

M. Carl¹ · A. Alms² · J. Braun¹ · A. Dongas³ · J. Erb¹ · A. Goetz⁴ · M. Goepfert⁴ · W. Gogarten⁵ · J. Grosse¹ · A.R. Heller⁶ · M. Heringlake⁷ · M. Kastrup¹ · A. Kroener⁸ · S.A. Loer⁹ · G. Marggraf¹⁰ · A. Markewitz¹¹ · D. Reuter⁴ · D.V. Schmitt¹² · U. Schirmer³ · C. Wiesenack¹³ · B. Zwissler¹⁴ · C. Spies¹

¹ Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Charité Universitätsmedizin Berlin, Charité Mitte und Campus Virchow Klinikum, Berlin

² Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Universitätsklinikum Rostock

³ Institut für Anästhesiologie, Herz- und Diabeteszentrum NRW, Ruhr-Universität Bochum, Bad Oeynhausen

⁴ Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

⁵ Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Münster

⁶ Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus, Dresden

⁷ Klinik für Anästhesiologie, Universität Lübeck

⁸ Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie, Universitätsklinik Köln

⁹ Department of Anesthesiology, VU University Hospital Center, Amsterdam

¹⁰ Klinik für Thorax- und Kardiovaskuläre Chirurgie, Westdeutsches Herzzentrum Essen

¹¹ Abteilung für Herz- und Gefäßchirurgie, Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz

¹² Klinik für Herzchirurgie, Herzzentrum, Universität Leipzig

¹³ Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg

¹⁴ Klinik für Anästhesiologie, Ludwig-Maximilians-Universität, München

S3-Leitlinie zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten

Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf-System

Einleitung

Das hämodynamische Monitoring und die Differenzialtherapie mittels adäquater Volumensubstitution sowie positiv-inotroper und vasoaktiver Substanzen sind die Grundpfeiler der postoperativen intensivmedizinischen Behandlung von kardiochirurgischen Patienten.

Empfehlungen zur Therapie mit Volumenersatzlösungen und kreislaufwirksamen Medikamenten im Rahmen der intensivmedizinischen Behandlung von

kardiochirurgischen Patienten sind nur sinnvoll, wenn gleichzeitig Zielkriterien der Herz-Kreislauf-Therapie festgelegt werden. Durch entsprechendes Monitoring und die Erfassung der hämodyna-

Tab. 1 Empfehlungsgrade	
Empfehlungsgrad (GoR)	Beschreibung
A	Sehr starke Empfehlung „soll“
B	Starke Empfehlung „sollte“
O	Offene Empfehlung „kann“

Tab. 2 Evidenzbasierte Empfehlungen: Basismonitoring		
	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Zur kontinuierlichen EKG-Überwachung sollen zur Arrhythmie- und Ischämiediagnostik die Ableitungen II und V5, alternativ II und V3 oder II und V4 oder, sofern technisch möglich, V3, V4 und V5 verwendet werden.	C	A
Ein ST-Segment-Monitoring wird bei jeder EKG-Überwachung empfohlen.	D	O
Bei Intensivpatienten wird ein 12-Kanal-EKG mit Dokumentation bei stationärer Aufnahme und im Verlauf der ersten 3 postoperativen Tage des ITS-Aufenthalts einmal täglich empfohlen. Ab dem 3. Tag einer Weiterbehandlung auf ITS erfolgt die Indikation nach der jeweiligen klinischen Situation.	D	O
Das kontinuierliche Monitoring mittels der Pulsoxymetrie detektiert das Auftreten klinisch inapparenter O ₂ -Entsättigungen und soll daher als kontinuierliches Monitoringverfahren eingesetzt werden.	A	A
Eine kontinuierliche invasive Blutdruckmessung soll nach kardiochirurgischen Eingriffen obligat sein, da nichtinvasive Messungen unzureichend präzise und diskontinuierlich sind.	C	A
Der ZVD kann trotz methodenimmanenter Limitationen wichtige Informationen über akute Veränderungen der rechtsventrikulären Compliance und/oder des Volumenstatus liefern und kann daher kontinuierlich gemessen werden.	D	O
Eine Temperaturmessung kann kontinuierlich erfolgen. Bei diskontinuierlicher Messmethodik wird mindestens ein 4-stündliches Intervall empfohlen.	D	O
Die Bilanzierung kann in den ersten 24 h in einem 1-stündlichen Intervall erfolgen, danach in Abhängigkeit des klinischen Zustands des Patienten in 4-stündlichen Intervallen.	D	O
Eine BGA sollte zügig nach Aufnahme auf die ITS, bei Auftreten einer kardiopulmonalen Instabilität oder bei Veränderung der Ventilationsparameter innerhalb eines Zeitintervalls von 30 min erfolgen. Bei einer FIO ₂ ≥ 0,6 wird eine BGA alle 4 h, sonst mindestens alle 8 h, empfohlen.	D	B
Die S _c vO ₂ bildet Verlaufsänderungen der S _v O ₂ ausreichend gut ab und kann alternativ verwendet werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass eine S _c vO ₂ im Normbereich nicht für S _v O ₂ -Normwerte beweisend ist.	C	O

mischen Parameter muss eine Kontrolle des Behandlungsansatzes erfolgen. Die Auswertung der erhobenen Messwerte, zusammen mit dem klinischen Bild, welches der Patient bietet, erlaubt die Entwicklung eines weiterführenden Therapiekonzepts.

Die bestehende Vielfalt an verfügbaren Monitoringverfahren und positiv-inotropen und vasoaktiven Substanzen verdeutlicht die Notwendigkeit der Entwicklung von Leitlinien in der kardiochirurgischen Intensivmedizin, wobei es nicht unbe-

dingt entscheidend ist, dass die Leitlinie komplett umgesetzt wird, sondern dass ein praxisorientiertes Konzept unter den örtlichen Gegebenheiten definiert und konsequent eingesetzt wird.

Ziel dieser Leitlinie ist eine Bewertung der verfügbaren Monitoringverfahren im Hinblick auf Indikationen, Vorgehen, Aussagen, Limitationen, Kontraindikationen und Risiken; weiterhin die Differenzialtherapie mit Volumenersatzmitteln vs. positiv-inotropen und vasoaktiven Substanzen, die differenzierte Katecholamin-

therapie einschließlich der Inodilatoren und Kalziumsensitizer sowie die Einsatzkriterien der intraaortalen Ballonpumpe. Diese Leitlinie ist eine aktualisierte Version der schon publizierten S3-Leitlinie [1].

Methodik

Erstellungsprozess

Das methodische Vorgehen des Leitlinienentwicklungsprozesses versucht den Anforderungen der evidenzbasierten Medizin zu entsprechen, wie sie von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) und dem Ärztlichen Zentrum für Qualität (ÄZQ) in der Medizin als Standard definiert wurden.

Leitlinien sind das Ergebnis einer systematischen Literaturrecherche und der kritischen Evidenzbewertung verfügbarer Daten mit wissenschaftlichen Methoden sowie der Diskussion von Experten, deren Kerngruppe als Autoren aufgeführt ist.

Folgende Schritte sind durchgeführt worden:

- Definition der Suchbegriffe zu den Themenschwerpunkten und Festlegung der relevanten Datenbanken
- Systematische Recherche der wissenschaftlichen Literatur, aber auch bereits verfügbarer Standardleitlinien, Empfehlungen und Expertenmeinungen
- Evaluation dieser Publikationen nach Evidenzkriterien
- Diskussion der Entwürfe und Kernaussagen sowie Integration von interner Evidenz (nichtpublizierte Studien, Erfahrung von Experten)

Die vorgestellten Empfehlungen der Leitlinie (■ Tab. 1) wurden nach zwei Konsensuskonferenzen und einer Delphi-Runde unter der Moderation der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) verabschiedet. Im Konsensusverfahren wurden anhand des Evidenzgrads und unter Berücksichtigung ethischer Aspekte, Patientenpräferenzen, klinischer Relevanz, Abwägung des Nutzen-Risiko-Verhältnisses und der Anwendbarkeit Empfehlungsgrade erarbeitet.

M. Carl · A. Alms · J. Braun · A. Dongas · J. Erb · A. Goetz · M. Goepfert · W. Gogarten · J. Grosse · A.R. Heller · M. Heringlake · M. Kastrup · A. Kroener · S.A. Loer · G. Marggraf · A. Markewitz · D. Reuter · D.V. Schmitt · U. Schirmer · C. Wiesenack · B. Zwissler · C. Spies

S3-Leitlinie zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten.

Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf-System

Zusammenfassung

Das hämodynamische Monitoring und die Differenzialtherapie mittels adäquater Volumensubstitution sowie positiv-inotroper und vasoaktiver Substanzen sind die Grundpfeiler der postoperativen intensivmedizinischen Behandlung von kardiochirurgischen Patienten. Ziel der S3-Leitlinie ist es, die Empfehlungen zum Monitoring und zur Therapie evidenzbasiert zu prüfen sowie Zielkriterien hierfür festzulegen. Die Bewertung erhobener Messparameter im Zusammenhang mit der klinischen Gesamtsituation des Patienten erlaubt die Entwicklung eines weiterführenden Therapiekonzepts und die Festlegung von Zielkriterien zur Kontrolle des Behandlungserfolgs.

Bislang existieren Leitlinien und Empfehlungen lediglich für Teilbereiche der kardiochirurgischen Intensivmedizin. So beste-

hen Leitlinien für den Einsatz des Pulmonalarterienkatheters und der transösophagealen Echokardiographie für diesen speziellen Bereich der postoperativen Patientenversorgung.

Die Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) und die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) haben sich daher zum Ziel gesetzt, einen nationalen Ansatz zur Sicherung und Verbesserung der Qualität der postoperativen kardiochirurgischen Intensivmedizin mit der vorliegenden evidenzbasierten S3-Konsensusleitlinie zu schaffen.

Ziel dieser Leitlinie ist eine Bewertung der verfügbaren Monitoringverfahren im Hinblick auf Indikationen, Vorgehen, Aussagen, Limitationen, Kontraindikationen und Risiken; weiterhin die Differenzialtherapie mit

Volumenersatzlösungen vs. positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen, die differenzierte Katecholamintherapie einschließlich der Inodilatoren und Kalziumsensitizer sowie die Einsatzkriterien der intraaortalen Ballonpumpe.

Die Leitlinie ist in einem standardisierten Prozess nach Vorgaben der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) erstellt worden. Die Verabschiedung der Kernaussagen der Leitlinie erfolgte in zwei Konsensusverfahren unter Moderation der AWMF.

Schlüsselwörter

Intensivmedizin · Kardiochirurgie · Monitoring · Volumentherapie · Positiv-inotrope und vasoaktive Substanzen

S3 Guidelines for intensive care of cardiac surgery patients.

Hemodynamic monitoring and cardiocirculatory system

Abstract

Hemodynamic monitoring and adequate volume therapy, as well as treatment with positive inotropic drugs and vasopressors are the basic principles of postoperative intensive care treatment of patients after cardiothoracic surgery. The goal of these S3 guidelines is to evaluate the recommendations with respect to evidence-based medicine and to define therapy goals for monitoring and therapy. In context with the clinical situation the evaluation of the different hemodynamic parameters allows the development of a therapeutic concept and the definition of target criteria to evaluate the effect of treatment.

Up to now there have only been guidelines for subareas of postoperative treatment of cardiothoracic surgical patients, such

as the use of pulmonary artery catheters or transesophageal echocardiography.

The German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery and the German Society for Anesthesiology and Intensive Care Medicine made an approach to ensure and improve the quality of postoperative intensive care medicine after cardiothoracic surgery by the development of S3 consensus-based treatment guidelines.

The goal of these guidelines is to assess the available monitoring methods with respect to indications, procedures, predication, limits, contraindications and risks for use. The differentiated therapy of volume replacement, positive inotropic support and vasoactive drugs, the therapy with vasodilators,

inodilators and calcium sensitizers and the use of intra-aortic balloon pumps will also be addressed.

These guidelines have been developed following the recommendations for the development of guidelines by the Association of the Scientific Medical Societies in Germany (AWMF). The presented key messages of the guidelines were approved after two consensus meetings under the moderation of the AWMF.

Keywords

Intensive care medicine · Cardiothoracic surgery · Monitoring · Volume therapy · Positive inotropic and vasoactive drugs

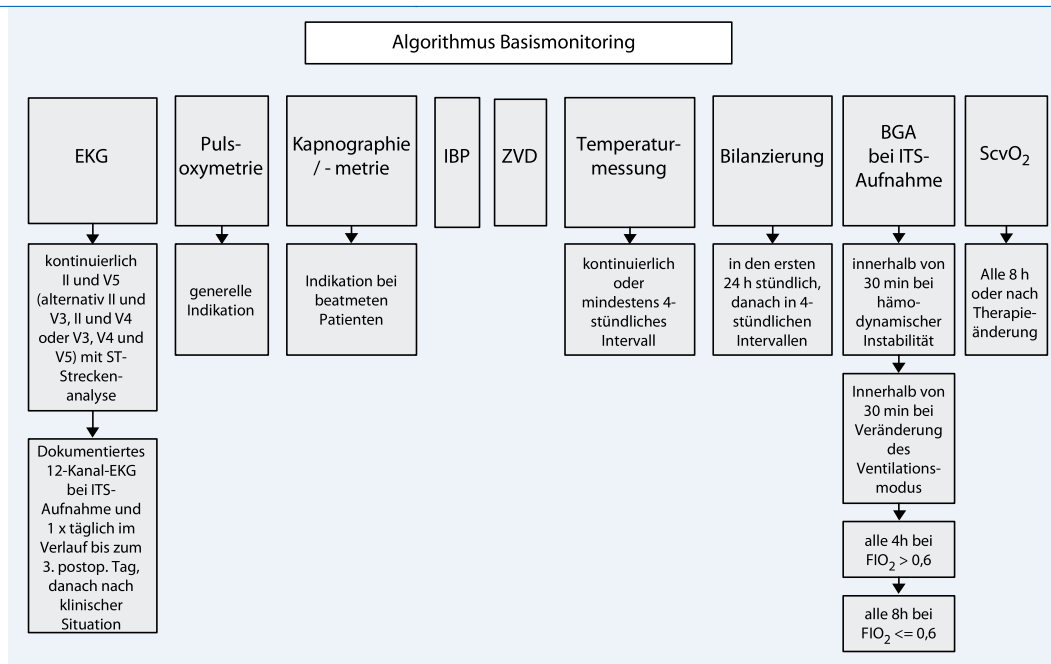


Abb. 1 ◀ Basismonitoring

Auswahl der Literatur

In den Datenbanken Cochrane Library (Cochrane Reviews) und PubMed/Medline mit Hilfe eines Literaturverwaltungsprogramms sowie Embase zur gezielten Suche einzelner Arbeiten wurden für die o. g. Themen in dem Recherchezeitraum 1990 bis Juli 2005 anhand von vorformulierten Schlüsselwörtern insgesamt 9064 Arbeiten identifiziert.

Nach Sichtung der Publikationstitel und Abstracts sowie Ausschluss aller nicht englisch- oder deutschsprachigen Veröffentlichungen wurden 655 Artikel für die weitere Literaturanalyse berücksichtigt.

Das erfolgte Aktualisierungsverfahren der Leitlinie beinhaltetete eine erneute systematische Literaturrecherche nach den gleichen Vorgaben, die den Zeitraum August 2005 bis Oktober 2009 umfasste. Die aktualisierte Literaturrecherche anhand der vorformulierten Schlüsselwörter umfasste insgesamt 3494 Arbeiten. Nach Sichtung der Publikationstitel und Abstracts gingen 254 themenrelevante Arbeiten in die weitere Literaturanalyse mit ein.

Die Evaluation dieser Publikationen nach Evidenzkriterien erfolgte gemäß dem Oxford Centre for Evidence-Based Medicine (Levels of Evidence 2009; <http://www.cebm.net/index.aspx?o=1025>, Stand 12.2009).

Aktualisierungsverfahren

Die Redaktionsgruppe überarbeitete die S3-Leitlinie turnusgemäß im Jahre 2009. Nach erneuter Literaturrecherche wurde die aktualisierte Version der Expertengruppe vorgelegt, Korrekturen eingearbeitet und in einem Delphi-Verfahren verabschiedet.

Allen beteiligten Autoren wurden sowohl der Volltext als auch die Kurzversion, jeweils einschließlich der zu konsultierenden Empfehlungen zur Abstimmung zur Verfügung gestellt. Nach erstmaligem Umlauf der Leitlinie unter allen gelisteten Autoren erfolgte die Zustimmung zur vorgelegten Textform und der darin inkludierten Empfehlungen von 21 der 22 Autoren ohne einen Änderungs- respektive Korrekturwunsch. Damit erfolgte im erstmaligen Umlauf eine Annahme der gesamten Leitlinie und der Empfehlungen im Konsens mit einer Zustimmung von 95,5%.

Es erfolgte unter Moderation der Vertreter der beiden Fachgesellschaften eine Diskussionsrunde via e-mail zwischen dem Autorenteam und dem nicht zustimmenden Autor. Nach nochmaliger gemeinsamer Sichtung der bestehenden Evidenz erfolgte die Zustimmung des primär nicht zustimmenden Autors zur vorliegenden Leitlinie.

Im April 2010 wurde die aktualisierte S3-Leitlinie durch die beiden beteiligten

Fachgesellschaften begutachtet und verabschiedet.

Erläuterung zu den Empfehlungen der Leitlinien

Empfehlungen, für welche die verfügbare externe Evidenz nicht ausreichend bis nicht vorhanden ist, die aber erfahrungsgemäß für den klinischen Ablauf unabdingbar sind, können trotzdem nach Konsensusfindung den höchsten Empfehlungsgrad erhalten.

Empfehlungen, für welche ein hoher Evidenzgrad vorliegt, können dagegen nach Konsensusfindung wegen ihrer geringfügigen klinischen Bedeutung einen niedrigeren Empfehlungsgrad erhalten. Der Empfehlungsgrad leitet sich aus einer methodischen Vorgabe des Europarats 2001 ab [2].

Basismonitoring

Der kritisch kranke Patient auf der Intensivstation benötigt ein adäquates hämodynamisches Monitoring [3, 4]. Das Basismonitoring für postoperative kardiochirurgische Intensivpatienten sollte EKG, Pulsoxymetrie, invasive Blutdruckmessung, zentralen Venendruck, Bilanzierung (Drainagen, Ein- und Ausfuhr), arterielle und zentralvenöse Blutgasanalysen mit einer an einem klinischen Protokoll orientierten

tierten Abnahmefrequenz und Temperaturmessung umfassen.

Der Einsatz dieser Monitoringverfahren wird durch die Ergebnisse einer bundesweiten Befragung kardiochirurgischer Intensivstationen unterstrichen [5]. In fast 100% der mit der Umfrage erfassten Kliniken gehörte das EKG, die Messung des zentralen Venendrucks (ZVD) und der arteriellen Sättigung, die Bilanzierung, die Temperaturmessung und die invasive Blutdruckmessung zum routinemäßigen Basismonitoring. Diese Verfahren können somit als Standard des Basismonitorings für kardiochirurgische Patienten in Deutschland betrachtet werden (■ Tab. 2, ■ Abb. 1).

Erweitertes hämodynamisches Monitoring

Echokardiographie

Mehrere Studien haben die Effektivität der Echokardiographie im perioperativen Setting, sowohl hinsichtlich klappenchirurgischer als auch koronarchirurgischer Eingriffe, unterstrichen. Die mit Hilfe der TEE im Vergleich zu erweiterten hämodynamischen Monitoringverfahren neu gewonnenen Informationen bewegten sich zwischen 13% und 45%. Die aus diesen Informationen resultierenden Erkenntnisse beeinflussten die Therapie in einer Bandbreite zwischen 10% und 52% der Fälle, v. a. bei der Steuerung der Volumen- und Katecholamintherapie [6, 7, 8]. Die Effekte der Therapieveränderungen auf das Patientenoutcome waren nicht Gegenstand dieser Untersuchungen.

Im Vergleich zu anderen Verfahren des erweiterten hämodynamischen Monitorings bietet die TEE den Vorteil einer relativ schnellen Einsatzfähigkeit. Nachteilig sind die Unmöglichkeit eines kontinuierlichen hämodynamischen Monitorings, der Bedarf einer teuren Ausstattung und die Abhängigkeit von der Präsenz und dem Ausbildungsgrad des Anwenders (■ Tab. 3, ■ Abb. 2).

Aktuelle Studienergebnisse hinsichtlich der Sicherheit der Anwendung der TEE werden kontrovers beurteilt. Ältere Studien wiesen ein Perforationsrisiko unter 0,1% aus, während in aktuellen Veröffentlichungen eine Häufigkeit für schwe-

Tab. 3 Evidenzbasierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring: Echokardiographie

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Bei Patienten, die akute anhaltende hämodynamische Störungen aufweisen, die nicht auf eine initiale Therapie reagieren und bei denen die ventrikuläre Funktion und ihre Determinanten unklar sind, ist die Echokardiographie zur Diagnosesicherung in der perioperativen Periode sinnvoll und verbessert das klinische Outcome.	D	B
Die TEE bietet im Vergleich zur TTE v. a. bei beatmeten postoperativen Patienten diagnostische Vorteile und sollte bei diesen Patienten bevorzugt eingesetzt werden.	D	B
Die TEE in der perioperativen Periode ist sinnvoll und sollte durchgeführt werden, um das klinische Outcome bei Patienten, die ein erhöhtes Risiko myokardialer Ischämien oder eines Infarktes aufweisen, zu verbessern.	D	B
Die Erfassung des Herzzeitvolumens mittels der Echokardiographie kann mit der Dopplermethode und der Flächenbestimmung durchströmter Areale im Vergleich zu Verfahren, die das Thermodilutionsprinzip nutzen, genauso zuverlässig erfolgen und sollte zur diskontinuierlichen HZV-Bestimmung alternativ eingesetzt werden.	B	B
Bei Nutzung der TTE und TEE soll die Dokumentation der Untersuchung erfolgen.	D	A

Tab. 4 Evidenzbasierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring: Transpulmonale Thermodilution und Pulskonturanalyse

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Die Pulskonturanalyse bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten (ACVB) zeigt eine gute Übereinstimmung zum Referenzverfahren der pulmonalarteriellen Thermodilution und kann zum erweiterten hämodynamischen Monitoring eingesetzt werden.	C	O
Die Messung des ITBV scheint bezüglich der Einschätzung der kardialen Vorlast der Messung des ZVD und des PAOP mittels PAK überlegen zu sein.	C	O
Unter Beachtung der methodenimmanenten Limitationen sind die Parameter der Schlagvolumenvariationen („stroke volume variation“, SVV) und der Pulsdruckvariation (PPV) dem zentralen Venendruck (ZVD) und dem pulmonalkapillären Verschlussdruck (PAOP) als Prädiktoren der Volumenreagibilität überlegen und können daher die Diagnostik sinnvoll ergänzen.	C	O

re gastrointestinale Komplikationen mit bis zu 1,2% für die TEE beschrieben wurde [9, 10].

In einer aktuellen Observationsstudie zeigten O'Brien et al. [11] eine OR von 1,47 (95% CI 1,20–1,81) für einen kombinierten Endpunkt aus Morbidität und Mortalität bei Nutzung der TEE. Es ergab sich jedoch kein signifikanter Unterschied bei der isolierten Analyse der Mortalitätsdaten. Es erfolgte keine Spezifizierung der Indikationen für die Nutzung der TEE, die aufgeführten Morbiditätsdaten umfassten Nierenversagen, verlängerte Beatmungsdauer, Herzstillstand, erhöhte postoperative Reintubationsraten, Pneumonien und gastrointestinale Blutungen.

Transpulmonale Thermodilution und kalibrierte Pulskonturanalyse

Sowohl die transpulmonale Thermodilution als auch die kalibrierte Pulskonturanalyse [12, 13, 14, 15, 16] erscheinen hinsichtlich der publizierten Daten in der kardiochirurgischen Intensivmedizin valide Alternativen zum Pulmonalarterienkatheter bei der Erfassung des Herzzeitvolumens auch in hämodynamisch instabilen Situationen zu sein, die sich durch eine deutlich geringere Invasivität auszeichnen.

Es ist darauf zu verweisen, dass unter hämodynamisch schnell wechselnden Bedingungen und nach Weaning von der

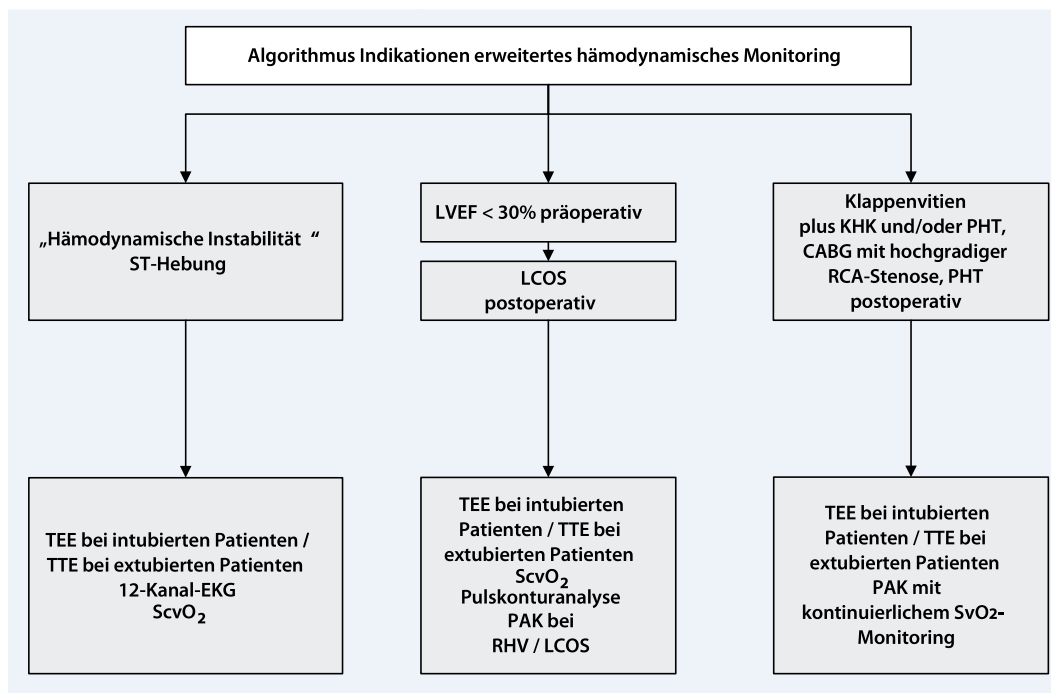


Abb. 2 ◀ Indikationen
erweitertes hämodyna-
misches Monitoring

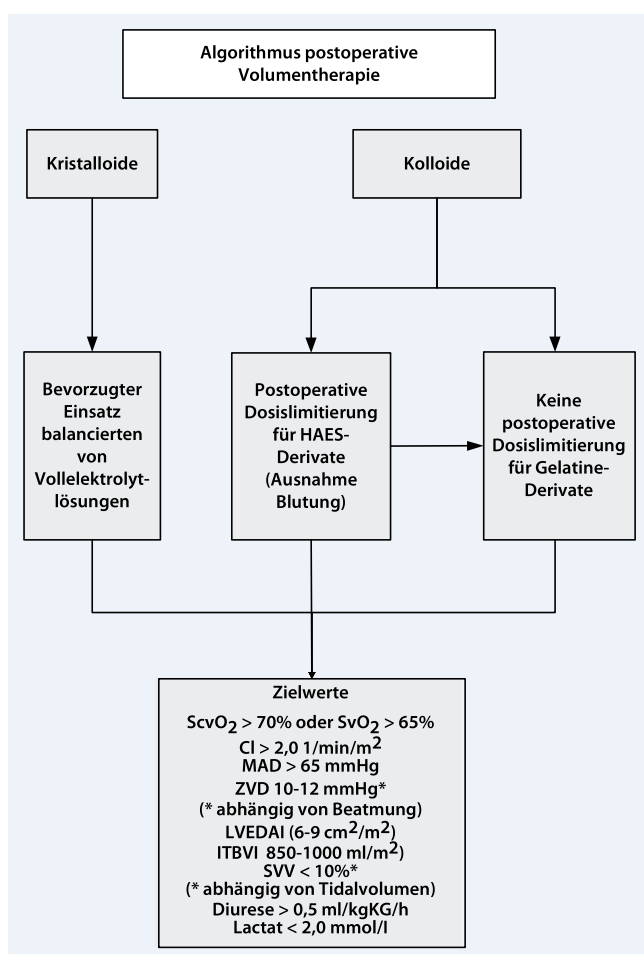


Abb. 3 ◀ Postopera-
tive Volumentherapie

Herzlungenmaschine bei intraoperativer Nutzung dieses Monitoringverfahrens eine regelmäßige Rekalibration der Pulskonturanalyse in einem 4- bis 8-stündigen Intervall empfehlenswert ist [15, 17].

Einschränkungen für die Nutzung der Pulskonturanalyse bestehen für Patienten mit einer signifikanten Aorteninsuffizienz und einer peripheren Gefäßerkrankung. Die Implantation einer intraaortalen Ballonpumpe (IABP) schließt die Nutzung dieser Technik aus. Die kontinuierliche Erfassung der SVV und PPV ist nur unter der Bedingung einer kontrollierten mechanischen Beatmung möglich. Auch ist die Einsatzfähigkeit der Pulskonturanalyse und der ableitbaren Parameter der kardialen Vorlast bei einer bestehenden kardialen Rhythmusstörung eingeschränkt (■ Tab. 4, ■ Abb. 2).

Pulmonalarterienkatheter

Basierend auf den veröffentlichten Leitlinien zur Indikationsstellung eines PAK bei kardiochirurgischen Patienten [18, 19, 20], ist die Nutzung eines PAK bei der Diagnostik und Therapie eines Hochrisikopatienten bei komplexen kardiochirurgischen Eingriffen, eines schweren Low-Cardiac-Output-Syndroms, eines pulmonalen Hypertonus und zur Differenzierung zwischen schwerer rechts- oder linksventrikulären Dysfunktion gerechtfertigt.

Der Einsatz eines PAK bei kardiochirurgischen Patienten mit einem geringen perioperativen Risiko wird hingegen als nicht notwendig erachtet [21, 22].

Als einziges Monitoringverfahren ermöglicht der PAK die Messung der gemischtvenösen Sauerstoffsättigung. Das Monitoring der gemischtvenösen O₂-Sättigung (S_vO₂) erlaubt eine globale Beurteilung des Gleichgewichts zwischen individuellem Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffangebot. Eine an der S_vO₂ orientierte Therapie hat sich als relevant hinsichtlich der Morbidität und der Krankenhausverweildauer bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten erwiesen [23]. Inwieweit ein Vorteil gegenüber der S_{cv}O₂ als Parameter einer zielorientierten Therapie, wie schon in der Sepsisbehandlung erfolgreich umgesetzt [24], besteht, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht klar formulieren (■ Tab. 5, ■ Abb. 2).

Zielparameter der Herz-Kreislauf-Therapie

Die Ziele einer Volumensubstitution und einer Therapie mit positiv-inotropen und vasoaktiven Substanzen bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten sind eine suffiziente Gewebepfusion und eine Normalisierung des oxidativen Metabolismus. Das Herzzeitvolumen und damit das O₂-Angebot sind abhängig von einem adäquaten intravasalen Volumen und einer suffizienten kardialen Pumpfunktion.

Als Ziele der postoperativen Kreislauftherapie werden nach Konsensusmeinung des Expertengremiums folgende Parameter mit einem Empfehlungsgrad O, entsprechend den Kriterien des Oxford Centre for Evidence-Based Medicine, empfohlen:

- S_{cv}O₂ > 70% oder S_vO₂ > 65%
- MAP > 65 mmHg
- Cardiac Index > 2,0 l/min/m²
- ZVD 8–12 mmHg (abhängig von der Beatmung)
- LV-EDAI 6–9 cm³/m²
- ITBVI 850–1000 ml/m²
- GEDVI 640–800 ml/m²
- PAOP 12–15 mmHg
- Diurese > 0,5 ml/kgKG/h
- Laktat < 3 mmol/l

Tab. 5 Evidenzbasierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring: Pulmonalarterienkatheter

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Der Einsatz eines PAK bei kardiochirurgischen Patienten mit einem geringen perioperativen Risiko wird als nicht notwendig erachtet.	C	B
Der PAK kann eingesetzt werden:	D	O
- Zur Differenzierung der Ursache und Steuerung der Therapie eines schweren LCOS		
- Zur Differenzierung zwischen links- oder rechtsventrikulärer Dysfunktion		
- Zur Differenzierung und Steuerung einer pulmonalen Hypertonie		
- Bei kardiochirurgischen Hochrisikopatienten mit komplexem Eingriff		

Tab. 6 Evidenzbasierte Empfehlungen: Volumentherapie

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Bei der Verwendung kristalloider Lösungen können balancierte Vollelektrolytlösungen bevorzugt werden.	D	O
Ein Vorteil für hypertone kristalloide Lösungen ist im Vergleich zu isotonen oder nährungsweise äquivalenten isotonen kristalloiden Lösungen nicht belegt.	A	O
Bei der Wahl künstlicher Kolloide können bevorzugt HAES-Derivate mit einem mittleren MW von 130 KD (6%) oder succinylierte Gelatinepräparate verwendet werden.	D	O
Zum Volumenersatz bei kardiochirurgischen Patienten können sowohl HAES als auch Humanalbumin eingesetzt werden. Ein medizinischer Vorteil des teureren Albumins gegenüber mittelmolekularen HAES-Präparaten (6%) ist zum jetzigen Zeitpunkt wissenschaftlich nicht belegt.	D	O
Der Einsatz von hochmolekularen, hochsubstituierten oder hyperonkotischen kolloidalen Volumenersatzmitteln wie HAES 200/0,5 (10% und 6%), HAES 200/0,62 (10% und 6%), Albumin 10% oder 20% ist zu vermeiden.	D	O

Mitentscheidend für den Therapieerfolg ist das Zeitfenster, in dem mit den Interventionen zur Erreichung der Zielparameter begonnen wird [23, 25].

Volumentherapie

Bei kardiochirurgischen Patienten liegt in der frühen postoperativen Phase häufig ein relativer oder absoluter Volumenmangel vor. Die Volumensubstitution bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten sollte anhand formulierter Zielparameter erfolgen. Ob kristalloide oder kolloidale Volumenersatzlösungen in der Kardiochirurgie zu bevorzugen sind, kann anhand der gegebenen Evidenz zum jetzigen Zeitpunkt nicht abschließend beurteilt werden. Balancierte künstliche Kolloide und kristalloide Lösungen sollten jedoch bevorzugt verwendet werden [26, 27].

In der nationalen kardiochirurgischen intensivmedizinischen Praxis werden aber

als erste Wahl künstliche kolloidale Lösungen, v. a. mittelmolekulare Hydroxyethylstärkederivate, bevorzugt eingesetzt. Als zweite Wahl des Volumenersatzes werden kristalloide Lösungen verwendet. Zum Plasmavolumenersatz wird Humanalbumin von 50% der kardiochirurgischen Intensivstationen nicht mehr eingesetzt [5].

Auch wenn bis zum heutigen Zeitpunkt keine großen randomisierten Studien vorliegen, die den Einfluss von kolloidalen Volumenersatzmitteln in der multifaktoriellen Genese eines postoperativen Nierenversagens bei kardiochirurgischen Patienten ausreichend untersuchten, sollte zur Minimierung von postoperativen renalen Komplikationen, mit Verweis auf die Hypothese eines hyperonkotisch bedingten Nierenversagens, der Einsatz von hochmolekularen, hochsubstituierten oder hyperonkotischen kolloidalen Volumenersatzmitteln wie HAES 200/0,5 (10% und 6%), HAES 200/0,62 (10% und 6%),

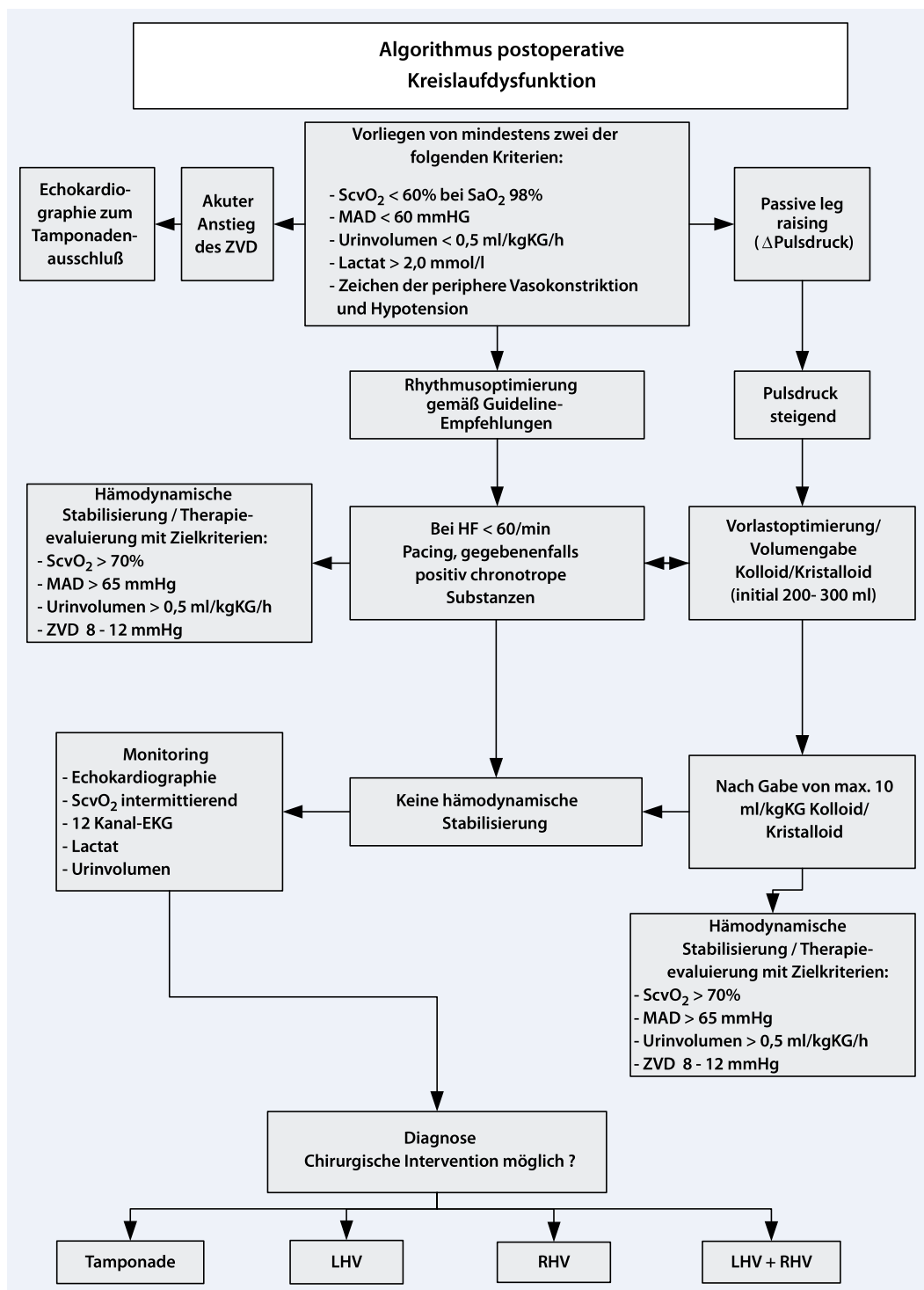


Abb. 4 ◀ Postoperative Kreislaufdysfunktion

HAES 450/0,7 (6%), Albumin 10% oder 20% vermieden werden [28]. Auch sollte die Verwendung von harnstoffvernetzten Gelatinelösungen aufgrund des hohen Kalium- und Kalziumgehalts restriktiv erfolgen [29] (■ Tab. 6, ■ Abb. 3).

Postoperative Kreislaufdysfunktion

Eine postoperative kardiale Kreislaufdysfunktion kann durch einen bereits präoperativ vorgeschädigten und funktionseingeschränkten Ventrikel bedingt sein. Ursächlich für eine solche Funktionseinschränkung können Mikrozirkulationsstörungen, eine hypertensive Herzerkrankung,

kongestive Verläufe einer KHK, hypertrophe obstruktive und nichtobstruktive Kardiomyopathien und dilatative Kardiomyopathien sein.

Folgende Surrogatparameter, adaptiert nach den Kriterien eines Low-Cardiac-Output-Syndroms von Swan et al. [30] und El-Banayosy et al. [31] weisen auf eine Kreislaufinsuffizienz hin:

— $ScvO_2 < 60\%$ bei SaO_2 98%

- Mittlerer arterieller Druck <60 mmHg
- Urinausscheidung <0,5 ml/h, länger als eine Stunde bestehend
- Plasmalaktat >2,0 mmol/l
- Periphere Vasokonstriktion mit verzögerter Rekapillarisierungszeit bzw. kühlen Extremitäten im Sinne einer Zentralisation

Generell steht die kardiale Frequenz- und Rhythmusoptimierung bei einer postoperativen Kreislaufinsuffizienz an erster Stelle. Zu den häufigsten kardialen Rhythmusstörungen nach kardiopulmonalem Bypass gehören Vorhofflimmern, Sinustachykardien und Sinusbradykardien, ventrikuläre Arrhythmien mit ektopen Erregungszentren, ventrikuläre Tachykardien und AV-Blockierungen ersten, zweiten und dritten Grades [4].

Zur differenzierten evidenzbasierten Therapie kardialer Rhythmusstörungen erfolgt der Verweis auf bestehende Leitlinien:

- ACC/AHA Guideline update for coronary artery bypass graft surgery [32]
- ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure [33]
- ACC/AHA/ESC Guidelines for the management of patients with atrial fibrillation – executive summary [34]
- Guidelines on the prevention and management of de novo atrial fibrillation after cardiac and thoracic surgery [35]
- Guideline for resuscitation in cardiac arrest after cardiac surgery [36]

Neben der Frequenz- und Rhythmusoptimierung sollte initial bei klinischen Hinweisen einer postoperativen Kreislaufdysfunktion eine orientierende Bewertung des Volumenstatus anhand des zentralen Venendrucks erfolgen, auch wenn dieser per se aufgrund seiner methodenimmanenten Limitationen im Vergleich zu Messparametern des erweiterten hämodynamischen Monitorings keine geeignete Messgröße zur Beurteilung der kardialen Vorlast und der Volumenreagibilität darstellt.

Ein Anstieg des ZVD im postoperativen Verlauf oder im Vergleich zu intraoperativen Werten, im Besonderen ein akuter Anstieg, sollte den diagnostischen Ausschluss eines hämodynamisch rele-

Tab. 7 Evidenzbasierte Empfehlungen: postoperative Kreislaufdysfunktion

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Bei klinischem Verdacht auf eine Perikardtamponade ist die chirurgische Intervention Mittel der Wahl. In Zweifelsfällen muss eine Echokardiographie zur Diagnosesicherung erfolgen.	C	A
Zur Abschätzung der akuten Volumenreagibilität soll vor Volumengabe ein Anheben der Beine durchgeführt werden.	B	A

vanten Perikardergusses oder eines lokal begrenzten tamponierenden Hämatoms mittels einer Echokardiographie (TTE/TEE) nach sich ziehen.

Bei einem Abfall des ZVD im Vergleich zum intra- respektive postoperativen Ausgangswert sollte ein intravasaler Volumenmangel durch Testung der Reagibilität auf eine Vorlasterhöhung ausgeschlossen werden. Die positive oder negative hämodynamische Reaktion einer Volumengabe zur Vorlastoptimierung kann durch eine Autotransfusion anhand eines Anhebens der Beine („passive leg raising“) orientierend abgeschätzt werden [37, 38].

Klinische Zielpunkte bei der Gabe von Volumen sind die Herzfrequenz, das Urinvolumen und der Blutdruck. Grundlegendes Prinzip muss die Optimierung der myokardialen Vorlast sein. Wird nach Gabe von maximal 10 ml/kg Körpergewicht einer kolloidalen oder kristalloiden Lösung eine hämodynamische Stabilisierung erreicht, sollte eine zeitnahe Therapieevaluierung anhand formulierter Zielparameter erfolgen.

Lässt sich durch eine vorübergehende Vorlasterhöhung durch ein Anheben der Beine oder eine Volumengabe keine hämodynamische Stabilität erzielen, ist eine orientierende transthorakale oder transösophageale echokardiographische Untersuchung indiziert. Mit Hilfe dieser semiinvasiven Untersuchungstechnik lassen sich restriktive Veränderungen des Myokards sowie segmentale Wandbewegungsstörungen bei neu aufgetretenen Ischämien, die ursächlich zu einer postoperativen Kreislaufdysfunktion beitragen können, schnell und gut diagnostizieren und dokumentieren.

Zusätzlich ist beim weiterhin instabilen Patienten ein 12-Kanal-EKG zum Ausschluss einer ischämischen Komponente, eine intermittierende Messung der $S_{cv}O_2$ zur Beurteilung des Sauerstoffangebots und -verbrauchs, eine Bestimmung der Laktatkonzentration sowie eine engma-

schige Bilanzierung indiziert (■ **Tab. 7, Abb. 4**).

Linksherzinsuffizienz

Liegt einer schweren hämodynamischen Verschlechterung, im Sinne eines Low-Cardiac-Output-Syndroms (LCOS), keine länger vorbestehende Herzinsuffizienz und eine nur mäßig eingeschränkte präoperative ventrikuläre Funktion zugrunde, ist von einer normalen myokardialen β -Adrenorezeptorenanzahl und -funktion des Myokards auszugehen. Die Therapie sollte hier primär auf eine Arbeitsentlastung des Herzens mit gleichzeitiger Steigerung der Kontraktilität mit einer Normalisierung der Vorlast und Ökonomisierung der Nachlast zielen.

Die pharmakologische positiv-inotrope Unterstützung sollte sich in dieser Situation an einem Stufenkonzept einer Katecholamingabe mittlerer Wirkstärke mit Dobutamin und höherer Wirkstärke mit Adrenalin orientieren. Eine Reduktion der Vorlast kann durch eine Gabe eines venös wirkenden Vasodilatators wie Nitroglycerin, eine kombinierte Senkung der Vor- und Nachlast mit der Gabe des venös und arteriell wirkenden Vasodilatators Natriumnitroprussid erzielt werden.

Diese therapeutischen Ansätze werden nach den evidenzbasierten ESC-Guidelines zur Therapie der akuten Herzinsuffizienz empfohlen [33] und können als klinischer Status quo in der Behandlung des Linksherzversagens in der kardiochirurgischen Intensivmedizin nach Umfrageergebnissen in Frankreich und Deutschland [5, 39] betrachtet werden.

Der Einsatz der α - und β -sympathomimetischen Katecholamine wird jedoch durch deren positiv chronotrope, peripher-vaskulär konstringierende und arrhythmogene Wirkung limitiert. Mit zu berücksichtigen ist der prinzipiell er-

Tab. 8 Evidenzbasierte Empfehlungen: Linksherzinsuffizienz

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Eine Vorlastoptimierung ist die Grundvoraussetzung für eine medikamentöse oder apparative Therapie der Linksherzinsuffizienz.	D	A
Werden nach einer Vorlastoptimierung die Zielwerte nicht erreicht, ist eine Therapie mit positiv-inotropen Mitteln indiziert. Die Auswahl der Substanz richtet sich nach der individuellen Situation des Patienten.	D	B
PDE-III-Hemmer sind bei Patienten mit bestehender β -Blockade und/oder einer inadäquaten hämodynamischen Reaktion auf eine Dobutamingabe zu bevorzugen.	C	O
Zur Vor- und Nachlastsenkung bei akuter Herzinsuffizienz wird der Einsatz von Nitraten zur Therapie empfohlen.	B	B
Ist ein Vasopressor indiziert, ist Noradrenalin als einziger zugelassener Vasopressor das Mittel der Wahl.	C	A
Den Einsatz von Low-dose-Dopamin zur Prophylaxe oder Therapie eines Nierenversagens ist obsolet.	A	A
Die protektiven Einflüsse von Dopexamin auf die hepatosplanchnikuläre Durchblutung und die Erhöhung der Kreatininclearance bei kardiochirurgischen Patienten ist nicht nachgewiesen. Die Gabe von Dopexamin wird daher nicht empfohlen.	A	B
Levosimendan soll zur Prävention hämodynamischer Komplikationen bei Patienten mit eingeschränkter LVEF und bei Patienten mit bestehendem LCOS eingesetzt werden. Die empfohlene Dosierung liegt bei 0,1 $\mu\text{g/kgKG/min}$ über 24 h. Auf eine Bolusgabe soll verzichtet werden (aktuell keine Zulassung in Deutschland, daher GoR-Downgrading).	B	O

höhte Sauerstoff- und Energieverbrauch bei Substanzen, denen ein positiv-inotroper adrenerger Wirkungsmechanismus zugrunde liegt.

Nach Beendigung der extrakorporalen Zirkulation befindet sich das Herz in einer besonders vulnerablen Situation, in der die Steigerung der kardialen Pumpfunktion nicht mit einem Anstieg des myokardialen Sauerstoffverbrauchs einhergehen sollte.

In dieser klinischen Situation kann der Einsatz von PDE-III-Hemmern vorteilhaft sein. Durch ihre rezeptorunabhängige Steigerung der myokardialen Kontraktilität, mit nur einer geringen Steigerung des O_2 -Verbrauchs aufgrund der Reduktion des systolischen Ventrikellradius und ihrer ebenfalls cAMP-vermittelten direkten Wirkung auf den vaskulären Tonus mit der daraus resultierenden vasodilatierenden Komponente, können sie singulär eingesetzt das Herzzeitvolumen und den Schlagvolumenindex bei moderaten chronotropen Effekten wirksam erhöhen.

Bei Patienten mit akuter, perioperativer Exazerbation oder durch die Operation ausgelöste Dekompensation einer schweren chronischen Herzinsuffizienz, bedingt durch eine dilatative Kardiomy-

opathie, eine ischämische Kardiomyopathie oder fortgeschrittene Klappenvitien, ist eine differierende kardiale Ausgangssituation zu erwarten.

Die schwere chronische Herzinsuffizienz mit Umwandlungen im neurohumoralen System bedingt Veränderungen der Regulationsfähigkeit des Herz-Kreislauf-Systems und damit die therapeutische Beeinflussbarkeit nachhaltig. Wesentlich sind davon die Rezeptorensysteme betroffen. Die damit verbundene konsekutive Down-Regulation von kardialen β -Rezeptoren, hat ein vermindertes Ansprechen auf endogene und exogene Katecholamine zur Folge.

Die Effektivität einer Katecholamintherapie wird auch durch eine häufig bis zum Operationstag weitergeführte β -Blockertherapie limitiert. Hier weisen Katecholamine mit sowohl α - als auch β -mimetischen Effekten ungünstige Eigenschaften auf. Bei Patienten zeigte sich hier aufgrund des in dieser Situation dominanten α -mimetischen Effekts ein erhöhter peripherovaskulärer Widerstand mit einem konsekutiv erniedrigten Herzzeitvolumen [40]; wobei darauf zu verweisen ist, dass die Rezeptoraffinität des je-

weiligen β -Blockers dabei eine entscheidende Rolle spielt [41].

Als eine Ergänzung zur Therapie mit positiv-inotropen Substanzen kann bei Bestehen eines LCOS bei Hochrisikopatienten die Substanz Levosimendan eingesetzt werden. In klinischen Studien führte Levosimendan zu einer Verbesserung des Herzzeitvolumens, zu einer Abnahme des kardialen Füllungsdrucks und des Weiteren zu einer Reduzierung der Troponinfreisetzung, des Mortalitätsrisikos und der Krankenhausaufenthaltsdauer [42, 43, 44, 45]. Im Gegensatz zu anderen positiv-inotropen Substanzen ist der primäre Wirkmechanismus von Levosimendan unabhängig von einer Interaktion mit adrenergen Rezeptoren. Levosimendan ist bisher nicht für den klinischen Einsatz in Deutschland zugelassen.

Zielorientierte Therapie

Nach Konsensusmeinung des Expertengremiums ist eine Vorlastoptimierung die Grundvoraussetzung für eine medikamentöse oder apparative Therapie der Linksherzinsuffizienz. Werden nach einer Vorlastoptimierung die angestrebten hämodynamischen Zielwerte nicht erreicht, ist nach Konsensusmeinung des Expertengremiums eine Therapie mit positiv-inotropen Mitteln indiziert. Die Auswahl der Substanz richtet sich nach der individuellen Situation des Patienten.

Je nach Grad der Linksherzinsuffizienz und deren Auswirkungen auf den globalen und regionalen Kreislauf können orientierend 4 klinische Situationen resultieren (■ Tab. 8, ■ Abb. 5):

- Der hypovoläme Patient weist eine Tachykardie und eine inadäquate Ventrikelfüllung auf. Bei Vorliegen eines linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex $<5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdrucks (PAOP) $<5 \text{ mm-Hg}$ oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex $<750 \text{ ml/m}^2$ sollte der primäre therapeutische Ansatz in einer Optimierung der kardialen Vorlast liegen.
- Bei Vorliegen eines geringeren Volumendefizits mit einem linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex $<7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, alternativ eines pulmona-

larteriellen Verschlussdrucks (PAOP) <10 mmHg oder eines intrathorakalen Blutvolumenindexes <850 ml/m² sollte eine vorsichtige Volumenzufuhr („volume challenge“) unter Beachtung der hämodynamischen Auswirkungen erfolgen. So sollte die Volumenzufuhr bei einem deutlichen Anstieg der Vorlastparameter, die ohne einen adäquaten Effekt auf das Herzzeitvolumen oder den systemischen Blutdruck bleiben, beendet werden. Hier besteht die Gefahr einer konsekutiven Kontraktilitätsabnahme bei Überschreiten der optimalen Vorlast. Zusätzlich zu einer Vorlastoptimierung sollte eine inotrope Unterstützung des linken Ventrikels erfolgen. Orientierend am mittleren arteriellen Blutdruck ist der Einsatz von Dobutamin, bei einem MAP <60 mmHg, oder eines PDE-III-Inhibitors, bei einem MAP >60 mmHg, zu empfehlen. Wichtig ist hierbei die ausreichende Volumengabe, da es bei einer Nachlastsenkung zu einem weiteren Abfall des Perfusionsdrucks kommen kann. Bei einer systemischen Hypotension kann die Kombination mit einem Vasopressor erforderlich sein. Bei unzureichender hämodynamischer Stabilisierung bei diesen Therapieansätzen oder bei Vorliegen einer gravierenden Hypotension ist der Einsatz von Adrenalin indiziert.

Der Patient mit einer ausreichenden Vorlast mit einem linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex >9 cm²/m², alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdrucks (PAOP) >15 mmHg oder eines intrathorakalen Blutvolumenindexes >1000 ml/m² sollte orientierend am mittleren arteriellen Blutdruck der Einsatz von Dobutamin oder eines PDE-III-Inhibitors erfolgen. Zur Gegenregulation einer systemischen Hypotension und zur Erhöhung der koronaren Perfusion ist die Gabe von Noradrenalin zu erwägen. Beim Vorliegen einer gravierenden Hypotension ist der initiale Einsatz von Adrenalin angezeigt. Zeigt der Patient auch nach Gabe von Dobutamin oder eines PDE-III-Hemmers keine entscheidende Verbesserung seines LCOS, ist die inotrope

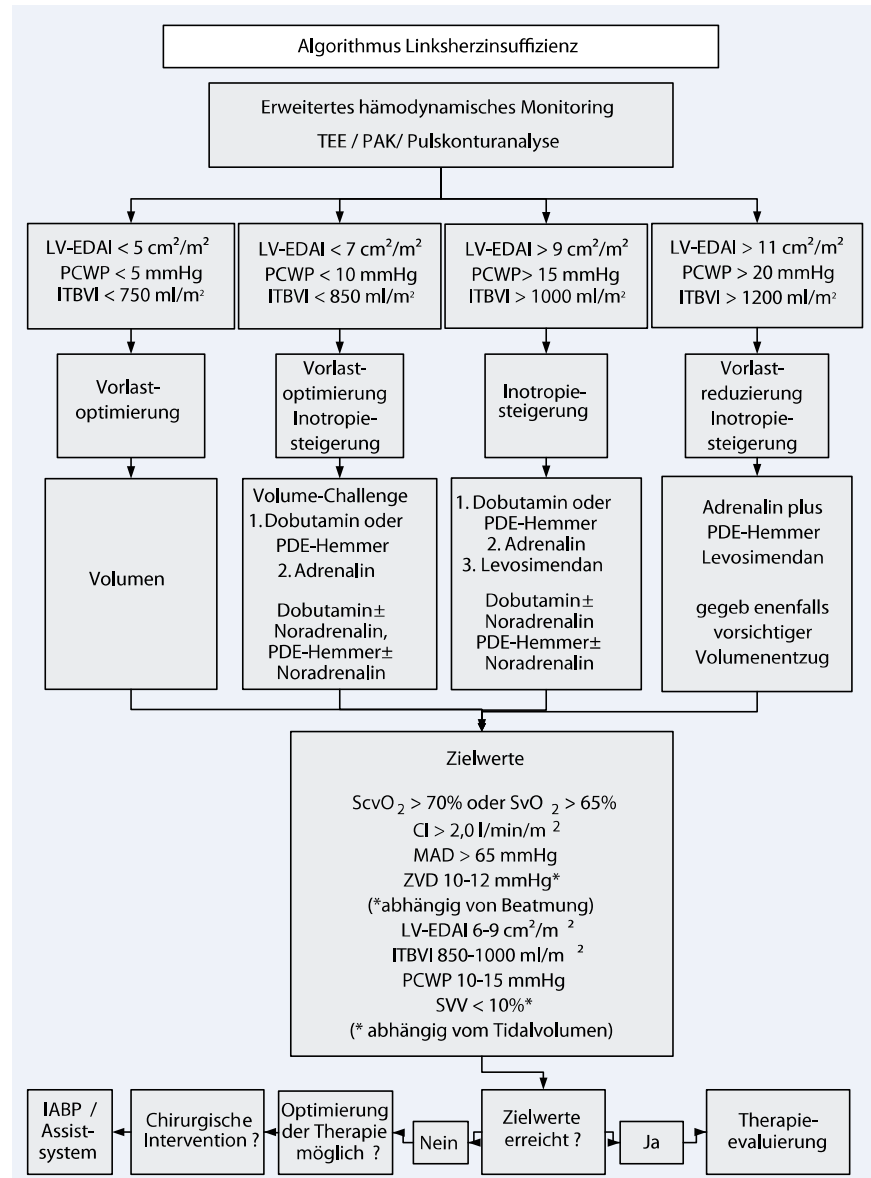


Abb. 5 ▲ Linksherzinsuffizienz

Supplementierung mit Adrenalin indiziert. Insbesondere bei vermuteter Down-Regulation der adrenergen β -Adrenorezeptoren ist die Kombination von Adrenalin mit einem PDE-III-Hemmer sinnvoll. Bei ausgeprägtem LCOS ist eine Gabe von Levosimendan zu erwägen. Nach ACVB-Operationen ist zu diesem Zeitpunkt auch eine IABP-Implantation zu erwägen.

Bei einem hypervolämischen Patient mit einer deutlich erhöhten Vorlast, mit einem linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex >11 cm²/m², alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdrucks (PAOP) >20 mm-

Hg oder eines intrathorakalen Blutvolumenindexes >1200 ml/m², sollte als primäres Ziel zusammen mit einer pharmakologischen Kreislaufunterstützung ein Volumenentzug sein. Als adjuvante Therapieformen können Verfahren der Hämofiltration/Hämodialyse eingesetzt werden. Die hämodynamische Stabilisierung sollte mit Dobutamin oder einem PDE-III-Hemmer erfolgen; auch hier kann eine zusätzliche Adrenalingabe, die Kombination von Adrenalin mit einem PDE-III-Hemmer oder Levosimendan indiziert sein.

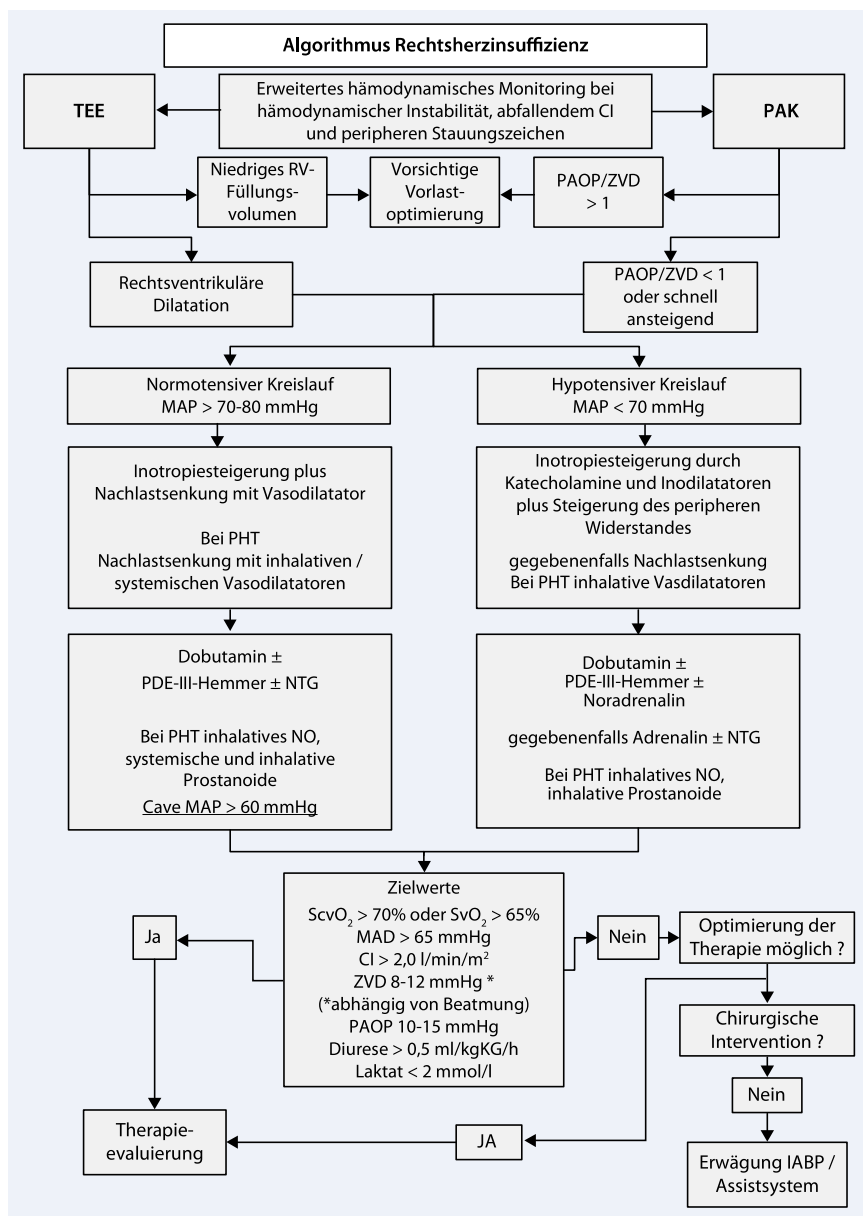


Abb. 6 ▲ Rechtsherzinsuffizienz

Nach Erreichen eines suffizienten arteriellen Mitteldrucks und einer hämodynamischen Stabilität kann die Senkung der Vor- bzw. Nachlast des Herzens in Erwägung gezogen werden. Die Modulation des peripheren Gesamtwiderstands sollte in Hinsicht einer Arbeitsentlastung des Herzens, aber auch einer Aufrechterhaltung eines ausreichenden Perfusionsdrucks mit der Gabe von Vasodilatoren wie Nitroglycerin oder Natriumnitroprusid und Vasopressoren wie Noradrenalin erfolgen.

Rechtsherzinsuffizienz

Bestehen klinische Hinweise auf ein rechtsventrikuläres Versagen, dass eine Inzidenz von 0,04–1% nach kardiochirurgischen Eingriffen aufweist [46], ist eine invasive Diagnostik indiziert. Das diagnostische Werkzeug der Wahl ist die Echokardiographie. Die Kombination aus kleinem, gut kontrahierendem linken Ventrikel und großem, akinetischen rechten Ventrikel ist pathognomonisch für die akute rechtsventrikuläre Insuffizienz.

Zur Abschätzung der rechtsventrikulären Vorlast werden üblicherweise der zentralvenöse (ZVD) bzw. rechtsatriale

(RAP), selten der rechtsventrikuläre enddiastolische Druck (RVEDP) verwendet. Werte über 10 cm H₂O gelten als Indikator einer guten, niedrigere Werte als Indikator einer schlechten Ventrikelfüllung. Viele Untersuchungen belegen jedoch, dass der ZVD das enddiastolische Volumen und damit die rechtsventrikuläre Vorlast häufig nicht korrekt widerspiegelt.

Der individuelle Volumenbedarf zur Vorlastoptimierung eines Patienten lässt sich aber letztlich nur durch eine Volumenbelastung austarieren, die unter engem hämodynamischem Monitoring erfolgen sollte.

Wenn unter Volumengabe lediglich der rechtsatriale Füllungsdruck ansteigt, ohne konsekutive Zunahme des Herzminutenvolumens, ist eine weitere Volumentherapie sicher nicht indiziert. Hinsichtlich des angestrebten zentralvenösen Drucks kann als Orientierung dienen, dass eine Volumengabe bei einem ZVD unter 10 mmHg indiziert ist und ein ZVD bis 15 mmHg sinnvoll sein kann. Eine Volumentherapie ist nicht indiziert, wenn bei hohem Füllungsdruck rechts und niedrigem Herzzeitvolumen bereits eine systemische arterielle Hypotension vorliegt [47].

Zur Quantifizierung der Nachlast des rechten Ventrikels existiert bislang kein akzeptierter und klinisch messbarer Parameter. Der pulmonalarterielle Mitteldruck (MPAP) spiegelt die rechtsventrikuläre Nachlast zwar klinisch meist ausreichend genau wider, jedoch treten bei Schwankungen des HZV, aber auch bei Änderung der Herzgröße, Probleme auf: So ist nach LaPlace die Nachlast eines dilatierten rechten Ventrikels mit dünner Wand bei gleichem PAP größer als die Nachlast eines kleinen rechten Ventrikels mit dicker Wand. Neben dem PAP wird häufig der pulmonale Gefäßwiderstand (PVR) als indirektes Maß der rechtsventrikulären Nachlast verwendet.

Die Berechnung setzt die Platzierung eines PAK voraus, da sowohl der PAP, das HZV als auch der pulmonalkapilläre Verschlussdruck (PAOP) bekannt sein müssen. Auch der PVR kann eine Zunahme der rechtsventrikulären Wandspannung infolge einer Ventrikeldilatation nicht erfassen und unterschätzt daher Änderungen der Nachlast. Hinzu kommt, dass

bei einem Abfall des HZV infolge verschlechterter Kontraktilität rechnerisch der PVR zunimmt, ohne dass sich die Wandspannung des rechten Ventrikels geändert haben muss.

Auch die Messung der rechtsventrikulären Auswurffraktion mittels „fast response“-Thermodilutionstechnik stellt jedoch kein ideales Maß für die rechtsventrikuläre Kontraktilität dar. So ist bekannt, dass ein Anstieg der Vorlast auch bei konstanter Kontraktilität die Auswurffraktion erhöht. Umgekehrt sinkt die Auswurffraktion bei Anstieg der rechtsventrikulären Nachlast. Die Auswurffraktion reflektiert daher nur unter konstanten Lastbedingungen Änderungen der rechtsventrikulären Kontraktilität [48].

Ziel der Therapie ist es, ein Low-Cardiac-Output-Syndrom zu verhindern. Primär sollte eine Reduktion des erhöhten pulmonalvaskulären Widerstands erfolgen, die myokardiale Sauerstoffzufuhr verbessert und der myokardiale Sauerstoffverbrauch gesenkt werden. Zusätzlich sind eine adäquate Vorlast sowie ein koronarer Perfusionsdruck durch einen ausreichenden Aortendruck sicherzustellen [47]. Inotropika, die selektiv den rechten Ventrikel beeinflussen, gibt es nicht. Zur Verbesserung der Kontraktilität werden daher bei Rechtsherzversagen dieselben Substanzen eingesetzt wie bei akuter Linksherzinsuffizienz. Jede positiv-inotrope Stimulation des Myokards steigert jedoch auch dessen O₂-Verbrauch. Hinzu kommt die bei Dopamin und Adrenalin in höherer Konzentration auftretende pulmonale Vasokonstriktion, so dass der positiv-inotrope Effekt dieser Substanzen durch eine dosisabhängige Vasokonstriktion in der pulmonalen Strombahn konterkariert werden kann [47]. Im Einzelfall kann sich dadurch das Verhältnis von O₂-Angebot und -Bedarf sogar verschlechtern. Trotz dieser Bedenken sind Katecholamine bei akutem RV-Versagen häufig unverzichtbar [48].

Eine sinnvolle Ergänzung bei der Therapie mit positiv-inotropen Substanzen stellen PDE-III-Hemmer dar, die sowohl eine positiv-inotrope Wirkung als auch einen relaxierenden Effekt auf die glatte Gefäßmuskulatur hervorrufen [49, 50]. Hieraus ergibt sich aber auch die potenzielle Nebenwirkung eines arteriellen Blut-

Tab. 9 Evidenzbasierte Empfehlungen: Rechtsherzinsuffizienz

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Zur Therapie einer Rechtsherzinsuffizienz ist bei adäquatem koronarem Perfusionsdruck die Therapie mit Dobutamin, PDE-III-Hemmer oder Nitroglycerin Mittel der ersten Wahl. Bei unzureichendem Perfusionsdruck ist zusätzlich die Gabe von Noradrenalin indiziert. Bei unzureichendem Erfolg soll die zusätzliche Gabe von Adrenalin erwogen werden.	D	B
Bei Bestehen einer therapierefraktären Rechtsherzinsuffizienz soll die Gabe von inhalativen Vasodilatoren (NO, Prostanoiden) im Rahmen eines Heilungsversuchs in Erwägung gezogen werden.	D	B

Tab. 10 Evidenzbasierte Empfehlungen: intraaortale Ballonpumpe (IABP)

	Evidenzgrad	Empfehlungsgrad (GoR)
Bei bestehendem LCOS, einer Ischämie oder einer unvollständigen Koronarrevaskularisation und fehlender chirurgischer Korrekturmöglichkeit sollte der frühzeitige Einsatz einer IABP erfolgen.	D	A

druckabfalls, die bei Patienten mit akuter pulmonaler Hypertonie und Rechtsherzversagen mit systemischer Hypotension rasch zum Unterschreiten eines kritischen Systemdrucks führen kann. Daher kommt der Einsatz von PDE-III-Inhibitoren in dieser Situation nur unter größter Vorsicht in Betracht, zumal der Effekt, wenn er einmal eingetreten ist, aufgrund der langen Halbwertszeit dieser Substanzgruppe, lange persistiert [47].

Im Gegensatz zu den inhalativen ist der Einsatz intravenöser Vasodilatoren in der klinischen Praxis in den Hintergrund getreten [5]. Hauptgrund für die mangelnde klinische Akzeptanz intravenöser Vasodilatoren bei der Therapie des Rechtsherzversagens sind deren potentielle Nebenwirkungen. So erweitert keiner der Vasodilatoren die Lungenstrombahn selektiv. Meist kommt es gleichzeitig zu einer Gefäßdilatation im Systemkreislauf mit konsekutivem Blutdruckabfall und damit zu einer Beeinträchtigung der Organperfusion. Intravenöse Vasodilatoren erweitern auch Gefäße in Lungenarealen, die wegen einer Minderbelüftung nicht zur Oxygenierung des Blutes beitragen und daher der hypoxisch pulmonalen Vasokonstriktion unterliegen.

Die inhalative Zufuhr von Vasodilatoren über die Atemwege steigert deren lokale Effektivität und minimiert systemische Nebenwirkungen. Sowohl Stickstoffmonoxid (NO) als auch Prostanoiden induzieren nach Inhalation eine selektive pulmonale Vasodilatation. So zeigte sich

in mehreren Studien eine signifikante Abnahme des MPAP und des PVR ohne Veränderung des SVR und des MAP bei Applikation von NO [51, 52, 53] und bei Prostanoiden [54, 55, 56] bei kardiochirurgischen Patienten.

Die inhalative NO-Gabe ist bislang mit Ausnahme von Neugeborenen mit primärer pulmonaler Hypertension nicht für den klinischen Einsatz zugelassen [57].

Zusammenfassend kann der Therapieansatz einer inhalativen Gabe von selektiven pulmonalen Vasodilatoren wie Prostanoiden oder NO bei Bestehen eines therapierefraktären Rechtsherzversagens im Rahmen eines Heilungsversuchs nach Konsensusmeinung des Expertengremiums in Erwägung gezogen werden. Die Empfehlung dieser Substanzen ohne Zulassung für die ausgewiesenen Indikationen begründet sich auf das Vorliegen von Studiendaten und der großen bestehenden klinischen Erfahrung beim Einsatz dieser Substanzen.

Die Therapieempfehlungen zur Behandlung des Rechtsherzversagens basieren auf Konsensusmeinung des Expertengremiums. Es werden analog zu den Empfehlungen 3 hämodynamische Ausgangssituationen aufgeschlüsselt (■ **Tab. 9,**

■ **Abb. 6**):

— Im Fall eines niedrigen rechtsventrikulären Füllungsvolumens im TEE oder eines Quotienten von PAOP zu ZVD >1 sollte der vorsichtige Versuch einer Volumengabe erfolgen. Bleibt dieser Ansatz erfolglos, ist die me-

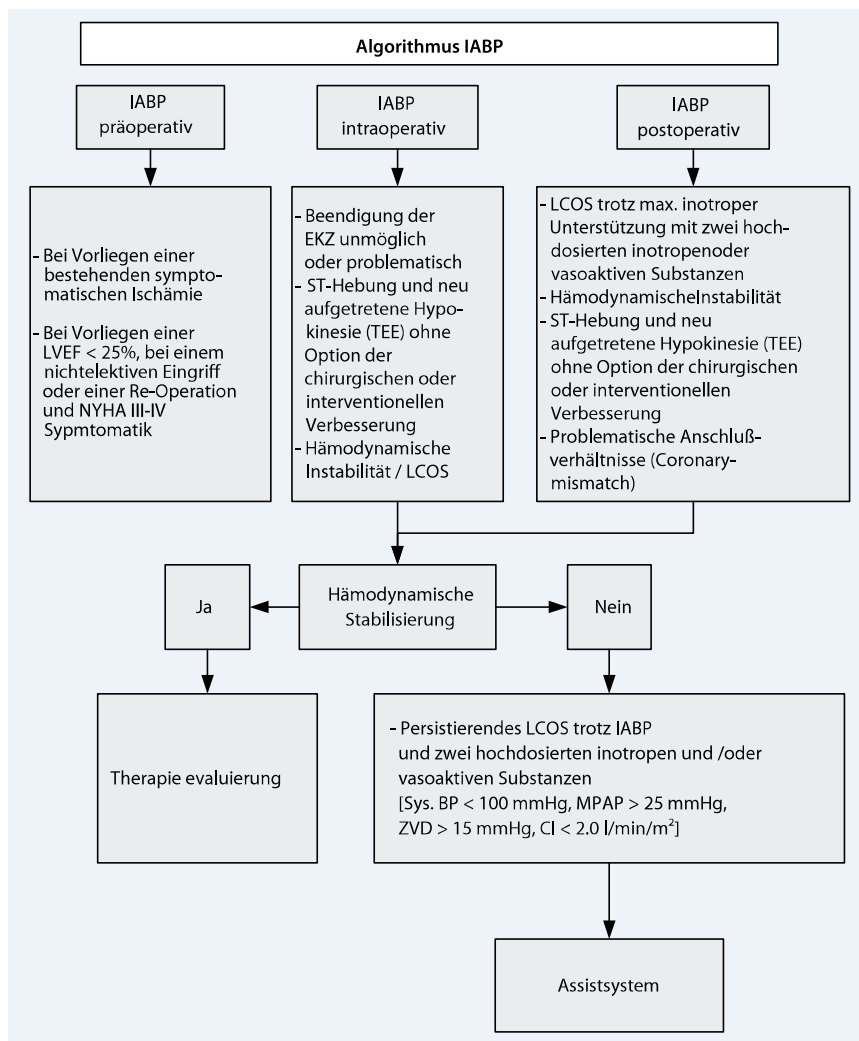


Abb. 7 ▲ IABP

dikamentöse Therapie indiziert. Bei normotensiven Patienten ist die Gabe eines Vasodilatators gerechtfertigt. Bleibt dieser Therapieansatz erfolglos, ist die Gabe von Inotropika gerechtfertigt. Bei hypotensiven Patienten ist primär die positiv-inotrope Unterstützung angezeigt.

- Im Fall einer rechtsventrikulären Volumenbelastung mit Zeichen einer rechtsventrikulären Dilatation im TEE oder eines Quotienten von PAOP zu ZVD < 1 respektive einem schnellen Anstieg dieses Quotienten sollte bei normotensiven Patienten mit einem MAP > 70 – 80 mmHg primär eine Steigerung der Inotropie mit Dobutamin und/oder einem PDE-III-Hemmer erfolgen. Supplementierend sollte eine Nachlastsenkung mit einem Vasodilatator wie Nitroglycerin in Erwägung gezogen werden. Ist die

Kombination Dobutamin mit NTG und/oder PDE-III-Hemmer nicht erfolgreich, sollte auf Adrenalin, ggf. mit Nitroglycerin und/oder PDE-III-Hemmer, umgestellt werden. Bei Bestehen eines pulmonalen Hypertonus und/oder eines therapierefraktären Rechtsherzversagens kann die inhalative Gabe eines Prostanoids oder von NO zusätzlich zu einer positiv-inotropen Therapie in Erwägung gezogen werden. Behandlungsziel sollte nicht ein möglichst niedriger PAP oder PVR sein, sondern eine optimale Verminderung des Quotienten aus PVR und SVR, mit maximaler Unterstützung des rechten Ventrikels ohne signifikanten Abfall von O_2 -Zufuhr und Blutdruck (MAP > 60 mmHg).

- Hypotensive Patienten mit einem MAP < 70 mmHg mit hoher rechtsventrikulärer Vorlast befinden sich im

dekompensierten Rechtsherzversagen. Hier ist eine maximale inotrope Stimulation angezeigt. Initial kann die Therapie mit Dobutamin und einem PDE-III-Hemmer in Kombination mit Noradrenalin erfolgen. Bei einer insuffizienten hämodynamischen Stabilisierung ist Adrenalin Mittel der Wahl, abhängig vom peripheren Widerstand mit oder ohne zusätzliche Gabe von Nitroglycerin. Bei Bestehen eines pulmonalen Hypertonus können inhalative Prostanoids oder NO zum Einsatz kommen.

Intraaortale Ballonpumpe

Die intraaortale Gegenpulsation ist heute in der Herzchirurgie ein Routineverfahren der Kreislaufunterstützung bei Versagen der linksventrikulären Funktion, dessen Einsatz bei einem postoperativen Low-Cardiac-Output-Syndrom bzw. bei einem intra- oder postoperativen Myokardinfarkt nach aortokoronaren Bypassoperationen sowie nach Klappeneingriffen der klassische Indikationsbereich in der Herzchirurgie ist. Die intraaortale Ballonpumpe (IABP) wird in der Mehrzahl der Fälle noch intraoperativ implantiert, um das Weaning von der HLM zu erleichtern oder postoperativ auf der Intensivstation bei Verschlechterung der Hämodynamik bzw. zur kardialen Unterstützung nach nicht optimaler Revaskularisation [58].

Die klassischen Indikationen der IABP-Implantation umfassen ein persistierendes oder sich verschlechterndes Low-Cardiac-Output-Syndrom unter Therapie mit hochdosierten inotropen oder vasoaktiven Substanzen, eine ST-Hebung und neu aufgetretene Hypokinesie (TEE) ohne Option der chirurgischen oder interventionellen Verbesserung und/oder problematische Anschlussverhältnisse und eine unvollständige Koronarrevaskularisation (■ Tab. 10, ■ Abb. 7).

Es wird aber darauf verwiesen, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine evidenzbasierten Indikationskriterien für den Einsatz einer IABP ausgewiesen werden können [59, 60]. Entscheidend für den Einsatz einer IABP nach kardiochirurgischen Eingriffen ist eine ausbleibende hämodynamische Stabilisierung trotz steigender Dosierung positiv-inotroper Substanzen respektive eine inad-

äquate Reaktion auf eine Katecholamintherapie. Es bestehen nur unzureichende Kriterien in der Literatur, welche die Indikationen und den Zeitpunkt einer IABP-Implantation in der postoperativen Kardiochirurgie definieren. Dabei ist gerade der rechtzeitige Einsatz einer solchen Kreislaufunterstützung entscheidend, um ein Multiorganversagen mit seinen konsekutiven Konsequenzen zu vermeiden.

So zeigte eine systematische evidenzbasierte Übersichtsarbeit [61], dass der Einsatz einer IABP das Langzeitüberleben von kardiochirurgischen Patienten verbessert.

Gültigkeit und Aktualisierung der Leitlinie

Die vorliegende Leitlinie stellt die wissenschaftlichen Empfehlungen zu den genannten Themenschwerpunkten dar. Von März bis April 2010 wurde die vorliegende Leitlinie durch die Präsidien der beteiligten Fachgesellschaften verabschiedet. Die Gültigkeit ist bis Dezember 2014 begrenzt. DGTHG und DGAI werden gemeinsam für die Weiterentwicklung und Überarbeitung der Leitlinien in spätestens 3 Jahren ein Projektteam und eine Projektleitung benennen. Im Fall neuer relevanter wissenschaftlicher Erkenntnisse, die eine Überarbeitung der Empfehlungen erforderlich machen, erfolgt eine unmittelbare Mitteilung.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. C. Spies

Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin,
Charité Universitätsmedizin Berlin, Charité Mitte
und Campus Virchow Klinikum, Berlin
Charitéplatz 1, 10117 Berlin
Claudia.spies@charite.de

Interessenkonflikt. Die Unabhängigkeitserklärung aller Teilnehmer der Arbeitsgemeinschaft kann auf Wunsch bei den beteiligten Fachgesellschaften eingesehen werden.

Fünf Autoren haben Vortragshonorare und/oder finanzielle Studienunterstützung erhalten respektive sind als Medical Advisor tätig gewesen. Diese Autoren haben potenzielle Interessenkonflikte gegenüber folgenden Firmen angegeben: Abbott GmbH & Co KG, Aspect Medical Systems GmbH, Arrow Deutschland GmbH, Covidien GmbH, B. Braun Melsungen AG, Deltex Medical Limited, Dräger AG & Co. KGaA, Fresenius SE, GlaxoSmithKline GmbH & Co KG, Pulsion Medical Systems AG.

Diese Leitlinie wurde von der DGTHG und der DGAI unabhängig von Interessensgruppen finanziert.

Literatur

- Carl M, Alms A, Braun J et al (2007) German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery; German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine. [Guidelines for intensive care in cardiac surgery patients: haemodynamic monitoring and cardio-circulatory treatment guidelines of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery and the German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine]. *Thorac Cardiovasc Surg* 55(2):130–148. DOI: 10.1055/s-2007-964939
- Europarat (2002) Entwicklung einer Methodik für die Ausarbeitung von Leitlinien für die optimale medizinische Praxis. *Z Arztl Fortbild Qualitatssich* 96:1–60
- Janssens U (2001) Monitoring des herzkranken Intensivpatienten. *Intensivmedizin und Notfallmedizin* 38(4):232–250. DOI: 10.1007/s003900170071
- Pezzella AT, Ferraris VA, Lancey RA (2004) Care of the adult cardiac surgery patient: part I. *Curr Probl Surg* 41(5):458–516. DOI: 10.1016/j.cpsurg.2004.03.001
- Kastrup M, Markewitz A, Schirmer U et al (2007) Current practice of hemodynamic monitoring, vasopressor and inotropic therapy on cardiosurgical intensive care units in Germany: Results from a postal survey. *Acta Anaesthesiol Scand* 51(3):347–358. DOI: 10.1111/j.1399-6576.2006.01190.x
- Click RL, Abel MD, Schaff HV (2000) Intraoperative transesophageal echocardiography: 5-year prospective review of impact on surgical management. *Mayo Clin Proc* 75(3):241–247
- Couture P, Denault AY, McKenty S et al (2000) Impact of routine use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery. *Can J Anaesth* 47(1):20–26
- Michel-Cherqui M, Ceddaha A, Liu N et al (2000) Assessment of systematic use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery in adults: a prospective study of 203 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 14(1):45–50. DOI: 10.1016/S1053-0770(00)90055-7
- Lennon MJ, Neville MG, Weightman WM et al (2005) Transesophageal Echocardiography–Related Gastrointestinal Complications in Cardiac Surgical Patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 19(2):141–145. DOI: 10.1053/jjvca.2005.01.020
- Piercy M, McNicol L, Dinh DT et al (2009) Major complications related to the use of transesophageal echocardiography in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 23(1):62–65. DOI: 10.1053/jjvca.2008.09.014
- O'Brien MM, Shroyer AL, Moritz TE et al (2004) Relationship between processes of care and coronary bypass operative mortality and morbidity. *Med Care* 42(1):59–70
- Felbinger TW, Reuter DA, Eltzschig HK et al (2002) Comparison of pulmonary arterial thermodilution and arterial pulse contour analysis: evaluation of a new algorithm. *J Clin Anesth* 14(4):296–301. DOI: 10.1016/S0952-8180(02)00363-X
- Rodig G, Prasser C, Keyl C et al (1999) Continuous cardiac output measurement: pulse contour analysis vs thermodilution technique in cardiac surgical patients. *Br J Anaesth* 82(4):525–530
- Zollner C, Haller M, Weis M et al (2000) Beat-to-beat measurement of cardiac output by intravascular pulse contour analysis: a prospective criterion standard study in patients after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 14(2):125–129. DOI: 10.1016/S1053-0770(00)90003-X
- Godje O, Hoke K, Goetz AE et al (2002) Reliability of a new algorithm for continuous cardiac output determination by pulse-contour analysis during hemodynamic instability. *Crit Care Med* 30(1):52–58
- Rauch H, Muller M, Fleischer F et al (2002) Pulse contour analysis versus thermodilution in cardiac surgery patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 46(4):424–429. DOI: 10.1034/j.1399-6576.2002.460416.x
- Sander M, Heymann C von, Foer A et al (2005) Pulse contour analysis after normothermic cardiopulmonary bypass in cardiac surgery patients. *Crit Care* 9(6):R729–R734. DOI: 10.1186/cc3903
- Practice guidelines for pulmonary artery catheterization (2003) an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Pulmonary Artery Catheterization. *Anesthesiology* 99(4):988–1014
- Mueller HS, Chatterjee K, Davis KB et al (1998) ACC expert consensus document. Present use of bedside right heart catheterization in patients with cardiac disease. American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol* 32(3):840–864. DOI: 10.1016/S0735-1097(98)00327-1
- Pulmonary Artery Catheter Consensus conference (1997) consensus statement. *Crit Care Med* 25(6):910–925
- Harvey S, Harrison DA, Singer M et al (2005) Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet* 366(9484):472–477. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)67061-4
- Resano FG, Kapetanakis EI, Hill PC et al (2006) Clinical outcomes of low-risk patients undergoing beating-heart surgery with or without pulmonary artery catheterization. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 20(3):300–306. DOI: 10.1053/jjvca.2006.01.017
- Polonen P, Ruokonen E, Hippelainen M et al (2000) A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth Analg* 90(5):1052–1059
- Rivers E, Nguyen B, Havstad S et al (2001) Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med* 345(19):1368–1377
- Pearse RM, Rhodes A, Grounds RM (2004) Clinical review: how to optimize management of high-risk surgical patients. *Crit Care* 8(6):503–507. DOI: 10.1186/cc2922
- Boldt J, Schöhlhorn T, Münchbach J et al (2007) A total balanced volume replacement strategy using a new balanced hydroxyethyl starch preparation (6% HES 130/0.42) in patients undergoing major abdominal surgery. *Eur J Anaesthesiol* 24(3):267–275
- Boldt J, Suttner S, Brosch C et al (2009) The influence of a balanced volume replacement concept on inflammation, endothelial activation and kidney integrity in elderly cardiac surgery patients. *Intensive Care Med* 35(3):462–470. DOI: 10.1007/s00134-008-1287-1
- Rioux J-P, Lessard M, De Bortoli B et al (2009) Pentastarch 10% (250 kDa/0.45) is an independent risk factor of acute kidney injury following cardiac surgery. *Crit Care Med* 37(4):1293–1298. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31819cc1a0
- Ragaller MJ, Theilen H, Koch T (2001) Volume replacement in critically ill patients with acute renal failure. *J Am Soc Nephrol* 12(Suppl 17):33–39
- Swan HJ, Ganz W, Forrester J et al (1970) Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med* 283(9):447–451

31. el-Banayosy A, Doring B, Korner MM et al (1994) New avenues in therapy of postoperative low output syndrome. *Z Kardiol* 83(Suppl 2):69–74
32. Eagle KA, Guyton RA, Davidoff R et al (2004) ACC/AHA 2004 guideline update for coronary artery bypass graft surgery: summary article: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update The 1999 Guidelines for Coronary Artery Bypass Graft Surgery). *Circulation* 110(14):1168–1176
33. Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G et al (2008) ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2008: the Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2008 of the European Society of Cardiology. Developed in collaboration with the Heart Failure Association of the ESC (HFA) and endorsed by the European Society of Intensive Care Medicine (ESICM). *Eur Heart J* 29(19):2388–2442. DOI: 10.1093/eurheartj/ehn309
34. Fuster V, Rydén LE, Cannom DS et al (2006) ACC/AHA/ESC 2006 guidelines for the management of patients with atrial fibrillation-executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines and the European Society of Cardiology Committee for Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2001 Guidelines for the Management of Patients with Atrial Fibrillation). *Eur Heart J* 27(16):1979–2030. DOI: 10.1093/eurheartj/ehl176
35. Dunning J, Treasure T, Versteegh M et al (2006) Guidelines on the prevention and management of de novo atrial fibrillation after cardiac and thoracic surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 30(6):852–872. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.09.003
36. Dunning J, Fabbri A, Kolh PH et al (2009) Guideline for resuscitation in cardiac arrest after cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 36(1):3–28. DOI: 10.1016/j.ejcts.2009.01.033
37. Boulain T, Achard JM, Teboul JL et al (2002) Changes in BP induced by passive leg raising predict response to fluid loading in critically ill patients. *Chest* 121(4):1245–1252. DOI: 10.1378/chest.121.4.1245
38. Lafanechère A, Pène F, Goulenok C et al (2006) Changes in aortic blood flow induced by passive leg raising predict fluid responsiveness in critically ill patients. *Crit Care* 10:R132. DOI: 10.1186/cc5044
39. Bastien O, Vallet B (2005) French multicentre survey on the use of inotropes after cardiac surgery. *Crit Care* 9(3):241–242. DOI: 10.1186/cc3482
40. Vroom MB (1998) Pharmacologic management of acute heart failure: A review. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* 2(3):191–203. DOI: 10.1177/108925329800200303
41. Metra M, Nodari S, D'Aloia A et al (2002) Beta-blocker therapy influences the hemodynamic response to inotropic agents in patients with heart failure: a randomized comparison of dobutamine and enoximone before and after chronic treatment with metoprolol or carvedilol. *J Am Coll Cardiol* 40(7):1248–1258. DOI:10.1016/S0735-1097(02)02134-4
42. Tasouli A, Papadopoulos K, Antoniou T et al (2007) Efficacy and safety of perioperative infusion of levosimendan in patients with compromised cardiac function undergoing open-heart surgery: importance of early use. *Eur J Cardiothorac Surg* 32(3):629–633. DOI:10.1016/j.ejcts.2007.07.010
43. Levin RL, Degrange MA, Porcile R et al (2008) The calcium sensitizer levosimendan gives superior results to dobutamine in postoperative low cardiac output syndrome. *Rev Esp Cardiol* 61(5):471–479
44. De Hert SG, Lorisomradee S, vanden Eede H et al (2008) A randomized trial evaluating different modalities of levosimendan administration in cardiac surgery patients with myocardial dysfunction. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 22:699–705. DOI: 10.1053/j.jvca.2008.02.019
45. Landoni G, Mizzi A, Biondi-Zoccai G et al (2010) Reducing mortality in cardiac surgery with levosimendan: A Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *JCA* 24(1):51–57. DOI: 10.1053/j.jvca.2009.05.031
46. Kaul TK, Fields BL (2000) Postoperative acute refractory right ventricular failure: incidence, pathogenesis, management and prognosis. *Cardiovasc Surg* 8(1):1–9. DOI: 10.1016/S0967-2109(99)00089-7
47. Wagner F, Buz S (2002) Die Behandlung der akuten pulmonalen Hypertonie. *Z Herz-Thorax-Geßchirurgie* 16(3):118–130. DOI: 10.1007/s00398-002-0348-y
48. Zwissler B (2000) Acute right heart failure. Etiology–pathophysiology–diagnosis–therapy. *Anaesthesist* 49(9):788–808. DOI: 10.1007/s001010070052
49. Jenkins IR, Dolman J, O'Connor JP, Ansley DM (1997) Amrinone versus dobutamine in cardiac surgical patients with severe pulmonary hypertension after cardiopulmonary bypass: a prospective, randomized double-blinded trial. *Anaesth Intensive Care* 25(3):245–249
50. Hachenberg T, Mollhoff T, Holst D et al (1997) Cardiopulmonary effects of enoximone or dobutamine and nitroglycerin on mitral valve regurgitation and pulmonary venous hypertension. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 11(4):453–457
51. Lindberg L, Larsson A, Steen S et al (1994) Nitric oxide gives maximal response after coronary artery bypass surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 8(2):182–187
52. Fullerton DA, Jones SD, Jaggars J et al (1996) Effective control of pulmonary vascular resistance with inhaled nitric oxide after cardiac operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 111(4):753–762. DOI: 10.1016/S0022-5223(96)70335-5
53. Bender KA, Alexander JA, Enos JM, Skimming JW (1997) Effects of inhaled nitric oxide in patients with hypoxemia and pulmonary hypertension after cardiac surgery. *Am J Crit Care* 6(2):127–131
54. Theodoraki K, Rellia P, Thanopoulos A et al (2002) Inhaled iloprost controls pulmonary hypertension after cardiopulmonary bypass. *Can J Anaesth* 49(9):963–967
55. Langer F, Wilhelm W, Tscholl D et al (2003) Intraoperative inhalation of the long- prostacyclin analog iloprost for pulmonary hypertension. *J Thorac Cardiovasc Surg* 126(3):874–875. DOI: 10.1016/S0022-5223(03)00704-9
56. De Wet CJ, Affleck DG, Jacobsohn E et al (2004) Inhaled prostacyclin is safe, effective and affordable in patients with pulmonary hypertension, right heart dysfunction and refractory hypoxemia after cardiothoracic surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 127(4):1058–1067. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2003.11.035
57. Germann P, Braschi A, Della Rocca G et al (2005) Inhaled nitric oxide therapy in adults: European expert recommendations. *Intensive Care Med* 31(8):1029–1041. DOI: 10.1007/s00134-005-2675-4
58. Möhnle P, Kilger E (2002) Circulatory support by intra-aortic balloon counterpulsation. *Anaesthesist* 51(8):687–701. DOI: 10.1007/s00101-002-0374-x
59. Samuels LE, Holmes EC, Thomas MP et al (2001) Management of acute cardiac failure with mechanical assist: experience with the ABIOMED BVS 5000. *Ann Thorac Surg* 71(Suppl 3):S67–S72
60. Hausmann H, Potapov EV, Koster A et al (2002) Prognosis after the implantation of an intra-aortic balloon pump in cardiac surgery calculated with a new score. *Circulation* 106(12 Suppl 1):I203–I206. DOI: 10.1161/01.cir.0000032909.33237.f8
61. Baskett RJ, Ghali WA, Maitland A, Hirsch GM (2002) The intraaortic balloon pump in cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 74(4):1276–1287