

S3 guidelines for intensive care in cardiac surgery patients: hemodynamic monitoring and cardiocirculatory system

Abstract

Hemodynamic monitoring and adequate volume-therapy, as well as the treatment with positive inotropic drugs and vasopressors are the basic principles of the postoperative intensive care treatment of patient after cardiothoracic surgery. The goal of these S3 guidelines is to evaluate the recommendations in regard 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 goal criteria to evaluate the effect of treatment.

Up to now there are only guidelines for subareas of postoperative treatment of cardiothoracic surgical patients, like the use of a pulmonary artery catheter or the transesophageal echocardiography.

The German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery (Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, DGTHG) and the German Society for Anaesthesiology and Intensive Care Medicine (Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, DGAI) made an approach to ensure and improve the quality of the postoperative intensive care medicine after cardiothoracic surgery by the development of S3 consensus-based treatment guidelines.

Goal of this guideline is to assess the available monitoring methods with regard to indication, 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.

The guideline has 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 Association of the Scientific Medical Societies in Germany (AWMF).

Keywords: intensive care medicine, cardiothoracic surgery, monitoring, volume therapy, positive inotropic and vasoactive drugs

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 Department of Anesthesiology and Intensive Care, Charité University Medicine Berlin, Charité Campus Mitte and Campus Virchow Klinikum, Berlin, Germany

2 Department of Anaesthesia and Intensive Care Medicine, University of Rostock, Germany

3 Department of Anesthesiology, Heart and Diabetic Center NRW, Ruhr University of Bochum, Bad Oeynhausen, Germany

4 Department of Anaesthesiology, University Hospital Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

- 5 Department of Anaesthesiology and Intensive Care, University of Muenster, Germany
- 6 Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, University Hospital Carl Gustav Carus, Dresden, Germany
- 7 Department of Anesthesiology, University of Luebeck, Germany
- 8 Department of Cardiothoracic Surgery, University of Cologne, Germany
- 9 Department of Anesthesiology, VU University Hospital Center, Amsterdam, The Netherlands
- 10 Department of Thoracic and Cardiovascular Surgery, West German Heart Center, Essen, Germany
- 11 Department of Cardiovascular Surgery, German Armed Forces Central Hospital, Koblenz, Germany
- 12 Department of Cardiac Surgery, Heart Center, University of Leipzig, Germany
- 13 Department of Anaesthesia, University Hospital of Regensburg, Germany
- 14 Clinic of Anesthesiology, Ludwig Maximilian University, Munich, Germany

Introduction

Hemodynamic monitoring, adequate volume therapy and the use of positive inotropes and vasopressors are the basis of post-operative intensive care after cardiothoracic surgery.

Accordingly, the backbone of the treatment algorithm is appropriate measurement and recording of hemodynamic data. Evaluation of the measured values must occur in the context of the patient's broader clinical picture before advanced therapeutic concepts are implemented.

The degree of diversity in available monitoring methods, positive inotropes and vasoactive substances highlights the necessity for guidelines in cardiac surgery intensive care medicine. It is not essential that all parts of the guidelines are completely implemented but rather that a local concept relevant to the local circumstances and practicalities is defined and used.

The goal of these guidelines is an appraisal of the available monitoring methods in terms of the indications, procedures, provided information, limitations, contra-indications and risks. Additionally differential therapy with various fluids versus positive inotropes and vasoactive

substances, as well as differentiated catecholamine therapy including PDE III inhibitors and calcium sensitizers, and the criteria for the use of the intra-aortic counterpulsation were addressed. These guidelines are a recently updated version of previously published guidelines in German language [1].

Methods

Creation process

The methodological approach for the development of the guidelines complies with the requirements of evidence-based medicine, which were defined by the Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften – AWMF (Consortium of Academic Medical Business Societies) and the Ärztliches Zentrum für Qualität – ÄZQ (Medical Centre for Quality).

The guidelines were the result of a systematic literature search and the critical appraisal of the evidence by scientific methods as well as expert discussion, the core group of whom were the authors of these guidelines.

The following steps were performed:

- Definition of the search criteria for the main topics, and definition of relevant databases.
- Systematic review of the scientific literature, as well as previously published guidelines, recommendations and expert opinions.
- Evaluation of these publications using the evidence criteria.
- Discussion of the drafts and core statements as well as integration of internal evidence (unpublished studies, experience of experts).

The presented key messages of the guidelines were approved after two consensus meetings and one Delphi round under the moderation of the Association of the Scientific Medical Societies in Germany (AWMF). In reaching consensus particular emphasis was placed on the level of evidence, ethical aspects, patient preferences, clinical relevance, risk/benefit ratios and degree of applicability.

Literature search

An automated search program was used to search the Cochrane Library (Cochrane Reviews), PubMed/Medline and Embase databases. A total of 9064 articles were identified using predefined search words and the search was confined to the period from 1990 to July 2005.

After inspection of the publication titles and abstracts, and exclusion of all non English or non German publications, 655 articles were selected for further analysis.

Articles that did not have the desired themes, older work or duplicated data from the same author, articles whose main focus were pharmacological models and animal experiments were all excluded. After including literature

known to the experts, 363 publications were used for the development of the guidelines.

For updating the guidelines a new literature search was performed including the period from August 2005 to October 2009. A total of 3494 articles were identified using the same search strategy as before. After inspection of the publication titles and abstracts 254 articles were selected for further analysis.

Publications were evaluated using the evidence criteria described by the Oxford Centre for Evidence Based Medicine (Levels of Evidence 2009, <http://www.cebm.net/index.aspx?o=1025,12/2009>).

Comment on the guidelines recommendations

Recommendations for which there was not sufficient adequate external evidence available, but which were considered nonetheless indispensable to clinical practice according to experience, could, following consensus agreement, receive the highest grade of recommendation. Recommendations for which a high grade of evidence existed, could, after consensus was reached, by reason of their marginal clinical relevance, be given a lower grade of recommendation. The recommendation levels are derived from the requirements of the Council of Europe 2001 [2].

- Grade of recommendation (GoR) – description:
 - A – Strong recommendation “should”
 - B – Recommendation “might”
 - O – Open recommendation “can”

Basic monitoring

The critically ill patient in the intensive care unit requires adequate hemodynamic monitoring [3], [4]. Basic monitoring for a post-operative cardiac surgical intensive care patient should include ECG, pulse oximetry, invasive blood pressure measurement, central venous pressure, fluid balance (wound drainage, fluids in and out), temperature measurement and arterial and central venous blood gas analysis with a sampling frequency determined by clinical protocol.

Almost 100% of the departments who responded in a previous national census confirmed that they routinely used basic monitoring that consisted of ECG, measurement of central venous pressure (CVP), arterial saturation, fluid balance, temperature measurement and invasive blood pressure measurement [5]. These monitoring techniques can therefore be considered as standard basic monitoring for cardiac surgical patients in Germany (Attachment 1: Table 1, Scheme 1).

Advanced hemodynamic monitoring

Echocardiography

Multiple studies have underlined the effectiveness of transesophageal echocardiography (TEE) for coronary as well as valvular surgery. TEE gives additional information (between 13 and 45% more) compared to other advanced monitoring methods. This additional information influences therapy in 10–52% of cases, particularly in guiding volume and catecholamine therapies, but also influenced surgical decision making [6], [7], [8]. The effect on outcome of these changes was not addressed in these studies. Compared to time needed for the primary installation of other advanced hemodynamic monitoring methods, TEE has the advantage of a relatively short period of time required to perform it. The disadvantage of TEE is not providing continuous hemodynamic monitoring, the need for expensive equipment and the dependency on operator training and availability (Attachment 1: Table 2, Scheme 2). The data regarding the safety of this device are controversial. While earlier studies report perforation risk below 0.1%, recent publications show that TEE has a complication rate for severe gastrointestinal complications up to 1.2% [9], [10]. In a recently published observational study O'Brien et al. showed an OR of 1.47 (95% CI 1.20–1.81) for a combined end point of morbidity and mortality using TEE, but no significant difference when analyzing isolated mortality rates. While failing on specifying the indications for using TEE, associated morbidities described were renal failure, prolonged ventilator support, cardiac arrest, postoperative reintubation rate, pneumonia and GI bleeding [11].

Transpulmonary thermodilution and calibrated pulse contour analysis

Transpulmonary thermodilution and calibrated pulse contour analysis [12], [13], [14], [15], [16] provide a valid alternative to the pulmonary artery catheter (PAC) for the measurement of cardiac output even in hemodynamically unstable situations.

Regular (four to eight hourly) recalibration of the catheter is recommended and under some conditions, such as rapidly changing hemodynamics or after weaning from the heart-lung machine, more frequent recalibration is required [15], [17].

Pulse contour analysis is inaccurate in patients with significant aortic insufficiency and those with peripheral vascular disease. The use of an intra-aortic counterpulsation also excludes the use of this technique at present. The continuous measurement of stroke volume variation (SVV) and pulse pressure variation (PPV) is only possible under full mechanical ventilation. Application of the pulse contour analysis and the derived cardiac preload parameters are limited when cardiac arrhythmias are present (Attachment 1: Table 3, Scheme 2).

Pulmonary artery catheter

Based on the published guidelines for pulmonary artery catheterization [18], [19], [20] the use of a PAC for diagnosis and therapy is justified in high risk patients for complex cardiac surgery interventions, in severe low cardiac output syndrome, pulmonary hypertension and for the differentiation between severe right or left ventricular dysfunction. The use of a PAC in cardiac surgery patients with a low perioperative risk is, however, not considered necessary [21], [22].

The PAC is unique in that it can be used to measure mixed venous oxygen saturation. The monitoring of mixed venous oxygen saturation (SvO₂) allows assessment of the global balance between oxygen supply and consumption. A SvO₂ orientated therapy has been shown to be relevant in regard to morbidity and hospital length of stay in post-operative cardiac surgery patients [23]. To what extent using SvO₂ to guide therapy following cardiac surgery is superior to using ScvO₂ remains unclear at the present time. It is known that ScvO₂ can be successfully used to guide sepsis therapy [24], (Attachment 1: Table 4, Scheme 2).

Goals for cardiocirculatory therapy

The goal of fluid as well as positive inotropic and vasoactive drug management in post-operative cardiac surgery patients is sufficient tissue perfusion and a normalisation of oxidative metabolism. Cardiac output and O₂-supply are dependent on adequate intravascular volume and cardiac function.

The consensus of the expert board was that the following parameters are recommended as goals for postoperative cardiovascular therapies. The grade for these recommendations (based on the Oxford Centre for Evidence-Based Medicine) is 0:

- ScvO₂ >70% or SvO₂ >65%
- MAP (mean arterial pressure) >65 mmHg
- Cardiac Index >2.0 l/min/m²
- CVP 8–12 mmHg (dependent on ventilation mode)
- LV-EDAI 6–9 cm²/m²
- ITBVI 850–1000 ml/m²
- GEDVI 640–800 ml/m²
- PAOP 12–15 mmHg
- Diuresis >0.5 ml/kgBW/h
- Lactate <3 mmol/l

The time to initiation of interventions aimed at optimising the goal parameters is essential to the success of the intervention [23], [25].

Fluid management

In cardiac surgery patients it is common to have relative or absolute volume deficiency in the early post operative phase. Volume substitution should have predefined goals. Whether crystalloid or colloid solutions are preferable following cardiac surgery cannot be determined based

on the existing evidence. Balanced artificial colloid and crystalloid solutions should be preferred [26], [27].

In current national practice first line treatment in cardiac surgery intensive care medicine consists in the use of artificial colloid solutions. Medium molecular weight hydroxyethylstarch derivatives are preferred. Crystalloid solutions are the second choice of volume substitution. Plasma volume substitution with human albumin is no longer used in 50% of cardiac surgery intensive care units [5]. Well performed large randomized studies investigating the role of colloids as the cause of post operative renal failure in cardiac surgery patients have not yet been performed. Nevertheless it seems prudent to avoid high molecular weight, highly substituted or hyperoncotic colloids like HAES 200/0.5 (10% and 6%), HAES 200/0.62 (10% and 6%), HAES 450/0.7 (6%) or 10% and 20% albumin, in the light recent concerns regarding hyperoncotic renal failure [28]. Additionally urea-linked gelatin solutions should be used sparingly due to their high potassium and calcium content [29] (Attachment 1: Table 5, Scheme 3).

Post-operative cardio-circulatory dysfunction

Causes of functional impairment include microcirculatory disturbances, hypertensive heart disease, congestive heart failure due to coronary artery disease, hypertrophic obstructive and non obstructive cardiomyopathy and dilative cardiomyopathy.

The following surrogate parameters, adapted from the criteria for low-cardiac-output-syndrome of Swan et al. [30] and El-Banayosy et al. [31], are possible indicators of a cardiocirculatory failure:

- ScvO₂ <60% with SaO₂ 98%
- Mean arterial pressure <60 mmHg
- Urine output <0.5 ml/h, existing for longer than an hour
- Plasma lactate >2.0 mmol/l
- Peripheral vasoconstriction with delayed capillary refill, respectively cool extremities corresponding to centralization.

Generally, with postoperative derangements of the cardiocirculatory system, optimisation of cardiac frequency and rhythm are the first-line tasks. The common cardiac rhythm disturbances following cardiopulmonary bypass are atrial fibrillation, sinus tachycardia or bradycardia, ventricular arrhythmias with ectopic excitation, ventricular tachycardia and all degrees of heart block [4].

The therapy of cardiac rhythm disturbances are described in the following guidelines:

- 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].

In case of suspected post-operative cardiovascular dysfunction, a rough initial assessment of volume status by means of central venous pressure should be performed. CVP has limitations in comparison to parameters of advanced hemodynamic monitoring and is not a suitable indicator of cardiac preload and volume responsiveness. If there is an increase in CVP in the post operative period or in comparison to the intraoperative values, in particular an acute increase, a hemodynamically relevant pericardial effusion or a pericardial tamponade should be excluded by echocardiography.

When CVP decreases compared to intra- or post-operative reference values, an intravascular volume depletion should be excluded by evaluating the cardiovascular response to an increase in preload. The hemodynamic reaction to volume administration should first be estimated with autotransfusion by means of passive leg raising [37], [38]. Then the administration of a maximum of 10 ml/kg body weight of colloid or crystalloid solution should be performed. If a preload increase does not lead to hemodynamic stabilisation, an echocardiogram is indicated. Furthermore, in the case of unstable patients, a 12 lead ECG to rule out an acute ischemia, ScvO₂ and lactate concentration should be obtained and fluid balance should be carefully controlled (Attachment 1: Table 6, Scheme 4).

Left heart failure

In cases of a severe hemodynamic deterioration (as with low cardiac output syndrome LCOS), which is associated with a moderately reduced preoperative ventricular function, but not with a pre-existing cardiac failure, a normal amount and function of myocardial β -adrenoreceptors can be presumed. Therapies should focus on optimisation of the workload of the heart, with concurrent targeting of enhancement of contractility, normalisation of the preload and economizing of the afterload.

In this situation a graded approach to the choice of pharmacological inotropes should be used. Dobutamine should be regarded as being of medium efficacy, while epinephrine is highly effective.

A reduction in preload can be achieved by the administration of a venodilator such as nitroglycerin, and a combined decrease in preload and afterload can be achieved by the administration sodium nitroprusside. These therapeutic approaches are recommended in accordance with the evidence based ESC guidelines for the therapy of acute cardiac failure [33]. They can be considered to be standard clinical practice in the treatment of left ventricular failure in cardiac surgical intensive care in France and Germany [39], [5].

Following termination of the extracorporeal circulation the heart is in a particularly vulnerable state. In these circumstances an increase in cardiac pump function should not be accompanied by an increase in myocardial oxygen consumption.

In this clinical situation, the application of phosphodiesterase inhibitors (PDE-III-Inhibitor) can be beneficial. Through their receptor independent enhancement of the myocardial contractility with only a small increase in O_2 consumption because of reduction of the systolic ventricular radius, and its cAMP-mediated direct effect on vascular tone with a resulting vasodilatory component, they effectively can increase cardiac index and the stroke volume index with only moderate chronotropic effects.

Patients with an acute perioperative exacerbation or decompensation of severe chronic cardiac insufficiency due to dilatative cardiomyopathy, ischemic cardiomyopathy or aggravation of valve defects. In these different clinical situation a different set of circumstances are to be expected.

Serious chronic cardiac failure with the various associated transformations in the neurohumoral system leads to alterations in the regulation of the cardiovascular system, which have consequences for the effects of therapeutic interventions. This principally concerns the receptor systems. Down-regulation of cardiac- β -receptors results in a reduced response to endogenous and exogenous catecholamines.

The effectiveness of catecholamine therapy can also be limited by β -blocker therapy that may have been continued to the day of operation. In this context it has been shown that catecholamines with both α - and β -mimetic effects have additional adverse qualities.

It has been shown that the use of alpha-mimetics in this situation leads to a progressive decrease in cardiac output as a result of increased peripheral vascular resistance [40]. It has to be considered, that the receptor affinity of the respective β -blockers plays a crucial role in this context [41].

As an adjunct to positive inotropic treatment levosimendan can be administered in state of severe LCOS in high risk patients. In clinical studies, levosimendan increased cardiac output and lowered cardiac filling pressures and was associated with reducing release of troponin, risk of death, and hospitalization [42], [43], [44], [45]. Unlike other positive inotropic agents, the primary actions of levosimendan are independent of interactions with adrenergic receptors. Levosimendan is not officially approved for clinical use in Germany.

Goal directed therapy

The consensus belief of the expert members was that preload optimisation is the basic prerequisite for medical or mechanical management of left heart failure. Where preload optimization is not sufficient to achieve the targeted hemodynamic goals, the consensus belief of the expert board is that treatment with positive inotropes is

indicated. The choice of substance is dependent on the individual patient situation.

The degree of left heart failure and its effect on the global and regional circulation will generally result in one of 4 broad clinical situations (Attachment 1: Table 7, Scheme 5):

- Hypovolemic patients are tachycardic and show inadequate ventricular filling. In the presence of a left ventricular end diastolic area index $<5 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, or a pulmonary artery occlusion pressure (PAOP) $<5 \text{ mmHg}$ or an intrathoracic blood volume index $<750 \text{ ml}/\text{m}^2$, the initial therapeutic approach should be preload optimisation.
- In smaller volume deficiencies (left ventricular end diastolic area index $<7 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, or pulmonary artery occlusion pressure (PAOP) $<10 \text{ mmHg}$ or an intrathoracic blood volume index $<850 \text{ ml}/\text{m}^2$) a cautious fluid challenge should be given. If a marked increase in preload parameters does not result in an adequate improvement in cardiac output or systemic blood pressure, fluid administration should be ceased. Excessive preloading bears the risk of a consecutive decrease in contractility. In addition to preload optimisation inotropic support of the left ventricle should be started. Therapy should be orientated to the mean arterial blood pressure. Dobutamine is recommended when the MAP is $<60 \text{ mmHg}$ and a PDE III inhibitor or levosimendan is recommended when the MAP is $>60 \text{ mmHg}$. Adequate volume administration is important here as an afterload decrease can lead to a further decrease in perfusion pressure. In the case of systemic hypotension it may be essential to additionally use a vasopressor. The use of epinephrine is indicated if these therapeutic approaches fail to stabilize the hemodynamic situation or if critical hypotension is present.
- In patients with an adequate preload, a left ventricular end-diastolic area index $>9 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, a pulmonary artery occlusion pressure (PAOP) $>15 \text{ mmHg}$, or an intrathoracic blood volume index $>1000 \text{ ml}/\text{m}^2$, dobutamine or a PDE III inhibitor can be used. Norepinephrine should be considered for the contra-regulation of systematic hypotension and to increase coronary perfusion. Initial treatment with epinephrine is indicated when serious hypotension is present. In cases where a LCOS does not improve significantly upon the administration of dobutamine or PDE III inhibitors, supplemental inotropic support with epinephrine is warranted. If down-regulation of β -adrenoreceptors is suspected, the combination of epinephrine and a PDE III inhibitor or levosimendan seems reasonable. If the patient has undergone a CABG operation, the implantation of an IABP is indicated.
- In a hypervolemic patient with a clearly increase in preload (left ventricular end diastolic area index $>11 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, a pulmonary artery occlusion pressure (PAOP) $>20 \text{ mmHg}$, or an intrathoracic blood volume index

>1200 ml/m²) volume removal should be the primary goal and the circulation should be supported pharmacologically. Hemofiltration or hemodialysis can be used as adjuvant therapies. Hemodynamic instability should be treated with dobutamine or a PDE III inhibitor. Under certain circumstances the additional administration of epinephrine, a combination of epinephrine and a PDE III inhibitor or levosimendan may be indicated.

Once an adequate arterial pressure has been achieved and the hemodynamic situation has become stable, consideration can be given to decreasing of pre- and afterload. Total peripheral resistance should be modulated to minimize the work of the heart, while maintaining an adequate perfusion pressure at the same time. To achieve this treatment goal, vasodilators such as nitroglycerine or sodium nitroprusside and vasopressors such as norepinephrine are recommended

Right heart failure

Clinical manifestations of right ventricular failure occur in 0.04–1% of patients after cardiac surgery [46], and are an indication for invasive monitoring. The diagnostic instrument of choice is echocardiography. The combination of a small, well contracting left ventricle and a large akinetic right ventricle is pathognomonic for acute right heart failure.

Assessment of right ventricular preload is typically made by measuring the central venous pressures (CVP) (reflects the right atrial pressure – RAP) or less frequently the right ventricular end-diastolic pressure (RVEDP). Values above 10 cmH₂O are considered to reflect adequate ventricular filling. Many studies have shown that the CVP often does not accurately reflect end-diastolic volume and right ventricular preload. Individual volume requirements can only be evaluated by volume challenges, which should only be performed under close hemodynamic monitoring. When volume administration increases the right atrial filling pressure without increasing the cardiac output, further volume administration is not indicated. Volume administration is indicated when the CVP is under 10 mmHg, with a CVP of up to 15 mmHg being reasonable. Volume therapy is not indicated when there is combined arterial hypotension and high right heart filling pressures (low cardiac output) [47].

There is no accepted clinical measure of right ventricular afterload. The mean pulmonary artery pressure (MPAP) most closely reflects right ventricular afterload, but it is often rendered inaccurate by variations in CO and with changes in heart size: according to La Place the afterload of a dilated right ventricle with a thin wall is higher than the afterload of a small right ventricle with a thick wall, provided that the PAP is identical. Pulmonary vascular resistance (PVR) is the next most commonly used indirect measure of right ventricular preload. The calculation requires placement of a PAC as PAP, CO, and pulmonary capillary occlusion pressure must be known. PVR cannot detect an increase in right ventricular wall tension as a

result of dilation of the ventricle and can therefore underestimate changes in afterload. A further problem is that a decrease in CO caused by a decrease in contractility will result in an increase in PVR (MPAP = PVR x CO), without any change in tension in the wall of the right ventricle.

Measurement of right ventricular ejection fraction using the “fast-response” thermodilution technique is not an ideal measure of right ventricular contractility. An increase in preload commonly causes an increase in ejection fraction without any change in contractility. Conversely an increase in right ventricular afterload will result in a decreased ejection fraction. The ejection fraction only reflects right ventricular contractility under conditions of constant pre- and afterload [48].

The goal of the therapy is prevention of a LCOS. An elevated pulmonary vascular resistance should be reduced, the myocardial oxygen supply should be increased and oxygen-demand reduced. Additionally, adequate preload and coronary perfusion pressures must be ensured [47]. There is not any inotropic drug available that selectively acts on the right ventricle. To improve the contractility of a failing right heart the same substances are used as in left heart failure. Dopamine and epinephrine are known to cause pulmonary vasoconstriction in higher doses. The positive inotropic effect of these substances should always be weighed against their dose dependent vasoconstriction of the pulmonary vessels [47]. In some cases the ratio of O₂-supply and demand may actually deteriorate on administration of these substances. Nonetheless catecholamines are frequently essential in acute RV failure [48].

A reasonable adjuvant to these positive inotropes are PDE III inhibitors, which have a positive inotropic effect and additionally have a relaxing effect on the walls of vascular vessels [49], [50]. A consequent risk associated with their use is a drop in arterial blood pressure, which can be critical in patients with acute pulmonary hypertension and right heart failure associated with systemic hypotension. Thus PDE III inhibitors should only be used with caution in this situation, particularly because this effect will persist due to their long half life [47].

In contrast to inhaled vasodilators, the use of intravenous vasodilators in clinical practice is on the decline [5]. The main reason for the lack of clinical acceptance of intravenous vasodilators for the treatment of right heart failure are their potential adverse effects. None of these substances dilate the pulmonary vessels selectively. Vasodilatation in the cardiovascular system causes a decrease in blood pressure, resulting in impairment of organ perfusion. Additionally pulmonary vasodilatation can be counterproductive if it occurs in non-ventilated sections of the lung, as it can lead to hypoxic pulmonary vasoconstriction in these areas.

Inhalative administration of vasodilators increases local efficacy and minimises systemic side effects. Inhalative nitric oxide (NO) and prostanoids induce selective pulmonary vasodilatation. Several studies have shown, that both inhaled NO [51], [52], [53] and inhaled prostanoids [54],

[55], [56] cause a significant decrease in MPAP and PVR, without changing systemic vascular resistance (SVR) and MAP in cardiac surgery patients.

The inhalational administration of NO has only been approved for use in newborns with primary pulmonary hypertension [57].

To summarise, it was the consensus opinion of the expert board that inhalational administration of selective pulmonary vasodilators like prostanoids or NO can be considered in prolonged right heart failure. The recommendation of the off label use of these substances is based on study data and a large body of clinical experience with these substances.

In a practical approach, the treatment of right heart failure will usually begin with three "starting points" (Attachment 1: Table 8, Scheme 6):

- Where TEE demonstrates a low right ventricular filling volume or where the PAOP to CVP ratio is >1 , cautious volume loading should be the first line treatment. If this is not successful, pharmacological treatment is then indicated. In normotensive patients, treatment with vasodilators is justified. When this therapeutic approach fails, treatment with inotropes is indicated. In hypotensive patients primary positive inotropic support is indicated.
- In normotensive patients (a MAP between 70 and 80 mmHg), where TEE shows right ventricular volume overload with signs of right ventricular dilation or where the PAOP to CVP ratio is <1 , or where this ratio is rapidly increasing, dobutamine and/or a PDE III inhibitor should be used to increase inotropy. Additionally the use of a vasodilator such as nitroglycerine to decrease afterload should be considered. If the combination of dobutamine with NTG and/or a PDE III inhibitor is not effective, epinephrine should be used. Epinephrine can, if necessary, be given in combination with nitroglycerine and/or a PDE III inhibitor. Pre-existing pulmonary hypertension and/or therapy resistant right heart failure can be treated with inhalative prostanoids or NO in addition to positive inotropes. The treatment goal should not be to minimise PAP or PVR but rather to optimise the PVR to SVR ratio, while maintaining contractility of the right ventricle, myocardial O_2 supply blood pressure (MAP >60 mmHg).
- Hypotensive patients with a MAP <70 mmHg and high right ventricular preload are by definition in decompensated right heart failure. Here maximum inotropic stimulation is indicated. Initially therapy consists of dobutamine and a PDE III inhibitor, in combination with norepinephrine. When this approach fails to sufficiently stabilize hemodynamics, epinephrine should be used. Depending on the peripheral resistance, nitroglycerine can be additionally used. When pulmonary hypertension is present, inhalative prostacyclin or NO can be used.

Intra-aortic balloon counterpulsation

The intra-aortic balloon counterpulsation is today routinely used in cardiac surgery for cardiovascular support in left ventricular failure. Its employment in post-operative low cardiac-output syndrome due to an intra- or postoperative myocardial infarction following aorto-coronary bypass operation or heart valve intervention is the classic indication in heart surgery patients. The IABP is usually implanted intraoperatively to facilitate weaning from the HLM or postoperatively in the intensive care unit when the hemodynamic situation is deteriorating, and revascularisation is not optimal [58].

The classic indications for the implantation of an IABP include a persistent or worsening LCOS, despite treatment with high dose inotropes or vasoactive substances, ST-elevation or new hypokinesia in the TEE, where surgical or interventional reversal is not possible and/or where surgical anastomoses are known to be problematic and coronary revascularisation was not complete (Attachment 1: Table 9, Scheme 7).

It should be noted that there is no strong scientific evidence which can be used to define the indications for the use of the IABP [59], [60]. IABP should only be used after cardiac surgery when hemodynamic stabilization is not possible despite the use of high dose positive inotropic agents and catecholamines. There is no good quality evidence upon which recommendations regarding the indications for and timing of IABP in postoperative cardiac surgical patients. However, timely application is essential if multi-organ failure and related complications are to be avoided.

A systematic review [61], has demonstrated that the use of IABP improves long-term survival in cardiac surgical patients.

Tables and schemes

The detailed recommendations are listed in Attachment 1.

Notes

The long version of the guideline in German language is available from <http://leitlinien.net/>.

Validity and update

These guidelines are based on the best scientific advice currently available for each of the above topics. The Guidelines were approved by the Executive Committees of the participating scientific societies between March and April 2010. They are valid up to December 2014. The DGTHG and DGAI will nominate a project team and management for the updating of the guidelines. In the case of new relevant scientific evidence that would require a revision of the recommendations, a direct communication will follow.

Authorship

The authors are members of the working group hemodynamic monitoring and cardiovascular system of the DGTHG and the DGAI. AWMF support by Prof. I. Kopp, Institute for Theoretical Medicine, Marburg.

Conflict of interest

The declarations of conflict of interest of all participants can be viewed on request, from the respective professional societies.

Five authors have received lecture fees and/or financial study support respectively exercised advisory activity. These authors specified financial competing interests for following companies: 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, Glaxo-SmithKline GmbH & Co KG, Pulsion Medical Systems AG.

Funding

This guideline was funded by the DGTHG and the DGAI independent of any interest groups.

Attachments

Available from

<http://www.egms.de/en/journals/gms/2010-8/000101.shtml>

1. GMS-GuidelinesCardiacSurgery-Tables-Schemes.pdf (341 KB)
Tables and schemes

References

1. Carl M, Alms A, Braun J, Dongas A, Erb J, Goetz A, Göpfert M, Gogarten W, Grosse J, Heller A, Heringlake M, Kastrup M, Kröner A, Loer S, Marggraf G, Markewitz A, Reuter M, Schmitt DV, Schirmer U, Wiesenack C, Zwissler B, Spies C; German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery; German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine. Die intensivmedizinische Versorgung herzchirurgischer Patienten: Hamodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf-Therapie S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG) und der Deutschen Gesellschaft für Anasthesiologie und Intensivmedizin (DGAI) [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.* 2007;55(2):130-48. DOI: 10.1055/s-2007-964939
2. Europarat. Entwicklung einer Methodik für die Ausarbeitung von Leitlinien für die optimale medizinische Praxis. *Z Arztl Fortbild Qualitätssich.* 2002;96:1-60.
3. Janssens U. Monitoring des herzkranken Intensivpatienten [Monitoring of the cardiovascular patients]. *Intensivmedizin und Notfallmedizin.* 2001;38(4):232-250. DOI: 10.1007/s003900170071
4. Pezzella AT, Ferraris VA, Lancey RA. Care of the adult cardiac surgery patient: part I. *Curr Probl Surg.* 2004;41(5):458-516. DOI: 10.1016/j.cpsurg.2004.03.001
5. Kastrup M, Markewitz A, Spies C, Carl M, Erb J, Grosse J, Schirmer U. Current practice of hemodynamic monitoring and vasopressor and inotropic therapy in post-operative cardiac surgery patients in Germany: results from a postal survey. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2007;51(3):347-58. DOI: 10.1111/j.1399-6576.2006.01190.x
6. Click RL, Abel MD, Schaff HV. Intraoperative transesophageal echocardiography: 5-year prospective review of impact on surgical management. *Mayo Clin Proc.* 2000;75(3):241-7. DOI: 10.4065/75.3.241
7. Couture P, Denault AY, McKenty S, Boudreault D, Plante F, Perron R, Babin D, Normandin L, Poirier N. Impact of routine use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery. *Can J Anaesth.* 2000;47(1):20-6. DOI: 10.1007/BF03020726
8. Michel-Cherqui M, Ceddaha A, Liu N, Schlumberger S, Szekely B, Brusset A, Bonnet V, Bachet J, Goudot B, Dreyfus G, Guilmet D, Fischler M. Assessment of systematic use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery in adults: a prospective study of 203 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2000;14(1):45-50. DOI: 10.1016/S1053-0770(00)90055-7
9. Lennon MJ, Gibbs NM, Weightman WM, Leber J, Ee HC, Yusoff IF. Transesophageal echocardiography-related gastrointestinal complications in cardiac surgical patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2005;19(2):141-5. DOI: 10.1053/j.jvca.2005.01.020
10. Piercy M, McNicol L, Dinh DT, Story DA, Smith JA. Major complications related to the use of transesophageal echocardiography in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009;23(1):62-5. DOI: 10.1053/j.jvca.2008.09.014
11. O'Brien MM, Shroyer AL, Moritz TE, London MJ, Grunwald GK, Villanueva CB, Thottapurathu LG, MaWhinney S, Marshall G, McCarthy M Jr, Henderson WG, Sethi GK, Grover FL, Hammermeister KE; VA Cooperative Study Group on Processes, Structures, and Outcomes of Care in Cardiac Surgery. Relationship between processes of care and coronary bypass operative mortality and morbidity. *Med Care.* 2004;42(1):59-70. DOI: 10.1097/01.mlr.0000102295.08379.57
12. Felbinger TW, Reuter DA, Eltzschig HK, Moerstedt K, Goedje O, Goetz AE. Comparison of pulmonary arterial thermodilution and arterial pulse contour analysis: evaluation of a new algorithm. *J Clin Anesth.* 2002;14(4):296-301. DOI: 10.1016/S0952-8180(02)00363-X
13. Rodig G, Prasser C, Keyl C, Liebold A, Hobbhahn J. Continuous cardiac output measurement: pulse contour analysis vs thermodilution technique in cardiac surgical patients. *Br J Anaesth.* 1999;82(4):525-30.
14. Zöllner C, Haller M, Weis M, Mörstedt K, Lamm P, Kilger E, Goetz AE. 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.* 2000;14(2):125-9. DOI: 10.1016/S1053-0770(00)90003-X
15. Gödje O, Höke K, Goetz AE, Felbinger TW, Reuter DA, Reichart B, Friedl R, Hannekum A, Pfeiffer UJ. Reliability of a new algorithm for continuous cardiac output determination by pulse-contour analysis during hemodynamic instability. *Crit Care Med.* 2002;30(1):52-8. DOI: 10.1097/00003246-200201000-00008
16. Rauch H, Müller M, Fleischer F, Bauer H, Martin E, Böttiger BW. Pulse contour analysis versus thermodilution in cardiac surgery patients. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2002;46(4):424-9. DOI: 10.1034/j.1399-6576.2002.460416.x

17. Sander M, von Heymann C, Foer A, von Dossow V, Grosse J, Dushe S, Konertz WF, Spies CD. Pulse contour analysis after normothermic cardiopulmonary bypass in cardiac surgery patients. *Crit Care*. 2005;9(6):R729-34. DOI: 10.1186/cc3903
18. American Society of Anesthesiologists Task Force on Pulmonary Artery Catheterization. Practice guidelines for pulmonary artery catheterization: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Pulmonary Artery Catheterization. *Anesthesiology*. 2003;99(4):988-1014. DOI: 10.1097/0000542-200310000-00036
19. Mueller HS, Chatterjee K, Davis KB, Fifer MA, Franklin C, Greenberg MA, Labovitz AJ, Shah PK, Tuman KJ, Weil MH, Weintraub WS. ACC expert consensus document. Present use of bedside right heart catheterization in patients with cardiac disease. *American College of Cardiology. J Am Coll Cardiol*. 1998;32(3):840-64. DOI: 10.1016/S0735-1097(98)00327-1
20. Pulmonary Artery Catheter Consensus conference: consensus statement. *Crit Care Med*. 1997;25(6):910-25.
21. Harvey S, Harrison DA, Singer M, Ashcroft J, Jones CM, Elbourne D, Brampton W, Williams D, Young D, Rowan K; PAC-Man study collaboration. Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2005;366(9484):472-7. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)67061-4
22. Resano FG, Kapetanakis EI, Hill PC, Haile E, Corso PJ. Clinical outcomes of low-risk patients undergoing beating-heart surgery with or without pulmonary artery catheterization. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2006;20(3):300-6. DOI: 10.1053/j.jvca.2006.01.017
23. Pölonen P, Ruokonen E, Hippeläinen M, Pöyhönen M, Takala J. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth Analg*. 2000;90(5):1052-9. DOI: 10.1097/0000539-200005000-00010
24. Rivers E, Nguyen B, Havstad S, Ressler J, Muzzin A, Knoblich B, Peterson E, Tomlanovich M; Early Goal-Directed Therapy Collaborative Group. Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med*. 2001;345(19):1368-77. DOI: 10.1056/NEJMoa010307
25. Pearse RM, Rhodes A, Grounds RM. Clinical review: how to optimize management of high-risk surgical patients. *Crit Care*. 2004;8(6):503-7. DOI: 10.1186/cc2922
26. Boldt J, Schöllhorn T, Münchbach J, Pabsdorf M. 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*. 2007;24(3):267-75. DOI: 10.1017/S0265021506001682
27. Boldt J, Suttner S, Brosch C, Lehmann A, Röhm K, Mengistu A. The influence of a balanced volume replacement concept on inflammation, endothelial activation, and kidney integrity in elderly cardiac surgery patients. *Intensive Care Med*. 2009;35(3):462-70. DOI: 10.1007/s00134-008-1287-1
28. Rioux JP, Lessard M, De Bortoli B, Roy P, Albert M, Verdant C, Madore F, Troyanov S. Pentastarch 10% (250 kDa/0.45) is an independent risk factor of acute kidney injury following cardiac surgery. *Crit Care Med*. 2009;37(4):1293-8. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31819cc1a0
29. Ragaller MJ, Theilen H, Koch T. Volume replacement in critically ill patients with acute renal failure. *J Am Soc Nephrol*. 2001;12(Suppl 17):S33-9.
30. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med*. 1970;283(9):447-51.
31. El-Banayasy A, Döring B, Körner MM, Posival H, Körtke H, Hartmann D, Körfer R. Neue Wege in der Therapie des postoperativen Low-output-Syndroms [New avenues in therapy of postoperative low output syndrome]. *Z Kardiol*. 1994;83(Suppl 2):69-74.
32. Eagle KA, Guyton RA, Davidoff R, Edwards FH, Ewy GA, Gardner TJ, Hart JC, Herrmann HC, Hillis LD, Hutter AM Jr, Lytle BW, Marlow RA, Nugent WC, Orszulak TA, Antman EM, Smith SC Jr, Alpert JS, Anderson JL, Faxon DP, Fuster V, Gibbons RJ, Gregoratos G, Halperin JL, Hiratzka LF, Hunt SA, Jacobs AK, Ornato JP; American College of Cardiology; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; American Society for Thoracic Surgery and the Society of Thoracic Surgeons. 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*. 2004;110(9):1168-76. DOI: 10.1161/01.CIR.0000138790.14877.7D
33. Task Force for Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2008 of European Society of Cardiology, Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G, McMurray JJ, Ponikowski P, Poole-Wilson PA, Strömberg A, van Veldhuisen DJ, Atar D, Hoes AW, Keren A, Mebazaa A, Nieminen M, Priori SG, Swedberg K; ESC Committee for Practice Guidelines, Vahanian A, Camm J, De Caterina R, Dean V, Dickstein K, Filippatos G, Funck-Brentano C, Hellemans I, Kristensen SD, McGregor K, Sechtem U, Silber S, Tendera M, Widimsky P, Zamorano JL. 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*. 2008 Oct;29(19):2388-442. DOI: 10.1093/eurheartj/ehn309
34. Fuster V, Rydén LE, Cannom DS, Crijns HJ, Curtis AB, Ellenbogen KA, Halperin JL, Le Heuzey JY, Kay GN, Lowe JE, Olsson SB, Prystowsky EN, Tamargo JL, Wann S; Task Force on Practice Guidelines, American College of Cardiology/American Heart Association; Committee for Practice Guidelines, European Society of Cardiology; European Heart Rhythm Association; Heart Rhythm Society. 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*. 2006;27(16):1979-2030. DOI: 10.1093/eurheartj/ehl176
35. Dunning J, Treasure T, Versteegh M, Nashef SA; EACTS Audit and Guidelines Committee. Guidelines on the prevention and management of de novo atrial fibrillation after cardiac and thoracic surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006;30(6):852-72. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.09.003
36. Dunning J, Fabbri A, Kolh PH, Levine A, Lockowandt U, Mackay J, Pavie AJ, Strang T, Versteegh MI, Nashef SA; EACTS Clinical Guidelines Committee. Guideline for resuscitation in cardiac arrest after cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;36(1):3-28. DOI: 10.1016/j.ejcts.2009.01.033
37. Boulain T, Achard JM, Teboul JL, Richard C, Perrotin D, Ginies G. Changes in BP induced by passive leg raising predict response to fluid loading in critically ill patients. *Chest*. 2002;121(4):1245-52. DOI: 10.1378/chest.121.4.1245
38. Lafanechère A, Pène F, Goulenok C, Delahaye A, Mallet V, Choukroun G, Chiche JD, Mira JP, Cariou A. Changes in aortic blood flow induced by passive leg raising predict fluid responsiveness in critically ill patients. *Crit Care*. 2006;10(5):R132. DOI: 10.1186/cc5044

39. Bastien O, Vallet B; French Study Group AGIR. French multicentre survey on the use of inotropes after cardiac surgery. *Crit Care*. 2005;9(3):241-2. DOI: 10.1186/cc3482
40. Vroom MB. Pharmacologic management of acute heart failure: A review. *Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia* 1998; 2(3):191-203. DOI: 10.1177/108925329800200303
41. Metra M, Nodari S, D'Aloia A, Muneretto C, Robertson AD, Bristow MR, Dei Cas L. 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*. 2002;40(7):1248-58. DOI: 10.1016/S0735-1097(02)02134-4
42. Tasouli A, Papadopoulos K, Antoniou T, Kriaras I, Stavridis G, Degiannis D, Geroulanos S. 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*. 2007;32(4):629-33. DOI: 10.1016/j.ejcts.2007.07.010
43. Levin RL, Degrange MA, Porcile R, Salvagio F, Blanco N, Botbol AL, Tanus E, del Mazo CD. Superioridad del sensibilizante al calcio levosimendan comparado con dobutamina en el síndrome de bajo gasto cardiaco postoperatorio [The calcium sensitizer levosimendan gives superior results to dobutamine in postoperative low cardiac output syndrome]. *Rev Esp Cardiol*. 2008;61(5):471-9. DOI: 10.1016/S1885-5857(08)60160-7
44. De Hert SG, Lorsomradee S, vanden Eede H, Cromheecke S, Van der Linden PJ. A randomized trial evaluating different modalities of levosimendan administration in cardiac surgery patients with myocardial dysfunction. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2008;22(5):699-705. DOI: 10.1053/j.jvca.2008.02.019
45. Landoni G, Mizzi A, Biondi-Zoccai G, Bruno G, Bignami E, Corno L, Zambon M, Gerli C, Zangrillo A. Reducing mortality in cardiac surgery with levosimendan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2010;24(1):51-7. DOI: 10.1053/j.jvca.2009.05.031
46. Kaul TK, Fields BL. Postoperative acute refractory right ventricular failure: incidence, pathogenesis, management and prognosis. *Cardiovasc Surg*. 2000;8(1):1-9. DOI: 10.1016/S0967-2109(99)00089-7
47. Wagner F, Buz S. Die Behandlung der akuten pulmonalen Hypertonie [Treatment of acute pulmonary hypertension]. *Z Herz-Thorax-Gefäßschir*. 2002;16(3):118-130. DOI: 10.1007/s00398-002-0348-y
48. Zwissler B. Das akute Rechtsherzversagen Ätiologie – Pathophysiologie – Diagnostik – Therapie [Acute right heart failure. Etiology–pathophysiology–diagnosis–therapy]. *Anaesthesist*. 2000;49(9):788-808. DOI: 10.1007/s001010070052
49. Jenkins IR, Dolman J, O'Connor JP, Ansley DM. Amrinone versus dobutamine in cardiac surgical patients with severe pulmonary hypertension after cardiopulmonary bypass: a prospective, randomized double-blinded trial. *Anaesth Intensive Care*. 1997;25(3):245-9.
50. Hachenberg T, Möllhoff T, Holst D, Hammel D, Brüssel T. Cardiopulmonary effects of enoximone or dobutamine and nitroglycerin on mitral valve regurgitation and pulmonary venous hypertension. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1997;11(4):453-7. DOI: 10.1016/S1053-0770(97)90054-9
51. Lindberg L, Larsson A, Steen S, Olsson SG, Nordström L. Nitric oxide gives maximal response after coronary artery bypass surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1994;8(2):182-7. DOI: 10.1016/1053-0770(94)90059-0
52. Fullerton DA, Jones SD, Jaggars J, Piedalue F, Grover FL, McIntyre RC Jr. Effective control of pulmonary vascular resistance with inhaled nitric oxide after cardiac operation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1996;111(4):753-62. DOI: 10.1016/S0022-5223(96)70335-5
53. Bender KA, Alexander JA, Enos JM, Skimming JW. Effects of inhaled nitric oxide in patients with hypoxemia and pulmonary hypertension after cardiac surgery. *Am J Crit Care*. 1997;6(2):127-31.
54. Theodoraki K, Rellia P, Thanopoulos A, Tsourelis L, Zarkalis D, Sfyraakis P, Antoniou T. Inhaled iloprost controls pulmonary hypertension after cardiopulmonary bypass. *Can J Anaesth*. 2002;49(9):963-7. DOI: 10.1007/BF03016884
55. Langer F, Wilhelm W, Tscholl D, Schramm R, Lausberg H, Wendler O, Schäfers HJ. Intraoperative inhalation of the long-acting prostacyclin analog iloprost for pulmonary hypertension. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;126(3):874-5. DOI: 10.1016/S0022-5223(03)00704-9
56. De Wet CJ, Affleck DG, Jacobsohn E, Avidan MS, Tymkew H, Hill LL, Zanaboni PB, Moazami N, Smith JR. 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*. 2004;127(4):1058-67. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2003.11.035
57. Germann P, Braschi A, Della Rocca G, Dinh-Xuan AT, Falke K, Frostell C, Gustafsson LE, Hervé P, Jolliet P, Kaisers U, Litvan H, Macrae DJ, Maggiorini M, Marczin N, Mueller B, Payen D, Ranucci M, Schranz D, Zimmermann R, Ullrich R. Inhaled nitric oxide therapy in adults: European expert recommendations. *Intensive Care Med*. 2005;31(8):1029-41. DOI: 10.1007/s00134-005-2675-4
58. Möhnle P, Kilger E. Kreislaufunterstützung durch die intraaortale Ballongegenpulsation [Circulatory support by intra-aortic balloon counterpulsation]. *Anaesthesist*. 2002;51(8):687-701. DOI: 10.1007/s00101-002-0374-x
59. Samuels LE, Holmes EC, Thomas MP, Entwistle JC 3rd, Morris RJ, Narula J, Wechsler AS. Management of acute cardiac failure with mechanical assist: experience with the ABIOMED BVS 5000. *Ann Thorac Surg*. 2001;71(3 Suppl):S67-72. DOI: 10.1016/S0003-4975(00)02644-8
60. Hausmann H, Potapov EV, Koster A, Krabatsch T, Stein J, Yeter R, Kukucka M, Sodian R, Kuppe H, Hetzer R. Prognosis after the implantation of an intra-aortic balloon pump in cardiac surgery calculated with a new score. *Circulation*. 2002;106(12 Suppl 1):I203-6. DOI: 10.1161/01.cir.0000032909.33237.f8
61. Baskett RJ, Ghali WA, Maitland A, Hirsch GM. The intraaortic balloon pump in cardiac surgery. *Ann Thorac Surg*. 2002;74(4):1276-87. DOI: 10.1016/S0003-4975(02)03663-9

Corresponding author:

Prof. Dr. C. Spies

University Clinic for Anaesthesiology and Operative Intensive Medicine, Charite Centre Campus and Virchow Clinic, Charité Medical University Berlin, Chariteplatz 1, 10117 Berlin, Germany
 claudia.spies@charite.de

Please cite as

Carl M, Alms A, Braun J, Dongas A, Erb J, Goetz A, Goepfert M, Gogarten W, Grosse J, Heller AR, Heringlake M, Kastrup M, Kroener A, Loer SA, Marggraf G, Markewitz A, Reuter D, Schmitt DV, Schirmer U, Wiesenack C, Zwissler B, Spies C. S3 guidelines for intensive care in cardiac surgery patients: hemodynamic monitoring and cardiocirculatory system. *GMS Ger Med Sci.* 2010;8:Doc12.
DOI: 10.3205/000101, URN: urn:nbn:de:0183-0001014

This article is freely available from

<http://www.egms.de/en/journals/gms/2010-8/000101.shtml>

Received: 2010-04-27

Published: 2010-06-15

Copyright

©2010 Carl et al. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.en>). You are free: to Share – to copy, distribute and transmit the work, provided the original author and source are credited.

Attachment 1: Tables and schemes

- Table 1: Evidence based recommendations: basic monitoring2
- Table 2: Evidence based recommendations for advanced haemodynamic monitoring:
echocardiography 3
- Table 3: Evidence based recommendations; extended hemodynamic monitoring:
transpulmonary thermodilution and pulse contour analysis3
- Table 4: Evidence based recommendations: extended hemodynamic monitoring: pulmonary
artery catheter 4
- Table 5: Evidence based recommendations: volume management..... 4
- Table 6: Evidence based recommendations: postoperative cardiocirculatory dysfunction4
- Table 7: Evidence based recommendations: left heart failure 5
- Table 8: Evidence based recommendations: right heart failure 5
- Table 9: Evidence based recommendations: Intraaortic balloon counterpulsation 5
- Scheme 1: Algorithm basic monitoring6
- Scheme 2: Algorithm for indications of advanced hemodynamic monitoring 6
- Scheme 3: Algorithm postoperative volume therapy 7
- Scheme 4: Algorithm for post operative cardiocirculatory dysfunction 8
- Scheme 5: Algorithm for left heart failure 9
- Scheme 6: Algorithm for right heart failure 10
- Scheme 7: Algorithm for IABP 11

Attachment 1: Tables and schemes

Table 1: Evidence based recommendations: basic monitoring

Basic monitoring	Evidence grade	Grade of recommendation
For continuous ECG-monitoring for the diagnosis of arrhythmias and ischemia leads II and V5, or alternatively II and V3, or II and V4, or when technologically possible V3, V4 and V5 should be used.	C	A
ST-segment monitoring can be used with any ECG monitoring.	D	0
For intensive care patients a 12 channel ECG on admission and daily for the first three post operative days of ICU stay might be documented. After the 3 rd day of ICU treatment, the indication depends on the individual clinical situation.	D	B
Continuous monitoring with pulse oximetry detects clinically inapparent O ₂ -desaturations and should therefore be used as continuous monitoring method.	A	A
Continuous invasive blood pressure monitoring should be obligatory following cardiac surgery, as non-invasive measurement is discontinuous and too imprecise.	B	A
The CVP can, despite methodological limitations, provide important information regarding acute changes in right ventricular compliance and/or the volume status and thus might be measured continuously.	D	B
Temperature might be measured continuously. If measured discontinuously, it might be taken and recorded 4 hourly.	D	B
The fluid balance might be recorded hourly for the first 24 hours, thereafter dependent on the clinical status of the patient, 4 hourly.	D	B
An ABG might be taken within 30 minutes of admission to the ICU, or during a period of cardiopulmonary instability or following a change in the ventilation setting. When the FiO ₂ is ≥ 0.6 an AGB might be done 4 hourly, otherwise, it is recommended at least 8 hourly.	D	B
ScvO ₂ appropriately tracks the course of SvO ₂ and can be used as an alternative. However, it should be borne in mind that a normal ScvO ₂ is not necessarily proof for a normal SvO ₂ .	D	0

Table 2: Evidence based recommendations for advanced haemodynamic monitoring: echocardiography

Advanced hemodynamic monitoring: echocardiography	Evidence grade	Grade of recommendation
In patients who show acute persistent hemodynamic disturbances, do not respond to initial therapies, and demonstrate unclear ventricular dysfunction and determinants thereof, echocardiography is recommended for establishing diagnosis in the perioperative period and improves clinical outcome.	D	B
In comparison with TTE, TEE has diagnostic advantages particularly in ventilated post operative patients and can be used preferentially in this patient group.	D	0
Use of TEE in the perioperative period can improve clinical outcome in patients at increased risk of myocardial ischemia or infarction.	D	0
Assessing cardiac output with echocardiography using the Doppler method is just as reliable as the thermodilution techniques and is recommended to be used as an alternative to measuring CO discontinuously.	B	B
The TTE or TEE examination should be documented.	D	A

Table 3: Evidence based recommendations: extended hemodynamic monitoring: transpulmonary thermodilution and pulse contour analysis

Extended hemodynamic monitoring: transpulmonary thermodilution and pulse contour analysis	Evidence grade	Grade of recommendation
The pulse contour analysis in post operative cardiac surgery patients (CABG) shows good correlation with the gold standard method of pulmonary arterial thermodilution and might be used for extended hemodynamic monitoring.	C	B
The measurement of ITBV seems to be superior to the CVP and the PAOP from the PAC for the appraisal of cardiac preload.	C	0
When taking into account the methodologically intrinsic limitations, the parameters stroke volume variation (SVV) and pulse pressure variation (PPV) are superior to the central venous pressure (CVP) and the pulmonary artery occlusion pressure (PAOP) for predicting volume responsiveness. SVV and PPV therefore might be used as helpful supplement to hemodynamic diagnostics.	C	B

Table 4: Evidence based recommendations: extended hemodynamic monitoring: pulmonary artery catheter

Extended haemodynamic monitoring: pulmonary artery catheter	Evidence grade	Grade of recommendation
The PAC in cardiac surgical patients with low perioperative risks might not be used.	C	B
The PAC can be used; <ul style="list-style-type: none"> • for determining the cause and guiding therapy in severe LCOS • for differentiating between left or right ventricular dysfunction • for diagnosis and orientation of therapy of pulmonary hypertension • in high risk cardiac surgery patients undergoing complex interventions 	D	0

Abbreviation: LCOS=low cardiac output syndrome

Table 5: Evidence based recommendations: volume management

Volume management	Evidence grade	Grade of recommendation
When using crystalloid solutions balanced full electrolyte solutions can be favoured.	D	0
An advantage for hypertonic crystalloid solutions in comparison with isotonic or approximately equivalent isotonic crystalloid solutions has not been demonstrated.	A-	0
As artificial colloids, medium molecular weight HAES (6%) or succinylated gelatin can be recommended.	D	0
For volume replacement in cardiac surgical patients HAES can be used as well as human albumin. There is no scientific evidence to support the use of the more expensive albumin over medium molecular weight HAES (6%) preparations.	D	0

Table 6: Evidence based recommendations: postoperative cardiocirculatory dysfunction

Postoperative cardiovascular dysfunction	Evidence grade	Grade of recommendation
Preoperative or early postoperative administration of antiarrhythmics can be performed according to existing guidelines.	D	0
For assessment of acute volume responsiveness, passive leg raising should be performed prior to volume loading.	B	A

Table 7: Evidence based recommendations: left heart failure

Left heart failure	Evidence grade	Grade of recommendation
Preload optimisation should be the basic prerequisite for medicinal or technical therapy of left heart failure.	D	A
If goals are not reached after preload optimization, therapy with positive inotropes might be indicated. The choice of substance depends on the patient's specific situation.	D	B
PDE III inhibitors can be preferred in patients who are on β -blockers and / or those who demonstrate inadequate hemodynamic response to dobutamine.	C	C
For decreasing pre- and afterload in acute cardiac failure, treatment with nitrates might be indicated.	B	B
If vasopressors are indicated, norepinephrine should be used as the only approved vasopressor.	C	A
Dopamine for prophylaxis or therapy of renal failure is obsolete and should be not used.	A	A
The protective effects of dopexamine for the hepato-splanchnic perfusion and the increase in creatinine clearance is not proven in cardiac surgical patients. The administration of dopexamine might be not recommended.	A	B
Levosimendan can be used for prevention and / or therapy of post-CPB LCOS, especially in high-risk patients with a reduced LVEF < 30%. A continuous infusion Dose of 0.1 μ g/kgKG/min with a length of infusion of 24 h is recommended. A bolus dose should not be given.	B	0

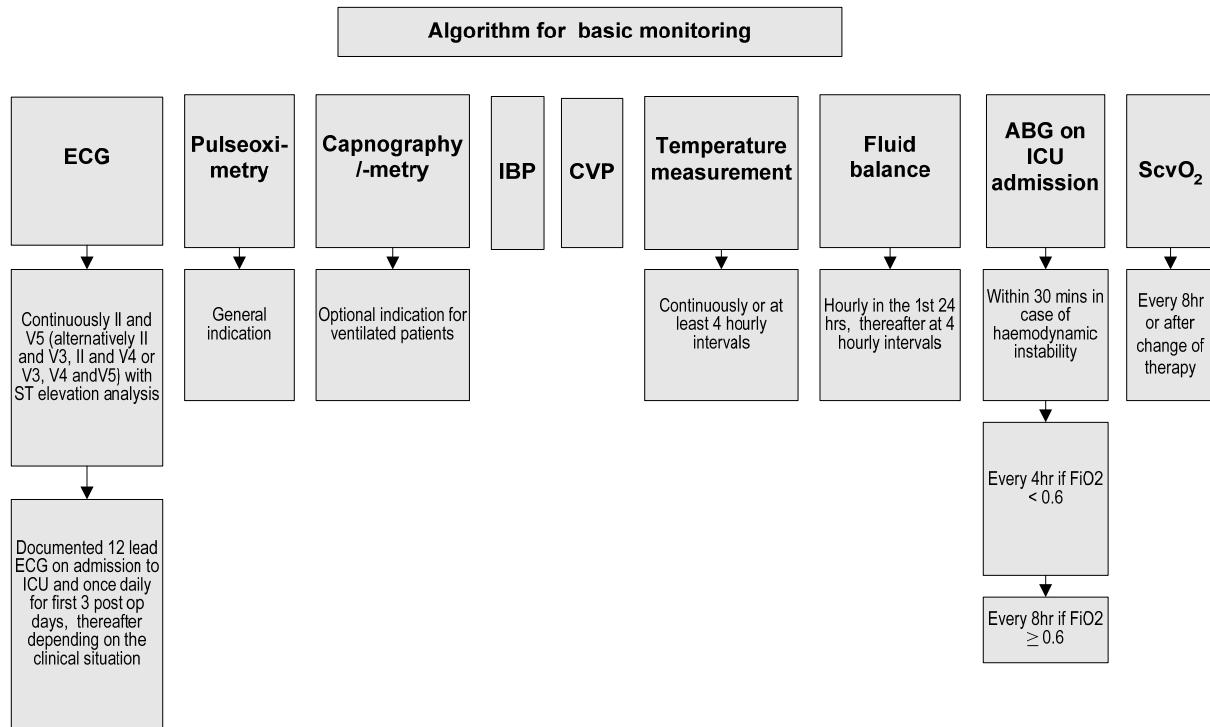
Table 8: Evidence based recommendations: right heart failure

Right heart failure	Evidence grade	Grade of recommendation
For therapy of right heart failure with adequate coronary perfusion pressure, dobutamine, PDE III inhibitor or nitroglyceride are first choice. With insufficient perfusion pressure the additional use of norepinephrine might be indicated. When this is insufficient, additional treatment with epinephrine might be considered.	D	B
Inhalative vasodilators (NO, prostanoids) might be indicated in therapy resistant right heart insufficiency.	D	B

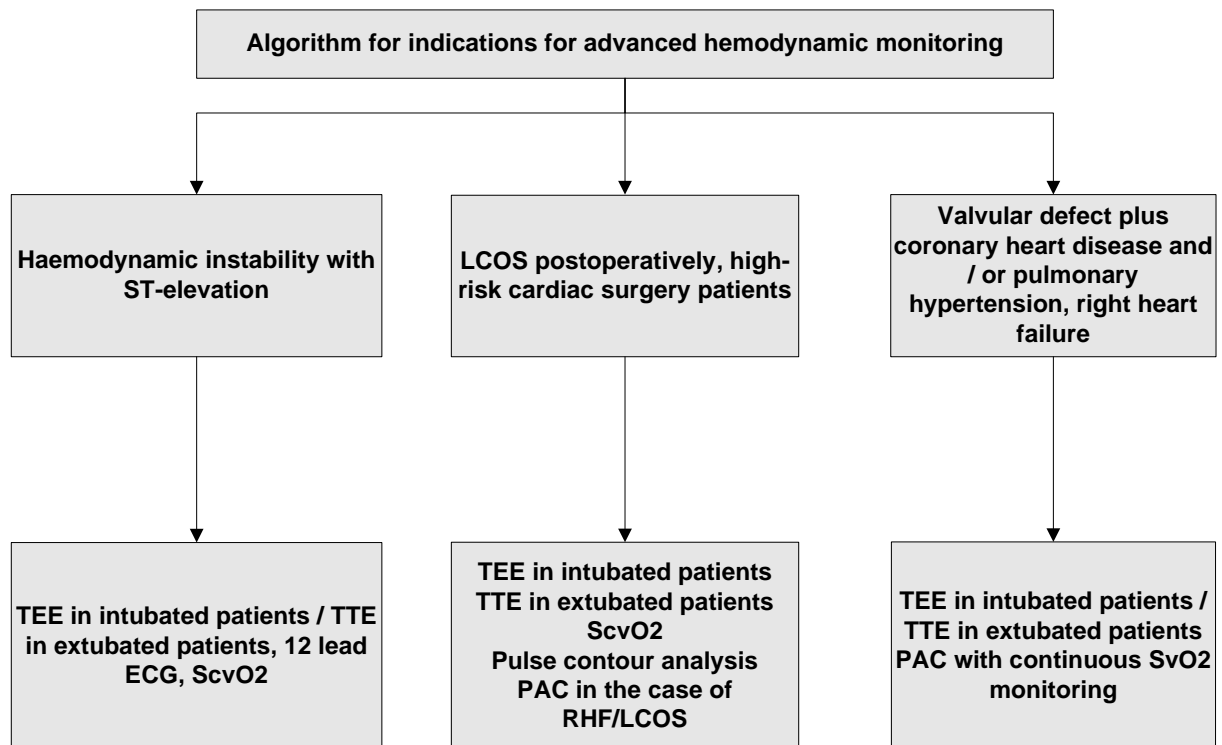
Table 9: Evidence based recommendations: Intraaortic balloon counterpulsation

IABP	Evidence grade	Grade of recommendation
The early use of IABP should be initiated when there is concomitant LCOS, an ischemia or an incomplete coronary revascularisation without the option of surgical intervention.	D	A

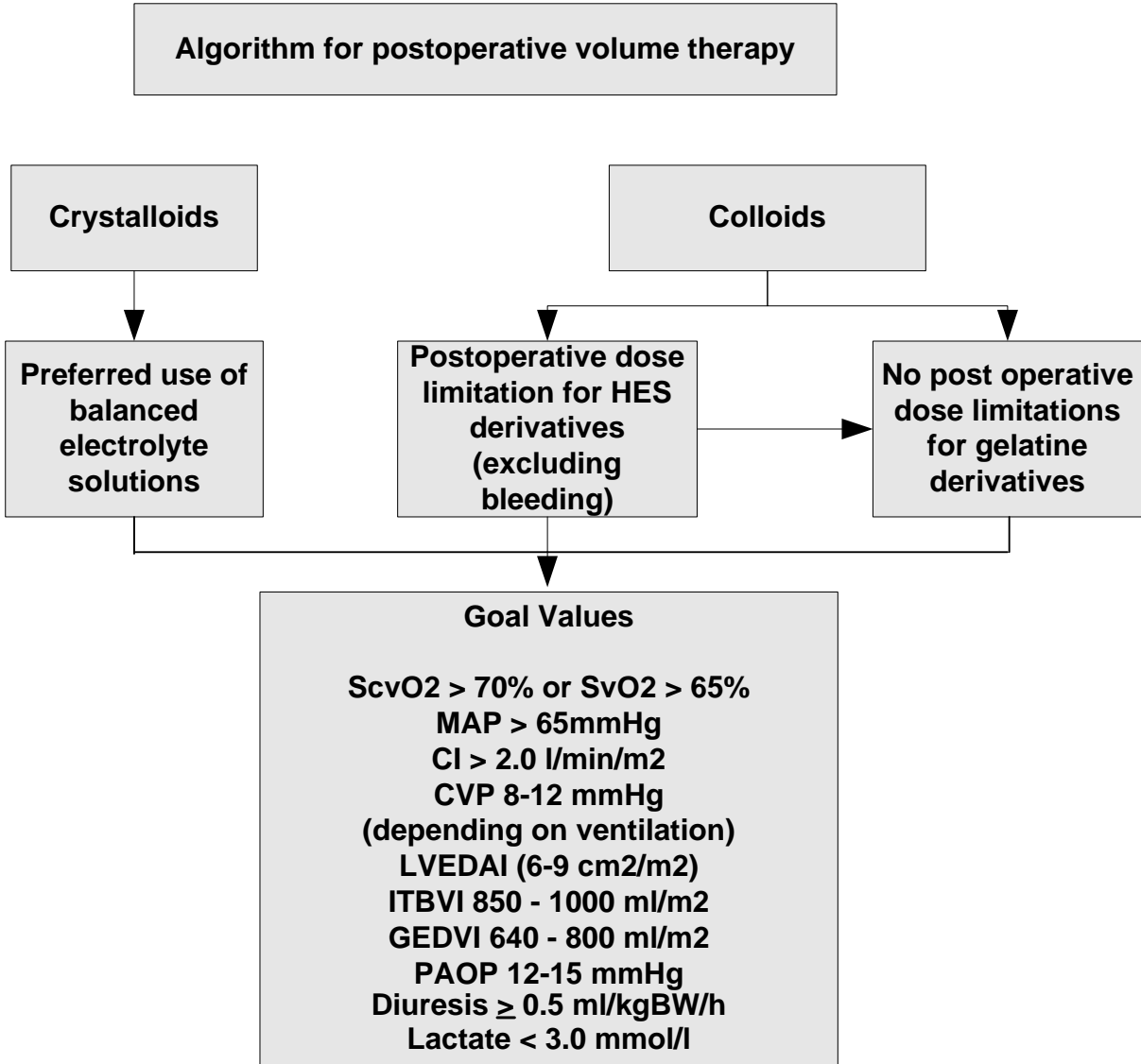
Scheme 1: Algorithm basic monitoring



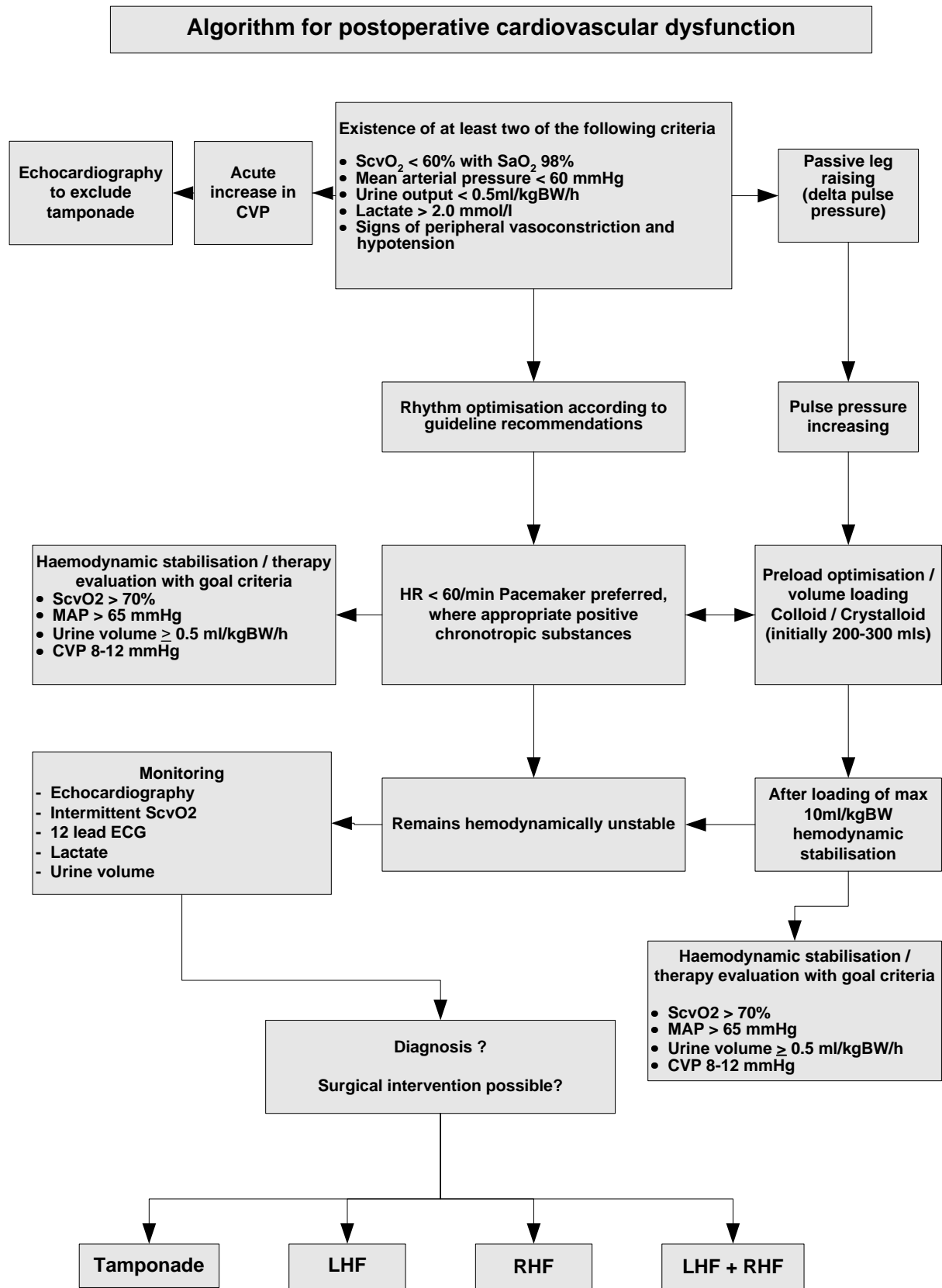
Scheme 2: Algorithm for indications of advanced hemodynamic monitoring



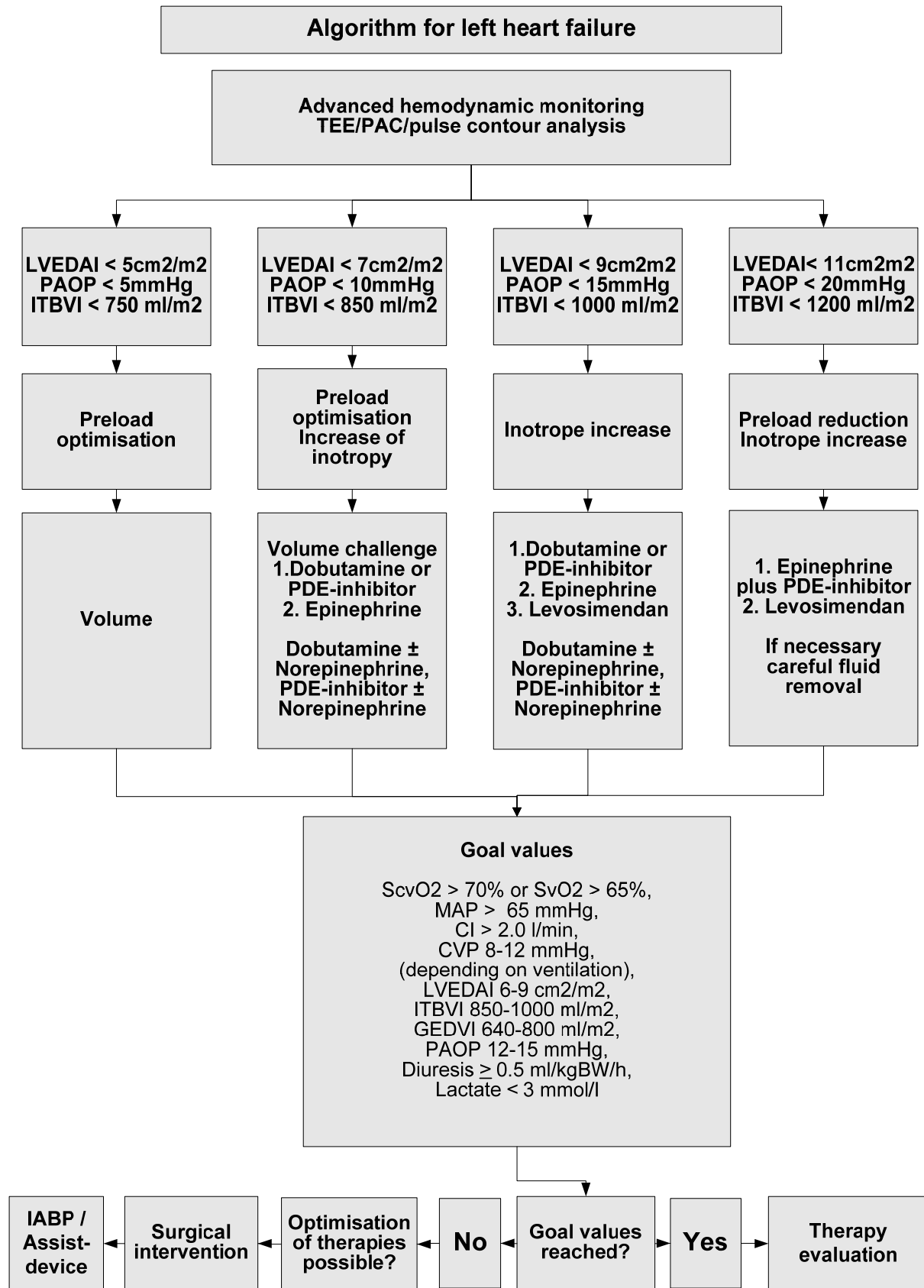
Scheme 3: Algorithm postoperative volume therapy



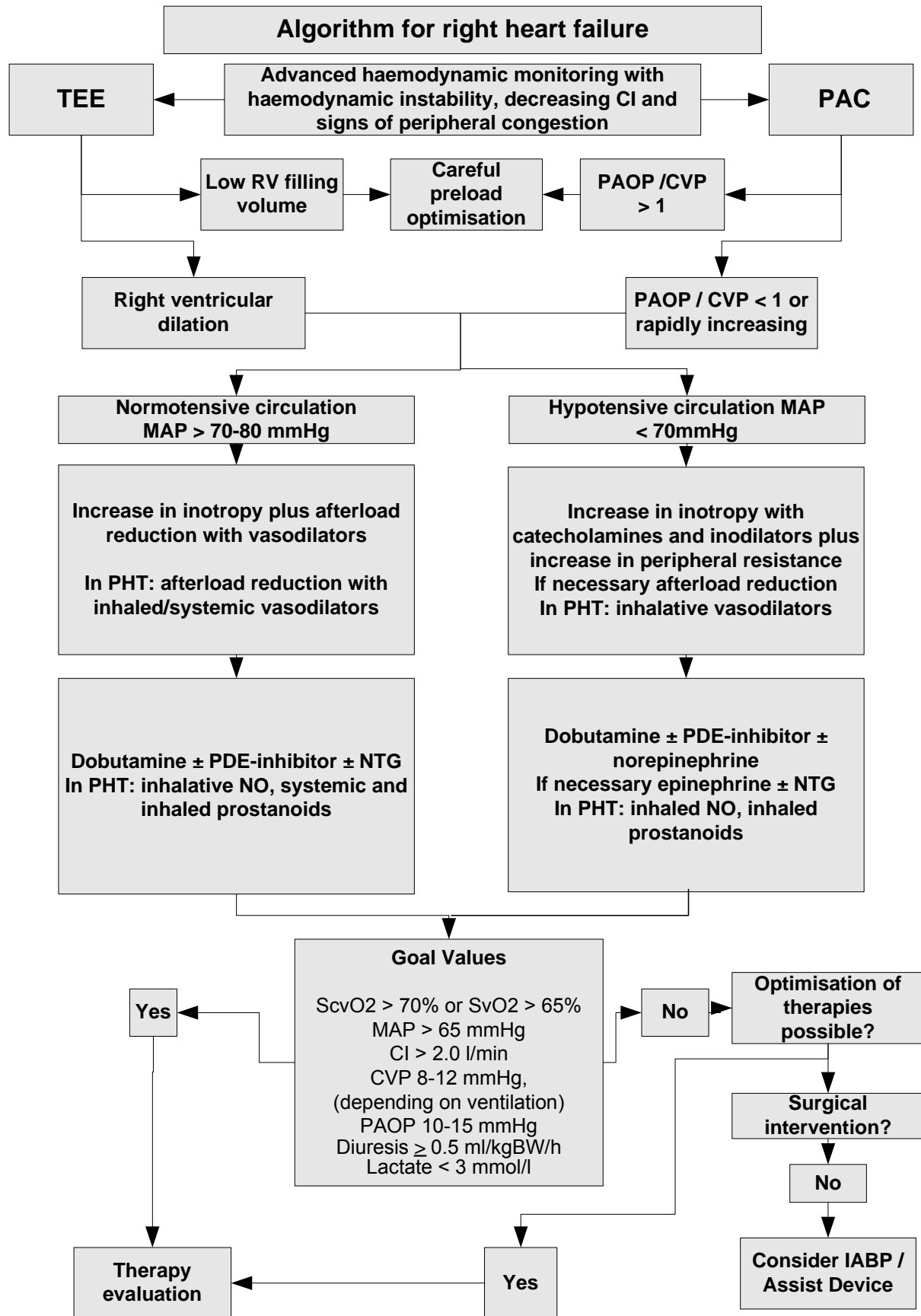
Scheme 4: Algorithm for post operative cardiocirculatory dysfunction



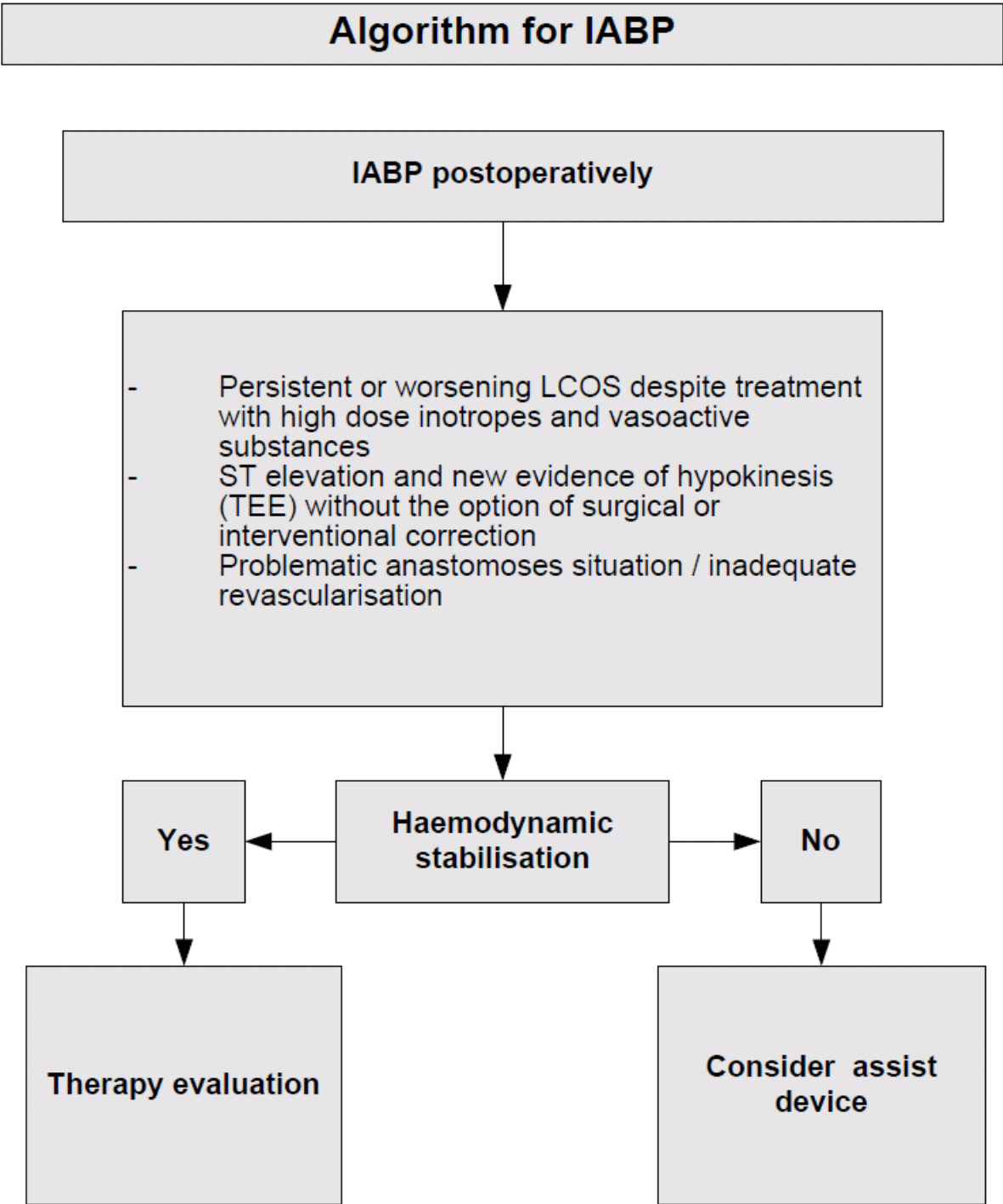
Scheme 5: Algorithm for left heart failure



Scheme 6: Algorithm for right heart failure



Scheme 7: Algorithm for IABP



S3-Leitlinie zur intensivmedizinischen Versorgung herzchirurgischer Patienten: Hämodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf-System

Zusammenfassung

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

Bislang existieren Leitlinien und Empfehlungen lediglich für Teilbereiche der kardiochirurgischen Intensivmedizin. So bestehen Leitlinien für den Einsatz des Pulmonalarterienkatheters und der transösophagealen Echokardiographie (TEE) 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 Evidenz-basierten S3-Konsensusleitlinie zu schaffen.

Ziel dieser Leitlinie ist eine Bewertung der verfügbaren Monitoring-Verfahren im Hinblick auf Indikationen, Vorgehen, Aussagen, Limitationen, Kontraindikationen und Risiken. Weiterhin die Differentialtherapie mit Volumenersatzlösungen versus positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen, die differenzierte Katecholamintherapie einschließlich der Inodilatoren und Kalzium-Sensitizer sowie die Einsatzkriterien der intra-aortalen 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

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 Campus Mitte und Campus Virchow Klinikum, Berlin, Deutschland

2 Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Universitätsklinikum Rostock, Deutschland

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

4 Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie,

Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf,
Hamburg, Deutschland

- 5 Klinik und Poliklinik für
Anästhesiologie und
Operative Intensivmedizin,
Universitätsklinikum
Münster, Deutschland
- 6 Klinik und Poliklinik für
Anästhesiologie und
Intensivtherapie,
Universitätsklinikum Carl
Gustav Carus, Dresden,
Deutschland
- 7 Klinik für Anästhesiologie,
Universität Lübeck,
Deutschland
- 8 Klinik für Herz- und
Thoraxchirurgie, Uniklinik
Köln, Deutschland
- 9 Abteilung für
Anästhesiologie, VU
Universitätsklinikum,
Amsterdam, Niederlande
- 10 Klinik für Thorax- und
Kardiovaskuläre Chirurgie,
Westdeutsches
Herzzentrum Essen,
Deutschland
- 11 Abteilung für Herz- und
Gefäßchirurgie,
Bundeswehrzentral Krankenhaus
Koblenz, Deutschland
- 12 Klinik für Herzchirurgie,
Universität Leipzig
Herzzentrum, Leipzig,
Deutschland
- 13 Klinik für Anästhesiologie,
Universitätsklinikum
Regensburg, Deutschland
- 14 Klinik für Anästhesiologie,
Ludwig-Maximilians-
Universität, München,
Deutschland

Einleitung

Das hämodynamische Monitoring und die Differentialtherapie 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-Kreislauftherapie festgelegt werden. Durch entsprechendes Monitoring und die Erfassung der hämodynamischen 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 Therapiekonzeptes.

Die bestehende Vielfalt an verfügbaren Monitoring-Verfahren und positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen verdeutlicht die Notwendigkeit der Entwicklung von Leitlinien in der kardiochirurgischen Intensivmedizin, wobei es nicht unbedingt 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 Monitoring-Verfahren im Hinblick auf Indikationen, Vorgehen, Aussagen, Limitationen, Kontraindikationen und Risiken. Weiterhin die Differentialtherapie mit Volumenersatzmitteln versus positiv inotropen und vasoaktiven Substanzen, die differenzierte Katecholamintherapie einschließlich der Inodilatoren und Kalzium-Sensitizer sowie die Einsatzkriterien der intra-aortalen 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 (nicht publizierte Studien, Erfahrung von Experten).

Die vorgestellten Empfehlungen der Leitlinie wurden nach zwei Konsensus-Konferenzen und einer Delphi-Runde unter der Moderation der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) verabschiedet. Im Konsensus-Verfahren wurden anhand des Evidenz-Grades und unter Berücksichtigung ethischer Aspekte, Patientenpräferenzen, der klinischen Relevanz, Abwägung des Nutzen/Risiko-Verhältnisses und der Anwendbarkeit Empfehlungsgrade für die Empfehlungen erarbeitet.

Auswahl der Literatur

In den Datenbanken Cochrane Library (Cochrane Reviews) und PubMed/Medline mit Hilfe eines Literaturverwaltungsprogramm sowie Embase zur gezielten Suche einzelner Arbeiten wurden für die oben genannten Themen in dem Recherchezeitraum 1990 bis Juli 2005 anhand von vorformulierten Schlüsselwörtern insgesamt 9.064 Arbeiten identifiziert.

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

Das erfolgte Aktualisierungsverfahren der Leitlinie beinhaltete 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 3.494 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 des Oxford Centre for Evidence-based Medicine (Levels of Evidence 2009, <http://www.cebm.net/index.aspx?o=1025>, Stand 12.2009).

Erläuterungen 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 Empfehlungs-Grad erhalten.

Empfehlungen, für welche ein hoher Evidenz-Grad vorliegt, können dagegen nach Konsensusfindung wegen ihrer geringfügigen klinischen Bedeutung einen niedrigeren Empfehlungs-Grad erhalten. Der Empfehlungsgrad leitete sich aus einer methodischen Vorgabe des Europarates 2001 ab [2].

- Empfehlungsgrad (GoR) – Beschreibung:
 - A – Sehr starke Empfehlung “soll“
 - B – Starke Empfehlung “sollte“
 - O – Offene Empfehlung “kann“

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 Abnahmefrequenz und Temperaturmessung umfassen.

Der Einsatz dieser Monitoring-Verfahren wird durch die Ergebnisse einer bundesweiten Befragung kardiochirurgischer Intensivstation unterstrichen [5]. In fast 100% der mit der Umfrage erfassten Kliniken gehörte das EKG, die Messung des zentralen Venendruckes (ZVD) und der arteriellen Sättigung, die Bilanzierung, die Temperaturmessung und die invasive Blutdruckmessung zum routinemäßigen Basismonitoring. Diese Monitoring-Verfahren können somit als Standard des Basismonitorings für kardiochirurgische Patienten in Deutschland betrachtet werden (Anhang 1: Tabelle 1, Abbildung 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 gewonnenen Erkenntnisse beeinflussten die Therapie in einer Bandbreite zwischen 10% und 52% der Fälle, vor allem 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 (Anhang 1: Tabelle 2, Abbildung 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 schwere 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 eine valide Alternative 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 Herzlungenmaschine bei intraoperativer Nutzung dieses Monitoring-Verfahrens 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 intra-aortalen Ballonpumpe (IABP) schließt die Nutzung dieser Technik aus. Die kontinuierliche Erfassung der Schlagvolumenvariation (SVV) und Pulsdruckvariation (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 (Anhang 1: Tabelle 3, Abbildung 2).

Pulmonalarterienkatheter

Basierend auf den veröffentlichten Leitlinien zur Indikationsstellung eines Pulmonalarterienkatheters (PAK) bei kardiochirurgischen Patienten [18], [19], [20], ist die Nutzung eines PAK bei der Diagnostik und Therapie eines Hoch-Risikopatienten 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 Monitoring-Verfahren ermöglicht der PAK die Messung der gemischt-venösen Sauerstoffsättigung. Das Monitoring der gemischtvenösen O₂-Sättigung (SvO₂) erlaubt eine globale Beurteilung des Gleichgewichtes zwischen individuellem Sauerstoffverbrauch und Sauerstoffangebot. Eine an der SvO₂ orientierte Therapie hat sich als relevant hinsichtlich der Morbidität und der Krankenhausverweildauer bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten erwiesen [23]. In wie weit ein Vorteil gegenüber der ScvO₂ als Parameter einer zielorientierten Therapie, wie schon in der Sepsis-Behandlung erfolgreich umgesetzt [24] besteht, lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht klar formulieren (Anhang 1: Tabelle 4, Abbildung 2).

Zielparameter der Herz-Kreislauftherapie

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 ist 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 Empfehlungs-Grad O, entsprechend den Kriterien des Oxford Centre for Evidenced-Based Medicine, empfohlen:

- ScvO₂ >70% oder SvO₂ >65%
- MAP (mittlerer arterieller Druck) >65 mmHg
- Cardiac Index >2,0 l/min/m²
- ZVD 8–12 mmHg (abhängig von der Beatmung)
- LV-EDAI 6–9 cm²/m²
- ITBVI (intrathorakaler Blutvolumenindex) 850–1000 ml/m²
- GEDVI (globaler enddiastolischer Volumenindex) 640–800 ml/m²
- PAOP 12–15 mmHg
- Diurese >0,5 ml/kgKG/h
- Laktat <3 mmol/l

Mit entscheidend 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, vor allem 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 Komplika-

tionen, 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%), HAES 450/0.7 (6%), Albumin 10% oder 20% vermieden werden [28]. Auch sollte die Verwendung von harnstoffvernetzten Gelatine-lösungen aufgrund des hohen Kalium- und Calciumgehaltes restriktiv erfolgen [29] (Anhang 1: Tabelle 5, Abbildung 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 koronaren Herzkrankheit (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:

- ScvO₂ <60 % bei SaO₂ 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 Rekapillarierungszeit 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 cardiopulmonalem Bypass gehören Vorhofflimmern, Sinustachykardien und Sinusbradykardien, ventrikuläre Arrhythmien mit ektopen Erregungszentren, ventrikuläre Tachykardien und AV-Blockierungen ersten, zweiten und dritten Grades [4].

Zur differenzierten Evidenz-basierten 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 Venendruckes 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 relevanten 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 Vorlasterrhöhung ausgeschlossen werden. Die positive oder negative hämodynamische Reaktion einer Volumengabe zur Vorlastoptimierung kann durch eine Autotransfusion anhand eines Anheben 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 Vorlasterrhöhung 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 ScvO₂ zur Beurteilung des Sauerstoffangebotes und des -verbrauches, eine Bestimmung der Laktatkonzentration sowie eine engmaschige Bilanzierung indiziert (Anhang 1: Tabelle 6, Abbildung 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 -Adrenorezeptoren-Anzahl 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 [39], [5] 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 erhöhte 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 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 O₂-Verbrauchs aufgrund der Reduktion des systolischen Ventrikelradius und ihrer ebenfalls cAMP-vermittelten direkten Wirkung auf den vaskulären Tonus mit der daraus resultierenden vasodilatierenden Komponente können sie singular 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 Kardiomyopathie, ischämische Kardiomyopathie oder fortgeschrittenen 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 peripherer Widerstand mit einem konsekutiv erniedrigten Herzzeitvolumen [40]. Wobei darauf zu verweisen ist, dass die Rezeptoraffinität des jeweiligen β -Blockers dabei eine entscheidende Rolle spielt [41].

Als eine Ergänzung zur Therapie mit positiv inotropen Substanzen kann bei Bestehen eines LCOS bei Hoch-Risiko-Patienten die Substanz Levosimendan eingesetzt werden. In klinischen Studien führte Levosimendan zu einer Verbesserung des Herz-Zeitvolumen und zu einer Abnahme der kardialen Füllungsdrücke 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 patientenindividuellen Situation.

Je nach Grad der Linksherzinsuffizienz und deren Auswirkungen auf den globalen und regionalen Kreislauf können orientierend 4 klinische Situationen resultieren (Anhang 1: Tabelle 7, Abbildung 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 Verschlussdruckes (PAOP) $< 5 \text{ mmHg}$ oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex $< 750 \text{ ml}/\text{m}^2$ 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 pulmonalarteriellen Verschlussdruckes (PAOP) $< 10 \text{ mmHg}$ oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex $< 850 \text{ ml}/\text{m}^2$ 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 $< 60 \text{ mmHg}$, oder eines PDE-III-Inhibitors, bei einem MAP $> 60 \text{ mmHg}$, zu empfehlen. Wichtig ist hierbei die ausreichende Volumengabe, da es bei einer Nachlastsenkung zu einem weiteren Abfall des Perfusionsdruckes 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 $> 9 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdruckes (PAOP) $> 15 \text{ mmHg}$ oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex $> 1000 \text{ ml}/\text{m}^2$ 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 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 hypervolämen Patient mit einer deutlich erhöhten Vorlast, mit einem linksventrikulären enddiastolischen Flächenindex $> 11 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, alternativ eines pulmonalarteriellen Verschlussdruckes (PAOP) $> 20 \text{ mmHg}$ oder eines intrathorakalen Blutvolumenindex $> 1200 \text{ ml}/\text{m}^2$, 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.

Nach Erreichen eines suffizienten arteriellen Mitteldrucks und einer hämodynamischen Stabilität kann die Senkung der Vor- beziehungsweise der Nachlast des Herzens in Erwägung gezogen werden. Die Modulation des peripheren Gesamtwiderstandes sollte in Hinsicht einer Arbeitsentlastung des Herzens, aber auch einer Aufrechterhaltung eines ausreichenden Perfusionsdruckes mit der Gabe von Vasodilatoren wie Nitroglycerin oder Natrium-

nitroprussid und von Vasopressoren wie Noradrenalin erfolgen.

Rechtsherzinsuffizienz

Bestehen klinisch 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 hämodynamischen 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 Druckes 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, bei Schwankungen des HZV, aber auch bei Änderung der Herzgröße treten jedoch 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 Pulmonalarteriendruck (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 Herzzeitvolumen (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 Auswurfraction 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 Auswurfraction erhöht. Umgekehrt sinkt die Auswurfraction bei Anstieg der rechtsventrikulären Nachlast. Die Auswurfraction 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 Widerstandes erfolgen, die myokardiale Sauerstoffzufuhr verbessert und der myokardiale Sauerstoffverbrauch gesenkt werden. Zusätzlich ist eine adäquate Vorlast sicherzustellen und der koronare 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 Phosphodiesterase-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 Blutdruckabfalls, 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 Phosphodiesterase-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 Vasodilatoren 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 systemischen Gefäßwiderstands (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 therapieresistenten Rechtsherzversagens im Rahmen eines Heilversuches nach Konsensmeinung 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 Konsensmeinung des Expertengremiums. Es werden analog zu den Empfehlungen drei hämodynamische Ausgangssituationen aufgeschlüsselt (Anhang 1: Tabelle 8, Abbildung 6):

- Im Falle 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 medikamentöse 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 Falle 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 bis 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, gegebenenfalls mit Nitroglycerin und/oder PDE-III-Hemmer, umgestellt werden.
Bei Bestehen eines pulmonalen Hypertonus und/oder eines therapieresistenten 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 Prostanoiden oder NO zum Einsatz kommen.

Intra-aortale Ballonpumpe

Die intra-aortale Gegenpulsation ist heute in der Herzchirurgie ein Routineverfahren der Kreislaufunterstützung bei Versagen der linksventrikulären Funktion.

Der Einsatz bei einem postoperativen Low-Cardiac-Output-Syndrom bzw. bei einem intra- oder postoperativen Myokardinfarkt nach aortokoronaren Bypassoperationen so wie nach Klappeneingriffen ist der klassische Indikationsbereich in der Herzchirurgie. Die 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 Koronarrevaskularisierung (Anhang 1: Tabelle 9, Abbildung 7).

Es wird aber darauf verwiesen, dass zum jetzigen Zeitpunkt keine Evidenz-basierten 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 einer steigenden Dosierung positiv inotroper Substanzen respektive eine inadäquate Reaktion auf eine Katecholamintherapie. Es bestehen nur unzureichende Kriterien in der Literatur, welche die Indikationen und den Zeitpunkt einer Implantation einer IABP 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 Evidenz-basierte Übersichtsarbeit [61], dass der Einsatz einer IABP das Langzeitüberleben von kardiochirurgischen Patienten verbessert.

Tabellen und Schemata

Die detaillierten Empfehlungen sind in Anhang 1 aufgeführt.

Anmerkungen

Die Langfassung der Leitlinie in deutscher Sprache ist unter <http://leitlinien.net/> verfügbar.

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 Falle neuer relevanter wissenschaftlicher Erkenntnisse, die eine Überarbeitung der Empfehlungen erforderlich machen, erfolgt eine unmittelbare Mitteilung.

Autorenschaft

Die Autoren sind Mitglieder der Arbeitsgruppe Hämodynamisches Monitoring und Herz- Kreislauf der DGTHG (Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Gefäß- und Herzchirurgie) und der DGAI (Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin). AWMF-Unterstützung durch Prof. I. Kopp, Institut für theoretische Medizin, Marburg.

Unabhängigkeit

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 potentielle 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.

Finanzierung der Leitlinienerstellung

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

Anhänge

Verfügbar unter

<http://www.egms.de/en/journals/gms/2010-8/000101.shtml>

1. GMS-GuidelinesCardiacSurgery-Tabellen-Abbildungen.pdf (450 KB)
Tabellen und Abbildungen

Literatur

1. Carl M, Alms A, Braun J, Dongas A, Erb J, Goetz A, Göpfert M, Gogarten W, Grosse J, Heller A, Heringlake M, Kastrup M, Kröner A, Loer S, Marggraf G, Markewitz A, Reuter M, Schmitt DV, Schirmer U, Wiesenack C, Zwissler B, Spies C; German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery; German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine. Die intensivmedizinische Versorgung herzchirurgischer Patienten: Hamodynamisches Monitoring und Herz-Kreislauf-Therapie S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefasschirurgie (DGTHG) und der Deutschen Gesellschaft für Anesthesiologie und Intensivmedizin (DGAI) [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.* 2007;55(2):130-48. DOI: 10.1055/s-2007-964939
2. Europarat. Entwicklung einer Methodik für die Ausarbeitung von Leitlinien für die optimale medizinische Praxis. *Z Arztl Fortbild Qualitätssich.* 2002;96:1-60.
3. Janssens U. Monitoring des herzkranken Intensivpatienten [Monitoring of the cardiovascular patients]. *Intensivmedizin und Notfallmedizin.* 2001;38(4):232-250. DOI: 10.1007/s003900170071
4. Pezzella AT, Ferraris VA, Lancey RA. Care of the adult cardiac surgery patient: part I. *Curr Probl Surg.* 2004;41(5):458-516. DOI: 10.1016/j.cpsurg.2004.03.001
5. Kastrup M, Markewitz A, Spies C, Carl M, Erb J, Grosse J, Schirmer U. Current practice of hemodynamic monitoring and vasopressor and inotropic therapy in post-operative cardiac surgery patients in Germany: results from a postal survey. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2007;51(3):347-58. DOI: 10.1111/j.1399-6576.2006.01190.x
6. Click RL, Abel MD, Schaff HV. Intraoperative transesophageal echocardiography: 5-year prospective review of impact on surgical management. *Mayo Clin Proc.* 2000;75(3):241-7. DOI: 10.4065/75.3.241
7. Couture P, Denault AY, McKenty S, Boudreault D, Plante F, Perron R, Babin D, Normandin L, Poirier N. Impact of routine use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery. *Can J Anaesth.* 2000;47(1):20-6. DOI: 10.1007/BF03020726

8. Michel-Cherqui M, Cedda A, Liu N, Schlumberger S, Szekely B, Brusset A, Bonnet V, Bachet J, Goudot B, Dreyfus G, Guilmet D, Fischler M. Assessment of systematic use of intraoperative transesophageal echocardiography during cardiac surgery in adults: a prospective study of 203 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2000;14(1):45-50. DOI: 10.1016/S1053-0770(00)90055-7
9. Lennon MJ, Gibbs NM, Weightman WM, Leber J, Ee HC, Yusoff IF. Transesophageal echocardiography-related gastrointestinal complications in cardiac surgical patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2005;19(2):141-5. DOI: 10.1053/j.jvca.2005.01.020
10. Piercy M, McNicol L, Dinh DT, Story DA, Smith JA. Major complications related to the use of transesophageal echocardiography in cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009;23(1):62-5. DOI: 10.1053/j.jvca.2008.09.014
11. O'Brien MM, Shroyer AL, Moritz TE, London MJ, Grunwald GK, Villanueva CB, Thottapurathu LG, MaWhinney S, Marshall G, McCarthy M Jr, Henderson WG, Sethi GK, Grover FL, Hammermeister KE; VA Cooperative Study Group on Processes, Structures, and Outcomes of Care in Cardiac Surgery. Relationship between processes of care and coronary bypass operative mortality and morbidity. *Med Care.* 2004;42(1):59-70. DOI: 10.1097/01.mlr.0000102295.08379.57
12. Felbinger TW, Reuter DA, Eitzschig HK, Moerstedt K, Goedje O, Goetz AE. Comparison of pulmonary arterial thermodilution and arterial pulse contour analysis: evaluation of a new algorithm. *J Clin Anesth.* 2002;14(4):296-301. DOI: 10.1016/S0952-8180(02)00363-X
13. Rodig G, Prasser C, Keyl C, Liebold A, Hobbahn J. Continuous cardiac output measurement: pulse contour analysis vs thermodilution technique in cardiac surgical patients. *Br J Anaesth.* 1999;82(4):525-30.
14. Zöllner C, Haller M, Weis M, Mörstedt K, Lamm P, Kilger E, Goetz AE. 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.* 2000;14(2):125-9. DOI: 10.1016/S1053-0770(00)90003-X
15. Gödje O, Höke K, Goetz AE, Felbinger TW, Reuter DA, Reichart B, Friedl R, Hannekum A, Pfeiffer UJ. Reliability of a new algorithm for continuous cardiac output determination by pulse-contour analysis during hemodynamic instability. *Crit Care Med.* 2002;30(1):52-8. DOI: 10.1097/00003246-200201000-00008
16. Rauch H, Müller M, Fleischer F, Bauer H, Martin E, Böttiger BW. Pulse contour analysis versus thermodilution in cardiac surgery patients. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2002;46(4):424-9. DOI: 10.1034/j.1399-6576.2002.460416.x
17. Sander M, von Heymann C, Foer A, von Dossow V, Grosse J, Dushe S, Konertz WF, Spies CD. Pulse contour analysis after normothermic cardiopulmonary bypass in cardiac surgery patients. *Crit Care.* 2005;9(6):R729-34. DOI: 10.1186/cc3903
18. American Society of Anesthesiologists Task Force on Pulmonary Artery Catheterization. Practice guidelines for pulmonary artery catheterization: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Pulmonary Artery Catheterization. *Anesthesiology.* 2003;99(4):988-1014. DOI: 10.1097/0000542-200310000-00036
19. Mueller HS, Chatterjee K, Davis KB, Fifer MA, Franklin C, Greenberg MA, Labovitz AJ, Shah PK, Tuman KJ, Weil MH, Weintraub WS. ACC expert consensus document. Present use of bedside right heart catheterization in patients with cardiac disease. American College of Cardiology. *J Am Coll Cardiol.* 1998;32(3):840-64. DOI: 10.1016/S0735-1097(98)00327-1
20. Pulmonary Artery Catheter Consensus conference: consensus statement. *Crit Care Med.* 1997;25(6):910-25.
21. Harvey S, Harrison DA, Singer M, Ashcroft J, Jones CM, Elbourne D, Brampton W, Williams D, Young D, Rowan K; PAC-Man study collaboration. Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet.* 2005;366(9484):472-7. DOI: 10.1016/S0140-6736(05)67061-4
22. Resano FG, Kapetanakis EI, Hill PC, Haile E, Corso PJ. Clinical outcomes of low-risk patients undergoing beating-heart surgery with or without pulmonary artery catheterization. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2006;20(3):300-6. DOI: 10.1053/j.jvca.2006.01.017
23. Pölonen P, Ruokonen E, Hippeläinen M, Pöyhönen M, Takala J. A prospective, randomized study of goal-oriented hemodynamic therapy in cardiac surgical patients. *Anesth Analg.* 2000;90(5):1052-9. DOI: 10.1097/00005339-200005000-00010
24. Rivers E, Nguyen B, Havstad S, Ressler J, Muzzin A, Knoblich B, Peterson E, Tomlanovich M; Early Goal-Directed Therapy Collaborative Group. Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med.* 2001;345(19):1368-77. DOI: 10.1056/NEJMoa010307
25. Pearse RM, Rhodes A, Grounds RM. Clinical review: how to optimize management of high-risk surgical patients. *Crit Care.* 2004;8(6):503-7. DOI: 10.1186/cc2922
26. Boldt J, Schöllhorn T, Münchbach J, Pabsdorf M. 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.* 2007;24(3):267-75. DOI: 10.1017/S0265021506001682
27. Boldt J, Suttner S, Brosch C, Lehmann A, Röhm K, Mengistu A. The influence of a balanced volume replacement concept on inflammation, endothelial activation, and kidney integrity in elderly cardiac surgery patients. *Intensive Care Med.* 2009;35(3):462-70. DOI: 10.1007/s00134-008-1287-1
28. Rioux JP, Lessard M, De Bortoli B, Roy P, Albert M, Verdant C, Madore F, Troyanov S. Pentastarch 10% (250 kDa/0.45) is an independent risk factor of acute kidney injury following cardiac surgery. *Crit Care Med.* 2009;37(4):1293-8. DOI: 10.1097/CCM.0b013e31819cc1a0
29. Ragaller MJ, Theilen H, Koch T. Volume replacement in critically ill patients with acute renal failure. *J Am Soc Nephrol.* 2001;12 (Suppl 17):S33-9.
30. Swan HJ, Ganz W, Forrester J, Marcus H, Diamond G, Chonette D. Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med.* 1970;283(9):447-51.
31. El-Banayosy A, Döring B, Körner MM, Posival H, Körtke H, Hartmann D, Körfer R. Neue Wege in der Therapie des postoperativen Low-output-Syndroms [New avenues in therapy of postoperative low output syndrome]. *Z Kardiol.* 1994;83 (Suppl 2):69-74.
32. Eagle KA, Guyton RA, Davidoff R, Edwards FH, Ewy GA, Gardner TJ, Hart JC, Herrmann HC, Hillis LD, Hutter AM Jr, Lytle BW, Marlow RA, Nugent WC, Orszulak TA, Antman EM, Smith SC Jr, Alpert JS, Anderson JL, Faxon DP, Fuster V, Gibbons RJ, Gregoratos G, Halperin JL, Hiratzka LF, Hunt SA, Jacobs AK, Ornato JP; American College of Cardiology; American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; American Society for Thoracic Surgery and the Society of Thoracic Surgeons. 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.* 2004;110(9):1168-76. DOI: 10.1161/01.CIR.0000138790.14877.7D

33. Task Force for Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2008 of European Society of Cardiology, Dickstein K, Cohen-Solal A, Filippatos G, McMurray JJ, Ponikowski P, Poole-Wilson PA, Strömberg A, van Veldhuisen DJ, Atar D, Hoes AW, Keren A, Mebazaa A, Nieminen M, Priori SG, Swedberg K; ESC Committee for Practice Guidelines, Vahanian A, Camm J, De Caterina R, Dean V, Dickstein K, Filippatos G, Funck-Brentano C, Hellemans I, Kristensen SD, McGregor K, Sechtem U, Silber S, Tendera M, Widimsky P, Zamorano JL. 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*. 2008 Oct;29(19):2388-442. DOI: 10.1093/eurheartj/ehn309
34. Fuster V, Rydén LE, Cannom DS, Crijns HJ, Curtis AB, Ellenbogen KA, Halperin JL, Le Heuzey JY, Kay GN, Lowe JE, Olsson SB, Prystowsky EN, Tamargo JL, Wann S; Task Force on Practice Guidelines, American College of Cardiology/American Heart Association; Committee for Practice Guidelines, European Society of Cardiology; European Heart Rhythm Association; Heart Rhythm Society. 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*. 2006;27(16):1979-2030. DOI: 10.1093/eurheartj/ehl176
35. Dunning J, Treasure T, Versteegh M, Nashef SA; EACTS Audit and Guidelines Committee. Guidelines on the prevention and management of de novo atrial fibrillation after cardiac and thoracic surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2006;30(6):852-72. DOI: 10.1016/j.ejcts.2006.09.003
36. Dunning J, Fabbri A, Kolh PH, Levine A, Lockowandt U, Mackay J, Pavie AJ, Strang T, Versteegh MI, Nashef SA; EACTS Clinical Guidelines Committee. Guideline for resuscitation in cardiac arrest after cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2009;36(1):3-28. DOI: 10.1016/j.ejcts.2009.01.033
37. Boulain T, Achard JM, Teboul JL, Richard C, Perrotin D, Ginies G. Changes in BP induced by passive leg raising predict response to fluid loading in critically ill patients. *Chest*. 2002;121(4):1245-52. DOI: 10.1378/chest.121.4.1245
38. Lafanechère A, Pène F, Goulenok C, Delahaye A, Mallet V, Choukroun G, Chiche JD, Mira JP, Cariou A. Changes in aortic blood flow induced by passive leg raising predict fluid responsiveness in critically ill patients. *Crit Care*. 2006;10(5):R132. DOI: 10.1186/cc5044
39. Bastien O, Vallet B; French Study Group AGIR. French multicentre survey on the use of inotropes after cardiac surgery. *Crit Care*. 2005;9(3):241-2. DOI: 10.1186/cc3482
40. Vroom MB. Pharmacologic management of acute heart failure: A review. *Seminars in Cardiothorac and Vascular Anesthesia* 1998; 2(3):191-203. DOI: 10.1177/108925329800200303
41. Metra M, Nodari S, D'Aloia A, Muneretto C, Robertson AD, Bristow MR, Dei Cas L. 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*. 2002;40(7):1248-58. DOI: 10.1016/S0735-1097(02)02134-4
42. Tasouli A, Papadopoulos K, Antoniou T, Kriaras I, Stavridis G, Degiannis D, Geroulanos S. 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*. 2007;32(4):629-33. DOI: 10.1016/j.ejcts.2007.07.010
43. Levin RL, Degrange MA, Porcile R, Salvagio F, Blanco N, Botbol AL, Tanus E, del Mazo CD. Superioridad del sensibilizante al calcio levosimendan comparado con dobutamina en el síndrome de bajo gasto cardiaco postoperatorio [The calcium sensitizer levosimendan gives superior results to dobutamine in postoperative low cardiac output syndrome]. *Rev Esp Cardiol*. 2008;61(5):471-9. DOI: 10.1016/S1885-5857(08)60160-7
44. De Hert SG, Lorsomradee S, vanden Eede H, Cromheecke S, Van der Linden PJ. A randomized trial evaluating different modalities of levosimendan administration in cardiac surgery patients with myocardial dysfunction. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2008;22(5):699-705. DOI: 10.1053/j.jvca.2008.02.019
45. Landoni G, Mizzi A, Biondi-Zoccai G, Bruno G, Bignami E, Corno L, Zambon M, Gerli C, Zangrillo A. Reducing mortality in cardiac surgery with levosimendan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2010;24(1):51-7. DOI: 10.1053/j.jvca.2009.05.031
46. Kaul TK, Fields BL. Postoperative acute refractory right ventricular failure: incidence, pathogenesis, management and prognosis. *Cardiovasc Surg*. 2000;8(1):1-9. DOI: 10.1016/S0967-2109(99)00089-7
47. Wagner F, Buz S. Die Behandlung der akuten pulmonalen Hypertonie [Treatment of acute pulmonary hypertension]. *Z Herz-Thorax-Gefäßchir*. 2002;16(3):118-130. DOI: 10.1007/s00398-002-0348-y
48. Zwissler B. Das akute Rechtsherzversagen Ätiologie – Pathophysiologie – Diagnostik – Therapie [Acute right heart failure. Etiology–pathophysiology–diagnosis–therapy]. *Anaesthesist*. 2000;49(9):788-808. DOI: 10.1007/s001010070052
49. Jenkins IR, Dolman J, O'Connor JP, Ansley DM. Amrinone versus dobutamine in cardiac surgical patients with severe pulmonary hypertension after cardiopulmonary bypass: a prospective, randomized double-blinded trial. *Anaesth Intensive Care*. 1997;25(3):245-9.
50. Hachenberg T, Möllhoff T, Holst D, Hammel D, Brüssel T. Cardiopulmonary effects of enoximone or dobutamine and nitroglycerin on mitral valve regurgitation and pulmonary venous hypertension. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1997;11(4):453-7. DOI: 10.1016/S1053-0770(97)90054-9
51. Lindberg L, Larsson A, Steen S, Olsson SG, Nordström L. Nitric oxide gives maximal response after coronary artery bypass surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 1994;8(2):182-7. DOI: 10.1016/1053-0770(94)90059-0
52. Fullerton DA, Jones SD, Jaggars J, Piedalue F, Grover FL, McIntyre RC Jr. Effective control of pulmonary vascular resistance with inhaled nitric oxide after cardiac operation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1996;111(4):753-62. DOI: 10.1016/S0022-5223(96)70335-5
53. Bender KA, Alexander JA, Enos JM, Skimming JW. Effects of inhaled nitric oxide in patients with hypoxemia and pulmonary hypertension after cardiac surgery. *Am J Crit Care*. 1997;6(2):127-31.
54. Theodoraki K, Rellia P, Thanopoulos A, Tsourelis L, Zarkalis D, Sfyarakis P, Antoniou T. Inhaled iloprost controls pulmonary hypertension after cardiopulmonary bypass. *Can J Anaesth*. 2002;49(9):963-7. DOI: 10.1007/BF03016884
55. Langer F, Wilhelm W, Tscholl D, Schramm R, Lausberg H, Wendler O, Schäfers HJ. Intraoperative inhalation of the long-acting prostacyclin analog iloprost for pulmonary hypertension. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;126(3):874-5. DOI: 10.1016/S0022-5223(03)00704-9

56. De Wet CJ, Affleck DG, Jacobsohn E, Avidan MS, Tymkew H, Hill LL, Zanaboni PB, Moazami N, Smith JR. 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.* 2004;127(4):1058-67. DOI: 10.1016/j.jtcvs.2003.11.035
57. Germann P, Braschi A, Della Rocca G, Dinh-Xuan AT, Falke K, Frostell C, Gustafsson LE, Hervé P, Jolliet P, Kaisers U, Litvan H, Macrae DJ, Maggiorini M, Marczin N, Mueller B, Payen D, Ranucci M, Schranz D, Zimmermann R, Ullrich R. Inhaled nitric oxide therapy in adults: European expert recommendations. *Intensive Care Med.* 2005;31(8):1029-41. DOI: 10.1007/s00134-005-2675-4
58. Möhnle P, Kilger E. Kreislaufunterstützung durch die intraaortale Ballongegenpulsation [Circulatory support by intra-aortic balloon counterpulsation]. *Anaesthesist.* 2002;51(8):687-701. DOI: 10.1007/s00101-002-0374-x
59. Samuels LE, Holmes EC, Thomas MP, Entwistle JC 3rd, Morris RJ, Narula J, Wechsler AS. Management of acute cardiac failure with mechanical assist: experience with the ABIOMED BVS 5000. *Ann Thorac Surg.* 2001;71(3 Suppl):S67-72. DOI: 10.1016/S0003-4975(00)02644-8
60. Hausmann H, Potapov EV, Koster A, Krabatsch T, Stein J, Yeter R, Kukucka M, Sodian R, Kuppe H, Hetzer R. Prognosis after the implantation of an intra-aortic balloon pump in cardiac surgery calculated with a new score. *Circulation.* 2002;106(12 Suppl 1):I203-6. DOI: 10.1161/01.cir.0000032909.33237.f8
61. Baskett RJ, Ghali WA, Maitland A, Hirsch GM. The intraaortic balloon pump in cardiac surgery. *Ann Thorac Surg.* 2002;74(4):1276-87. DOI: 10.1016/S0003-4975(02)03663-9

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. C. Spies
 Universitätskliniken für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Campus Charité Mitte und Campus Virchow-Klinikum, Charité - Universitätsmedizin Berlin, Charitéplatz 1, 10117 Berlin, Deutschland
 Claudia.spies@charite.de

Bitte zitieren als

Carl M, Alms A, Braun J, Dongas A, Erb J, Goetz A, Goepfert M, Gogarten W, Grosse J, Heller AR, Heringlake M, Kastrup M, Kroener A, Loer SA, Marggraf G, Markewitz A, Reuter D, Schmitt DV, Schirmer U, Wiesenack C, Zwissler B, Spies C. S3 guidelines for intensive care in cardiac surgery patients: hemodynamic monitoring and cardiocirculatory system. *GMS Ger Med Sci.* 2010;8:Doc12.
 DOI: 10.3205/000101, URN: urn:nbn:de:0183-0001014

Artikel online frei zugänglich unter

<http://www.egms.de/en/journals/gms/2010-8/000101.shtml>

Eingereicht: 27.04.2010

Veröffentlicht: 15.06.2010

Copyright

©2010 Carl et al. Dieser Artikel ist ein Open Access-Artikel und steht unter den Creative Commons Lizenzbedingungen (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.de>). Er darf vervielfältigt, verbreitet und öffentlich zugänglich gemacht werden, vorausgesetzt dass Autor und Quelle genannt werden.

Anhang 1: Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1: Evidenz-basierte Empfehlungen Basismonitoring	2
Tabelle 2: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Echokardiographie	3
Tabelle 3: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Transpulmonale Thermodilution und Pulskonturanalyse	3
Tabelle 4: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Pulmonalarterienkatheter	4
Tabelle 5: Evidenz-basierte Empfehlungen Volumentherapie	4
Tabelle 6: Evidenz-basierte Empfehlungen postoperative Kreislaufdysfunktion	5
Tabelle 7: Evidenz-basierte Empfehlungen Linksherzinsuffizienz	5
Tabelle 8: Evidenz-basierte Empfehlungen Rechtsherzinsuffizienz.....	6
Tabelle 9: Evidenz-basierte Empfehlungen IABP	6
Abbildung 1: Algorithmus Basismonitoring.....	7
Abbildung 2: Algorithmus Indikationen erweitertes hämodynamisches Monitoring.....	7
Abbildung 3: Algorithmus postoperative Volumentherapie.....	8
Abbildung 4: Algorithmus postoperative Kreislaufdysfunktion.....	9
Abbildung 5: Algorithmus Linksherzinsuffizienz	10
Abbildung 6: Algorithmus Rechtsherzversagen	11
Abbildung 7: Algorithmus IABP	12

Anhang 1: Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1: Evidenz-basierte Empfehlungen Basismonitoring

Evidenz-basierte Empfehlungen Basismonitoring	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (GoR)
Zur kontinuierlichen EKG-Überwachung sollen zur Arrhythmie- und Ischämiediagnostik die Ableitungen II und V5 oder 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	0
Bei Intensivpatienten wird ein 12-Kanal-EKG mit Dokumentation bei stationärer Aufnahme und im Verlauf der ersten drei postoperativen Tage des ITS-Aufenthaltes einmal täglich empfohlen. Ab dem 3. Tag einer Weiterbehandlung auf ITS erfolgt die Indikation nach der jeweiligen klinischen Situation.	D	0
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	0
Eine Temperaturmessung kann kontinuierlich erfolgen. Bei diskontinuierlicher Messmethodik wird mindestens ein 4-stündliches Intervall empfohlen.	D	0
Die Bilanzierung kann in den ersten 24 h in einem 1-stündlichen Intervall erfolgen, danach in Abhängigkeit des klinischen Zustandes des Patienten in 4-stündlichen Intervallen.	D	0
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 Stunden, sonst mindestens alle 8 Stunden, empfohlen.	D	B
Die ScvO ₂ bildet Verlaufsänderungen der SvO ₂ ausreichend gut ab und kann alternativ verwendet werden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass eine ScvO ₂ im Normbereich nicht für SvO ₂ -Normwerte beweisend ist.	C	0

Tabelle 2: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Echokardiographie

Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Echokardiographie	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (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 vor allem 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 Doppler-Methode 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

Tabelle 3: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Transpulmonale Thermodilution und Pulskonturanalyse

Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Transpulmonale Thermodilution und Pulskonturanalyse	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (GoR)
Die Pulskonturanalyse bei postoperativen kardi-chirurgischen Patienten (ACVB) zeigt eine gute Übereinstimmung zum Referenzverfahren der pulmonalarteriellen Thermodilution und kann zum erweiterten hämodynamischen Monitoring eingesetzt werden.	C	0
Die Messung des ITBV scheint bezüglich der Einschätzung der kardialen Vorlast der Messung des ZVD und des PAOP mittels PAK überlegen zu sein.	C	0

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	0
--	---	---

Tabelle 4: Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Pulmonalarterienkatheter

Evidenz-basierte Empfehlungen erweitertes hämodynamisches Monitoring Pulmonalarterienkatheter	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (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: <ul style="list-style-type: none"> - 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 Hoch-Risikopatienten mit komplexem Eingriff 	D	0

Abkürzung: LCOS=low cardiac output syndrome (Syndrom des niedrigen Herzminutenvolumens)

Tabelle 5: Evidenz-basierte Empfehlungen Volumentherapie

Evidenz-basierte Empfehlungen Volumentherapie	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (GoR)
Bei der Verwendung kristalloider Lösungen können balancierte Vollelektrolytlösungen bevorzugt werden.	D	0
Ein Vorteil für hypertone kristalloide Lösungen ist im Vergleich zu isotonen oder nährungsweise äquivalenten isotonen kristalloiden Lösungen nicht belegt.	A-	0
Bei der Wahl künstlicher Kolloide können bevorzugt HAES-Derivate mit einem mittleren MW von 130 KD (6%) oder succinylierte Gelatinepräparate verwendet werden.	D	0
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	0

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	0
--	---	---

Tabelle 6: Evidenz-basierte Empfehlungen postoperative Kreislaufdysfunktion

Evidenz-basierte Empfehlungen postoperative Kreislaufdysfunktion	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (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

Tabelle 7: Evidenz-basierte Empfehlungen Linksherzinsuffizienz

Evidenz-basierte Empfehlungen Linksherzinsuffizienz	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (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 patientenindividuellen Situation.	D	B
PDE-III-Hemmer sind bei Patienten mit bestehender β -Blockade und/oder einer inadäquaten hämodynamischen Reaktion auf eine Dobutamingabe zu bevorzugen.	C	0
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 hepato-splanchnikuläre Durchblutung und die Erhöhung der Kreatininclearance bei kardio-chirurgischen 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 µg/kgKG/min über 24 h. Auf eine Bolusgabe soll verzichtet werden. Aktuell keine Zulassung in Deutschland, daher GoR-Down-Grading.	B	0
--	---	---

Tabelle 8: Evidenz-basierte Empfehlungen Rechtsherzinsuffizienz

Evidenz-basierte Empfehlungen Rechtsherzinsuffizienz	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (GoR)
Zur Therapie einer Rechtsherzinsuffizienz ist bei adäquatem koronaren 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 Heilversuches in Erwägung gezogen werden.	D	B

Tabelle 9: Evidenz-basierte Empfehlungen IABP

Evidenz-basierte Empfehlungen IABP	Evidenz-Grad	Empfehlungs-Grad (GoR)
Bei bestehendem LCOS, einer Ischämie oder einer unvollständigen Koronarrevaskularisation und fehlender chirurgischer Korrekturmöglichkeit sollte der frühzeitige Einsatz einer IABP erfolgen.	D	A

Abbildung 1: Algorithmus Basismonitoring

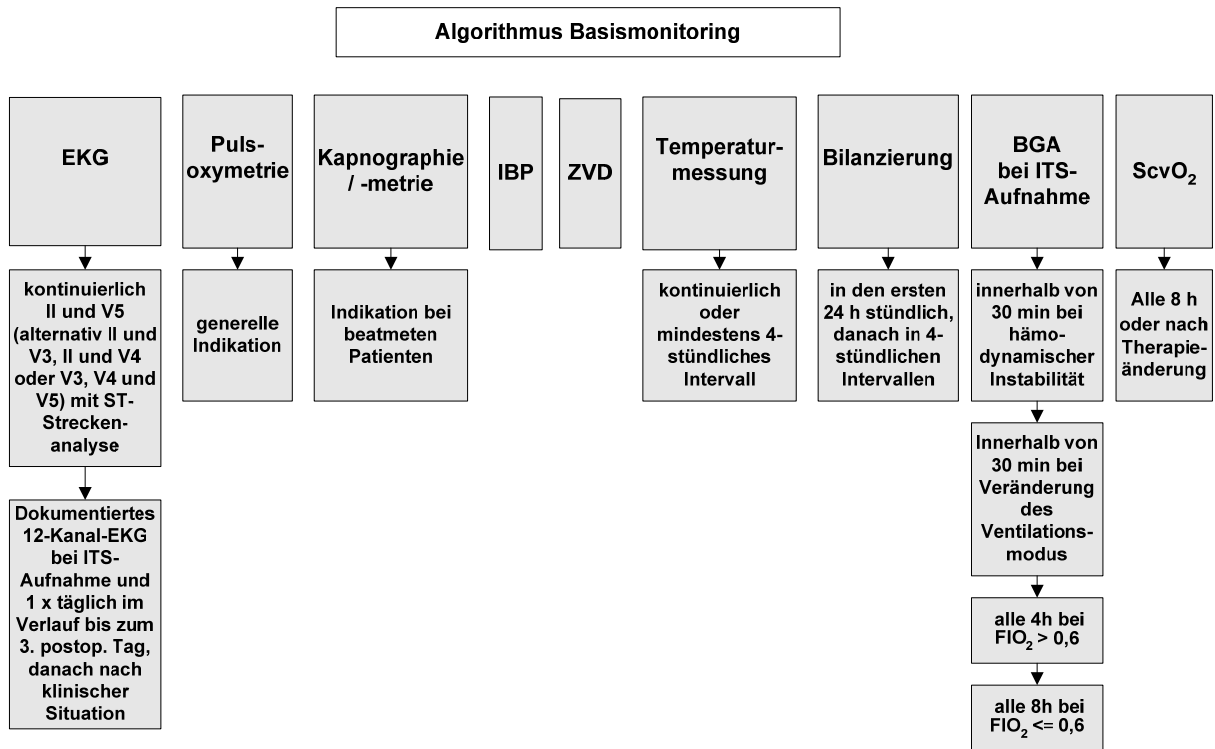


Abbildung 2: Algorithmus Indikationen erweitertes hämodynamisches Monitoring

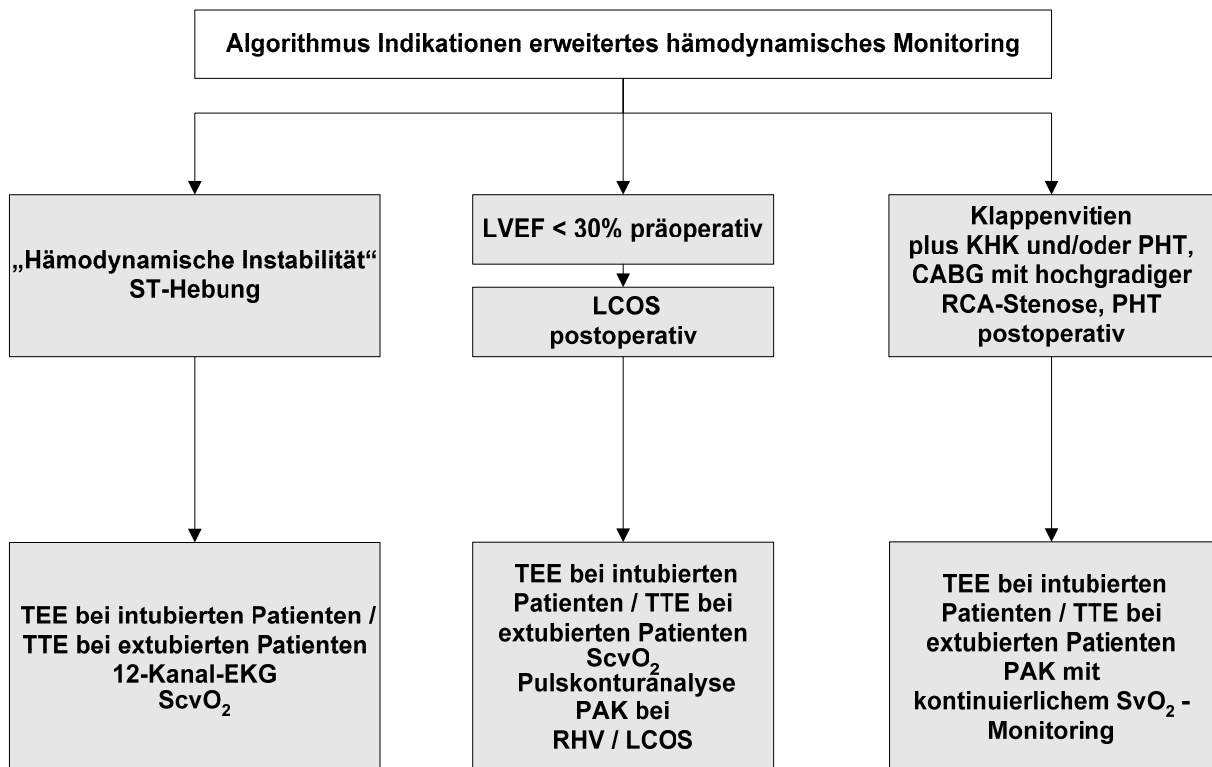


Abbildung 3: Algorithmus postoperative Volumentherapie

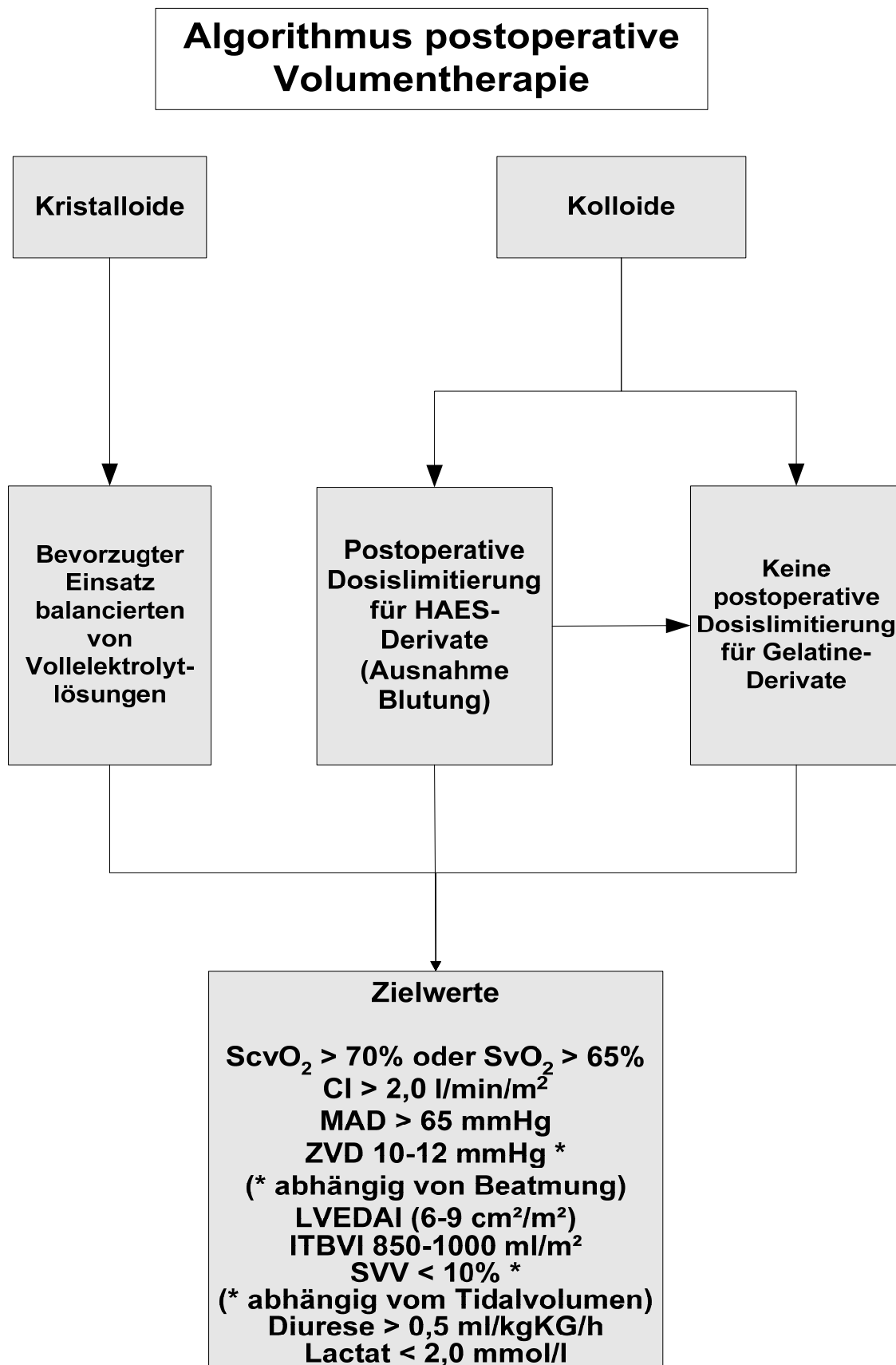


Abbildung 4: Algorithmus postoperative Kreislaufdysfunktion

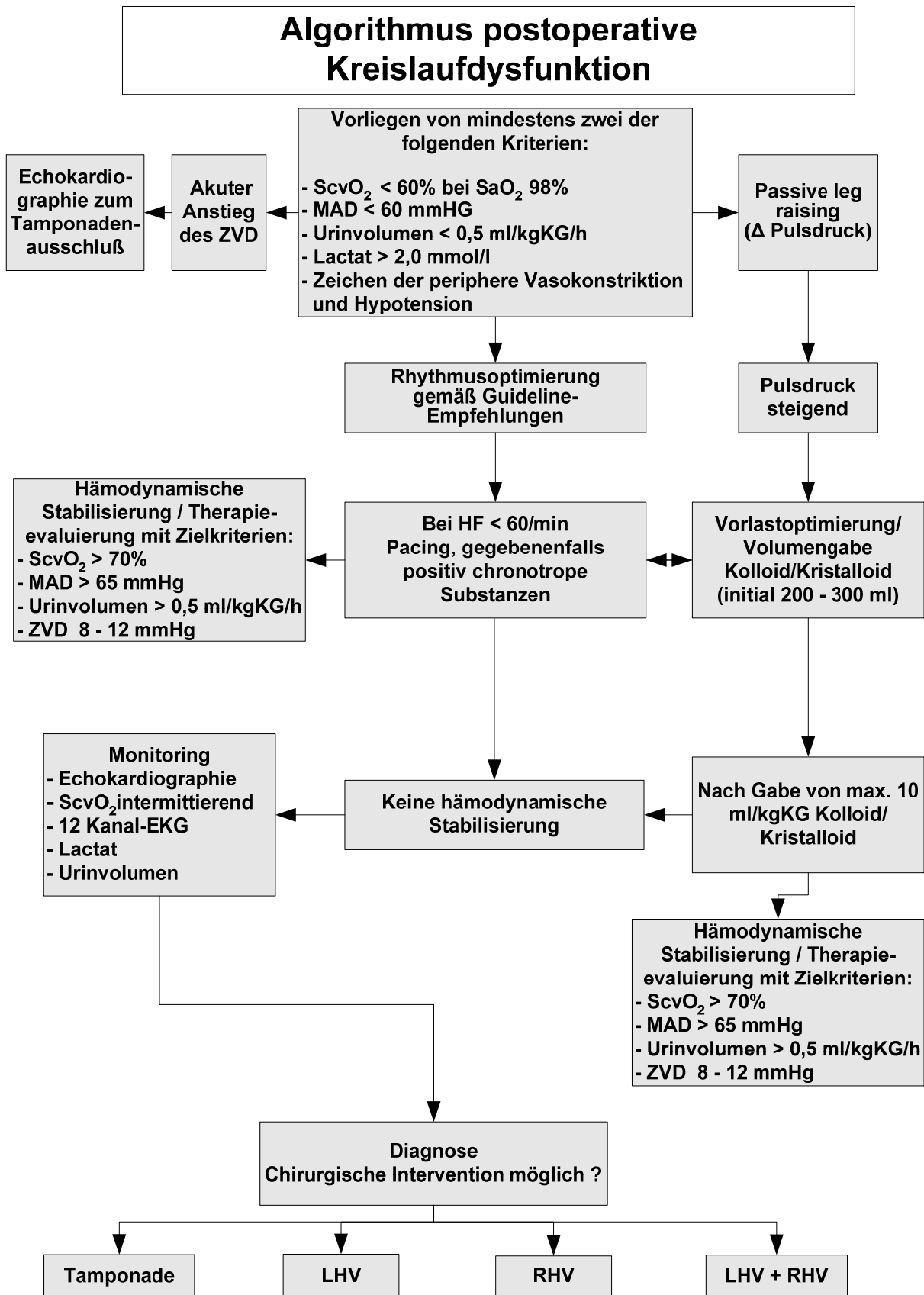


Abbildung 5: Algorithmus Linksherzinsuffizienz

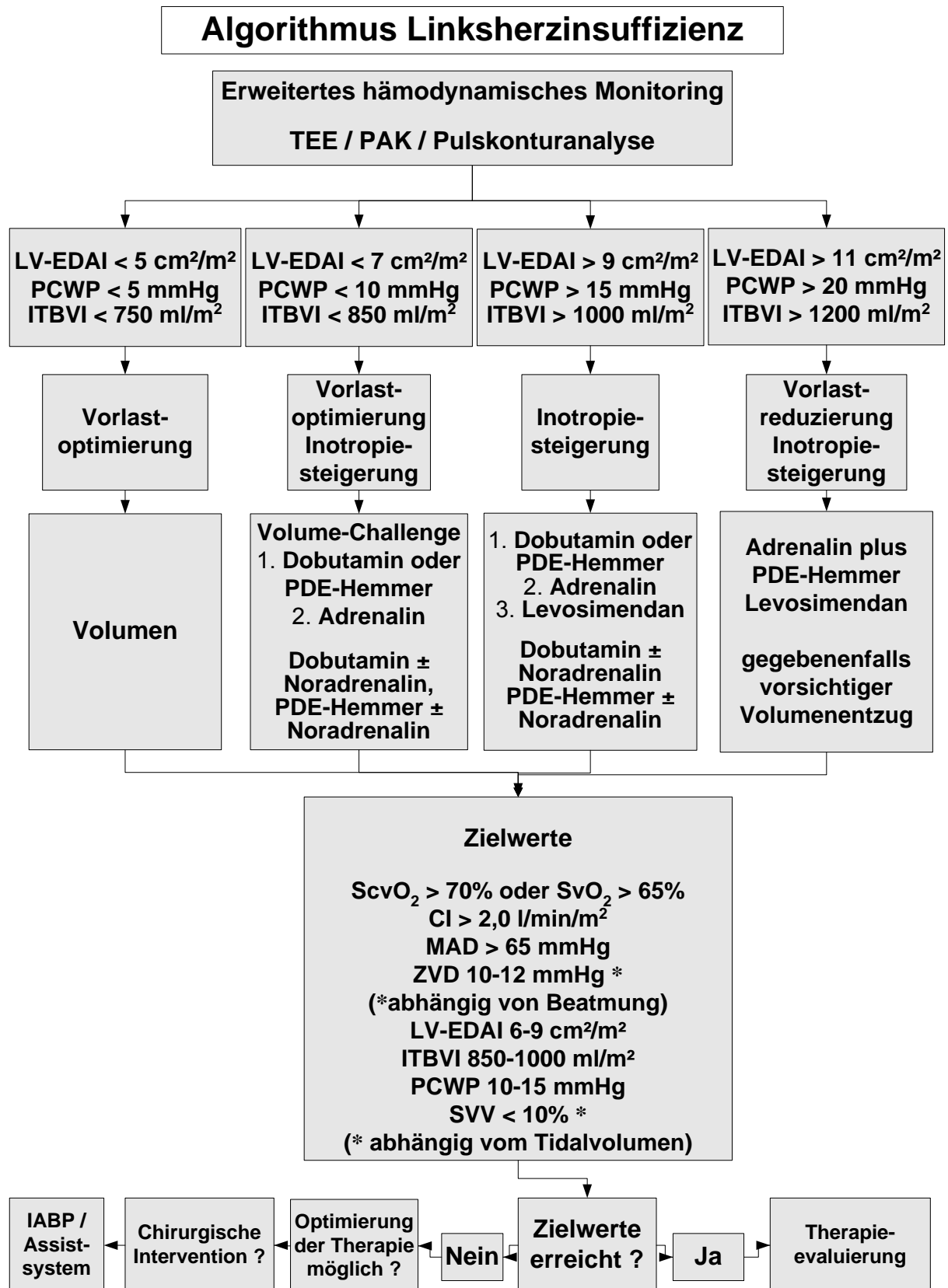


Abbildung 6: Algorithmus Rechtsherzversagen

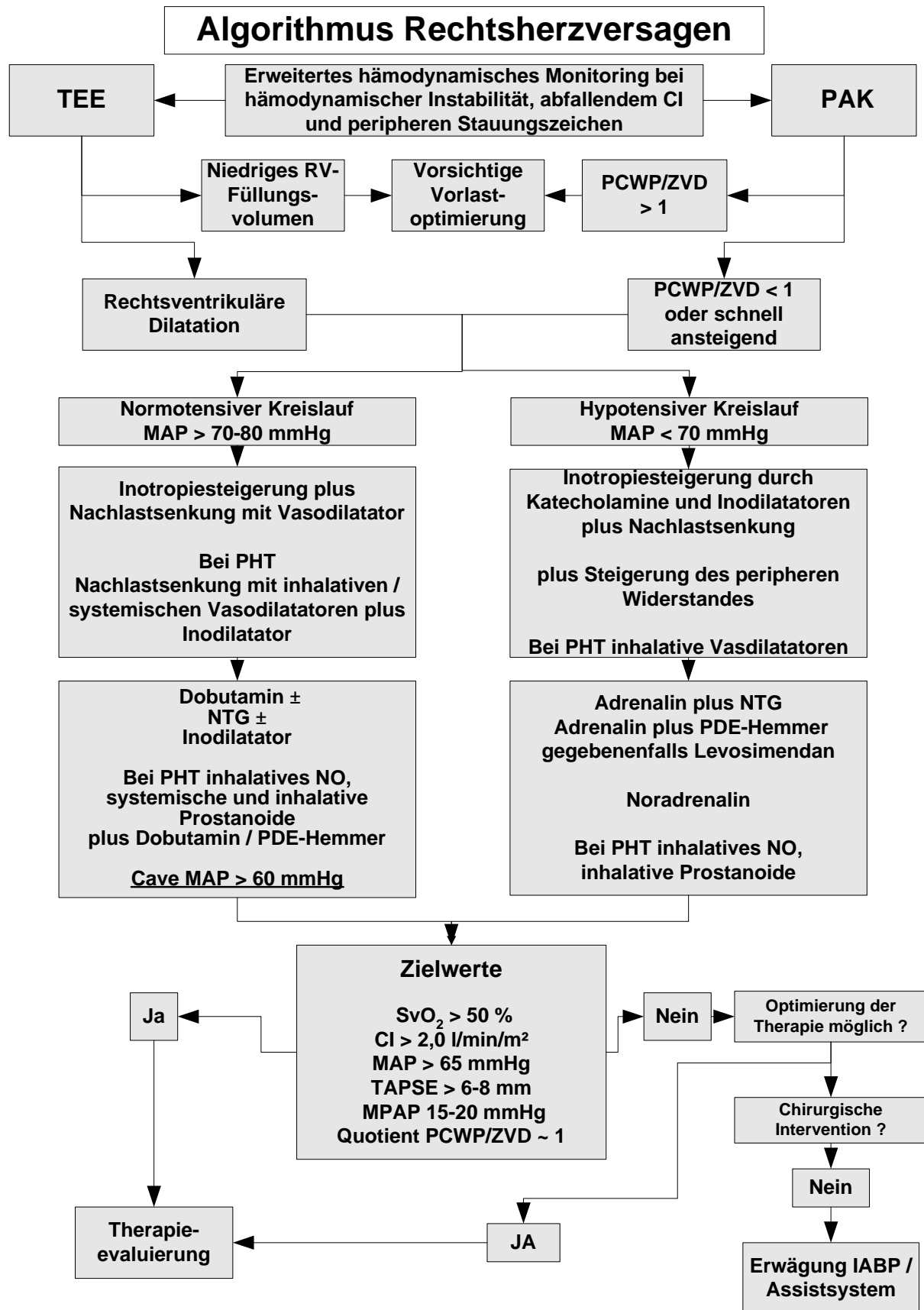


Abbildung 7: Algorithmus IABP

