

人工呼吸器管理について

麻酔科 一ノ宮 大雅

はじめに

今回の講義(スライド)について...

- 「理解」を目的とし、「正確でない」内容を一部含む
- 理論的に正しいと思う個人的な意見を一部含む
- あくまで最低限の内容で「最適な管理」には足りない
- 簡単に理解できる「初心者向け」の内容ではない

まとめ①

まず強制換気 (A/C or SIMV) で開始

強制換気の設定は...

- 従量式 (同調性悪ければ従圧式へ)
- TV、RRを設定 (TV 8~10 ml/kg、RR 10~16 回/min)
⇒ 最高気道内圧 (<30 cmH₂O) を目安
- 分時換気量の設定 ⇒ PaCO₂ (40 ± 5 mmHg) を目安
- PEEP (5~10 cmH₂O)、FiO₂ ⇒ 酸素化、循環動態を目安
- PS (10 cmH₂O) ※SIMVの場合
- 吸気時間 1.0秒

まとめ②

自発呼吸出現(同調性不良、呼吸状態改善)
⇒CPAPへ変更

CPAPの設定は・・・

●FiO₂、PEEP⇒酸素化、循環動態

●PS(5～20 cmH₂O)

⇒TV(>6 ml/kg)、RR(<25 回/min)を目安

CPAPモード(PEEP 5 cmH₂O、PS 5 cmH₂O)

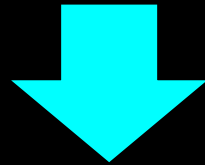
P/F(PaO₂/FiO₂) > 200

PaCO₂適正 = 40 ± 5 mmHg

その他: 循環、意識、咳嗽、気道確保

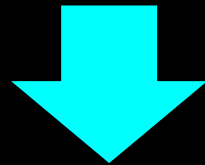
⇒人工呼吸器離脱

人は呼吸をなんのために行うのか？



酸素(O₂)を取り込んで

二酸化炭素(CO₂)を吐き出す

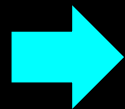
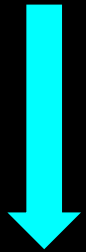


人工呼吸器はこれを代わりに行う

人工呼吸器のモード

● CMV(continuous mandatory ventilation)

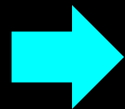
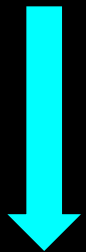
: 持続強制換気 = A/C (assist control)



設定回数以上の呼吸も全て強制換気

● SIMV(Synchronized intermittent mandatory ventilation)

: 同期式間欠的強制換気



設定回数以上の呼吸は自発呼吸

● CSV(Continuous spontaneous ventilation)

: 持続自発換気

= CPAP (continuous positive airway pressure)



全て自発呼吸

人工呼吸器で主に設定する項目

- 一回換気量 (TV: tidal volume)
 - 従量式 (VCV: volume control ventilation)
 - 従圧式 (PCV: pressure control ventilation)
- 換気回数 (VR: ventilation rate)
- 呼気終末陽圧 (PEEP: positive end-expiratory pressure)
- 圧支持 (PS: pressure support)
- 吸入酸素濃度 (FiO₂: fraction of inspired oxygen)
- 吸気時間 (I:E比)

従量式と従圧式

従量式換気 (VCV: volume control ventilation)

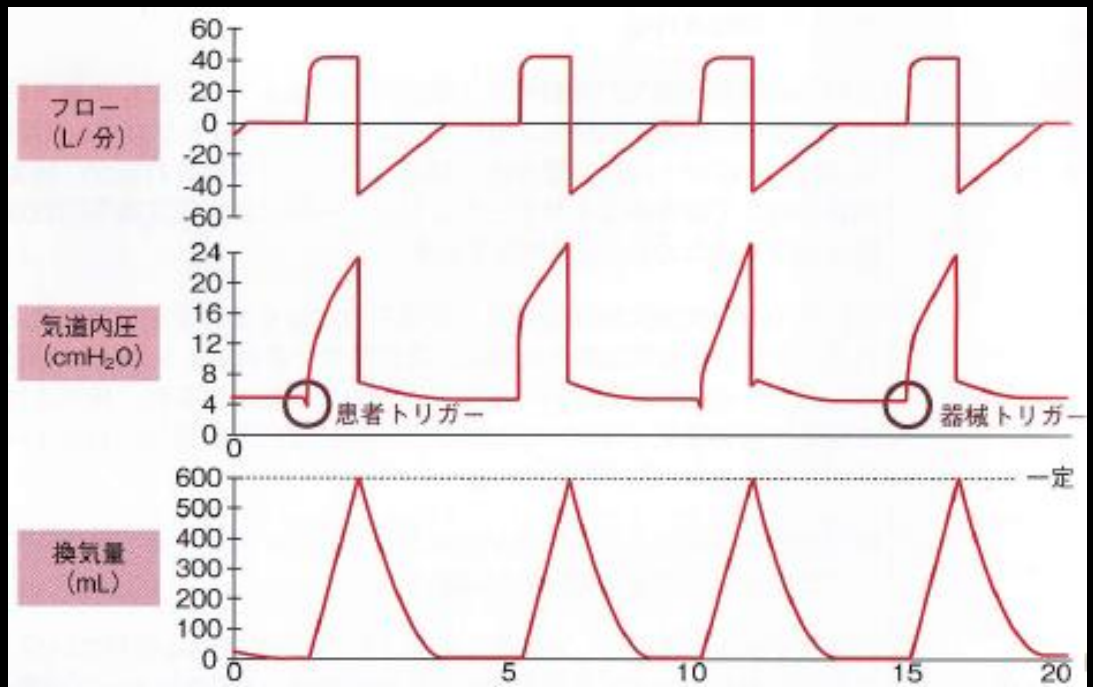
- 量を規定して換気を行う
- 気道の状態に関わらず一回換気量が保持される
- 気道内圧が様々な環境の影響で変化する
⇒コンプライアンス低下の場合、気道内圧が上昇する
- 吸気フローが一定のため自発呼吸との同調性が悪い

従圧式換気 (PCV: pressure control ventilation)

- 最高気道内圧を規定して換気を行う
- 一回換気量は環境に影響され変化する
⇒コンプライアンス低下により一回換気量が低下する
- 一回換気量が吸気時間により変化する
- 吸気フローの自由度が高く自発呼吸との同調性が良い

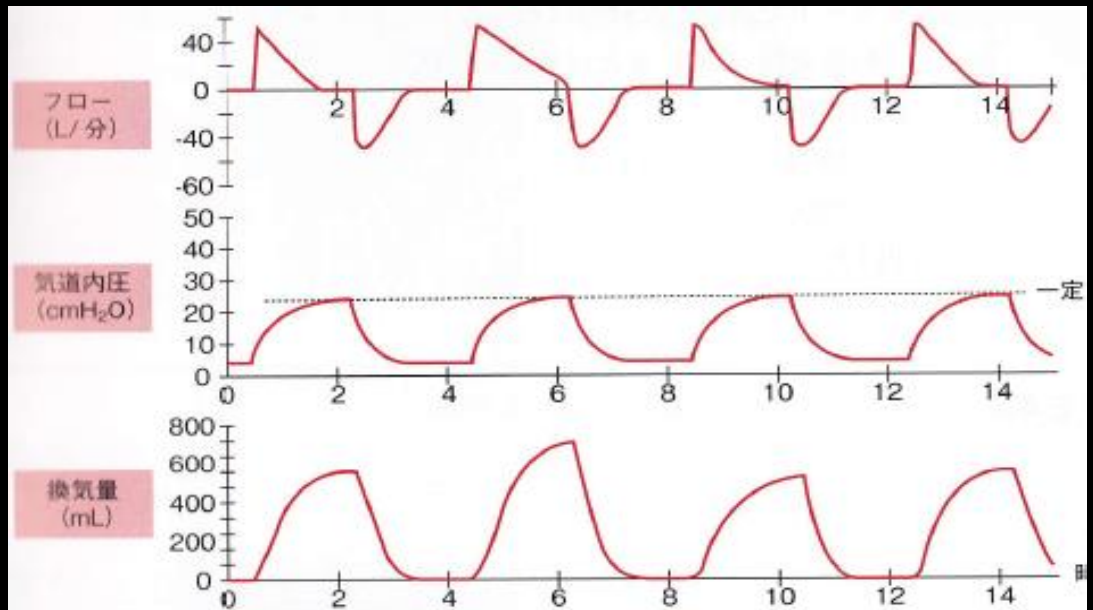
VCV

フロー:一定
気道内圧:変化
換気量:一律



PCV

フロー:変化
気道内圧:一定
換気量:変動



従量式か従圧式か？

換気量の確保か？同調性の良さか？

- 同調性が悪いと・・・

深い鎮静・鎮痛が必要

⇒循環抑制、VAPなどのリスク増加

- 換気量の確保が出来ないと・・・

人工呼吸器使用の最低限の目的が達成できない

⇒適切な観察、アラームの適正使用で対応可能

- PCVでは・・・肺胞内圧が上がりすぎる心配が少ない

VCVに比べて肺容量が均等に増加

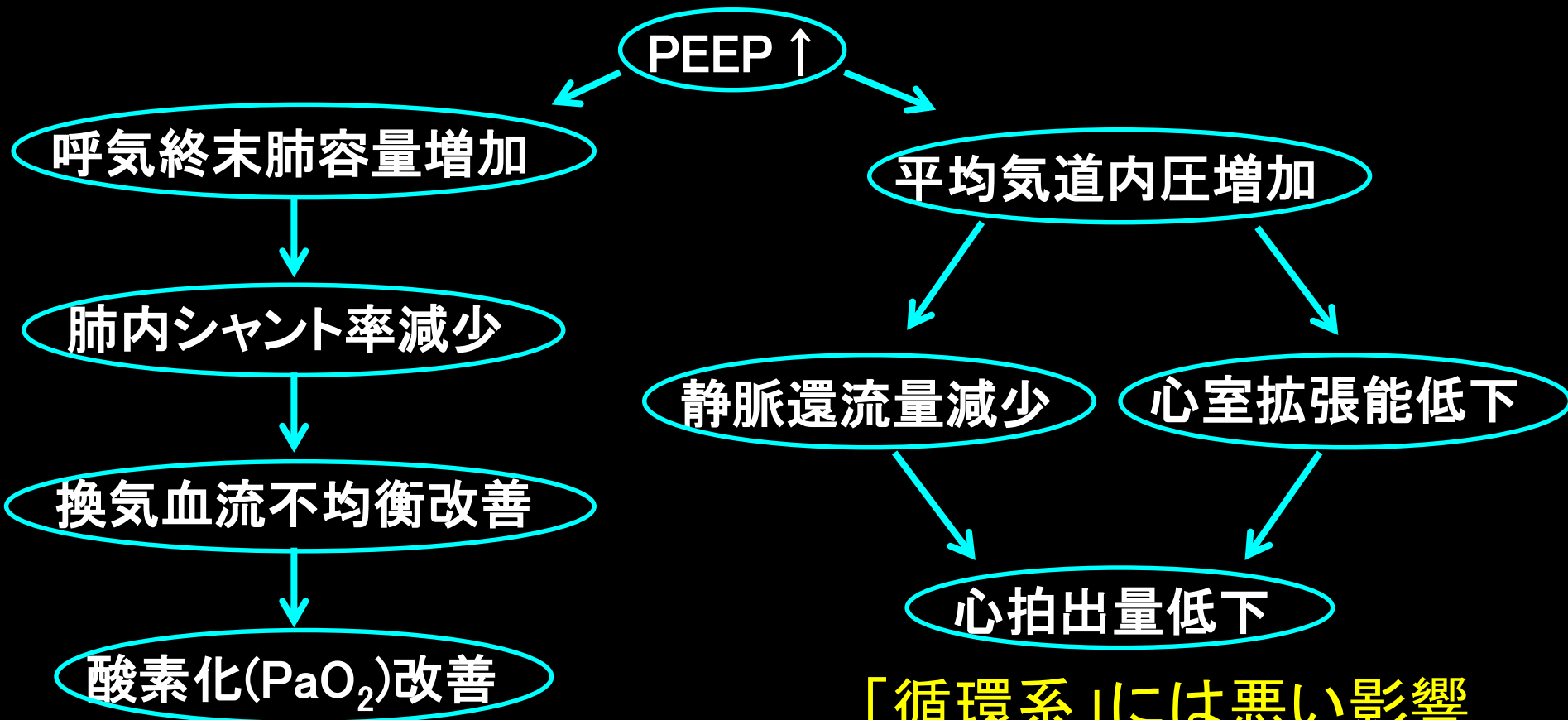
⇒病的肺にとって保護的、酸素化においてメリット



適切な管理が可能であれば従圧式が好ましい

PEEP(呼気終末陽圧)とは

- 呼気終末に陽圧をかけることで肺胞虚脱を防ぐ



「呼吸系」には良い影響

「循環系」には悪い影響

※循環への悪影響が大きいと酸素化も悪化

※心不全等では良い影響の場合あり

PS(圧支持)とは

- 自発呼吸に合わせて設定した圧まで吸気の補助をする

換気方式

- 患者の吸気をトリガー
- 設定圧まで速やかに吸気流量増加
- 吸気流量が低下(25%)するとサポート終了

特徴

- 患者自身がほとんどの呼吸パターンを決定
- 同調性が非常に良い

PSを上昇させると

⇒ 一回換気量 ↑ (+呼吸仕事量低下)

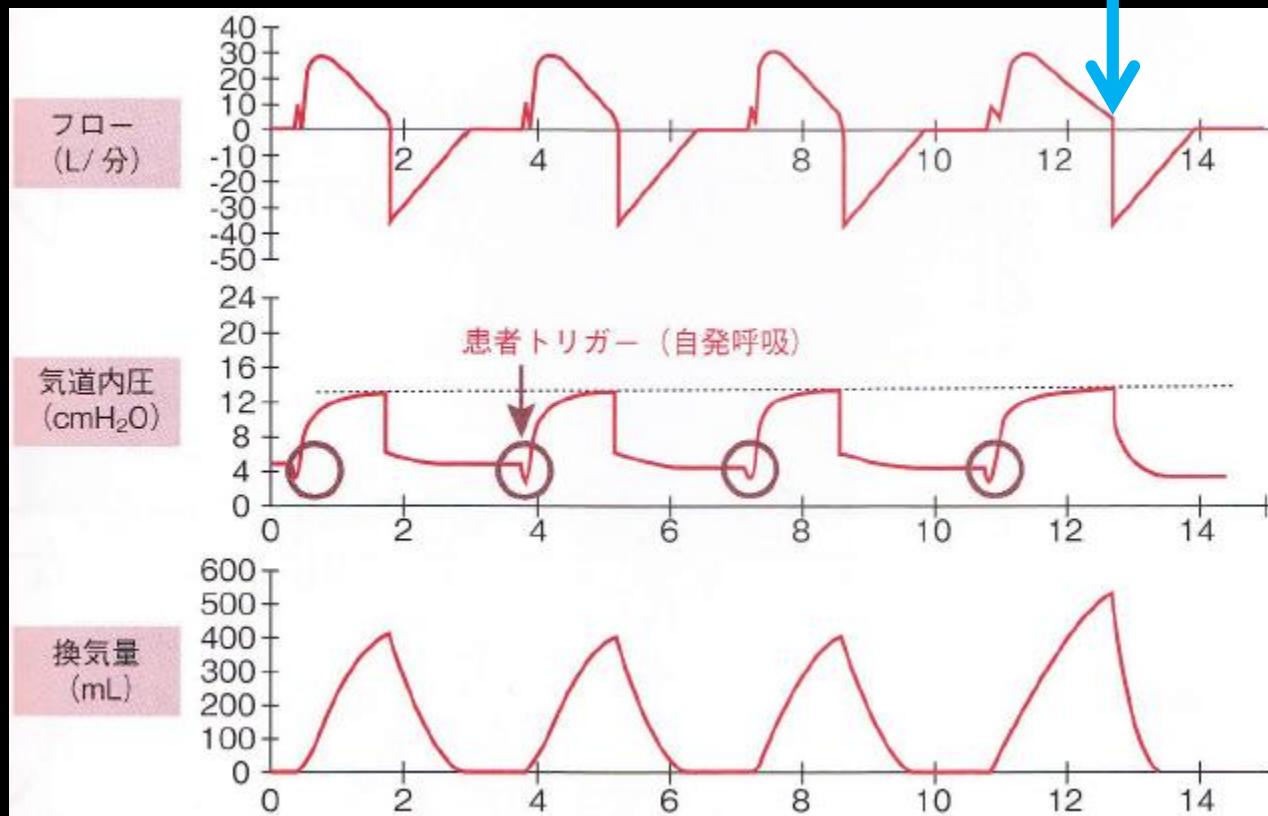


同じ分時換気量であれば換気回数は低下

PSの波形

フロー: 変化
気道内圧: 一定
換気量: 変動

吸気流量低下(25%)で
サポート終了



PSを上げたら換気量は増える？

PSは自発呼吸のサポート

⇒あくまで自分の意志で呼吸

呼吸は・・・O₂を取り込んでCO₂を吐き出すため

⇒酸素が十分であれば換気を規定する因子は？

⇒どの程度CO₂を吐き出したいか



PSを上げててもCO₂を出したい程度は変化しない

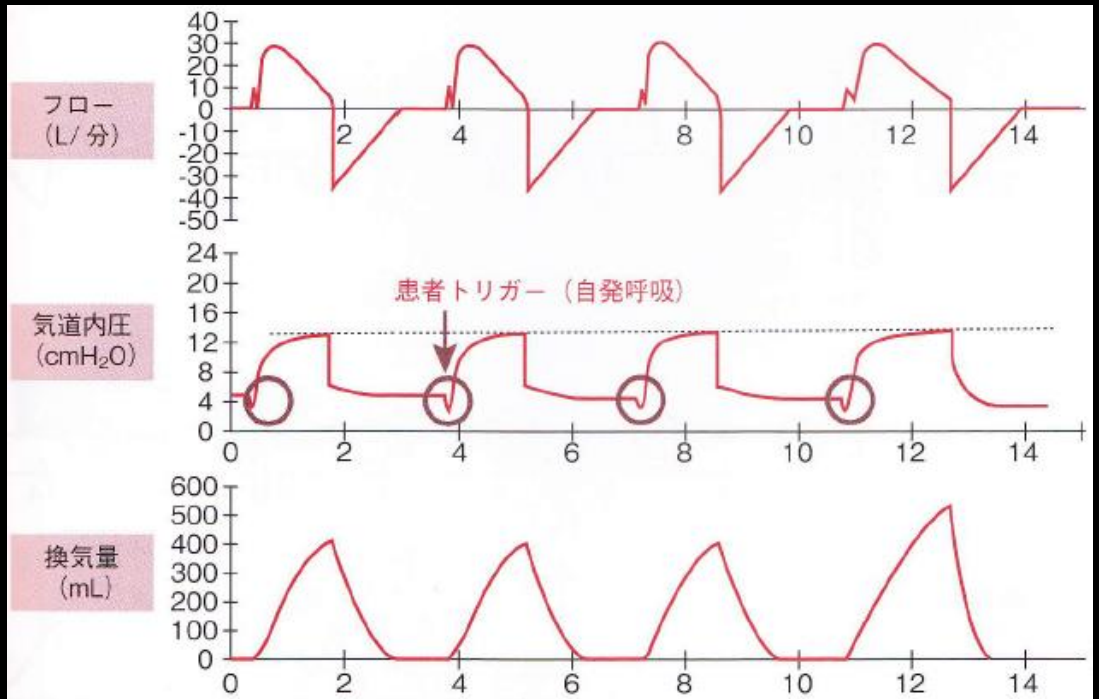
⇒PSを上げててもCO₂の排出量は変化しない

⇒PSを上げてても分時換気量は増えない

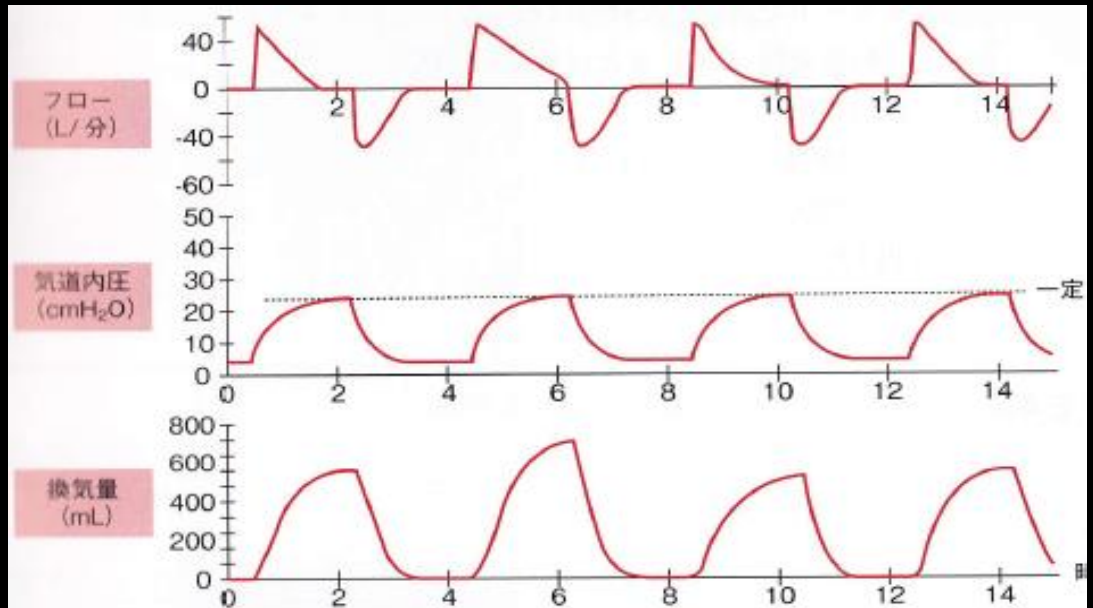


PSをあげると・・・一回換気量増加、換気回数・仕事量減少

PS



PCV



PCVとPSの違い

- PCV: 設定した吸気時間、肺に圧をかける
- PS: 吸気フローが低下すると圧補助をやめる

PS > PCV

患者の自由度はPSの方が高い(同調性が良い)
(PCVでは息を吐きたいのに押されるetc)

PCV > PS

呼吸促迫時もPCVは吸気時間を確保

- ⇒ 同じ圧で平均気道内圧はPCVが高い
- ⇒ 肺容量が増加し血液との接触増加
- ⇒ 酸素化改善

※ただし・・・平均気道内圧を高めに維持

⇒ 心拍出量低下 ⇒ 酸素化悪化する可能性

吸気時間設定

一般的に0.7～1.2秒に設定

●吸気時間を延ばすと(呼気時間を短くすると)

PCVでは一回換気量増加

VCVでは最高気道内圧減少

⇒拘束性障害でメリット、閉塞性障害でデメリット

●吸気時間を短くすると(呼気時間を長くすると)

PCVでは一回換気量低下

VCVでは最高気道内圧上昇

⇒拘束性障害でデメリット、閉塞性障害でメリット

※強制換気時、人工呼吸器との同調性において重要

各換気モードで設定する主な項目

	自発	TV	VR	PEEP	PS	FiO2	吸気時間
A/C	±	+	+	+	-	+	+
SIMV	±	+	+	+	+	+	+
CPAP	+	-	-	+	+	+	-

A/Cとは？

換気方式

- 設定された換気回数**の強制換気**
⇒自発呼吸があれば同期して強制換気
- 設定された回数以上の換気も強制換気

設定項目

一回換気量 (VCV or PCV)、換気回数 (VR)
PEEP、FiO₂、吸気時間 (I:E比)

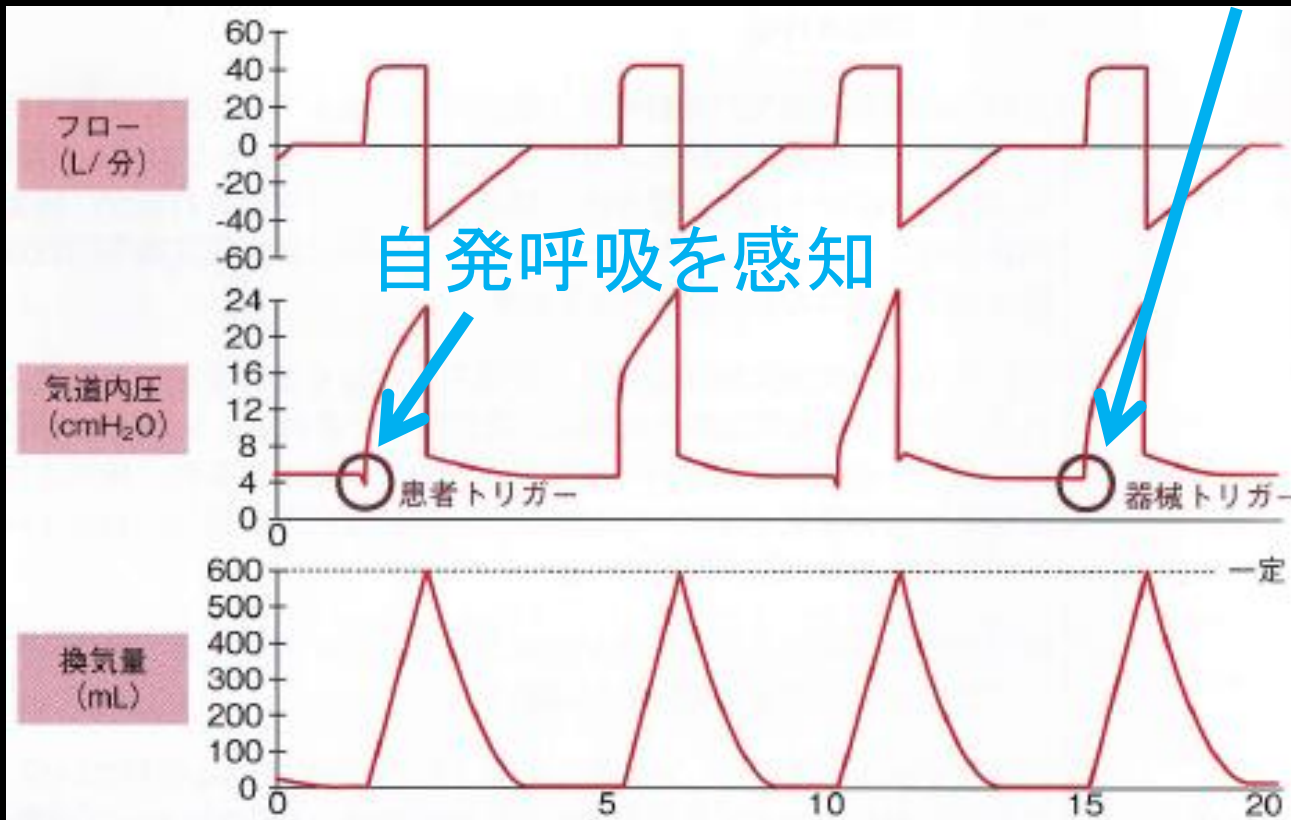
特徴

- 設定の換気量を保持
- 設定回数以上でも自発呼吸に同期して強制換気
- すべての呼吸が強制換気

A/C(VC)の波形

フロー:一定
気道内圧:変化
換気量:一定

自発呼吸がなければ
勝手に強制換気



SIMV(同期式間欠的強制換気)とは？

換気方式

- 設定された換気回数までは**強制換気**
⇒自発呼吸があれば**同期して強制換気**
- 設定された回数以上の換気は**自発呼吸**
- 自発呼吸は通常PSで補助

設定項目

一回換気量(VCV or PCV)、強制換気回数(VR)、PS、PEEP、FiO₂、吸気時間(I:E比)

特徴

- 設定の換気量を保持し、それ以上は患者の自由
- 強制換気と自発呼吸の中間

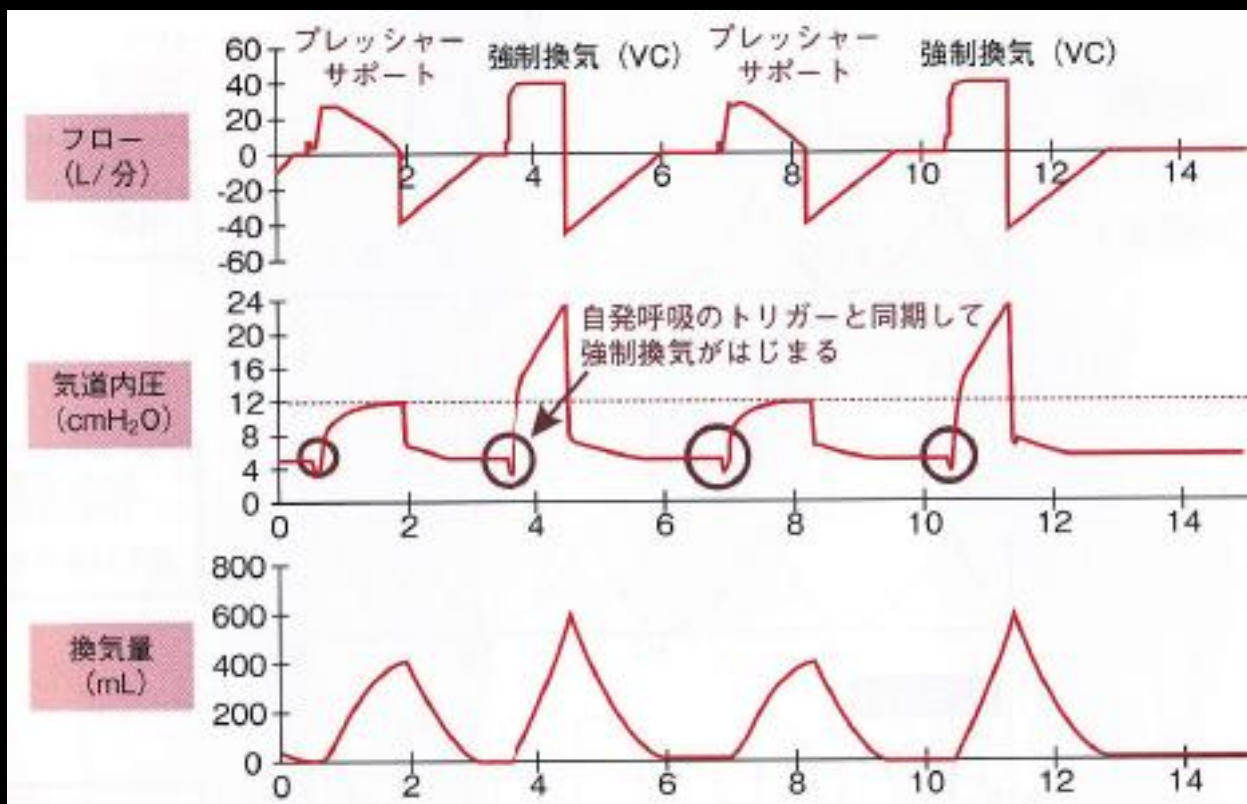
⇒呼吸器離脱に向けて都合がいい・・・とされるが・・・

SIMV (VC) の波形

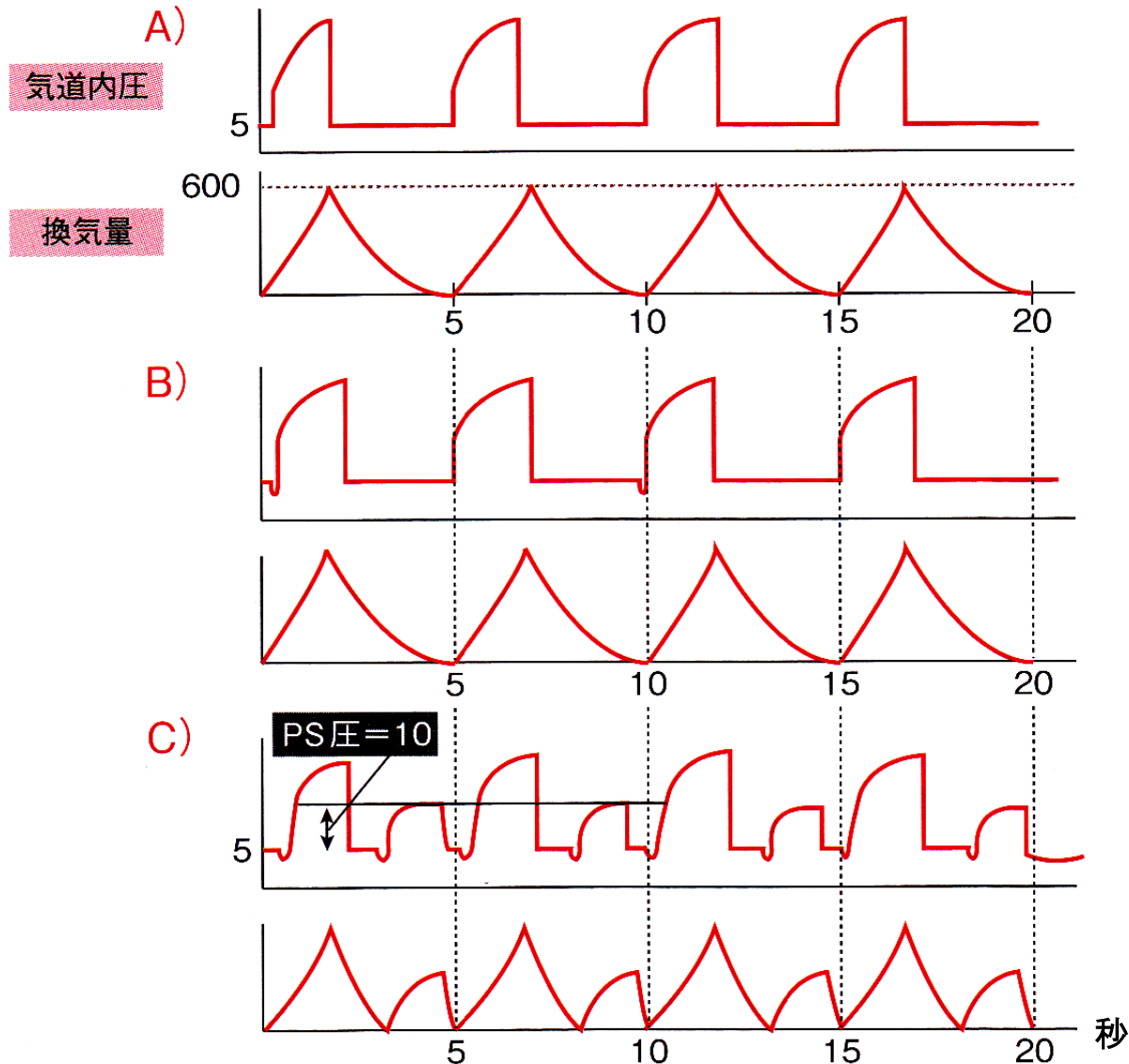
フロー: 変化 (自発呼吸時)、一定 (強制換気時)

気道内圧: 一定 (自発呼吸時)、変化 (強制換気時)

換気量: 変動 (自発呼吸時)、一定 (強制換気時)



SIMV: 自発呼吸回数による違い



A/CとSIMV

共通点 ●設定の分時換気量($TV \times VR$)は保障
●自発呼吸をトリガーに強制換気

異なる点 ●A/Cでは設定回数以上もすべて強制換気
●SIMVでは設定回数以上は自発呼吸

違いは自発呼吸 ⇒ 強制換気より疲れる ⇒ 呼吸仕事量増加
⇒ 吸気時間短縮 ⇒ 平均気道内圧低下 ⇒ 酸素化悪化



呼吸不全急性期はA/Cの方が好ましい

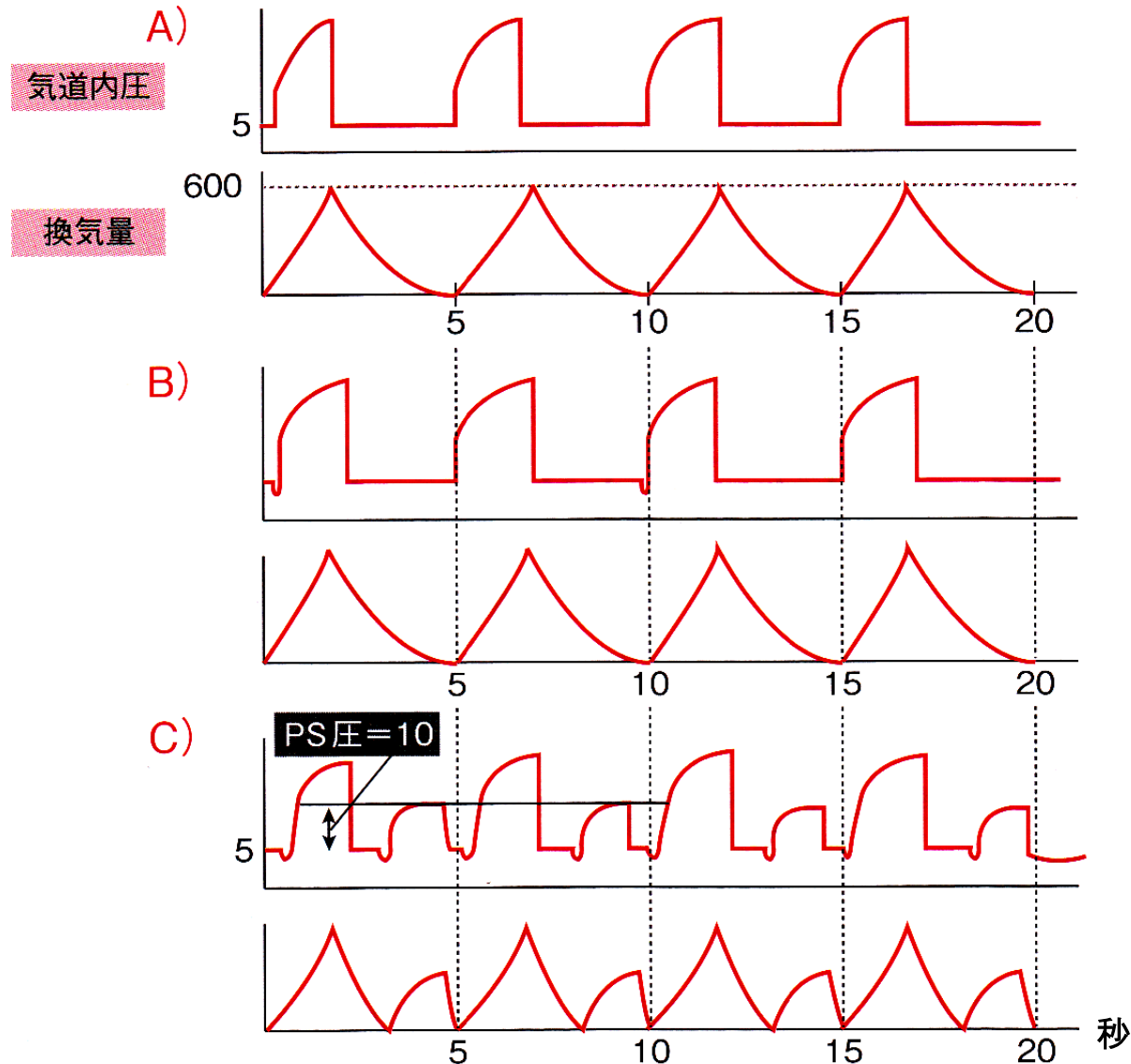
じゃあ、急性期過ぎたら人工呼吸器離脱に向けてSIMV？

⇒ A/Cで設定回数以上のRRがあればCPAPへ移行可能



SIMVを使う必要性はない

SIMV時の気道内圧・換気量波形



$\frac{\text{SIMV } 600\text{mL} \times 12}{(\text{PS}=10) \text{ PEEP } 5}$
自発呼吸が全くない場合

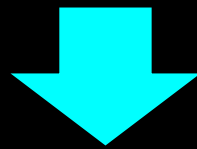
$\frac{\text{SIMV } 600\text{mL} \times 12}{(\text{PS}=10) \text{ PEEP } 5}$
換気刺激が6回/分の場合

$\frac{\text{SIMV } 600\text{mL} \times 12}{(\text{PS}=10) \text{ PEEP } 5}$
換気刺激が24回/分の場合

どんな時にSIMV？

- 強制換気では同調性が悪くCPAPで管理中
- 鎮静等の影響で時々無呼吸出現
- 無呼吸アラームがなって看護師さんに呼ばれる
(無呼吸アラームに気付かれない危険性がある)

⇒SIMVの換気回数を低めに設定



完全な無呼吸を回避しつつほぼ自発呼吸で維持

初期換気設定時の目安

- TV 8～10 ml/kg (肺疾患 6～8 ml/kg)

※体重は普通の体重で良い？

⇒胸郭のサイズが肺のサイズ



胸郭のサイズは身長によって規定⇒予測体重を用いる

予測体重: 男 $50 + 0.91 \times [\text{身長(cm)} - 152.4]$

女 $45.5 + 0.91 \times [\text{身長(cm)} - 152.4]$

※計算が面倒なので**標準体重 = 身長(m)² × 22**で代用

- RR 10～16 回/min
- 吸気時間 0.7～1.2 秒

分時換気量の調整(強制換気)

分時換気量($TV \times VR$)は何を目安に調整? $\Rightarrow PaCO_2$

$PaCO_2$ はどれくらいに調整すれば良い? $\Rightarrow 40 \pm 5$ mmHg

・・・本当に? 例えば・・・ $PaCO_2$ 50 or 60はダメ?

$PaCO_2$ が上昇して何が問題?

\Rightarrow 呼吸性アシドーシス \Rightarrow 酸血症

酸血症(acidemia)はなにが悪い?

$\Rightarrow pH < 7.2$ 循環不全(心筋収縮障害、不整脈)



じゃあ $pH < 7.2$ でなければ構わないじゃないか!!

\Rightarrow 換気量の調整は $PaCO_2$ よりも pH を目安に調整

分時換気量の調整(例外)

分時換気量の調整は基本的に $\text{pH} > \text{PaCO}_2$

PaCO₂が上昇すると・・・

脳血管拡張 ⇒ 脳圧亢進 ⇒ 頭蓋内圧亢進症では×

肺血管収縮 ⇒ 右心負荷 ⇒ 肺高血圧、心不全では×

PaCO₂が低下すると・・・

冠動脈収縮 ⇒ 冠動脈血流低下 ⇒ 冠動脈疾患では×

脳血管収縮 ⇒ 脳血流低下 ⇒ もやもや病等では×

一回換気量or回数？

- 一回換気量 \uparrow \Rightarrow 気道内圧 \uparrow
 \Rightarrow コンプライアンス低下、VCV etcでは注意
- 呼吸回数 \uparrow \Rightarrow 呼気時間 \downarrow 、吸気時間 \downarrow
 \Rightarrow 閉塞性障害、PCV etcでは注意



気道内圧や呼出障害etcの有無に合わせて調整

ちなみに・・・気道内圧が高いと何が悪い？

- 肺、気道の圧損傷
 \Rightarrow ARDSでは肺胞内圧 < 30 cmH₂Oで管理
- 気道内圧が高い換気は苦痛 \Rightarrow 同調性不良

一回換気量 × 回数が同じであれば換気量は一緒？
($TV500 \times RR12 = TV600 \times RR10$?)

答え: 分時換気量は一緒、ガス交換能は違う
⇒ 死腔が存在するから

挿管していない健常成人の生理的死腔は150ml程度
ガス交換に関与する換気 = 肺胞換気
肺胞換気量 = 一回換気量 - 死腔換気量



$TV500 \times RR12$ の分時肺胞換気量は $350 \times 12 = 4200$

$TV600 \times RR10$ の分時肺胞換気量は $450 \times 10 = 4500$

一回換気量の多い換気の方が肺胞内ガス交換能は高い

CPAPとは？

- 持続的に(吸気も呼気も)気道内を陽圧の環境にする

設定項目 PS、PEEP、FiO₂

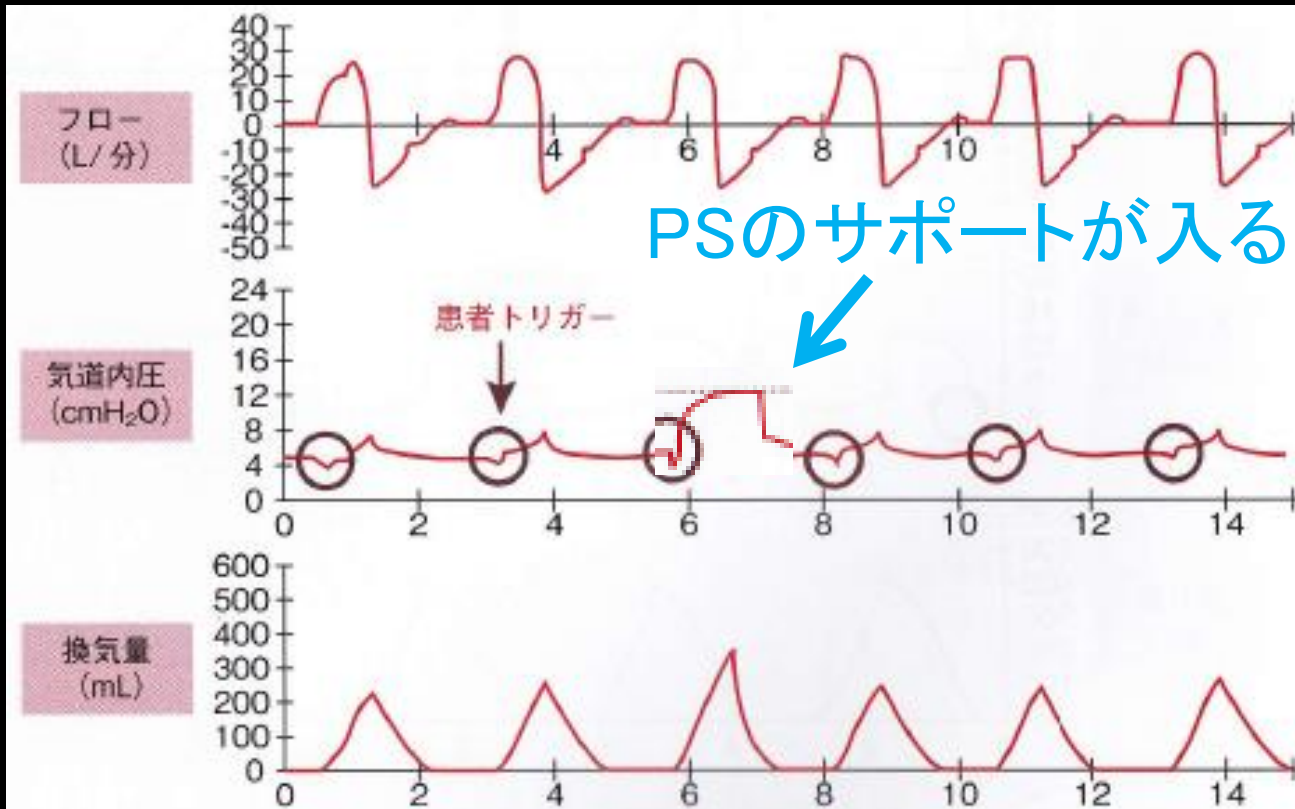
特徴

- 自発呼吸のため根本的に同調性が良い
- あくまで自発呼吸であり分時換気量は調節不能
- 挿管チューブの抵抗を補うためにPSの補助が必要

※PSとCPAPは異なる自発呼吸下換気モード
⇒実際の臨床ではCPAP+PSで使用されているため
「CPAP」として表現されることが多い

CPAPの波形

フロー: 変化
気道内圧: 一定
換気量: 変化



酸素化と換気

人工呼吸器の設定で

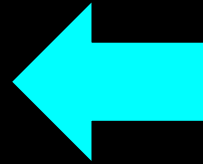
- 二酸化炭素の吐き出し(換気)に関与するものは？
肺胞内からどれだけCO₂を吐き出すことが出来るか！
⇒ TV、RR つまり・・・分時換気量
- 酸素の取り込み(酸素化)に関与するものは？
どれだけの血流がどの程度の酸素と接するか！
⇒ 吸入気酸素濃度(FiO₂)、PEEP
平均気道内圧/肺容量(一回換気量)

酸素化に影響を与える呼吸の要素は？

①肺胞内酸素濃度

- 吸入気酸素濃度
- 酸素消費量
- 肺胞換気量

換気量の増減が
影響するのは



②肺胞－血液ガス交換能

- 換気血流不均衡(肺内・肺外シャント、死腔)
- 拡散障害
- 肺胞－血液接触時間

換気量増加≠酸素化改善

換気量の増加は二酸化炭素の排出を増やすが
酸素化改善にはあまり寄与しない

●肺胞内酸素濃度は肺胞方程式で表される

<前提>

一気圧下で肺胞内ガス分圧は760mmHgを分け合う

$$PAO_2 = FiO_2 \times (760 - 47(H_2O)) - PACO_2 / R$$

※PA: 肺胞内分圧、R: 呼吸商

呼吸商とは...

O₂消費量(V_{O₂})に対するCO₂産生量(V_{CO₂})の割合
通常はV_{CO₂}/V_{O₂} = 200 ml/250 ml = 0.8



PACO₂が上昇するとPAO₂が低下する

PACO₂と酸素化の関係①

FiO₂ = 1.0 とすると

PACO ₂ = 60	⇒	PAO ₂ = 638
PACO ₂ = 40	⇒	PAO ₂ = 663
PACO ₂ = 20	⇒	PAO ₂ = 688

7%

↓

FiO₂が高い場合、PACO₂はPAO₂にあまり影響を与えない

FiO₂ = 0.21 とすると

PACO ₂ = 60	⇒	PAO ₂ = 75
PACO ₂ = 40	⇒	PAO ₂ = 100
PACO ₂ = 20	⇒	PAO ₂ = 125

40%

↓

FiO₂が低い場合、PACO₂はPAO₂に影響を及ぼす

PACO₂と酸素化の関係②

人工呼吸を必要とする重症呼吸不全では・・・

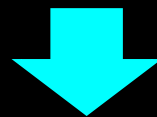
● FiO₂は高く管理されている

⇒「肺胞内酸素濃度」は高い

⇒ PACO₂低下はPAO₂の上昇に影響少

● 酸素化悪化の原因は？

⇒「肺胞－血液ガス交換能」の低下



「換気量増加＝酸素化改善」ではない

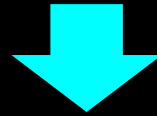
PACO₂と酸素化の関係③

エベレスト頂上近く(8400 mm程度:気圧272 mmHg)では・・・

$$PAO_2 = 0.21 \times (272 - 47) - PACO_2 / 0.8$$

$$PAO_2 = 47.2 - PACO_2 / 0.8$$

⇒「肺胞内酸素濃度」が低い



「換気量増加＝酸素化改善」

エベレスト頂上近くにおける麻酔科医(4人)の
大腿動脈採血による血液ガス平均値

$$PaO_2 = 25 \text{ mmHg}、PaCO_2 = 13 \text{ mmHg}$$

$$PAO_2 \doteq 30 \text{ mmHg}$$

PACO₂と酸素化の関係④

全身麻酔後、麻薬で完全鎮痛をされている患者では・・・

※麻薬で鎮痛をすると呼吸をするCO₂閾値が上昇する
⇒完全鎮痛によりCO₂閾値が 60 mmHgになったと仮定

$$PAO_2 = FiO_2 \times (760 - 47) - 60 / 0.8$$

$$PAO_2 = FiO_2 \times 713 - 75$$

● $FiO_2 = 0.21 \dots PAO_2 = 74$

● $FiO_2 = 0.4 \dots PAO_2 = 210$

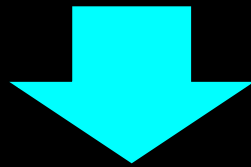


低換気(CO₂貯留)状態において酸素投与は効果大

換気量増加 = PACO₂低下？

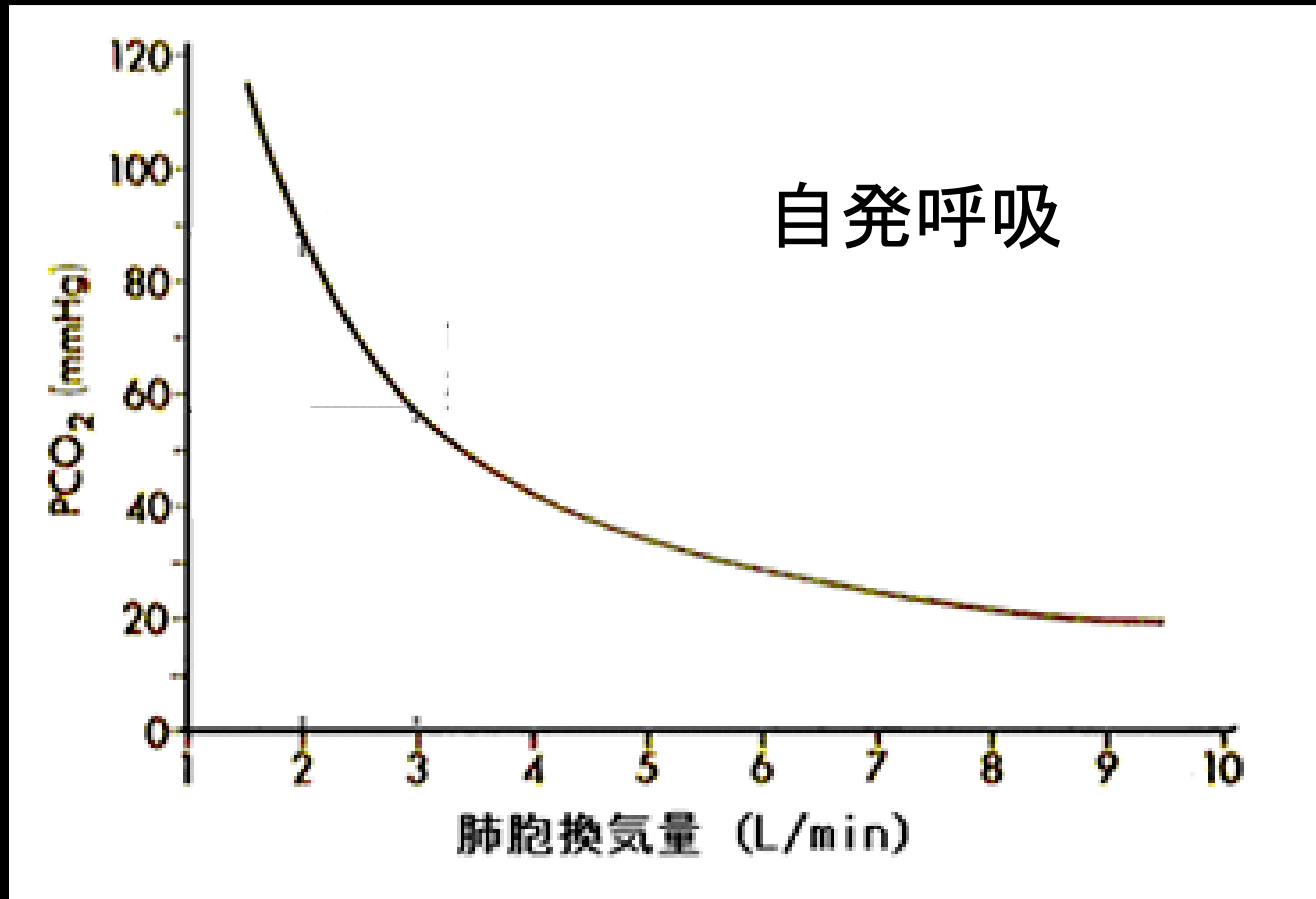
陽圧換気下において換気量が過度に増加すると・・・

- 肺は膨らみやすい肺から膨らむ
⇒Zone1(換気>血流)の割合(死腔換気率)増加
- 平均気道内圧上昇⇒肺血流低下
- 呼気時間短縮⇒呼出障害(閉塞性障害に似た状態)



ある程度以上になると「換気量増加 ≠ PACO₂低下」

肺胞換気量とPaCO₂



陽圧換気では死腔比率が上昇するため
自発呼吸と比べさらに「換気量増加 ≠ PaCO₂低下」

まとめると・・・

- 換気量増加は直接的には $PACO_2$ 低下に関係
- 陽圧換気下において換気量を増加させても $PACO_2$ 低下には限界がある
- $PACO_2$ は PAO_2 に影響を与えるが PaO_2 を直接変化させるわけではない
- 酸素化の悪いような患者の FiO_2 は基本的に高く $PACO_2$ の変化は PAO_2 にほとんど影響を与えない

換気量増加 ≠ 酸素化改善

平均気道内圧・ FiO_2 上昇 = 酸素化改善

平均気道内圧＝酸素化改善？

酸素化に影響を与える呼吸の要素は？

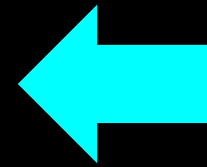
①肺胞内酸素濃度

- 吸入気酸素濃度
- 酸素消費量
- 肺胞換気量

②肺胞一血液ガス交換能

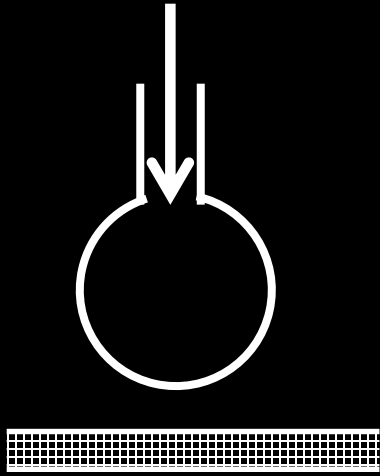
- 換気血流不均衡(肺内・肺外シャント、死腔)
- 拡散障害
- 肺胞一血液接触時間

平均気道内圧が
影響するのは



換気血流不均衡

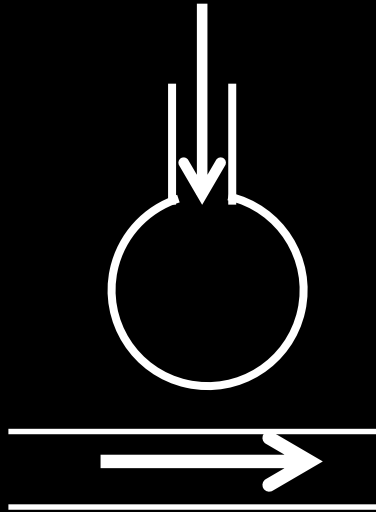
換気○



血流×

死腔

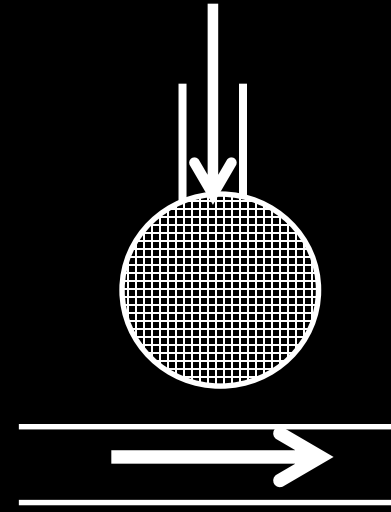
換気○



血流○

正常

換気×

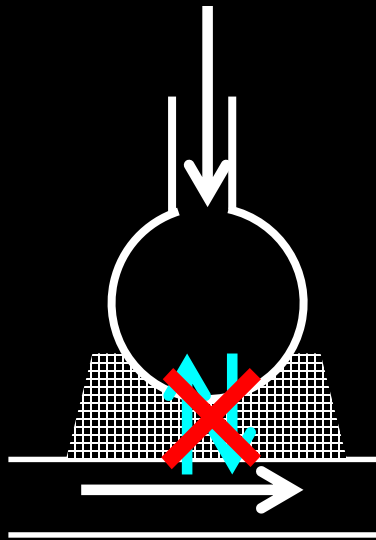


血流○

シャント

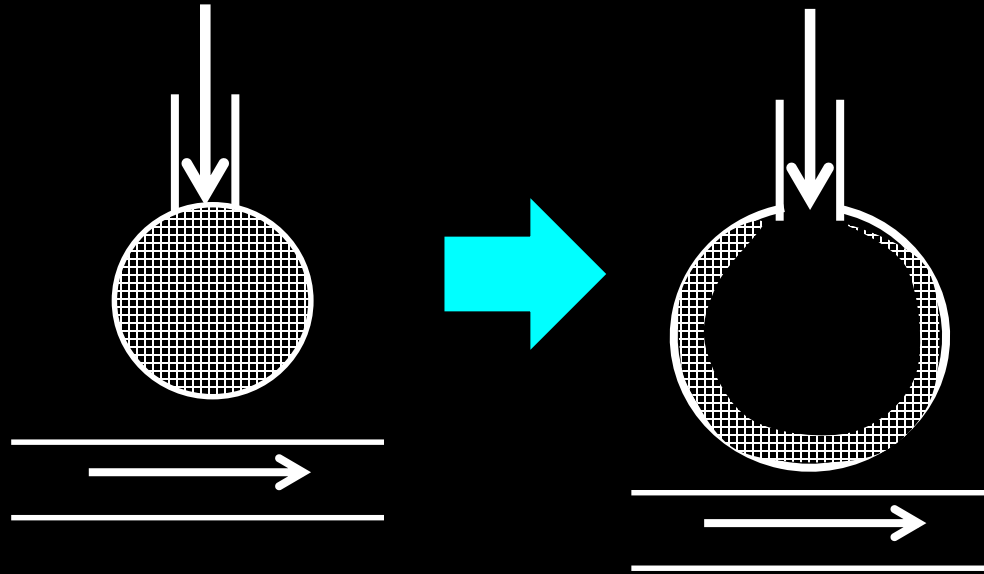
拡散障害

換気○

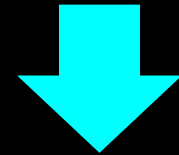


血流○

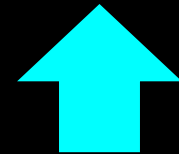
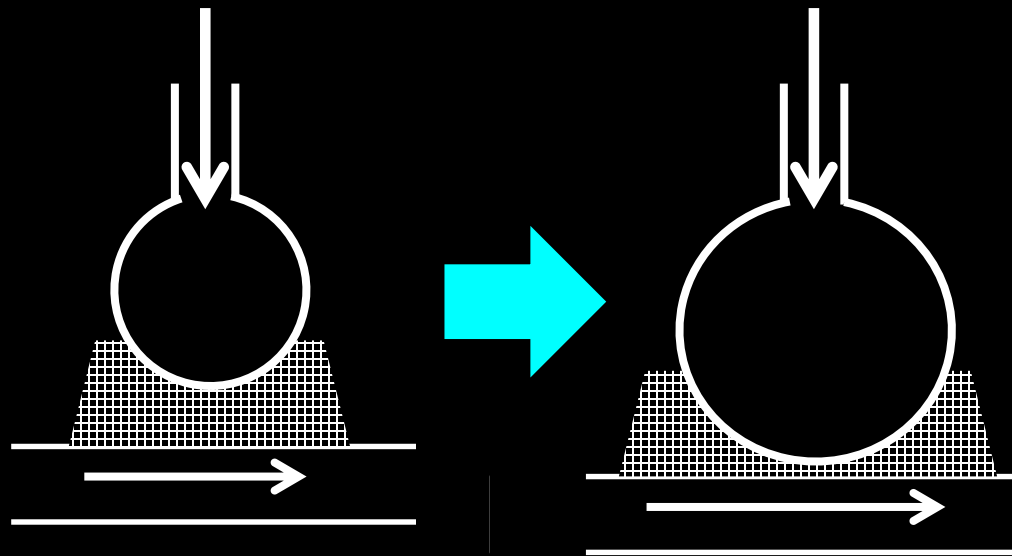
平均気道内圧を上げると...



シャント減少



肺胞-血液ガス
交換能改善



拡散障害改善

酸素はどのくらいあれば十分？

動脈血酸素含有量 = $1.34 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2 + 0.003 \times \text{PaO}_2$

● PaO_2 はほとんど意味がない

● SaO_2 は100%が最高値

● SaO_2 100% \doteq PaO_2 100mmHg

⇒ PaO_2 100mmHg以上の酸素化は原則不要

不要かもしれないけど PaO_2 が高くて何が悪い！

⇒ 酸素毒性、金の無駄

※「酸素運搬」において PaO_2 は意味をなさない
ただし「酸素化の評価」において PaO_2 は重要

SaO₂ 90%はやばい！！……？

呼吸の最終目標は「組織が必要な酸素を得る」

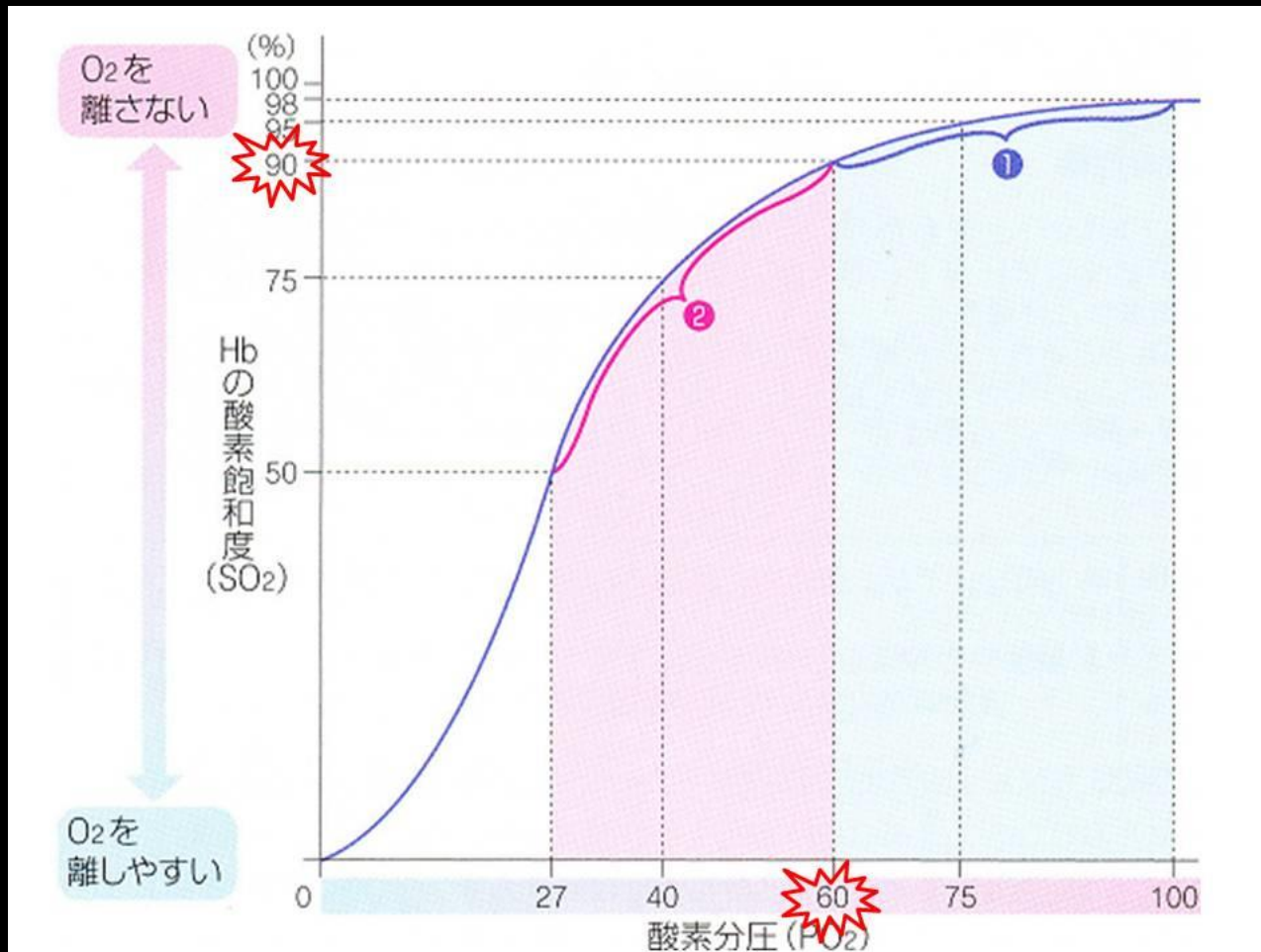
⇒ 需要と供給のバランスが取れる

$$\text{酸素運搬能} = (1.34 \times \text{Hb} \times \text{SaO}_2 + 0.003 \times \text{PaO}_2) \times \text{CO}$$

	Hb (g/dl)	SaO ₂ (%)	CO (L/min)	運搬能 (%)
ふつう	10	100	5	
少し貧血	9	100	5	
貧血	7	100	4	
低酸素	10	90	5	
超低酸素	12	80	6	

※ただし、同じ10%の低下も「SaO₂」と「Hb、CO」で
組織にとっての意義は異なる

Hb酸素解離曲線



SaO₂ < 90%では急激に低下するため危険

SpO₂の目標値は？

SpO₂ 100%の時のPaO₂は？ ⇒100 torr以上

PaO₂ 100 torrでも500 torrでもSpO₂ 100%



PaO₂ 100 torr以上ではSpO₂は酸素化の指標にならない

人工呼吸中の酸素化の指標

FiO₂の変更によりPaO₂は変化する

⇒ PaO₂だけでは酸素化の改善・増悪を評価出来ない



酸素化の指標としてP/F比が用いられる

$$P/F = PaO_2 / FiO_2$$

例： FiO₂ 0.8 : PaO₂ 120 mmHg ⇒ P/F = 150

FiO₂ 0.5 : PaO₂ 85 mmHg ⇒ P/F = 170

※あくまで「酸素化」の指標であり肺の状態評価ではない
PEEP、循環動態、酸素消費量etc様々な影響を受ける

人工呼吸器離脱①

●酸素はどのくらいならOK?

⇒酸素需給バランスが取れる酸素飽和度を維持可能

※基本はPaO₂ 80 mmHg(SaO₂ 95%)程度

フェイスマスクで作れる酸素濃度は?

⇒O₂ 5 L/min⇐FiO₂ 0.4



$P/F > 200$ (80/0.4)

※ARDSの診断基準と一緒に

●二酸化炭素はどのくらいならOK?

⇒生体に影響の出ない程度のpHが維持される



pH > 7.25~7.3を維持可能なPaCO₂に自ら調整できる

人工呼吸器離脱②

- PEEPを 0 cmH₂Oにする必要があるのか？

人は発声、咳嗽等を行うとき、声門が閉じる(狭くなる)ことで適宜陽圧をかけている

⇒挿管チューブが入っていると声門が閉じれない



生理的状态に近づける 3~5 cmH₂O程度は可

- PSは 0 cmH₂Oにする必要があるのか？

挿管チューブは自分の気道(気管)よりも細い

⇒気道抵抗が高く、ある程度の圧補助は残してOK



3~5 cmH₂Oは生理的な範囲内

※チューブの太さ次第で圧補助は上げててもOK

抜管基準

- CPAPモード (PEEP 5 cmH₂O、PS 5 cmH₂O)
- $P/F \geq 200 = PaO_2$ 80mmHg / FiO_2 0.4
- RR \leq 25 回/分
- TV \geq 6 ml/kg (標準体重)
- pH \geq 7.25
- 重度の呼吸苦がない (副呼吸筋使用の有無)
- 循環動態の安定 (昇圧薬使用中でもOK)
- 意識状態 (指示に従えるか? 気道確保可能か?)
- 咳嗽反射の有無 (痰を喀出可能か?)
- 気道狭窄の有無 (咽喉頭浮腫等)

SBT (Spontaneous breathing trial)

開始基準

- $FiO_2 \leq 0.4$ 、 $PEEP \leq 8$ cmH₂O
- PEEP、 FiO_2 が前日よりも改善
- 自発呼吸が十分か
- 昇圧薬を使用せずに $SBP \geq 90$ mmHg

方法

- $FiO_2 \leq 0.5$ でTピース or CPAP ≤ 5 cmH₂O (PS ≤ 5 cmH₂O)
- この設定で成功基準を30分～2時間評価

成功基準

- $SpO_2 \geq 90\%$ かつまたは $PaO_2 \geq 60$ mmHg
- 自発呼吸一回換気量 ≥ 4 ml/kg (予測体重)
- 呼吸回数 ≤ 35 回/分
- $pH \geq 7.3$
- 以下の兆候がない
 - HRが基準の120%以上
 - 重度の副呼吸筋使用、奇異性腹筋使用
 - 冷汗、重度の呼吸苦

SBTは意味がある？

- 目的は「人工呼吸離脱」でSBTは「手段」の一つ
呼吸の目的はO₂の取り込みとCO₂の排泄



目的が達成できればSBTを行う必要はない

ただし・・・

人工呼吸器から離脱できるかどうかの適切な判断が出来ない医師に管理されている場合は有効



不必要な人工呼吸器管理がなされていることが多い
一日に一回SBTを行うことで離脱が早くなる

※人工呼吸器管理に熟知した医師が
管理していれば不要

酸素療法におけるFiO₂

鼻カニューレ

フェイスマスク

リザーバー付き
マスク

酸素流量
(l/min)

FiO₂

酸素流量
(l/min)

FiO₂

酸素流量
(l/min)

FiO₂

1

0.24

5

0.4

6

0.6

2

0.28

6

0.5

7

0.7

3

0.32

7

0.6

8

0.8

4

0.36

9

0.9

5

0.40

10

1.0

6

0.44

※患者吸気流速により変化

リザーバーマスクは特に適切な密着が必要

まとめ①

まず強制換気 (A/C or SIMV) で開始

強制換気の設定は...

- 従量式 (同調性悪ければ従圧式へ)
- TV、RRを設定 (TV 8~10 ml/kg、RR 10~16 回/min)
⇒ 最高気道内圧 (<30 cmH₂O) を目安
- 分時換気量の設定 ⇒ PaCO₂ (40±5 mmHg) を目安
- PEEP (5~10 cmH₂O)、FiO₂ ⇒ 酸素化、循環動態を目安
- PS (10 cmH₂O) ※SIMVの場合
- 吸気時間 1.0秒

まとめ①(今回の内容を理解した場合)

まず強制換気(A/C > SIMV)で開始

強制換気の設定は・・・

- 従圧式 > 従量式
- TV、RRを設定
(TV 8～10 ml/kg(標準体重)、RR 10～16 回/min)
⇒ 肺胞内圧(<30 cmH₂O)を目安に調整
- 分時換気量の設定 ⇒ PaCO₂(pH)を目安に調整
- PEEP(5～15 cmH₂O)、FiO₂ ⇒ 酸素化、循環動態
- PS(5～20 cmH₂O) ⇒ 自発呼吸の回数(SIMVの場合)
- 吸気時間0.7～1.2秒 ⇒ 肺の病態や同調性を目安に調整

まとめ②

自発呼吸出現(同調性不良、呼吸状態改善)
⇒CPAPへ変更

CPAPの設定は・・・

●FiO₂、PEEP⇒酸素化、循環動態

●PS(5～20 cmH₂O)

⇒TV(>6 ml/kg)、RR(<25 回/min)を目安

CPAPモード(PEEP 5 cmH₂O、PS 5 cmH₂O)

P/F(PaO₂/FiO₂) > 200

PaCO₂適正 = 40 ± 5 mmHg

その他: 循環、意識、咳嗽、気道確保

⇒人工呼吸器離脱

まとめ②(今回の内容を理解した場合)

自発呼吸出現(同調性不良、呼吸状態改善)

⇒CPAPへ変更

CPAPの設定は・・・

●FiO₂、PEEP⇒酸素化、循環動態

●PS(5～20 cmH₂O)

⇒TV(>6 ml/kg)、RR(<25 回/min)を目安

※PaCO₂(pH)のコントロールは出来ない

CPAPモード(PEEP 5 cmH₂O、PS 5 cmH₂O)

P/F>200

PaCO₂適正⇨pH>7.25～7.3

その他:循環、意識、咳嗽、気道確保

⇒人工呼吸器離脱

人工呼吸管理における

適切な鎮静・鎮痛の意義

- 呼吸仕事量の軽減⇒酸素需要の減少⇒酸素化改善
- 心拍数低下⇒肺胞－血液接触時間延長⇒酸素化改善
- 同調性改善⇒酸素化改善、肺・気道の圧損傷回避
- ストレス軽減⇒循環動態改善、高血糖や尿量低下改善

鎮静・鎮痛のデメリット

- 人工呼吸器関連肺炎リスク増加
- 呼吸筋委縮、廃用性症候群
- 循環抑制、尿量低下、腸管機能低下

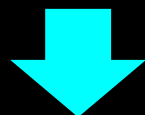
鎮静スケール(RASS: Richmond Agitation-Sedation Scale)

- +4 明らかに闘争的であり、暴力的;スタッフへの危険が差し迫っている
- +3 チューブ、カテーテルを引っ張ったり抜いたりする。または、スタッフに対して攻撃的な行動がみられる
- +2 頻繁に目的の無い動きがみられる、または人工呼吸器との非同調がみられる
- +1 不安や恐れが存在するが、動きは攻撃的であったり活発であったりはしない
- 0
- 1 完全に覚醒はしていないが、10秒を超えて覚醒し、声に対し目を合わせることができる
- 2 短時間(10秒に満たない)覚醒し声に対し目を合わせることができる
- 3 声に対してなんらかの動きがある(しかし、目を合わせることができない)
- 4 声に対し動きはみられないが、身体刺激で動きが見られる
- 5 声、身体刺激で反応は見られない

「自発呼吸」は「出る」ではなく「出す」

自発呼吸下における換気量は

低酸素症がなければ二酸化炭素分圧に依存



鎮静が深ければ呼吸をする二酸化炭素の閾値は上昇

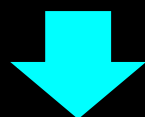


強制換気でPaCO₂ 40 mmHg前後に維持していると
いつまでも自発呼吸が出現しない



人工呼吸期間延長

⇒ 廃用性症候群・人工呼吸器関連肺炎etc



PaCO₂を意識した設定、鎮静のコントロールが重要

機種ごとの設定名称と相違点①

機種	A/C	SIMV	CPAP(+PS)
Servo-i	VC(or PC)	SIMV	CPAP
Bennet 840	A/C	SIMV	SPONT
LTV 1000	Assist/control	SIMV/CPAP	SIMV/CPAP

※LTV 1000について

- CPAPは「SIMV/CPAP」で換気回数 0 の状態
- Assist/controlで換気回数 0 の設定が可能
⇒自発呼吸があれば強制換気(なければ無呼吸)

機種ごとの設定名称と相違点②

- Servo-iのPS(PC)は「PS(PC) above PEEP」という表現
⇒PEEPに上乗せする圧
- Bennet 840のPS(PC)は「PS(PC)」という表現
⇒PEEPに上乗せする圧
- LTV 1000のPCは「吸気圧」、PSは「圧サポート」という表現
⇒PEEPを含んだ圧



Servo-i(PC above PEEP 10、PS above PEEP 10、PEEP 5)
=Bennet 840(PC 10、PS 10、PEEP 5)
=LTV1000(吸気圧 15、圧サポート 15、PEEP 5)

触れないけど大事なこと

- 適切な鎮静、鎮痛管理
- 呼吸生理
- 循環管理
- トリガー感度、吸気フロー等
- 呼吸筋疲労、リハビリ、栄養
- 各病態に合わせた人工呼吸器調節（肺保護換気）
- 人工呼吸器関連感染症
- Auto-PEEP
- 酸素需給バランスをとるということ
- アラームの設定
- 気道内圧（プラトー圧、ピーク圧）
- 減らすのor増やすのはPEEPかFiO₂か？（酸素毒性）
- グラフィックモニターの見方
- 喉頭浮腫（カフリークテストetc） などなど（順不同）

注意

- A/C (PCV) より CPAP + PS の方が酸素化が良いことがある
- PS を上昇させると分時換気量が増えることがある
- 基本的な考え方として「A/C > SIMV」だが SIMV が絶対的にダメなわけではない
- PaCO₂ を低下させる目的で「自発呼吸 ⇒ 強制換気」へ変更し設定上の換気量を増やすと、逆に PaCO₂ が貯留することがある
- 「換気量増加 ≠ 酸素化改善」だが無関係ではない
- 「P/F < 200 = 抜管できない」ではない

最後に

- 手段が目的になってはいけません
- 「やり方の順守」ではなく「目的の達成」が重要
- どんなやり方、手段も必ずメリット・デメリットが存在する
- マニュアルやガイドラインを知ることは非常に大事だが所詮「多数にとって正しいもの」でしかない
- やり方に囚われず、選んだ手段のメリット・デメリットを考慮しながら、患者状況に合わせた最適な管理を考えれる医師になりましょう

人工呼吸管理で困ったら
ICU (or 麻酔科)に相談を