



**Weiterbildungsstätte für
Intensivpflege & Anästhesie
und
Pflege in der Onkologie**

Facharbeit im Rahmen der Weiterbildung 2001-2003



Universitätsklinik Münster
Weiterbildungsstätte für Intensivpflege & Anästhesie
und Pflege in der Onkologie
Schmeddingstrasse 56
48129 Münster
wbintan@uni-muenster.de

Eric Seiler
Münzstrasse 22
48143 Münster
mail@ericseiler.de

1	Einleitung	4
2	Fallbeschreibung Teil I	5
3	Grundlagen des hämodynamischen Monitoring	6
3.1	„klassische“ Parameter	6
3.1.1	Herzfrequenz (HF)	6
3.1.2	Blutdruck (RR)	6
3.1.3	Zentraler Venendruck (ZVD)	7
3.1.4	Herzzeitvolumen (HZV/CO)	7
3.1.5	Pulmonary Capillary Wedge Pressure (PCWP)	8
3.1.6	End-Diastolic Area (EDA)	8
3.2	„unbekanntere“ Parameter	8
3.2.1	Intrathorakales Blutvolumen (ITBV)	8
3.2.2	Globales Enddiastolisches Volumen (GEDV)	9
3.2.3	Extravasales Lungenwasser (EVLW)	9
3.2.4	Gemischt-venöse Sauerstoffsättigung (SvO ₂)	10
3.2.5	Preload / Afterload	10
3.2.6	Volume Responsiveness	10
3.2.7	Schlagvolumenvariation (SVV)	11
3.2.8	Thermodilutionsmethode	11
3.2.9	Pulskonturanalyse und Compliance-Funktion	13
4	PiCCO-Katheter	15
4.1	Definition	15
4.2	Anwendungsgebiete	16
4.3	Bestandteile des Systems	16
4.4	Indikation	17
4.5	Die Messparameter des PiCCO Systems	17
4.6	Punktionsstellen / Zugang	18
4.7	Komplikationen, Fehler, Gefahren	18
4.8	Durchführung / Anlage	19
4.9	Lagekontrolle	21
4.10	Therapieschema	21
4.11	Klinische Relevanz	21
4.12	Pflegerische Hinweise	22
4.12.1	Defibrillation	22
4.12.2	Alarm für Vitalfunktionen	22
4.12.3	Nullabgleich	22
4.12.4	Fehlmessungen	23
4.12.5	Verbände	23
4.12.6	sonstige Hinweise	23
5	Pulmonalkatheter	24
5.1	Bestandteile des Systems	24

5.2	Indikation	24
5.3	Messparameter des PAK	25
5.4	Punktionsstellen / Zugang	25
5.5	Komplikationen, Fehler, Gefahren.....	25
5.5.1	Lokale Komplikationen	25
5.5.2	Kardiale / Pulmonale / Allgemeine Komplikationen	25
5.6	Durchführung	26
5.6.1	Anlage des PAKs	26
5.6.2	Lagekontrolle.....	26
5.6.3	Anschluss des Katheters	26
5.7	Pflegerische Hinweise	26
5.7.1	Mobilisation	26
5.7.2	Verbandswechsel	27
5.7.3	Überwachung / „Für Sicherheit sorgen“	27
6	Transösophageale Echokardiografie (TEE)	27
6.1	Anwendungsgebiete.....	27
6.2	Indikation	28
6.3	Messparameter der TEE	29
6.4	Technik der TEE	29
6.5	Darstellbare Strukturen in der TEE	31
6.6	Komplikationen.....	33
6.7	Kontraindikationen	33
6.8	Durchführung / Pflegerische Hinweise	33
7	Vergleich der Systeme	34
7.1	Vorteile des PiCCO-Systems	34
7.2	Nachteile des PiCCO-Systems	34
7.3	PiCCO / Rechtsherzkatheter	35
7.4	PiCCO / Transösophageale Echokardiografie	35
8	Fallbeschreibung Teil II.....	35
9	Fazit.....	37
10	Abkürzungsverzeichnis und Normwerte.....	38
11	Abbildungsverzeichnis	39
12	Literaturverzeichnis	39

1 Einleitung

„PiCCO-Katheter? Äh, ja, kenne ich, der steht im Lager...“

„PiCCO? Darüber schreibst Du Deine Facharbeit? Das ist doch eh nur technische Spielerei, das braucht kein Mensch...“

So oder ähnlich klangen die ersten Kommentare auf meine Anfrage, wer denn von meinen Kollegen Kenntnisse über das PiCCO-System hat.

Weit verbreitet scheint dieses Monitoring System, was vom Anbieter „Pulsion“ als so „revolutionär“ angepriesen wird, in unserer Klinik (noch?) nicht zu sein...

Und? Warum setzt es keiner ein? Viele der Pflegenden und Ärzte die ich, selbst unwissend, um Rat gefragt habe, hatten ebenfalls wenig Erfahrung und - vielleicht noch viel wichtiger - leider keine Schulung. Das System bietet eine Vielzahl von Parametern, die unbekannt sind und eine Flut von Zahlen, die abschreckend und allzu theoretisch erscheinen. Scheinbar fehlende Therapiekonzepte und Interpretationshilfen erhöhen nicht gerade die Akzeptanz in der Praxis; weder bei Ärzten, noch aus pflegerischer Sicht.

Ein deutliches Indiz dafür ist auch sicherlich in der Dokumentation wieder zu finden: Parameter des Systems werden sehr personenabhängig protokolliert; wir greifen lieber auf uns „bekannte“ Werte des hämodynamischen Monitoring (RR, ZVD, HZV, PAP) zurück. Hier fällt uns eine Interpretation verständlicherweise nicht so schwer, wie bei „unbekannteren“ Werten (z.B. GEDI, ELWI oder GEF).

Natürlich stellt sich hier auch die Frage vom ärztlichen und pflegerischen Aufgabenbereich.

Dies soll an dieser Stelle jedoch nicht diskutiert werden. Nur so viel: Wie in allen anderen Bereichen ist auch hier sicher das *Miteinander* das Entscheidende.

Diese Arbeit soll eine Übersicht über Möglichkeiten des hämodynamischen Monitoring anbieten. Die Entwicklung in allen medizin-technischen Bereichen schreitet so schnell voran, dass ein Hinterfragen der etablierten oder auch der neuen Methoden immer wieder notwendig wird. Ebenso gewinnt das hämodynamische Monitoring unter dem steigenden Kostendruck auch in den Intensivbereichen der Krankenhäuser zunehmend an Bedeutung, so dass nicht nur aus medizinisch-pflegerisch-humaner Sicht das Interesse an einem verbesserten Outcome besteht.

Der PiCCO Katheter könnte evtl. eine Alternative zu den etablierten Systemen bieten bzw. die „Intuitiventscheidungen“ („Doktor, ich glaube, der Patient braucht noch Volumen“) durch objektive Messwerte unterstützen. Für Pflegende besteht dabei, meiner Meinung nach, nicht nur die Aufgabe der „reinen“ Assistenz bei der Anlage der Systeme, sondern auch in der Mitwirkung bei der Verlaufsbeobachtung, Interpretation und Dokumentation.

2 Fallbeschreibung Teil I

Der 54 jährige Herr Mertens ¹ wurde vor einigen Tagen aufgrund seiner fortschreitenden Demenz in der psychiatrischen Klinik in Lippsstadt stationär aufgenommen. Der Finanzbeamte und Vater von 2 Töchtern war seit einigen Jahren bei bestehender 1Gefäss-KHK und Arrhythmia Absoluta mit Vorhofflimmern marcumarisiert.

Seit 8 Jahren litt Herr Mertens unter rezidivierenden Diarrhoen und es bestand der Verdacht einer Colitis ulzerosa.

Aufgrund einer massiven gastrointestinalen Blutung (Hb 7,0 mg/dl, Quick erniedrigt) kollabierte Herr Mertens in der psychiatrischen Klinik und wurde zur weiteren Therapie in die medizinische Klinik B des UKM verlegt.

Nach Angaben seiner Ehefrau fehlten zu Hause größere Mengen an Marcumar-Tabletten; eine suizidale Absicht konnte nicht ausgeschlossen werden.

Nach Substitution von 5 Erythrozytenkonzentraten stabilisierte sich sein Zustand, obwohl er weiterhin blutige Stühle absetzte. Mehrere Koloskopien stellten im Bereich des Colon transversum eine ulzerierende Colitis dar.

Bei Aufnahme war das Abdomen bereits druckdolent, es bestanden Zeichen einer beginnenden Peritonitis und in der Abdomen-Übersicht zeigten sich Aspekte einer Perforation, sowie massiv dilatierte Dünndarm-Schlingen.

Wegen zunehmender Vigilanzstörung und beginnender Somnolenz wurde zum Ausschluss einer zerebralen Blutung (persistierend erniedrigter Spontan-Quick) oder Embolie ein natives CCT durchgeführt, dass jedoch keinen pathologischen Befund zeigte.

Am 7. Behandlungstag erfolgte mit Symptomen einer Vier-Quadranten-Peritonitis die Verlegung auf die chirurgische Observationsstation.

Am darauffolgenden Tag wurde eine Hemikolektomie und eine Ileotransversostomie durchgeführt. Der Patient musste am nächsten und übernächsten Tag nochmals relaparotomiert werden. Der Zustand stabilisierte sich. Am 18. Behandlungstag war Herr Mertens bereits wieder mit Sondenkost oralisiert und führte über den Fäkalkollektor gallig grün ab.

Gegen Abend fieberte Herr Mertens im Rahmen eines septischen Schubes bis 40,2°C auf, wurde respiratorisch und hämodynamisch insuffizient und musste kardio-pulmonal reanimiert werden.

Im anschließend durchgeführten Thorax- und Abdomen-CT stellte sich eine Transversumperforation dar, die notfallmäßig operiert werden musste. Der intraoperative Verlauf war durch die hämodynamische Instabilität des Patienten kompliziert.

Es erfolgte die Aufnahme des analgosedierten, intubierten und beatmeten Patienten auf eine der operativen Intensivtherapiestationen.

Nur unter hochdosierter Katecholamingabe (Epinephrin, Norepinephrin und Dobutamin) konnte der Kreislauf des Patienten aufrechterhalten werden.

3 Grundlagen des hämodynamischen Monitoring

3.1 „klassische“ Parameter

3.1.1 Herzfrequenz (HF) ²

Unter der Herzfrequenz versteht man die Anzahl an Aktionspotentialen des Herzens pro Minute. Die Frequenz ist dabei in Abhängigkeit vom Lebensalter, dem Geschlecht, des sportlichen Trainingszustandes, der Körpertemperatur, der Vigilanz und vegetativen Faktoren zu sehen. Auch spielen der Volumenstatus und der Stoffwechselumsatz dabei eine Rolle.

3.1.2 Blutdruck (RR) ³

Blutdruck ist der in den Blutgefäßen und Herzkammern herrschende Druck; im eigentlichen Sinn der in bzw. an einer peripheren Arterie in mmHg bzw. kPa gemessene arterielle Blutdruck, der die Blutzirkulation bewirkt. Er ist abhängig von der Herzleistung und dem Gefäßwiderstand (Tonus und Elastizität der Gefäßwand) und wird durch die Blutdruckregelung gesteuert. Der systolische Blutdruck wird während der Herzsysteme (höchster Punkt der Druckkurve) gemessen, der diastolische Blutdruck während der Herzdiastole (niedrigster Punkt der Druckkurve).

Angaben des gemessenen Blutdruckes werden in der Reihenfolge Systole / Diastole gemacht. Der Blutdruck ist in den einzelnen Kreislaufabschnitten sehr unterschiedlich. Die vom linken Ventrikel erzeugten pulsatorischen Druckschwankungen (ca. 16/1,6kPa bzw. 120/12mmHg) werden durch die Windkesselfunktion der Aorta gedämpft (ca. 16/10,7kPa bzw. 120/80mmHg). In den peripheren Arterien wird die pulsatorische Druckschwankung größer, der systolische Druck steigt durch Wellenreflexion an. In den Arteriolen findet

infolge der Vergrößerung des Gesamtquerschnitts der Gefäße ein steiler Druckabfall statt, der sich in den Kapillaren fortsetzt. Der Blutdruck fällt in den großen Venen weiter ab, in den Hohlvenen tritt ein Venenpuls auf, im rechten Vorhof besteht der sog. zentrale Venendruck. Die Kontraktion des rechten Ventrikels (ca. 2,9/0,7kPa bzw. 22/5mmHg) treibt das Blut durch die A. pulmonalis (ca. 2,9/1,3kPa bzw. 22/10mmHg) u. das Lungengefäßbett in den linken Vorhof, in dem ca. 1,1kPa bzw. 8mmHg als Füllungsdruck für den linken Ventrikel vorhanden sind.

3.1.3 Zentraler Venendruck (ZVD)

Seit den 60er Jahren hat sich die Messung des zentralvenösen Druckes im zunehmenden Maße als Leitparameter zur Überwachung der Volumenregulation in der Klinik durchgesetzt und etabliert. Vorteile sind das relativ schnelle und einfache Einbringen des Katheters, sowie die kontinuierliche Verfügbarkeit der Daten. ⁴

Die Bestimmung erfolgt über einen Venenkatheter, dessen Spitze in der vena cava superior liegt. Zur Druckmessung wird entweder ein Steigrohr oder ein elektronischer Druckaufnehmer (Transducer) verwendet.

Beurteilt wird

- Die Funktion des rechten Herzens
- Füllungszustand des venösen Systems. ⁵

Bei geöffneter Trikuspidalklappe, also in der diastolischen Phase der Herzaktion, entspricht dieser Druck dem im rechten Ventrikel.

Die Verwendung des ZVDs zur Quantifizierung der kardialen Vorlast ist jedoch durch Studien seit etwa 13 Jahren sehr umstritten und teilweise als völlig unbrauchbar eingestuft worden (Regressionskoeffizient $r=0,5!$).

3.1.4 Herzeitvolumen (HZV/CO)

Unter dem Herzeitvolumen (engl. Cardiac Output) versteht man die in einer Minute vom linken Ventrikel ausgeworfene Blutmenge. Die Größe des HZV hängt, innerhalb bestimmter Grenzen, vor allem vom venösen Rückstrom aus dem peripheren Kreislauf ab. Aufgrund des Frank-Starling-Mechanismus pumpt das Herz unabhängig vom autonomen Nervensystem die Blutmenge wieder in den Körperkreislauf, die durch die großen Hohlvenen in das rechte Atrium drainiert wird.

Letztendlich hängt die Größe des HZV vom Stoffwechsel des Körpers ab (körperliche Anstrengung, Fieber). ⁶

Die Bestimmung erfolgt durch die Thermodilutionsmethode (3.2.8).

3.1.5 Pulmonary Capillary Wedge Pressure (PCWP)

Ein weiterer wichtiger Parameter steht seit 1970 mit Einführung des Swan-Ganz-Katheters zur Verfügung, der es gestattet den pulmonary capillary wedge pressure (pulmonalkapillärer Verschlussdruck) zu messen.

Da die systemische Hämodynamik weitestgehend durch die Füllung des linken Ventrikels bestimmt wird, ist der PCWP in enger Korrelation mit dem linksatrialen Druck zu sehen.⁷

Die Messung erfolgt durch Aufblasen (Wedgen) eines Ballons am Ende des Swan-Ganz-Katheters in einem Ast der Pulmonalarterie. Dabei liegt die Vorstellung zu Grunde, dass der Ballon die Arterie stromaufwärts komplett verschließt und sich dann über das Katheterlumen der Druck der Flüssigkeitssäule stromabwärts bestimmen lässt.⁸

Allerdings handelt es sich bei der PCWP-Messung, ebenso wie bei der ZVD-Messung um eine Druckbestimmung, die von vielen anderen Faktoren, wie der Compliance und Kapazität der pulmonalen Gefäße, der Kontraktilität des linken Ventrikels, den intrathorakalen Druckverhältnissen oder auch der linksventrikulären Nachlast abhängig und beeinflussbar ist.

3.1.6 End-Diastolic Area (EDA)

Dieser entscheidende Parameter wird mittels transösophagealer Echokardiografie (TEE)(Kap.6) ermittelt. Die enddiastolische Ventrikelgröße (End-Diastolic Area) beschreibt dabei den Füllungszustand des linken Ventrikels im „short-axis-view“. Eine Abnahme der EDA im Verlauf des Monitorings (im Vergleich zu den initial gemessenen Füllungszuständen) weist auf eine Hypovolämie, eine Zunahme auf eine Hypervolämie hin.

3.2 „unbekanntere“ Parameter

3.2.1 Intrathorakales Blutvolumen (ITBV)

Im Thorax befinden sich drei variable Volumina, die sich gegenseitig beeinflussen können: Das intrathorakale Blutvolumen, das intrathorakale Gasvolumen und das extravasale Lungenwasser. Raumfordernde Prozesse, wie Ergüsse oder Tumore, wären als weiteres Volumen denkbar.

Die Messung des intrathorakalen Blutvolumens mittels Indikator dilution wird bereits seit 30 Jahren durchgeführt. Es setzt sich aus den enddiastolischen Herzvolumina (Globales enddiastolisches Volumen 80%) und dem pulmonalen Blutvolumen (20%) zusammen und zeigte sich in Bezug auf das kardiale Preload deutlich aussagekräftiger als der ZVD oder der PCWP.⁹

Dieser Parameter ist bettseitig sehr gut zu bestimmen und spiegelt das Gesamte Vorlastvolumen des Herzens wieder.¹⁰

Er wird zwar unter Zuhilfenahme des HZV berechnet, ist aber vollständig unabhängig von diesem.¹¹

3.2.2 Globales Enddiastolisches Volumen (GEDV)

Das globale enddiastolische Volumen ist die Summe aus allen enddiastolischen Volumina der Vorhöfe und Ventrikel und entspricht damit dem Vorlastvolumen (3.2.5) des Herzens.¹²

3.2.3 Extravasales Lungenwasser (EVLW)¹³

Der Wassergehalt der Lunge steigt durch Herzinsuffizienz, Pneumonie, Sepsis, Intoxikation, Verbrennung etc. EVLW kann bei Zunahme des Flüssigkeitstransportes in das Interstitium ansteigen, einerseits infolge eines erhöhten intravasalen Filtrationsdruckes (Linksherzinsuffizienz, Volumenüberladung) oder aber andererseits durch eine erhöhte Permeabilität für Plasmaproteine, welche eine Wasserhülle mit sich ziehen.

Vor allem beim durch erhöhte pulmonalvaskuläre Permeabilität verursachten Lungenödem ist das EVLW der einzige bettseitig erfassbare Parameter, mit welchem der Lungenstatus bestimmt werden kann.

Blutgase sind, im Gegensatz dazu, nicht organspezifisch, da sie nicht nur vom Lungenzustand, sondern auch von der Lungenperfusion und der Ventilation abhängig sind. Eine Beeinträchtigung der Oxygenierung tritt erst relativ spät bei fortgeschrittenem Lungenwasser auf.

Das Röntgenbild der Lunge stellt eine Dichtemessung des gesamten Thorax dar, es ist daher abhängig vom Luft- und Blutgehalt sowie vom extravasalen Lungenwasser und wird stark beeinflusst durch Muskel- und Fettschichten.

Die Lungencompliance ist ein Parameter des oberflächenaktiven Films in der Lunge und stimmt nicht mit deren Wassergehalt überein.

Die Abschätzung des EVLW aus Thoraxröntgenaufnahmen oder unter Zuhilfenahme von Blutgasen korreliert mit dem tatsächlich gemessenen Wassergehalt nur mäßig.

Die meisten Arbeiten zur Validierung des EVLW erschienen schon in den 80er Jahren: EVLW, eigentlich gemessen als extravasales Lungenthermovolumen, entspricht dem tatsächlichen durch Organentnahme gemessenen Wassergehalt der Lunge.¹⁴

Die PiCCO-Technologie kann den tatsächlichen Wassergehalt der Lunge nur in perfundierten Lungenarealen messen. Perfusionsausfälle werden allerdings erst bei Vorliegen einer Makroembolie relevant.

Das extravasale Lungenwasser kann in Kenntnis folgender Parameter berechnet werden:

Volumen vom Ort der Injektion bis zum Ort der Detektion, Bluttemperatur, Injektattemperatur, Injektatvolumen, Fläche unter der Thermodilutionskurve, mittlere Durchgangszeit des Kältebolus vom Ort der Injektion zum Ort der Detektion, exponentiellen Abfallzeit der transpulmonalen Thermodilutionskurve. (EVLW = ITTV – ITBV)

3.2.4 Gemischt-venöse Sauerstoffsättigung (SvO₂)

Wird Blut einer Vene z.B. der Ellenbeuge entnommen, so sagt die Blutgasanalyse nur etwas aus über die Sauerstoff bzw. CO₂ Verhältnisse in diesem Arm. Falls eine Aussage über den Sauerstoffverbrauch im gesamten Organismus verlangt wird, muss vollständig gemischtes, d.h. aus allen Körperregionen stammendes venöses Blut untersucht werden.

Dieses gemischt-venöses Blut wird über einen Katheter der A. pulmonalis entnommen. Der Begriff gemischt-venös kommt daher, dass es sich um Blut handelt das aus der V. cava superior und der V. cava inferior im rechten Vorhof „gemischt“ wird, bevor es über die rechte Herzkammer in die Pulmonalarterie gelangt. ¹⁵

3.2.5 Preload / Afterload

Als Vorlast oder englisch „preload“ wird die mechanische Vorbelastung des Herzens bezeichnet. Gemeint ist dabei die Dehnung bzw. Länge der Herzmuskelfasern des linken Ventrikels zu Beginn der Ventrikelkontraktion. In der Klinik, und hier vor allem bei der Intensivbehandlung kritisch kranker Patienten sowie beim peri- bzw. postoperativen Patientenmonitoring, spielt die Vorlast eine sehr wichtige Rolle, um die aktuelle Volumensituation einschätzen zu können und somit Verschiebungen (Hypo- oder Hypervolämie) frühzeitig erkennen und behandeln zu können.

Der Grund für die zentrale Bedeutung der Vorlast liegt darin, dass ein Zusammenhang zwischen der Herzfüllung und der Auswurfleistung des Herzens besteht. Der entscheidende Parameter ist hierbei die Vordehnung der Muskelfasern des Herzens, die durch die enddiastolische Herzfüllung bestimmt wird. Entweder kann die Vorlast des Herzens (preload), also die enddiastolische Füllung verändert sein, oder die Nachlast (afterload), also der Aortendruck, gegen den das Herz das Schlagvolumen (SV) auswirft.

Mit Parametern, die es ermöglichen, die kardiale Vorlast zu bestimmen, kann gleichzeitig eine Aussage über den gesamten Volumenstatus getroffen werden. ¹⁶

3.2.6 Volume Responsiveness ¹⁷

Bei beatmeten Patienten stellt die PiCCO-Technologie kontinuierlich die dynamische Reaktion des Herzens auf eine – hypothetische – Volumengabe dar. Dies geschieht unter Ausnutzung der durch die Beatmung ausgelösten Herz-Lungen-Interaktion und der dadurch verursachten zeitweisen Erniedrigung der kardialen Vorlast.

Dieser Parameter lässt sich im Englischen als „Volume Responsiveness“ beschreiben.

3.2.7 Schlagvolumenvariation (SVV) ¹⁸

Die Schlagvolumen-Variation gibt an, um wie viel Prozent das Schlagvolumen um den Mittelwert variiert. Dazu werden das maximale und das minimale Schlagvolumen (SV) bestimmt (Abbildung 1). Aus diesen Maximal- und Minimalwerten werden Mittelwerte gebildet, aus denen dann wie folgt die SVV berechnet wird:

SV max = Mittelwert der 4 maximalen Schlagvolumina der letzten 30 s

SV min = Mittelwert der 4 minimalen Schlagvolumina der letzten 30 s

SV mittel = Mittleres Schlagvolumen der letzten 30 s

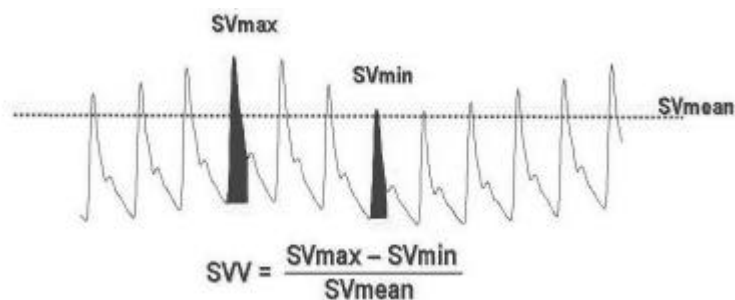


Abbildung 1: Bestimmung der Schlagvolumenvariation ¹⁹

Die SVV hängt bei mechanisch beatmeten Patienten im Wesentlichen von der vaskulären Füllung des Patienten ab. Eine starke Schwankung des Schlagvolumens, induziert durch die mechanische Beatmung, ist eine Indikation dafür, dass die vaskuläre Füllung hinsichtlich der resultierenden intrathorakalen Drücke nicht ausreichend ist (ondulierende Kurve). Die SVV lässt insbesondere unter volumenkontrollierter Beatmung eine grobe Einschätzung des Volumenstatus bzw. der Veränderung der Volumenverhältnisse zu. Bei einer hohen Schlagvolumenvariation bzw. starken Änderungen wird die Messung des intrathorakalen Blutvolumens mittels Thermodilution zur Messung des Volumenstatus empfohlen.

3.2.8 Thermodilutionsmethode ²⁰

Das Herzzeitvolumen (HZV) wird bei der transpulmonalen Thermodilution nach der Stewart-Hamilton-Methode berechnet (Abbildung 3):

Zur Durchführung der Thermodilution wird ein bekanntes Volumen einer Lösung (z.B. sterile isotonische Kochsalzlösung) möglichst schnell zentralvenös injiziert. Der sich ergebende Temperaturverlauf (stromabwärts) ist abhängig vom Fluss und dem von der Indikatorwelle durchlaufenen Volumen (Abbildung 2). Die Temperaturverlaufskurve (= Thermodilutionskurve) kann stromabwärts im arteriellen System registriert werden.

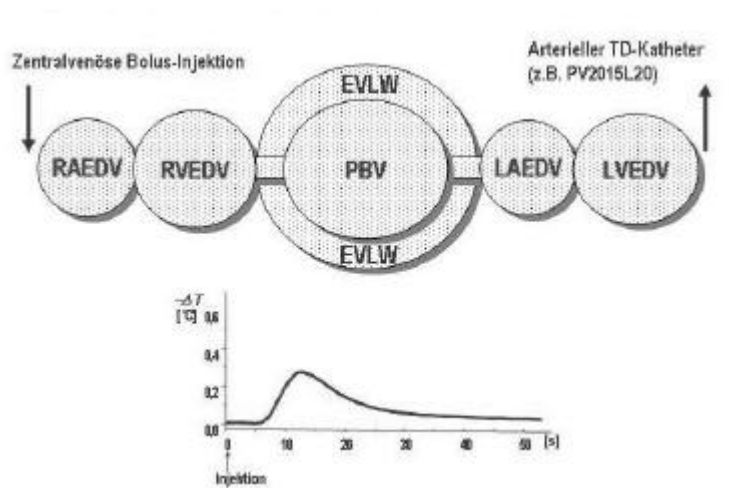
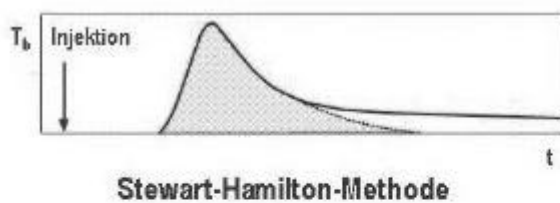


Abbildung 2: Methodik der transpulmonalen Thermodilution ²¹

Bei normalem Wassergehalt der Lunge sind die transpulmonal registrierten Thermodilutionskurven fünfmal länger als die Pulmonalarteriellen. Aufgrund der deutlich längeren Zeitdauer ist die transpulmonale Herzzeitvolumenmessung im Gegensatz zur Herzzeitvolumenmessung in der A. pulmonalis praktisch nicht von der Atemphase abhängig. Das HZV stellt damit einen repräsentativen Mittelwert über den Atemzyklus dar. Bei erhöhtem Lungenwassergehalt verlängert sich die transpulmonale Thermodilutionskurve. Das transpulmonal gemessene Thermodilutions-Herzzeitvolumen (HZV) dient im PiCCO als Ausgangsparameter für die Berechnung der diversen Blutvolumina und des extravasalen Lungenwassers.



$$\text{HZV}_{\text{TDa}} = \frac{(T_b - T_i) \cdot V_i \cdot K}{\int \Delta T_b \cdot dt}$$

T_b = Bluttemperatur
 T_i = Injektattemperatur
 V_i = Injektatvolumen
 $\int \Delta T_b \cdot dt$ = Fläche unter der Thermodilutionskurve
 K = Korrekturfaktor der spez. Wärmekapazität und Dichte von Wasser auf Blut

Abbildung 3: Transpulmonale Thermodilution zur HZV-Bestimmung ²²

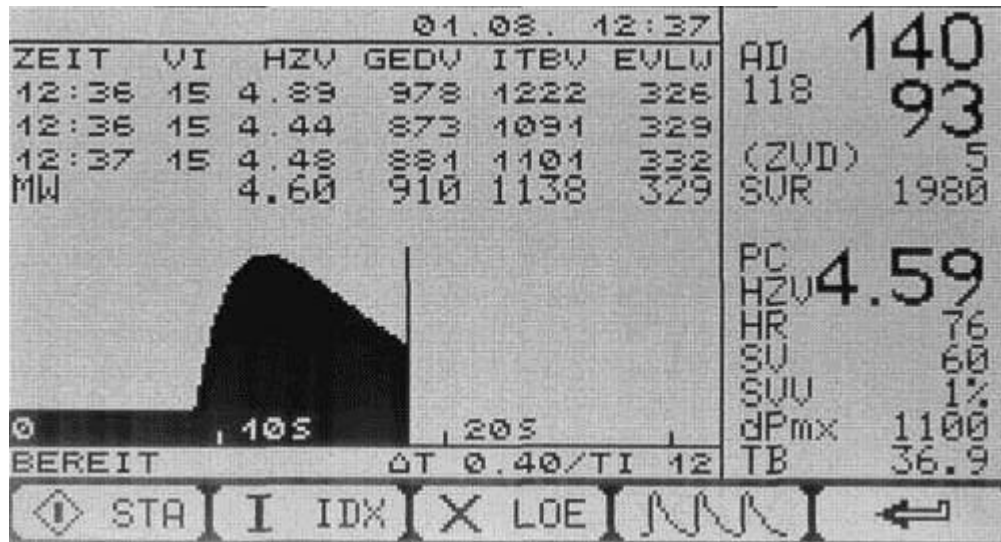


Abbildung 4: Die Thermodilutionsmethode im Display des PiCCO-Monitors ²³

3.2.9 Pulskonturanalyse und Compliance-Funktion ²⁴

Während der systolischen Phase des Herzschlages wird Blut in die Aorta ausgeworfen. Zeitgleich fließt Blut von der Aorta in die Peripherie. Da während der Auswurfphase mehr Blut in den Aortenbogen gepumpt als

weiter transportiert wird, vergrößert sich das Blutvolumen in der Aorta. In der darauf folgenden diastolischen Phase fließt das meiste, des in der Aorta verbliebenden Blutes, in die Peripherie. Diese Dehnbarkeit (Compliance) der Aorta ist abhängig von Blutdruck und Volumen. Daher ist es umgekehrt möglich, die Compliance-Funktion durch die zeitgleiche Messung des Herzzeitvolumens und des Blutdruckes zu bestimmen.

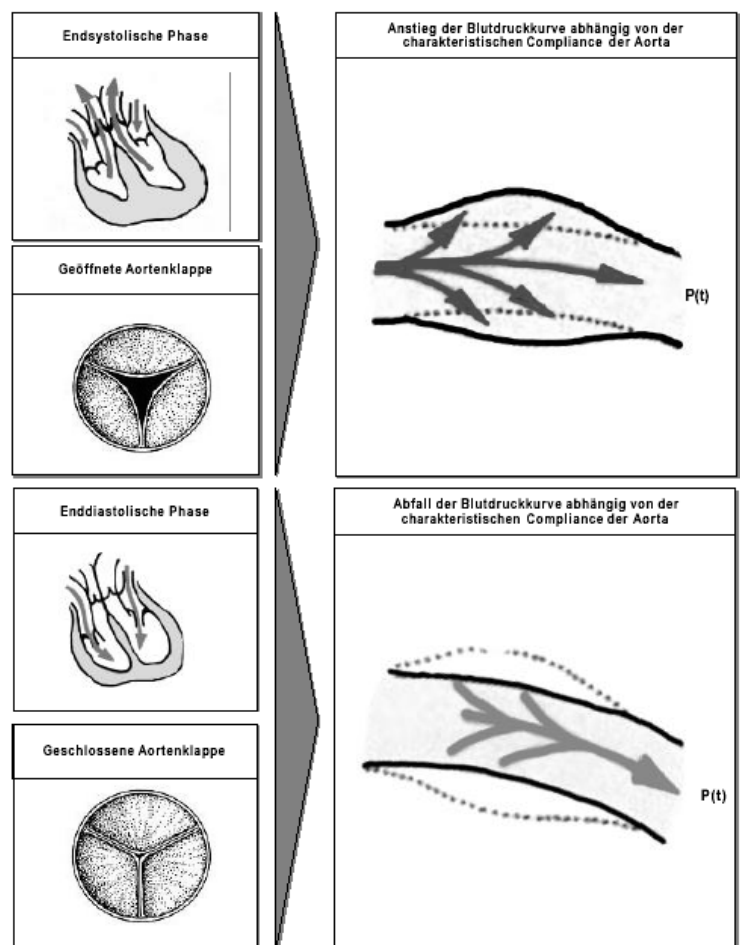


Abbildung 5: Charakteristische Compliance während der Herzaktionen ²⁵

Zuerst ist für die Kalibrierung der Pulscurve die Bestimmung des transpulmonalen Herzzeitvolumens als Referenz nötig, um anschließend die patientenindividuelle Compliance-Funktion und einen Kalibrationsfaktor "cal", der aus verschiedenen Werten bestimmt wird (HZV, HR, Flächenteilen der Druckkurve, Aorta-Compliance u.a.) zu ermitteln.

Zur kontinuierlichen Berechnung des PCHZV benötigt das PiCCO den o.g. Kalibrationsfaktor.

Nachdem der Kalibrationsfaktor "cal" und die patientenspezifische Compliance-Funktion $C(p)$ bestimmt wurden, kann das kontinuierliche Herzzeitvolumen durch die Herzfrequenz und die Fläche unter der aortalen Druckkurve bestimmt werden (Abbildung 6).

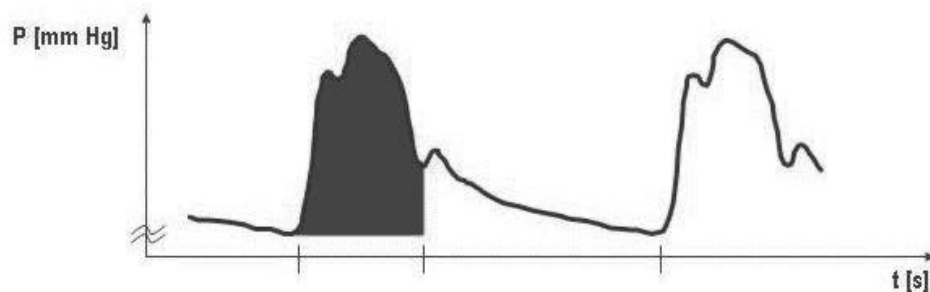


Abbildung 6: Arterielle Pulskonturanalyse

In den vergangenen Jahren haben zahlreiche Evaluierungsstudien gezeigt, dass die kontinuierliche Herzzeitvolumen-Messung mittels Pulskonturanalyse eine zuverlässige, minimal invasive und reproduzierbare Alternative zur bisher üblichen semi-kontinuierlichen HZV-Messung mit heizendem pulmonalarteriellen Katheter ist.

Die folgenden Parameter werden durch das PiCCO kontinuierlich aus der arteriellen Druckkurve berechnet. Die SVV wird als Wert über die letzten 30 Sekunden gemittelt angezeigt, alle anderen durch die Pulskonturanalyse erhobenen Parameter werden als Mittelwerte der letzten 12 Sekunden dargestellt:

- ✓ Systolischer arterieller Blutdruck
- ✓ Diastolischer arterieller Blutdruck
- ✓ Mittlerer arterieller Blutdruck
- ✓ Systemisch vaskulärer Widerstand

- ✓ Pulskontur-Herzeitvolumen
- ✓ Herzfrequenz
- ✓ Schlagvolumen
- ✓ Schlagvolumen-Variation
- ✓ Index der linksventrikulären Kontraktilität
- ✓ Bluttemperatur

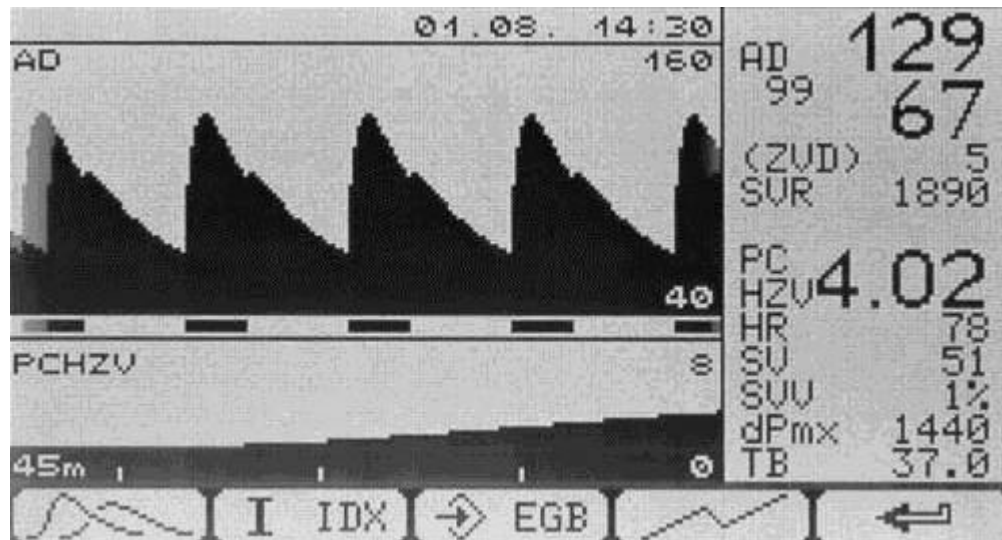


Abbildung 7: Die Pulskonturanalyse im Display des PiCCO-Monitors ²⁶

4 PiCCO-Katheter

4.1 Definition

PiCCO leitet sich von PCCO ab, was wiederum als Abkürzung des englischen „pulse contour cardiac output“ dient, übersetzt also für das Pulskontur-Herzeitvolumen steht. Bei dem System (Fa. Pulsion Medical Systems, München) handelt es sich um ein medizin-technisches Gerät, das verschiedene hämodynamisch in der Klinik interessierende Parameter anzeigt und somit vor allem perioperativ und in der Intensivmedizin Anwendung findet.

Zu erwähnen ist an erster Stelle, dass in diesem System zwei verschiedene Meßmethoden integriert sind: zum einen die Thermodilutionstechnik, durch die unterschiedliche Messwerte diskontinuierlich dargestellt werden können, zum anderen die Pulskonturtechnik, durch die unterschiedliche Messwerte kontinuierlich dargestellt werden können.

Es handelt sich bei diesem Gerät um eine Weiterentwicklung des COLD-Katheters, der bereits seit einigen Jahren in der klinischen Anwendung ist. Die Messverfahren des PiCCO-Systems erleben derzeit eine Renaissance und sind nicht vollständig neu.

4.2 Anwendungsgebiete ²⁷

Bei allen erwachsenen und pädiatrischen Patienten auf Intensivstationen und im OP, bei denen ein zentralvenöser und arterieller Zugang indiziert ist, deren Herz-/Kreislauf gesteuert werden muss und/oder die eventuell von einem Lungenödem bedroht sind oder wo ein solches ausgeschlossen werden soll.

Schon mehr als 60 Publikationen haben sich mit der experimentellen und klinischen Validierung der PiCCO-Parameter beschäftigt:

Die transpulmonale Messung ist mindestens so genau wie die HZV-Messung mit dem Rechtsherzkatheter und unterliegt nicht respiratorischen Schwankungen. ²⁸ Die Lunge wirkt dabei wie ein idealer Isolator, deswegen kommt es zu keinem messbaren Kälteverlust bei Herz-Lungenpassage der Kältewelle. Das „Schlag für Schlag“ ermittelte, verzögerungslose Pulskontur-HZV wurde mehrfach validiert. ²⁹

4.3 Bestandteile des Systems

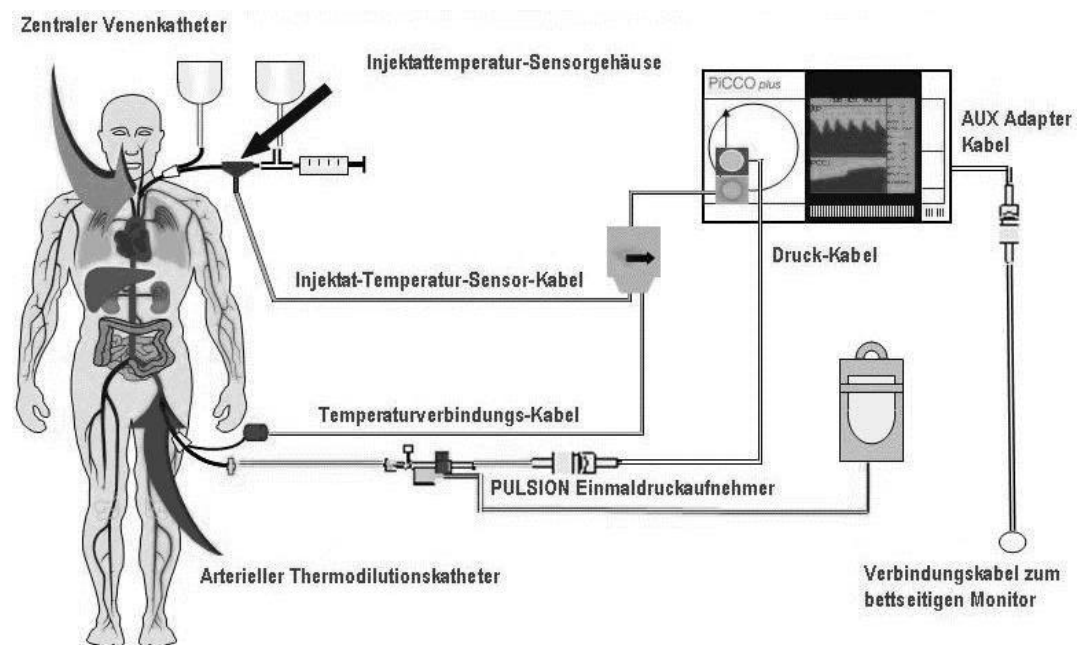
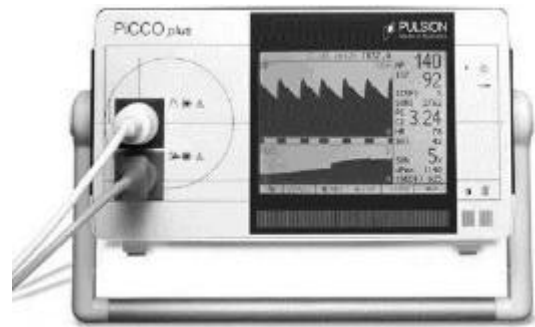


Abbildung 8: Aufbau des PiCCO Plus ³⁰

4.4 Indikation ³²

Der Einsatz des PiCCO ist bei Patienten indiziert, bei denen kardiovaskuläres und volumetrisches Monitoring notwendig ist, z.B. Patienten auf chirurgischen, internistischen, kardiologischen oder



Brandverletzten-Intensivstationen, aber auch bei allen anderen Patienten, bei denen eine kardiovaskuläre Überwachung gewünscht wird. Patienten, bei denen größere chirurgische Eingriffe in solch einem Ausmaß vorgenommen werden, dass eine kardiovaskuläre Überwachung nötig ist, ist der Einsatz des PiCCO ebenfalls indiziert.

- allen Arten von Schock oder drohendem Schock
- schwerer respiratorischer Insuffizienz (ARDS)
- schwerer kardialer Insuffizienz / ((pulmonaler Hypertonus ³³))
- größere chirurgische Eingriffe kardialer, abdomineller oder orthopädischer Art
- schweren Polytraumata / Verbrennungen
- Transplantationen
- Sepsis

4.5 Die Messparameter des PiCCO Systems

- ✓ Transpulmonales Herzzeitvolumen
- ✓ Kardialer Funktionsindex
- ✓ Intrathorakales Blutvolumen
- ✓ Globales enddiastolisches Volumen
- ✓ Pulskontur-Herzzeitvolumen
- ✓ Systolischer arterieller Blutdruck
- ✓ Diastolischer arterieller Blutdruck
- ✓ Mittlerer arterieller Blutdruck
- ✓ Herzfrequenz
- ✓ Schlagvolumen
- ✓ Schlagvolumen-Variation
- ✓ Systemisch vaskulärer Widerstand
- ✓ Extravasales Lungenwasser

4.6 Punktionsstellen / Zugang

Die PiCCO-Technologie erfordert einen beliebigen zentralvenösen Zugang und einen speziellen arteriellen Katheter zur Einführung in die A. femoralis, A. axillaris oder A. radialis (Abbildung 10), der in Seldingertechnik angelegt wird (Punktion $\leq 45^\circ$). Durch den dünneren Seldingerdraht im Vergleich zur „normalen“ Arteriellen Punktion, sollte die Anlage des PiCCO-Katheters besonders vorsichtig erfolgen.

Anwendung	Maße AD/Länge	Artikelnummer
A. fem. Kinder ab 5kg ³⁴ A. brachialis Erw. A. axillaris Erw.	3Fr (~20G) / 7cm	PV2013L07
A. fem. Kinder ab 10kg A. brachialis Erw. A. axillaris Erw.	4Fr (~18G) / 8cm	PV2014L08
A. fem. Erw. A. brach. Erw.	4Fr (~18G) / 16cm	PV2014L16
A. fem. Erw.	5Fr (~16G) / 20cm	PV2015L20
A. rad. Erw. (bis max 3 Tage!)	4Fr (~18G) / 50cm	PV2014L50LGWA

Abbildung 10: Katheterarten

4.7 Komplikationen, Fehler, Gefahren³⁵

Da es sich bei dem Messverfahren um eine invasive Methode handelt, darf die Anwendung nicht bei Patienten erfolgen, bei denen die Platzierung eines arteriellen Katheters ein inakzeptables Risiko bedeutet. Das Messverfahren sollte nur bei Patienten angewendet werden, bei denen die zu erwartenden Messergebnisse den Risiken gerecht werden. Bei gleichzeitigem Einsatz einer intraaortalen Ballonpumpe können mit dem PiCCO die kontinuierlichen Parameter aus der arteriellen Pulsconturanalyse nicht überwacht werden.

Weitere Komplikationen sind die, der zentralvenösen Katheter-Anlage ...
Fehlpunktionen (Pneumo-, Hämato-, Chylothorax), Hämatome,
Thrombophlebitis, Venenspasmus, Luftembolie, Thrombose,
Herzrhythmusstörungen, Infektionen, Kathetersepsis

... sowie die, der arteriellen Katheter-Anlage
Gefäßverschluss (weiße, kalte Hand), Gangrän, Embolie, Infektion, Blutung bei
Diskonnektion

4.8 Durchführung / Anlage ³⁶

- ✓ Injektat (z.B. 0,9%-ige Kochsalzlösung oder 5%-ige Glukoselösung) für die Thermodilutionsmessungen vorbereiten bzw. kühlen
- ✓ Anlage des zentralvenösen Katheters nach Standard (Röntgenkontrolle) unter sterilen Kautelen
- ✓ Einbringen eines Pulsioath[®] Thermodilutionskatheters in einer genügend großen Arterie (z.B. A. femoralis, A. axillaris) unter sterilen Kautelen nach Seldinger-Technik (Kap. 4.6)
- ✓ Herstellen des Potentialausgleichs zwischen PiCCO-Monitor und Geräteschiene am Patientenbett!! (wichtig bei Verwendung der Diathermie!!)
- ✓ Herstellen des Netzanschlusses
- ✓ Entlüften des Injektattemperatur-Sensorgehäuses und Verbindung mit dem distalen Lumen des ZVK (proximal des 1. Dreiwegehahnes, an den die ZVD-Messung angeschlossen ist. Der Thermistor darf nicht in die laufende Infusionslinie mit eingebracht werden.)
- ✓ Anschließen des Injektat-Temperaturgehäuses am Monitor mit dem Injektat-Inline-Sensor-Kabel (Farbcodierung beachten!)
- ✓ Vorbereitung und Entlüftung des Monitoring-Kits zur arteriellen Blutdruckmessung nach Klinikstandard (UKM: 1000 ml NaCl 0,9% mit 10.000 IE Heparin-Natrium)
- ✓ Verbindung der Druckleitung des Monitoring-Kits mit dem transparenten Lumen des Katheters
- ✓ Anschließen des arteriellen Druck-/Temperaturkabels (Y-förmig) mit dem roten Stecker an den roten arteriellen Anschluss des Katheters
- ✓ Verbinden des Katheter mit dem entsprechenden Stecker (rot, rund) des arteriellen Druck-/Temperaturkabels
- ✓ Verbinden des Druckaufnehmers mit dem entsprechenden Stecker (weiß, flach) des arteriellen Druck-/Temperaturkabels
- ✓ Bestimmung des ZVD über den bettseitigen Monitor
- ✓ Einschalten des PiCCOs und Abwarten des Systemtestes
- ✓ Bestätigen oder ändern der aktuellen Eingabeparameter (Körpergewicht, Größe, Injektatmenge, Katheterart, ZVD, u.a.)
- ✓ Durchführung des Nullabgleiches: Schließen des Druckaufnehmers zum Patienten und Öffnen zur umgebenden Luft. Warten, bis die Druckanzeige einen stabilen Wert anzeigt und drücken der *Nullpunkt*-Taste. (Falls der Druckaufnehmer nicht auf Höhe des Herzens angebracht ist, Eingabe der Höhendifferenz in „cm“ bei *AD-Korrektur*)
- ✓ b.B. Nullabgleich des nachgeschalteten Bettplatzmonitors

- ✓ Aufrufen des *PCHZV-Rekalibrations-Menüs*, wenn das PiCCO nicht länger als 15 min. ausgeschaltet war, evtl. Neukalibration des Pulskontur-Signals bzw. Beibehaltung des alten Faktors.
- ✓ Vorbereitung der Thermodilutionsmessung:
Während der Messung sollte der Patient möglichst ruhig liegen, die Lage der Messfühler nicht verändert werden und keine weiteren Infusionen oder Injektionen erfolgen. Die Bluttemperatur sollte vor der Messung nicht niedriger als 30°C sein.
Abhängig von dem verwendeten Injektattemperatur-Sensorgehäuse kann eiskaltes (< 8°C) oder raumtemperiertes (< 24°C) Injektat verwendet werden. Der Bluttemperaturabfall muss am Messort mindestens 0,2 °C betragen.
Bei Verwendung von eiskaltem Injektat ist darauf zu achten, dass das Injektat nicht durch langes Halten mit der Hand aufgewärmt wird. Abhängig davon, ob die Bluttemperatur hinreichend konstant ist, wechselt der Status zwischen *instabil* und *stabil*.
- ✓ Durchführung der Injektion
Mit der Injektion kann begonnen werden, sobald die Statusmeldung *stabil* erscheint. Die Injektion sollte dann möglichst schnell (< 6 sek.) und gleichmäßig erfolgen. Die Injektion wird automatisch erkannt und durch die Statusmeldung *Injektion* bestätigt.
Wenn der Temperaturverlauf aufgezeichnet ist, wird dies durch den Status *fertig* und einen Signalton signalisiert.
- ✓ Auswertung der Messung und Anzeige der Ergebnisse im Thermodilution-Bildschirm
Das PiCCO ist jetzt bereit für eine neue Messung. Falls die Menge des verwendeten Indikators nicht ausreichend ist, erscheint im Bildschirm die Meldung *mehr Indikator erforderlich*. In diesem Falle ist das Injektatvolumen zu erhöhen oder eiskaltes Injektat zu verwenden. Falls die Ergebnisse einer Thermodilutionsmessung um mehr als 20% vom Mittelwert der innerhalb der letzten 10 Minuten gültigen Thermodilutionsmessungen abweichen, werden alle Messungen mit einem Fragezeichen versehen.
- ✓ Einsatzbereitschaft des Monitoring-Systems
- ✓ Die Neukalibration sollte mindestens alle 8 Stunden erfolgen, nach Volumengabe oder Katecholamineinsatz sind die Intervalle deutlich kürzer zu wählen.
- ✓ Wechsel des Spül-/ Transducersystems nach Klinikstandard (UKM: 4täglich)

4.9 Lagekontrolle

Eine spezifische Lagekontrolle (abgesehen von der Katheterlagekontrolle) ist nicht notwendig. Bei Lageveränderungen des Patienten sollte jedoch die Transducerposition kontrolliert und ggf. angepasst werden (Procedere wie bei Arteriellen Zugängen üblich).

4.10 Therapieschema

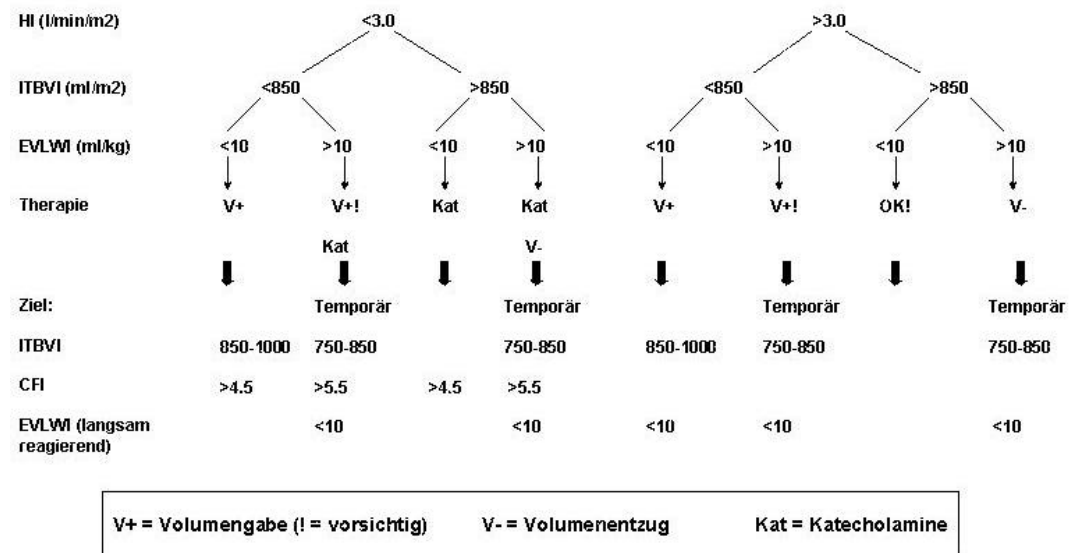


Abbildung 11: Entscheidungshilfe zum Therapiemanagement³⁷

4.11 Klinische Relevanz³⁸

In den letzten Jahren haben viele Studien gezeigt, dass die Volumenmessungen im Vergleich zur Bestimmung von Füllungsdrücken bei der Diagnose- und Therapiesteuerung von kritisch kranken Patienten sehr viele Vorteile hat. Es ist bekannt, dass die Höhe des EVLW mit der Morbidität und Mortalität in direktem Zusammenhang steht.

In allen Studien zeigte sich ein positiver Einfluss, wenn die behandelnden Ärzte die aktuelle Höhe sowie den Verlauf des extravasalen Lungenwassers kannten. Jegliche Maßnahmen zur Reduzierung des EVLW können daher sowohl die Beatmungstage als auch die Liegedauer auf der Intensivstation entscheidend verkürzen (Abbildung 12), mögliche Komplikationen (z.B.: Pneumonie, Pneumothorax etc.) einschränken und damit zu einer Verringerung der Kosten führen.

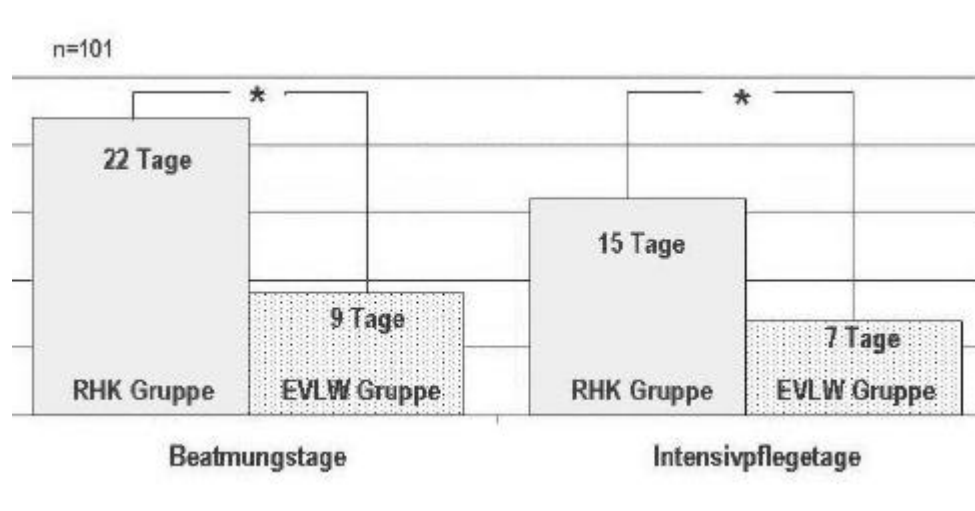


Abbildung 12: Klinische Relevanz ³⁹

4.12 Pflegerische Hinweise ⁴⁰

4.12.1 Defibrillation

Alle Teile des PiCCO-Systems sind gegen die Einwirkungen, die durch einen Defibrillator verursacht werden können, gesichert. Abgesehen von zwischenzeitlichen Messfehlern der arteriellen Pulskonturanalyse, hat Defibrillation keine Auswirkung auf die Sicherheit oder die Funktionsfähigkeit des Gerätes. Die Berührung des Monitors, des Patienten oder des Bettes sollte während der Defibrillation unterbleiben!

4.12.2 Alarm für Vitalfunktionen

Das PiCCO-System besitzt keinen Alarm für Vitalfunktionen. Diese müssen mit einem bettseitigen Monitor überwacht werden, welcher die Alarmfunktion zur Verfügung stellt!

4.12.3 Nullabgleich

Der Nullabgleich des Transducers ist unbedingt erforderlich, da ansonsten die gemessenen Blutdruckwerte höchstwahrscheinlich falsch sind.

4.12.4 Fehlmessungen

Nicht korrekt platzierte Katheter, fehlerhafte Anschlüsse, defekte Sensoren oder übermäßige, elektromagnetische Störungen, z.B. von Heizdecken und Elektrokoagulatoren, können Fehlmessungen verursachen.

Eine Rekalibration der Pulskonturanalyse durch eine Thermodilutionsmessung wird nach jeder Änderung der AD-Korrektur (Höhendifferenz in cm zwischen Herz und Druckaufnehmer) notwendig.

Bei einem aortalem Aneurysma in Verbindung mit einer Thermodilutionsmessung in der A. femoralis kann das angezeigte intrathorakale Blutvolumen fehlerhaft hoch sein.

Das Verwenden eines alten Kalibrationsfaktors (Pulskontur-Herzzeitvolumen-Rekalibrations-Menü) kann zu fehlerhaften Ergebnissen führen. Es sollte sichergestellt werden, dass der alte Kalibrationsfaktor noch gültig ist, bevor diese Option angewendet wird.

4.12.5 Verbände

Die Verbände der Katheter erfolgen nach aktuellem Klinikstandard für zentralvenöse und arterielle Zugänge (UKM, Anästh. und op. Intensiv):

- ✓ Neuanlage, blutende Einstichstelle, „schwierige“ Hautverhältnisse:
Desinfektion mit Kodan[®], Cutiplast steril[®] 7,2x5 cm, Smith&Nephew, Verbandswechsel mind. 1x täglich oder b.B., Zugentlastung und Satteltechnik mit Hansaplast classic[®] 2,5 cm
- ✓ Unauffällige Einstichstelle:
Desinfektion mit Kodan[®], Folienpflaster geschlitzt (Opsite IV3000[®] 7x9cm, Smith&Nephew), Verbandswechsel mindestens alle 4 Tage arteriell bzw. 3 täglich ZVK, oder b.B., Zugentlastung und Satteltechnik mit Hansaplast classic[®] 2,5 cm

4.12.6 sonstige Hinweise

- ✓ Die Umstellung Sommerzeit / Winterzeit löscht alle Daten im PiCCO-Monitor!
- ✓ Bei einem EVLWI >10 ist die Thermodilution mit gekühltem Injektat durchzuführen
- ✓ Längeres Gedrückthalten der *Alarm aus* Taste aktiviert den „Standby-Modus“

5 Pulmonalkatheter

Definition / Anwendungsgebiete ⁴¹

Pulmonalkatheter, m: (engl.) pulmonary arterial catheter; transkutan über eine zentrale Vene bis in die Aufzweigungen der A. pulmonalis eingebrachter Einschwemmkatheter

5.1 Bestandteile des Systems

Der weit verbreitete Swan-Ganz-Katheter enthält einen Temperaturfühler und drei Lumina (Abbildung 13).

1. Öffnung an der Katheterspitze zur Messung des pulmonalarteriellen Druckes und des pulmokapillären Verschlussdruckes (Wedge-Druck) sowie zur Entnahme gemischtvenösen Blutes;
2. Anschluss zum Aufblasen eines weit distal gelegenen Ballons (als Einschwemmhilfe, zum Gefäßverschluss bei Druckmessung);
3. Öffnung 20 cm proximal der Katheterspitze zur Bestimmung des Herzzeitvolumens mittels Thermodilution, Druckmessung im rechten Vorhof und Entnahme von zentralvenösem Blut.

Weiterentwickelte PAKs enthalten zusätzliche Lumina zu Infusionszwecken.

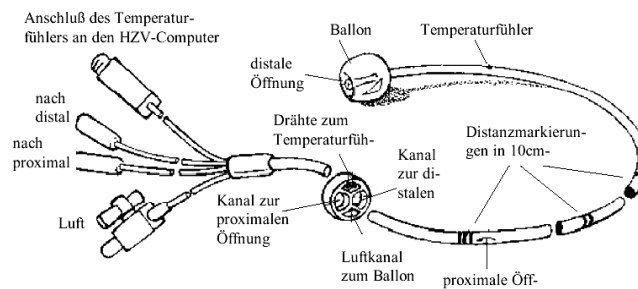


Abbildung 13: Schema des Pulmonalkatheters ⁴²

5.2 Indikation ⁴³

Ein Pulmonalkatheter wird meist zum Monitoring eines kritisch kranken Intensivpatienten gelegt.

Aufgrund des Zeitaufwandes beim Legen und der lebensbedrohlichen Komplikationen während des Eingriffes sollte eine klare Indikationsstellung im Vordergrund stehen. Er gehört nicht zu den Routineverfahren für die intraoperative hämodynamische Überwachung.

Bei prädisponierten Patienten mit bestehenden schweren Herzerkrankungen wie Herzinsuffizienz, KHK oder Klappenerkrankungen kann die Anlage nützlich sein.

Als Indikationen gelten u.a.

- Differentialdiagnose unklarer Schock- oder Dyspnoezustand
- Schweres Polytrauma
- Akutes Lungenversagen, Lungenembolie
- Septische Krankheitsbilder
- Herzinfarkt (z.B. globaler Infarkt, kardiogener Schock, akute Klappenfehler)
- Überwachung der medikamentösen Therapie (Katecholamin-, Volumen-, Vasodilatantientherapie)
- Operation in sitzender Position
- Thoraxchirurgie (z.B. Kardiochirurgie)
- Diagnostik in der Kardio- und Pulmonologie
- Intraaortaler Ballongespaltung bei schwerster Herzinsuffizienz

5.3 Messparameter des PAK

- ✓ Zentraler Venendruck
- ✓ Pulmonalarteriendrucke
- ✓ Lungenkappillarenverschlusdruck (Wedge-Druck)
- ✓ Herzzeitvolumen
- ✓ Kerntemperatur
- ✓ Rechnerische Größen (SVR, PVR, O₂- und CO₂ Transport)

5.4 Punktionsstellen / Zugang

vena jugularis interna, vena subclavia, vena cephalica, vena basilica, vena femoralis

5.5 Komplikationen, Fehler, Gefahren

5.5.1 Lokale Komplikationen

Fehlpunktionen (Pneumo-, Hämato-, Chylothorax), Hämatome, Thrombophlebitis, Venenspasmus

5.5.2 Kardiale / Pulmonale / Allgemeine Komplikationen

Supraventrikuläre und ventrikuläre Arrhythmien, vagovasale Reaktionen mit Bradycardie und Asystolie, Erregungsleitungsstörungen, Herzinfarkt, Lungenödem, traumatische Herzschädigungen, Ballonruptur, Lungeninfarkt, Gefäßruptur, Schädigungen der Herzklappen, bakterielle Sepsis, Luftembolie

5.6 Durchführung

5.6.1 Anlage des PAKs

Zuerst erfolgt die Anlage einer Schleuse in Seldinger-Technik unter sterilen Kautelen. Nach Entlüftung des Pulmonalkatheters mit NaCl 0,9%, werden die 3-Wegehähne angebracht und die vorbereitete Druckspülung wird mit dem Transducer und dem distalen Lumen konnektiert.

Es erfolgt nun die Aktivierung und der Nullabgleich des Moduls am Monitor. Nachdem der Kontaminationsschutz über den Katheter gefädelt worden ist, wird dieser an der Schleuse befestigt und der Katheter wird jetzt unter Kurvenkontrolle (Abbildung 14) vorgeschoben.

Mit Erreichen des distalen Endes im rechten Ventrikel wird der Ballon aufgeblasen und in die Pulmonalarterie eingeschwenkt.

5.6.2 Lagekontrolle

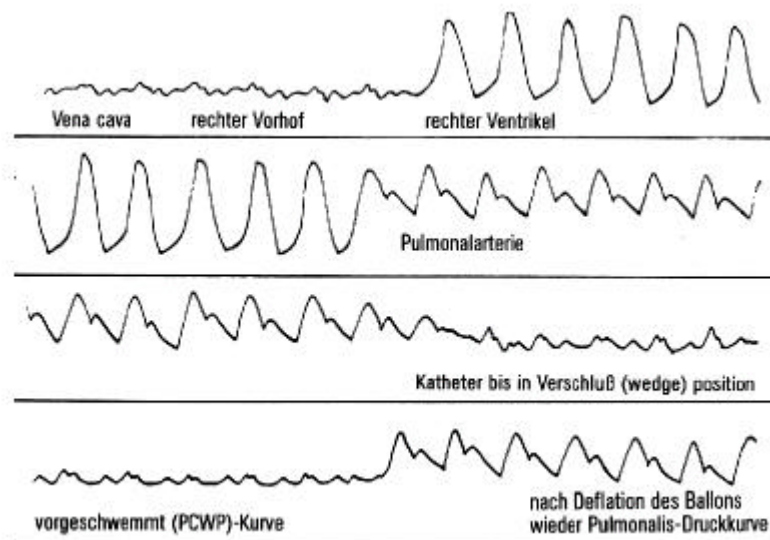


Abbildung 14: Druckkurvenverlauf beim Einschwennen des PAK ⁴⁴

5.6.3 Anschluss des Katheters

Es erfolgt nun der Anschluss des Infusions- und ZVD-Schenkels, sowie des Thermistors an den HZV-Einschub des Monitors.

5.7 Pflegerische Hinweise

5.7.1 Mobilisation

Aufgrund der strengen Indikationsstellung des PAKs sollte sich die Mobilisation des Patienten wegen seines Allgemeinzustandes ausschließen, bzw. wegen der Komplikationen aufgrund der Lage des Katheters Bettruhe eingehalten werden.

5.7.2 Verbandswechsel

Der Bandswechsel und die Fixierung erfolgen nach den aktuellen Klinikstandards (Kap.4.12.5).

5.7.3 Überwachung / „Für Sicherheit sorgen“

Besondere Aufmerksamkeit sollte der Blockerspritze gelten:

Durch versehentliches wedgen besteht die Gefahr eines Lungeninfarktes. Daher sollten unbedingt die Alarmgrenzen (untere Grenze des PAP_{sys} !) kontrolliert und aktiviert werden. Auch sollte nach jeder Messung bzw. Manipulation die Arretierung der Blockerspritze gewissenhaft überprüft werden.

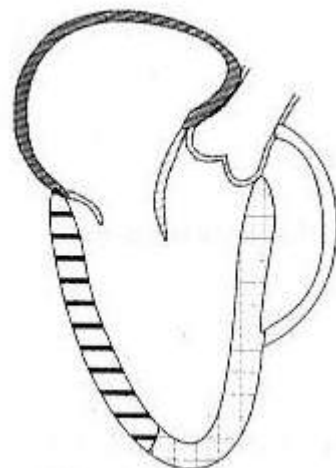
6 Transösophageale Echokardiografie (TEE)

6.1 Anwendungsgebiete

Die Transösophageale Echokardiografie stellt ein semiinvasives diagnostisches Verfahren dar. Mittels Ultraschall ist es möglich das Herz in zweidimensionalen Schnittbildern anatomisch exakt darzustellen. Durch Anwendung des Ultraschall-Doppler Prinzips gelingt es darüber hinaus, die Blutflüsse im Herzen und in den großen intrathorakalen Gefäßen quantitativ zu erfassen. Durch computergestützte Auswertungslogik kann man so zu präzisen Aussagen über Struktur und Funktion des kardiovaskulären Systems kommen, die aus diagnostischer Sicht wichtig sind, die es aber auch erlauben kritisch kranke Patienten während der perioperativen Phase zu überwachen. Durch die enge räumliche Nähe zwischen Ösophagus und Herz ist eine besonders detailgetreue Abbildung der Anatomie möglich, da hier hohe Ultraschallfrequenzen (8 MHz) möglich sind.

Abbildung 15: Long axis view

Bei dieser Untersuchung kann zwischen verschiedenen Standardschnittebenen unterschieden werden, um das Herz systematisch zu monitoren. Zu unterscheiden ist dabei zwischen 4-Kammerblick (Abbildung 16) („long axis view“ Abbildung 15), 3-Kammerblick und dem Querschnittsbild („short axis view“) des linken Ventrikels aus einer transgastrischen Position der Sonde.



Zur Bestimmung der enddiastolischen Ventrikelgröße ist die letztgenannte Darstellung zu favorisieren, welche die Beurteilung der Größe und Kontraktilität des linken Ventrikels (Vorderwand, Septum, Hinterwand und Lateralwand) wie auch, in gewissen Stellungen, des rechten Ventrikels erlaubt. Die Darstellung in der kurzen Achse erfolgt auf Höhe der Papillarmuskeln. TEE-Bilder und EKG werden gleichzeitig aufgezeichnet und ausgewertet.

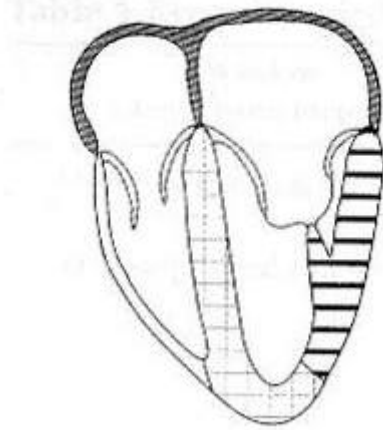


Abbildung 16: four chamber view

6.2 Indikation⁴⁵

- Klappen- oder aortokoronare Bypass-Operation
- Weaning von der Herz-Lungen-Maschine zur Beurteilung des

Volumen- und Kontraktilitätsstatus

- Nachweis myokardialer Ischämien in definierten Segmenten des linken Ventrikels
- Entscheidungshilfe bei der Wahl exogen zugeführter Katecholamine
- plötzlich aufgetretene hämodynamische Instabilität unklarer Ursache (Kategorie I Indikationen der ASA, Einsatz der Technik reduziert Morbidität und Mortalität)
- perioperatives Monitoring kardialer Risikopatienten
- Akutdiagnostik des instabilen Traumapatienten, insbesondere bei Verdacht auf eine thorakale Aortenruptur, Aortendissektion oder Myokardkontusion
- Erfassung von Auswirkungen auf das Pneumoperitoneum, die Herzfunktion und Leberperfusion bei minimalinvasiven bauchchirurgischen Eingriffen
- Implantation von Gelenkprothesen der unteren Extremitäten (Fettembolie)
- neurochirurgische Operationen in halbsitzender Position zur Untersuchung auf ein funktionell offenes Foramen ovale und zur rechtzeitigen Erkennung venöser Luftembolien
- intraoperative Stressechokardiografie zum Screening von kardialen Risikopatienten während eines nichtkardiochirurgischen Eingriffs
- intraoperative myokardiale Kontrastechographie

6.3 Messparameter der TEE

- ✓ Rechtsventrikuläre Funktion
- ✓ Globale linksventrikuläre Funktion
- ✓ Regionale linksventrikuläre Funktion (16 Segmente, Perfusionsbeurteilung)
- ✓ Diastolische linksventrikuläre Funktion
- ✓ Strukturelle Abnormalitäten (insbesondere Klappen, Perikard, Pleura, Septum, Dissektion, usw.)

6.4 Technik der TEE

Die Bildauflösung der TEE liegt bei etwa 1 Millimeter. Mit der TEE können in Echtzeit zweidimensionale Schwarz-Weiß-Schnittbilder des Herzens, der thorakalen Aorta sowie der zentralen Pulmonalarterie dargestellt werden. Hieraus sind Abstandsmessungen zwischen den Herzstrukturen möglich. Dichteunterschiede werden durch Graustufen wiedergegeben. Abhängig vom Winkel zwischen der Blutflußrichtung und dem Ultraschallstrahl kann man im 2D-Bild auch Blutflußrichtungen und -geschwindigkeiten abbilden sowie zwischen laminarem und turbulentem Blutstrom unterscheiden. Die TEE-Untersuchung ermöglicht somit ergänzend zu anderen Verfahren eine morphologische Beurteilung des Herzens und seiner Bewegungsabläufe.

Abbildung 17: Siemens Sonoline

Ultraschallgeräte können nur aus dem Anteil der Ultraschallwellen ein Bild erstellen, die nach der Aussendung vom Schallkopf auch zu diesem zurückkehren. Die Energie der Ultraschallwellen wird entweder a) abgeschwächt (Absorption, Streuung, Reflektion), b) abgelenkt, c) reflektiert oder d) gestreut. Ultraschallwellen können große Impedanzunterschiede zwischen den Geweben sehr schlecht überwinden.

Wenn Ultraschallwellen von einem starken Reflektor (z.B. Kalk, künstliche Herzklappen, Luft) zurückgeworfen werden, kommt es zu einem akustischen Schatten "hinter" dem Reflektor. Ultraschall wird durch Luft stark



abgeschwächt, die Eindringtiefe und Bildqualität sinkt somit ab. Reflektion von Ultraschallwellen erfolgt am Übergang zwischen Geweben unterschiedlicher Dichte. Gewebe, die in ihrer Dichte wesentlich von der Dichte des Wassers (höhere Dichte: Knochen, Metall; niedrigere Dichte: Luft) abweichen, sind starke Schallreflektoren und für diagnostische Ultraschallverfahren schwer zu durchdringen.

Die Bildtiefe handelsüblicher TEE-Sonden liegt bei etwa 24 cm. Die Bildqualität ist patienten- und schallkopfabhängig. Schallköpfe mit niedriger Frequenz haben eine höhere Eindringtiefe, aber eine geringere Bildauflösung. Schallköpfe mit höherer Frequenz haben eine geringere Eindringtiefe, aber eine weit bessere Bildauflösung. Da die TEE-Sonde direkt hinter dem Herzen liegt und daher die Eindringtiefe nicht so groß sein muss wie bei der transthorakalen Echokardiografie, werden Sonden mit hoher Bildauflösung eingesetzt. Bei gutem Sondenkontakt mit der Ösophaguswand lassen sich hochwertige Bilder gewinnen. Auch bei stark adipösen oder emphysematösen Patienten bzw. solche mit ungünstiger Herzachsenlage lassen sich qualitativ gute Bilder gewinnen.

Bei der transösophagealen Echokardiografie liegt die Sonde im Ösophagus oder im Magen. Die Sonden sind Miniaturschallköpfe, die auf die Spitze eines flexiblen Gastroskops montiert sind. Heute eingesetzte Sonden lassen sich nach ihren möglichen Blickebenen unterscheiden. Die Darstellungsmöglichkeiten hängen vom eingesetzten Sondentyp ab. Ein großer Vorteil ist die schnelle bettseitige Aussagefähigkeit. Veränderungen der Aorta unterhalb des Zwerchfelles sind mit der TEE meist nicht sichtbar.

Die TEE ist ein sehr sensitives Verfahren zur Darstellung von Luft in der Blutbahn. So lässt sich sowohl die akzidentelle Luftembolie als auch die paradoxe Luftembolie und der Erfolg der kardialen Entlüftung nach Operationen am offenen Herzen mittels TEE leicht und zuverlässig überprüfen.

Die Begrenzung auf das Schallfenster Ösophagus / Magen erschwert auch eine optimale Ausrichtung des TEE-Ultraschallbildes in Bezug auf die Herzachsen und Klappenebenen. TEE-Bilder weichen leicht von den Herzachsen ab, daher ist die Herzspitze oft nicht genau darstellbar. Messungen des Herzvolumens (unter Messung der Herzlängsachse) und Untersuchungen der Herzspitze (Aneurysma, Thrombus) sind somit problematisch.

6.5 Darstellbare Strukturen in der TEE ⁴⁶

Aortenklappe: Gute Bildauflösung. Die Beurteilung der Funktion von Kunstklappen ist zum Teil nur eingeschränkt möglich. Bei Doppelklappenersatz ist die Untersuchung schwierig, da die künstliche Mitralklappe den linksventrikulären Ausflußtrakt verschattet.

Mitralklappe und Trikuspidalklappe: Sehr gute Beurteilung möglich.

Pulmonalklappe: Am schwierigsten darzustellende Klappe. Allerdings sind Erkrankungen dieser Klappe im Erwachsenenalter sehr selten.

Linker und Rechter Vorhof: Sehr gut sichtbar. Die TEE ist das Verfahren der Wahl bei der Suche nach Thromben (z.B. bei Vorhofflimmern, Mitralklappenstenose), Tumoren und Defekten in der Vorhofscheidewand.

Linke Herzkammer: Die TEE ermöglicht eine gute Darstellung und Beurteilung der regionalen Wandbewegungen des linken Ventrikels. Die Versorgungsgebiete aller drei Koronararterien sind repräsentiert. Sie ist leicht einzustellen und auch daher die Standardebene für das Monitoring regionaler Wandbewegungsstörungen. Ischämien gehen schon vor EKG-Veränderungen mit regionalen Wandbewegungsstörungen einher.

Die TEE-Betrachtung der Mittelpapillarmuskelebene unterscheidet unspezifische, nur im EKG auftretende Veränderungen ohne muskuläres Äquivalent von funktionell relevanten Ausfällen in der Myokardkontraktion. Wegen der damit möglichen Rückschlüsse auf Störungen in der koronaren Blutversorgung wird die TEE in der Herzchirurgie als sensibelste Untersuchungsmethode in der Ischämiediagnostik eingesetzt.

Die Beurteilung der linken Kammer erfolgt hinsichtlich Pumpfunktion, Kontraktilität und Ventrikelfüllung.

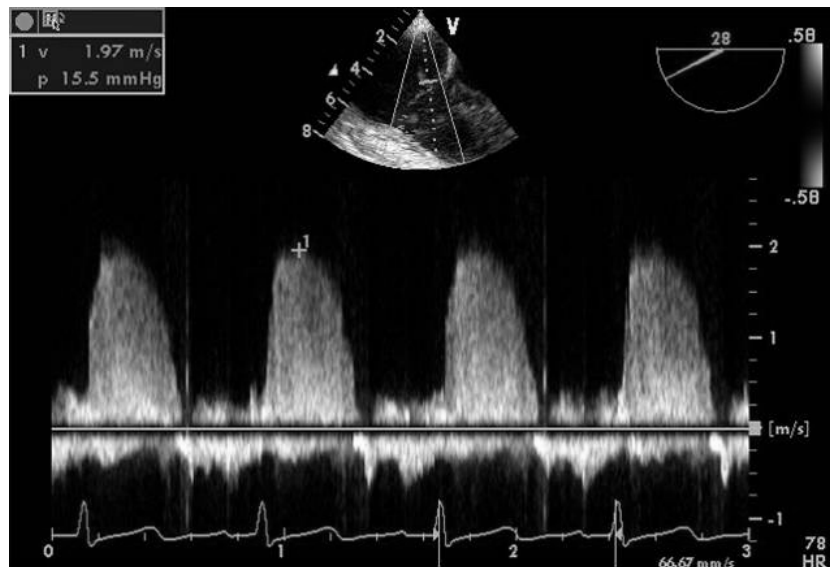


Abbildung 18: RV peak systolic pressure

Rechte Herzkammer: Obwohl der rechte Ventrikel vom Schallkopf weit entfernt ist, lässt er sich gut beurteilen. Aufgrund der komplexen Anatomie ist es aber schwierig quantitative Aussagen zu Vorlast, Nachlast und Kontraktilitätsverhalten zu machen (Abbildung 18).

Aorta / Koronargefäße: Die ersten 5 - 7 Zentimeter der Aorta ascendens lassen sich gut darstellen. Der Abgang und Hauptstamm der linken Koronararterie sind meist sichtbar.

Im weiteren Verlauf der Aorta ascendens tritt ein mehrere Zentimeter langer "blinder Fleck" durch den Schatten des linken luftgefüllten Hauptbronchus auf. In diesen blinden Fleck fällt der Abgang der suprakoronaren Äste.

Die Aorta descendens ist bis jenseits des Zwerchfelles einsehbar. Farbdoppler und gepulste Doppler-Untersuchungen ermöglichen bei Aortendissektionen eine Unterscheidung zwischen wahrem und falschem Lumen.

Pulmonalarterie: Der Hauptstamm der Pulmonalarterie ist gut darstellbar. Die rechte Pulmonalarterie ist weit einsehbar, die linke nur für etwa 1 cm. Zentrale Lungenembolien sind z.T. direkt darzustellen, indirekte Zeichen wie Rechtssherzbelastung können zur Diagnosestellung beitragen. Linksseitige und periphere Lungenembolien sind nicht direkt darstellbar.

Die HZV-Messung erfolgt durch die Doppler-Messung über der Aortenklappe. Etabliert ist die tief transgastrische Einstellung durch exakte Ergebnisse und gute Dokumentation in der Literatur.

Die Abschätzung der pulmonalarteriellen Drücke ist Routine bei jeder TEE-Untersuchung und leicht zu realisieren.

6.6 Komplikationen

Die für die Füllungszustände der Ventrikel als goldener Standard anzusehende Methode (zumindest in klinischer Hinsicht) der transösophagealen Echokardiografie stellt eine Methode mit relativ geringem Risiko dar, wobei sich wesentliche Komplikationen in ca. 0,2% der Untersuchungen ereignen. Diese reichen von Zahnschäden und Schleimhautläsionen bis hin zu Rhythmusstörungen und Myokardischämien. Durch eine übermäßig lange Liegedauer der TEE-Sonde besteht sowohl die Gefahr von Perfusionstörungen im Ösophagus und damit die Zunahme des Ulzerationsrisikos, als auch die Gefahr des kardiogenen Schocks.

Die entscheidende Komplikation der TEE ist jedoch die Ösophagusperforation. Diese hat eine Mediastinitis zur Folge, die mit einer Sterblichkeit von über 50% belastet ist.

Des Weiteren ist die Untersucherabhängigkeit aufzuführen, da es sich für unterschiedliche Untersucher als äußerst schwierig erweist, die exakt gleichen „Schnitte“ einzustellen, wodurch Abweichungen bei den Ergebnissen resultieren können.⁴⁷

Da die Sonde im OP während der Einleitung stört bzw. die Einführung der Sonde bei wachen Patienten auch mit hämodynamischen Stressreaktionen verbunden sein kann, wird die Sonde erst nach Narkoseeinleitung platziert und vor Ausleitung entfernt. Daher kann sie nicht zur Überwachung der Myokardfunktion während der Einleitung und Ausleitung genutzt werden. Eine TEE ist grundsätzlich in Lokalanästhesie möglich und Standard in der kardiologischen Diagnostik.

6.7 Kontraindikationen

Operationen am Larynx, Bradyösophagus, Hiatushernien, Ösophagusstrikturen oder -divertikel, Ösophagitis, Zustandsbilder nach Ösophagusbestrahlungen oder -eingriffen sind wegen des Perforations- und Blutungsrisikos (relative) Kontraindikationen für die TEE-Untersuchung.

6.8 Durchführung / Pflegerische Hinweise

- ✓ ggf. Beendigung der Sondenkostzufuhr, Absaugen des Mageninhaltes
- ✓ Magensondenbeutel anbringen
- ✓ Lagerung des Patienten vorzugsweise in flacher Rückenlage
- ✓ Überprüfung und Reflektion der Narkosetiefe zur Minimierung der Stressreaktion des Patienten
- ✓ Kontrolle der Patientenklarinik, der laufenden Perfusoren, Medikamente und Vitalzeichen

- ✓ Assistenz bei Einführung der Sonde, dabei Sicherung des Tubus gegen versehentliche Dislokation
- ✓ Fortführung der Vitalzeichen-Kontrolle (Anmerkung: Besonders bei akut kritisch Erkrankten gilt in diesem Augenblick leider oft die Aufmerksamkeit besonders dem Ultraschallbild und nicht mehr dem Patienten, dem Monitor und dem Beatmungsgerät!)
- ✓ Nach Beendigung der Untersuchung unbedingt Kontrolle von Tubus und Magensonde, evtl. Lagekorrektur vornehmen
- ✓ Vermeidung von unnötig langer Liegedauer der Sonde! (s. Kapp. 6.6), Erinnerung des ärztlichen Teams

7 Vergleich der Systeme

7.1 Vorteile des PiCCO-Systems⁴⁸

- ✓ „Online-Monitoring“ durch „Beat by beat“ Messung
- ✓ Quantifizierung des extravasalen Lungenwassers
- ✓ Messung von Fluss, Vorlast, Nachlast und Kontraktilität
- ✓ Katheter: Geringer Zeitaufwand für Platzierung
- ✓ Liegedauer bis zu 10 Tagen
- ✓ Volumetrisches Monitoring (ITBV, „Volume Responsiveness“)
- ✓ Geringere Invasivität als ein Pulmonalkatheter
- ✓ Kurze Ansprechzeit (12 sek.)
- ✓ Problemlose Anwendbarkeit bei Kleinkindern (ab 2kg)
- ✓ Schnelle Inbetriebnahme und einfache Handhabung
- ✓ Messung über zwei Gefäßzugänge, die bei dieser Kategorie von schwerkranken Patienten bzw. Patienten mit erhöhtem Risiko ohnehin benötigt werden

7.2 Nachteile des PiCCO-Systems

- ✓ Neues Monitorsystem, das Schulung, Übung und Akzeptanz erfordert
- ✓ Investitions- und Betriebskosten (PiCCO-Monitor ca. 13.000 €, „Starterkit“ je Patient ca. 160 €, Druck-/Spülsystem ca. 33 €)
- ✓ Erfasst keine pulmonalarteriellen Drücke
- ✓ Indirekte Messung, keine direkte visuelle Darstellung
- ✓ Keine Beurteilung einzelner Herzabschnitte möglich
- ✓ Pulsconturanalyse ist nicht in Kombination mit einer intraaortalen Ballongegenpulsation verwendbar, Thermodilutionsmethode ist jedoch verwendbar
- ✓ Lungenresektionen beeinflussen die Berechnung vom EVLW

7.3 PiCCO / Rechtsherzkatheter

PiCCO ist deutlich weniger invasiv als ein Rechtsherzkatheter.

Aktuelle Studien (2001, 2002) haben einerseits gezeigt, dass der Rechtsherzkatheter selbst bei der vermeintlich komplikationslosen, kurzzeitigen perioperativen Anwendung eine 3-fach höhere Inzidenz kardialer Ereignisse verursacht ⁴⁹ und andererseits dass das Outcome eines kritisch kranken Intensivpatienten nicht verbessert wird. ⁵⁰

Der große Vorteil des Pulmonalkatheters besteht in der Erfassung der pulmonalen Druckverhältnisse. Er bleibt in der Kardiologie sicherlich (vorerst?) ein fester, akzeptierter und etablierter Bestandteil der Diagnostik.

7.4 PiCCO / Transösophageale Echokardiografie

Die Ergebnisse der TEE sind benutzer- und positionsabhängig. Sie ist nur kurzzeitig einsetzbar, personalintensiv- und bindend. Bei Intensivpatienten kollidiert die Dopplersonde oft auch mit anderen trachealen und ösophagealen Zugängen (Ernährungssonde, Tubus).

Die Anwendung ist aufgrund der Stressantwort eher auf den sedierten Intensivpatienten beschränkt. Das PiCCO-System bietet hier entscheidende Vorteile: Die Anwendung kann ohne weiteres auch am wachen, kooperativen Patienten erfolgen.

Die detailgenaue Darstellung der kardialen Strukturen und Funktionen (Ventrikel, Septum, Vorhöfe) ist weder mit dem PAK noch mit dem PiCCO-System direkt zu erfassen, jedoch ist ein kontinuierliches hämodynamisches Monitoring mit der TEE nicht zu leisten.

Mit der TEE wird im Allgemeinen nicht versucht, das invasive Monitoring zu ersetzen, sondern es zu komplettieren.

8 Fallbeschreibung Teil II

Nach der Aufnahme von Herrn Mertens auf die operative Intensivtherapiestation entschied man sich für die Anlage eines PiCCO-Katheters zur besseren Therapiesteuerung:

Unter massiver Volumensubstitution und post reanimationem initiiertes Cordarextherapie konnte die exogene Katecholaminzufuhr in den nächsten Tagen reduziert werden. Ein Nierenversagen wurde durch den Einsatz einer kontinuierlichen veno-venösen Hämodiafiltration überbrückt. Es folgte eine hoch dosierte antibiotische Abdeckung.

Am 3. Tag nach Anlage des PiCCO-Katheters erfolgte die erste vollständige Dokumentation der gemessenen Werte (Kap.1). Der Patient zeigte weiterhin Zeichen einer Sepsis. Die systemvaskulären Widerstände waren erniedrigt, das Lungenwasser deutlich erhöht und das HZV über 8 l/min. Die Beendigung der Therapieunterstützung durch das PiCCO-System erfolgte einige Tage später im Rahmen eines Katheterwechsels.

Aus der leider sehr lückenhaften Dokumentation sind weder ausreichend Messwerte des PiCCO-Systems ersichtlich, noch Therapieentscheidungen oder Zusammenhänge nachzuvollziehen. Selbst so „vertraute“ Parameter wie das HZV sind nur diskontinuierlich dokumentiert.

Abbildung 19:
Femoraler Zugang des
PiCCO-Systems



Im weiteren Verlauf musste Herr Mertens mehrfach laparotomiert und lavagiert werden, mehrere Adhäsio lysen, Dünndarmübernähungen, eine Loop-Ileostomie und eine Bauchdeckenadaption wurden durchgeführt.

Die Faszie konnte erst am 34. Behandlungstag verschlossen werden.

Herr Mertens musste aufgrund von rezidivierenden Pleuraergüssen und Pneumonien mehrfach, respiratorisch erschöpft, reintubiert und schließlich tracheotomiert werden. Weitere septische Schübe konnten unter Katecholamin- und Volumeneinsatz behandelt werden. Durch mehrfache Umstellung der Antibiotika war es möglich einen multiresistenten Keim, den Herr Mertens zwischenzeitlich erworben hatte, erfolgreich zu therapieren.

Am 47. Behandlungstag wurde der Patient auf die chirurgische Observationsstation verlegt. Er machte gute Fortschritte, war hämodynamisch und respiratorisch stabil und zeigt sich neurologisch zunehmend wacher und kontaktierbar. Am 55. Behandlungstag verstarb Herr Mertens an einer akuten Lungenembolie.

9 Fazit

Der PiCCO-Katheter – schon wieder ein neues technisches Spielzeug?

Meiner Meinung nach ist diese „entweder - oder“ Entscheidung nicht zulässig und damit nicht mit „ja“ oder „nein“ zu beantworten.

Von Bedeutung scheint eher die Indikations- bzw. Fragestellung an das System zu sein: „Was will ich eigentlich messen?“ Nur weil PiCCO ein relativ „neues“ System ist, wird es damit sicherlich nicht zum „Heilmittel aller Probleme“ beim hämodynamischen Monitoring eines kritisch kranken Patienten.

Eine Kombination mehrerer Systeme (z.B. TEE zur Ausgangspunktbestimmung und PiCCO zur Verlaufkontrolle) könnte sich vielleicht als guten Weg herausstellen.

Jedes der o. g. Systeme bietet *seine* Vorteile in bestimmten Bereichen.

PiCCO scheint jedoch aufgrund der geringen Invasivität und hohen „Datenausbeute“ ein System zu sein, dem mehr Beachtung geschenkt werden sollte.

Durch vermehrte Schulung des ärztlichen und pflegerischen Personals könnte die Akzeptanz dieses neuen Systems gefördert werden, denn nur so lassen sich im praktischen Einsatz gemeinsam Erfahrungen sammeln, die letztendlich den Patienten zugute kommen.

Im Hinblick auf den zunehmenden Kostendruck sei angemerkt:

Sollte sich durch Einsatz des PiCCO-Systems die Intensivtherapie eines Patienten um nur einen Tag verkürzen, würde sich das System schnell bezahlt machen.

10 Abkürzungsverzeichnis und Normwerte

Abkürzung	Parameter	Bereich	Einheit
Abb	Abbildung		
AD	Arterieller Blutdruck	120 – 140	mmHg
ARDS	Adult Respiratory Distress Syndrome		
b.B.	Bei Bedarf		
CFI	Cardialer Funktionsindex	4,5 – 6,5	1/min
Ch	Charriere		
CI	Cardiac Index siehe HI		
CO	Cardiac Output siehe HZV		
D_p/d_{tmax}	Index der linksventrikulären Kontraktilität	1200 - 2000	mmHg/sec
EF	Rechtsventrikuläre Auswurfraction	55 – 70	%
ELWI	Extravasaler Lungenwasser-Index	3,0 - 7,0	ml/kg
etc.	et cetera		
EVLW	Extravasales Lungenwasser	8 - 10	ml
Evtl	Eventuell		
FiO ₂	Fraction O ₂		
Fr	French		
GEDI	Globaler enddiastolischer Volumenindex	680 - 800	ml/m ²
GEDV	Global enddiastolisches Volumen		
GEF	Globale Auswurfraction	25 – 35	%
ggf.	gegebenenfalls		
HF	Herzfrequenz	60-80	Beats/min
HI / CI	Herzindex, Cardiac Index (HZV/KOF)	3,0 - 5,0	l/min/m ²
HR	Heart Rate siehe HF		
HZV / CO	Herzzeitvolumen (Cardiac Output)	4 – 7	l/min
ITBI	Intrathorakaler Blutvolumenindex	850 - 1000	ml/m ²
ITBV	Intrathorakales Blutvolumen	1400 - 1800	ml
ITTV	Intrathorakales Thermovolumen		
Kap.	Kapitel		
KHK	Koronare Herzkrankheit		
KOF	Körperoberfläche	1,73	m ²
MAD / MAP	Mittlerer arterieller Druck	70 - 90	mmHg
mind.	mindestens		
MPAP	Pulmonalarterieller Mitteldruck	9 - 18	mmHg
o. g.	Oben genannt		
PAK	Pulmonalarterieller Katheter		
PAP _d	Pulmonalarterieller diastolischer Druck	4 - 13	mmHg
PAP _s	Pulmonalarterieller systolischer Druck	16 - 30	mmHg
PCCi _a	Cardiacindex der Pulsconturanalyse		
PCCO	Pulse contour cardiac output		
PCHZV	Pulscontur-Herzzeitvolumen		
PCWP	Pulmonalkapillärer Verschluss (Wedge) Druck	4 - 12	mmHg
PPV	Pulsdruckvariation	< 10	%

PVPI	Pulmonalvaskulärer Permeabilitäts -Index	1,0 - 3,0	
PVR	Pulmonalvaskulärer Gefäßwiderstand	150 - 250	Dyn*s*cm ⁻⁵
Q _s /Q _T	Intrapulmonaler rechts -links Shunt	< 10	%
RAP	Rechtsatrialer Druck	< 10	mmHg
RR	Riva Rochie		
RVEDP	Rechtsventrikulärer enddiastolischer Druck	2 - 8	mmHg
RVP	Rechtsventrikulärer systolischer Blutdruck	20 - 30	mmHg
S.	Seite	70 - 90	mmHg
Sek.	Sekunde		s
SIRS	Systemic Inflammatory Response Syndrome		
SV	Schlagvolumen	60 – 90	ml/beat
SVI	Schlagvolumenindex	40 - 60	ml/m ²
SvO ₂	Gemischtvenöse Sauerstoffsättigung	70 – 75	%
SVR	Systemvaskulärer Gefäßwiderstand	900 - 1500	Dyn*s*cm ⁻⁵
SVRI	Systemvaskulärer Widerstandsindex	1700 - 2400	Dyn*s*cm ⁻⁵ *m ²
SVV	Schlagvolumenvariation	< 10	%
TB	Bluttemperatur	36,5 – 37,5	°C
TEE	Transösophageale Echokardiografie		
tgl.	täglich		
UKM	Universitätsklinik Münster		
VI	Injektatvolumen		ml
VW	Verbandswechsel		
WTB	Weiterbildung (-sstätte)		
z.T.	Zum Teil		
ZVD	Zentraler Venendruck	2 - 8	mmHg
ZVK	Zentraler Venenkatheter		

Abbildung 20: Normwerte nach Fa. Pulsion Medical Systems modifiziert nach Seiler

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bestimmung der Schlagvolumenvariation	11
Abbildung 2: Methodik der transpulmonalen Thermodilution	12
Abbildung 3: Transpulmonale Thermodilution zur HZV -Bestimmung	12
Abbildung 4: Die Thermodilutionsmethode im Display des PiCCO-Monitors	13
Abbildung 5: Charakteristische Compliance während der Herzaktionen	13
Abbildung 6: Arterielle Pulskonturanalyse.....	14
Abbildung 7: Die Pulskonturanalyse im Display des PiCCO-Monitors	15
Abbildung 8: Aufbau des PiCCO Plus	16
Abbildung 9: Frontansicht des PiCCO Plus Monitors	17
Abbildung 10: Katheterarten.....	18
Abbildung 11: Entscheidungshilfe zum Therapiemanagement	21
Abbildung 12: Klinische Relevanz	22
Abbildung 13: Schema des Pulmonalkatheters	24
Abbildung 14: Druckkurvenverlauf beim Einschwenken des PAK.....	26
Abbildung 15: Long axis view.....	27
Abbildung 16: four chamber view	28
Abbildung 17: Siemens Sonoline.....	29
Abbildung 18: RV peak systolic pressure	32
Abbildung 19: Femoraler Zugang des PiCCO-Systems	36
Abbildung 20: Normwerte nach Fa. Pulsion Medical Systems modifiziert nach Seiler	39

12 Literaturverzeichnis

¹ Name wurde geändert

² Psychrembel, Klinisches Wörterbuch, 1998

- ³ Walter de Gruyter GmbH & Co (Hunnius & Pschyrembel), 1998
- ⁴ C.O.W. Schmidt, Vorlastsensitivität verschiedener klinisch gebräuchlicher Parameter nach definierter Volumengabe bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten, Dissertation 2001
- ⁵ R. Larsen, Anästhesie und Intensivmedizin 4. Auflage
- ⁶ R. Larsen, Anästhesie und Intensivmedizin 5. Auflage
- ⁷ Buchbinder, Hemodynamic monitoring: invasive techniques, Anaesthesiologie 1976; 45: S 146-155
- ⁸ O' Quinn, Pulmonary artery occlusion pressure: clinical physiology, measurement and interpretation Am Rev Resp. Dis. 1983; 128, S 319-326
- ⁹ C.O.W. Schmidt, Vorlastsensitivität verschiedener klinisch gebräuchlicher Parameter nach definierter Volumengabe bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten, Dissertation 2001
- ¹⁰ Lichtwarck-Aschoff M, Zeravik J, Pfeiffer U: Intrathoracic blood volume accurately reflects circulatory volume status in critically ill patients with mechanical ventilation. Intensive Care Med 18: 142-147, 1992; Editorial: Hedenstierna G: What value does the recording of intrathoracic blood volume have in clinical practice? 137-138
- ¹¹ Sakka SG, Meier-Hellmann A, Reinhart K: Assessment of intrathoracic blood volume and extravascular lung water by single transpulmonary thermodilution. Intensive Care Med 26: 180-187, 2000
- ¹² Bindels AJGH, van der Hoeven JG, Graafland AD, de Koning J, Meinders AE: Relationships between volume and pressure measurements and stroke volume in critically ill patients. Crit Care 4: 193-199, 2000
- ¹³ Lichtwarck-Aschoff M, Beale R, Pfeiffer UJ: Central venous pressure, pulmonary artery occlusion pressure, intrathoracic blood volume, and right ventricular end-diastolic volume as indicators of cardiac preload. J Crit Care 11 (4): 180-188, 1996
- ¹⁴ McLuckie A, Bihari D: Investigating the relationship between intrathoracic blood volume index and cardiac index. Intensive Care Med 26 (9): 1376-1378, 2000
- ¹⁵ Buhre W, Kazmaier S, Sonntag H, Weyland A: Changes in cardiac output and intrathoracic blood volume: a mathematical coupling of data? Acta Anaesthesiol Scand 45 (7): 863-867, 2001
- ¹⁶ C.O.W. Schmidt, Vorlastsensitivität verschiedener klinisch gebräuchlicher Parameter nach definierter Volumengabe bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten, Dissertation 2001
- ¹⁷ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ¹⁸ Bock J, Lewis FR: Clinical relevance of lung water measurement with the thermal-dye dilution technique. In: Lewis FR and Pfeiffer UJ (Eds.): Practical Applications of Fiberoptics in Critical Care Monitoring. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York, pp 164-180, 1990
- ¹⁹ Bindels AJGH, van der Hoeven JG, Meinders AE: Pulmonary artery wedge pressure and extravascular lung water in patients with acute cardiogenic pulmonary edema requiring mechanical ventilation. A m J Cardiol 84: 1158-1163, 1999
- ²⁰ <http://www.biorama.ch/biblio/b50chem/k06saba/saba400.htm>
- ²¹ C.O.W. Schmidt, Vorlastsensitivität verschiedener klinisch gebräuchlicher Parameter nach definierter Volumengabe bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten, Dissertation 2001
- ²² Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ²³ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ²⁴ Firma PULSION Medical Systems AG, München
- ²⁵ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ²⁶ Firma PULSION Medical Systems AG, München
- ²⁷ Firma PULSION Medical Systems AG, München
- ²⁸ R. Hoffmann, Computeranwendungen in der Medizin, <http://home.t-online.de/home/0926161717-0004/medpc.htm>
- ²⁹ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ³⁰ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ³¹ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ³² Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ³³ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ³⁴ Sakka SG, Reinhart K, Meier-Hellmann A: Comparison of pulmonary artery and arterial thermodilution cardiac output in critically ill patients. Intensive Care Med 25: 843-846, 1999
- ³⁵ Buhre W, Weyland A, Kazmaier S, Hanekop GG, Baryalei MM, Sydow M, Sonntag H: Comparison of cardiac output assessed by pulse-contour analysis and hermodilution in patients undergoing minimally invasive direct coronary artery bypass grafting. J Cardiothorac Vasc Anesth 13 (4): 437-440, 1999
- ³⁶ Lichtwarck-Aschoff M, Zeravik J, Pfeiffer U: Intrathoracic blood volume accurately reflects circulatory volume status in critically ill patients with mechanical ventilation. Intensive Care Med 18: 142-147, 1992; Editorial: Hedenstierna G: What value does the recording of intrathoracic blood volume have in clinical practice? 137-138
- ³⁷ Firma PULSION Medical Systems AG, München
- ³⁸ Firma PULSION Medical Systems AG, München
- ³⁹ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ⁴⁰ Pulsion PiCCO misst keine pulmonalarteriellen Blutdrücke ab 5kg Empfehlung der Firma Pulsion, erfolgreiche Verwendung an einem 3kg Patienten jedoch bereits erfolgt
- ⁴¹ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ⁴² Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ⁴³ Firma PULSION Medical Systems AG, München
- ⁴⁴ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ⁴⁵ Firma PULSION Medical Systems AG, München
- ⁴⁶ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ⁴⁷ Psychrembel, Klinisches Wörterbuch, 1998
- ⁴⁸ R. Hirt, Handbuch der Anästhesie für Schwestern und Pfleger, S.186, 1997
- ⁴⁹ R. Larsen, Anästhesie und Intensivmedizin 5. Auflage
- ⁵⁰ R. Hirt, Handbuch der Anästhesie für Schwestern und Pfleger, S.187, 1997
- ⁵¹ DEUTSCHES ÄRZTEBLATT PRINT Greim, Priv.-Doz. Dr. med. Clemens-A.; Brederlau, Jörg; Roewer, Norbert: Ultraschall in der Anästhesie und perioperativen Intensivmedizin Deutsches Ärzteblatt 98, Ausgabe 30 vom 27.07.2001, Seite A-1963 / B-1691 / C-1572
- ⁵² Dr. med. R. Brase, Was kann mit der TEE im OP dargestellt werden und was nicht? Zentrum für Anesthesiologie, Klinik f. operative u. allgemeine Intensivmedizin ZKH Links der Weser, Bremen
- ⁵³ C.O.W. Schmidt, Vorlastsensitivität verschiedener klinisch gebräuchlicher Parameter nach definierter Volumengabe bei postoperativen kardiochirurgischen Patienten, Dissertation 2001
- ⁵⁴ Gebrauchsanweisung PiCCO Version 4.1.x, Februar 2000
- ⁵⁵ Polanczyk CA, Rohde LE, Goldman L, Cook EF, Thomas EJ, Marcantonio ER, Mangione CM, Lee TH: Right heart catheterization and cardiac complications in patients undergoing noncardiac surgery – an observational study. JAMA 286 (3): 309-314, 2001; Editorial: Dalen JE: The pulmonary artery catheter – friend, foe, or accomplice. 348-350
- ⁵⁶ Connors 1996 JAMA, Sandham 2002, NEJM