Postgraduate Course
Kardiovaskuläre Intensivmedizin

MEDIZINISCHE UNIVERSITÄT INNSBRUCK

Beyond PAC – „modernes“ erweitertes hämodynamisches Monitoring

OA Univ. Prof. Dr. Stefan Dunzendorfer
Intensivstation
Universitätsklinik für Innere Medizin I
Medizinische Universität Innsbruck

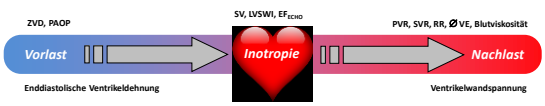
Österreichische Gesellschaft für Internistische und Allgemeine Intensivmedizin und Notfallmedizin ÖGIAIN

Hämodynamisches Monitoring

- Hypo-, normo-, oder hypertensive Verlaufsform der akuten Herzinsuffizienz: Systolischer Blutdruck ist kein Hinweis für inadäquate DO_2
  Metra M. et al., Int. J. Cardiol. 2010. Acute heart failure: Multiple clinical profiles and mechanisms required tailored therapy
- Kardiogener Schock: Systolischer Blutdruck bei ca. 10% erhalten – „nonhypotensive cardiogenic shock“
  Menon V. et al., Am J Med 2000. Acute Myocardial Infarction Complicated by Systemic Hypoperfusion without Hypotension: Report of the SHOCK Trial Registry
- Chronische Herzinsuffizienz: keine Korrelation zwischen Belastungsfähigkeit (= kardiale Reserve) und Echokardiographie (LVEF)
  Pachinger O. et al., Z Kardiol 1982. Hemodynamics of congestive cardiomyopathy
- Heart failure with preserved ejection fraction (HFpEF)
  Lecavich CL. et al., Heart Fail Rev 2015. HFpEF – an integrated and strategic review

Hämodynamik

Als Grundsatz gilt: *Ohne* Druck *kein* Fluss – dynamisches Volumen

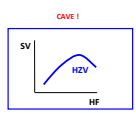


(1) HZV = HF × SV

(2) Maximale Inotropie nur bei optimaler Vorlast

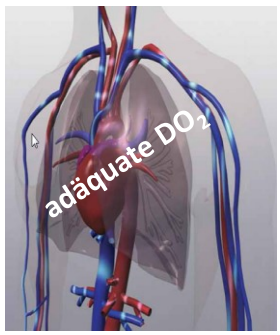
(3) MAP = HZV × SVR

(4) DO_2 = HZV × CaO_2



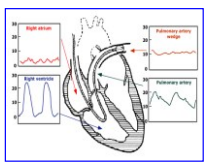
Hämodynamische Einschätzung – was brauchen wir ?

- Herzzeitvolumen
- Volumenstatus
- Inotropiemass
- Nachlast



Invasive HZV – Messung

Rechtsherzkatheter (Swan-Ganz-Katheter)



Thermodilutionsmethode
Steward-Hamilton Algorithmus

Nachteile
- Invasivität mit multiplen Komplikationen
  - **Volumenschätzung** durch Messung eines Druckes
    - Interpretation/Integration der Messdaten
      - Keine einheitlichen Therapiestandards

Zentraler Venen Druck	ZVD	2-12 mmHg
Rechtsatrialer Druck	RAD	2-12 mmHg
Linksventr. Schlagarbeit	LVSWI	45-60 g×m/m²
System. Gefässwiderst.	SVR SVRI	800-1200 dyn*sec*cm⁻⁵ 1700-2400
Pulmon. Gefässwiderst.	PVR PVRI	80-110 dyn*sec*cm⁻⁵ 150-250

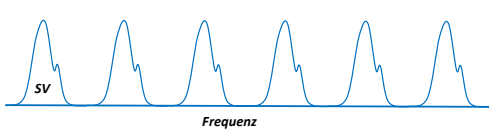
Real-life clinical cases (PAK)
- 417 Intensivmediziner (3 Meetings)
- 62% falsche Diagnose
- 38% richtige Diagnose und Therapieoptionen?
  - 27% keine Vorschläge
  - 35% kontraproduktive/gefährliche Therapie

85% falsch !!! *Does the Problem lie in the User ?*

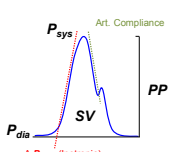
Squara et al., Chest 2002:121;2009

Minimalinvasive HZV – Messung

Pulskonturanalyse — Schlagvolumen (SV) ist das Integral der Pulskurve
HZV = SV × Frequenz



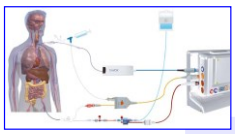
Kontinuierliches HZV



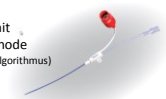
$PiCCO_2$

Herzzeitvolumen $PiCCO_2$

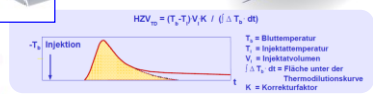
Funktionsprinzip „transpulmonale Thermodilution"

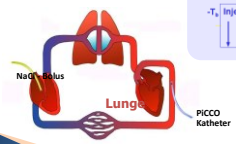


(1) HZV – Messung mit Thermodilutionsmethode
(mod. Steward-Hamilton-Algorithmus)

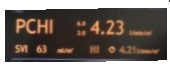


$$HZV_{TD} = (T_b - T_i) V_i K / (\int \Delta T_b \, dt)$$





(2) Individuelle Kalibrierung der kontinuierlichen Pulskonturanalyse



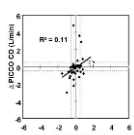
$PiCCO_2$ HZV im Vergleich

Cross-comparison of cardiac output trending accuracy of **LiDCO, PiCCO, FloTrac** and pulmonary artery catheters. ***Hadian M. et al., Crit Care 2010.***

Mean CO bias 0.24 l/min (PAC-PiCCO)

Cross-comparisons of trending accuracies of continuous cardiac-output measurements: pulse contour analysis, bioreactance, and pulmonary-artery catheter. ***Lamia B. et al., J Clin Monit Comput. 2017***

Mean CO bias 0.18 l/min (PAC-PiCCO)



Δ CO 0.14 +/- 0.63 l/min (CO 2.7 – 14.1 l/min)
Godje O., Crit. Care Med. 2002

Δ CO -0.03 +/- 0.92 l/min (CO 2.3 – 17.2 l/min)
Della Rocca G., Br. J. Anaesth. 2002

PAK (Goldstandard)
mit viel Erfahrung CO +/- 13%, sonst bis +/- 30% ***Nilsson LB., Acta Anaesthesiol Scand 2004***

Volumenstatus | Vorlast

Mass in der klinischen Praxis

- für den RV – Zentralvenöse Druck (ZVD)
- für den LV – Pulmonalarterielle Verschlussdruck (PAOP, PCWP)

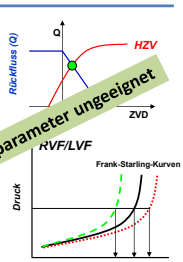
Beeinflussende Faktoren ZVD

1. Volumenstatus
2. Relative Druckwerte
3. vaskulärer Wasserfall
4. Transmurale Drücke

Hansen et al., Anesthesiology 1986
Diebel et al., J Trauma 1994
Sakka et al., Intensive Care Med 1999
Michard et al., Chest 2002
Michard et al., Chest 2003
Dellinger et al., Crit Care Med 2004
Kumar et al., Crit Care Med 2004

Beeinflussende Faktoren PAOP

1. Volumenstatus
2. systolische Linksventrikelfunktion
3. diastolische Linksventrikelfu
4. Klappenfunktion
5. Atmung – R
6. Oxy
7. Lungengefässe
8. pleuralen Druckunterschieden
9. Dynamische Lungenzonen
10. Lungenfunktion (COPD)



ZVD/PAOP als Vorlastparameter ungeeignet

Rückschluss auf ein Volumen durch Messung eines Druckes nur zulässig für ***statische Volumina*** - Kreislauf ist ein ***dynamisches Volumen*** (basiert auf Druckdifferenzen !)

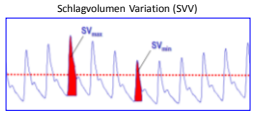
Multiple, **nicht berechenbare** Einflussfaktoren

Volumetrische Parameter $PiCCO_2$

Einschätzung des Volumenstatus mittels Pulskonturanalyse

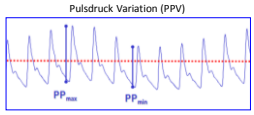
"Respiratory Swing"

Schlagvolumen Variation (SVV)



$SVV = (SVmax - SVmin)/SVmed \times 100\%$

Pulsdruck Variation (PPV)



$PPV = (PP_{max} - PP_{min})/PP_{med} \times 100\%$

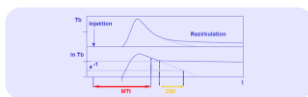
- Atemsynchrone Änderung der Pulskontur
- Reaktion des Herzzeitvolumens auf Vorlasterhöhung - Volumenreagibilität
- Kontrollierte Beatmung Vte > 8 mL/kgKG
- Sinusrhythmus

Kein Mass für den Volumenstatus !

Hofer et al., Chest 2005; Monnet et al., Curr. Opin. Crit. Care 2006

Volumetrische Parameter $PiCCO_2$

Erweiterte Analyse der Thermodilutionskurve

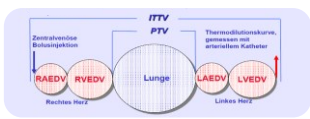


MTt = Mean Transit time (mittlere Durchgangszeit)

- Zeit nach der die Hälfte des Indikators (Kälte) den arteriellen Messpunkt passiert hat

DSt = Down Slope time (exponentielle Auswaschzeit)

- Zeit des exponentiellen Abfalls der Thermodilutionskurve



GED(V)I
Messung des Volumenstatus

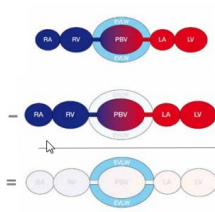
ITTV = RAEDV + RVEDV + Lunge + LAEDV + LVEDV = MTt × HZV

PTV = DSt × HZV

ITTV – PTV = **GEDV** (Globale Enddiastolische Volumen)
Summe des Blutvolumens in allen vier Herzkammern am Ende der Diastole

Sakka et al., Intensive Care Med. 2000;26:180

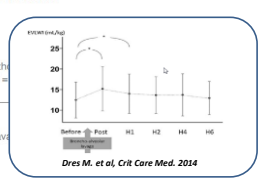
Extravaskuläres Lungenwasser - EVLW



Intrathorakales Thermovolumen
ITTV = HZV x MTt

Intrathorakales Blutvolumen
ITBV =

Extravaskuläres Lungenwasser



Dres M. et al, Crit Care Med. 2014

Messung des Extravaskulären Lungenwassers (EVLW) = Lungenödem quantivizieren !

Tagami et al., Crit Care 2010;14:R162
Kuzkov et al., Crit Care Med 2007;35:1550
Katzenelson et al., Crit Care Med 2004;32:1550

PiCCO$_2$ - Volumenparameter

SVV und PPV
- Mass für die Volumenresponsivität (cave große Ventrikel)
- Sinusrhythmus, Beatmung, artefaktanfällig

SVV/PPV
< 10%

GEDI (Index des GEDV bezogen auf das ideale Körpergewicht)
- sensitiver und spezifischer Vorlastparameter als ZVD und PAOP (Evid. Grad C)
- gutes Mass für den aktuellen intravasalen Volumenstatus
- **Quantifizierung** des intravasalen Volumens, keine Schätzung
- unabhängig von intravasalen Drücken, Herzleistung

GEDI
680 -800 ml/m^2
Normal

ELWI (Index des EVLW bezogen auf das ideale Körpergewicht)
- **Quantifizierung** eines Lungenödems
- Beurteilung des Therapieverlaufs

ELWI
3 - 7 ml/kg
Normal

PVPI (Pulmonalvaskuläre Permeabilitätsindex)
- Quotient aus ELWI und Pulmonalem Blutvolumen (PBV)
- ELWI erhöht, weil PBV erhöht = **hydrostatisches Lungenödem**
- ELWI erhöht, trotz normalem PBV = **Permeabilitätsstörung**

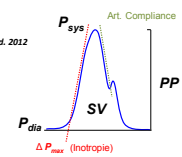
PVPI
1,0-3,0
Normal

Inotropie und Nachlast

dP/dtmax (900 – 1200 mmHg/sec) *Morimont P. et al., BMC Cardiovasc. Disord. 2012*

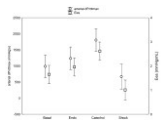
GEF – Globale Auswurffraktion (25-35 %)

CFI – Kard. Funktionsindex (4.5-6.5/min)



CPO (W) – Cardiac Power Output
- Vereinigt Volumen, Fluss (CO) und Widerstand (MAP)
- Parameter für die kardiale Reserve und Prognose
- Norm: 1 W; CPO$_{peak}$: ♀ 3.69W ♂ 5.26W
- CPO < 0.53W schlechte Prognose

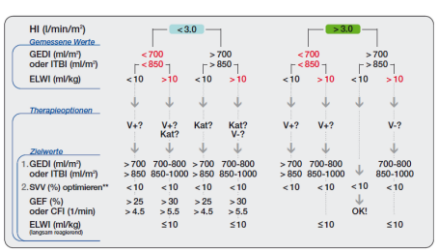
Fincke et al., JACC 2004; Cooke et al., Heart 1998



MAP = HZV × SVR

SVR = 800-1400 dyn×sec/cm^5
PVR = 80-110 dyn×sec/cm^5

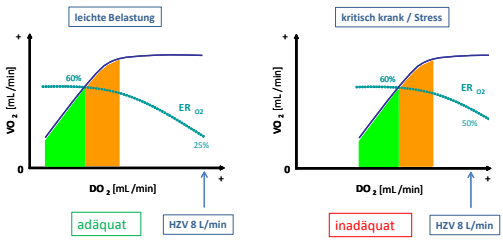
PiCCO$_2$ - Therapiealgorithmus



Wesseling KH (1983) Adv Cardiovasc Phys; 5:1-52
Buhre W (1999) J Cardiothorac Vasc Anesth; 13:437-440
Rodig G (1999) Br J Anaesth; 82:525-530
Goedje O (1999) Crit Care Med 27: 2407-2412
Della Rocca G (2002) Br. J. Anaesth;88:350-356
Godje O (2002) Crit Care Med 30:52-58
Della Rocca G (2003) Can J Anaesth. 50 (7):707-11

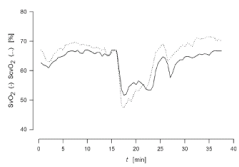
Gewebeoxygenierung | Schock

$VO_2 = DO_2 \times O_2ER$



Monitoring $ScvO_2$

- SvO_2 kann nicht exakt durch Kenntnis von $ScvO_2$ bestimmt werden (Varpula et al., Intensive Care Med 2006;32:1336)
- $ScvO_2$ und SvO_2 korrelieren in vielen klinischen Situationen sehr gut (r = 0.97) (Reinhart et al., Chest 1989;95:1216)
- Sensitivster und frühester Parameter für Gewebshypoxie (Normwert: 70-80%)
- Hauptsächlich durch das HZV bestimmt, da DO_2 HZV-bestimmt (kardiales Monitoring !)
- Kontinuierliche $ScvO_2$-Messung ist Frühwarnsystem: abfallende $ScvO_2$ bedeutet VO_2 wird DO_2-abhängig – Dysoxie und dringende Intervention
- Verdächtig: Werte ausserhalb der Norm oder Veränderung ± 10% für > 5 min (auch innerhalb der Norm)
- Überprüfung eines Interventionserfolges



Reinhart et al., Intensive Care Med 2004;30:1572

$PiCCO_2$ – $CeVOX$-Technologie

- Kontinuierliches zentralvenöse fiberoptische Oxymetrie ($ScvO_2$)
- Sauerstoffangebot (DO_2)
- Sauerstoffverbrauch (VO_2)
- Globale Sauerstoffbalance

CeVOX Modul mit Sonde

- Zugang über Standard-ZVK
- Frühzeitiges Erkennen einer Gewebshypoxie
- Einfache Handhabung
- Echtzeitdaten

Walley, K.R., Am J Respir Crit Care med. 2011;185:514
Marx, G. and Reinhart K., Curr Opin Crit Care 2006;12:263

PiCCO$_2$ – FAQ

Vorhofflimmern	
PCHI	NEIN
TDHI	JA
GEDI/ELWI	JA
dPmax	NEIN
PVPI	JA

IABP	
PCHI	NEIN
TDHI	JA
GEDI/ELWI	JA
dPmx	NEIN
PVPI	JA

CVVH: keine Einschränkungen im laufenden Betrieb (Heise et al., Minerva Anestesiol 2012;78:315)

Perikarderguss, Pleuraerguss, Kavernen: ELWI wird unterschätzt (ITTV erhöht)!

Therapeutische Hypothermie: keine Einschränkungen (Tagami et al., Anaesthesia 2012;67:236)

ZVK in V. femoralis: wird nicht empfohlen, funktioniert aber …

Zusammenfassung

Kardio-pulmonale Diagnostik

PiCCO$_2$ keine Alternative zum PAK (Gold-Standard; Evidenz Grad D)

Hämodynamisches Monitoring und Volumenstatus: PiCCO$_2$

Gleichwertig, oft auch überlegen

Einfache Handhabung

Neue Zahlen mit zutreffenden und sensitiven Werten

Schnelle Antworten: wenig Parameter, Algorithmen