

# Hämodynamisches Monitoring: Standards und Fehlerquellen\* (CME 5/05)

*Haemodynamic monitoring – Standards and pitfalls*

B. Bein, J. Scholz und P. H. Tonner

Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel (Direktor: Prof. Dr. J. Scholz)

Die Zertifizierung der Fortbildung anhand von Fortbildungsbeiträgen in unserer Zeitschrift können alle Mitglieder von DGAI und BDA nutzen.

Je Fortbildungsbeitrag ist ein Satz von Multiple-choice-Fragen zu beantworten. Entsprechend den Bewertungskriterien der Bundesärztekammer erhalten Sie einen Fortbildungspunkt, wenn Sie mindestens 70% der Fragen zutreffend beantwortet haben. Ab 90% richtiger Antworten erhalten Sie zwei Fortbildungspunkte. Die richtigen Antworten werden unmittelbar nach Einsendeschluss in dieser Zeitschrift bekanntgegeben. Die Fortbildungszertifikate werden nach Ende jeden Kalenderjahres von der Landesärztekammer Westfalen-Lippe ausgestellt. Die Fortbildungspunkte werden auch von den anderen Ärztekammern, gemäß den jeweiligen Bestimmungen, anerkannt.

Für Nutzer des Online-Verfahrens (<http://cme.anaesthesisten.de>) ist die Zertifizierung kostenfrei.

**Zusammenfassung:** Die Überwachung und ggf. Steuerung der globalen Hämodynamik zählt heutzutage zu den selbstverständlichen Fertigkeiten eines Anästhesisten und Intensivmediziners. Daher ist die Kenntnis von technischen Voraussetzungen, Einflussfaktoren und potenziellen Fehlerquellen für eine sinnvolle Interpretation der erhobenen Messwerte unabdingbar. Insbesondere invasive Verfahren setzen beim Anwender fundierte Kenntnisse der Herz- und Kreislaufphysiologie voraus. Bei allen invasiven Verfahren zur Bestimmung eines intravasalen Druckes ist eine Nullpunktjustierung erforderlich, die abweichend von der klinischen Praxis etwa 5 cm unterhalb des linken Sternalrandes vorzunehmen ist und bei Lageänderungen des Patienten ggf. korrigiert werden muss. Eine Eichung auf den Referenzpunkt des atmosphärischen Umgebungsdrucks ist im Regelfall dagegen nur einmal zu Beginn der Messung erforderlich. Bei der Beurteilung intravasal gemessener Drucke ist die Unterscheidung zwischen dem transmuralen Druck, der die treibende Kraft für die Füllung der Ventrikel darstellt und übertragenen Druckwerten wichtig, die beatmungsassoziierte intrathorakale Druckschwankungen abbilden. Dies ist insbesondere bei der Beurteilung von Messwerten wichtig, die von einem Pulmonalarterienkatheter (PAK) geliefert werden. Nur eine korrekte Positionierung des PAK in West Zone 3 ermöglicht Rückschlüsse auf linksatriale Druckwerte, da ansonsten der applizierte Beatmungsdruck eine wichtige Störgröße darstellt. Ebenso ist von Bedeutung, dass druckbasierte Surrogatparameter von rechts- und linksventrikulärer Vorlast bei Änderungen der Ventrikelcompliance und hohen, intrathorakalen Druckschwankungen eine schlechte Korrelation zum Volumen der Herzhöhlen zeigen. Neuere Methoden des invasiven Kreislaufmonitorings, die auf der Pulsconturanalyse und der transpulmonalen Thermodilution beruhen, liefern das

Herzeitvolumen in Echtzeit und können intrathorakale Volumina quantitativ bestimmen. Ob das auf der Pulsconturanalyse beruhende Konzept der Schlagvolumenvariation zur Bestimmung der Volumenreagibilität geeignet ist, kann derzeit noch nicht abschließend beurteilt werden.

**Summary:** Today, monitoring and, where necessary, control of global haemodynamics are counted among the basic skills of an anaesthetist and intensive care physician. Knowledge of the technical requirements, influencing factors and potential pitfalls is therefore indispensable for a meaningful interpretation of the measurements obtained. In particular the invasive determination of haemodynamics require a sound knowledge of the underlying cardiovascular physiology. For example, measurement of intravascular pressures requires a reference point of zero pressure which, in contrast to clinical practice, is located about 5 cm below the left sternal border and which may need to be readjusted when the patient is repositioned. In contrast, calibration of the zero reference point to atmospheric pressure is usually required only once at the start of monitoring.

For the interpretation of pressures measured intravascularly, it is very important to distinguish between transmural pressure, which reflects the true driving force for ventricular filling, and transmitted pressure, which reflects intrathoracic pressure changes due to respiration. This is of particular relevance for the interpretation of measurements obtained with a pulmonary artery catheter (PAC).

Only correct positioning of the PAC in West zone III permits an assessment of left atrial pressure, as otherwise the applied ventilation pressure is a major confounding variable. Additionally, pressure-based surrogate parameters of right

\* Rechte vorbehalten.

and left ventricular preload are only poorly correlated with cardiac chamber volumes in the presence of changes in ventricular compliance and large intrathoracic pressure fluctuations.

More recent techniques of invasive haemodynamic monitoring based on pulse contour analysis and transpulmonary thermodilution make possible the real-time recording of cardiac output and quantitative determination of intrathoracic volumes.

Further studies are necessary to determine whether the concept of pulse contour-derived stroke volume variation is suitable for assessing cardiac volume reactivity.

### Hämodynamisches Monitoring: Gibt es Standards?

Das Monitoring hämodynamischer Parameter perioperativ oder auf der Intensivstation zählt heutzutage zu den selbstverständlichen Fertigkeiten eines Anästhesisten und Intensivmediziners. Allerdings ist die Rationale speziell für invasives Monitoring umstritten, da ein klarer, evidenzbasierter Nachweis des klinischen Nutzens bislang fehlt. Ebenso ist unklar, ob Umfang und Invasivität des verwendeten Monitorings abhängig von der Schwere der Vorerkrankungen oder vom Umfang des geplanten operativen Eingriffs gesteigert werden sollten, oder ob im Gegenteil nichtinvasive Verfahren zu bevorzugen sind [1]. Inwieweit gerade invasives Monitoring effektiv zur Therapieoptimierung beiträgt und ob die Risiken und Komplikationen invasiver Verfahren sich durch ein verbessertes Outcome der Patienten rechtfertigen lassen, wird zur Zeit kontrovers diskutiert [2]. Die Rechtsherzkatheterisierung als sehr invasive Maßnahme zeigte in mehreren großen, randomisierten Studien keinen Vorteil oder sogar eine erhöhte Morbidität und Mortalität gegenüber einem Standardmonitoring [3,4]. Andererseits wurde in mehreren Untersuchungen belegt, dass die Anwender häufig nur unzureichende Kenntnisse über das von ihnen verwendete Monitoring besitzen und somit Fehlinterpretationen zielgerichtete therapeutische Entscheidungen verzögern bzw. verhindern [5,6]. Leitlinien oder Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) zum Einsatz invasiven Monitorings existieren zur Zeit noch nicht. Die Notwendigkeit einer intensiven Überwachung hämodynamischer Parameter bei kritisch kranken Patienten findet jedoch breite Akzeptanz [7]. Dieser Konsensus der Anwender besitzt zwar nur einen niedrigen Evidenzgrad, es ist aber fraglich, ob der Verzicht auf Monitoring im Rahmen randomisierter Studien konzeptionell realisierbar und ethisch vertretbar überhaupt untersucht werden kann. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die allgemein üblichen Monitoringverfahren und zielt darauf ab, den Nutzen dieser Verfahren für die klinische Praxis durch die Darstellung der Probleme im Zusammenhang mit der arteriellen, zentralvenösen und pulmonalarteriellen Druckmessung zu optimieren.

**Schlüsselwörter:** Monitoring – Kardiovaskuläres System – Blutdruck – Herzzeitvolumen – Pulmonalkatheter

**Keywords:** Physiological Monitoring – Cardiovascular System – Blood Pressure – Cardiac Output – Pulmonary Artery Catheterisation.

### Invasive und nicht-invasive Blutdruckmessung: Technik und Fehlerquellen

Der gemessene Blutdruck ist eine Funktion von Messort und -technik. Kenntnis der technischen und patientenspezifischen Faktoren ist notwendig, um Messfehler und therapeutische Fehlentscheidungen zu vermeiden.

Die indirekte, nicht-invasive und die direkte Messung des arteriellen Blutdruckes gehören zum Standardrepertoire des hämodynamischen Monitorings. Praktisch bei jeder Anästhesie wird der arterielle Blutdruck zumindest nicht-invasiv in Zeitintervallen zwischen 3 und 5 Minuten dokumentiert. Indirekte Messungen des Blutdruckes werden im Allgemeinen mit automatischen Manschetten durchgeführt, die eine oszillometrische Technik verwenden (NIBD). Dabei entspricht der arterielle Mitteldruck dem Druck, an dem maximale Oszillationen ermittelt werden, und die systolischen und diastolischen Druckwerte entsprechen den Zeitpunkten, an denen die Oszillationen anfangen bzw. verschwinden. Die auskultatorische Bestimmung des Blutdrucks mit Blutdruckmanschette und Stethoskop ermittelt den systolischen und diastolischen Druck an den Punkten des Beginns und des Verschwindens der so genannten Korotkoff-Töne, die durch den turbulenten Blutfluss über das komprimierte Gefäß hervorgerufen werden. Probleme bei beiden Verfahren bereiten unter anderem eine gestörte Übertragung des Pulswellengeräusches und eine Manschettenkompression von außen. Eine zu schnelle Manschettendeflation und ebenso eine ausgeprägte Vasokonstriktion führen zur Unterschätzung des Blutdrucks (auskultatorisch), während verkalkte, nicht kompressible Arterien zur Überschätzung des Blutdrucks (auskultatorisch, NIBP) führen. Eine wichtige Determinante bei der korrekten Ermittlung des Blutdrucks stellt auch die adäquate Manschettengröße dar. Eine zu kleine Manschette führt dabei zu Überschätzung des Blutdrucks, während umgekehrt aus der Verwendung einer zu großen Manschette falsch niedrige Werte resultieren. Kardiale Arrhythmien, Shivering bzw. unwillkürliche Bewegungen des Patienten können bei beiden Verfahren zu Fehlmessungen führen. Zudem können schnelle Änderungen des Blutdrucks nichtinvasiv häufig nicht erfasst werden [8].

Die direkte, invasive Blutdruckmessung mit einem arteriellen Katheter wird empfohlen, wenn instabile Patienten versorgt werden müssen bzw. immer dann, wenn schnelle Änderungen des Blutdrucks erwartet werden oder wiederholte Blutgasbestimmungen erforderlich sind. Wie bei den nicht-invasiven, indirekten Verfahren wird auch die Genauigkeit der direkten, arteriellen Messung durch technische Faktoren beeinflusst. Ein wichtiger Faktor, der dabei berücksichtigt werden muss, ist die Änderung der arteriellen Druckkurve auf ihrem Weg von der Aortenwurzel zu den peripheren Arterien [9]. Die arterielle Druckkurve erfährt eine distale Impulsverstärkung infolge des Widerstands und der harmonischen Resonanz des Gefäßbaums. Verglichen mit einer zentralen Aortendruckkurve zeigt eine in der A. radialis gemessene Druckkurve einen verzögerten, aber steileren Aufstrich, eine höhere systolische Spitze, eine verzögerte Dikrotie, eine höhere diastolische Welle und einen niedrigeren enddiastolischen Druck. Die arterielle Druckkurve hat in der Peripherie eine größere Amplitude, und die Werte des systolischen und diastolischen Drucks sind höher bzw. niedriger als die Werte, die simultan in der Aorta gemessen werden. Dabei ändert sich der arterielle Mitteldruck per saldo nur wenig. Systemspezifische Faktoren beeinflussen auch die Genauigkeit der direkten arteriellen Blutdruckmessung. Eine exakte Wiedergabe der arteriellen Kurvenform hängt von den an der Druckmessung beteiligten Komponenten (z.B. Katheter, Schläuche, Dreiwegehähne) ab, die wiederum die zwei Schlüsselparameter des gesamten Systems, die natürliche Frequenz und den Dämpfungskoeffizienten, bestimmen [10]. Die natürliche Frequenz gibt an, wie schnell das Messsystem oszilliert, und der Dämpfungskoeffizient beschreibt, wie schnell es wieder zur Ruhe kommt. Jede komplexe Kurvenform (also auch eine Blutdruckkurve) enthält unterschiedliche Frequenzanteile. Während z.B. eine Sinuskurve nur eine definierte Frequenz enthält, setzt sich ein Elektroenzephalogramm aus vielen verschiedenen Schwingungen unterschiedlicher Frequenz zusammen. Mittels Fast Fourier Transformation lässt sich das Frequenzspektrum einer komplexen Kurve in einem sog. Powerspektrum abbilden, das die Häufigkeit der unterschiedlichen Frequenzen wiedergibt [11]. Wenn nun das Drucksystem eine zu niedrige natürliche Frequenz hat und unzureichend gedämpft ist (was in der klinischen Praxis häufig vorkommt), schwingt das System bei einer bestimmten Blutdruckamplitude mit. Dies führt zu falsch hohen systolischen Blutdruckwerten und wird häufig bei Patienten mit Tachykardie und steilem systolischen Druckanstieg beobachtet. In diesen Fällen stimmen Frequenzen, die in der Blutdruckkurve enthalten sind, mit der natürlichen Frequenz des Systems überein, das System bildet quasi einen Resonanzkörper für die Blutdruckkurve. Da der indirekten, nichtinvasiven und der direkten, arteriellen Druckmessung unterschiedliche Verfahren zugrunde liegen, kommt es in der Praxis häufig vor, dass beide Methoden unterschiedliche Werte liefern. In der perioperativen Überwachung kritisch kranker Patienten tragen weitere Faktoren zu diesen Unterschieden bei [12]. Bei Patienten mit generel-

ler Gefäßsklerose liegt meistens auch eine regionale Arteriosklerose vor, die sich in Blutdruck-Unterschieden von über 20 mm Hg zwischen dem rechten und linken Arm manifestiert [13]. Jeder offensichtliche Unterschied der Radialispulse des rechten und linken Armes sollte mittels nichtinvasiver Blutdruckmessung verifiziert werden, um die Differenz zu quantifizieren und dann den geeigneten Punctionsort für die arterielle Kanülierung festzulegen. Erhebliche Druckdifferenzen treten häufig auch unmittelbar nach dem cardiopulmonalen Bypass und im vasoplegischen Schock auf [14]. In diesen Situationen wird die normale distale Pulswellenverstärkung nicht beobachtet. Daher unterschätzen peripher gemessene Blutdruckwerte deutlich den zentralen Aortendruck [12]. Ursache ist u.a. eine relative, proximale arterielle Vasokonstriktion in Verbindung mit peripherer Vasodilatation. Nicht zuletzt muss darauf hingewiesen werden, dass der gemessene Blutdruck keine Aussage über das gleichzeitig gepumpte Herzzeitvolumen zulässt. Hohe Blutdruckwerte können dabei mit einer erhöhten, normalen und auch verminderten Perfusion des Organismus einhergehen (und umgekehrt) [15].

### Determinanten und Interpretation des zentralvenösen Drucks

Die Anlage eines zentralvenösen Katheters (ZVK) wird allgemein als indiziert angesehen, wenn mit größeren Blutverlusten und/oder Flüssigkeitsverschiebungen gerechnet werden muss. Ebenso ist ein ZVK zur Infusion von vasoaktiven Substanzen und hyperosmolaren Lösungen indiziert bzw. wenn kein peripherer Zugang ausreichender Größe etabliert werden kann.

Zur Ermittlung korrekter Druckwerte müssen alle invasiven Katheter zunächst kalibriert werden. Bei der Vorbereitung der Messung eines intravasalen Drucks wird der externe Druckaufnehmer "genullt" und auf eine bestimmte Höhe relativ zum Körper des Patienten justiert. Obwohl beides häufig gleichzeitig durchgeführt wird, sind dies zwei voneinander unabhängige Prozesse. Der Transducer wird auf Null eingestellt, indem man das System gegen den umgebenden, atmosphärischen Druck öffnet und dann die Nulldruckkalibrierung auf dem Monitor betätigt. Der Transducer hat jetzt einen Referenzwert, den umgebenden atmosphärischen Druck, dem der Wert 0 mmHg zugewiesen wird. Bei allen hämodynamischen Monitoringverfahren wird der angezeigte Druck auf den umgebenden atmosphärischen Druck außerhalb des Körpers bezogen. Unabhängig davon, wo der Transducer justiert wird, sollte die Nullpunktkalibrierung nur wiederholt werden, wenn sich der Bezugswert 0 mmHg geändert hat. Der zweite Schritt in der Transducereinstellung besteht darin, den Transducer optimal zur Position des Patienten anzubringen. Normalerweise wird der Transducer zur Mitte des Thorax in Höhe der mittleren Axillarlinie ausgerichtet. Diese Position beruht auf einer einfachen Schätzung der Position des Herzens innerhalb des Thorax. Der zentralvenöse Druck (ZVD) wird als Surrogatpara-

meter der kardialen Vorlast, speziell der Vorlast des rechten Herzens gemessen. Die Kraft, die die Vorlast oder Füllung einer Herzhöhle hervorruft, ist der dehnende Druck über der Wand des rechten Vorhofs bzw. rechten Ventrikels. Der hydrostatische Druck des Blutes in der Herzhöhle ist nicht von Interesse, nur der transmurale Druck, der die effektive Füllung determiniert [16]. Infolgedessen sollte der externe Druckaufnehmer so positioniert werden, dass dieser hydrostatische Druck des Bluts innerhalb der Herzhöhle ausgeglichen wird. Optimal ist daher eine Position des Transducers in Höhe des obersten Blutniveaus in der Herzhöhle, in der der Druck gemessen wird. Echokardiographischen Daten zufolge liegt die beste Position für die klinische Standardüberwachung ungefähr 5 Zentimeter unterhalb des linken Sternalrandes in Höhe des 4. Interkostalraums [17]. Die allgemeine klinische Praxis der Transducerausrichtung in der Mitte des Thorax bedingt eine Überschätzung des wahren Druckes um mehr als 5 mmHg. Wird der Transducer hingegen 5 Zentimeter unterhalb des Sternalrandes positioniert, stimmt dies mit dem obersten Niveau des linken Ventrikels überein. Bei den meisten Patienten unterscheidet sich das obere Niveau des Bluts im rechten Ventrikel sowie im rechten und im linken Vorhof nur um ca. 1 Zentimeter (d.h.  $\pm 0.8$  mmHg). Diese Position ist daher zur Messung von ZVD und linksventrikulärer Vorlast (pulmonalkapillärer Verschlussdruck, PCWP) gut geeignet.

### Messung und Relevanz des pulmonalarteriellen Verschlussdrucks

Die Indikation zur Anlage eines Pulmonalarterienkatheters ist zur Zeit, wie oben gesagt, Gegenstand einer kontroversen Diskussion. Häufig wird ein PAK verwendet, um die Herzfunktion kritisch kranker Patienten zu überwachen, wobei abhängig vom verwendeten Kathetertyp einige Parameter (HZV, SvO<sub>2</sub>) semikontinuierlich oder kontinuierlich bestimmt werden können.

Wenn ein PAK in Wedge-Position eingeschwenkt wird, isoliert der aufgeblasene Ballon die distale Öffnung vom Druck in der Pulmonalarterie. Eine ununterbrochene statische Blutsäule verbindet jetzt die Katheterspitze in der Pulmonalarterie mit einer Pulmonalvene nahe des Eingangs zum linken Vorhof. Unter diesen Bedingungen fließt kein Blut zwischen der Katheterspitze und dieser Lungenvene. Der PAK wird somit funktionell bis in den linken Vorhof verlängert und ermöglicht in Wedge-Position eine Abschätzung des linken Vorhofdrucks und des linksventrikulären enddiastolischen Drucks. Die Messung des PCWP erfordert diese ununterbrochene Blutsäule über dem Lungengefäßbett. Daher ist die Position des PAK in der Lungenstrombahn von entscheidender Bedeutung. Das Ventilations-/Perfusionsverhältnis des Lungengewebes kann vereinfachend in drei Bereiche (sog. West-Zonen) eingeteilt werden. Nur bei Lage des PAK in der West-Zone 3 ist eine ununterbrochene Blutsäule in In- und Expiration gewährleistet. Wenn der alveoläre Druck sehr hoch ist oder der Druck im linken Vorhof niedrig, sind

diese physiologischen Bedingungen möglicherweise nicht gegeben, und der PAK misst fälschlich alveolären Druck anstatt den Druck im linken Vorhof [18]. Der PCWP bildet den Druckverlauf im linken Vorhof ab, so wie der ZVD den Druckverlauf im rechten Vorhof widerspiegelt. Weil der PCWP ein indirektes Maß des linken Vorhofdrucks ist, erscheinen die normalen linksatrialen Druckwellen verzögert, wenn sie in der PCWP-Kurve dargestellt werden. Die Welle, die in einer normalen ZVD-Kurve aus der enddiastolischen Kontraktion des rechten Vorhofs resultiert, erscheint nach der P-Welle und vor der R-Welle im EKG. Analog kann diese Welle in der normalen PCWP-Kurve als Folge der enddiastolischen Kontraktion des linken Vorhofs gesehen werden. Weil die Druckwelle auf ihrem Weg vom linken Vorhof zurück durch das Lungengefäßbett um ca. 150-200 Millisekunden verzögert wird, scheint sie in der PCWP-Kurve bei den meisten Patienten der R-Welle des EKG zu folgen und dadurch in der frühen Ventrikelsystole aufzutreten. Diese zeitliche Verzögerung zwischen Druckwellen im linken Vorhof und ihrer Wiedergabe in der PCWP-Kurve muss berücksichtigt werden, um eine Fehlinterpretation der Wedgekurve zu vermeiden (insbesondere eine Fehlinterpretation als v-Welle) [19]. Wie der ZVD wird auch der PCWP als Surrogatparameter der linksventrikulären Vorlast gemessen. Wenn das linksventrikuläre enddiastolische Volumen zunimmt, steigt auch der enddiastolische Druck, was als Zunahme des PCWP reflektiert wird. Hierbei sind zwei Störfaktoren zu beachten. Das Volumen jeder Herzhöhle ist eine Funktion des transmural wirkenden Drucks, des Unterschieds zwischen dem Druck innerhalb und außerhalb der Herzhöhle. Alle intravasalen Füllungsdrücke werden jedoch auf den umgebenden atmosphärischen Druck bezogen, dem ein Wert von 0 mmHg durch die Kalibrierung zugewiesen wurde. Wenn sich intrathorakaler und intraperikardialer Druck erhöhen (z.B. hoher Beatmungsdruck, hoher PEEP, Tamponade), kann der transmurale Druck fallen, obwohl der vom Transducer gemessene Druck innerhalb der Herzhöhle relativ zum atmosphärischen Druck zugenommen hat. Das Füllungsvolumen der Herzhöhle hat abgenommen, obwohl der gemessene intravasale Druck sich erhöht hat. Der erhöhte PCWP besteht unter diesen Umständen trotz der Tatsache, dass das kardiale Füllungsvolumen normal oder sogar vermindert ist [18]. Das Ventrikelvolumen wird durch den transmuralen Druck, nicht den intravasalen Druck relativ zur Atmosphäre determiniert. Eine veränderte diastolische Ventrikelcompliance beeinflusst ebenfalls die Wertigkeit des PCWP als Surrogat der linksventrikulären Vorlast. Die diastolische Druck-Volumen-Beziehung des linken Ventrikels ist kurvilinear, d.h. zusätzliches Volumen ruft minimale Druckänderungen bei niedrigem Füllungsvolumen und große Druckänderungen bei hohem Füllungsvolumen hervor. Bei diastolischer Dysfunktion und verminderter Compliance (z.B. linksventrikuläre Hypertrophie und Ischämie) ist der PCWP auf jedem möglichen gegebenen Niveau der Ventrikelfüllung erhöht.

## Pulskonturanalyse und transpulmonale Thermodilution

Die geschilderten Limitationen und die möglichen Komplikationen des PAK führten zur Entwicklung weniger invasiver Messverfahren. In den letzten Jahren hat vor allem das PiCCO-System (Pulsion Medical Systems, München, Deutschland) in Europa weitere Verbreitung gefunden. Dieses System kombiniert eine transpulmonale Indikatorverdünnung mit der Pulskonturanalyse zur Bestimmung von Herzzeitvolumen, kardialen und intrathorakalen Volumina und weiteren hämodynamischen Parametern. Das Indikatorverdünnungsverfahren liefert über eine mathematische Analyse der Verdünnungskurve zwei Volumenparameter, das intrathorakale Thermovolumen und das pulmonale Thermovolumen. Alle anderen Parameter, die vom System zur Verfügung gestellt werden, sind aus diesen beiden Volumina abgeleitet. Dabei wird z.B. das globale enddiastolische Volumen mit dem Faktor 1,25 multipliziert, um das intrathorakale Blutvolumen zu erhalten. Dieser Faktor wurde bislang in einer Arbeit publiziert [20], aber noch nicht durch weitere Studien verifiziert. Die Pulskonturanalyse ist ein vergleichsweise altes Verfahren, das jedoch durch verbesserte Berechnungsalgorithmen und die Möglichkeit einer computergestützten Auswertung eine Renaissance erlebt [21]. Nach initialer Kalibrierung mittels transpulmonaler Thermodilution liefert das System eine Schlag-zu-Schlag-Bestimmung des Herzzeitvolumens, die aus der arteriellen Pulskurve abgeleitet wird. Darüber hinaus werden die Schlagvolumenvariation (SVV) und die maximale Druckanstiegsgeschwindigkeit ( $dP/dt \max$ ) berechnet. Entscheidende Determinante des Zusammenhangs zwischen der arteriellen Pulskontur und dem Herzzeitvolumen ist die patientenindividuelle Compliance des Gefäßbaums. Diese individuelle Compliance wird bei der initialen Kalibrierung ermittelt. Inwieweit sich dieser Faktor z.B. durch eine Therapie mit vasoaktiven Substanzen oder auch durch Änderungen der sympathovagalen Balance des autonomen Nervensystems ändert und wie häufig demzufolge erneute Kalibrierungen notwendig sind, wird zur Zeit kontrovers diskutiert [22,23]. Ebenso ist der Stellenwert der SVV noch nicht endgültig geklärt [24]. Eine Untersuchung fand eine sehr gute Korrelation der SVV zum Anstieg des Schlagvolumens nach einer definierten Volumengabe, während in einer anderen Studie kein Zusammenhang zwischen diesen Parametern gefunden werden konnte [25,26]. Viele der vom PiCCO-System generierten Parameter werden zur Zeit in Studien auf ihre klinische Relevanz geprüft, so dass es für eine abschließende Bewertung von Fehlerquellen dieses Verfahrens noch zu früh ist.

## Hämodynamisches Monitoring: Kontinuierliche Aus- und Weiterbildung

Nach Veröffentlichung der Studie von *Connors et al.* über die Effektivität der Rechtsherzkatheterisierung [4] entwickelte

sich eine kontroverse Diskussion über Sinn und Unsinn invasiven hämodynamischen Monitorings. Während Befürworter Untersuchungen anführen, die mittels eines PAK und definierter Zielkriterien das Patienten-Outcome verbesserten [27], gibt es andererseits Studien, die keinen oder sogar einen negativen Effekt des PAK-Monitorings berichteten [3,28]. Eine Konsensuskonferenz kam 1997 zu dem Ergebnis, dass theoretisches Wissen und praktische Fertigkeiten der Anwender sehr unterschiedlich sind und Fehlinterpretationen der Messwerte ein verbessertes Outcome von Patienten, die mittels PAK überwacht werden, verhindern [29]. Daher kommt der Ausbildung der Anwender eine zentrale Bedeutung zu. Der Anästhesist muss die Anwendung und Interpretation hämodynamischer Monitoringverfahren genauso erlernen wie eine fachgerechte endotracheale Intubation. In den USA bemüht sich das Pulmonary Artery Catheter Education Project (PACEP; <http://www.pacep.org>) um eine Weiterbildung von Ärzten und Pflegepersonal, die den PAK einsetzen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Monitoringverfahren per se keine therapeutische, sondern diagnostische Maßnahmen sind. Alle therapeutischen Entscheidungen, die auf den Ergebnissen hämodynamischer Messungen beruhen, setzen zuallererst die Entscheidung des Expertensystems „Arzt“ voraus. Genaue Kenntnis von Möglichkeiten und Grenzen der verwendeten Monitoringverfahren sollte bei jedem verantwortlichen Anwender vorausgesetzt werden.

## Literatur

1. Vincent JL, De Backer D. Cardiac output measurement: is least invasive always the best? *Crit Care Med* 2002;30:2380-2.
2. Pinsky MR. Rationale for cardiovascular monitoring. *Curr Opin Crit Care* 2003;9:222-4.
3. Sandham JD, Hull RD, Brant RF, Knox L, Pineo GF, Doig CJ et al. A randomized, controlled trial of the use of pulmonary-artery catheters in high-risk surgical patients. *N Engl J Med* 2003;348:5-14.
4. Connors AF, Jr., Speroff T, Dawson NV, Thomas C, Harrell FE, Jr., Wagner D et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. *Jama* 1996;276:889-97.
5. Gnaegi A, Feihl F, Perret C. Intensive care physicians' insufficient knowledge of right-heart catheterization at the bedside: time to act? *Crit Care Med* 1997;25:213-20.
6. Iberti TJ, Fischer EP, Leibowitz AB, Panacek EA, Silverstein JH, Albertson TE. A multicenter study of physicians' knowledge of the pulmonary artery catheter. Pulmonary Artery Catheter Study Group. *Jama* 1990;264:2928-32.
7. Bellomo R, Uchino S. Cardiovascular monitoring tools: use and misuse. *Curr Opin Crit Care* 2003;9:225-9.
8. Mark JB. Cardiovascular monitoring. In: Miller RD, ed. *Anesthesia* Philadelphia: Churchill Livingstone, 2000.
9. O'Rourke MF, Yaginuma T. Wave reflections and the arterial pulse. *Arch Intern Med* 1984;144:366-71.
10. Gardner RM. Direct blood pressure measurement-dynamic response requirements. *Anesthesiology* 1981;54:227-36.
11. Keyl C, Schneider A, Dambacher M, Wegenhorst U, Ingenlath M, Gruber M et al. Dynamic cardiocirculatory control during propofol anesthesia in mechanically ventilated patients. *Anesth Analg* 2000;91:1188-95.
12. Dorman T, Breslow MJ, Lipsett PA, Rosenberg JM, Balsler JR, Almog Y et al. Radial artery pressure monitoring underestimates central arterial pressure during vasopressor therapy in critically ill surgical patients. *Crit Care Med* 1998;26:1646-9.
13. Frank SM, Norris EJ, Christopherson R, Beattie C. Right- and leftarm

- blood pressure discrepancies in vascular surgery patients. *Anesthesiology* 1991;75:457-63.
14. Pauca AL, Hudspeth AS, Wallenhaupt SL, Tucker WY, Kon ND, Mills SA et al. Radial artery-to-aorta pressure difference after discontinuation of cardiopulmonary bypass. *Anesthesiology* 1989;70:935-41.
  15. Linton RA, Linton NW, Kelly F. Is clinical assessment of the circulation reliable in postoperative cardiac surgical patients? *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002;16:4-7.
  16. Teplick RS. Measuring central vascular pressures: a surprisingly complex problem. *Anesthesiology* 1987;67:289-91.
  17. Courtois M, Fattal PG, Kovacs SJ, Jr., Tiefenbrunn AJ, Ludbrook PA. Anatomically and physiologically based reference level for measurement of intracardiac pressures. *Circulation* 1995;92:1994-2000.
  18. Pinsky MR. Pulmonary artery occlusion pressure. *Intensive Care Med* 2003;29:19-22.
  19. Pinsky MR. Clinical significance of pulmonary artery occlusion pressure. *Intensive Care Med* 2003;29:175-8.
  20. Sakka SG, Ruhl CC, Pfeiffer UJ, Beale R, McLuckie A, Reinhart K et al. Assessment of cardiac preload and extravascular lung water by single transpulmonary thermodilution. *Intensive Care Med* 2000;26:180-7.
  21. Godje O, Hoke K, Goetz AE, Felbinger TW, Reuter DA, Reichart B et al. Reliability of a new algorithm for continuous cardiac output determination by pulse-contour analysis during hemodynamic instability. *Crit Care Med* 2002;30:52-8.
  22. Della Rocca G, Costa MG, Pompei L, Coccia C, Pietropaoli P. Continuous and intermittent cardiac output measurement: pulmonary artery catheter versus aortic transpulmonary technique. *Br J Anaesth* 2002;88:350-6.
  23. Rauch H, Muller M, Fleischer F, Bauer H, Martin E, Bottiger BW. Pulse contour analysis versus thermodilution in cardiac surgery patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 2002;46:424-9.
  24. Pinsky MR. Probing the limits of arterial pulse contour analysis to predict preload responsiveness. *Anesth Analg* 2003;96:1245-7.
  25. Berkenstadt H, Margalit N, Hadani M, Friedman Z, Segal E, Villa Y et al. Stroke volume variation as a predictor of fluid responsiveness in patients undergoing brain surgery. *Anesth Analg* 2001;92:984-9.
  26. Wiesenack C, Prasser C, Rodig G, Keyl C. Stroke volume variation as an indicator of fluid responsiveness using pulse contour analysis in mechanically ventilated patients. *Anesth Analg* 2003;96:1254-7.
  27. Takala J, Meier-Hellmann A, Eddleston J, Hulstaert P, Sramek V. Effect of dopexamine on outcome after major abdominal surgery: a prospective, randomized, controlled multicenter study. European Multicenter Study Group on Dopexamine in Major Abdominal Surgery. *Crit Care Med* 2000;28:3417-23.
  28. Gattinoni L, Brazzi L, Pelosi P, Latini R, Tognoni G, Pesenti A et al. A trial of goal-oriented hemodynamic therapy in critically ill patients. *N Engl J Med* 1995;333:1025-32.
  29. Pulmonary Artery Catheter Consensus Conference: consensus statement. *Crit Care Med* 1997;25:910-25.

**Korrespondenzadresse:**

Dr. med. *Berthold Bein*  
 Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin  
 Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel  
 Schwanenweg 21  
 D-24105 Kiel  
 Tel.: 0431 / 597-2991  
 Fax: 0431 / 597-3002  
 E-Mail: bein@anaesthesie.uni-kiel.de

**Antworten CME 12/04 (Heft 12/2004)**

Frage 1 : e	Frage 4 : b	Frage 7 : a	Frage 10 : d
Frage 2 : d	Frage 5 : a	Frage 8 : a	
Frage 3 : a	Frage 6 : c	Frage 9 : d	

## Multiple-Choice-Fragen (CME 5/05)

### 1. Welche Aussage ist richtig?

**Eine im Vergleich zum Oberarmumfang zu kleine Blutdruckmanschette führt zu:**

- einer Unterschätzung des arteriellen Mitteldrucks.
- einer Überschätzung des arteriellen Mitteldrucks.
- signifikanten Durchblutungsstörungen im Bereich der Hohlhand.
- einer automatischen Korrektur bei oszillometrischen Verfahren.
- keinen nennenswerten Veränderungen der Messergebnisse.

### 2. Welche Aussage ist richtig?

**Ein unterdämpftes arterielles Druckmesssystem**

- kann durch Zuspritzen eines kleinen Luftbläschens sicher kalibriert werden.
- führt vor allem bei Hypertonie und Tachykardie zur Unterschätzung des arteriellen Drucks.
- verdrängt die natürliche Frequenz des Systems.
- liegt vermutlich bei systolischen Schleuderzacken vor.
- sollte durch Wahl eines anderen Dämpfungskoeffizienten im Monitor korrigiert werden.

### 3. Welche Aussage ist richtig?

**Der ideale Referenzpunkt für die Nullwertfestlegung des zentralvenösen Druckes**

- liegt bei über 90% der Patienten im Bereich der Mamille.
- kann annäherungsweise mit der 1/3 – 2/3 Regel ermittelt werden.
- entspricht dem unteren Flüssigkeitsspiegel im rechten Vorhof.
- wird durch Öffnen des Dreivegehahns zur Umgebungsluft in jeder Position ermittelt.
- befindet sich ca. 5 cm unterhalb des linken Sternalrandes.

### 4. Welche Aussage trifft zu?

**Bei der Positionierung eines Pulmonalarterienkatheters (PAK) gilt:**

- Ein niedriger Wedgedruck korreliert hochsignifikant mit einem Volumenmangel.
- Die Katheterspitze muss bis in den linken Vorhof vorgeschoben werden, um aussagekräftige Messwerte zu bekommen.
- Um Einflüsse der Beatmung zu minimieren, sollte immer am Ende der Inspiration gemessen werden.
- Die Ventrikelcompliance ist nur dann von Bedeutung, wenn der PAK in Wedgeposition hohe V-Wellen anzeigt.
- Gelegentlich korreliert ein hoher Wedge-Druck mit einer niedrigen Vorlast.

### 5. Welche Aussage trifft zu?

**Unter den West-Zonen versteht man**

- die alten Bundesländer der Bundesrepublik (BRD).
- die Einmündung der Pulmonalvenen in den linken Vorhof.
- Bereiche mit unterschiedlichen Ventilations-/Perfusionsverhältnissen in der Lunge.
- Regionen mit aufgehobener hypoxischer Vasokonstriktion.
- eine Luftansammlung im Bereich der PAK-Spitze.

### 6. Welche Aussage ist falsch?

**Der Pulmonaliskatheter kann folgende Messwerte liefern:**

- ein Echtzeit-Herzzeitvolumen, falls ein Katheter mit integrierter Wärmespule verwendet wurde.
- den pulmonalarteriellen Druck.
- den pulmonalvaskulären Widerstand.
- die gemischt-venöse Sauerstoffsättigung.
- einen Surrogatparameter für den linksatrialen Druck.

### 7. Welche Aussage zu transmuralen und intravasalen Druck ist richtig?

- Es handelt sich um synonyme Bezeichnungen.
- Sie stimmen bei maschineller Beatmung am Ende der Plateauphase am besten überein.
- Sie können beide durch Katheter im linken Vorhof bestimmt werden.
- Sie hängen über die Beziehung  $p_{\text{transmural}} = p_{\text{intravasal}} - p_{\text{atm}}$  zusammen.
- Sie werden durch den Beatmungsdruck signifikant beeinflusst.

### 8. Welche Aussage zur Pulskonturanalyse trifft nicht zu?

**Die Pulskonturanalyse**

- erfasst nichtinvasiv Änderungen der Pulswellenform.
- bestimmt die Impedanz des Gefäßbaums.
- ermöglicht eine Analyse der Schlagvolumenvariation.
- wird durch arterielle Vasokonstriktion beeinflusst.
- muss individuell für jeden Patienten kalibriert werden.

### 9. Welche Aussage ist richtig?

**Die Bestimmung intrathorakaler Volumina mittels der transpulmonalen Thermodilution**

- benötigt eine Indikatorsubstanz.
- ist mittels eines PAK mit einem zusätzlichen Indikatorlumen möglich.
- erlaubt Rückschlüsse auf das zentralvenöse Thermovolumen.
- korreliert gut mit dem Wedge-Druck.
- kann teilautomatisiert im Minutentakt erfolgen.

### 10. Welche Aussage trifft nicht zu?

**Ein Wedge-Druck von 18 mm Hg kann**

- mit einer Volumenüberladung des linken Herzens einhergehen.
- auf einer diastolischen Funktionsstörung des linken Ventrikels beruhen.
- bei erniedrigter Compliance der Thoraxwand als übertragener Druck gemessen werden.
- mit ausgeprägtem Volumenmangel einhergehen.
- häufig eine Lungenüberflutung zur Folge haben.

## Auswertungsbogen für die zertifizierte Fortbildung (CME 5/05) (aus Heft 5/2005)

Mitgliedsnummer (bitte immer angeben)

Name: PLZ, Ort

An dieser Auswertung können alle Mitglieder der DGAI und/oder des BDA teilnehmen. Eine korrekte Auswertung ist jedoch nur bei **Angabe der Mitgliedsnummer** möglich. Diese finden Sie auf Ihrer Mitgliedskarte oder auf dem Adressaufkleber Ihrer Zeitschrift, in der Mitte der 3. Zeile (siehe unten).

Der Fragebogen bezieht sich auf den vorstehenden Weiter- und Fortbildungsbeitrag. Die richtigen Antworten werden in der „Anästhesiologie & Intensivmedizin“ publiziert. Die Teilnahme an dieser Auswertung wird Ihnen Anfang des 2. Quartals des Folgejahres attestiert. Sie erhalten einen Fortbildungspunkt je Beitrag, wenn mindestens 70% der Fragen richtig beantwortet wurden. Ab 90% richtiger Antworten erhalten Sie zwei Punkte.

Pro Fragebogen wird eine Bearbeitungsgebühr von 2,50 € berechnet. Nach Zahlungseingang wird Ihnen das Fortbildungszertifikat zugesandt.

**Die Bearbeitung erfolgt für Sie kostenlos, falls sie Ihre Antworten online unter folgender Adresse einreichen:** <http://cme.anaesthesisten.de>

Fortbildungszertifikate werden durch die Landesärztekammer Westfalen-Lippe ausgestellt. Sie werden auch von den anderen Ärztekammern im Rahmen der jeweiligen Bestimmungen anerkannt.

Einsendeschluss ist der **30.06.2005**.

Bitte senden Sie uns den Fragebogen **online (<http://cme.anaesthesisten.de>)** oder **per Fax (09 11 / 393 81 95)** zurück.

### Fragen

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Antwortfeld	a									
	b									
	c									
	d									
	e									
	f									

### MUSTER

DIOmed Verlags GmbH PvSt. DPAG 01/02	Obere Schmiedgasse 11 B 2330 012345	DE-90403 Nürnberg Entgelt bezahlt 000
--	---	---

↑  
Mitgliedsnummer

### DGAI / BDA - Geschäftsstelle

Roritzerstraße 27, D-90419 Nürnberg

Tel.: 0911/93 37 80, Fax: 0911/393 81 95,  
E-Mail: [dgai@dgai-ev.de](mailto:dgai@dgai-ev.de) / <http://www.dgai.de>  
E-Mail: [bda@dgai-ev.de](mailto:bda@dgai-ev.de) / <http://www.bda.de>

#### Geschäftsführung

Dr. med. Alexander Schleppers  
Dipl.-Sozw. Holger Sorgatz  
Sekretariat:  
Monika Gugel 0911/933 78 11  
Alexandra Hisom, M.A. 0911/933 78 12  
E-Mail: [dgai@dgai-ev.de](mailto:dgai@dgai-ev.de)  
E-Mail: [bda@dgai-ev.de](mailto:bda@dgai-ev.de)

#### Rechtsabteilung

Dr. iur. Elmar Biermann  
Ass. iur. Evelyn Weis  
Sekretariat:  
Ingeborg Pschorn (L - Z) 0911/933 78 17  
Gabriele Schneider-Trautmann (A - K) 0911/933 78 27  
E-Mail: [BDA.Justitiare@dgai-ev.de](mailto:BDA.Justitiare@dgai-ev.de)

#### Mitgliederverwaltung / Buchhaltung

Kathrin Barbian / Karin Rauscher 0911/933 78 16  
E-Mail: [DGAI.Mitgliederverw@dgai-ev.de](mailto:DGAI.Mitgliederverw@dgai-ev.de)  
E-Mail: [BDA.Mitgliederverw@dgai-ev.de](mailto:BDA.Mitgliederverw@dgai-ev.de)

#### BDA - Referate:

##### Referat für Versicherungsfragen

Ass. iur. Evelyn Weis  
Roritzerstraße 27  
D-90419 Nürnberg  
Tel.: 0911 / 933 78 17 oder 27, Fax: 0911 / 393 81 95  
E-Mail: [BDA.Versicherungsref@dgai-ev.de](mailto:BDA.Versicherungsref@dgai-ev.de)

##### Referat für Krankenhausmanagement und -ökonomie

Dr. med. Alexander Schleppers  
Keltengeweg 9c  
D-65843 Sulzbach  
Tel.: 06196 / 58 04 41, Fax: 06196 / 58 04 42  
E-Mail: [Aschleppers@t-online.de](mailto:Aschleppers@t-online.de)

##### Referat für den vertragsärztlichen Bereich

Elmar Mertens  
Niedergelassener Anästhesist  
Trierer Straße 766  
D-52078 Aachen  
Tel.: 0241 / 401 85 33, Fax: 0241 / 401 85 34  
E-Mail: [bda-Mertens@T-Online.de](mailto:bda-Mertens@T-Online.de)  
Bürozeiten: 9.00 - 13.00 Uhr (Mo. - Fr.)

