



**Cave:** Bei nicht ausreichender Oxygenierung gilt: erhöhe PEEP → erhöhe  $T_{\text{insp}}$  → erhöhe erst dann  $FiO_2$  (gilt nicht für kurzzeitige  $FiO_2$  – Erhöhungen bei akuten  $SpO_2$ - Einbrüchen)

### **Vorgehensweise bei der Reduzierung der Beatmungsinvasivität**

- $FiO_2$  bis  $\leq 0,4$  reduzieren
- I:E Verhältnis ab  $FiO_2 \leq 0,5$  Richtung 1:1,5 (max. 1:2) normalisieren
- PEEP ab  $FiO_2 \leq 0,5$  und unter Teilsponatantmung schrittweise reduzieren;  
siehe auch Empfehlung PEEP-Tabelle

### **Hinweis**

Die Sedierungstiefe sollte so gesteuert werden, dass die Beatmung toleriert wird und Zwerchfellaktivitäten erhalten und gefördert werden. Entscheidend dabei ist nicht das spontane Zugvolumen, sondern die Möglichkeit durch den entstehenden Sog Luft in die zwerchfellnahen Areale zu befördern  
→ in der Akutphase Pressure Support  $\leq 5$  mbar → erst bei der Entwöhnung Pressure Support anpassen.

Sedierungstiefe nach RASS 0 / - 4

### **Ergänzende Maßnahmen:** (\* siehe entsprechende Beatmungsempfehlung/Leitlinie)

- Lagerungstherapie z.B. 90° Seitenlage, 135° Seitenlage, Bauchlage \*
- kinetische Therapie (nur wenn eine Kontraindikation für Lagerungstherapie besteht)
- Atemgasklimatisierung \*
- Rekrutierungsmanöver \*
- Physiotherapie

Entwöhnungsbeginn siehe „Grundsätze der Entwöhnung“. Entwöhnungsfähigkeit sowie Analosedierungstiefe täglich evaluieren.

# Lungenprotektive Beatmung – ARDS - Konzept 2 PC-APRV

Blatt 1 (von 2)

Version 2025

## Oxygenierungsindex < 300 mmHg

### Ziele

- Sicherstellung einer ausreichenden  $O_2$  - Versorgung der Organe
- Schutz der noch gesunden, belüfteten Lungenabschnitte
- Eröffnung atelektatischer Lungenabschnitte, Eröffnete sollen offen gehalten werden
- Vermeidung von alveolärem und anatomischem Totraum
- Vermeidung toxischer Sauerstoffkonzentrationen ( $FiO_2 \leq 0,6$  anstreben)

### Strategie

- druckkontrollierte Beatmung (IMV-PC – mit „freier Durchatembarkeit“) APRV
- inspiratorischer Druck ( $PEEP_{high}/P_{hoch}$ ) 17 – 25 mbar (max. 27 mbar)
- $PEEP_{low}/P_{tief}$  0 - 5 mbar
- Expirationszeit ( $T_{low}$ ) 0,3–0,8 sec; endexp. Flow bei 40 – 80 % beenden; air-trapping 300-500 ml
  - Inspirationszeit ( $T_{high}$ ) 2,0 – 5,0 sec; I:E = 4:1 – 8:1
  - Atemfrequenz 15 – 25 /min und I:E Verhältnis ergeben sich aus In- und Expirationszeit
  - Atemzugvolumina 4 – 6 ml/kg KG
- Oxygenierung: Vermeidung hoher insp.  $O_2$  Konzentrationen  
65 – 75 mmHg  $PaO_2$  anstreben (im Einzelfall beim schwere ARDS  $PaO_2 \geq 55-65$  mmHg)
- Ventilation:
  - mildes/moderates ARDS  $PaCO_2$  35 – 45 mmHg; (Normoventilation anstreben)
  - schweres ARDS  $PaCO_2 \leq 55$  mmHg; (ggf. „Permissive Hyperkapnie“ bis pH  $\geq 7,20$ )

**Veränderung bei:**

**Hypoxämie:**  $P_{\text{hoch}}$  in 2 mbar Schritten erhöhen, falls nicht weiter steigerbar  $FiO_2$  erhöhen  
→ evtl. zusätzlich  $T_{\text{tief}}$  minimal verkürzen → Intrinsic-PEEP nimmt zu

**Hypoventilation:** Spontanatemanteil erhöhen →  $T_{\text{hoch}}$  um 0,2 - 0,5 sec reduzieren und ggf. wiederholen  
→ evtl.  $T_{\text{tief}}$  minimal verlängern (nur wenn  $Flow_{\text{exp}}$  zu früh abgebrochen wird  
→ Intrinsic-PEEP zu hoch)

**Hyperventilation:**  $T_{\text{hoch}}$  um 0,2 - 0,5 sec verlängern, ggf. wiederholen → evtl.  $T_{\text{tief}}$  0,05- 0,1 sec verkürzen  
(nur wenn  $Flow_{\text{exp}}$  zu spät abgebrochen wird → Intrinsic-PEEP zu niedrig)

**Vorgehensweise bei der Reduzierung der Beatmungsinvasivität**

→  $FiO_2$  bis  $\leq 0,4$  reduzieren

→ Inspiratorischer Druck /  $P_{\text{hoch}}$  schrittweise bis ca. 10 – 12 mbar reduzieren

→ dann zu Spontanatmung (Pressure Support) oder evtl. Konzept 1 BiLevel wechseln:  
PEEP entsprechend dem zuletzt eingestellten inspiratorischen Druck ( $P_{\text{insp}}$ ) einstellen

**Hinweis**

Die Sedierungstiefe sollte so gesteuert werden, dass die Beatmung toleriert wird. Spontanatmung auf dem oberen Druckniveau ( $P_{\text{hoch}}$ ) ist wünschenswert

**Ergänzende Maßnahmen:** (\* siehe entsprechende Beatmungsempfehlung/Leitlinie)

- Lagerungstherapie z.B. 90° Seitenlage, 135° Seitenlage, 180° Bauchlage\*
- Atemgasklimatisierung \*
- Rekrutierungsmanöver \*
- Physiotherapie

Entwöhnungsbeginn siehe „Grundsätze der Entwöhnung“. Entwöhnungsfähigkeit sowie Analgosedierungstiefe täglich evaluieren.

# Lungenprotektive Beatmung – ARDS - Konzept 1 PC-Bilevel/BIPAP

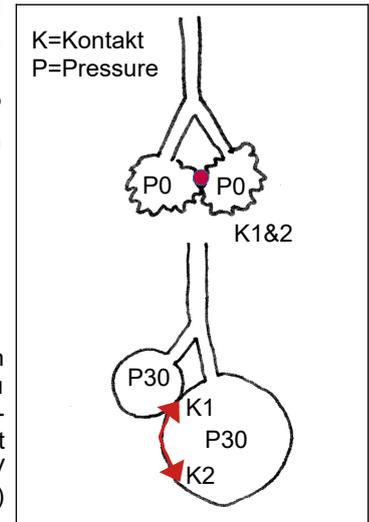
## Erläuterungen

Die Druckdifferenz zwischen PEEP und Inspirationsdruck ( $\Delta P$ ) sollte zwischen 10 – 12 mbar betragen. Nicht jedoch höher als 15 -17 mbar. Grundsätzlich gilt, je größer  $\Delta P$ , desto größer werden die Scherkräfte, die in der Lunge wirken. Scherkräfte entstehen zum einen, wenn in der Expiration zyklisch Alveolen kollabieren (zu niedriger PEEP) und zum anderen, wenn Alveolen während der Inspiration überdehnt werden (zu hohes AZV bzw.  $\Delta P$ ). Mit zunehmendem AZV bzw.  $\Delta P$  steigt die Gefahr der Schädigung des Lungengewebes. [1,10,11,16,24,30,33,40,41,43,44,45,52,59,66,67,70,73,86,105,122,123,152]

Durch Scherkräfte und Überdehnung entstehen sog. Zytokine. Zytokine begünstigen zumindest die Entstehung einer Multiorgandysfunktion (MODS), indem diese durch das Herz-Kreislaufsystem in die Organe eingeschwemmt werden.

„**Stress**“ and „**Strain**“ haben sich als Begriffe für die Spannungs- und Dehnungskräfte etabliert. Der Begriff „**Stress**“ beschreibt die mechanischen Spannungskräfte (transpulmonaler Druck während der Expiration). Schädigende mechanische Spannungen entstehen wenn der PEEP (transpulmonale Druck) zu niedrig ist. Die Dehnungskräfte „**Strain**“ werden durch das Verhältnis von Volumenänderung und FRC beeinflusst. Ist das AZV für die FRC zu groß, erhöhen sich die Dehnungskräfte im Lungengewebe. Schädliche Dehnungskräfte entstehen wenn das AZV gesteigert wird. Das AZV schädigt die Lunge umso mehr wenn die FRC (funktionelle Residualkapazität) verringert ist. Das Verhältnis von AZV zu FRC sollte 1:5 betragen.

Abb 2: Schematische Darstellung von Entstehung von Scherkräften. Während der Inspiration kommt es bei inhomogenen bronchialen Widerständen und Compliance im Lungengewebe zu Dehnungskräften (Strain). Alveolen mit hoher Compliance füllen sich mit mehr Atemgas. Füll- und Entleerungsgeschwindigkeit werden als Zeitkonstanten (T) bezeichnet. Beim nicht beatmeten Mensch beträgt eine normale Zeitkonstante 0,2 sec Nach 1 T sind 63% des AZV ausgeatmet, Bei 3,5 T ist das AZV zu 99% ausgeatmet. Unter Beatmung (Tubuswiderstand) beträgt die normale T ca. 0,3-0,6 sec.



**Beispiel:**

Beträgt die FRC 2500 ml, dann kann das AZV 500 ml betragen.

Beträgt die FRC 2000 ml, sollte das AZV nur 400 ml betragen.

**Berechnung:** AZV/FRC

Die normale FRC orientiert sich am idealen Körpergewicht und Geschlecht

Zunehmend können moderne Respiratoren die FRC messen. Mit Hilfe der transpulmonalen Druck- und der FRC-Messung kann der PEEP und das AZV sehr individuell eingestellt werden. Ein Ansatz der in Zukunft möglicherweise immer mehr an Bedeutung gewinnt. [23,46,48,55]

Ebenso rückt zunehmend die mechanische Arbeit „**Mechanical Power**“ in den Mittelpunkt, welche die Energie beschreibt, die aufgebracht wird um die Lunge von Exsp- auf Inspiration zu bewegen. Je mehr Energiemenge vom Beatmungsgerät aufgebracht wird, desto mehr steigt die Sterblichkeit an. In den aktuellen Studien zeigt sich eine Korrelation.

Noch ist nicht geklärt welcher Wert nicht überschritten werden sollte. Vermutlich  $< 20$  J/min. Wesentlichen Einfluss auf die mechanische Arbeit haben das  $\Delta P_{insp}$  ( $\Delta P$ ), das AZV, der Flow, der PEEP und die Atemfrequenz. [89,125,126,135,139]

Um Alveolen zu öffnen (zu rekrutieren) ist nicht der eingestellte Beatmungsdruck bzw. intrapulmonale Druck (IAP), sondern der **transpulmonale Druck (TPP)**, die treibende Kraft. Der Druck des umliegenden Gewebes lastet auf dem Lungengewebe. Dieser Druck wird vom intrapulmonalen Druck ( $P_{aw}$ ) abgezogen, um den transpulmonalen Druck (TPP) zu ermitteln. Steigt der intraabdominelle Druck (IAP), sinkt der TPP. Bei der PEEP- und inspiratorischen Druckeinstellung muss dies berücksichtigt werden. Der exp. TPP sollte 1-2 mbar über dem PEEP liegen. Ist der TPP unterhalb des PEEP gilt es den PEEP zu erhöhen. Ist der TPP über dem PEEP so wird der PEEP erniedrigt. Der  $\Delta TPP$  (TPP Anstieg während Inspiration) sollte  $\leq 10$  mbar betragen.

Bei hohem PEEP insbesondere bei Adipositas oder erhöhten intraabdominellen Druck (IPA) kann es notwendig sein, den Inspirationsdruck auf 30 – 35 mbar zu erhöhen um ein AZV von 5-6 ml/kgKG zu gewährleisten. Aufgrund der Kompression der Alveolen (Lungengewebe) durch den IAP, muss eine VALI

(Ventilator assoziierte Lungenschädigung) wie z.B. das Entstehen vermehrter Scherkräfte, Überblähung von Alveolen oder gar ein Barotrauma weniger befürchtet werden, sofern der  $\Delta P \leq 15$  mbar gehalten wird [3,4,8].

24–48 Stunden nach der Intubation sollten Spontanatembemühungen des Patienten toleriert bzw. gefördert werden. Uneingeschränkt möglich ist dies nur bei Beatmungsmodi mit der Möglichkeit der sog. „Durchatembarkeit“. Die Förderung bzw. Erhaltung der Spontanatmung kann die Oxygenierung verbessern, gleichzeitig wird der Abbau der Atemmuskulatur vermindert. Spontanatmung ist insbesondere im Flow-Zeit-Diagramm sichtbar. Als relative Kontraindikation gilt: akute Sepsis, schwere Kreislaufinstabilität mit hoher Katecholamingabe, erhöhter Hirndruck, Cardio Pulmonale Reanimation, massives Pressen gegen den Respirator oder wenn der Patient aus sonstigen Gründen nicht pressen bzw. husten darf. In den ersten 2-3 Beatmungstagen sind statt Einatembemühungen häufig Pressen des Patienten gegen den Respirator zu erwarten. [16,27,33,47,138,153,154

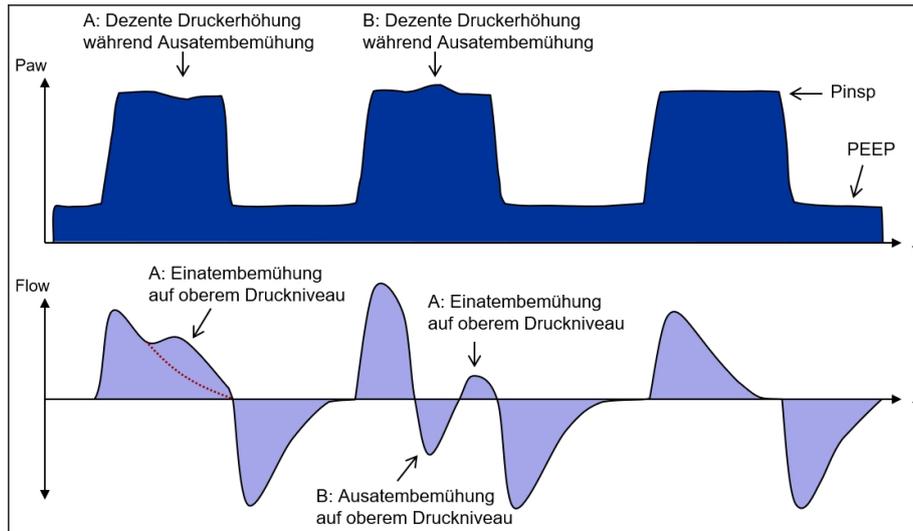


Abb 3:

PCV Modus (z.B. SIMV-PC\PS) mit freier „Durchatembarkeit“, BiLevel Modus. Einatembemühung im ersten Atemzyklus (A) auf dem „oberen Druckniveau“. Die gestrichelte Linie zeigt wie der Atemgasfluss ohne Spontanatmung wäre. Ausatembemühung im zweiten Atemzyklus (B) möglich. Das Expirationsventil öffnet sich soweit nötig um das „obere Druckniveau“ möglichst konstant zu halten.