

# Der PiCCO-Katheter

## The PiCCO catheter

### Einleitung

Die Kontroverse um die klinische Bedeutung des Pulmonalkatheters hat zu einer intensiven Exploration von Alternativen zur Messung der erweiterten hämodynamischen Parameter in der Intensivmedizin geführt [1, 6]. In den letzten Jahren hat das PiCCO-System („PiCCO“ bedeutet Pulse Contour Cardiac Output; der Buchstabe „i“ wurde eingefügt, damit das Wort ausgesprochen werden kann und gut klingt) aufgrund der Möglichkeit der kontinuierlichen, weniger invasiven Messung des Herzzeitvolumens (HZV) zunehmend an Bedeutung gewonnen.

### Indikationen

Indikationen für die Messung hämodynamischer Parameter anhand des PiCCO-Systems sind:

- ▶ Schock oder drohender Schock aller Art
- ▶ Schwere Sepsis / systemisches inflammatorisches Response-Syndrom (SIRS)
- ▶ Schwere respiratorische oder kardiale Insuffizienz
- ▶ Schwere Polytraumen /Verbrennungen
- ▶ Größere chirurgische Eingriffe kardialer, abdomineller oder orthopädischer Art
- ▶ Transplantationen
- ▶ Drohendes oder bestehendes Lungenödem

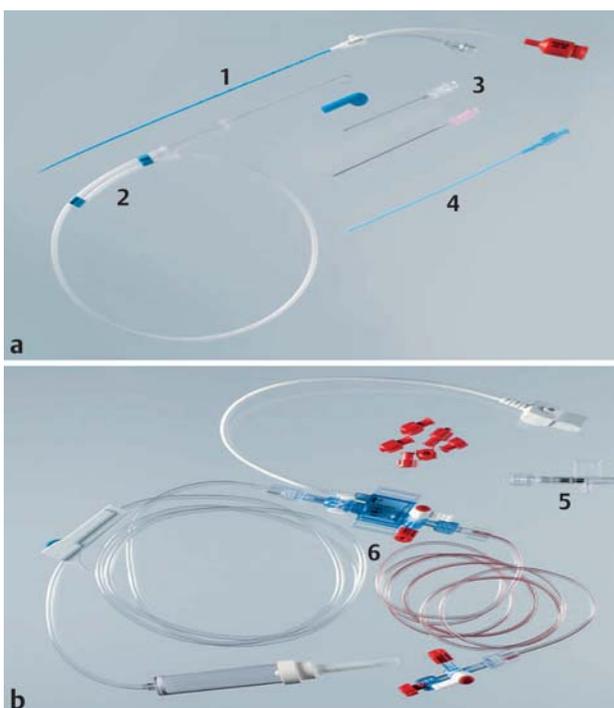
### Material

Zum PiCCO-Monitoring werden ein zentralvenöser Katheter (ZVK) [4] und ein arterieller Zugang [3] verwendet, die bei kritisch kranken Patienten schon vorhanden sind oder ohnehin benötigt werden. Zusätzlich ist ein PiCCO-Gerät mit den entsprechenden Kabeln erforderlich. Alternativ gibt es das PiCCO als Modul für diverse Patientenüberwachungssysteme. Darüber hinaus wird ein PiCCO-Kit benötigt (▶ **Abb. 1**). Ferner braucht man Druckbeutel mit 500 ml 0,9%-iger NaCl-Lösung, 20 ml kaltes (< 8°C) Injektat (NaCl 0,9% oder Glukose 5%), Naht- und Verbandsmaterial sowie sterile Handschuhe (▶ **Abb. 2**).

### Arterieller Zugang

Der PiCCO-Katheter kann in die A. femoralis, A. axillaris, A. brachialis oder A. radialis platziert werden. Für jede Arterie gibt es einen speziellen Katheter. In der klinischen Praxis wird der Zugang in der A. femoralis bevorzugt, was allerdings die Infektionsgefahr erhöht und die Mobilisierung des Patienten erschwert. Der Vergleich der PiCCO-ermittelten Herzzeitvolumen-Messungen aus der A. radialis und aus der A. femoralis ergab keine signifikanten Unterschiede [2].

Nach dem Anlegen eines Druckbeutels, der Entlüftung des Systems und dem Verbinden der Drucklei-



**Abb. 1** Das PiCCO-Kit enthält alle Einwegartikel (exkl. zentraler Venenkatheter), die zum PiCCO-Monitoring notwendig sind:

- 1) PiCCO-Katheter
- 2) Führungsdraht
- 3) Kanüle
- 4) Dilator
- 5) Injektattemperatur-Sensorgehäuse
- 6) Druckaufnehmer mit integrierter Standard-Spülvorrichtung und Absperrventil, Tropfkammer mit Infusionsdorn, Schlauch und Rollklemme (mit freundlicher Genehmigung der Pulsion Medical Systems AG).

N. Gassanov  
E. Caglayan  
A. Nia  
E. Erdmann  
F. Er

Kardiologie, Intensivmedizin

### Schlüsselwörter

- hämodynamisches Monitoring
- PiCCO

### Keywords

- hemodynamic monitoring
- PiCCO

### Institut

Klinik III für Innere Medizin,  
Herzzentrum der Universität  
zu Köln

eingereicht 28.5.2010

akzeptiert 8.10.2010

### Bibliografie

DOI 10.1055/s-0030-1267517  
Dtsch Med Wochenschr 2010;  
135: 2311–2314 · © Georg  
Thieme Verlag KG Stuttgart ·  
New York · ISSN 0012-0472

### Korrespondenz

PD Dr. Fikret Er  
Herzzentrum Köln  
Klinik III für Innere Medizin  
Kerpener Str. 62  
50924 Köln  
Tel. 0221/47832544  
eMail Fikret.Er@uk-koeln.de



**Abb. 2** Zusätzlich zum PiCCO-Kit benötigte Materialien:  
 1) Druckbeutel  
 2) Druckmess-Set  
 3) 500 ml NaCl 0,9  
 4) 20 ml kaltes Injektat  
 5) sterile Handschuhe  
 6) Naht- und Verbandsmaterial.

zung an den Katheter, werden Thermistor und Druckaufnehmer mit dem PiCCO-Gerät über das entsprechende Kabel verbunden. Der Druckaufnehmer wird an einer dafür bestimmten Halterung auf Höhe des rechten Vorhofs angebracht. Der arterielle Thermodilutionskatheter ist in mehreren Größen erhältlich und kann bis zu 10 Tage im Patienten verbleiben.

### Venöser Zugang

Für die Applikation der kalten Indikatorflüssigkeit zur Durchführung der transpulmonalen Thermodilution wird ein zentraler Venenkatheter (ZVK), der mit einem Injektatsensor zur Erfassung der Temperatur des Kältebolus ausgestattet ist, benötigt. Dazu eignen sich z.B. die V. jugularis interna/externa, V. subclavia oder die V. basilica. Die Katheterlage sollte vor der Inbetriebnahme des PiCCO-Systems radiologisch kontrolliert werden.

### Cave!

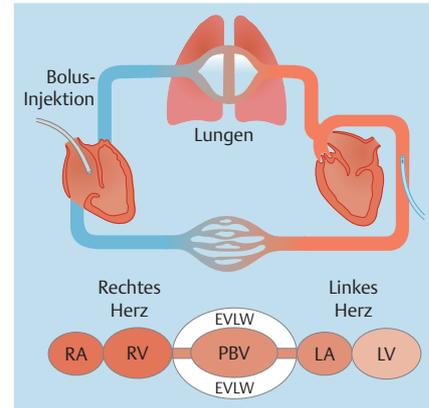
**Prinzipiell kann auch die V. femoralis als ZVK-Anlageort benutzt werden. Allerdings kann hierbei der Indikator für die Thermodilutionsmessung direkt von der Vene in die Arterie gelangen ohne das Herz-Lungen-System zu passieren. Um dies zu vermeiden, sollte der PiCCO-Katheter entweder in die gegenüberliegende A. femoralis oder in die A. axillaris, A. brachialis oder A. radialis gelegt werden. Zu beachten ist ferner, dass die Werte des intrathorakalen Blutvolumens (ITBV) und des globalen enddiastolischen Volumens (GEDV) dabei etwas höher angezeigt werden als tatsächlich gemessen.**

### Messprinzip

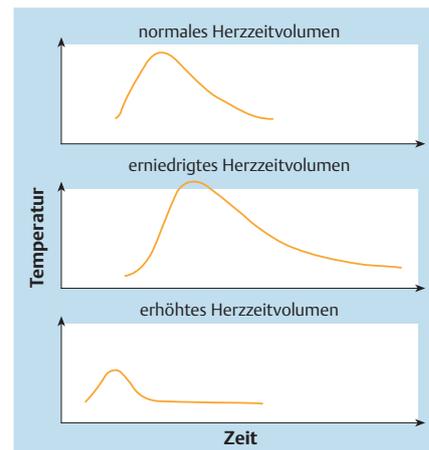
Das Herzzeitvolumen wird diskontinuierlich mittels transpulmonaler Thermodilutionstechnik und kontinuierlich durch die arterielle Pulsconturanalyse ermittelt.

Bei der transpulmonalen Thermodilution wird Kälte als Indikator verwendet. Nach zentralvenöser Injektion durchläuft der Kältebolus nacheinander verschiedene intrathorakale Kompartimente (Abb. 3). Der zeitliche Verlauf der Temperaturänderung wird über einen speziellen Thermodilutionskatheter in einer peripheren Arterie detektiert. Der dort gemessene Temperaturverlauf ist dabei abhängig vom Blutfluss, dem durchlaufenden Volumen und den intrathorakalen Blutvolumina. Aus der Kältemenge und der Fläche unter der Thermodilutionskurve wird das Herzzeitvolumen mit einer modifizierten Stewart-Hamilton-Gleichung ermittelt. Die Form der Thermodilutionskurve liefert wichtige Hinweise auf die Höhe des Herzzeitvolumens. Bei erniedrigtem Herzzeitvolumen kommt der Kältebolus langsamer am Thermistor an, daher ist die Kurve im Vergleich zum normalen Herzzeitvolumen nach links verschoben (Abb. 4). Neben dem Herzzeitvolumen lässt sich mittels der transpulmonalen Thermodilution auch die globale Auswurfraction (GEF), der kardiale Funktionsindex (CFI), das globale enddiastolische Volumen (GEDV), der pulmonalvasculäre Permeabilitätsindex (PVPI), das extravasale Lungenwasser (EVLW) und das intrathorakale Blutvolumen (ITBV) errechnen.

Die Pulsconturanalyse erlaubt die Berechnung des Herzzeitvolumens aus der Form der Pulswelle. Dazu wird die Pulsdruckkurve über einen arteriellen Katheter kontinuierlich registriert. Aus der Integration der Fläche unter der Systole der arteriellen



**Abb. 3** Nach zentralvenöser Injektion durchläuft der Kältebolus nacheinander verschiedene intrathorakale Kompartimente. Über einen arteriellen Sensor wird der zeitliche Verlauf der Temperaturänderung registriert (mit freundlicher Genehmigung der Pulsion Medical Systems AG). RA = rechter Vorhof, RV = rechter Ventrikel, PTV = pulmonales Thermovolumen; EVLW = extravaskuläres Lungenwasser, LA = linker Vorhof; LV = linker Ventrikel.



**Abb. 4** Die Fläche unter der Thermodilutionskurve ist umgekehrt proportional zum Herzzeitvolumen, d.h. bei niedrigem Herzzeitvolumen ist die Fläche groß und umgekehrt.

Druckkurve wird das Schlagvolumen ermittelt. Der individuelle Kalibrierungsfaktor wird mit Hilfe einer Referenzmethode, der transpulmonalen Thermodilution, bestimmt. Aus dem Produkt des ermittelten Schlagvolumens und der Herzfrequenz ergibt sich das Herzzeitvolumen, das kontinuierlich aus der arteriellen Druckkurve (Pulscontur) bestimmt werden kann. Neben dem Herzzeitvolumen lassen sich mittels der kontinuierlichen Pulsconturanalyse des PiCCO-Systems die Herzfrequenz (HF), der arterielle Blutdruck, das Schlagvolumen (SV), die Schlagvolumenvariation (SVV), die Pulsdruckvariation (PPV), der systemisch vaskuläre Wider-

**Tab. 1** Übersicht über die Messparameter mit Referenzwerten.

Parameter	Normalwert
Herzindex	3,0–5,0 l/min/m <sup>2</sup>
Schlagvolumenindex (SVI)	40–60 ml/m <sup>2</sup>
Globaler enddiastolischer Volumenindex (GEDV)	680–800 ml/m <sup>2</sup>
Intrathorakaler Blutvolumenindex (ITBI)	850–1000 ml/m <sup>2</sup>
Extravasaler Lungenwasserindex (ELWI)	3,0–7,0 ml/kg
Pulmonalvaskulärer Permeabilitätsindex (PVPI)	1,0–3,0
Schlagvolumen-Variation (SVV)	≤ 10%
Pulsdruckvariation (PPV)	≤ 10%
Globale Auswurfraction (GEF)	25–35%
Kardialer Funktionsindex (CFI)	4,5–6,5 l/min
Mittlerer arterieller Blutdruck (MAP)	70–90 mm Hg
Systemisch vaskulärer Widerstand (SVRI)	1700–2400 dyn * s * cm <sup>-5</sup> * m <sup>2</sup>
Cardiac power index (CPI)	0,5–0,7 W/m <sup>2</sup>

stand (SVR) und der Index der linksventrikulären Kontraktilität (dPmax) bestimmen. Eine Übersicht über die PiCCO-Messparameter mit den Referenzwerten ist in **Tab. 1** aufgeführt.

### Messung hämodynamischer Parameter

Nach dem Entlüften der Leitungen wird der Katheter mit dem unten beschriebenen Druckaufnehmer verbunden. Am

### Merke

**Im Gegensatz zum Pulmonalkatheter ist der PiCCO-Einsatz weniger invasiv, unterliegt nicht respiratorischen Schwankungen und erlaubt die Berechnung weiterer intra- und extravaskulärer Flüssigkeitsvolumina. Weitere Vorteile des PiCCO-Verfahrens sind einfache Handhabung, längere Liegedauer (bis zu 10 Tagen) und die Anwendbarkeit auch in der Pädiatrie.**

proximalen Schenkel des ZVK wird ein für die Thermodilution vorgesehenes Injektatsensorgehäuse hinter den Dreiweghahn zum Einspritzen des Kältebolus gebracht. Dieser Injektatsensor wird anhand des dafür vorgesehenen Kabels an das PiCCO-Gerät bzw. den Monitor angeschlossen (▶ **Abb. 5**).

Im ersten Eingabemenü können die Patientendaten (Gewicht, Größe) eingegeben werden, weiterhin erscheinen der automatisch erkannte Kathetertyp und die vom Gerät vorgeschlagene Menge bzw. Temperatur des Injektates. Nach Eingabe des aktuellen zentralen Venendrucks (ZVD) muss im nächsten Menü ein Nullabgleich durchgeführt werden. Zur endgültigen Kalibrierung wird nun eine transpulmonale Thermodilution durchgeführt.

Nach dem Umschalten in das Thermodilutionsmenü am PiCCO-Gerät wird der Status „Bereit“ auf dem Bildschirm angezeigt: der Kältebolus – zumeist 20 ml ei-

ner möglichst unter 8°C gekühlten isotonischen Kochsalz- oder Glukose-Lösung – kann jetzt innerhalb weniger Sekunden (meist < 6 sec) appliziert werden. Bei richtigem Erkennen der Injektion erscheint die Indikatorverdünnungskurve auf dem Bildschirm. Sobald die Messung abgeschlossen ist, werden die Ergebnisse der einzelnen Thermodilutionsmessungen angezeigt. Um nicht nur kurzfristige Änderungen des Schlagvolumens zu erfassen, muss die Messung mindestens dreimal wiederholt werden. Der Mittelwert dieser Messungen geht in die Berechnung des Herzzeitvolumens ein [5].

### Merke

**Generell sollte das PiCCO alle 8 Stunden durch Thermodilutionsmessungen neu kalibriert werden. Bei Verschlechterung der hämodynamischen Situation bzw. bei Erhöhungen der Vasopressortherapie oder zusätzlich großen Volumina sollten die PiCCO-Messungen häufiger (u.U. stündlich) neu kalibriert werden.**

### Komplikationen/Limitationen des PiCCO-Verfahrens

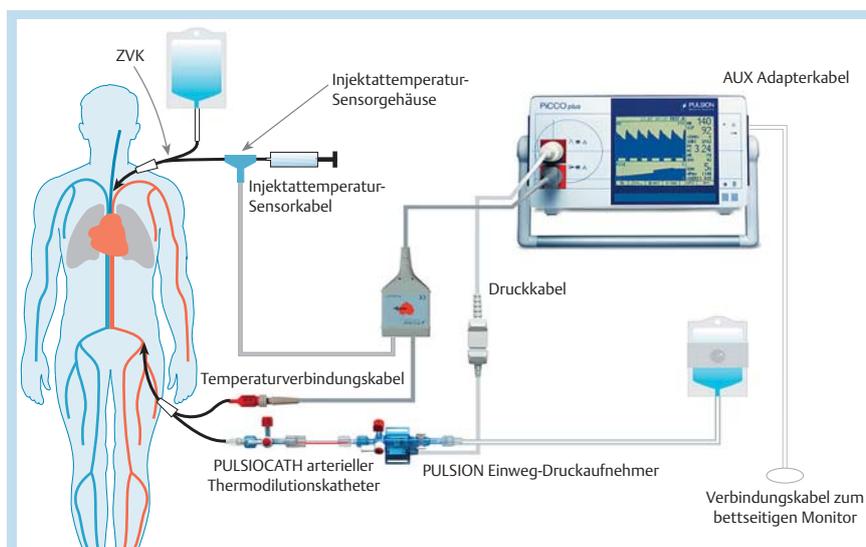
Bei gleichzeitigem Einsatz einer intraaortalen Ballonpumpe können mit dem PiCCO die kontinuierlichen Parameter aus der arteriellen Pulsconturanalyse nicht überwacht werden. Weitere Komplikationen entsprechen denen der Anlage eines ZVK oder des arteriellen Zugangs wie Fehlfunktionen mit Gefäßperforationen, Hämatoeme, Herzrhythmusstörungen, Infektionen, Pneumothorax, Luftembolie, Nervenschädigungen, Herztamponade, Katheterembolie.

Kritisch sollte man anmerken, dass das PiCCO-Monitoring und alle berechneten Messparameter nicht hinreichend prognostisch validiert sind. Eine Verbesserung des „Outcome“ konnte bisher für PiCCO nicht nachgewiesen werden.

### Bedeutung einzelner Parameter

#### Vorlastparameter

Das globale enddiastolische Volumen (GEDV) setzt sich aus der Summe der Blutvolumina aller vier Herzkammern zusammen. Es ist ein rechnerischer Parameter und reflektiert den Füllungsstatus des Herzens.



**Abb. 5** Schematische Darstellung des PiCCO plus Aufbau (mit freundlicher Genehmigung der Pulsion Medical Systems AG).

Das intrathorakale Blutvolumen (ITBV) setzt sich aus den enddiastolischen Volumina aller vier Herzkammern sowie dem pulmonalen Blutvolumen zusammen.

Die Schlagvolumenvariation (SVV) und die Pulsdruckvariation (PPV) sind im engeren Sinne keine Vorlastparameter, sondern dynamische Parameter der Volumenreagibilität des Herzens. Sie zeigen an, wie das Herz auf Volumenzufuhr reagieren wird.

#### Cave!

**Die Messungen der Schlagvolumenvariation und der Pulsdruckvariation sind bei kardialen Arrhythmien wie z.B. Vorhofflimmern aufgrund der wechselnden Schlagvolumina nicht verwertbar.**

#### Kontraktilitätsparameter

Die maximale Druckerhöhungsgeschwindigkeit (dPmax) bezeichnet die maximale Geschwindigkeit des linksventrikulären Druckerhöhung.

Die globale Ejektionsfraktion (GEF) ist ein Quotient aus dem vierfachen Schlagvolumen und dem gesamten Vorlastvolumen GEDV. Es gibt somit das theoretische Verhältnis zwischen dem gesamten Schlagvolumen und dem gesamten Vorlastvolumen des Herzens an. Dieser Parameter ist physiologisch nicht existent, daher weicht auch der Normbereich (25–35%) von der physiologisch normalen linksventrikulären Ejektionsfraktion (50–60%) ab. Die globale Ejektionsfraktion ist ein Parameter der globalen myokardialen Kontraktilität.

Der kardiale Funktionsindex (CFI) ist ebenfalls ein Parameter der globalen myokardialen Kontraktilität und ergibt sich aus dem Quotienten aus dem Herzindex und dem globalen enddiastolischen Volumen.

#### Nachlastparameter

Der systemische vaskuläre Widerstand (SVR) wird aus dem Quotienten der Differenz zwischen arteriellem Mitteldruck) und zentralem Venendruck und dem Herzzeitvolumen errechnet und dient zur Steuerung der Volumen- und Katecholamintherapie.

#### Parameter der pulmonalen Hämodynamik

Das extravaskuläre Lungenwasser (EVLW) bezeichnet den extravasalen Wassergehalt des Lungengewebes. Es setzt sich also zusammen aus dem interstitiellen und dem intrazellulären Wasser des Lungengewebes und dient zur Erfassung und Quantifizierung eines Lungenödems.

Der pulmonalvaskuläre Permeabilitätsindex (PVPI) ist der Quotient aus extravaskulärem Lungenwasser und pulmonalem Blutvolumen und ist ein Parameter für die Permeabilität der Lungengefäße. Er ist hilfreich zur Klassifikation eines Lungenödems (hydrostatisch versus permeabilitätsbedingt). Während beim hydrostatischen Lungenödem das extravaskuläre Lungenwasser und das pulmonale Blutvolumen erhöht sind (kardiale Stauung), das Verhältnis der beiden Größen also relativ unverändert ist, steigt beim Permeabilitätsödem das Lungenwasser an und das pulmonale Blutvolumen bleibt unverändert bzw. kann sogar kleiner werden. Dies führt zu einem höheren Wert für den pulmonalvaskulären Permeabilitätsindex.

#### Cave!

**Voraussetzung für einen validen Wert des pulmonalvaskulären Permeabilitätsindex ist eine ausreichende Vorlast, da bei Hypovolämie das pulmonale Blutvolumen erniedrigt ist und damit der pulmonalvaskuläre Permeabilitätsindex falsch hoch errechnet werden kann.**

#### Wichtiges in Kürze

- ▶ Die transkardiopulmonale Messung des Herzzeitvolumens mittels PiCCO wird zunehmend als Alternative zum PAK benutzt. Im PiCCO-System sind sowohl die Thermodilutionstechnik als auch die Pulsconturtechnik integriert.
- ▶ Das PiCCO-Verfahren ist weniger invasiv als PAK, erlaubt die Messung weiterer vor allem volumetrischer Parameter, erfasst jedoch nicht die Drücke im kleinen Kreislauf.

**Autorenerklärung:** Die Autoren erklären, dass sie keine finanziellen Verbindungen mit einer Firma haben, deren Produkt in dem Artikel eine wichtige Rolle spielt (oder mit einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt).

#### Literatur

- 1 Connors Jr AF, Speroff T, Dawson NV et al. The effectiveness of right heart catheterization in the initial care of critically ill patients. SUPPORT Investigators. JAMA 1996; 276: 889–897
- 2 de Wilde RB, Breukers RB, van den Berg PC et al. Monitoring cardiac output using the femoral and radial arterial pressure waveform. Anaesthesia 2006; 61: 743–746
- 3 Er F, Erdmann E. Der arterielle Zugang. Dtsch Med Wochenschr 2008; 133: 1641–1643
- 4 Er F, Erdmann E. Der zentrale Venenkatheter. Dtsch Med Wochenschr 2007; 132: 327–329
- 5 Johansson A, Chew M. Reliability of continuous pulse contour cardiac output measurement during hemodynamic instability. J Clin Monit Comput 2007; 21: 237–242
- 6 Shah MR, Hasselblad V, Stevenson LW et al. Impact of the pulmonary artery catheter in critically ill patients: meta-analysis of randomized clinical trials. JAMA 2005; 294: 1664–1670