circulatory support systems. *Clin Res Cardiol* 2015; 104: 95–111. doi:10.1007/s00392-014-0771-6
- [4] Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. Closed-chest cardiac massage. *JAMA* 1960; 173: 1064–1067
- [5] Ferrari MW. Welche Bedeutung haben mechanische Assistensysteme beim Herz-Kreislauf-Stillstand? *Herzschrittmachert Her Elektrophysiol* 2016; 27: 25–30. doi:10.1007/s00399-016-0421-y
- [6] Kantrowitz A. Experimental augmentation of coronary flow by retardation of the arterial pressure pulse. *Surgery* 1953; 34: 678–687
- [7] Kovack PJ, Rasak MA, Bates ER et al. Thrombolysis plus aortic counterpulsation: improved survival in patients who present to community hospitals with cardiogenic shock. *J Am Coll Cardiol* 1997; 29: 1454–1458
- [8] Ohman EM, Nanas J, Stomel RJ et al. Thrombolysis and counterpulsation to improve survival in myocardial infarction complicated by hypotension and suspected cardiogenic shock or heart failure: results of the TACTICS Trial. *J Thrombosis Thrombolysis* 2005; 19: 33–39. doi:10.1007/s11239-005-0938-0
- [9] Kern MJ, Aguirre FV, Caracciolo EA et al. Hemodynamic effects of new intra-aortic balloon counterpulsation timing methods in patients: a multicenter evaluation. *Am Heart J* 1999; 137: 1129–1136
- [10] Sjauw KD, Engstrom AE, Vis MM et al. A systematic review and meta-analysis of intra-aortic balloon pump therapy in ST-elevation myocardial infarction: should we change the guidelines? *Eur Heart J* 2009; 30: 459–468. doi:10.1093/eurheartj/ehh602
- [11] Thiele H, Zeymer U, Neumann FJ et al. Intraaortic balloon support for myocardial infarction with cardiogenic shock. *N Engl J Med* 2012; 367: 1287–1296. doi:10.1056/NEJMoa1208410
- [12] Lauten A, Engstrom AE, Jung C et al. Percutaneous left-ventricular support with the Impella-2.5-assist device in acute cardiogenic shock: results of the Impella-EUROSHOCK-registry. *Circulation Heart Fail* 2013; 6: 23–30. doi:10.1161/circheartfailure.112.967224
- [13] Ouweneel DM, Eriksen E, Sjauw KD et al. Percutaneous Mechanical Circulatory Support Versus Intra-Aortic Balloon Pump in Cardiogenic Shock After Acute Myocardial Infarction. *J Am Coll Cardiol* 2017; 69: 278–287. doi:10.1016/j.jacc.2016.10.022
- [14] O'Neill WW, Kleiman NS, Moses J et al. A prospective, randomized clinical trial of hemodynamic support with Impella 2.5 versus intra-aortic balloon pump in patients undergoing high-risk percutaneous coronary intervention: the PROTECT II study. *Circulation* 2012; 126: 1717–1727. doi:10.1161/circulationaha.112.098194
- [15] Van Mieghem NM, Daemen J, den Uil C et al. Design and Principle of Operation of the HeartMate PHPTM (Percutaneous Heart Pump). *EuroIntervention* 2016. doi:10.4244/EIJ-D-15-00467
- [16] Smith EJ, Reitan O, Keeble T et al. A first-in-man study of the Reitan catheter pump for circulatory support in patients undergoing high-risk percutaneous coronary intervention. *Catheter Cardiovasc Intervent* 2009; 73: 859–865. doi:10.1002/ccd.21865
- [17] Wang S, Izer JM, Clark JB et al. In Vivo hemodynamic performance evaluation of novel electrocardiogram-synchronized pulsatile and nonpulsatile extracorporeal life support systems in an adult swine model. *Art Organs* 2015; 39: E90-Ee101. doi:10.1111/aor.12482
- [18] Mehlhorn U, Brieske M, Fischer UM et al. LIFEBRIDGE: a portable, modular, rapidly available "plug-and-play" mechanical circulatory support system. *Ann Thorac Surg* 2005; 80: 1887–1892. doi:10.1016/j.athoracsur.2005.03.040



- [19] Burkhoff D, Cohen H, Brunckhorst C et al. A randomized multi-center 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* 2006; 152: 469. e461–468. doi:10.1016/j.ahj.2006.05.031
- [20] Werdan K, Russ M, Buerke M et al. Cardiogenic shock due to myocardial infarction: diagnosis, monitoring and treatment: a German-Austrian S3 Guideline. *Dtsch Arztebl Int* 2012; 109: 343–351. doi:10.3238/arztebl.2012.0343

## Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-112076>  
Intensivmedizin up2date 2017; 13: 403–420  
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
ISSN 1614-4856

## Botschaften senden, die ankommen!

© Fotolia/ralwel



### Wir machen Sie fit für die Medien!

Sie möchten Studienergebnisse, neue Erkenntnisse und komplexe medizinische Inhalte in die Öffentlichkeit tragen? Hatten schon einmal eine unangenehme Begegnung mit den Medien? Kennen die Situation, Journalisten gegenüber Rede und Antwort zu stehen? Wir machen Sie fit im Umgang mit Pressevertretern, geben Ihnen Tipps für Interviews vor laufender Kamera und verraten Ihnen, wie Ihre Botschaften gut ankommen.

Dazu bieten wir Ihnen ein modular aufgebautes Medientraining für Einzelpersonen und Kleingruppen. Interessiert?

Dann schauen Sie doch vorbei:  
[www.thieme.de/medientraining](http://www.thieme.de/medientraining)



**Thieme Kommunikation**

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter [cme.thieme.de/hilfe](https://cme.thieme.de/hilfe) eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter [eref.thieme.de/ZZX8V68](https://eref.thieme.de/ZZX8V68) oder über den QR-Code kommen Sie direkt zum Artikel zur Eingabe der Antworten.

VNR 2760512017152374650



### Frage 1

Was stellt *keinen* klinischen Vorteil beim Einsatz mechanischer Kreislaufunterstützung in der internistischen Intensivmedizin dar?

- A Kreislaufunterstützungssysteme führen zu einer Steigerung des arteriellen Mitteldrucks und damit zu einer verbesserten Durchblutung der Organe.
- B Axiale Turbinenpumpen können den myokardialen Sauerstoffverbrauch u. a. durch Reduktion der Wandspannung senken.
- C Unter mechanischer Kreislaufunterstützung reduziert sich der Versorgungsaufwand für das intensivmedizinische Personal.
- D Durch eine verbesserte Mikrozirkulation fällt der Serum-Laktat Spiegel.
- E Kreislaufunterstützungssysteme helfen dabei, den Katecholaminbedarf zu reduzieren.

### Frage 2

Welches ist die häufigste Ursache für einen kardiogenen Schock?

- A akute Lungenembolie
- B Myokarditis
- C akute Myokardischämie
- D primäre Herzrhythmusstörungen wie z. B. Kammer tachykardien
- E Überleitungsstörungen mit Bradykardie oder Asystolie

### Frage 3

Bei welchem der folgenden Befunde sollte die Indikation zur Implantation eines mechanischen Kreislaufunterstützungssystems zurückhaltend gestellt werden?

- A hämodynamische Stabilisierung von kritisch Kranken im kardiogenen Schock mit behandelbarer Ursache
- B Patientenalter > 70 Jahre
- C komplexe Koronarintervention mit großem Versorgungsareal
- D postoperativ nach herzchirurgischen Eingriffen
- E Überbrückung vor einer Herztransplantation

### Frage 4

Welche Aussage trifft für die intraaortale Ballongegenpulsation (IABP) zu?

- A Aufgrund des niedrigen Durchmessers des Pumpkatheters sollte die IABP bei allen akuten Myokardinfarkten als primäres Kreislaufunterstützungssystem zum Einsatz kommen.
- B Bei Patienten mit einer Aortenklappenstenose ist die IABP streng kontraindiziert, während sie bei einer höhergradigen Aortenklappeninsuffizienz die Hämodynamik signifikant verbessert.
- C Die rasche Deflation des IABP-Ballons in der Diastole führt zu einer besseren Organperfusion.
- D Da die IABP in der Schock-II-Studie keinen Vorteil im Langzeitverlauf gezeigt hat, ist ihr Betrieb in der Akutphase auf 6 Stunden zu begrenzen.
- E In den 1980er- und 1990er-Jahren konnten Studien zur IABP im infarktbedingten kardiogenen Schock unter thrombolytischer Therapie eine Mortalitätsreduktion nachweisen.

### Frage 5

Wodurch ist die Impella gekennzeichnet?

- A Aufgrund des einfachen Betriebs sollte die Impella idealerweise bei der Behandlung von hämodynamisch stabilen Patienten mit NSTEMI zum Einsatz kommen.
- B Beim Betrieb der Impella muss insbesondere bei zu hohem Fluss mit einem Pumpversagen durch die gesteigerte Nachlast gerechnet werden.
- C Aufgrund ihrer pulsatilen Flussdynamik ist die Impella auf einen stabilen Herzrhythmus angewiesen.
- D Bei Auftreten von Kammerflimmern sollte die Impella sofort ausgeschaltet werden, da ansonsten der Erfolg der Defibrillation gefährdet ist.
- E Die Impella kann in Abhängigkeit von linksventrikulärer Nachlast und Pumpkanüliendiameter maximal 2,5–5 l/min Blut aus dem linken Ventrikel in die Aorta ascendens pumpen.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung ...

### Frage 6

Bei welchem der nachfolgenden Kreislaufunterstützungssysteme stellt eine erhaltene Eigenaktion der linken Herzkammer eine essenzielle Voraussetzung für eine korrekte Funktion dar?

- A intraaortale Ballongegenpulsation (IABP)
- B Impella CP
- C venoarterielle extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO)
- D Lifebridge
- E axiale Turbinenpumpe Heartmate PHP

### Frage 7

Nur eine der folgenden Aussage bezüglich der Therapie mit extrakorporalen Unterstützungssystemen ist zutreffend. Welche?

- A Bei niedrigen Flussraten kann es zu einer Verstopfung der Sauerstoff- und Druckluftzufuhr im Membranoxygenator kommen.
- B Der Einsatz eines Wärmetauschers reduziert das Auftreten eines systemischen inflammatorischen Syndroms (SIRS) nach Beendigung der ECMO-Therapie.
- C Beim Vorliegen einer Tako-Tsubo-Kardiomyopathie sollte eine Impella nur zum Einsatz kommen, wenn durch die hochdosierte Gabe von Katecholaminen kein ausreichender Blutdruck zu etablieren ist.
- D Bei Patienten mit venoarteriellem ECMO-System (ECMO = extrakorporale Membranoxygenierung) sollte bei jeder Veränderung der Drehzahl der Zentrifugalpumpe der Gasfluss angepasst werden.
- E Im Falle eines ischämischen Papillarmuskelabrisses oder Ventrikelseptumdefektes als Folge eines Myokardinfarktes kann die Implantation einer IABP signifikant die Nachlast erhöhen und so die Prognose verbessern.

### Frage 8

Was trifft für die heute verwendeten ECMO-Systeme (ECMO = extrakorporale Membranoxygenierung) zu?

- A Der Gasaustausch im Membranoxygenator ist abhängig vom  $F_iO_2$  (inspiratorische Sauerstofffraktion), dem Gasfluss und den Blutflussraten im System.
- B Die Drehzahl der Zentrifugalpumpe kann im Notfall auch direkt am Gasflussregler eingestellt werden.
- C Da das Blutungsrisiko bei Intensivpatienten erhöht ist, ist die Gabe von Heparin unter ECMO-Betrieb streng kontraindiziert.
- D Die Blutflussraten werden bei den heute verwendeten ECMO-Systemen ausschließlich über Drosselklemmen am arteriellen Schenkel bei sonst konstanten Drehzahlen der Zentrifugalpumpe eingestellt.
- E Unter laufender ECMO kann ein Patient nicht transportiert werden, weshalb weitere diagnostische und therapeutische Maßnahmen bis zum erfolgreichen Weaning zurückgestellt werden sollten.

### Frage 9

Welche Aussage ist korrekt?

- A Bei der Auswahl der Kanülen für eine venoarterielle ECMO ist nur die Länge, nicht aber der Durchmesser von Bedeutung.
- B Liegt dem kardiogenen Schock ein akuter Myokardinfarkt zugrunde, so kann der Einsatz einer intraaortalen Ballongegenpulsation (IABP) nach der perkutanen Koronarintervention (PCI) die Prognose des Patienten signifikant verbessern.
- C Die maximal zu erzielenden Flussraten der ECMO hängen u. a. von der Länge der venösen und arteriellen Kanülen ab.
- D Die aktive Volumenentlastung des linken Ventrikels im kardiogenen Schock durch intravasale Kreislaufunterstützungssysteme führt zu einer Reduktion der Wandspannung und durch die damit verbesserte myokardiale Mikrozirkulation zu einer Zunahme des intramyokardialen Ödems.
- E Im Falle einer fulminanten Lungenembolie stellt derzeit das TandemHeart nach transeptaler Punktion und Anlage der venösen Kanüle in den linken Vorhof die einzige Möglichkeit zur akuten Unterstützung des rechten Ventrikels dar.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung ...

### Frage 10

Einer der folgenden Werte braucht *nicht* regelmäßig bei Patienten mit einem Kreislaufunterstützungssystem auf der Intensivstation überprüft zu werden. Welcher?

- A die Blutgerinnung, idealerweise als ACT oder PTT zur Anpassung der Heparin-Dosierung
- B die peripheren Pulse zur rechtzeitigen Detektion einer Ischämie der Extremität
- C Glykohämoglobin A<sub>1c</sub> zur Erkennung eines neu aufgetretenen Diabetes mellitus
- D die arterielle O<sub>2</sub>-Sättigung zur Überprüfung einer suffizienten Oxygenierung des Patienten
- E transthorakale oder transösophageale echokardiografische Kontrollen zur Evaluation des Eigenauswurfs des Herzens, was eine Adaption der mechanischen Kreislaufunterstützung ermöglicht

Service für unsere Leser

**Schön  
aufgeräumt?**

Der Sammelordner bringt  
Struktur in Ihre up2date.



**Kostenlosen Ordner bestellen:**

[www.thieme.de/mein-up2date-ordner](http://www.thieme.de/mein-up2date-ordner)

*up2date – Fortbildung mit dem roten Faden*