



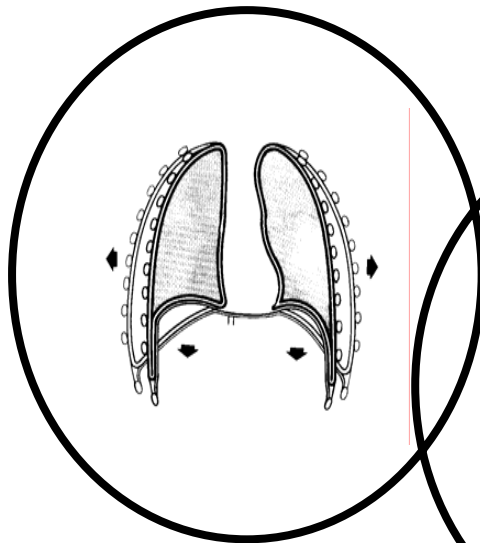
Workshop Beatmung

IPPV, SIMV, PCV, CPAP, DU, NIV, PEEP, PIP

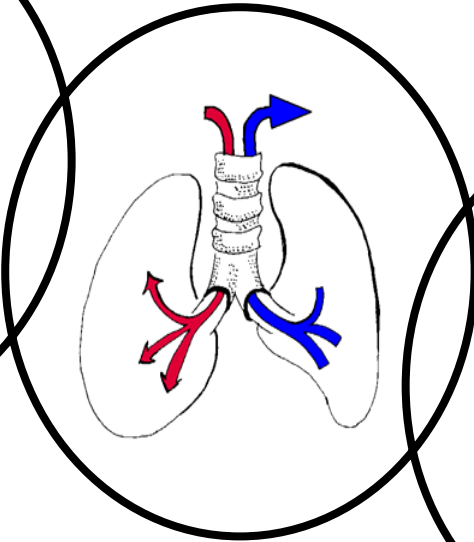
M. Roessler
Zentrum Anaesthesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin
Universitätsmedizin Göttingen
Robert-Koch-Straße 40
37075 Göttingen

Atmungskette

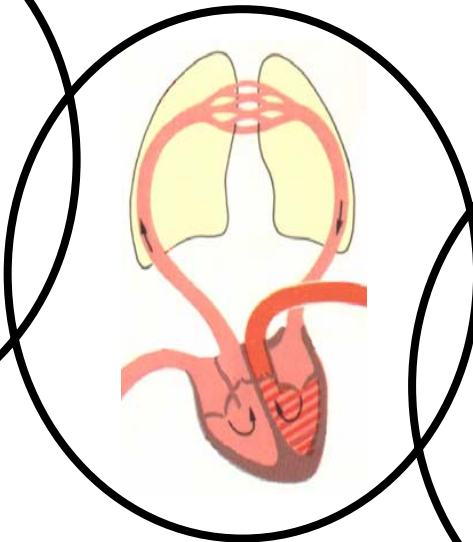
Atemmechanik



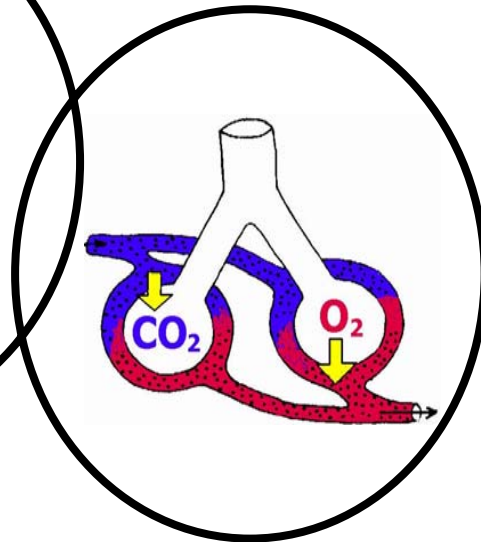
Ventilation



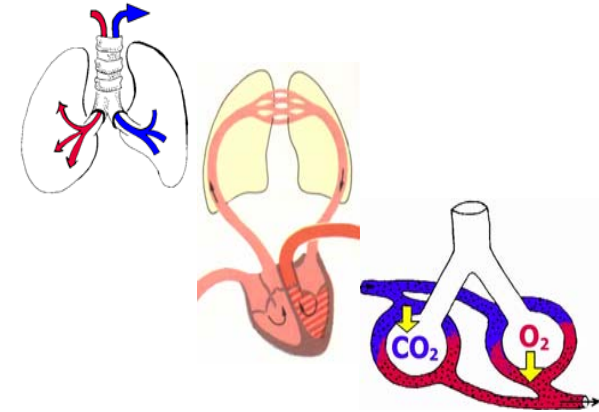
Perfusion



Diffusion



Atmungskette



Nur wenn die Alveolen ...

... durch die Atempumpe belüftet = **ventiliert** werden,

sie von Blut umströmt = **perfundiert** werden

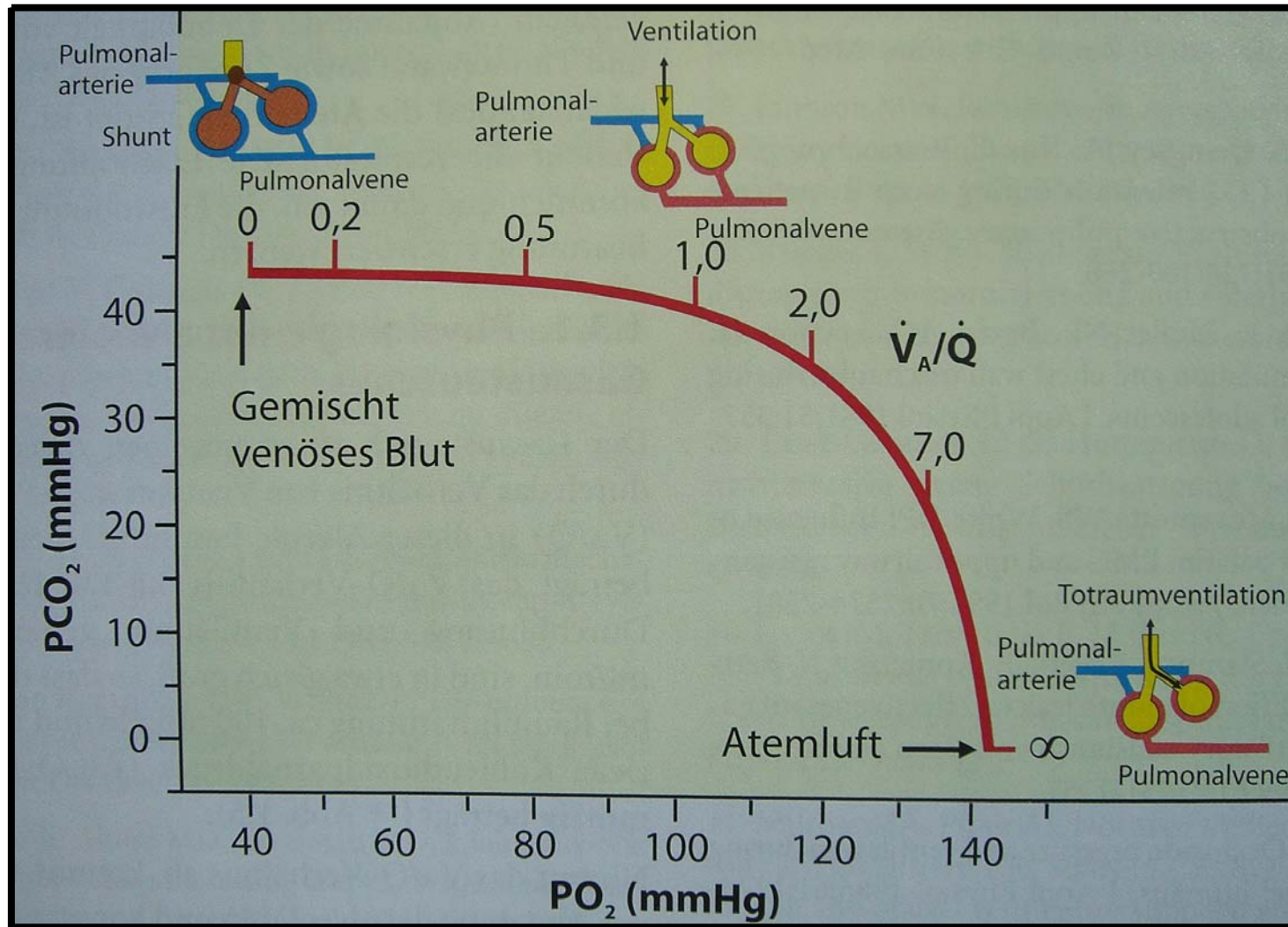
und der Gasaustausch = **Diffusion** an der

Alveolearmembran ungestört ist,

wird genügend O₂ aufgenommen und CO₂

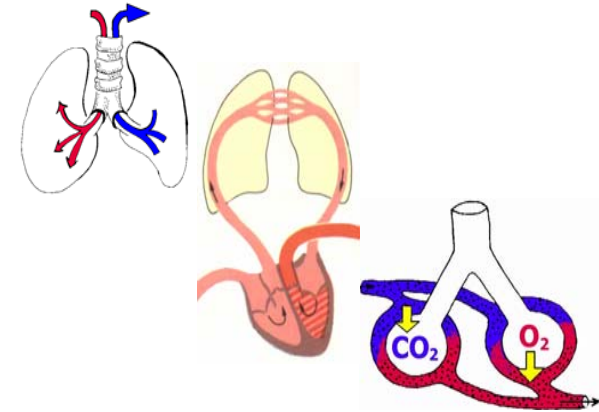
abgegeben

Physiologie



aus Schönhöfer NIV, Grundlagen und moderne Praxis

Atmungskette



Nur wenn das Verhältnis ...

... von Belüftung = **Ventilation** und

Durchblutung = **Perfusion** zusammenpassen

(engl. *to match* = zusammenpassen),

also kein *Ventilations-Perfusions-Mismatch*

vorliegt, wird ausreichend O₂ aufgenommen.

Warum Beatmung ?

1. Keine Erkrankung des respiratorischen Systems
z.B. unzureichender Atemantrieb
z.B. Intubation bei mangelnden Schutzreflexen
2. Schwere Oxygenierungsstörung
> **Akutes hypoxisches Lungenversagen**
3. Primär ventilatorisches Versagen
ggf. in Kombination mit Obstruktion
> **Akutes hyperkapnisches Lungenversagen**

Versagen der Atempumpe

Kein primär pulmonales Problem:

- unzureichender Atemantrieb
- ventilatorische Insuffizienz
 - >> CO₂-Retention
 - >> Hypoxämie durch Hypoventilation



IPPV

Intermittierend **P**ositive **P**ressure **V**entilation

Intermittierende Beatmung mit positivem Druck

- Eine bestimmte Menge Luft (*Tidalvolumen*) wird mit einer bestimmten Häufigkeit pro Minute (*Atemfrequenz*) in die Lunge geblasen.
- Das Beatmungsgerät übernimmt die Aufgabe der Atempumpe

IPPV

Intermittend Positive Pressure Ventilation
Intermittierende Beatmung mit positivem Druck



IPPV

Intermittend **P**ositive **P**ressure **V**entilation

Intermittierende Beatmung mit positivem Druck



SIMV

Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation

Synchronisierte Intermitterende Beatmung mit bestimmter Atemfrequenz und Tidalvolumen



SIMV

Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation

Synchronisierte Intermittierende Beatmung mit bestimmter Atemfrequenz und Tidalvolumen

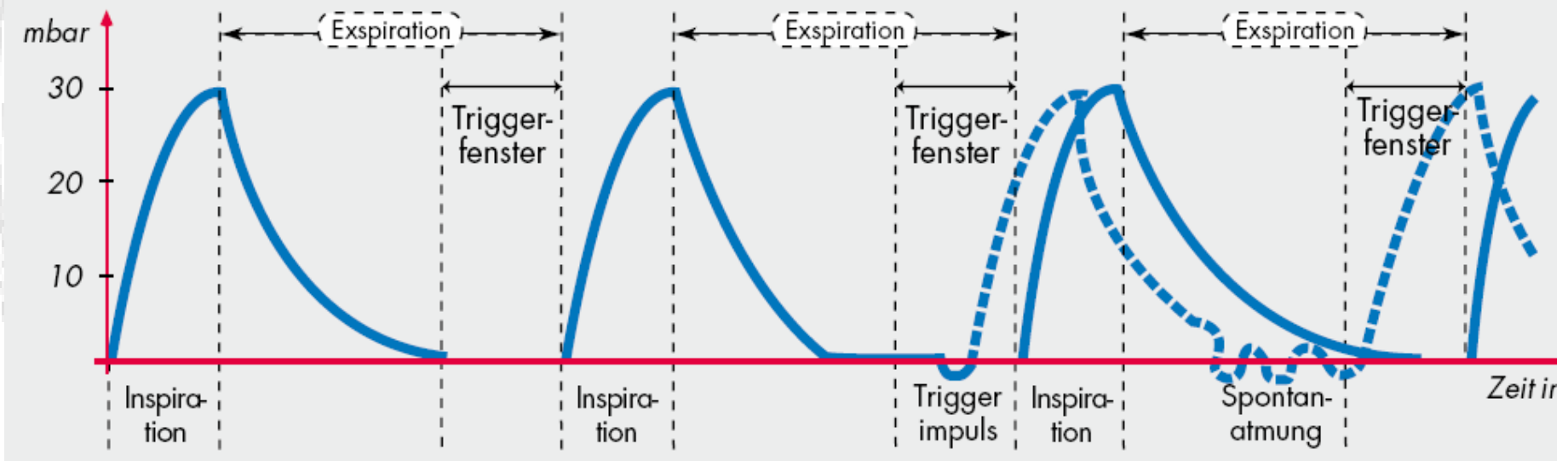


SIMV

Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation

Synchronisierte Intermittierende Beatmung mit bestimmter Atemfrequenz und Tidalvolumen

Assistierte Beatmung mit MEDUMAT Standard a



PCV oder VC

Pressure Controlled Ventilation oder Volume Controlled Ventilation



Compliance

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

- Bei guter **Dehnbarkeit (=Compliance)** bewirkt eine geringe Druckänderung eine hohe Volumenänderung.
- Bei einer **druckkontrollierten Beatmung** wird durch eine vorgegebene, maximale Druckänderung ein bestimmtes Tidalvolumen erzeugt.
- Bei einer **volumenkontrollierten Beatmung** bewirkt ein vorgegebenes Tidalvolumen eine Druckänderung (abhängig von der Compliance)

PCV

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

pressure controlled ventilation

Druckkontrollierte Beatmung

- Erzeugtes Tidalvolumen *abhängig* von der Compliance
- Verschlechterung der Compliance (Gegenatmen, Spannungspneumothorax, Sekret) kein Druckanstieg, sondern Vt-Abfall

PCV

pressure controlled ventilation

Druckkontrollierte Beatmung



VC

volume controlled ventilation

Volumenkontrollierte Beatmung

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

- Tidalvolumen wird *unabhängig* von der Compliance appliziert
- Bei Verschlechterung der Compliance (Gegenatmen, Spannungspneumothorax, Sekret) Beatmung bis zum Erreichen des Drucklimits

VC

Volumenkontrollierte Beatmung



VC

PIP

Volumenkontrollierte Beatmung

Peak inspiratory Pressure



Oxygenierungsstörung

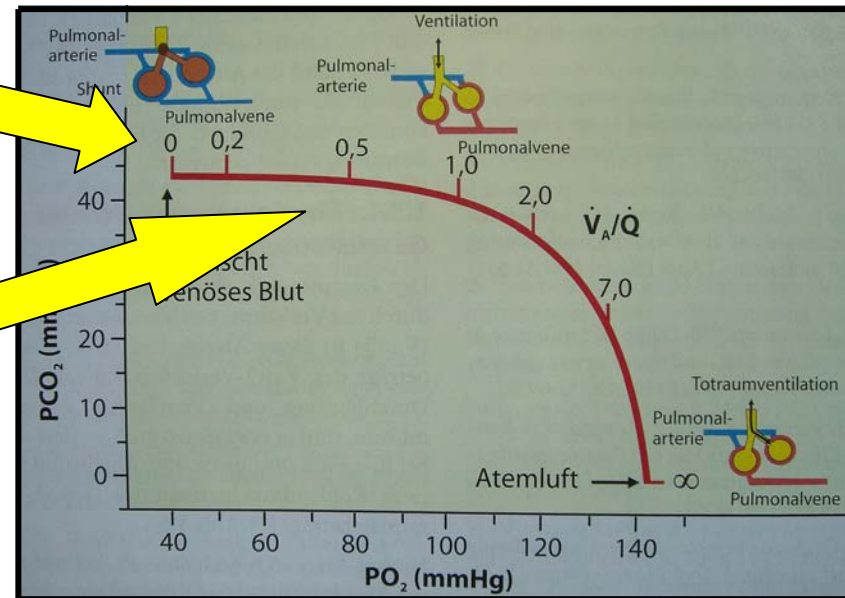
Primär pulmonales Problem:

- ⇒ Respiratorische Insuffizienz z. B. durch
- Lungenödem
 - Pneumonie
 - Pneumothorax
 - Lungenkontusion

Pathophysiologie

Schweres hypoxämisches Lungenversagen

- vorherrschender Shunt
„sauerstoffrefraktäre Hypoxämie“
- Low \dot{V}_A/\dot{Q}
verbesserte Oxygenierung
durch Sauerstoff



Venöse Beimischung = Shunt

> schweres hypoxämisches Lungenversagen durch
alleinige Sauerstoffgabe nicht suffizient zu behandeln !

P. Neumann in NIV, Grundlagen und moderne Praxis

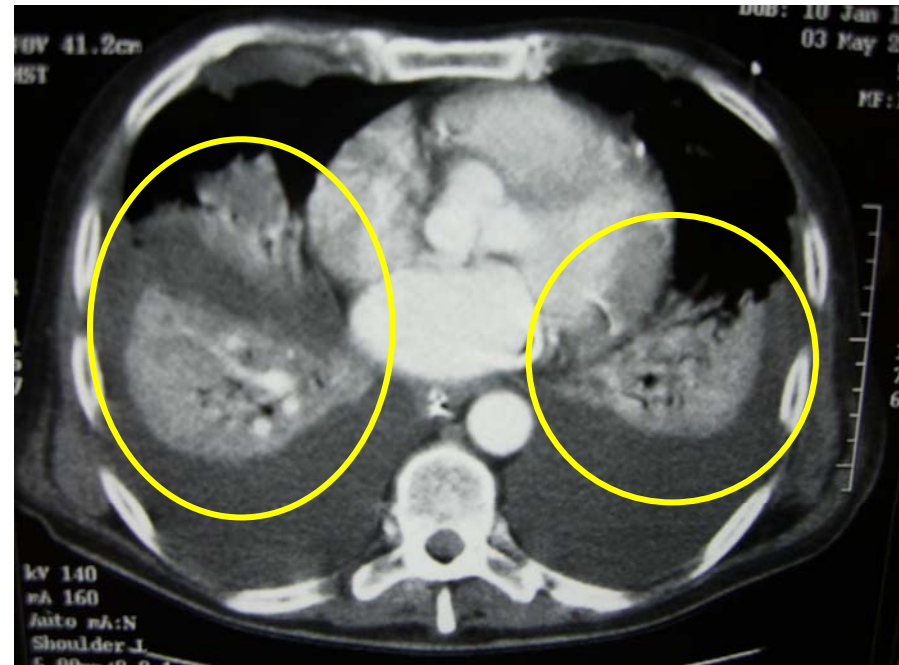
Pathophysiologie

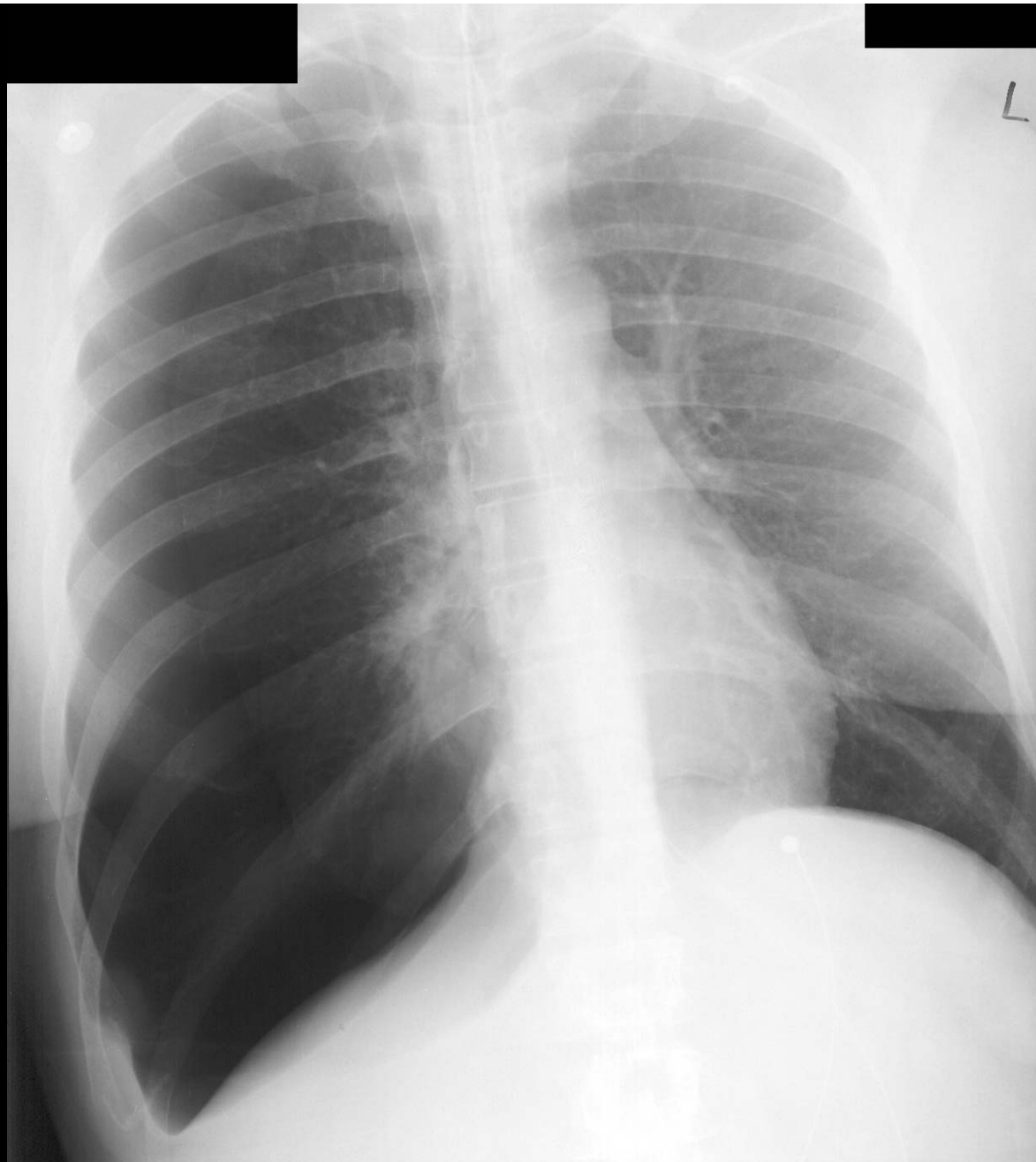
Schweres hypoxämisches Lungenversagen

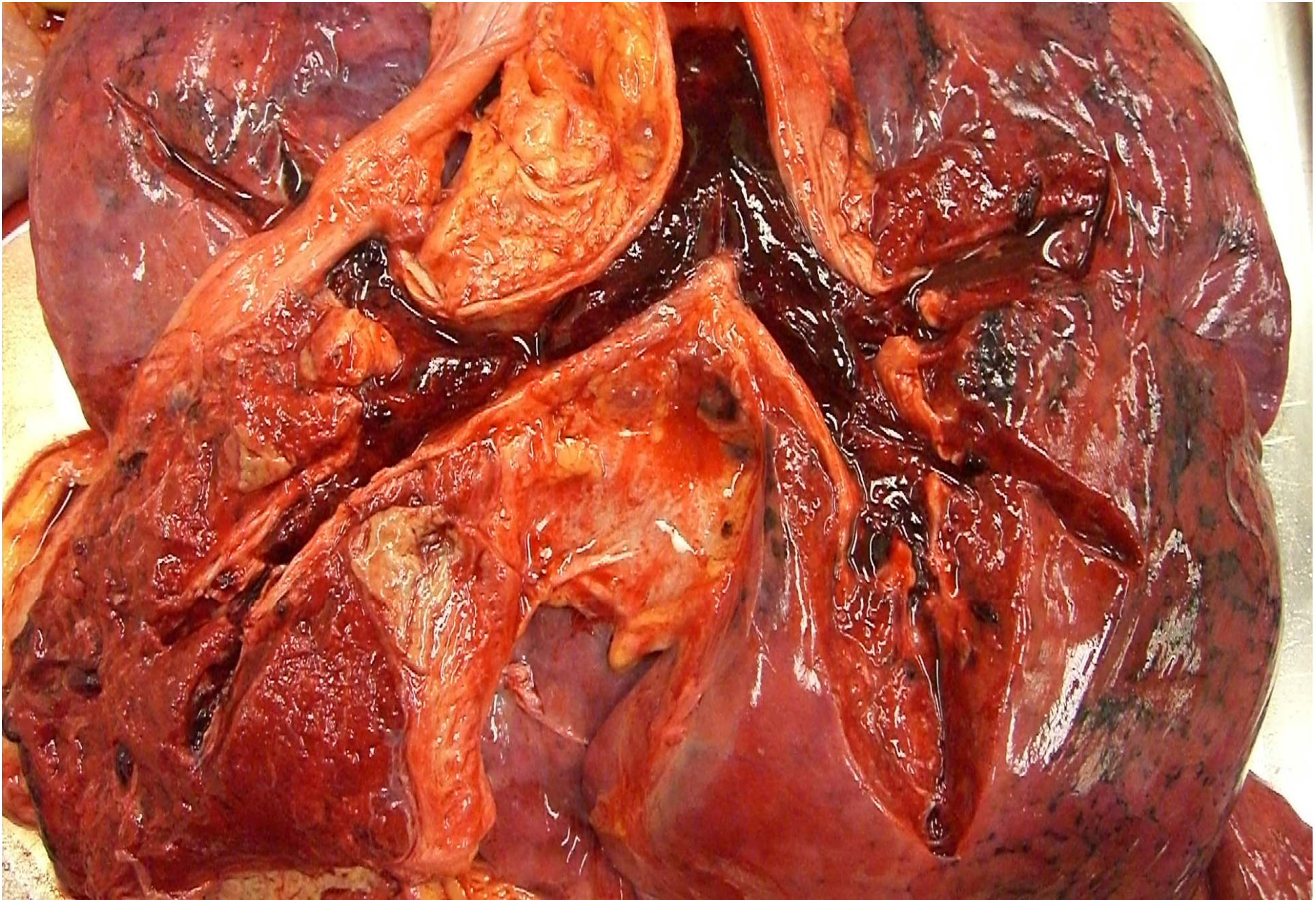
Ursache des intrapulmonalen Shunts sind Atelektasen!

Gattinoni et al.. Anaesthesiology 1988;69:824-32

Allein durch Anwendung von PEEP kann der Gasaustausch verbessert werden !







Pathophysiologie

Schweres hypoxämisches Lungenversagen

Innerhalb eines Atemzyklus Ausbildung von Atelektasen und Wiedereröffnung in der Inspiration.

Neumann et al.; Am J Resp Crit Care Med 2003;167:1467-71



Pathophysiologie

Schweres hypoxämisches Lungenversagen

Eine unzureichende Oxygenierung beruht im wesentlichen auf einem intrapulmonalen Rechts-Links-Shunt !

Kollabierte Alveolen müssen durch ausreichend hohe Atemwegs- / transpulmonale Drücke wiedereröffnet werden.

Ein erneuter Alveolenkollaps soll verhindert werden.

Oxygenierung verbessern

Wie ?

- Sauerstoffgabe
- Recruitment
 - > PEEP
 - > transpulmonaler Mitteldruck (I:E, Tidalvolumen)



PEEP

Positive Endexpiratory Pressure

Wieviel PEEP soll es sein?

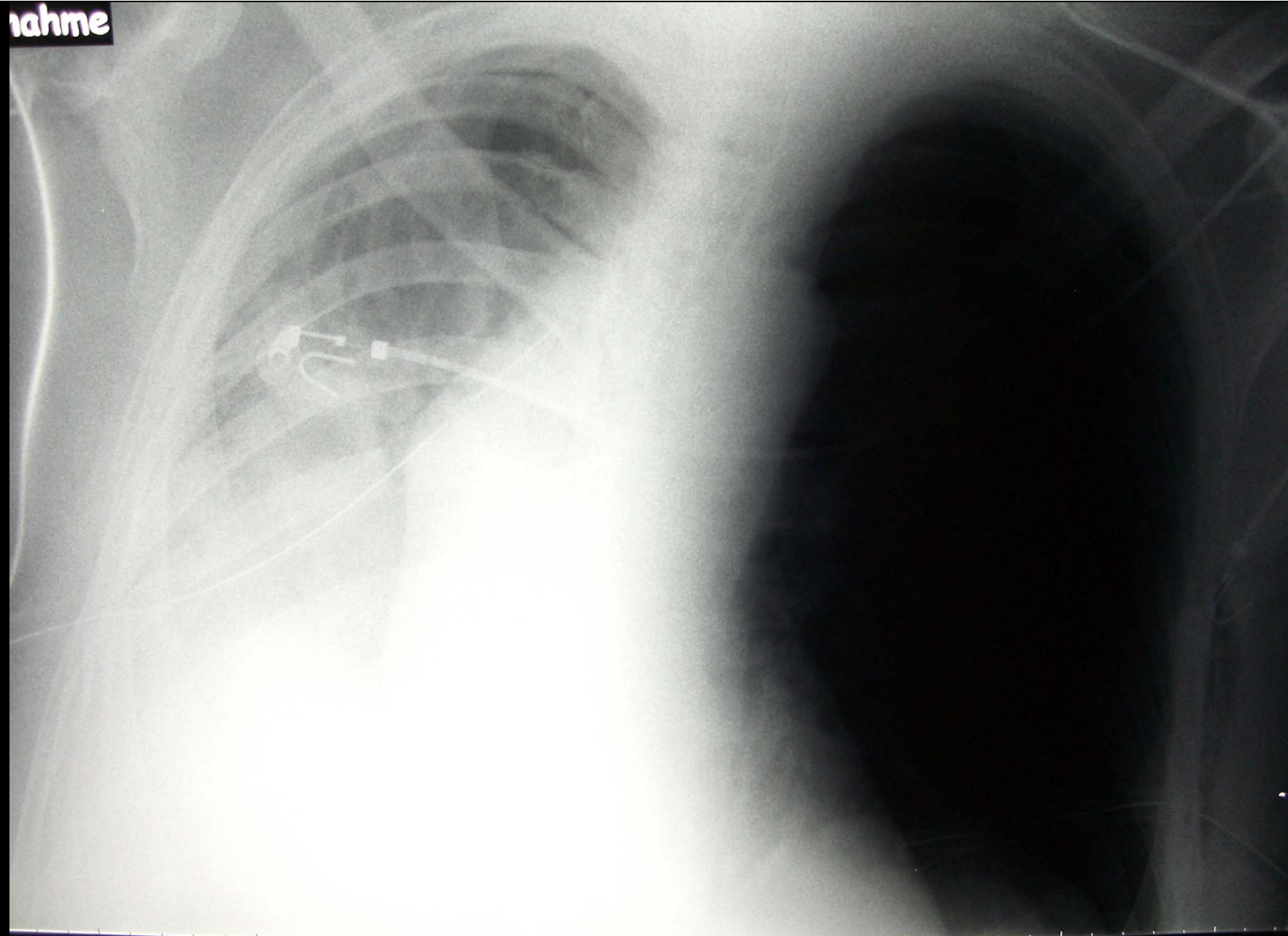
Zuviel:

> Überblähung gesunder Areale

Zu wenig

> Keine Reduktion von Shunt

nahme

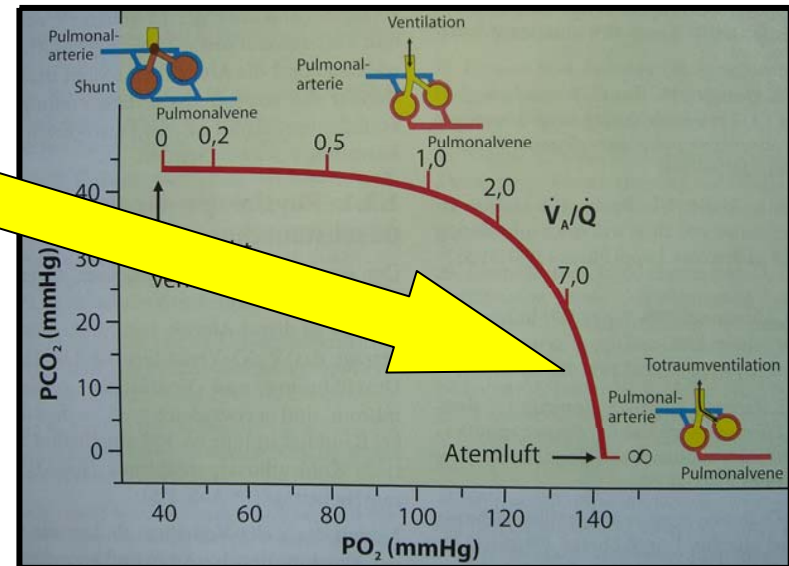


Pathophysiologie

Hyperkapnische ventilatorische Insuffizienz

erhebliche Belastung der Atemmuskulatur durch

- Obstruktion
- erhöhte Totraumventilation
- ungünstigen Wirkungsbereich von Zwerchfell und Interkostalmuskulatur
- Erschöpfung der Atempumpe



Braun et al.; Am Rev Resp Dis 1997;115:91

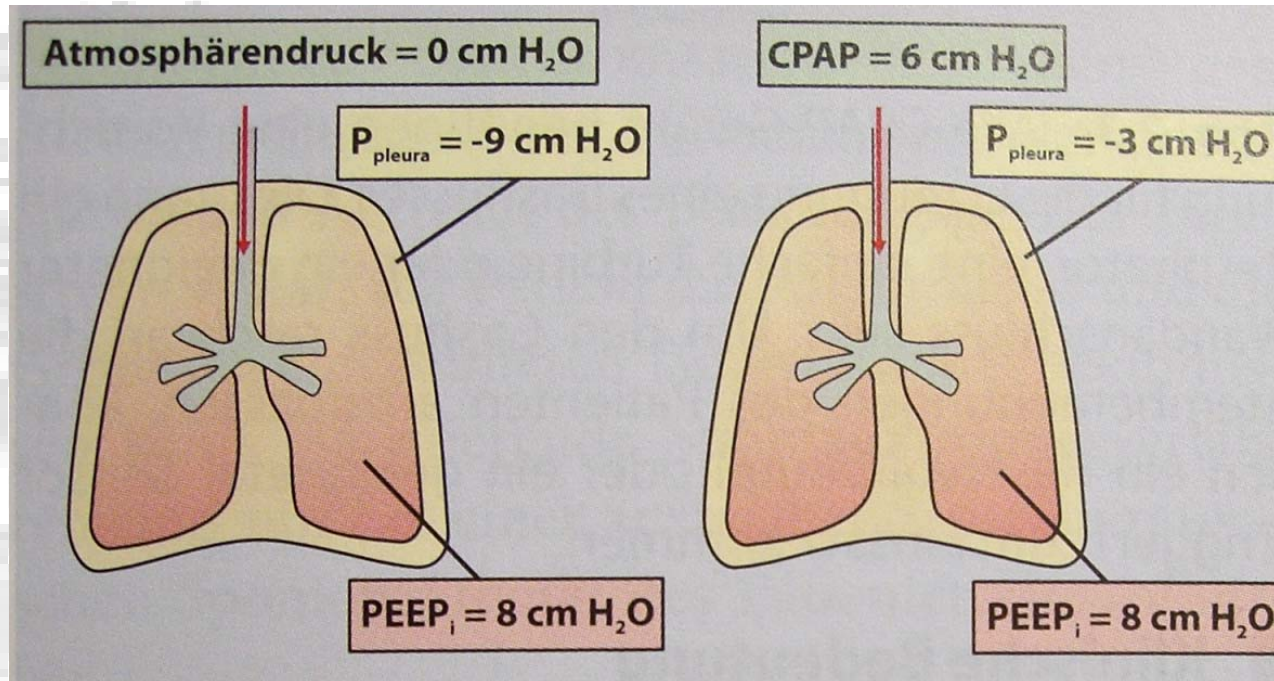
Roussos et al.; N Eng J Med 1982;307:786-787

CPAP

Continuous Positive Airway Pressure



CPAP \neq NIV



- CPAP reduziert inspiratorische Atemarbeit
- CPAP erhöht expiratorische Atemarbeit

CPAP ≠ NIV



CPAP führt zur Verbesserung der Oxygenierung
beim Lungenödem

Kosowsky JM, Stephanides SL, Branson RD, Sayre MR. Prehosp Emerg Care 2001;5(2):190-6

CAVE:

- CPAP im Prinzip keine NIV
- Patient muss neuromuskulär ausreichend atmen
- keine Druckunterstützung
- Flow 15-25 l/min (Boussignac System)

Ziele der Beatmung

1. Ausreichende Oxygenierung
($\text{SaO}_2 > 90\%$)
2. Ausreichende Ventilation
3. Möglichst wenig kardiozirkulatorische Effekte
4. Lungenprotektiv
(Barotrauma, Volutrauma, inflammatorische Zytokine)

Beatmung ≠ Beatmung

Unterscheide:

- Lungengesunde mit ventilatorischer Schwäche
- Schweres Oxygenierungsversagen
- COPD mit & ohne Infektexacerbation

Beatmung

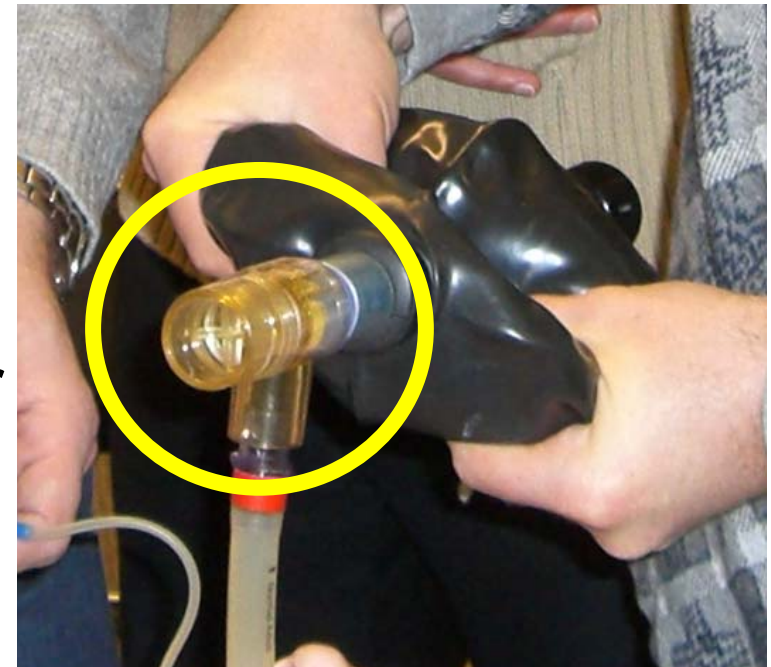
Effektive Behandlung einer akuten respiratorischen oder ventilatorischen Insuffizienz:

- (hoher) PEEP
- hohe inspiratorische Sauerstoffkonzentrationen
- CPAP / druckunterstützte Beatmung / BIPAP / IPPV

Wie ?

Manuell

- nur im Ausnahmefall:
 - z.B. schwerste Obstruktion
 - z.B. Umlagerung / Transfer bei „Lungengesunden“
- *CAVE PEEP-weaning*



Wie ?

Maschinell - invasiv

- CAVE druckkontrolliert:
Änderungen der Compliance
(Sedierungstiefe, Sekret, Pneumothorax u.a.)
> *Volumenkontrolliert beatmen*



Wie ?



Niedrige Tidalvolumina & hohe Atemfrequenzen

- reduzierte inflammatorische Reaktion bei ARF / VALI
Stüber et al. 2002

PEEP 10 cm H₂O oder höher

- verhindert Atelektasen bei narkotisierten Patienten
Neumann et al. 1999
- verhindert alveolären Flüssigkeitseinstrom
Verbrugge et al. 1998
- verhindert Protein Verlust (Surfactant)
Hartog et al. 2000

Wie ?



Beatmung eines „lungengesunden“ Patienten

- Tidalvolumen 6-8 ml / kg KG Idealgewicht
- Atemfrequenz 15-20 / min.
- PEEP 5-10 mbar
- I:E 1:1

CAVE „lungengesund“

Inflammatorische Mediatoren in der Lunge nach SHT oder Extremitätentrauma erhöht.

Wie ?



Beatmung beim schweren Oxygenierungsversagen

- Tidalvolumen 6-8 ml / kg KG Idealgewicht
- Atemfrequenz 15-25 / min.
- PEEP 10-15 mbar
- I:E 1:1
- Inspiratorischer Plateaudruck < 30 cm H₂O

Wie ?



Beatmung bei ventilatorischem Versagen und obstruktiver Lungenerkrankung

- Tidalvolumen 6-8 ml / kg KG Idealgewicht
- Atemfrequenz 10-15 / min.
- PEEP 5-8 mbar
- I:E 1:2 – 1:3
- Inspiratorischer Plateaudruck 15-20 cm H₂O

Wie ?



Lungenversagen / schwere Oxygenierungsstörung

Indikation für Intubation

NEIN

JA

NIV

ineffektiv

effektiv

Intubation & IPPV

NIV Einstellung



Oxygenierungsstörung

- FiO_2 1,0 \Rightarrow ggf. reduzieren $>$ SaO_2 über 90%
- CPAP 5 $>$ 10 $>$ (15)
- Trigger \leq 3 mbar or \leq 3 l/min
- Druckunterstützung + 3 $>$ +5 $>$ (+10) mbar
- initial Maske mit der Hand halten / halten lassen

Ziel

Atemfrequenz $<$ 35 /min

Atemzugvolumen $>$ 3 ml/kg

Kein Einsatz der Atemhilfsmuskulatur

NIV Einstellung



Erschöpfung der Atempumpe

- FiO_2 1,0 \Rightarrow ggf. reduzieren $>$ SaO_2 über 90%
- CPAP 5 $>$ 7 $>$ 10 $>$ (15)
- Trigger \leq 3 mbar or \leq 3 l/min
- Druckunterstützung + 5 $>$ +10 $>$ +15 (+20) mbar
- initial Maske mit der Hand halten / halten lassen

Ziel

Atemfrequenz $<$ 35 /min

Atemzugvolumen $>$ 3 ml/kg

Kein Einsatz der Atemhilfsmuskulatur

RSBI

Rapid Shallow Breathing Index

Frequenz-Volumen-Atemindex

$$\text{RSBI} = f / V_T$$

$$\text{z. B. } 45 / 0,25 \text{ l} = 180$$

> 120 Intubation fraglich vermeidbar

Zusammenfassung

- Patienten die präklinisch beatmet werden müssen sind kritisch krank.
- Auch wenn primär keine Lungenerkrankung - die Lunge ist fast immer beteiligt.
- Eine präklinische Beatmung folgt den gleichen Prinzipien wie auf der Intensivstation.
- Bei kontrollierter Beatmung möglichst reduzierte Druckänderungen bei ausreichenden hohen transpulmonalen Drücken (PEEP, p_{mean} , I:E 1:1)
- Unterscheide NIV bei Oxygenierungsstörung vs. erschöpfter Atempumpe