

Die Hämodynamik

Grundlagen der Hämodynamik
und Monitoring mittels Picco.



Definition der Hämodynamik.

- Die Hämodynamik beschreibt den Blutfluss im Cardiopulmonalen System sowie in den nachfolgenden Blutgefäßen, und ist abhängig von folgenden Faktoren.
- Geometrie der Gefäße
- Elastizität der Gefäße
- Druckverhältnisse im Gefäß
- HZV
- Blutvolumen
- Blutzusammensetzung (Viskosität)

Definition HZV

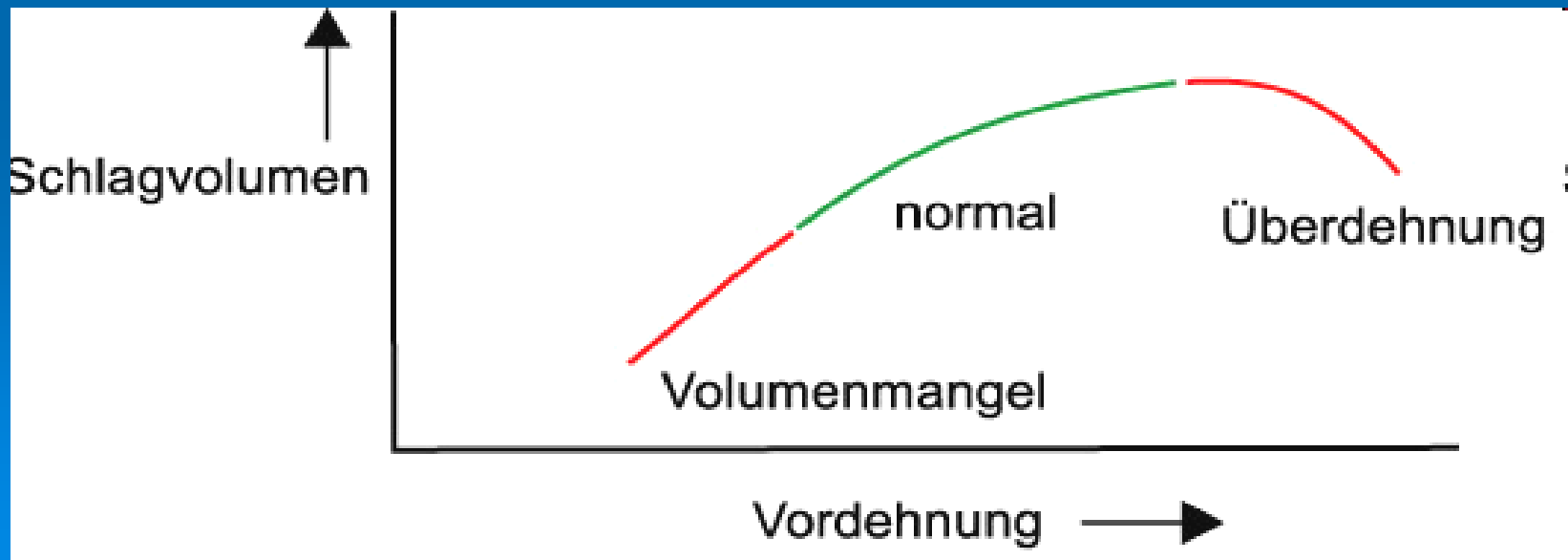
- **HZV** oder Herzzeitvolumen ist die Menge Blut, die das Herz in einer bestimmten Zeit, im allgemeinen in einer Minute, durch den Körper pumpt. Es ist, neben **Hb-Gehalt** und **arterieller Sauerstoff-Sättigung**, einer der wesentlichen Faktoren für die Sauerstoffversorgung des Organismus

Einflussgrößen auf das HZV

- Bestimmend für das Herzzeitvolumen ist die Kontraktilität, die Vorlast und die Nachlast. Weiterhin mitbestimmend sind anatomische Verhältnisse wie Ventrikelgröße, Herzwanddicke und die Klappenfunktion.

Vorlast (engl. *preload*)

- Vordehnung der Herzmuskelfasern in der Diastole durch Blutvolumen verbessert die Kontraktionskraft des Ventrikels. (SV steigt)
- **FRANK-STARLING-Gesetz**



Vorlastdrücke

- Vorlastdruck rechtes Herz = **ZVD**
Normalwert: ca. 2 bis 12 mmHg.
- Vorlastdruck linkes Herz = **PCWP**
pulmonary capillary wedge pressure
oder Pulmonalarterien-Verschlußdruck
Normalwert: ca. 8 bis 15 mmHg.
- Vorlastdruck links nur über PAK
bestimmbar

Nachlast (engl. afterload)

- Nachlast ist der Widerstand, den der Ventrikel beim Auspumpen des Blutes in die Aorta oder Pulmonalarterie überwinden muß.
- Der Auswurfwiderstand hängt von der Viskosität des Blutes, Dehnbarkeit der Aorta und der großen und kleinen Arterien ab.
- Wird das afterload gesenkt, steigen das Schlagvolumen und das HZV an, und der myokardiale Sauerstoffverbrauch sinkt.

Kontraktilität = Inotropie

- Als Kontraktilität oder Pumpkraft (Inotropie) bezeichnet man die Kraft, mit der sich die Herzmuskelfasern unter den jeweils vorliegenden Bedingungen zusammenziehen können.
- Außer von Vor und Nachlast ist die Inotropie auch abhängig von bestehenden Herzmuskelerkrankungen, Klappenfehlern, E-lyte Störungen, Azidose, Hypoxie

Standard Monitoring

- Messbar bei Standard sind:
Systole, Diastole, Frequenz, Spo2 Temperatur
MAD und ZVD
- Laborparameter wie Lac. und ScvO2
- Die Klinik des Pat ist wichtig!!!
 1. Urinproduktion?
 2. Peripherie warm ?
 3. Dyspnoe, Tachypnoe ?

Reicht das aus ?

Erweitertes Monitoring

- Klinik des Pat. zu jeder Zeit sehr wichtig!!!
- Zusätzlich zu Standard genaue Kenntnis von Vorlast, Nachlast, Inotropie, O₂-Balance
Kein Fischen im Trüben !!!



Zielsetzung des erweiterten Monitorings

- Anpassung bzw. Optimierung des HZV auf die momentane Situation.
- Sicherstellung der O₂-Versorgung der Körperorgane und damit Verhinderung eines MOV.
- Guideline-gerechtes Vorgehen der DSG (supportive Therapie).

Erweitertes hämodynamisches Monitoring (Picco)

- Anwendungsgebiete sind u.a. Septischer Schock, Kardiogener Schock, Trauma (SIRS), Verbrennungen, ARDS und Hypovolämischer Schock.
- Vorteil gegenüber PAK sind geringere Invasivität und längere Liegezeiten des Picco (max. 10 Tg.) sowie eine bessere Darstellung von Volumenverläufen.

Der Picco 2



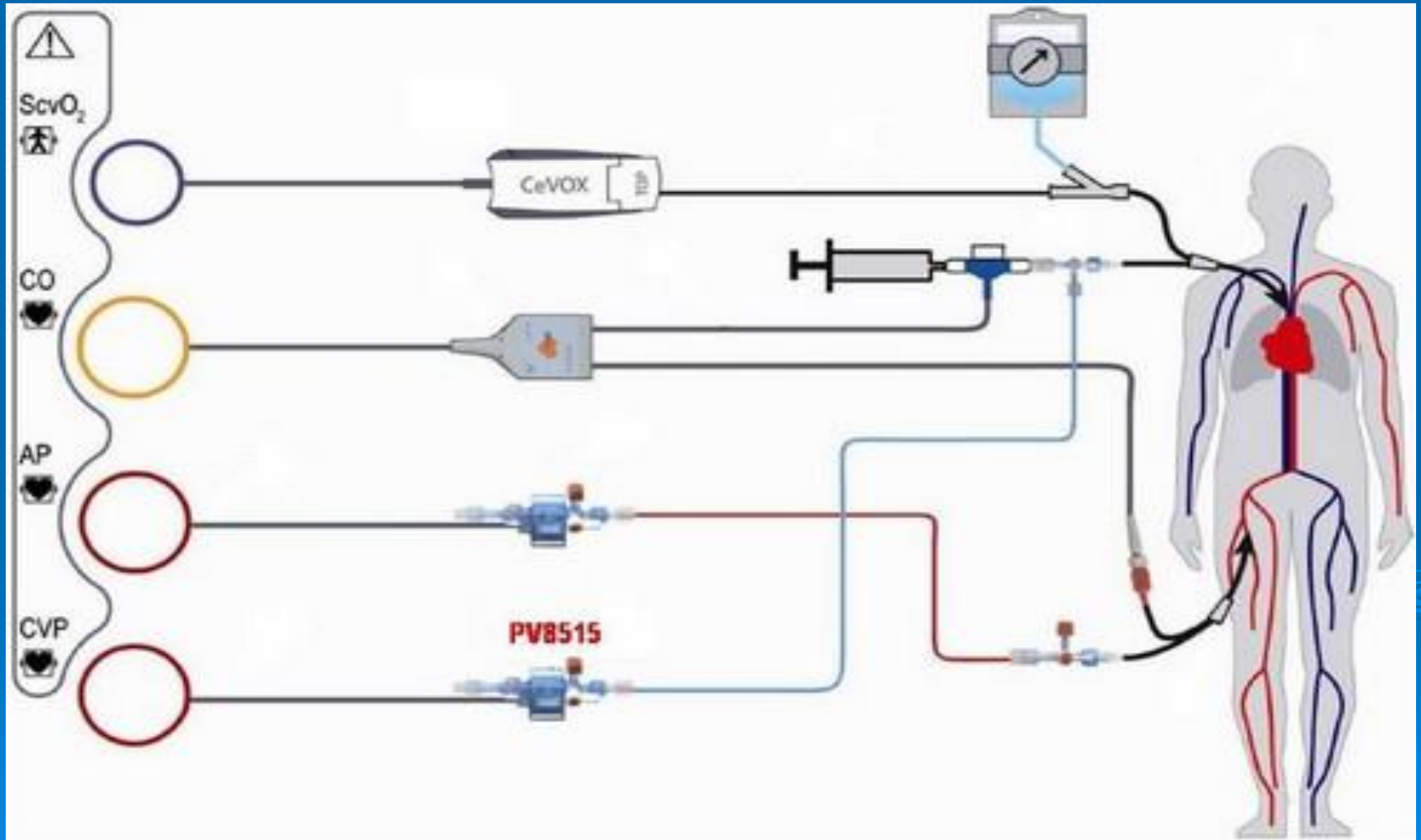
PulsioFlex



Was brauche ich für das Picco Monitoring ?

- Einen dreilumigen ZVK in Verbindung mit einem Injektattemperatursensorgehäuse am distalen Lumen
- Einen Thermodilutionskatheter, der einem arteriellen Zugang entspricht. Unterschied besteht darin, das am distalen Ende des Thermodilutionskatheters ein Temperatursensor ist.
- Somit ermöglicht der Picco ohne zusätzliches Risiko ein komplettes erweitertes hämodynamisches Monitoring.

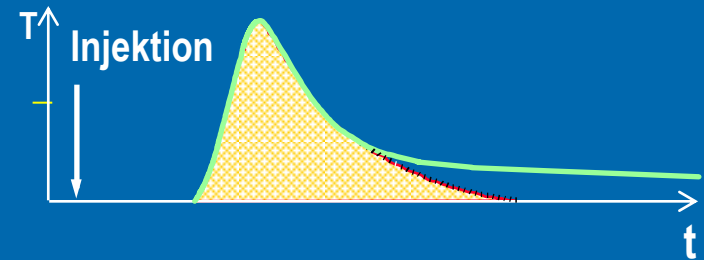
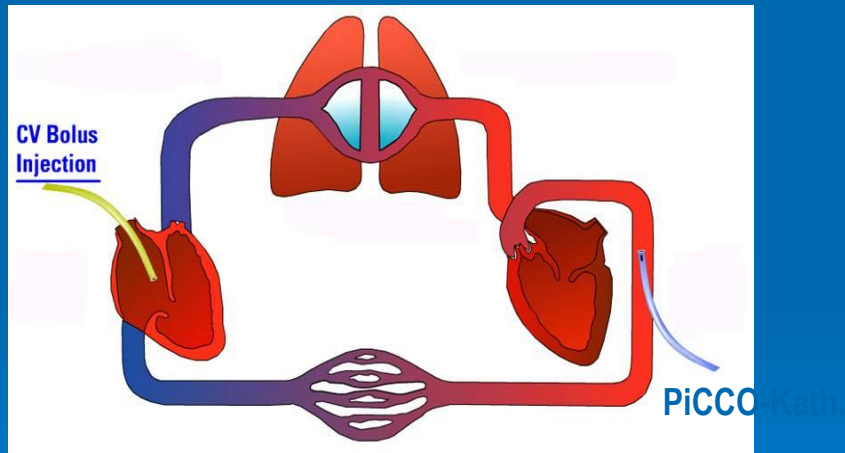
Aufbauschema



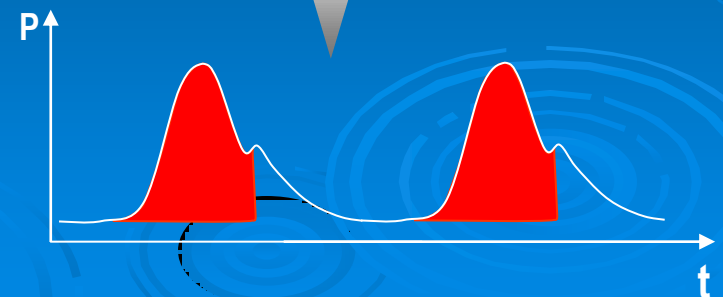
Transpulmonale Thermodilution – PiCCO - Was ist das?

Die PiCCO-Technologie ist eine Kombination zweier Methoden zum erweiterten hämodynamischen und volumetrischen Patientenmanagement. Bei der Mehrzahl der Patienten kann dadurch auf einen Rechtsherzkatheter verzichtet werden.

1. Transpulmonale Thermodilution



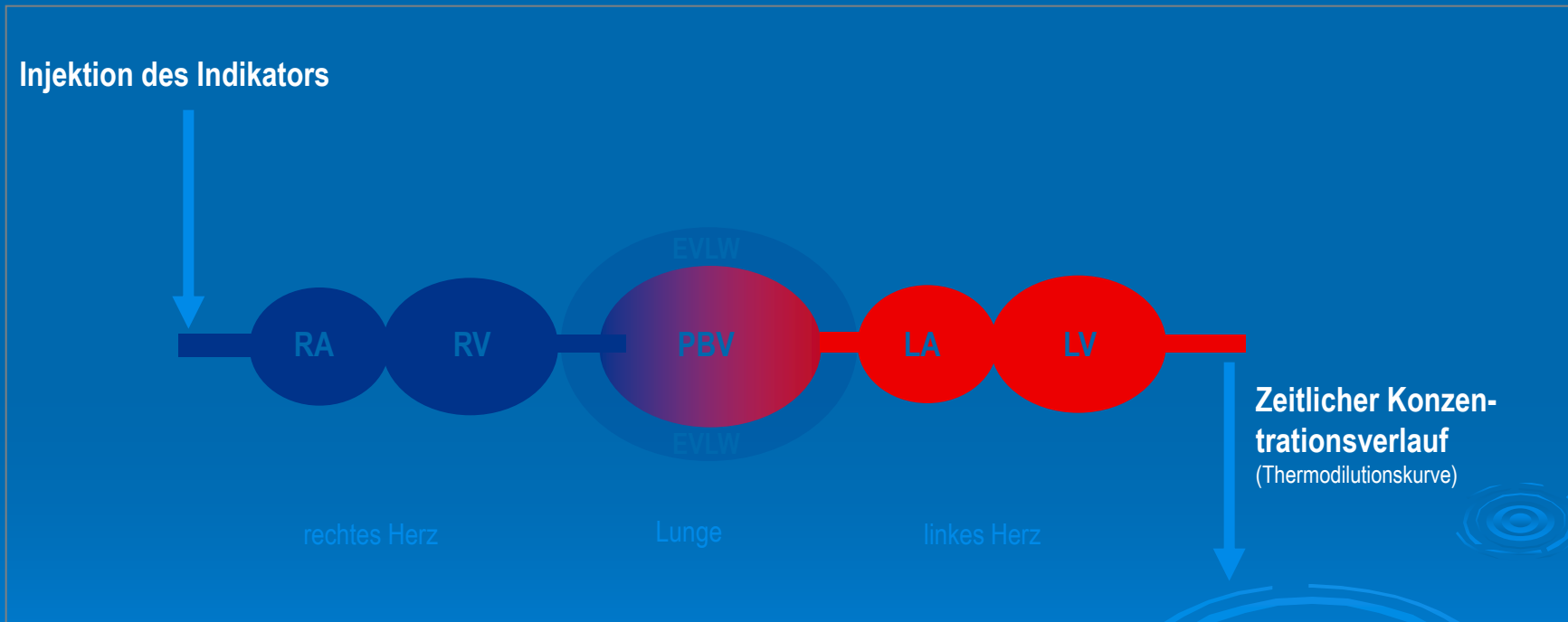
Kalibrierung



2. Pulskonturanalyse

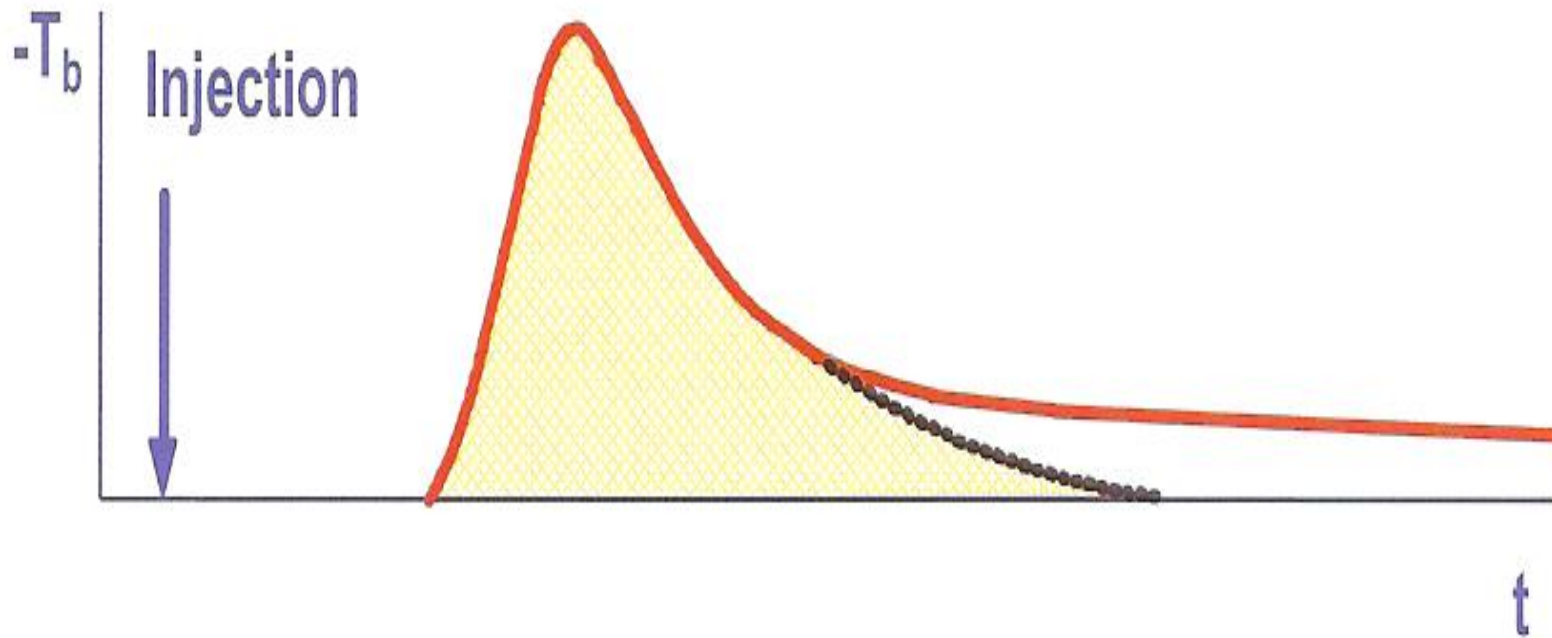
Messprinzip

Nach zentralvenöser Injektion durchläuft der Kältebolus nacheinander verschiedene intrathorakale Kompartimente



Über einen arteriellen Sensor wird der zeitliche Verlauf der Temperaturänderung registriert

Thermodilutionskurve



Stewart - Hamilton Gleichung

$$HZV = \frac{V \cdot (T_B - T_I)}{\int \Delta T_B \cdot dt} \cdot K$$

V = Injektatvolumen

T_B = Bluttemperatur

T_I = Injektattemperatur

$\int \Delta T_B \cdot dt$ = Fläche unter der
Thermodilutionskurve

K = Kalibrierungsfaktor

Messparameter

Thermodilutionsmessung 1

- **HZV** oder Herzzeitvolumen ist definiert als die Menge Blut die in einer Minute das Cardiopulmonale System durchläuft. Sehr oft wird der **HI (Herzindex)** angegeben der sich auf die Körperoberfläche des Pat. bezieht und in $l / min / qm$ angegeben wird.
- **GEDV** oder Globales Enddiastolisches Volumen entspricht dem Volumen das zum Ende der Diastole in beiden Vorhöfen und Kammern ist. Es stellt somit das Komplette Vorlastvolumen des Herzens dar und beeinflusst entscheidend die Stärke der Ventrikelkontraktion durch Vordehnung des Myocards.

Messparameter

Thermodilutionsmessung 2

- **ITBV** oder Intrathorakales Blutvolumen ist als Alternative zum GEDV zu sehen und stellt das komplette Blutvolumen im Thorax dar.
- **CFI** oder Kardialer Funktionsindex ist das Verhältnis von Herzzeitvolumen zu globalem enddiastolischem Volumen, $CFI = HI / GEDVI$ und gibt Aufschluß über die Ventrikelfunktion.
- **GEF** oder Globale Auswurffraktion ist ein Mittelwert zur Erfassung der Auswurfleistung des gesamten Herzens, $GEF = 4 \text{ mal } SV / GEDV$

Messparameter

Thermodilutionsmessung 3

- **EVLW** oder Extravaskuläres Lungenwasser erfasst die Flüssigkeitsmenge im Lungengewebe und markiert den Zeitpunkt, ab dem eine weitere Volumengabe nicht mehr vorteilhaft ist oder kritisch abgewogen werden muss.

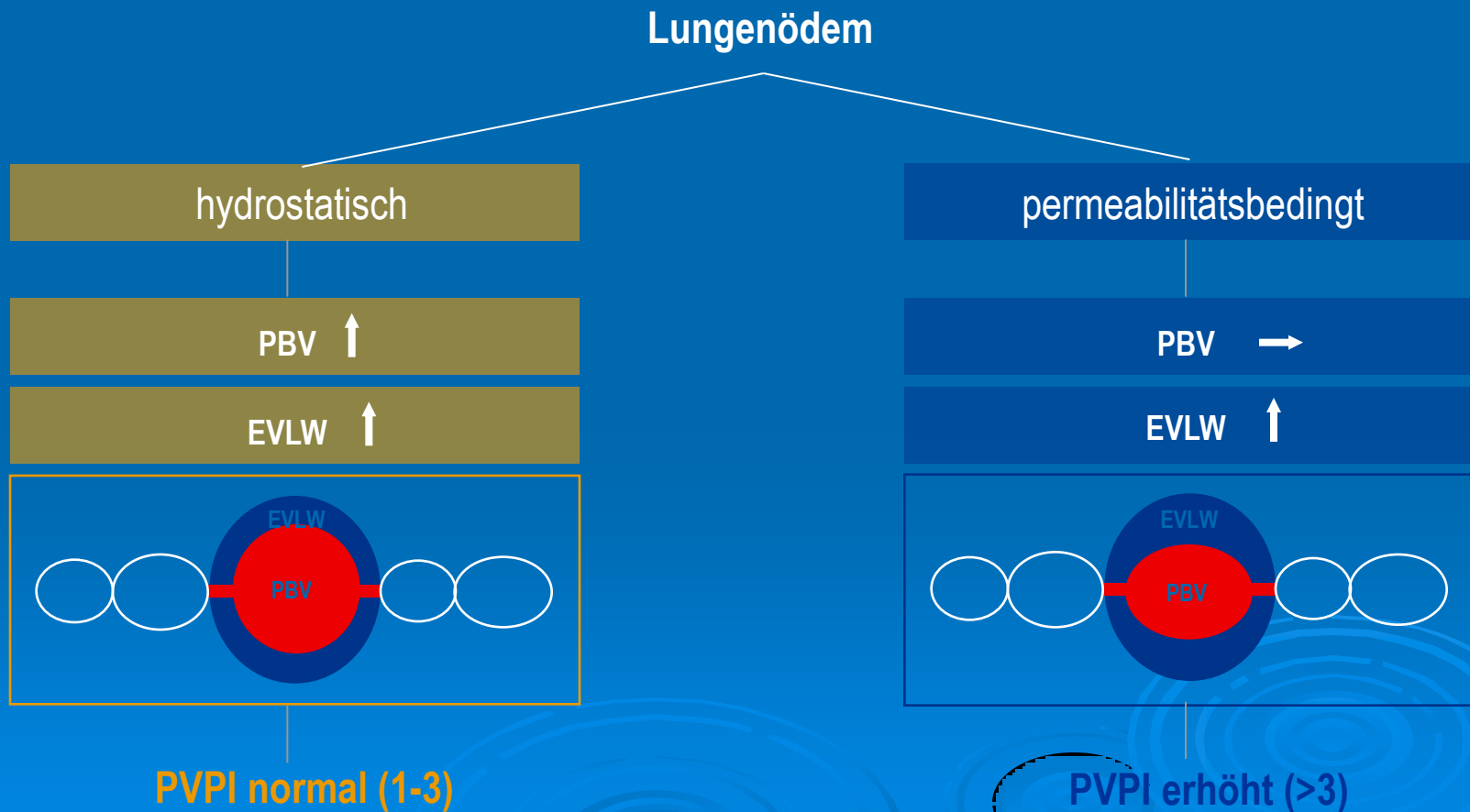
$$\underline{ITTV = HZV \times M_{tt} / ITBV = GEDV \times 1,25}$$

$$\underline{EVLW = ITTV - ITBV}$$

- **PVPI** oder Pulmonalvaskulärer Permeabilitätsindex diagnostiziert die Ursache eines Lungenödems. Ein hoher Permeabilitätsindex weist auf ein kapilläres Leck, bedingt durch inflammatorische Prozesse hin. Ist er normal, handelt es sich mit hoher Wahrscheinlichkeit um ein stauungs- oder kardial bedingtes Ödem.

Klassifizierung eines Lungenödems mit dem PVPI

Unterschiedliche Werte des PVPI bei hydrostatischem und permeabilitätsbedingtem Lungenödem:



Messparameter Thermodilution

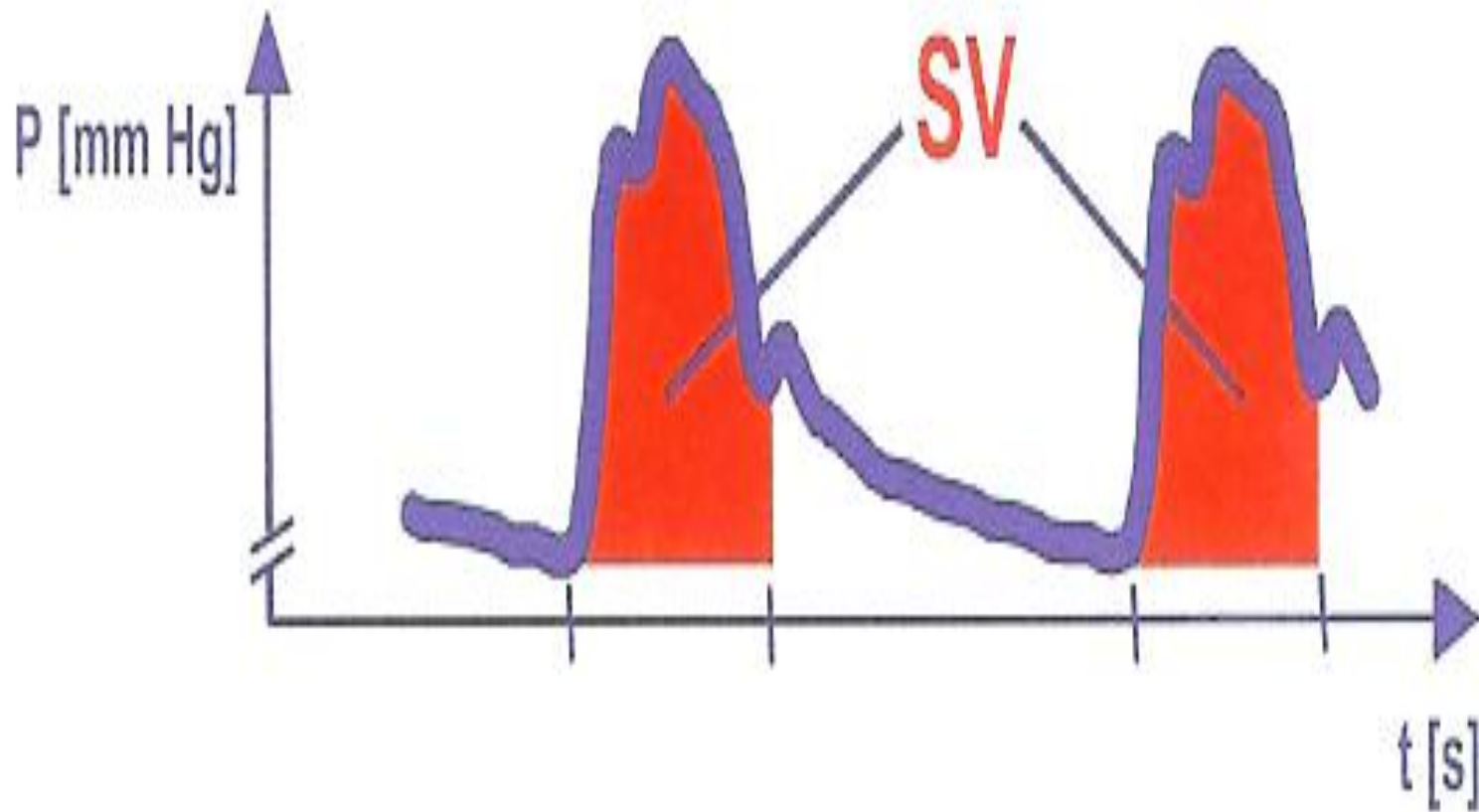
Zusammenfassung

- **HZV** (Herzzeitvolumen)
 - **CFI** (Kardialer Funktionsindex)
 - **GEF** (Globale Auswurffraktion)
 - **GEDV** (Globales enddiastolisches Volumen)
 - **ITBV** (Intrathorakales Blutvolumen)
 - **EVLW** (Extravasales Lungenwasser)
 - **PVPI** (Pulmonalvaskulärer Permeabilitätsindex)
- 

Arterielle Pulskonturanalyse

- Die Technik der Pulskonturanalyse erlaubt die kontinuierliche Darstellung des HZV und weiterer Parameter. Die vorherige transpulmonale Thermodilution dient lediglich der Kalibrierung des Gerätes auf den jeweiligen Patienten um die patientenspezifische Compliance der Aorta und einen Kalibrationsfaktor zu ermitteln.

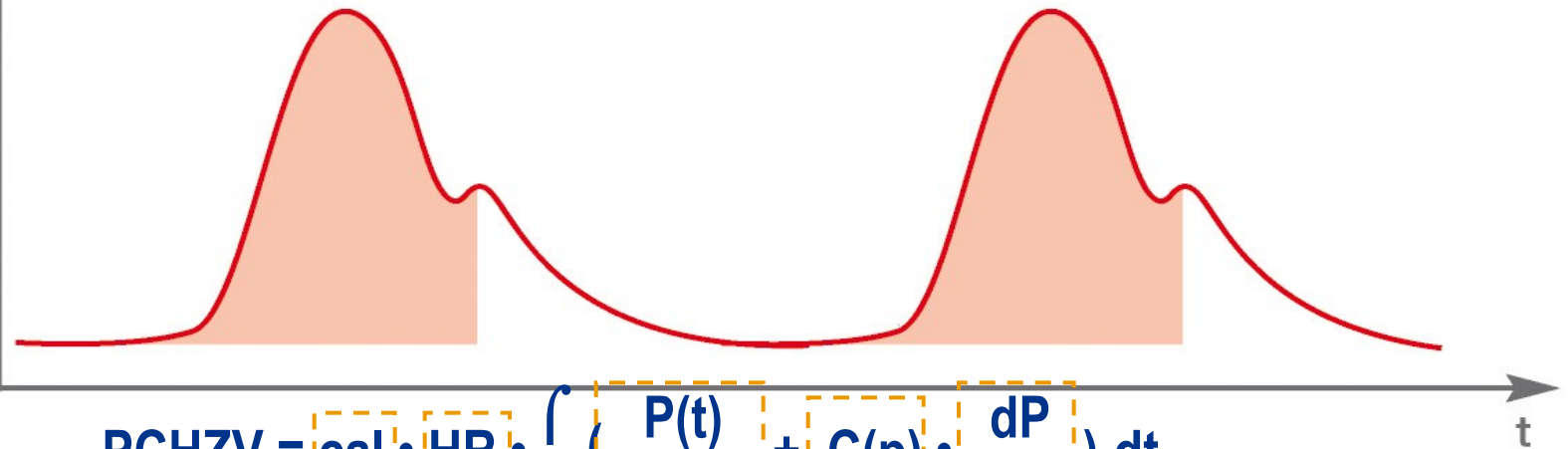
Pulskonturanalyse



Arterielle Pulskonturanalyse

Herzzeitvolumen

P



$$\text{PCHZV} = \text{cal} \cdot \text{HR} \cdot \int_{\text{Systole}} \left(\frac{P(t)}{\text{SVR}} + C(p) \cdot \frac{dP}{dt} \right) dt$$

Patientenspezifischer
Kalibrationsfaktor
(wird mit Thermodilution ermittelt)

Herzfrequenz

Fläche unter
der Druckkurve

Aortale Compliance

Form der Druckkurve

Messparameter Pulskontur 1

- **PCHZV** oder Pulskonturherzzeitvolumen wird kontinuierlich angezeigt und ist laut Studien bis zu 24 h stabil. Trotzdem sollte eine Rekalibrierung mittels Thermodilution alle acht Stunden erfolgen oder sofort wenn sich die hämodynamische Situation des Pat. drastisch ändert. Vorteilhaft ist das auch kurzfristige Änderungen des HZV z.B. durch Arrhythmien erfasst werden.
- **dPmx** oder Linksventrikuläre Kontraktilität beschreibt die Anstiegszeit der arteriellen Druckkurve. Je schneller die Anstiegszeit umso größer die Kontraktilität des Myocards

Messparameter Pulskontur 2

- **SVR** oder Systemisch Vaskuläre Resistance beschreibt den systemischen Gefäßtonus und damit auch die Nachlast des Herzens. Wichtig ist den ZVD am Picco regelmäßig zu aktualisieren oder dauerhaft abzuleiten, da sich die SVR aus dem Übergangswiderstand von arteriell zu venös errechnet.

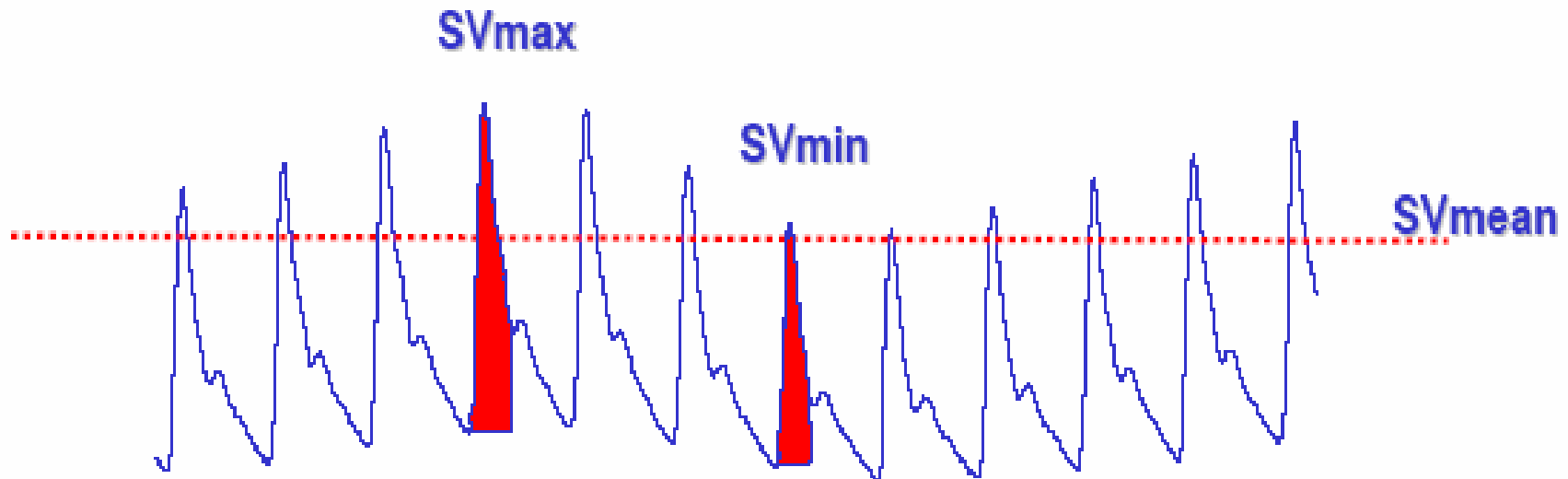
$$SVR = \frac{(MAD - ZVD) \times 80}{HZV}$$

- **SVV** oder Schlagvolumen - Variation gibt bei stabilem Herzrhythmus und kontrollierte mechanische Beatmung Information darüber ob eine Erhöhung der Vorlast zu einer Steigerung des Herzzeitvolumens führt.

Zu SVV

- Da es zu physiologischen Schwankungen des Schlagvolumens durch Inspiration sowie Expiration kommt, wird über einen definierten Zeitraum das maximale und minimale Schlagvolumen ermittelt um daraus einen Mittelwert zu errechnen. Die SVV gibt an um wieviel Prozent das Schlagvolumen von diesem Mittelwert abweicht. Kommt es dabei zu einer Abweichung von über 10 % lässt dies auf ein unzureichendes vaskuläres Volumen schließen.

Grafik SVV



$$SVV = \frac{SV_{\max} - SV_{\min}}{SV_{\text{mean}}}$$

SVmax und SVmin werden über vier Zeitfenster von jeweils 7.5 Sekunden bestimmt

Nur anzuwenden bei mechanischer Überdruckbeatmung

Messparameter Pulskontur Zusammenfassung

- **PCHZV** (kontinuierliches Herzzeitvolumen)
- **SV** (Schlagvolumen)
- **SVV** (Schlagvolumenvariation)
- **SVR** (systemisch vaskulärer Widerstand)
- **dPmx** (maximaler arterieller Druckanstieg)

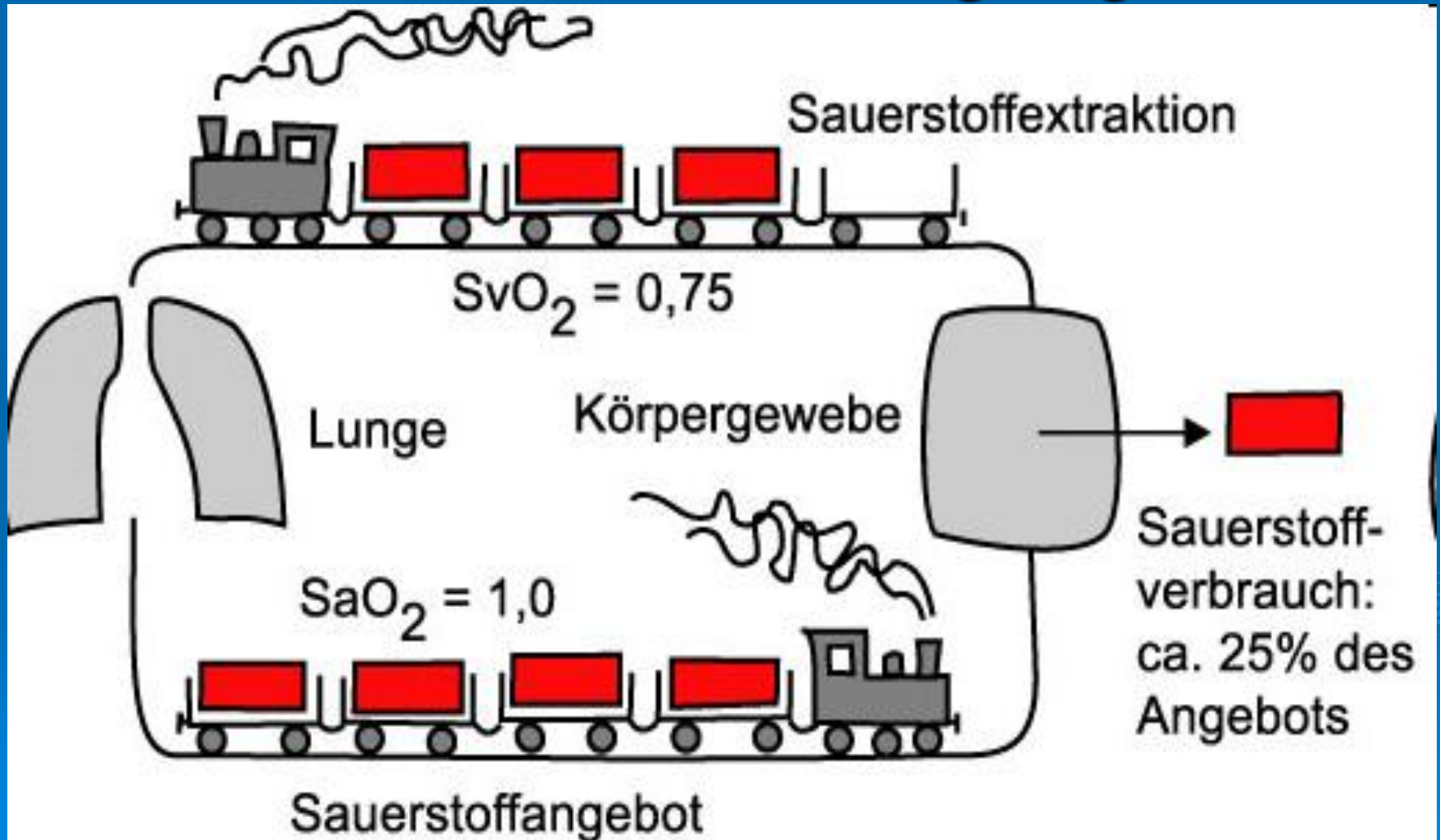
Folgende Fragen werden durch den PiCCO beantwortet

- Wie ist die derzeitige Situation? Herzzeitvolumen (**HZV**)
- Wie ist die kardiale Vorlast? Globales Enddiastolisches Volumen (**GEDV**)
- Wie ist die kardiale Nachlast? Systemisch Vaskuläre Resistance (**SVR**)
- Wie ist die kardiale Kontraktilität?
Druckanstiegsgeschwindigkeit (**dPmx**), Globale Auswurffraktion (**GEF**)
- Wird Volumengabe das HZV erhöhen? Schlagvolumen-Variation (**SVV**)
- Besteht oder entwickelt sich ein Lungenödem?
Extravaskuläres Lungenwasser (**EVLW**)

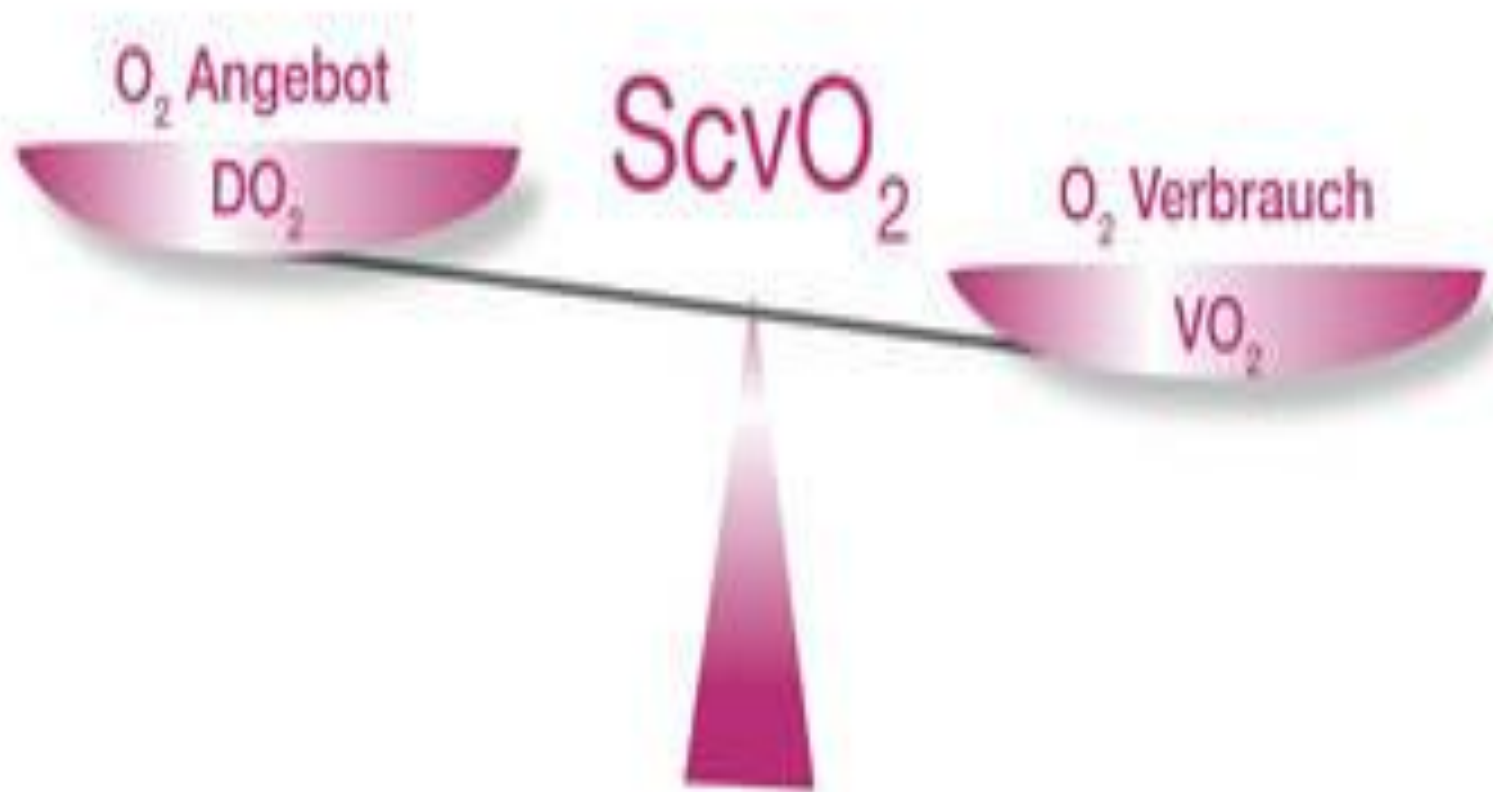
Überprüfung der Perfusion und Sauerstoffversorgung

- Wichtige Parameter zur Einschätzung der Sauerstoffversorgung des Organismus sind das **Lactat** im Serum die zentralvenöse Sauerstoffsättigung (**ScvO2**) sowie die **Klinik des Pat.**
- Lactat entsteht bei der anaeroben Glykolyse d.h. bei dem Verbrennen von Glucose ohne freien Sauerstoff.
- Die ScvO2 sagt etwas über die Verwertung vom angebotenen Sauerstoff aus und sollte bei einer arteriellen Sättigung von 100 % ca. 70 % betragen.

Normale Situation der Sauerstoffversorgung



CeVOX-Überwachung der Sauerstoffbalance



CeVOX-Aufbau



Sonde in das distale Lumen des ZVK einführen



Sonde mit dem distalen Ansatz des ZVKs sicher verbinden



Sondenspitze überragt die Katheterspitze um $2,5 \pm 0,5$ cm



Sonde mit dem optischen Modul des CeVOX verbinden und in-vivo Kalibrierung durchführen

ScvO₂ – Zentralvenöse Sauerstoffsättigung

- Früher Indikator für ein Ungleichgewicht zwischen Sauerstoffangebot und Sauerstoffbedarf
- Gute klinische Korrelation zwischen ScvO₂ und SvO₂
- Weniger invasive Messung als SvO₂

Vorteile Picco

- Schnell reagierende kontinuierliche Überwachung des Herzzeitvolumens
- Schnelle Therapiefindung auf Basis der ermittelten Daten
- Kein zusätzliches Punktionsrisiko durch Verwendung der Standardgefäßzugänge beim Intensivpatienten
- Bessere Aussagekraft im Vergleich zur Messung der Füllungsdrücke
- Ziel gerichtete Therapie und damit Verbesserung des Outcome

Limitation der Werte

➤ GEDV

1. keine Differenzierung zwischen linkem und rechtem Herzen
2. wird bei großen Aortenaneurysmen falsch hoch gemessen
3. kann bei großen Klappeninsuffizienzen überschätzt werden

➤ EVLW

1. hier kann nur die extravasale Flüssigkeitsmenge von wirklich perfundierten Lungenabschnitten gemessen werden.

➤ SVV/PPV

1. sind nur bei voll kontrollierter Beatmung (minimales Tidalvolumen 6-8ml/kgKG) und Fehlen von kardialen Arrhythmien verwertbar (sonst meist falsch hoch)
- Alle Parameter der Pulskonturanalyse sind bei Verwendung einer IABP nicht verwertbar

Der PiCCO in speziellen Situationen

Nierenersatztherapie

→ i.d.R. keine Beeinflussung der PiCCO-Parameter

Bauchlagerung

→ alle Parameter werden korrekt gemessen

periphervenöse
Injektion

→ nicht empfohlen, Messwerte evtl. nicht korrekt



DAS SIND ALLES
INTERNET-FÄHIGE MONITORE!

ZAHLEN SIE KEINE GEZ,
SCHALTEN WIR IHNEN
DIE DINGER AB !!



Fallbeispiel Low-Output

Patient 1

- 56-Jähriger Pat. mit akutem VWI bei bekannter ICM
- EKG = AA, ÜLT mit ST-Hebung in I, II, AVL und in V3-V6
- Pat. nach Revaskularisierung im HKL auf ITS aufgenommen.
- Klinische Zeichen:
Unruhe, Oligurie, Dyspnoe, kalte fleckige Haut, gestaute Halsvenen
- RR: 75/30, Puls 110, mad : 45, ZVD: 26, SpO_2 bei $10\text{ l O}_2 = 90\%$

Fallbeispiel Low-Output Patient 1

➤ Maßnahmen:

1. Antiarrythmische Therapie und Katecholamine (Dobutamin)
2. Stabilisierung der Lungenfunktion bei schlechter BGA (Lac.über 10)
3. ggf.Diuretika falls mad über 70
4. Picco-Anlage

Erwartete Meßwerte des Picco

- HI unter **2.0l/min/m²**(normal 3 – 5)
- GEDI über **1200 ml/m²** (normal 680-800)
- SVRI **2800** (normal 1700-2400)
- GEF **15%** (normal 25-35%)
- ELWI **11ml/kg** (normal 3-7)
- PVPI **2,0** (normal 1,0-3,0)
- ScvO₂ **60%** (normal 70-80%)
- SVV **4%** (normal bis 10% bei SR)

Diagnose

- HI zu niedrig O₂ Versorgung in Gefahr
- Vorlast zu hoch
- Nachlast zu hoch
- Inotropie schlecht
- Lungenwasser zu hoch/Oxy.in Gefahr
- Kardial bedingtes Lungenwasser

Maßnahmen

- Bildgebendes Verfahren (TEE) zur Differenzierung von EF und Ausschluß AI
- Anlage einer IABP wenn möglich zur Nachlastsenkung
- Steigerung der Diurese oder CVVH zur Vorlastsenkung (Medi. Senkung)
- Steigerung der Inotropika

Ergebniss

- Hypokinetischer LV, EF 25%, RV, EF 40%
bds. Volumenüberladen keine AI(IABP ok)
- Unter IABP steigt ScvO₂ auf 70%
- Unter CVVH mit 150 ml Entzug fällt das ELWI in 24h auf unter 8, BGA deutlich besser, HI steigt auf 4,0 ScvO₂ jetzt 75%
- Deutlich Reduktion der Inotropika ohne Hämody.Relevanz

Vielen Dank für die
Aufmerksamkeit.

