

Anaesthetist 2006 · 55:713–730  
 DOI 10.1007/s00101-006-1037-0  
 Online publiziert: 31. Mai 2006  
 © Springer Medizin Verlag 2006

**Redaktion**

H.J. Bardenheuer · Heidelberg  
 H. Forst · Augsburg  
 R. Rossaint · Aachen  
 D. Spahn · Lausanne


**CME.springer.de – Zertifizierte  
 Fortbildung für Kliniker  
 und niedergelassene Ärzte**

Die CME-Teilnahme an diesem Fortbildungsbeitrag erfolgt online auf CME.springer.de und ist Bestandteil des Individualabonnements dieser Zeitschrift. Abonnenten können somit ohne zusätzliche Kosten teilnehmen.

Unabhängig von einem Zeitschriftenabonnement ermöglichen Ihnen CME-Tickets die Teilnahme an allen CME-Beiträgen auf CME.springer.de. Weitere Informationen zu CME-Tickets finden Sie auf CME.springer.de.

**Registrierung/Anmeldung**

Haben Sie sich bereits mit Ihrer Abonnementnummer bei CME.springer.de registriert? Dann genügt zur Anmeldung und Teilnahme die Angabe Ihrer persönlichen Zugangsdaten. Zur erstmaligen Registrierung folgen Sie bitte den Hinweisen auf CME.springer.de.

**Online teilnehmen  
 und 3 CME-Punkte sammeln**

Die CME-Teilnahme ist nur online möglich. Nach erfolgreicher Beantwortung von mindestens 7 der 10 CME-Fragen senden wir Ihnen umgehend eine Bestätigung der Teilnahme und der 3 CME-Punkte per E-Mail zu.

**Zertifizierte Qualität**

Diese Fortbildungseinheit ist zertifiziert von der Landesärztekammer Hessen und der Nordrheinischen Akademie für Ärztliche Fort- und Weiterbildung und damit auch für andere Ärztekammern anerkennungsfähig. Folgende Maßnahmen dienen der Qualitätssicherung aller Fortbildungseinheiten auf CME.springer.de: Langfristige Themenplanung durch erfahrene Herausgeber, renommierte Autoren, unabhängiger Begutachtungsprozess, Erstellung der CME-Fragen nach Empfehlung des IMPP mit Vorabtestung durch ein ausgewähltes Board von Fachärzten.

Für Fragen und Anmerkungen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung:

**Springer Medizin Verlag GmbH**  
**Fachzeitschriften Medizin/Psychologie**  
**CME-Helpdesk, Tiergartenstraße 17**  
**69121 Heidelberg**  
**E-Mail: cme@springer.com**  
**CME.springer.de**

E. E. C. de Waal<sup>1,3</sup> · L. de Rossi<sup>2</sup> · W. Buhre<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Division of Intensive Care Medicine, University Medical Center Utrecht

<sup>2</sup> Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum der RWTH Aachen

<sup>3</sup> Division of Perioperative and Emergency Medicine, Department of Anaesthesiology, University Medical Center Utrecht, Utrecht, The Netherlands

# Pulmonalarterienkatheter

## Einsatz in Anästhesie und Intensivmedizin

### Zusammenfassung

Der Einsatz des Pulmonalarterienkatheters (PAK) zur erweiterten hämodynamischen Überwachung wird in der konservativen und operativen Medizin in den letzten Jahren zunehmend kritisch hinterfragt. Seit Mitte der 90er-Jahre zeigte sich, dass der Einsatz des Pulmonalarterienkatheters die Letalität und Morbidität schwerstkranker Patienten nicht positiv beeinflusst. In einigen Untersuchungen fand sich sogar eine höhere Letalität bei Patienten, die mit dem PAK überwacht wurden. Daher wurden in den letzten Jahren randomisierte Untersuchungen mit adäquater Fallzahl bei Patienten mit ARDS, Herzinsuffizienz, Multiorganversagen und Hochrisikochirurgie durchgeführt. In der Mehrzahl der aktuellen Untersuchungen zeigte sich kein positiver Einfluss des Monitorings mit dem PAK auf das Überleben und die Komplikationsrate. Der vorliegende Beitrag gibt eine Übersicht über Messparameter der aktuellen PAK-Generation, mögliche Alternativen und die aktuelle Studienlage zum Einsatz des PAK in der Anästhesie und Intensivmedizin

### Schlüsselwörter

Pulmonalarterienkatheter · Thermodilutionstechnik · Herzzeitvolumen · Pulmonale Drücke · Hämodynamische Überwachung

## Pulmonary artery catheter in anaesthesiology and intensive care medicine

### Abstract

The indication for the use of the pulmonary artery catheter (PAC) in high-risk patients is still a matter of discussion. Observational studies suggested that the use of the PAC did not result in decreased mortality but may even lead to increased mortality and morbidity. Therefore, a number of randomized controlled trials have been performed throughout recent years in patients suffering from sepsis/ARDS, congestive heart failure, multi-organ failure and those undergoing high-risk non-cardiac surgery. The majority of recent randomized studies failed to demonstrate any benefit of the PAC with respect to mortality and morbidity. However, the use of the PAC was also regularly not associated with an increase in morbidity and/or mortality. This review gives an overview of measurement parameters obtained by the current generation of PACs, alternatives to the PAC and recent studies on the use of the PAC in clinical practice.

### Keywords

Pulmonary artery catheter · Thermodilution · Cardiac output · Pulmonary artery pressure · Haemodynamic monitoring

## Lernziel

**Kaum ein anderes Monitoringverfahren wurde in den letzten Jahren so ausführlich und kontrovers diskutiert wie der Einsatz des Pulmonalarterienkatheters (PAK) in der perioperativen und konservativen Medizin [20]. Verantwortlich für diese Diskussion ist eine Reihe von neuen randomisierten Untersuchungen und Metaanalysen [21, 30, 38, 39, 42, 43], in denen der Einfluss der Verwendung des PAK auf die Morbidität und Letalität von schwerstkranken Patienten untersucht wurde. Auch nach mehr als 30 Jahren klinischem Einsatz des PAK und mehr als 1,5 Mio. Anwendungen/Jahr bleiben noch offene Fragen zu Indikationen, Zielparametern und Komplikationen, die mit dem PAK verbunden sind [34]. So finden sich in aktuellen Originalien und Übersichtsarbeiten eine Reihe unterschiedlicher und z. T. gegensätzlicher Standpunkte, die jedoch häufig nicht evidenzbasiert sind, sondern auf Expertenmeinung oder nicht randomisierten Untersuchungen mit kleiner Fallzahl basieren. In dieser Übersicht geben wir eine aktuelle Standortbestimmung zum Einsatz des PAK in der Therapie kritisch kranker Patienten. Nach Lektüre dieses Beitrags ist der Leser in der Lage, die Wertigkeit der Messwerte abzuschätzen, ist über alternative Techniken und Methoden informiert und kennt die momentane Indikationsstellung zum Einsatz des PAK in der klinischen Routine.**

## Historie und gegenwärtiger Einsatz

Der PAK wurde 1970 von Swan und Ganz in die klinische Praxis eingeführt [47] und wurde zunächst vorwiegend bei kardiologischen Patienten verwendet, der Einsatz wurde aber schon nach kurzer Zeit auf den Bereich der Anästhesie und Intensivmedizin ausgeweitet. Der PAK war das erste bettseitig verfügbare Monitoringverfahren, welches die Bestimmung des Herzzeitvolumens (HZV), die Messung der Drücke im kleinen Kreislauf ( $PAP_{\text{sys}}$ ,  $PAP_{\text{diast}}$ ,  $PAP_{\text{mittel}}$ ) und des pulmonalkapillären Verschlussdruckes (PAOP) ermöglichte. Mit dem PAK kann die gemischt-venöse Sättigung ( $S_vO_2$ ) kontinuierlich, mittels fiberoptischer Messung, oder diskontinuierlich mit Blutgasanalysegeräten bestimmt werden. Aufgrund der bettseitigen Verfügbarkeit der kardiozirkulatorischen Messwerte gewann der Einsatz des Katheters in der konservativen und perioperativen Intensivmedizin in den 70er- und 80er-Jahren eine zunehmende Popularität.

Im Jahr 1996 veröffentlichten Connors et al. eine multizentrische Kohortenstudie, in der sie zeigten, dass der Einsatz des PAK bei einer heterogenen Patientenpopulation nicht zu einer Verbesserung von Morbidität und Letalität führte, sondern die Letalität in der mit einem PAK überwachten Patientengruppe sogar erhöht war ([12], **Abb. 1**). Diese Studie führte zu einer erneuten Diskussion über Nutzen und Risiko des PAK in unterschiedlichen Patientengruppen. In den letzten Jahren ist eine Reihe von randomisierten, klinischen Untersuchungen mit ausreichender Patientenzahl bei verschiedenen Patientengruppen durchgeführt worden, in denen der Einfluss des PAK auf die Letalität und Morbidität untersucht wurde [21, 30, 39, 42]. Die Beurteilung des Nutzens des PAK ist allerdings dadurch erschwert, dass ein Messverfahren in aller Regel mit einer spezifischen Therapie verknüpft ist und damit nicht nur die Qualität des Überwachungsverfahrens per se, sondern auch der therapeutische Ansatz für den Therapieerfolg entscheidend ist. Es existiert jedoch kein allgemein akzeptiertes Therapiekonzept, für das die Kenntnisse der mit dem PAK ermittelten Messwerte von elementarer Bedeutung sind.

In den aktuellen Richtlinien der **American Society of Anesthesiology** wird der Einsatz des PAK bei einer Reihe von Krankheitsbildern empfohlen [1]. Dazu gehören v. a. Krankheitsbilder, bei denen es zu einer erheblichen Beeinträchtigung der kardialen Funktion kommt, wie beispielsweise beim kardiogenen Schock im Gefolge des akuten Myokardinfarktes, oder bei chirurgischen Eingriffen bei Patienten mit schwer eingeschränkter kardialer Funktion. Die der Empfehlung zugrunde liegende Evidenz ist allerdings nicht durch randomisierte klinische Studien, sondern beinahe ausnahmslos durch Einzelfallberichte, nicht kontrollierte Studien, Untersuchungen mit zu kleiner Fallzahl und Experten-

Mit dem PAK können das HZV, die Drücke im kleinen Kreislauf und die gemischt-venöse Sättigung bestimmt werden

### ► American Society of Anesthesiology

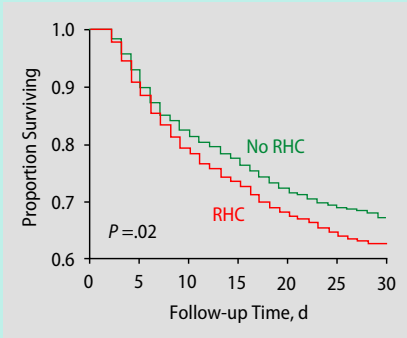


Abb. 1 ▲ Einfluss der Rechtsherzkatheterisierung auf das Überleben in der intensivmedizinischen Überwachung (nach [12]); RHC/No RHC mit/ohne Rechtsherzkatheterisierung

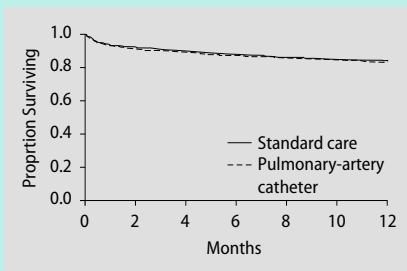


Abb. 3 ◀ Einfluss des PAK auf die Letalität bei chirurgischen Hochrisikopatienten. (Nach [42])

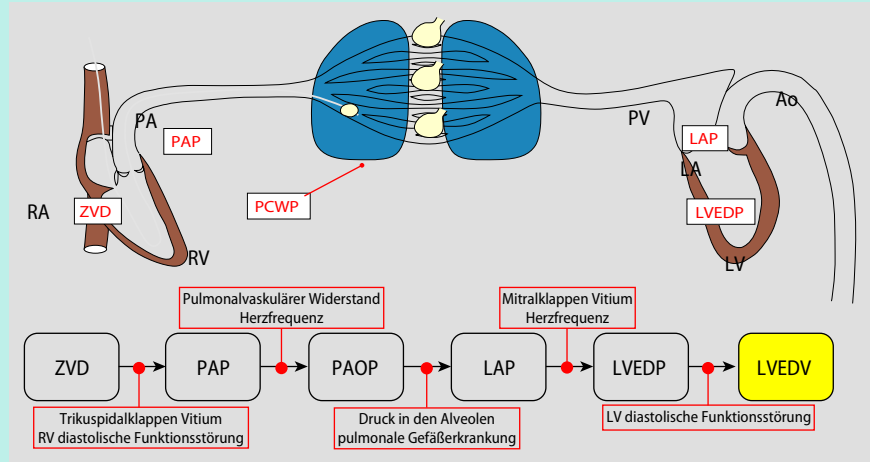


Abb. 2 ▲ Darstellung der die Bestimmung des ZVD und PAOP beeinflussenden Faktoren

meinung abgesichert (■ Tabelle 1). Aufgrund dieser Unklarheit wird zunehmend vom Gebrauch des PAK in der klinischen Routine abgesehen. Stattdessen werden die Risiken des Einsatzes des PAK in den Vordergrund gestellt. Ziel dieser Übersicht ist es, deutlich zu machen, bei welchen Patientengruppen der Einsatz des PAK die Morbidität und Letalität nicht beeinflusst, bei welchen Patientengruppen möglicherweise ein Nutzen oder Schaden entsteht und ob Therapiekonzepte vorliegen, die den Einsatz des PAK als sinnvoll erscheinen lassen. Darüber hinaus wurden in den letzten Jahren vermehrt alternative, weniger invasive Verfahren zur Bestimmung des HZV und zur Abschätzung der kardialen Vorlast in die Klinik eingeführt. Dazu gehören die transpulmonale Indikatordilution [8, 9, 23], der ösophageale Doppler [46] und die transösophageale Echokardiographie [23]. Die Bedeutung der einzelnen Verfahren wird in Zusammenhang mit den Messgrößen des PAK dargestellt, und mögliche Alternativen zum Einsatz des PAK werden vorgestellt.

### Nutzen und Risiken

In den Vereinigten Staaten werden pro Jahr etwa 5 Mill. zentralvenöse Katheter und 1 Mill. PAK eingesetzt. Komplikationen des PAK können bei der Punktion, während des Einschwemmens in die pulmonale Strombahn und während der Verweildauer in der Pulmonalarterie auftreten. Eine unlängst publizierte „Closed Claims Analyse“ der American Society of Anesthesiologists (ASA) [16], bei der versicherungsrechtlich relevante Komplikationen der zentralvenösen Punktion und des Einbringens von zentralvenösen Kathetern untersucht wurden, zeigte, dass die Anlage eines zentralvenösen oder pulmonalarteriellen Katheters mit einem signifikanten Morbiditäts- und Letalitätsrisiko verbunden ist [16]. Zu den relevanten Komplikationen der zentralvenösen Punktion gehören die Katheter- und Luftembolie, Hämato- und Pneumothorax und die versehentliche arterielle Punktion. Seltene Komplikationen sind die Verletzungen umliegender Strukturen wie des Ductus thoracicus, des N. phrenicus und des Plexus brachialis. Während des Einschwemmens des Katheters in die pulmonale Strombahn treten bei etwa 35% der Patienten während der Passage von rechtem Vorhof und rechter Herzkammer transiente Arrhythmien auf, die allerdings nur selten behandlungsbedürftig sind (■ Tabelle 2, 3).

Derzeit wird zunehmend vom Gebrauch des PAK in der klinischen Routine abgesehen

In den letzten Jahren wurden vermehrt alternative, weniger invasive Verfahren zur Bestimmung des HZV eingeführt

Relevante Komplikationen der zentralvenösen Punktion sind die Katheter- und Luftembolie, Hämato- und Pneumothorax und die versehentliche arterielle Punktion

Tabelle 1

### Pulmonary Artery Catheter Consensus Conference 1997: Consensus Statement – „Does management with pulmonary artery catheters improve patient outcomes?“

Indikation	Antwort	Grad der Empfehlung
Myokardinfarkt mit	• Hypotonie/kardiogenem Schock	Ja E
	• Mechanischer Komplikation	Ja E
	• Rechtsherzinfarkt	Ja E
Herzinsuffizienz	Unsicher	D
Pulmonale Hypertonie	Unsicher	E
Schock oder hämodynamische Instabilität	Unsicher	E
Herzchirurgie	• Niedriges Risiko	Nein C
	• Hohes Risiko	Unsicher C
Periphere Gefäßchirurgie	• Senkung der Komplikationsrate	Ja D
	• Senkung der Morbidität	Unsicher D
Aorten Chirurgie	• Niedriges Risiko	Unsicher B
	• Hohes Risiko	Ja E
Geriatrische Patienten zur Operation	Nein	E
Neurochirurgie	Unsicher	E
Präeklampsie	Nicht routinemäßig	E
Trauma	Ja	E
Sepsis/septischer Schock	Unsicher	D
Supranormales Sauerstoffangebot	• SIRS	Unsicher B
	• Hochrisikochirurgie	Unsicher C
Lungenversagen	Unsicher	E
Kritisch kranke pädiatrische Patienten	Ja	E

A Von mindestens 2 Grad-I-Studien gestützt; B von 1 Grad-I-Studie gestützt; C nur von Grad-II-Studien gestützt; D von mindestens 1 Grad-III-Studie gestützt; E von Evidenzgrad IV oder V gestützt.

Evidenzgrade: I große randomisierte Studien mit eindeutigen Ergebnissen; II kleine randomisierte Studien mit unsicheren Ergebnissen; III nicht randomisierte, zeitgleiche Kontrollen; IV nicht randomisierte, historische Kontrollen und Expertenmeinung; V Fallstudien, unkontrollierte Studien und Expertenmeinung.

Tabelle 2

### Komplikationen des Pulmonalarterienkatheters

Risiken und Komplikationen	Zeitpunkt des Auftretens
Erschwerte venöse Punktion (Hämatom, Pneumothorax, arterielle Punktion)	Punktion
Arrhythmien	Einschwemmen
Herzklappenbeschädigung	Verweildauer
Lungeninfarkt und Thrombose	Verweildauer
Pulmonalarterienruptur	Einschwemmen
Infektion	Verweildauer

Während der Anlage des PAK muss ein Defibrillator verfügbar sein

#### ► Pulmonalarterienruptur

Symptomatische ventrikuläre Tachykardien oder Kammerflimmern treten nur äußerst selten auf. Aufgrund der Schwere der Komplikation und der sofortigen Therapienotwendigkeit muss aber während der Anlage des PAK ein Defibrillator verfügbar sein.

Während der Verweildauer kann ebenfalls eine Reihe von Komplikationen auftreten, dazu gehören lokale Thrombosen und Infektionen an der Insertionsstelle wie auch die systemische Infektion oder Endokarditis auf dem Boden einer Katheterinfektion. Darüber hinaus kann ein Lungeninfarkt bei Verschluss kleinerer Pulmonalarterienäste oder versehentlicher dauerhafter Inflation des Ballons entstehen [42]. Die schwerwiegendste Komplikation des PAK ist die ► **Pulmonalarterienruptur**, die mit einem hohen Letalitätsrisiko (41–70%) verbunden ist [34]. Das Risiko für das Auftreten einer Pulmonalarteri-

Tabelle 3

**Inzidenz von Komplikationen des Pulmonalarterienkatheters. (Modifiziert nach [1])**

Komplikationen	Häufigkeit	Inzidenz in der Mehrzahl von Studien
<i>Zentralvenöser Zugang</i>		
• Arterielle Punktion	0,1–13	<3,6
• Blutung an der Einstichstelle	5,3	
• Postoperative Neuropathie	0,3–1,1	
• Pneumothorax	0,3–4,5	0,3–1,9
• Luftembolie	0,5	
<i>Katheterisierung</i>		
• Leichte Arrhythmien	4,7–68,9	>20
• Bedrohliche Herzrhythmusstörungen	0,3–62,7	0,3–3,8
• Milde Trikuspidalinsuffizienz	17	
• Rechtsschenkelblock	0,5–4,3	
• Kompletter Herzblock	0–8,5	
<i>Komplikationen während der Liegedauer</i>		
• Pulmonalarterienruptur	0,03–1,5	0,03–0,7
• Positive Kultur (Katheterspitze)	1,4–34,8	>19
• Katheterassoziierte Sepsis	0,7–11,4	0,7–3,0
• Thrombophlebitis	6,5	
• Lungeninfarkt	0,1–5,6	0,1–2,6
• Thrombus	28–61	
• Klappenvegetationen oder Endokarditis	2,2–100	2,2–7,1
• Tod durch PAK bedingt	0,02–1,5	

enruptur beträgt 0,0031% und ist mit steigendem Alter, einer vorbestehenden pulmonalen Hypertension und nichtadäquater Positionierung oder Inflation des Ballons erhöht. (■ **Tabelle 2**, [34]).

Der PAK ist ein hochinvasives Überwachungsinstrument, das nur bei sorgfältiger Indikationsstellung für den kürzestmöglichen Zeitraum verwendet werden sollte. Die Komplikationsrate beim Einsatz des PAK ist mutmaßlich höher als beim Einsatz anderer Verfahren wie der transpulmonalen Indikatordilution oder der Echokardiographie. Daher sollte vor dem Einsatz des PAK abgewogen werden, ob die benötigten Informationen nicht mit anderen Verfahren ermittelt werden können. So stellt beispielsweise die Bestimmung des HZV keine zwingende Indikation für den Einsatz des PAK dar, da das HZV auch mit anderen, weniger invasiven Methoden bestimmt werden kann.

## Messparameter

### Kardiale Füllungsdrücke

Über mehr als 20 Jahre wurden die kardialen Füllungsdrücke, zentralvenöser Druck (ZVD) und pulmonalarterieller Verschlussdruck (PAOP) als hinweisend für den Füllungsstatus des kardiovaskulären Systems angesehen. Dabei wurde der zentralvenöse Druck als Maß für die Füllung des venösen Systems bis zum rechten Vorhof angesehen, wohingegen der pulmonalarterielle Verschlussdruck als Maß für den linksventrikulären enddiastolischen Druck (LVEDP) und damit letztlich das linksventrikuläre enddiastolische Volumen gilt. Ziel der Messung von ZVD, PAOP und HZV ist das Optimieren der Füllung des Herzens, d. h. das Erreichen des ZVD und PAOP, bei dem das bestmögliche HZV erzielt wird.

Eine Reihe von klinischen und experimentellen Untersuchungen hat zeigen können, dass die postulierte Beziehung zwischen kardialen Füllungsdrücken und Volumina in praxi nicht besteht [10, 24]. Kumar et al. haben das Verhalten von ZVD, PAOP, rechts- und linksventrikulären Volumina und dem HZV bei Probanden untersucht [24]. Um die kar-

Der PAK ist ein hochinvasives Überwachungsinstrument, das nur bei sorgfältiger Indikationsstellung für den kürzestmöglichen Zeitraum verwendet werden sollte

Ziel der Messung von ZVD, PAOP und HZV ist das Optimieren der Füllung des Herzens

Klinische Studien konnten keine gerichtete Beziehung zwischen ZVD und PAOP feststellen

Die Verwendung der kardialen Füllungsdrücke zur Steuerung der Flüssigkeitstherapie ist nicht zu empfehlen

► **Thermodilutionsmethode**

► **Stewart-Hamilton-Prinzip**

Das pulmonalarteriell bestimmte HZV ist der klinisch akzeptierte Standard der HZV-Bestimmung

► **Hypothermer kardiopulmonaler Bypass**

diovaskuläre Füllung zu variieren, wurden den Probanden 3 l isotone Kochsalzlösung infundiert [24]. Simultane Messungen der kardialen Füllungsdrücke, des HZV und der kardialen Volumina wurden vor und nach Volumengabe durchgeführt. Es zeigte sich, dass zwischen Änderungen des HZV und Änderungen des ZVD bzw. des PAOP keine positive Korrelation besteht [24]. Die Autoren schlussfolgerten daher, dass die Beziehung zwischen kardialen Füllungsdrücken und dem HZV beim gesunden Probanden nur sehr eingeschränkt besteht. Bei kritisch kranken Patienten beeinflussen zusätzlich Veränderungen des intrathorakalen Drucks und der myokardialen Funktion die Beziehung zwischen Füllungsdrücken und Volumenstatus [10]. Klinische Studien konnten keine gerichtete Beziehung zwischen Änderungen des ZVD und PAOP einerseits und dem resultierenden HZV andererseits aufzeigen [10]. In **Abb. 2** sind die Einflussfaktoren, die die Bestimmung des ZVD und PAOP beeinflussen, im Einzelnen dargestellt.

Zusammenfassend lassen sich aus relativen wie auch aus absoluten Änderungen des ZVD und des PAOP nur sehr eingeschränkt Rückschlüsse auf den kardialen Füllungsstatus und die myokardiale Funktion ableiten. Die Verwendung der kardialen Füllungsdrücke zur Steuerung der Flüssigkeitstherapie ist daher nicht zu empfehlen. Zur Abschätzung der kardialen Vorlast und damit der Füllung des Herzens sind andere, volumetrische Messverfahren besser geeignet [7].

### Herzeitvolumen

Mit der Einführung des PAK war es erstmals möglich, das HZV bettseitig mit der **Thermodilutionsmethode** zu bestimmen [9]. Gegenüber früheren Messungen unter Verwendung von Farbstoffen, radioaktiv markierten Erythrozyten oder Albumin bietet die Thermodilutionsmethode die Möglichkeit, Messungen beliebig oft zu wiederholen. Die HZV-Bestimmung basiert auf dem **Stewart-Hamilton-Prinzip**. Ein Indikatorbolus (in der Regel eisgekühlte Kochsalzlösung) wird zentralvenös injiziert, und die resultierende Thermodilutionskurve wird stromabwärts in der Pulmonalarterie gemessen. Aus der Fläche unter der Indikator-dilutionskurve und dem Injektatvolumen kann dann das HZV errechnet werden. Üblicherweise werden 3–5 Bolusinjektionen durchgeführt und daraus der Mittelwert berechnet. Moderne Geräte erlauben die Verwendung von Injektat mit Raumtemperatur.

Das pulmonalarteriell bestimmte HZV ist noch immer der klinisch akzeptierte Standard der HZV-Bestimmung, gegen den alle neuen Verfahren getestet werden. Anfang der 90er-Jahre wurde von Yeldermann ein Verfahren vorgestellt, mit dem eine quasi kontinuierliche Bestimmung des HZV (CCO=“continuous cardiac output“) möglich ist [5]. Bei diesem Verfahren werden durch eine im Katheter implementierte Spirale Hitzeimpulse ausgesendet, die stromabwärts als Temperaturänderungen detektiert werden. Unter Normalbedingungen stimmen die Ergebnisse der intermittierenden und der kontinuierlichen Technik gut überein. Bei Patienten mit Schwankungen der Körpertemperatur, beispielsweise nach **hypothermem kardiopulmonalem Bypass**, ist die kontinuierliche Methode allerdings fehleranfällig, da das Signal-Rausch-Verhältnis eingeschränkt ist [5].

Die Bestimmung des HZV mittels pulmonaler (PAK) und transpulmonaler Thermodilution (TPCO) ist von vergleichbarer Genauigkeit [9]. Von einigen Autoren wird daher die transpulmonale Thermodilution als Standardverfahren zur Bestimmung des HZV in der klinischen Routine favorisiert, da sie allein auf der Anlage eines arteriellen Thermodilutionskatheters basiert, der bei den meisten kritisch kranken Patienten zur Routineüberwachung ohnehin erforderlich ist [36]. In diesem Zusammenhang sei auf die aktuelle Übersichtsarbeit von Reuter und Goetz hingewiesen, in der ausführlich auf die methodischen und praktischen Gegebenheiten der HZV-Bestimmung eingegangen wird [36].

### Rechtventrikuläre Ejektionsfraktion und rechtsventrikuläres enddiastolisches Volumen

Eine Domäne des PAK ist die quantitative Bestimmung der rechtsventrikulären Ejektionsfraktion (RVEF) und des rechtsventrikulären enddiastolischen Volumens (RVEDV),

die mit speziellen ► **Thermistorkathetern** („fast response“) ermittelt werden. Die Bestimmung der rechtsventrikulären Ejektionsfraktion kann sowohl diskontinuierlich mittels Thermodilutionstechnik als auch kontinuierlich erfolgen [23]. In einer Reihe von Untersuchungen zeigte sich eine gute Übereinstimmung zwischen der mittels 2-dimensionaler transösophagealer Echokardiographie und dem PAK bestimmten RVEF. Allerdings zeigte sich eine erhebliche Abweichung der RVEF, wenn diese mittels 3-D-Echokardiographie bestimmt wurde [14]. Die RVEF wird dabei mit der Kathetertechnik um ca. 15% unterschätzt [14]. Trotz dieser Unterschiede in den Absolutwerten ist die Trendbestimmung der RVEF vergleichsweise valide, allerdings ist die Übereinstimmung bei hohen Herzfrequenzen (mehr als 100 Schläge  $\text{min}^{-1}$ ) deutlich schlechter als bei Normofrequenz. Die Thermodilutionstechnik überschätzt das RVEDV erheblich [14], und sowohl die Bestimmung von RVEF wie auch RVEDV sind anfällig gegenüber Einflussfaktoren wie Herzrhythmusstörungen und Klappeninsuffizienzen.

Zur Abschätzung der kardialen Vorlast ist die Bestimmung der RVEDV den kardialen Füllungsdrücken PAOP und ZVD überlegen. Allerdings konnten Hofer et al. zeigen, dass das intrathorakale Blutvolumen (ITBV) und die linksventrikuläre enddiastolische Fläche (LVEDA) dem RVEDV zur Steuerung der Volumentherapie überlegen sind [23]. Daher wird die Bestimmung des intrathorakalen Blutvolumens mittels der transpulmonalen Thermodilution und des linksventrikulären enddiastolischen Fläche mit der transösophagealen Echokardiographie als klinischer Standard für die Abschätzung der globalen kardialen Vorlast angesehen [7]. Das ITBV ist allerdings ein globaler Parameter der kardialen Füllung und erlaubt keine Differenzierung zwischen rechtem und linkem Ventrikel. Demgegenüber ist mit der transthorakalen und transösophagealen Echokardiographie eine bettseitige Bestimmung der Vorlast der rechten und linken Herzhälfte möglich.

Es gibt bislang keine Studien mit ausreichender Fallzahl, die einen positiven oder negativen Einfluss der Bestimmung der RVEF oder des RVEDV auf die Letalität oder Morbidität von Patienten belegen. Aus diesem Grund ist der Einsatz von PAK, die eine Bestimmung von RVEF und RVEDV ermöglichen, in den meisten Zentren speziellen Indikationen, wie z. B. Lungen- und Herztransplantationen, vorbehalten, bei denen es überproportional häufig zu einer isolierten rechtsventrikulären Dysfunktion kommt. Mögliche weitere Indikationen sind der ► **isolierte Rechtsherzinfarkt** mit konsekutivem Rechtsherzversagen. Bei diesen Patienten ist die engmaschige Bestimmung der rechtsventrikulären Funktion von relevanter klinischer Bedeutung, da das akute Rechtsherzversagen die Haupttodesursache in der Initialphase ist. Ob allerdings eine mit dem PAK gesteuerte Therapie zu einer Verbesserung der Therapie und damit auch zu einer Verringerung der Letalität führt, ist in Ermangelung klinischer Studien nicht bekannt (s. Abschnitt „Klinische Studien“).

## Gemischt-venöse Sauerstoffsättigung

Ein zentraler Parameter in der Therapiesteuerung kritisch kranker Patienten auf der Intensivstation ist die gemischt-venöse Sauerstoffsättigung ( $S_{vO_2}$ ). Die  $S_{vO_2}$  kann ausschließlich mit dem PAK bestimmt werden, da nur in der Pulmonalarterie eine komplette Durchmischung des Blutes der unteren und oberen Körperhälfte gewährleistet ist. Der Normalbereich der  $S_{vO_2}$  liegt zwischen 65 und 80%, niedrigere Werte können auf eine Organperfusionstörung hindeuten. Aus der globalen  $S_{vO_2}$  können allerdings keine Rückschlüsse auf das betroffene Organ oder die Art der Perfusionstörung abgeleitet werden.

In den letzten Jahren wird zunehmend die zentralvenöse Sättigung ( $S_{jvO_2}$ ) anstelle der gemischt-venösen Sättigung zur Steuerung der Kreislauftherapie verwendet. Die Bestimmung der  $S_{jvO_2}$  ist über einen zentralen Venenkatheter möglich, daher ist die Anlage eines PAK nicht erforderlich. Auch hier stehen inzwischen kommerzielle Katheter mit fiberoptischer Messmethodik zur Verfügung, die eine kontinuierliche Bestimmung der  $S_{jvO_2}$  ermöglichen [35].

Zentralvenöse und gemischt-venöse Sättigung unterscheiden sich in den Absolutwerten, da keine Beimischung des Blutes aus der unteren Körperhälfte mit der  $S_{jvO_2}$  gemessen wird. Relative Änderungen der venösen Sättigung bei Hämorrhagie, Minderzirkula-

### ► Thermistorkatheter

Zur Abschätzung der kardialen Vorlast ist die Bestimmung der RVEDV den kardialen Füllungsdrücken PAOP und ZVD überlegen

Es gibt bislang keine Studien, die einen Einfluss der Bestimmung der RVEF oder des RVEDV auf die Letalität oder Morbidität belegen

### ► Isolierter Rechtsherzinfarkt

Die  $S_{vO_2}$  kann ausschließlich mit dem PAK bestimmt werden

Der Normalbereich der  $S_{vO_2}$  liegt zwischen 65 und 80%

Die Bestimmung der  $S_{jvO_2}$  ist über einen zentralen Venenkatheter möglich

Zentralvenöse und gemischt-venöse Sättigung unterscheiden sich in den Absolutwerten

Eine  $S_{jv}O_2$  kleiner 64% hat einen prädiktiven Wert für das Auftreten von Organkomplikationen nach großen chirurgischen Eingriffen

► „Surviving Sepsis Campaign“

► Globales Sauerstoffangebot

Die Kenntnis der Gefäßwiderstände wird zur Steuerung der Therapie mit vasoaktiven Substanzen genutzt

tion oder septischen Kreislaufverhältnissen werden aber tendenziell vergleichbar wiedergegeben. Inwieweit die Bestimmung der zentralvenösen Sättigung die Messung der gemischt-venösen Sättigung ersetzen kann, wird weiterhin kontrovers diskutiert. Vor kurzem haben Dueck et al. und Reinhart et al. Studien publiziert, die nahe legen, dass die  $S_{jv}O_2$  über einen weiten Sättigungsbereich mit der  $S_vO_2$  parallel verläuft [17, 35]. Pearse et al. konnten zeigen, dass eine  $S_{jv}O_2$  kleiner 64% einen prädiktiven Wert für das Auftreten von Organkomplikationen nach großen chirurgischen Eingriffen hat [29]. Es ist inzwischen gesichert, dass das frühzeitige Erreichen einer adäquaten Organperfusion insbesondere bei septischen Patienten von Bedeutung ist und das Erreichen einer  $S_{jv}O_2 > 65\%$  eine zentrale Bedeutung als Parameter der Organperfusion hat. Inwieweit sich diese Zielwerte auf andere Patientengruppen (kardiogener Schock, kardiochirurgische Patienten) übertragen lassen, ist nicht ausreichend untersucht.

Rivers et al. haben vor einigen Jahren gezeigt, dass ein Therapiealgorithmus, der die  $S_{jv}O_2$  einschloss, zu einer deutlichen Verbesserung des Überlebens bei Patienten mit septischem Krankheitsbild führte, sofern die Therapie der Sepsis innerhalb von 6 h begonnen wurde („early goal directed therapy“, [40]). Daher ist die  $S_{jv}O_2$  Bestandteil der Therapiealgorithmen, die in die ► „Surviving Sepsis Campaign“ aufgenommen wurden [15]. Es ist allerdings wesentlich, dass Zielwerte der zentralvenösen Sättigung innerhalb eines definierten Zeitfensters erreicht werden. Hieraus wird deutlich, dass nicht der Messparameter allein von Bedeutung ist, sondern nur im Kontext des zeitlichen Verlaufes einer Erkrankung sowie des Schweregrades beurteilt werden kann. Therapiealgorithmen, bei denen die Therapiesteuerung anhand der gemischt-venösen Sättigung zu einer Verminderung der Letalität führt, liegen nicht in großen prospektiven Studien vor. Gattinoni et al. untersuchten prospektiv randomisiert, ob ein Therapiealgorithmus, der sich an einem Zielwert für die  $S_vO_2$  (größer 70%) orientiert, einen Überlebensvorteil bei schwerstkranken Intensivpatienten erbrachte [19]. In dieser Untersuchung fand sich kein Überlebensvorteil bei Patienten, deren Therapie nach der  $S_vO_2$  gesteuert wurde, wobei der Zeitpunkt des Krankheitsbeginns und der Messung nicht exakt definiert war [19].

Unter Kenntnis von HZV, venösem und arteriellem Sauerstoffgehalt und dem Hämoglobingehalt können das ► **globale Sauerstoffangebot** ( $DO_2$ ) und der Sauerstoffverbrauch ( $VO_2$ ) des Organismus errechnet werden. Die Wertigkeit von  $DO_2$  und  $VO_2$  in der klinischen Routine ist umstritten. Unter pathophysiologischen Gesichtspunkten ist es vorstellbar, dass die Optimierung der Balance zwischen Sauerstoffangebot und Verbrauch zu einer verbesserten Steuerung der kardiozirkulatorischen Funktion beiträgt und es daher zu einer verminderten Inzidenz von Organversagen kommt. Shoemaker et al. haben in den 80er-Jahren einen Therapiealgorithmus entwickelt, bei dem der Herzindex (größer  $4,5 \text{ l min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) und die  $DO_2$  (größer  $600 \text{ ml min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) auf supranormale Werte angehoben wurden [45]. Die Bedeutung dieses Therapieansatzes wird heute kritisch gesehen (s. auch Abschnitt „Klinische Studien“).

## Systemischer und pulmonaler Gefäßwiderstand

Unter Kenntnis des HZV und der Drücke im systemischen und pulmonalen Kreislauf können die systemischen und pulmonalen Gefäßwiderstände berechnet werden.

$$SVR = \frac{MAD - ZVD}{HZV} \cdot 79,9$$

$$PVR = \frac{PAP - PAOP}{HZV} \cdot 79,9$$

SVR, PVR=systemischer und pulmonaler Gefäßwiderstand ( $\text{dyne s cm}^{-5} \text{ m}^{-2}$ ), PAOP=pulmonalkapillärer Verschlussdruck (mmHg), HZV=Herzzeitvolumen ( $\text{l min}^{-1}$ ).

Die Kenntnis der Gefäßwiderstände wird in der klinischen Routine häufig zur Steuerung der Therapie mit vasoaktiven Substanzen genutzt. Insbesondere bei Patienten mit pulmonaler Hypertension ist die Berechnung des Gefäßwiderstandes im Lungenkreislauf vor und nach medikamentöser Intervention weiterhin eine Indikation zur Einlage des PAK. So werden PAK in der Universitätsklinik Utrecht nahezu ausschließlich bei Pa-

Tabelle 4

## Auswahl aktuell publizierter Studien zum Einsatz des Pulmonalarterienkatheters (PAK)

Unter- sucher	Jahr	Studientyp	Patienten- kollektiv	Einschluss- kriterien	Anzahl Patienten	Therapie- protokoll	Therapie- ziele	Outcome			
								PAC	Kon- trolle	p	
Rhodes et al. [38]	2002	Monozen- trisch, prospektiv, randomisiert, kontrolliert	Allgemeine Intensiv- station	1. Kreislauf- versagen 2. Oligurie  3. Vasoaktive Medikation erforderlich 4. Mechanische Beatmung	Insgesamt: 201 PAK: 95 Kontrolle: 106	Keines	Optimierung ZVD und PAOP (Volumengabe bis kein weiterer Anstieg von HI); MAD >60 mmHg	Mortalität (28d) ICU-LOS  Hospital-LOS  Morbidity Außer: Nieren- versagen	47,9% 5,7d 13 d  idem 35%	47,6% 4 d 14 d  idem 20%	ns ns ns  <0,05
Richard et al. [39]	2003	Multizentrisch (36 Zentren), prospektiv, randomisiert, kontrolliert	Gemischte Intensiv- stationen	1. ARDS 2. Schock	Insgesamt: 676 PAK: 335  Kontrolle: 341 <sup>a</sup>	Keines	Optimierung Volumenstatus MAD >60 mmHg	Mortalität (14 d) Mortalität (28 d) Mortalität (90 d) ICU-LOS Hospital-LOS Morbidity	49,9% 59,4% 70,7% 11,6 d 14,0 d idem	51,3% 61% 72% 11,9 d 14,4 d idem	ns ns ns ns ns ns
Sandham et al. [42]	2003	Multizentrisch, prospektiv, randomisiert, kontrolliert	Operative Intensiv- stationen	Chirurgische Hochrisiko- patienten (ASA III und IV), >60 Jahre, elektive und notfallmäßige Bauch-, Thorax-, Gefäß- und Hüftoperatio- nen	Insgesamt: 1994 PAK: 997 Kontrolle: 997	Keines	MAD=70 mmHg PAOP=18 mmHg HF <120 min <sup>-1</sup> Hct >27%  PAK (zusätzlich): DO <sub>2</sub> I =550– 600 mL min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> CI=3,5– 4,5 L min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	Mortalität (Hospital) Hospital-LOS Morbidity Außer: Lungen- embolie	7,8 10 idem 8	7,7 10 idem 0	ns ns 0,004
S. Harvey („PAC- Man- Study“, [21])	2005	Multizentrisch (65 Zentren), prospektiv, randomisiert, kontrolliert	Gemischte Intensiv- stationen	„All patients admitted to adult intensive care and iden- tified by the treating clini- cian as someone who should be managed with a PAC“	Insgesamt: 1041 PAK: 519  Kontrolle: 522 <sup>b</sup>	Keines	„At the discreti- on of the trea- ting clinician“	Mortalität (Hospital) Mortalität (ICU) Mortalität (28 d) ICU-LOS Hospital-LOS Morbidity	68% 60% 62% 12,1 d 34 d idem	66% 57% 60% 11,0 d 40 d idem	ns ns ns ns ns

ASA Risikoklasse der American Society of Anesthesiologists; HI Herzindex; DO<sub>2</sub>I Sauerstoffangebot; Hct Hämatokrit; HF Herzfrequenz; ICU „Intensive Care Unit“; LOS „length of stay“; PAK Pulmonalarterienkatheter; PAOP pulmonalarterieller Verschlussdruck; MAD mittlerer arterieller Druck; ZVD zentraler Venendruck.

<sup>a</sup> In beiden Gruppen war zusätzlich der Einsatz eines echokardiographischen Monitorings erlaubt.

<sup>b</sup> Zum Teil war in beiden Gruppen zusätzlich der Einsatz anderer Techniken zur Bestimmung des Herzzeitvolumens erlaubt.

## ► Inhalative Vasodilanzien

tienten eingesetzt, die sich einer Herz- oder Lungentransplantation unterziehen oder perioperativ eine pulmonale Hypertension aufweisen, die über ein Rechtsherzversagen zum akuten Herzversagen führen kann. Bei diesen Patienten werden ► **inhalative Vasodilanzien** (iNO, Iloprost, Epoprostenol) eingesetzt. Die Effektivität der Therapie mit diesen Substanzen wird mit Hilfe des pulmonalen Gefäßwiderstandes und des Verhältnisses zwischen SVR und PVR überwacht. Ob der Einsatz des PAK bei diesen Patienten allerdings zu einer Reduktion von Morbidität und Letalität beiträgt, ist nicht bewiesen, da placebo-kontrollierte Untersuchungen zu diesem Thema nicht vorliegen.

Die Berechnung des PVR nach der oben angegebenen Formel wird kontrovers diskutiert. Versprille bezeichnet den berechneten PVR aus methodischen Gründen als „meaningless variable“ [48]. Der PAOP wird als Substitut für den linksatrialen Druck gebraucht, repräsentiert diesen aber nicht unter allen Bedingungen [48]. In experimentellen Untersuchungen fand sich eine erhebliche Differenz zwischen PAOP und LAP im Endotoxinschock wie auch nach induziertem Thoraxtrauma. Die Bestimmung des PAOP ist außerdem abhängig von der Lage des PAK in der Lunge. Insbesondere wenn der alveoläre Druck den pulmonalkapillären Druck übersteigt, repräsentiert der PAOP nicht mehr den effektiven Verschlussdruck [48]. Allerdings steht momentan kein anderes bettseitiges Überwachungsverfahren zur Verfügung, das die kontinuierliche Überwachung der rechtsventrikulären Funktion und der pulmonalen Zirkulation ermöglicht.

## Klinische Studien

Seit vielen Jahren wird der Nutzen des PAK für die Therapie von kritisch kranken Patienten hinterfragt (■ **Tabelle 4, 5**). Insbesondere die Arbeit von Connors et al. aus dem Jahr 1996, in der sich eine erhöhte Letalität bei Patienten fand, die einen PAK erhielten, hat – wie bereits erwähnt – diese Diskussion weiter verstärkt [12]. Diese Studie wurde allerdings aus methodischen Gründen kontrovers diskutiert, da sie nicht prospektiv randomisiert durchgeführt wurde, sehr heterogene Patientengruppen enthielt und keine PAK-basierten Therapierichtlinien definiert wurden [12]. Daher waren und sind weiterhin viele Kliniker der Überzeugung, dass der Einsatz des PAK beim individuellen Patienten von Nutzen sein kann [30, 31, 41]. Wie von vielen Experten und Arbeitsgruppen gefordert, wurde in den letzten Jahren eine Reihe von randomisierten, multizentrischen Untersuchungen bei verschiedenen Patientenkollektiven durchgeführt oder sind noch in der Datenerhebungsphase. Einbezogen wurden u. a. ASA-III–IV-Patienten, die sich chirurgischen Hochrisikoeingriffen unterzogen [30, 42], Patienten mit ARDS und/oder Schock [39], kritisch kranke Intensivpatienten mit hohem Letalitätsrisiko (PAC-MAN) [21] und Patienten mit Herzinsuffizienz [43]. Cohen et al. analysierten retrospektiv den Einfluss des PAK auf das Outcome bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom [11]. Shah et al. führten eine Metaanalyse durch, in der die zwischen 1985 und 2005 durchgeführten randomisierten Studien ausgewertet wurden [43]. Die Interpretation der vorliegenden Studien und Metaanalysen bleibt allerdings weiterhin schwierig, da sich die untersuchten Patientengruppen, die Studienprotokolle und das Design der Untersuchungen erheblich unterscheiden. Es muss grundsätzlich unterschieden werden zwischen Untersuchungen, bei denen der PAK zur Steuerung eines definierten Therapiekonzeptes eingesetzt wurde [30, 42], und Studien, bei denen Patienten mit vergleichbar schwerer Grunderkrankung mit und ohne PAK behandelt wurden [21, 39], ohne dass ein Therapiekonzept oder Grenzwerte (HZV, PAOP etc.) festgelegt wurden. Die Interpretation der Ergebnisse letztgenannter Untersuchungen ist besonders schwierig, da – streng genommen – nur ein Krankheitsverlauf und die dabei erhobenen Messwerte dokumentiert werden. Andere Einflussfaktoren wie der Arzt-Patienten-Schlüssel, die Ausbildung der behandelnden Ärzte und die Erfahrung mit dem Einsatz von Monitoringverfahren wurden bislang nicht systematisch untersucht. Darüber hinaus waren in einigen Untersuchungen auch alternative Verfahren in der Nicht-PAK-Gruppe erlaubt, wie beispielsweise die Echokardiographie oder alternative HZV-Messverfahren. Es handelt sich daher dann – streng genommen – nicht mehr ausschließlich um einen Vergleich PAK vs. Kontrollgruppe, sondern um eine Untersuchung mit einer Reihe von Einflussfaktoren.

Tabelle 5

## Auswahl kürzlich publizierter Studien zur zielorientierten hämodynamischen Therapie

Unter- sucher	Jahr	Studientyp	Patienten- kollektiv	Ein- schluss- zeitpunkt	Anzahl Patienten	Therapieziele		Ergebnisse			
						Standard	Zielorientiert		Zielori- entiert	Stan- dard	p
Pölönen et al. [33]	2000	Monozen- trisch, prospektiv, randomisiert, kontrolliert	Kardio- chirurgische Patienten	Nach Entwöh- nung von EKZ	Insgesamt: 393 Protokoll: 196 Standard: 197	HI > 2,5 l min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	Standard+ S <sub>v</sub> O <sub>2</sub> >70% Laktat ≤2,0 mmol L <sup>-1</sup>	ICU-LOS	1 d	1 d	ns
						PAOP= 12–18 mmHg MAD= 60–90 mmHg Hb >100 g L <sup>-1</sup>	Hospital-LOS	6 d	7 d	<0,05	
Rivers et al. [40]	2001	Monozen- trisch, pros- pektiv, randomisiert, kontrolliert	„Severe Sepsis“ Septischer Schock	Im Notfall- bereich	Insgesamt: 263 Protokoll: 130 Standard: 133	ZVD ≥ 8–12 mmHg	Standard +S <sub>zv</sub> O <sub>2</sub> ≥70%	Mortalität (Hos- pital)	30,5%	46,5%	0,009
						MAD ≥65 mmHg	Mortalität (28 d)	33,3%	49,2%	0,01	
						Diurese ≥0,5 ml kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Mortalität (60 d)	44,3%	56,9%	0,03	
							APACHE II	13,0	15,9	<0,001	
Gan et al. [18]	2002	Monozen- trisch, prospektiv, randomisiert, kontrolliert	„Major elective surgery“	Intra- operativ	Insgesamt: 100 Protokoll: 50 Standard: 50	Volumensubsti- tution bei: Diurese ≤0,5 ml kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	Volumensub- stitution in Abhän- gigkeit von SV (ösophagealer Doppler)	Hospital-LOS	5	7	<0,03
						HF >110 min <sup>-1</sup> SAD <90 mmHg					
Mc- Kendry et al. [26]	2004	Monozen- trisch, prospektiv, randomisiert, kontrolliert	Kardiochirur- gische Pati- enten nach EKZ	Nach Aufnahme auf ICU	Insgesamt: 179 Protokoll: 89 Standard: 90	Nicht festgelegt	SVI >35 mL m <sup>-2</sup> (ösophagealer Doppler)	ICU-LOS	2,5 d	3,2 d	0,21
							Hospital-LOS	11,4 d	13,9 d	0,02	
Wake- ling et al. [49]	2005	Monozen- trisch, prospektiv, ran- domisiert, kontrolliert	Kolonrektale Chirurgie	Intraope- rativ	Insgesamt: 128 Protokoll: 64 Standard: 64	Volumensubsti- tution in Abhän- gigkeit von ZVD (Ziel 12– 15 mmHg)	Volumensub- stitution bis kein weiterer Anstieg von SV (ösophagealer Doppler)	Hospital-LOS	10 d	11,5 d	<0,05
							Patienten mit gastrointestina- ler Morbidität	45,3%	14,1%	<0,001	
Pearse et al. [30]	2005	Monozen- trisch, prospektiv, randomisiert, kontrolliert	„Major Gene- ral Surgery“	Nach Auf- nahme auf ICU	Insgesamt: 122 Protokoll: 62 Standard: 60	Volumensubsti- tution in Abhän- gigkeit von ZVD (Ziel: Anstieg um 2 mmHg)	Volumensubsti- tution in Abhän- gigkeit von SV (Ziel: Anstieg um 10%)	Patienten mit Komplikatio- nen	44%	68%	0,007
						Diurese ≥0,5 ml kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup>	DO <sub>2</sub> l >600 mL min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	Hospital-LOS	11 d	14 d	0,001
						CI > 2,5 l min <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>	(Lithium- dilution)	ICU-LOS	43 h	45 h	0,82
								Mortalität (28 d)	9,7%	11,7%	0,78
						Mortalität (60 d)	11,3%	15%	0,59		

HI Herzindex; DO<sub>2</sub>l Sauerstoffangebotsindex; EKZ extrakorporale Zirkulation; Hb Hämoglobin; HF Herzfrequenz; ICU „Intensive Care Unit“; LOS „length of stay“; MAD mittlerer arterieller Druck; PAOD pulmonaler arterieller Verschlussdruck; SAD systolischer arterieller Druck; SV(I) Schlagvolumenindex; ZVD zentraler Venendruck.

► **Supranormales Sauerstoffangebot**

Die Patienten haben nur dann eine verbesserte Prognose, wenn die Erhöhung der  $DO_2$  auch mit einem Anstieg der  $VO_2$  einhergeht

Diese Diskussion zeigt aber auch das allgemeine Dilemma von Studien, in denen ein Monitoringverfahren untersucht wird. Es besteht einerseits eine Abhängigkeit von der untersuchten Patientenpopulation, aber auch vom Therapieansatz per se, den angestrebten Zielwerten der Therapie und dem Ausbildungsstand der Behandelnden. Ein Überwachungsverfahren wie der PAK (aber auch jedes andere Verfahren) kann nur dann zu einer Verminderung der Morbidität und Letalität führen, wenn die erhobenen physiologischen Variablen in ein Therapiekonzept einmünden, das eine verbesserte Überlebensrate oder verminderte Komplikationsrate ermöglicht. Ansonsten gehen primär die Komplikationen des Verfahrens in die Bewertung ein. Insbesondere bei Patienten mit rasch progredienten Krankheitsverläufen (z. B. Sepsis) ist zusätzlich der Zeitpunkt, zu dem die invasive Überwachung und die evtl. darauf basierende Therapie beginnt, von entscheidender Bedeutung [15, 30, 37, 40]. Da aus Untersuchungen bei septischen Patienten und Hochrisikoeingriffen bekannt ist, dass eine Therapie nur dann zu einer Morbiditäts- oder Letalitätsverminderung führt, wenn sie in der frühen Phase des Krankheitsverlaufes einsetzt, d. h. möglichst vor dem Eintreten von Organkomplikationen, muss auch das entsprechende Überwachungsverfahren entsprechend frühzeitig eingesetzt werden [40].

### Hochrisikochirurgie und allgemeine Intensivmedizin

In den 80er-Jahren hat die Arbeitsgruppe um Shoemaker begonnen, den Einfluss eines ► **supranormalen Sauerstoffangebotes** auf die Morbidität und Letalität chirurgischer Patienten zu untersuchen. Wie schon in Abschnitt „Gemischt-venöse Sauerstoffsättigung“ ausgeführt, zeigte sich in einer retrospektiven Analyse, dass ein perioperativ erhöhtes supranormales Sauerstoffangebot ( $DO_2$ ) in Verbindung mit einem Anstieg des Sauerstoffverbrauch ( $VO_2$ ) einen potenziell positiven Effekt auf das Überleben und die Inzidenz von Organversagen hat [44]. In der Folge wurden diese Zielparameter (Herzindex  $>4,5 \text{ l min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ,  $DO_2 >600 \text{ ml min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ ) bei einer Reihe unterschiedlicher Patientengruppen untersucht. Sowohl bei chirurgischen Patienten als auch bei Intensivpatienten waren die Ergebnisse anfänglich positiv [4, 6]. Die Patienten haben allerdings nur dann eine verbesserte Prognose, wenn die Erhöhung der  $DO_2$  auch mit einem Anstieg der  $VO_2$  einhergeht, d. h. wenn die Zielorgane das erhöhte Sauerstoffangebot umsetzen können. Wenn dies nicht der Fall ist, führt dieser Therapieansatz nicht zu einer Verbesserung des Outcome oder sogar zu einer erhöhten Letalität [50]. Im Jahr 1995 konnten Gattinoni et al. in einer großen randomisierten, multizentrischen Untersuchung an insgesamt 762 Intensivpatienten keinen Nutzen der von Shoemaker propagierten Therapierichtlinien aufzeigen [19]. Die Arbeitsgruppe um Hayes zeigte, dass eine mit dem PAK gesteuerte Therapie zur Erreichung supranormaler Kreislauf- und Oxygenierungsparameter sogar zu einer Erhöhung der Letalität führen kann [22]. Da in beiden Untersuchungen nicht ausschließlich chirurgische Patienten einbezogen wurden, sind die Ergebnisse allerdings nicht direkt mit den von Shoemaker et al. durchgeführten Untersuchungen vergleichbar und wurden kritisch hinterfragt.

Daher untersuchten Sandham et al. den Nutzen der präoperativen Anlage des PAK bei einem chirurgischen Hochrisikopatientenkollektiv [42]. Es wurden insgesamt 1994 Patienten, die sich großen chirurgischen Eingriffen unterziehen mussten, eingeschlossen [42]. Die Patienten waren älter als 60 Jahre und gehörten den ASA-Risikogruppen III und IV an. Bei 997 Patienten wurde eine PAK-gesteuerte Therapie durchgeführt. Die angestrebten hämodynamischen Zielgrößen waren ein Herzindex von  $3,5\text{--}4,5 \text{ l min}^{-1}$ , ein  $DO_2$  von  $550\text{--}600 \text{ ml min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , ein mittlerer arterieller Blutdruck von  $70 \text{ mmHg}$  bei einer Herzfrequenz  $<120 \text{ min}^{-1}$ . Die Patienten der Kontrollgruppe wurden unter klinischen Gesichtspunkten überwacht, die Anlage eines zentralvenösen Katheters war zulässig, und der zentralvenöse Druck konnte zur Therapiesteuerung verwendet werden. Es fand sich kein Einfluss des PAK auf die 30-Tage-, 6-Monats- und 1-Jahres-Letalität [42]. Auch die Inzidenz des Auftretens von Organversagen (Herz, Niere) war zwischen den Gruppen vergleichbar. Die angestrebten Zielwerte des HZV und des Sauerstoffangebotes wurden nur in 21% aller Patienten präoperativ erreicht, wohingegen 62,9% der Patienten postoperativ eine  $DO_2$  von  $550 \text{ ml min}^{-1} \text{ m}^{-2}$  erreichten. Patienten, deren Therapie mit einem PAK gesteu-

ert wurde, erhielten mehr Inotropika, Vasodilatoren, Antihypertensiva, Bluttransfusionen und kolloide Infusionslösungen. Bei den Patienten der PAK-Gruppe fanden sich allerdings 8 Fälle von Pulmonalarterienembolien, demgegenüber wurde keine Pulmonalarterienembolie in der Kontrollgruppe beobachtet. Hochgerechnet auf die Gesamtzahl von Patienten, die jährlich einen PAK erhalten, bedeutet das, dass ca. 12.000 Patienten pro Jahr eine Pulmonalarterienembolie in Assoziation mit der Anlage eines PAK erleiden würden [42]. Die Autoren schlussfolgerten, dass der Einsatz dieses Therapiealgorithmus bei chirurgischen Hochrisikopatienten nicht zu einer Verringerung der Letalität führte und daher auch die Einlage eines PAK zur Therapiesteuerung keinen Nutzen hat (■ **Abb. 3**). Von besonderer Bedeutung bei der Interpretation dieser Studie ist, dass die angestrebten Zielwerte bei einem hohen Anteil der Patienten in der Interventionsgruppe nicht erreicht wurden, was die Interpretation der Ergebnisse erschwert, da – streng genommen – eines der wesentlichen Ziele nicht erreicht wurde, nämlich den Einfluss des intraoperativen Managements in der Interventionsgruppe auf das Outcome zu untersuchen. Interessanterweise fand sich in einer aktuellen Untersuchung bei chirurgischen Hochrisikopatienten, bei denen supranormale Zielwerte für HZV und  $DO_2$  in einem hohen Prozentsatz erreicht wurden, eine Reduktion von perioperativen Komplikationen ohne Unterschiede in der Letalität [30]. In dieser Untersuchung von Pearse et al. wurde allerdings kein PAK verwendet, sondern die Bestimmung des HZV wurde mit der ► **transpulmonalen Lithiumdilution** durchgeführt.

Ein ähnliches Ergebnis wie die Untersuchung von Sandham et al. zeigte eine prospektive, randomisierte Untersuchung die in 65 englischen Intensivstationen (PAC-MAN) durchgeführt wurde [21]. Insgesamt wurden 1014 Patienten in die Untersuchung eingeschlossen, von denen 519 und 522 mit bzw. ohne PAK behandelt wurden [21]. Im Gegensatz zu der Untersuchung von Sandham et al. wurde die „► **PAC-Man-Studie**“ ausschließlich auf Intensivstationen durchgeführt. Sowohl in der Pulmonalarteriengruppe als auch in der Kontrollgruppe wurden die meisten Patienten (65 und 66%) wegen eines bestehenden Multiorganversagens auf die Intensivstation aufgenommen. Die Letalität beider Patientengruppen war nicht unterschiedlich und betrug in der PAK Gruppe 68% und in der Kontrollgruppe 66% [21]. Es zeigten sich keine Unterschiede der Liegedauer und des Auftretens von Organversagen [21]. Die Therapie war nicht standardisiert und oblag den behandelnden Ärzten. Bei 46 von 486 Patienten, die einen PAK erhielten fanden sich kateterassoziierte Komplikationen, die allerdings das Überleben nicht beeinflussten. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Verwendung des PAK bei kritisch kranken Intensivpatienten die Morbidität und Letalität weder positiv noch negativ beeinflusst [21].

Richard et al. untersuchten bei 676 Patienten, welche die Konsensuskriterien für das Auftreten eines ARDS und/oder eines Schocks erfüllten, ob der Einsatz des PAK innerhalb von 48 h nach Beginn der Symptomatik einen Einfluss auf Morbidität und Letalität hatte [39]. Primärer Zielparameter der Untersuchung war die 28-Tage-Letalität. Sekundäre Endpunkte waren 14- und 90-Tage-Letalität, die Inzidenz von Organversagen und die Notwendigkeit der Dialyse und des Einsatzes von Vasopressoren. Für keinen der untersuchten Zielparameter zeigte sich ein Unterschied zwischen den Patientengruppen [39].

Zusammengefasst legen die Ergebnisse dieser 3 Untersuchungen nahe, dass der Einsatz des PAK nicht zu einer Letalitäts- und Morbiditätsverminderung führt. Es ist unklar, ob andere Risikokollektive wie Patienten, die sich Transplantationen von Herz, Lunge oder Leber unterziehen müssen, vom Einsatz eines PAK profitieren können.

## Internistische Intensivmedizin

Im Jahr 2005 sind 2 Untersuchungen erschienen, die den Einsatz des PAK bei internistischen Intensivpatienten untersuchten. In der „► **ESCAPE-Studie**“ wurden 433 Patienten mit schwerer, symptomatischer Herzinsuffizienz eingeschlossen, bei denen die Therapie mit und ohne PAK gesteuert und überwacht wurde [3]. Zielparameter der Untersuchung waren die effektive Therapie der Herzinsuffizienz, die Letalität und das Auftreten von Komplikationen des PAK. Bei Patienten der Untersuchungsgruppe wurde ein PAOP  $<15$  mmHg und ein rechtsatrialer Druck  $<8$  mmHg angestrebt. Es wurde keine

### ► Transpulmonale Lithiumdilution

### ► PAC-Man-Studie

### ► ESCAPE-Studie

In der PAK-Gruppe zeigten sich signifikant mehr Komplikationen als in der Kontrollgruppe

Der Einsatz des PAK bei Patienten mit Herzinsuffizienz und akutem Koronarsyndrom führt in Studien nicht zu einer Letalitätsverminderung

#### ► **Transpulmonale Indikatordilution**

Die HZV-Messung mit ösophagealen Doppler-Techniken zeigt eine im Mittel gute Übereinstimmung mit invasiven Verfahren

#### ► **CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik**

medikamentöse Therapiestrategie vorgegeben, der Einsatz von positiv inotropen Pharmaka sollte aber vermieden werden. Die mittlere linksventrikuläre Ejektionsfraktion der Patienten betrug vor Behandlung 19% [3]. Für keinen der Endpunkte konnte eine signifikante Differenz zwischen den Gruppen gefunden werden. In der PAK-Gruppe zeigten sich aber signifikant mehr Komplikationen als in der Kontrollgruppe. Bei 4 Patienten kam es zu einer Katheterinfektion, bei 2 Patienten zu einer Blutung, eine Lungenembolie trat ebenfalls bei 2 Patienten auf. Die Autoren schlussfolgerten, dass der Einsatz des PAK bei Patienten mit schwerer Herzinsuffizienz nicht zu einer Verbesserung des Outcome führt [3].

In einer 2. Untersuchung wurde retrospektiv der Einfluss des PAK auf die 30-Tage-Letalität bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom untersucht [11]. Insgesamt 735 von 26.437 Patienten zweier multizentrischer Untersuchungen (GUSTO IIB und GUSTO III) erhielten einen Pulmonalkatheter während der initialen Therapiephase [11]. Patienten, bei denen ein PAK verwendet wurde, waren älter, litten häufiger zusätzlich unter einem Diabetes mellitus, wurden zu einem höheren Prozentsatz beatmet und zeigten vermehrt eine ST-Elevation. Bei Patienten mit PAK wurden signifikant häufiger perkutane (PTCA) und chirurgische Interventionen (ACVB) durchgeführt. Die Verwendung des PAK bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom war mit einer erhöhten Letalität verbunden, dies galt auch nach Adjustierung für Einflussfaktoren wie die Schwere des Krankheitsverlaufes. In der Patientengruppe mit kardiogenem Schock fand sich keine PAK-assoziierte Letalitätssteigerung.

Sowohl die „ESCAPE-Studie“ als auch die retrospektive Analyse von Cohen et al. legen nahe, dass der Einsatz des PAK bei Patienten mit Herzinsuffizienz und akutem Koronarsyndrom nicht zu einer Letalitätsverminderung führt.

### **Alternativen zum Pulmonalarterienkatheter**

In den letzten Jahren ist eine Reihe von invasiven und nichtinvasiven Verfahren entwickelt worden, mit denen das HZV bestimmt werden kann [9, 36]. Dazu gehören die ► **transpulmonale Indikatordilution**, bei der ein Kälte- oder Lithiumbolus ebenfalls zentralvenös injiziert wird, aber in der A. femoralis oder radialis detektiert wird. Beide Verfahren sind hinsichtlich der Genauigkeit mit der pulmonalarteriellen Thermodilution vergleichbar [9, 25]. Transpulmonale Thermodilutionsverfahren (PiCCO®, LiDCO®) sind im Vergleich zum PAK weniger invasiv, da eine invasive arterielle Blutdruckmessung und ein zentralvenöser Katheter bei schwerkranken Patienten in der Regel zur Standardüberwachung eingesetzt werden und daher kein zusätzlicher venöser Zugang benötigt wird. Damit wird das Punktions- und Infektionsrisiko des PAK umgangen. Falls eine Kanülierung der A. femoralis nicht angezeigt ist, kann der Messkatheter auch in der A. axillaris platziert werden. Sowohl für PiCCO®- als auch das LiDCO®-System liegen bisher keine großen randomisierten Untersuchungen über den Einfluss des Monitorings auf das Outcome vor.

Im Rahmen von klinischen Untersuchungen wurden ebenfalls HZV-Messungen mit ösophagealen Doppler-Techniken durchgeführt [13]. Es zeigt sich eine im Mittel gute Übereinstimmung mit invasiven Verfahren [13]. Die Genauigkeit der Technik lässt aber bei erniedrigtem oder erhöhtem HZV deutlich nach [13]. Darüber hinaus ist die Technik nur eingeschränkt bei wachen oder oberflächlich sedierten Patienten einsetzbar, da die ösophageale Sonde nur schlecht toleriert wird. Die Arbeitsgruppe um M. Singer konnte in mehreren randomisierten Untersuchungen mit geringer Fallzahl zeigen, dass die perioperative Optimierung des HZV mit der ösophagealen Doppler-Technik zu einer Verkürzung der Liegezeit im Krankenhaus führt [26, 46].

Ein weiteres Verfahren ist die ► **CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik**, eine Modifikation des Fick-Prinzips [28]. Diese Technik ist kommerziell verfügbar (NICO®) und ermöglicht nichtinvasiv die Bestimmung des pulmonalen Blutflusses. In einer Reihe von klinischen Untersuchungen zeigte sich eine überwiegend akzeptable Übereinstimmung der CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik und dem Thermodilutions-HZV unter stabilen Rahmenbedingungen [27]. Allerdings konnten Neuhäuser et al. wie auch Bein et al. zeigen, dass die Über-

einstimmung unter besonderen Bedingungen, wie z. B. nach Entwöhnung von der EKZ oder unter Xenonanästhesie nicht ausreichend war [2, 28]. Darüber hinaus ist die Validität der Messungen bei spontan atmenden Patienten nicht ausreichend überprüft, was insbesondere in der Intensivmedizin von Nachteil ist.

Ein anderes Verfahren zur Ermittlung des HZV ist die Bestimmung mittels transösophagealer Echokardiographie. Hier wird der Blutstrom über dem linksventrikulären Ausflusstrakt oder in der A. pulmonalis mit der Doppler-Technik bestimmt. Unter Kenntnis des Gefäßdurchmessers und der Herzfrequenz kann dann das HZV errechnet werden [32]. Mögliche Fehlerquellen sind die fehlerhafte Bestimmung des Gefäßdurchmessers und die nicht korrekte Platzierung des Dopplerfeldes. Die Platzierung der Echokardiographiesonde im Ösophagus beim wachen Patienten kann nur punktuell durchgeführt werden und wird von einer Reihe von Patienten nur schlecht toleriert. Daher eignet sich das Verfahren nicht zur kontinuierlichen Beurteilung des HZV. Die transösophageale Echokardiographie gibt allerdings zusätzliche Informationen über den Füllungszustand, die Morphologie und Anatomie des Herzens und die Funktion der Herzklappen. Darüber hinaus lassen sich mit diesem Verfahren pathologische Prozesse des Herzens (Thromben, Endokarditis) und des Perikards (Tamponade, Perikarderguss) diagnostizieren. Daher ist die TEE 1. Wahl beim Patienten mit hämodynamischer Instabilität. Die Validität der HZV-Bestimmung mittels der ösophagealen Echokardiographie ist ebenfalls Gegenstand kontroverser Diskussionen. Die Genauigkeit ist unter klinischen Bedingungen akzeptabel, bei sehr niedrigen oder hohen Herzzeitvolumina nimmt die Abweichung hingegen zu. Ähnlich wie die CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik handelt es sich bei der TEE-gestützten Bestimmung des HZV eher um eine punktuelle Abschätzung als um eine exakte Messung.

Wie schon ausgeführt, ist die Spezifität der kardialen Füllungsdrücke ZVD und PAOP zur Beurteilung des globalen Füllungsstatus beim chirurgischen Patienten nur eingeschränkt gegeben. Andere Verfahren mit höherer Sensitivität (TEE, PiCCO®, LiDCO®) stehen in der klinischen Routine zur Verfügung und können zur Überwachung der kardialen Vorlast verwendet werden. Die kontinuierliche Bestimmung des pulmonalarteriellen Blutdruckes kann weiterhin nur mit dem PAK erfolgen und sollte nach unserer Auffassung bei ausgewählten Patienten auch angewandt werden. Insbesondere Patienten, bei denen medikamentös oder apparativ auf die rechtsventrikuläre Funktion und den pulmonalvaskulären Widerstand Einfluss genommen wird, können möglicherweise von der Therapiesteuerung mittels PAK profitieren.

## Fazit für die Praxis

Die Indikationen zur Einlage des PAK werden aufgrund einer Reihe von Untersuchungen zunehmend strenger gestellt. Die alleinige Überwachung des HZV oder des Volumenstatus stellt per se keine Indikation zur Verwendung des PAK dar. Es stehen inzwischen andere Verfahren wie die transpulmonale Indikatordilution und die transösophageale Echokardiographie zur Verfügung, die besser zur Abschätzung des Volumenstatus geeignet sind. Damit entfällt eine der Hauptindikationen für den Einsatz des PAK in der operativen Intensivmedizin. Die Bestimmung der Pulmonalarteriendrucke bei pulmonalem Hypertonus mit oder ohne Rechtsherzversagen ist zurzeit noch die Domäne des PAK, ohne dass allerdings ein positiver Effekt auf die Morbidität und Letalität dieser Patienten gesichert werden konnte. Auch bei diesen Patienten werden allerdings zunehmend weniger invasive Verfahren wie die transösophageale Echokardiographie eingesetzt, die aber auch Limitationen aufweisen. Die Bedeutung des PAK zur Steuerung der Therapie bei akutem Koronarsyndrom mit kardiogenem Schock kann noch nicht abschließend beurteilt werden, wohingegen bei Patienten mit Herzinsuffizienz kein Überlebensvorteil gesichert werden konnte. In der Mehrzahl der vorliegenden Untersuchungen zeigte sich kein Anhalt für eine Letalitätszunahme bei Patienten, die einen PAK erhielten, es wird aber zunehmend deutlich, dass der PAK ein invasives Messinstrument ist, dessen Anwendung mit spezifischen Risiken verbunden ist. Alternative Verfahren sind bislang noch nicht in großen randomisierten Studien untersucht worden, sodass keine Aussagen über deren Einfluss auf Morbidität und Letalität gemacht werden können.

Die TEE ist 1. Wahl beim Patienten mit hämodynamischer Instabilität

Die kontinuierliche Bestimmung des pulmonalarteriellen Blutdruckes kann nur mit dem PAK erfolgen und sollte bei ausgewählten Patienten auch angewandt werden

Der Einsatz des PAK (wie auch jedes anderen Monitoringverfahrens) sollte daher auf Indikationen beschränkt sein, bei denen die Messwerte eine Bedeutung für die Therapie haben und eine adäquate Therapie ohne engmaschige Überwachung nicht durchführbar ist.

## Korrespondierender Autor

PD Dr. W. Buhre

Division of Perioperative and Emergency Medicine, Department of Anaesthesiology, University Medical Center Utrecht, P.O. Box 85500, GA 3508 Utrecht, The Netherlands  
E-Mail: w.f.buhre@umcutrecht.nl

**Interessenkonflikt:** Der korrespondierende Autor weist auf eine Verbindung mit folgender Firma/Firmen hin: Der korrespondierende Autor ist Mitglied des Medical Advisory Board der Pulsion Medical Systems AG und hat von der Fa. Pulsion Honorare für Vorträge erhalten.

## Literatur

3. Binanay C, Califf RM, Hasselblad V et al. (2005) Evaluation study of congestive heart failure and pulmonary artery catheterization effectiveness: the ESCAPE trial. *JAMA* 294: 1625–1633
11. Cohen MG, Kelly RV, Kong DF et al. (2005) Pulmonary artery catheterization in acute coronary syndromes: insights from the GUSTO IIb and GUSTO III trials. *Am J Med* 118: 482–488
12. Connors AF Jr, Speroff T, Dawson NV et al. (1996) The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. *JAMA* 276: 889–897
15. Dellinger RP, Carlet JM, Masur H et al. (2004) Surviving Sepsis Campaign guidelines for management of severe sepsis and septic shock. *Crit Care Med* 32: 858–873
16. Domino KB, Bowdle TA, Posner KL et al. (2004) Injuries and liability related to central vascular catheters: a closed claims analysis. *Anesthesiology* 100: 1411–1418
19. Gattinoni L, Brazzi L, Pelosi P et al. (1995) A trial of goal-oriented hemodynamic therapy in critically ill patients. SvO<sub>2</sub> Collaborative Group. *N Engl J Med* 333: 1025–1032
21. Harvey S, Harrison DA, Singer M et al. (2005) Assessment of the clinical effectiveness of pulmonary artery catheters in management of patients in intensive care (PAC-Man): a randomised controlled trial. *Lancet* 366: 472–477
24. Kumar A, Anel R, Bunnell E et al. (2004) Preload-independent mechanisms contribute to increased stroke volume following large volume saline infusion in normal volunteers: a prospective interventional study. *Crit Care* 8: R128–136
26. McKendry M, McGloin H, Saberi D et al. (2004) Randomised controlled trial assessing the impact of a nurse delivered, flow monitored protocol for optimisation of circulatory status after cardiac surgery. *Bmj* 329: 258
29. Pearse R, Dawson D, Fawcett J et al. (2005) Changes in central venous saturation after major surgery, and association with outcome. *Crit Care* 9: R694–699
30. Pearse R, Dawson D, Fawcett J et al. (2005) Early goal-directed therapy after major surgery reduces complications and duration of hospital stay. A randomised, controlled trial [ISRCTN38797445]. *Crit Care* 9: R687–693
39. Richard C, Warszawski J, Anguel N et al. (2003) Early use of the pulmonary artery catheter and outcomes in patients with shock and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA* 290: 2713–2720
40. Rivers E, Nguyen B, Havstad S et al. (2001) Early goal-directed therapy in the treatment of severe sepsis and septic shock. *N Engl J Med* 345: 1368–1377
42. Sandham JD, Hull RD, Brant RF et al. (2003) A randomized, controlled trial of the use of pulmonary-artery catheters in high-risk surgical patients. *N Engl J Med* 348: 5–14
43. Shah MR, Hasselblad V, Stevenson LW et al. (2005) Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients: meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA* 294: 1664–1670

Das komplette Literaturverzeichnis ...

... finden Sie in der elektronischen Version dieses Beitrags unter [www.DerAnaesthetist.de](http://www.DerAnaesthetist.de)

Bitte beachten Sie:  
 Antwortmöglichkeit nur online unter: **CME.springer.de**  
 Die Frage-Antwort-Kombinationen werden online  
 individuell zusammengestellt.  
 Es ist immer nur eine Antwort möglich.

# Fragen zur Zertifizierung

## Welcher der folgenden Messparameter kann nicht direkt mit dem PAK erhoben werden?

- Herzzeitvolumen.
- Pulmonalarterieller Blutdruck.
- Pulmonalarterieller Verschlussdruck.
- Linksatrialer Druck.
- Gemischt-venöse Sauerstoffsättigung.

## Welche Aussage zum rechtsventrikulären enddiastolischen Volumen (RVEDV) ist richtig?

- Das RVEDV ist ein Parameter für die Vorlast des Herzens.
- Die Bestimmung des RVEDV mittels der Thermodilutionstechnik ist unabhängig von Herzrhythmusstörungen und Klap-peninsuffizienzen.
- Das RVEDV ist allein abhängig vom systemischen Blutdruck.
- Zur Abschätzung der kardialen Vorlast ist die Bestimmung des RVEDV den kardialen Füllungsdrücken PAOP und ZVD unterlegen.
- Das RVEDV ist ein Maß für die Nachlast des linken Herzens.

## Welche Aussage zur gemischtvenösen Sauerstoffsättigung ist korrekt?

- Die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung wird in der Vena jugularis externa gemessen.
- Die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung wird in der Vena jugularis interna bestimmt.
- Die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung ist ein Maß für die Sauerstoffausschöpfung der oberen Körperhälfte.
- Die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung wird in der A. pulmonalis bestimmt.
- Die gemischtvenöse Sauerstoffsättigung kann nicht kontinuierlich ermittelt werden.

## Welche der folgenden Aussagen zum Herzzeitvolumen (HZV) ist richtig?

- Das Herzzeitvolumen in der Aorta descendens ist gleich dem linksventrikulären HZV.
- Das HZV kann nur in der A. pulmonalis korrekt bestimmt werden.
- Für die Thermodilutionsmethode kommt eisgekühlter Farbstoff zur Anwendung.
- Alternative Verfahren zur HZV-Bestimmung wie die transpulmonale Thermodilutionstechnik sind sehr ungenau und werden im klinischen Alltag daher nicht eingesetzt.
- Bei der Bolusinjektionsmethode werden in der Regel 3–5 Messungen pro Messzeitpunkt durchgeführt.

## Welche Antwort zum pulmonalvaskulären Widerstand ist richtig?

- Er ist unabhängig vom HZV.
- Er berechnet sich u.a. aus der Druckdifferenz von PAP und PAOP.
- Er berechnet sich aus dem ZVD und dem MAP.
- Er kann nicht zur Therapiesteuerung mit vasoaktiven Substanzen bei pulmonaler Hypertonie genutzt werden.
- Er ist unabhängig vom pulmonalarteriellen Druck.

## Welche der folgenden Aussagen zur „Early goal directed therapy“ ist richtig?

- Sie ist eine Therapieform bei pulmonaler Hypertonie.
- Sie beinhaltet das Erreichen bestimmter Zielwerte der zentralvenösen Sättigung in einem festgelegten Zeitfenster.
- Sie kann nur bei chirurgischen Intensivpatienten durchgeführt werden.
- Ihre Anwendung ist ohne Echokardiographie nicht möglich.
- Sie muss innerhalb von 2 Stunden nach Aufnahme des Patienten auf der Intensivstation begonnen werden.

## Welche Aussage zur Bestimmung des Herzzeitvolumens mittels der CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik (NICO®) ist korrekt?

- Die Bestimmung des HZV mittels der CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik ist genauer als die Bestimmung mittels der Thermodilutionstechnik.
- Die Messung ist unabhängig vom Ventilationsmodus (spontan oder maschinell).
- Die Bestimmung des HZV mittels der CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik ist ungenauer als die Bestimmung mittels der Thermodilutionstechnik.
- Für die Messung ist ein Dopplersensor im Ösophagus notwendig.
- Die Bestimmung des HZV bei der CO<sub>2</sub>-Rückatmungstechnik kann mittels eisgekühlter Kochsalzlösung durchgeführt werden.

## Bei der Anlage eines Pulmonalarterienkatheters muss ein Defibrillator verfügbar sein (Aussage 1), weil beim Einschwemmen des Katheters relevante Herzrhythmusstörungen auftreten können (Aussage 2).

- Aussage 1 und 2 sind richtig, Verknüpfung richtig
- Aussage 1 und 2 sind richtig, Verknüpfung falsch
- Aussage 1 ist richtig, Aussage 2 ist falsch.
- Aussage 1 ist falsch, Aussage 2 ist richtig.
- Aussage 1 und 2 sind falsch.

## Welche Aussage zur pulmonalen Thermodilutionsmethode bei der Herzzeitvolumenbestimmung ist falsch?

- Als Indikator wird in der Regel eisgekühlte Kochsalzlösung verwendet.
- Die Bestimmung kann bettseitig erfolgen.



# Hier steht eine Anzeige.



- Die Herzzeitvolumenbestimmung basiert auf dem Stewart-Hamilton-Prinzip.
- Der Indikatorbolus wird in die Pulmonalarterie injiziert.
- Die Bestimmung des Herzzeitvolumens mittels pulmonaler und transpulmonaler Thermodilution ist von vergleichbarer Genauigkeit.

**Welche Aussage zur Herzzeitvolumenbestimmung mittels der transösophagealen Echokardiographie (TEE) ist falsch?**

- Die transösophageale Echokardiographie liefert zusätzliche Informationen über den Füllungsstatus, die Morphologie und Anatomie des Herzens, sowie über die Funktion der Herzklappen.
- Die Platzierung der Echokardiographie-sonde im Ösophagus wird von manchen Patienten nur schlecht toleriert.
- TEE kann beim hämodynamisch instabilen Patienten nicht eingesetzt werden.
- Bei sehr niedrigen oder sehr hohen Herzzeitvolumina ist die Genauigkeit des Verfahrens geringer.
- Mögliche Fehlerquellen sind die fehlerhafte Bestimmung des Gefäßdurchmessers und die nicht korrekte Platzierung des Dopplerfelds.

**Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate auf [CME.springer.de](https://www.cme.springer.de) verfügbar. Den genauen Einsendeschluss erfahren Sie unter [CME.springer.de](https://www.cme.springer.de).**