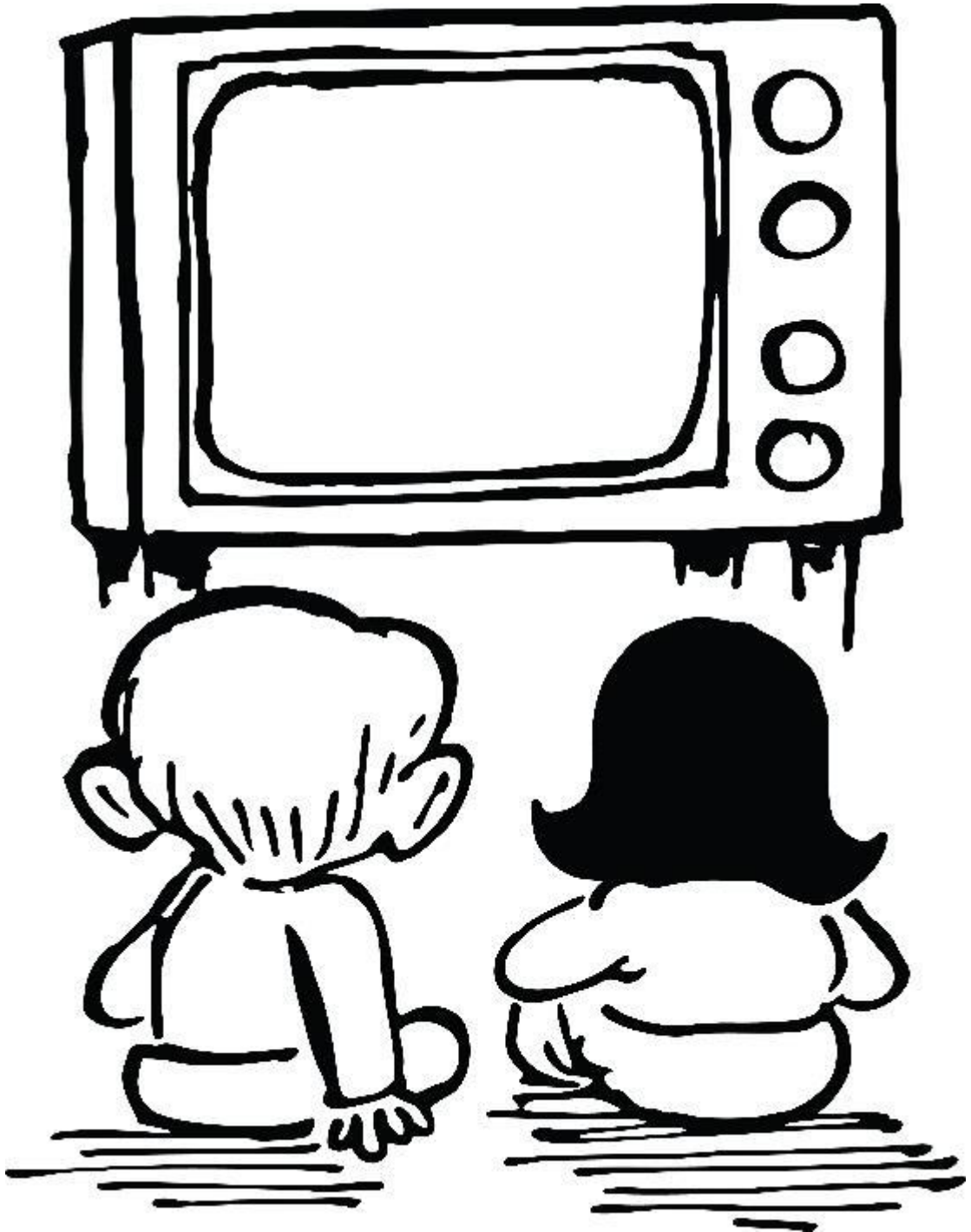
Hämodynamisches Monitoring auf der PICU

PICU Masterclass 2024

Andrea Titieni-Schuhmann
andrea.titieni@stanna.at

St. Anna KinderSpital



slido

Was Fällt euch zu hämodynamischem Monitoring ein?

Wordcloud

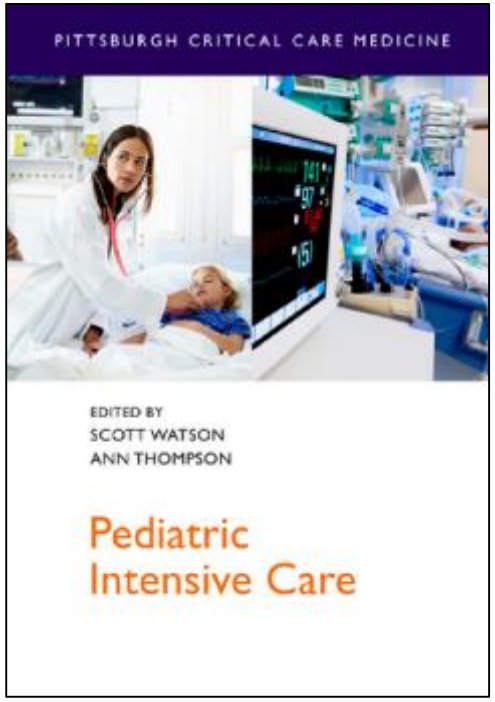
Übersicht

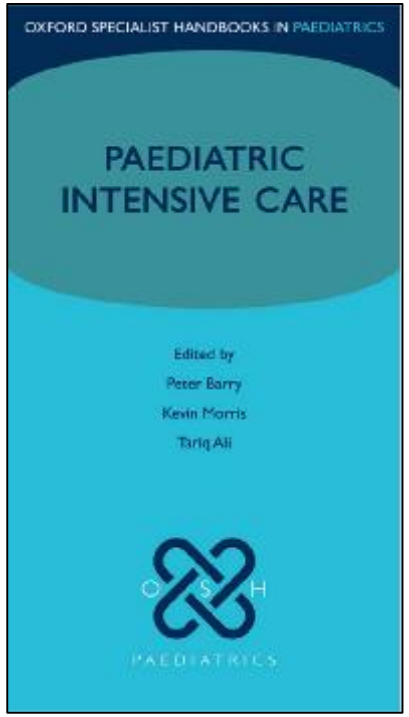


1) SpO_2
2) $ScvO_2$
3) NIRS
4) $etCO_2$

5) NIBP
6) ABP
7) ZVD
8) IAP

Wichtigste Quellen

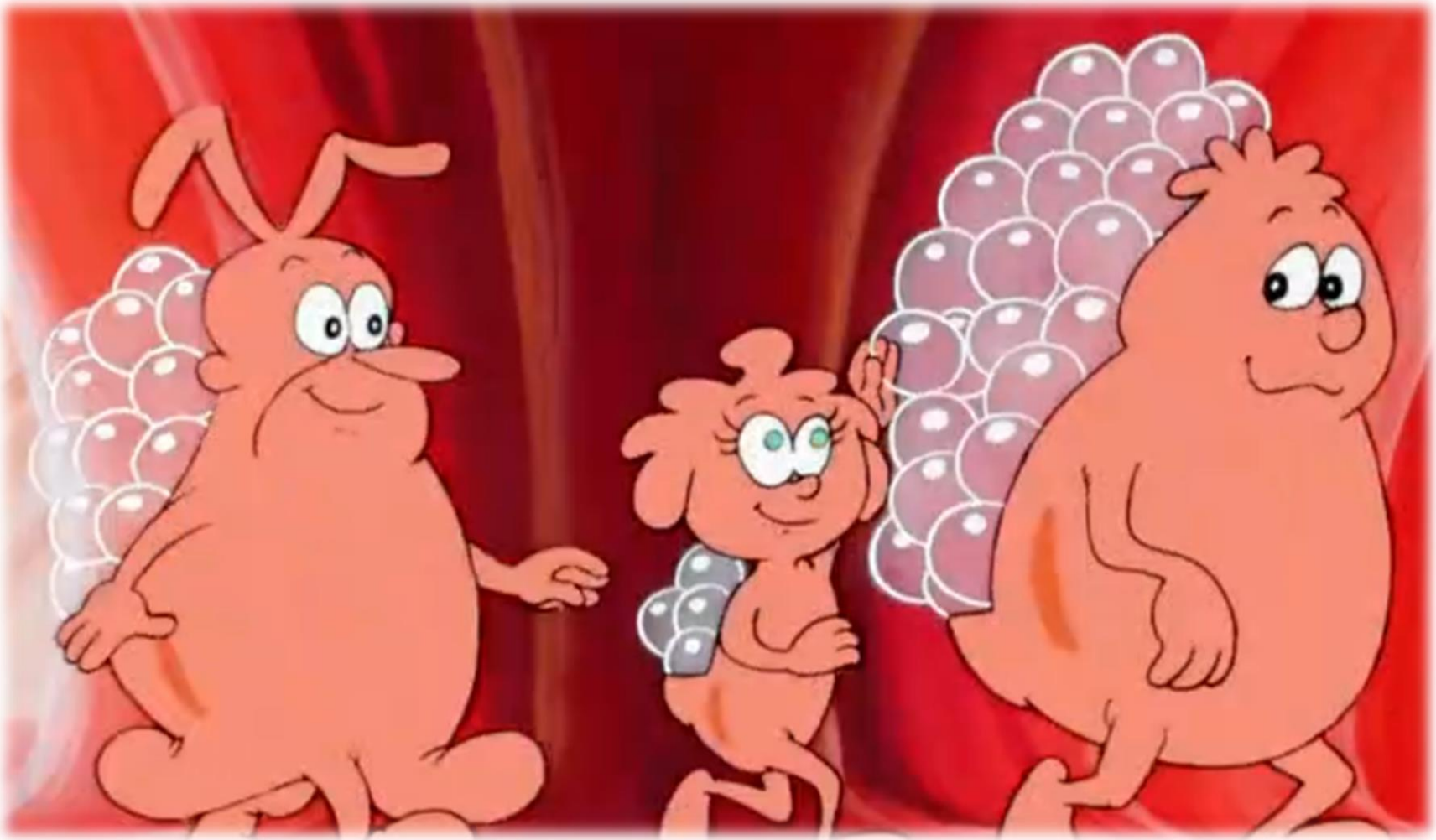






YouTube

Sättigungen SpO_2 - $ScvO_2$ - NIRS

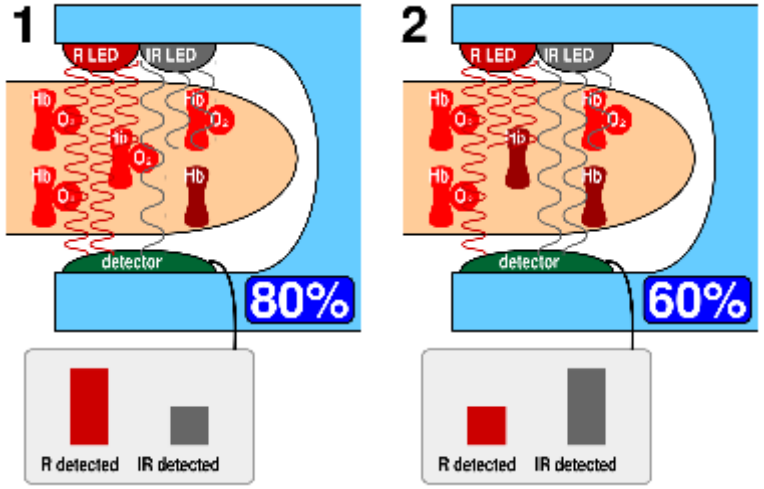


Es war einmal… Das Leben

Pulsoximetrie – SpO_2

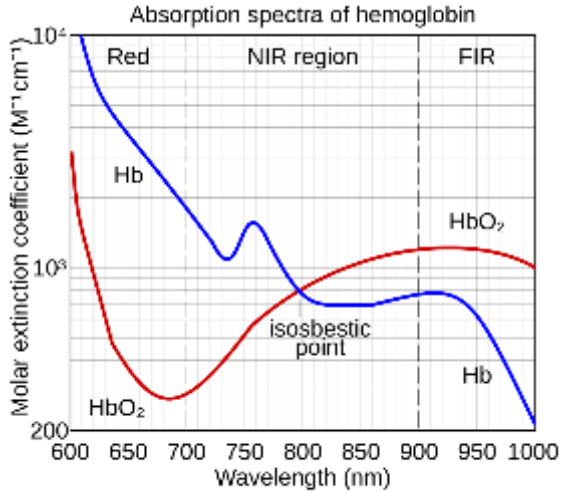
Nichtinvasive Messung der Sauerstoffsättigung im Blut

Funktionsprinzip



Rot wird von Hb absorbiert
Infrarot wird von HbO_2 absorbiert

- Messung nur von pulsatilem Blut
- 2 LEDs rot (660nm) und infrarot (940nm) werden unterschiedlich von oxygeniertem Hb und nicht-oxygeniertem Hb absorbiert.
- Detektor misst jeweilige Absorption und gibt das prozentuale Verhältnis an.



Pulsoximetrie – SpO_2 CAVE

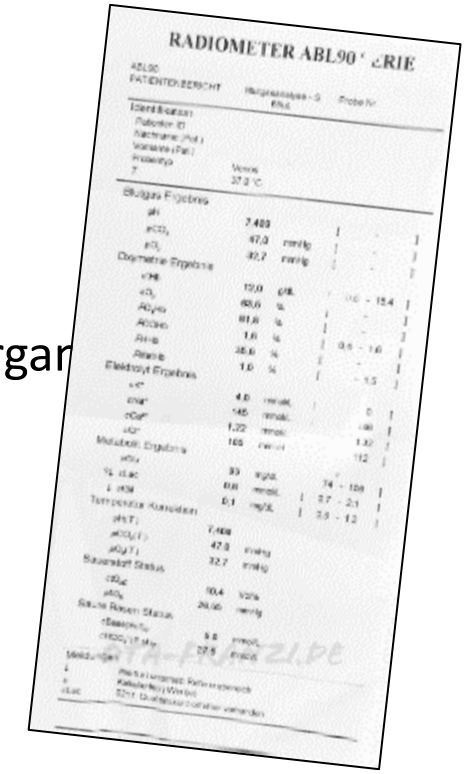
Falsche Messwerte durch:

- Lackierte Fingernägel (insb. blau, schwarz, grün; **nicht** rot!)
- Künstliche Fingernägel, Nagelpilz
- Bewegung / Erschütterung
- Umgebungslicht (zB Infrarotlampen, Sonnenlicht, OP-Leuchten)
- Kalte Extremitäten
- Minderperfusion
- Ödem
- Anämie (Hb<5g/dl)
- CO-Vergiftung und Methämoglobinämie → falsch hohe SpO2 – Werte
  (da ähnliche Wellenlängenabsorption wie HbO_2)
- Intravaskuläre Farbstoffe (falsch niedrige Werte zB Methylenblau, Indigocarmin)



Zentralvenöse Sättigung – $ScvO_2$

- Indikator der Gewebsoxygenierung
- Normwerte 60%-80%
- Abhängig von Abnahmeort:
  - V. Cava sup: niedrigere Werte → höherer Verbrauch von Gehirn
  - V. Cava inf: höhere Werte → niedrigerer Verbrauch von subdiaphragmalen Organ
- Abhängig von Hb, SaO_2, SvO_2, HZV
- Immer in Zusammenschau mit anderen Werten und Klinik
- Einzelne, absolute Werte nicht aussagekräftig
- Verlaufsparameter als „Warnsignal“



Zentralvenöse Sättigung - **$ScvO_2$**

Niedrige $ScvO_2$	**Hohe $ScvO_2$**
Vermindertes HZV	Gewebe kann Sauerstoff nicht extrahieren (später septischer Schock)
Schock	Zyanidvergiftung
Hypoxie	
Schwere Anämie (<7g/dl)	
Fieber	
Erhöhte Metabolik	

Gemischtvenöse Sättigung wird in A. pulmonalis gemessen mittels Pulmonalarterienkatheter
→ KEIN Standard, da PAK keinen therapeutischen Vorteil bringt und viele UAW birgt

Near-Infrared Spectroscopy - **NIRS**

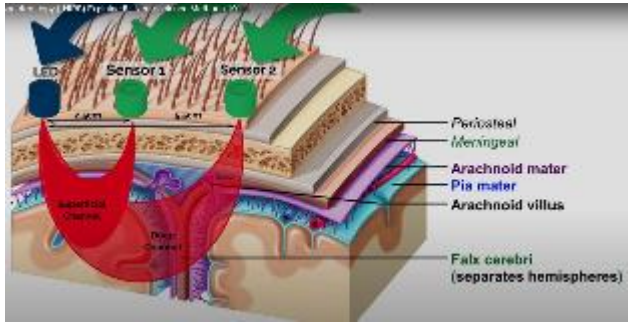
- Überwachung u.a. der zerebralen Gewebeoxygenierung (Auch Nieren, Muskeln u.a.)
- 700-900nm → Eindringtiefe von einigen Zentimetern in biologisches Gewebe
- Normwerte > 60% (venös)
- Werte < 50% → Handlungsbedarf, Hinweis auf verminderten zerebralen Blutfluss

Anwendung insbesondere

- Während & nach kardiochirurgischen Eingriffen
- Während & nach Reanimation oder ECMO
- SHT-Patienten

Fehlerquellen

- Starke Bewegung d. Patienten
- Ödeme od. Hämatome
- Hautverunreinigung/dichte Haare
- Nähe zu großen Blutgefäßen







Near-Infrared Spectroscopy – **NIRS** - Beispiele



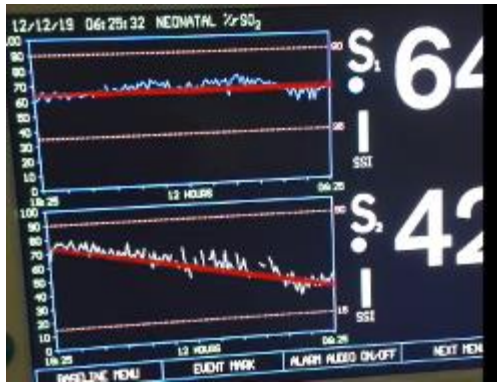
Renale Werte üblicherweise höher als zerebrale Werte (niedrigerer O2 Verbrauch als Gehirn)



Trend: Organperfusion schlechter, zerebrale Perfusion (noch) stabil
→ Patienten anschauen



Patient nach Reanimation
→ Trend besser werdend



Pat. mit interner Blutung
→ progrediente Hypovolämie



Pat. mit univentrikulärer Physiologie

https://www.youtube.com/watch?v=xOxwmJ5J0sk

Endtidales CO_2 - **etCO_2 & Capnographie**

Capnographie = kontinuierliche Messung des expiratorischen CO_2

Endtidales CO_2 = höchster CO_2 Wert während Expiration

- Entspricht annähernd arteriellem pCO_2 bei Patienten mit norm. Herz&Lunge

Verfahren	Methode	Vorteile	Nachteile
Hauptstrom-verfahren	Infrarot Lichtabsorption	Gesamte Luftmenge	Hohes Gewicht, Gefahr der Extubation
Nebenstrom-verfahren	Geringe Menge Luft ständig abgesaugt & im Detektor gemessen	Geringes Gewicht	Verzögerte Messung
Microstream®	Laser-basierte Messung genau im CO_2 Absorptionsbereich	Geringes Gewicht Beatmet & nicht beatmet	teurer







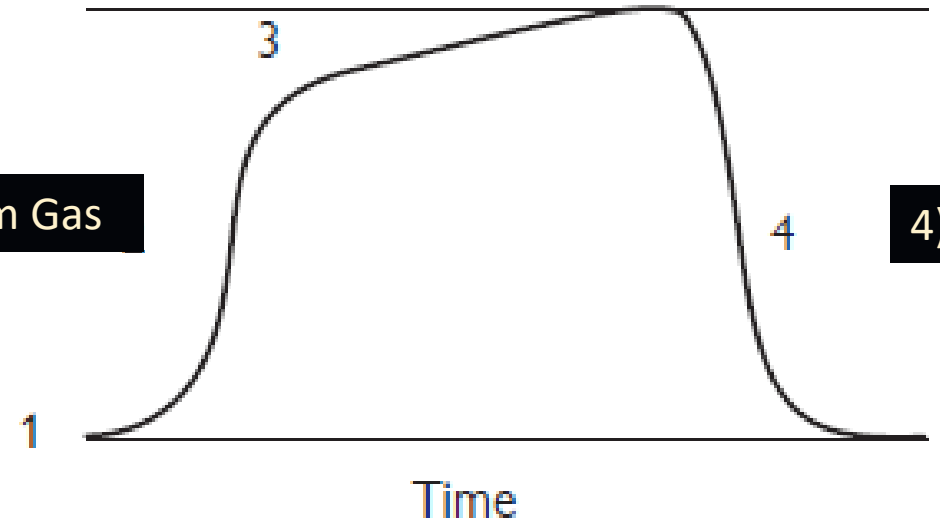




Endtidales CO_2 - **$etCO_2$** Kurve

etCO2

3) Plateauphase



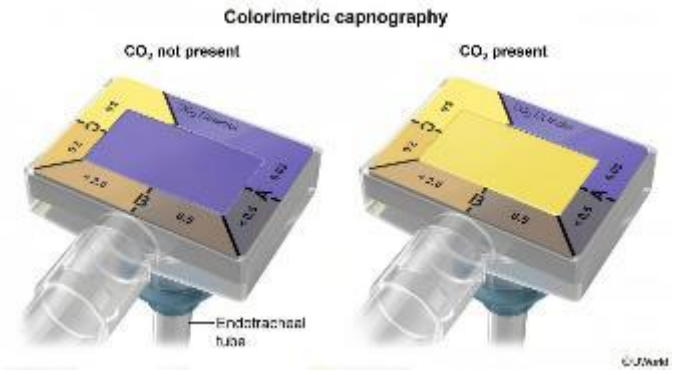
2) CO2 – Anstieg von alveolärem Gas

4) Inspiration & schneller Abfall CO2

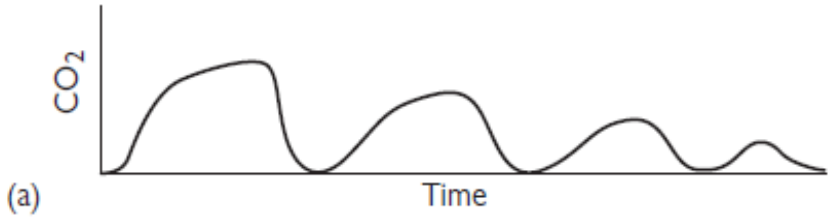
1) Frühe Expiration (Totraum)

Endtidales CO_2 - $etCO_2$ Beispiele

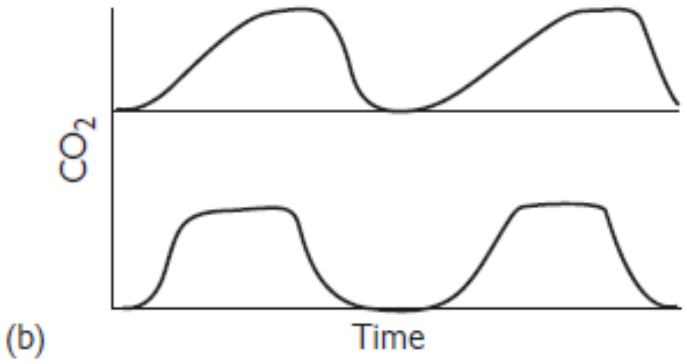
$etCO_2$	Mögliche Ursachen
Erhöhtes $etCO_2$	• Hypoventilation • Erhöhte CO_2 Produktion zB Fieber, maligne Hyperthermie, kataboler Stoffwechselzustand
erniedrigtes $etCO_2$	• Hyperventilation • Verminderte CO_2 Produktion zB Hypothermie • Vermindertes Herzzeitvolumen • Pulmonalembolie • Luftembolie • Schlechte pulmonale Perfusion
fehlendes $etCO_2$	• Ösophageale Intubation • Diskonnektion von Beatmungsmaschine



Endtidales CO_2 - $etCO_2$ Beispiele

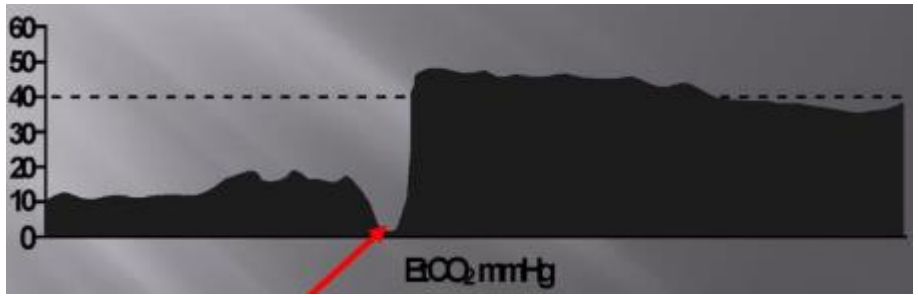


Rascher Abfall der Pulmonalen Perfusion durch plötzlichen RR-Abfall oder Herzstillstand



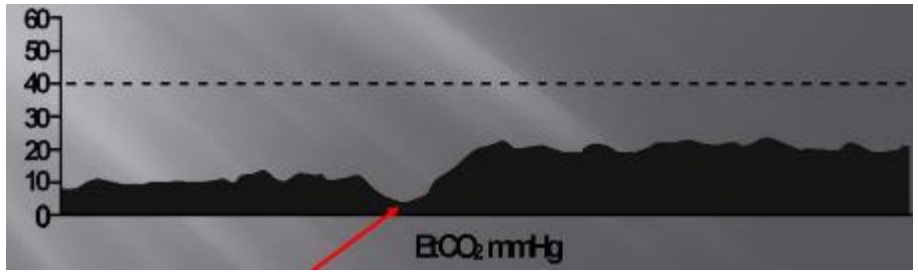
Oben: Bronchospasmus (langsamer CO_2-Anstieg)
Unten: nach Bronchodilatator-Therapie

Endtidales CO_2 - $etCO_2$ Beispiele



Erfolgreiche Defibrillation

Während Reanimation



Wechsel des Helfers während CPR

https://www.slideserve.com/apollo/end-tidal-co2-etco2-monitoring

Drücke NIBP – ABP – CVP - IAP



Alle invasiven Drücke:
Kalibration („Nullen“) auf Herzhöhe → 4. ICR mittlere Axillarlinie

Nichtinvasive Blutdruckmessung - **NIBP**

Manuelle Messung:

- Aufblasen der RR Manschentte 20mmHg > letzten palpablen Puls → langsames Ablassen → erster palpabler Puls = systolischer RR

→Kein Stethoskop, bei sehr niedrigen RR, in lauter Umgebung (zB Hubschrauber, Rettungswagen)

Auskultatorische Messung:

- Aufblasen der RR Manschentte 20mmHg > letzten auskultatorischen Puls → langsames Ablassen → erster hörbarer Ton = systolischer RR, letzter = diast. RR
- MAD = Diast + 1/3 x (syst-diast)

Automatische Messung:

- Oszillationen in der RR-Manschette werden gemessen
- Syst + MAD verlässlich, Diast meist ungenau berechnet
- Fehlerquellen & Grenzen
  - Falsche Manschettengröße
  - Ungenauigkeit bei Hypotonie, tachykarden Rhythmusstörungen, Bewegungsartefakten

Arterieller Blutdruck ABP

Indikation:

- häufige Blutentnahmen/Blutgasanalysen
- kontinuierliche RR Messung
- Katecholaminbedarf bzw. kardiorespiratorische Instabilität

→keine Evidenz, dass invasives Monitoring Outcome verbessert

→ Immer Nutzen-Risiko abwägen

Gefahren und Komplikationen

- Versehentliche Medikamentenapplikation
- Gewebsischämie & Nekrosen
- Arterieller Thrombus
- Relevante Blutung bei Diskonnektion
- Infektion
- Zerebrale Embolien durch übereifriges Spülen

Messorte:

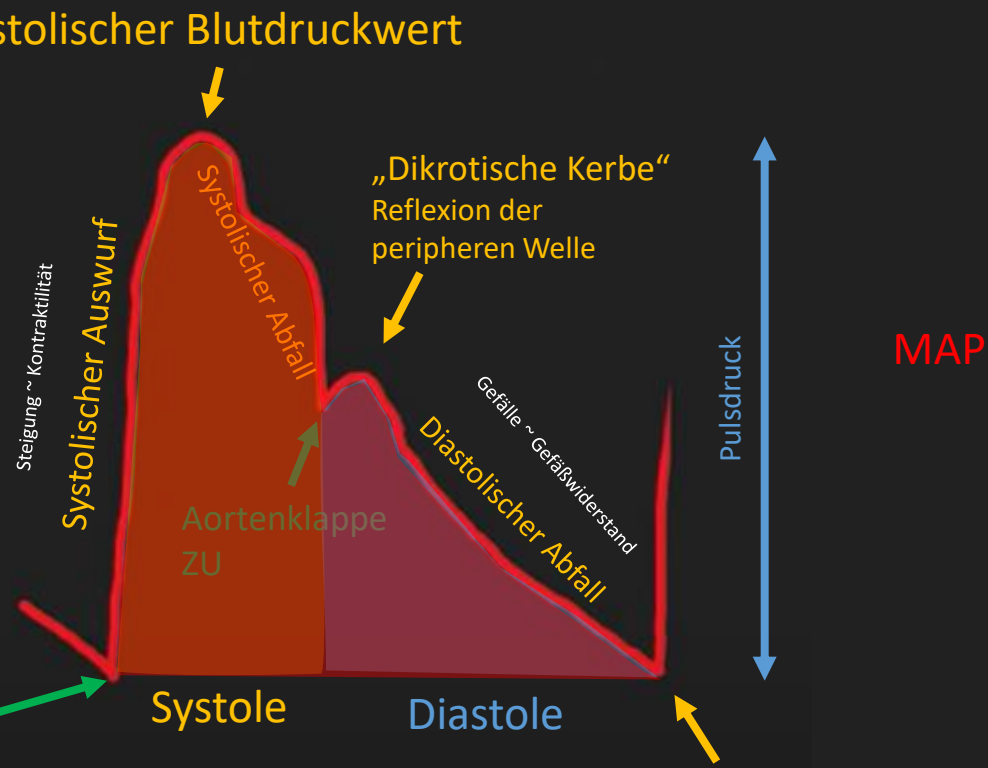
- Nabelarterienkatheter (Neugeborene)
- A. Radialis, A. ulnaris
- A. Tibialis posterior, A. dorsalis pedis
- A. femoralis
- A. brachialis vermeiden (→ keine Kollaterale)

→ Kontinuierliche Spülung (mit oder ohne Heparin)

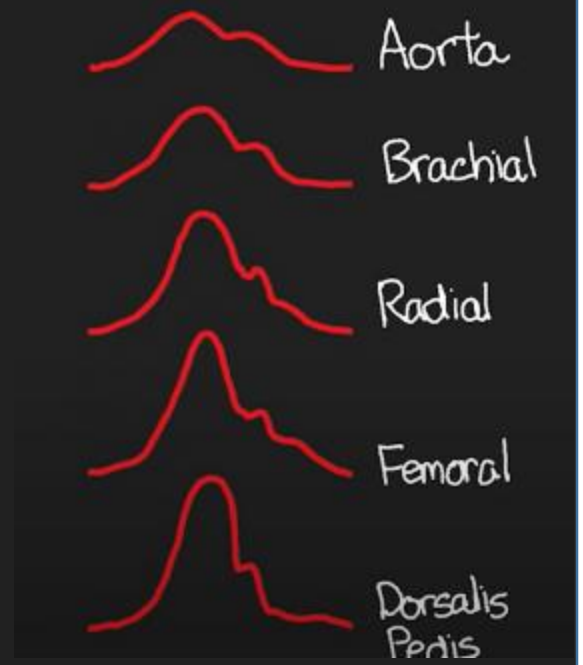
Arterieller Blutdruck - Kurve

Information über

- Herfrequenz
- Pulsdruck
- LV-Kontraktilität
- Herzschlagvolumen
- Gefäßwiderstand



MAP = AUC

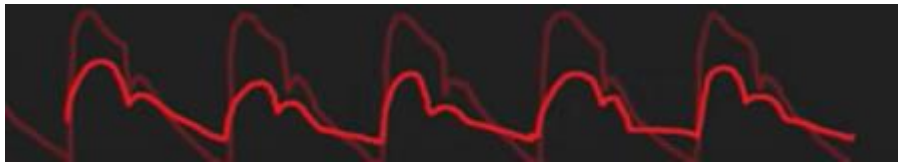


https://www.youtube.com/watch?v=UbwdbK2inZY

Arterieller Blutdruck – Systemdämpfung (Damping)

Überdämpfung

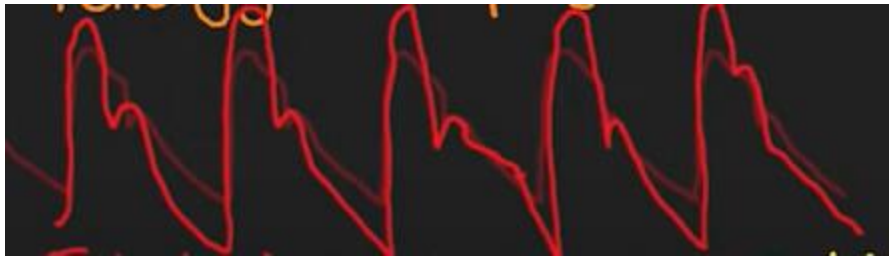
Unterschätzung des Systems zB durch Luft im System, zu langer oder zu elastischer Line



Fälschlicherweise SBP ↓, DBP↑, niedriger Pulsdruck, MAP ok

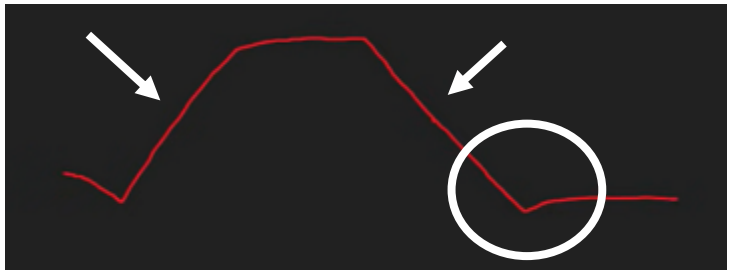
Unterdämpfung

Überschätzung der Arterienkurve

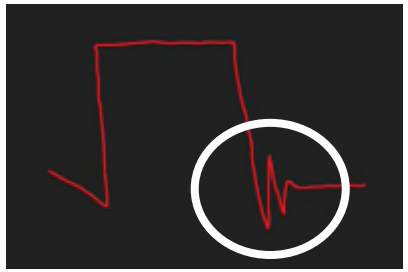


Fälschlicherweise SBP ↑, DBP ↓, hoher Pulsdruck, MAP ok

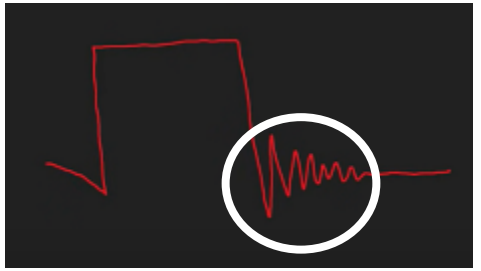
Test: kurzes Spülen der Arterie



Überdämpfung: keine Oszillationen, Langsamer Anstieg und Abfall der Kurve



Optimal gedämpft: 1-2 Oszillationen

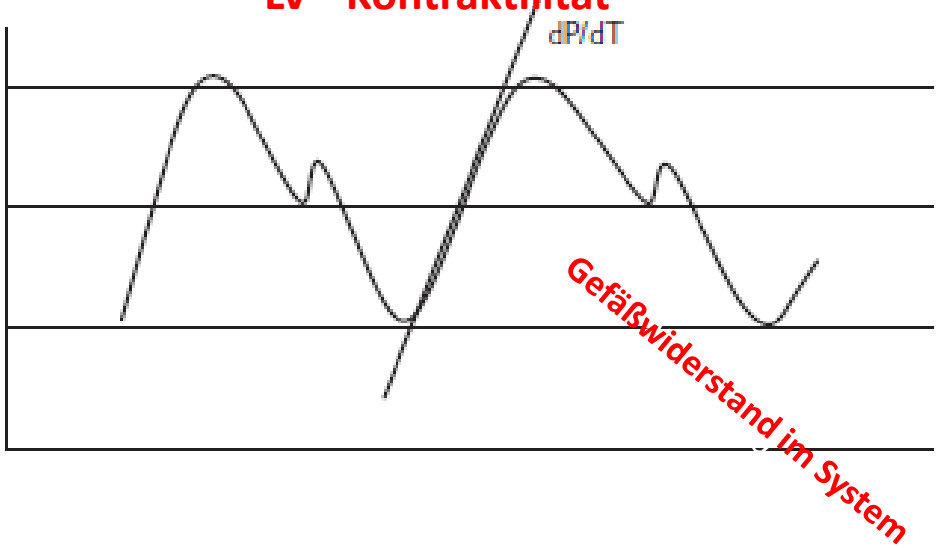


Unterdämpfung: zu viele Oszillationen

https://www.youtube.com/watch?v=UbwdbK2inZY

Arterieller Blutdruck –
klinische Informationen aus der Arterienkurve

LV - Kontraktilität



Flüssigkeitsstatus

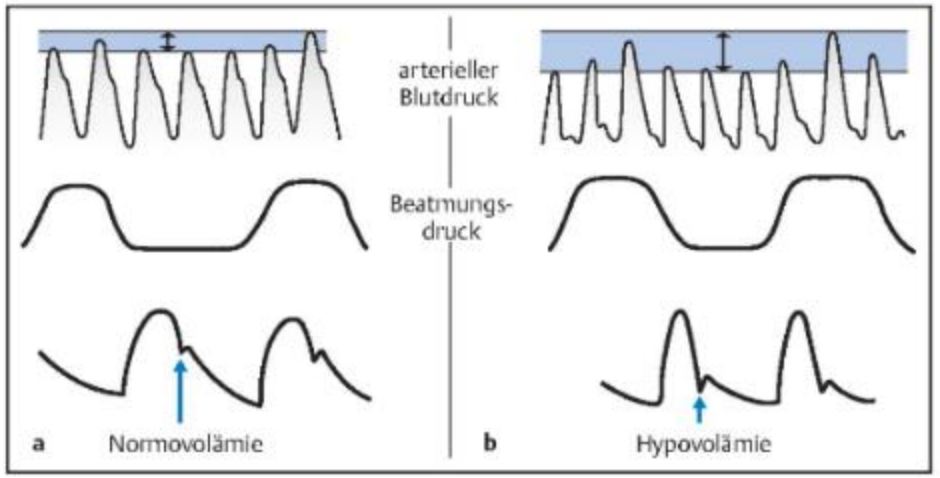


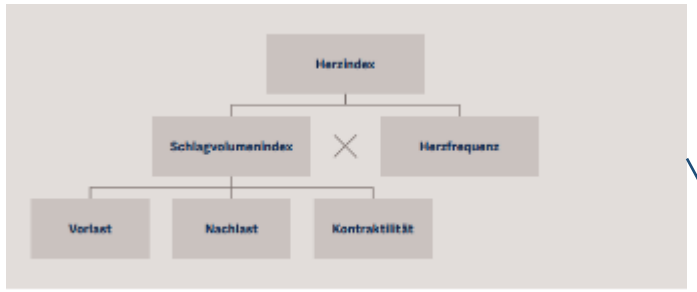
Abb. 3.1 Anhand der beatmungsabhängigen Veränderungen der arteriellen Blutdruckkurve („arterial swing") lässt sich die Kreislauffunktion beurteilen. Bei stark atemabhängigem Verlauf der Blutdruckkurve liegt ein Volumenmangel vor (Quelle: Schirle, in: Kretz et al. 2007).
a Normovolämie
b Hypovolämie

Pulskonturmethoden

Zb PiCCO®, LiDCO PulseCO®, FloTrac®

Pulskonturmethoden

Herzindex = Herzminutenvolumen/KOF

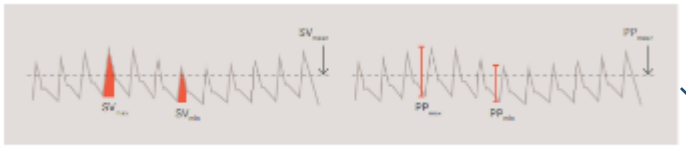


Herzindex und seine Determinanten

HI 3–5 l/min/m²

SVI 40–60 ml/m²

Schlagvolumenvariation & Pulsdruckvariation



Schlagvolumen-Variation (SVV) Pulsdruck-Variation (PPV)

SVV/PPV
<10 %

Extravaskulärer Lungenwasserindex

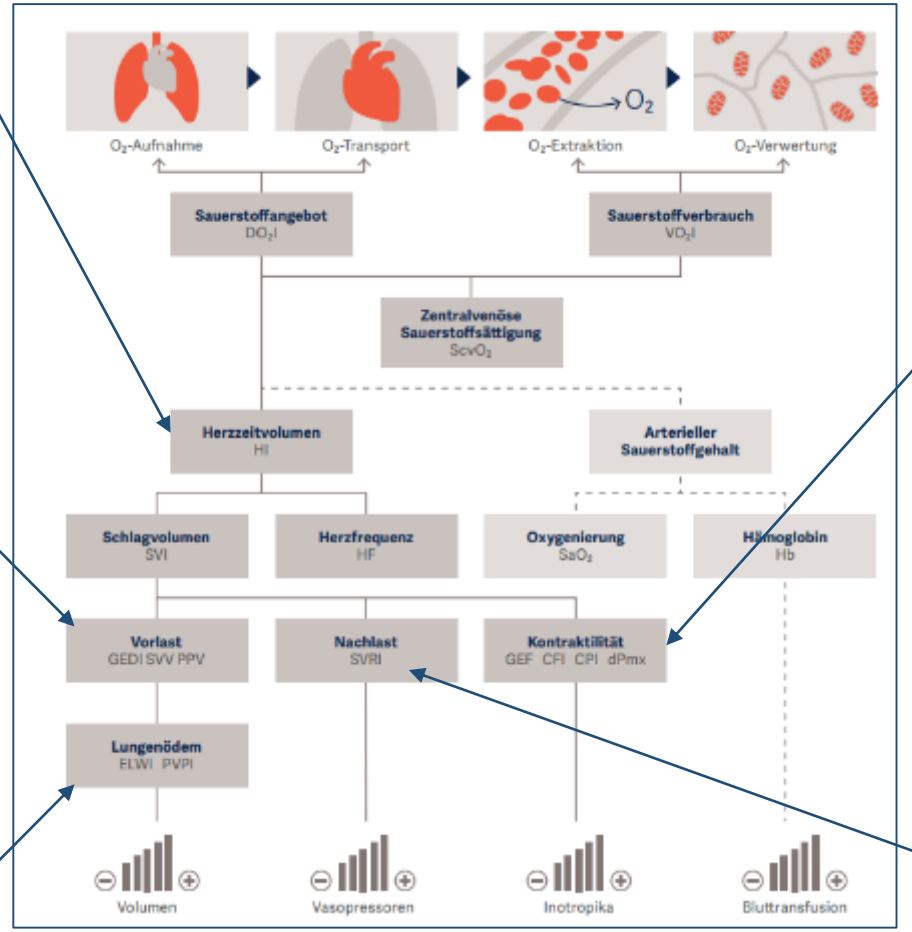


ELWI = 21 ml/kg Schweres Lungenödem

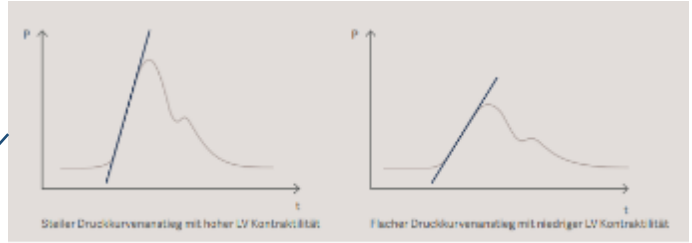
ELWI = 14 ml/kg Moderates Lungenödem

ELWI = 8 ml/kg Kein Lungenödem

ELWI
3–7 ml/kg



Linksventrikuläre Kontraktilität



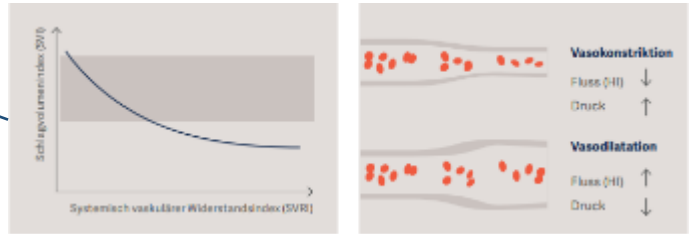
Steiler Druckkurvenanstieg mit hoher LV Kontraktilität

Flacher Druckkurvenanstieg mit niedriger LV Kontraktilität

Diagramm des steilen/flachen Druckanstiegs bei hoher/verminderter Kontraktilität

dPmx
mmHg/s Trendinformationen

Systemischer vaskulärer Widerstandsindex

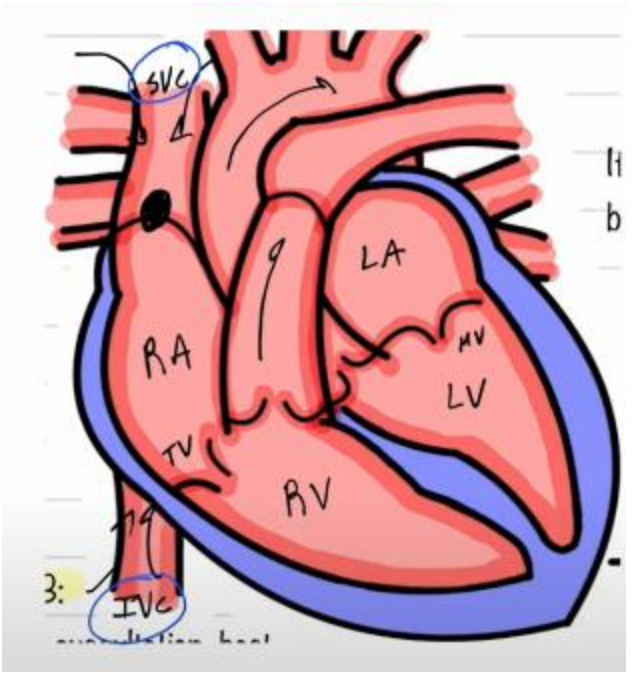


SVRI
1.700–2.400 dyn*s*cm⁻⁵*m²

https://www.getinge.com/dam/hospital/documents/german/picco-haemodynamisches-monitoring-broschuere-de-dach.pdf

Zentralvenöser Druck - **ZVD**

- Messung mittels zentralvenösem Katheter (ZVK) mit Messpunkt am Übergang VCS - RA
- Approx. Druck im rechten Vorhof
- Primär Indikator für Volumenstatus
  - Niedrige Werte meist Volumenmangel
  - Hohe Werte schwieriger zu interpretieren
- Werte Abhängig von
  - Intravaskulärem Volumen
  - Rechtsherzfunktion
  - Intrathorakalem Druck (PEEP, Beatmung)
  - Gefäßtonus
- Verschiedene Normwerte
  - 0-6mmHg
  - 8-12mmHg
  - 4-8mmHg
- Eher als Trend-Parameter als Absolutwerte

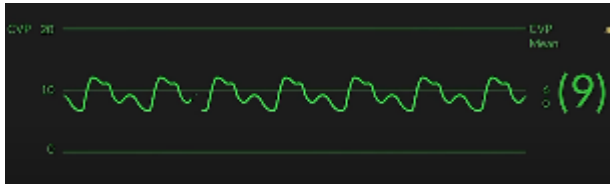


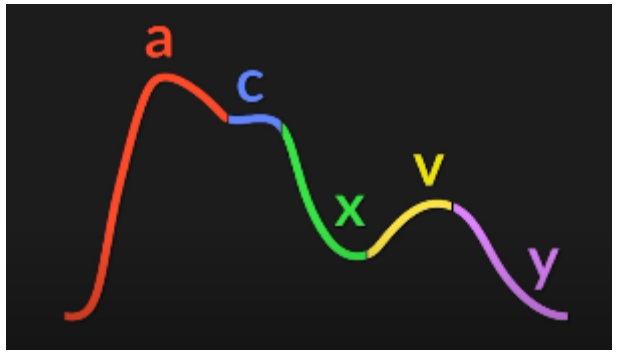
https://www.youtube.com/watch?v=G5bc57oLVHc

Zentralvenöser Druck - **ZVD**

Niedriger ZVD	**Hoher ZVD**
Niedriger Volumenstatus • Dehydratation • Blutung	Volumenüberlastung
Vasodilatation • Fieber/Hyperthermie • Sepsis • Medikamente	Herzfunktionsstörung • Herzversagen • Pulmonale Hypertension • Trikuspidalklappeninsuffizienz
	Hoher Beatmungsdruck
	Hoher intraabdomineller Druck

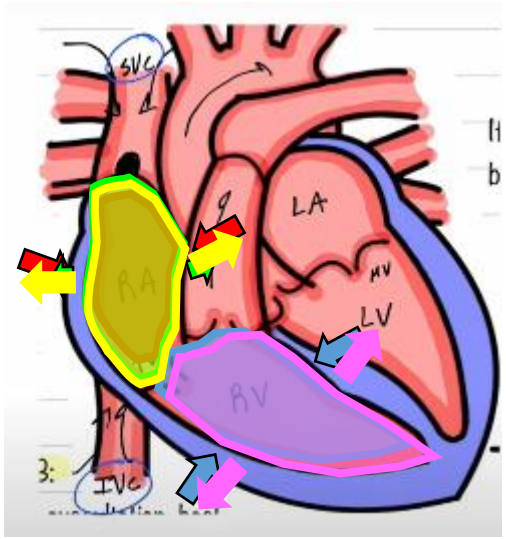
Zentralvenöser Druck – **ZVD** Kurve





A-Welle: Kontraktion RA
C-Welle: Vorwölbung Trikuspidalklappe bei Kontraktion RV
X-Abfall: Relaxation RA
V-Welle: passive Füllung RA
Y-Abfall: frühe ventrikuläre Füllung

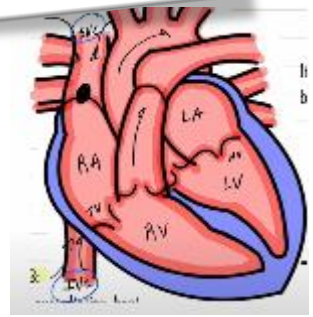


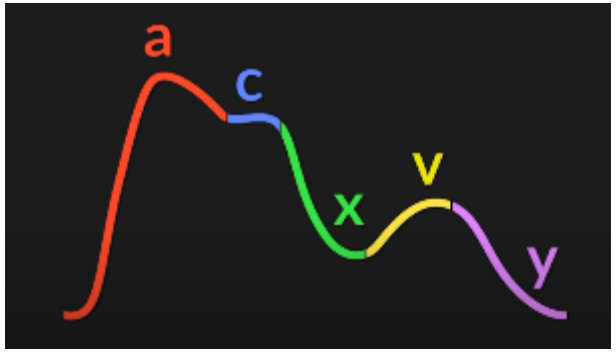


https://www.youtube.com/watch?v=x8ADwR2WBnY

slido

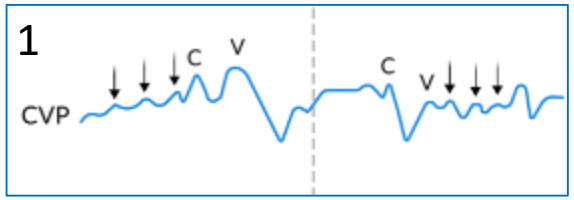
Welche Kurve passt zu welcher Diagnose?



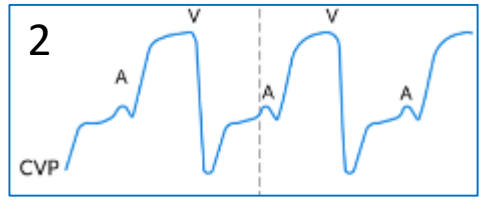


A-Welle: Kontraktion RA
C-Welle: Vorwölbung Trikuspidalklappe bei Kontraktion RV
X-Abfall: Relaxation RA
V-Welle: passive Füllung RA
Y-Abfall: frühe ventrikuläre Füllung

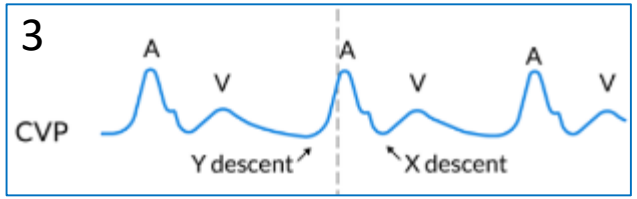
1



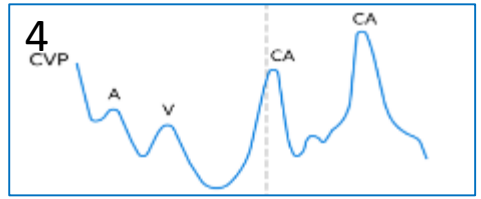
2



3



4



I. AV dissociation

Ventricular tachycardia, AVNRT, Complete heart block

Characteristics:
- *Cannon A-wave during ventricular systole*

J. Tricuspid insufficiency

Characteristics:
- *Early holosystolig large V-wave;*
- *Merge with the C-wave;*
- *Disappearance of X-descent*

L. Tricuspid valve stenosis

Characteristics:
- *Large A-wave;*
- *Slow Y-descent*

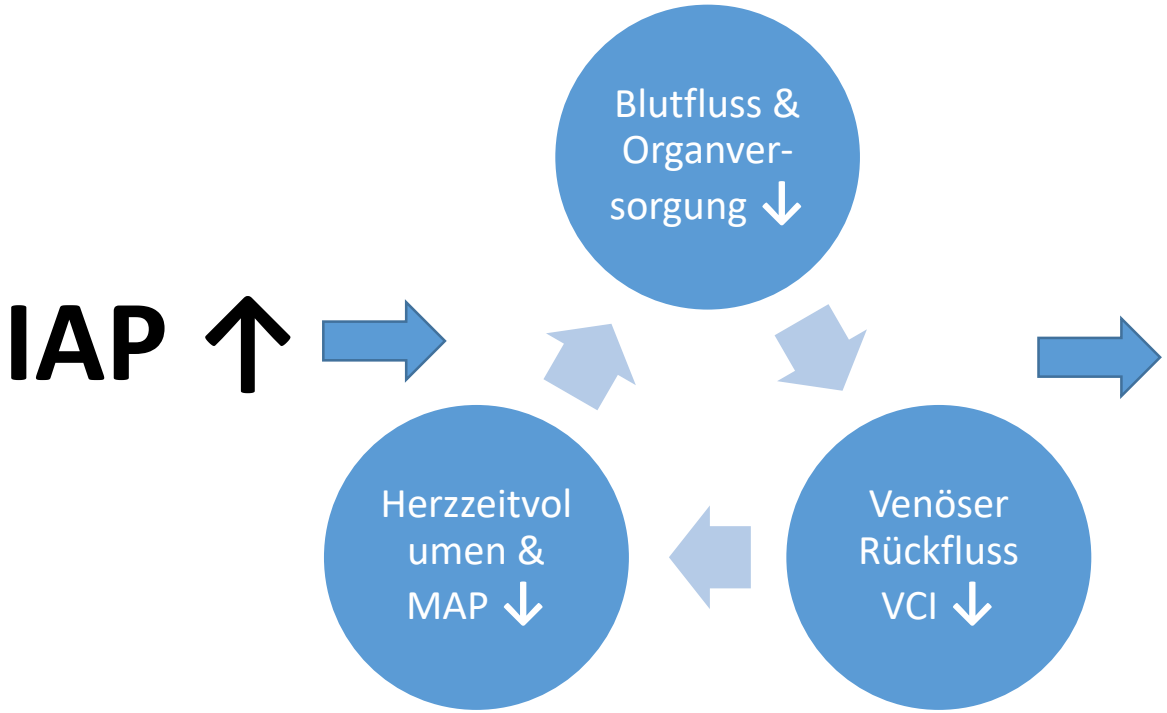
H. Atrial fibrillation/flutter

Characteristics:
- *Absence of A-wave;*
- *C and V-waves most prominent peaks;*
- *Beat to beat changing morphologies;*
- *Small amplitude pressure waves (fibrillation/flutter waves)*

Intraabdomineller Druck - IAP

Ein Compartment-Syndrom: Umgebungsdruck > Gefäßdruck.
→ Versorgung der Organe nicht mehr gewährleistet

Abdominal Compression Syndrome	
Grad I	12-15mmHg
Grad II	16-20mmHg
Grad III	21-25mmHg
Grad IV	>25mmHg



Ischämie, Organ-Ödem, Aszites, Inflammations-antwort

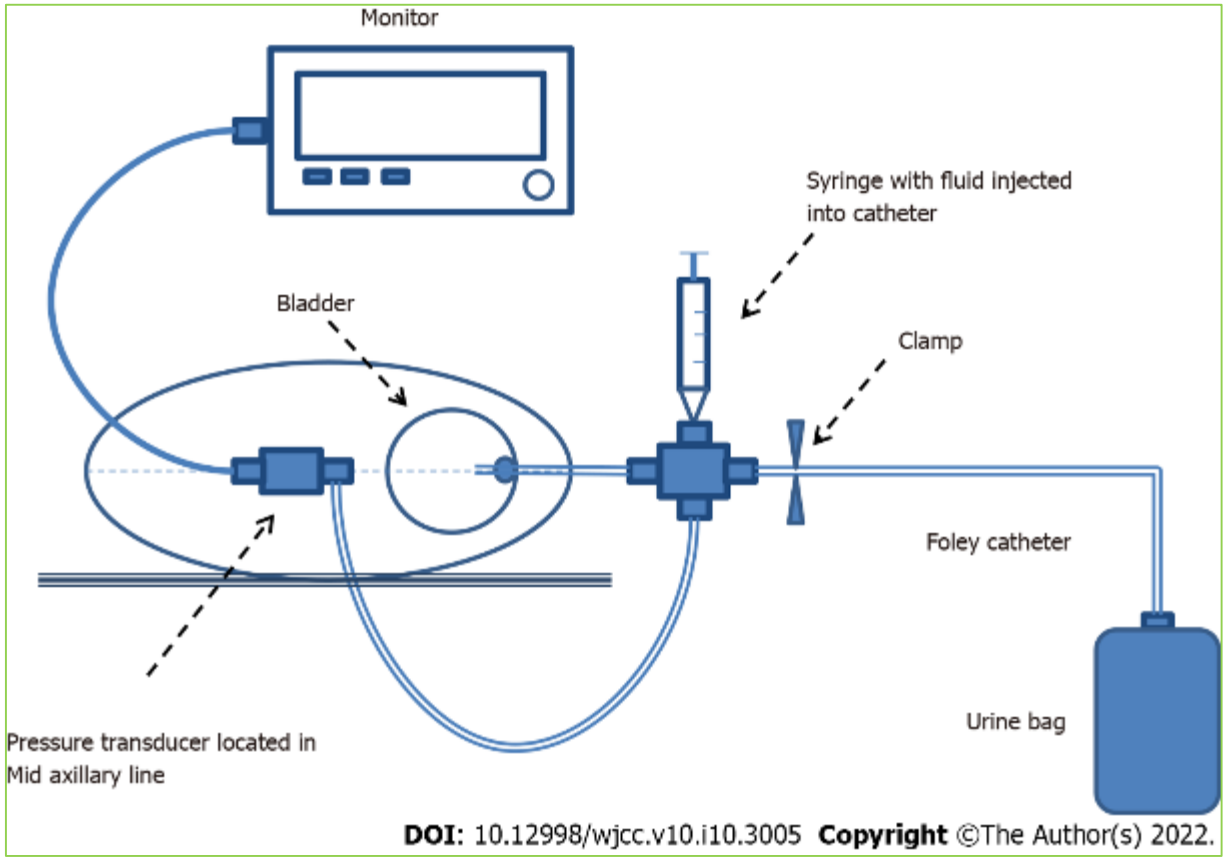
Intraabdomineller Druck - **IAP**

Klinische Untersuchung zur Beurteilung eines ACS nicht zuverlässig
→ Objektive Messung bei Verdacht auf ACS sinnvoll

Messmethoden

- Direkt intraabdominell (Nadel, PD-Katheter)
  - ➢ Therapeutische Maßnahmen möglich
- Indirekt mit Harnkatheter

1) Blase leeren
2) Harnkatheter abklemmen
3) 1ml/kg (max. 25ml) NaCl0,9% in die Blase spritzen
4) Drucksäule wird an Wandler (Transducer) übertragen und Druckwert in mmHg am Monitor angezeigt



DOI: 10.12998/wjcc.v10.i10.3005 Copyright ©The Author(s) 2022.

Weitere wichtige Parameter

Laktat

Zentrale Rekap - Zeit

slido

Was kann man aus einer Arterienkurve ablesen?

Wordcloud

slido

Welches sind mögliche Ursachen für einen erhöhten ZVD?

Wordcloud

slido

Was kann eine rasche kontinuierliche Abnahme des etCO_2 bedeuten?

Wordcloud

Weitere Quellen

- Bootsma, I.T., Boerma, E.C., de Lange, F. et al. The contemporary pulmonary artery catheter. Part 1: placement and waveform analysis. J Clin Monit Comput 36, 5–15 (2022). https://doi.org/10.1007/s10877-021-00662-8
- Janssens, U., Jung, C., Hennersdorf, M. et al. Kardiologe (2016) 10: 149. doi:10.1007/s12181-016-0060-x