人 工 呼 吸 器

和歌山県立医科大学附属病院
臨床工学センター

中村　一貴

呼吸の仕組

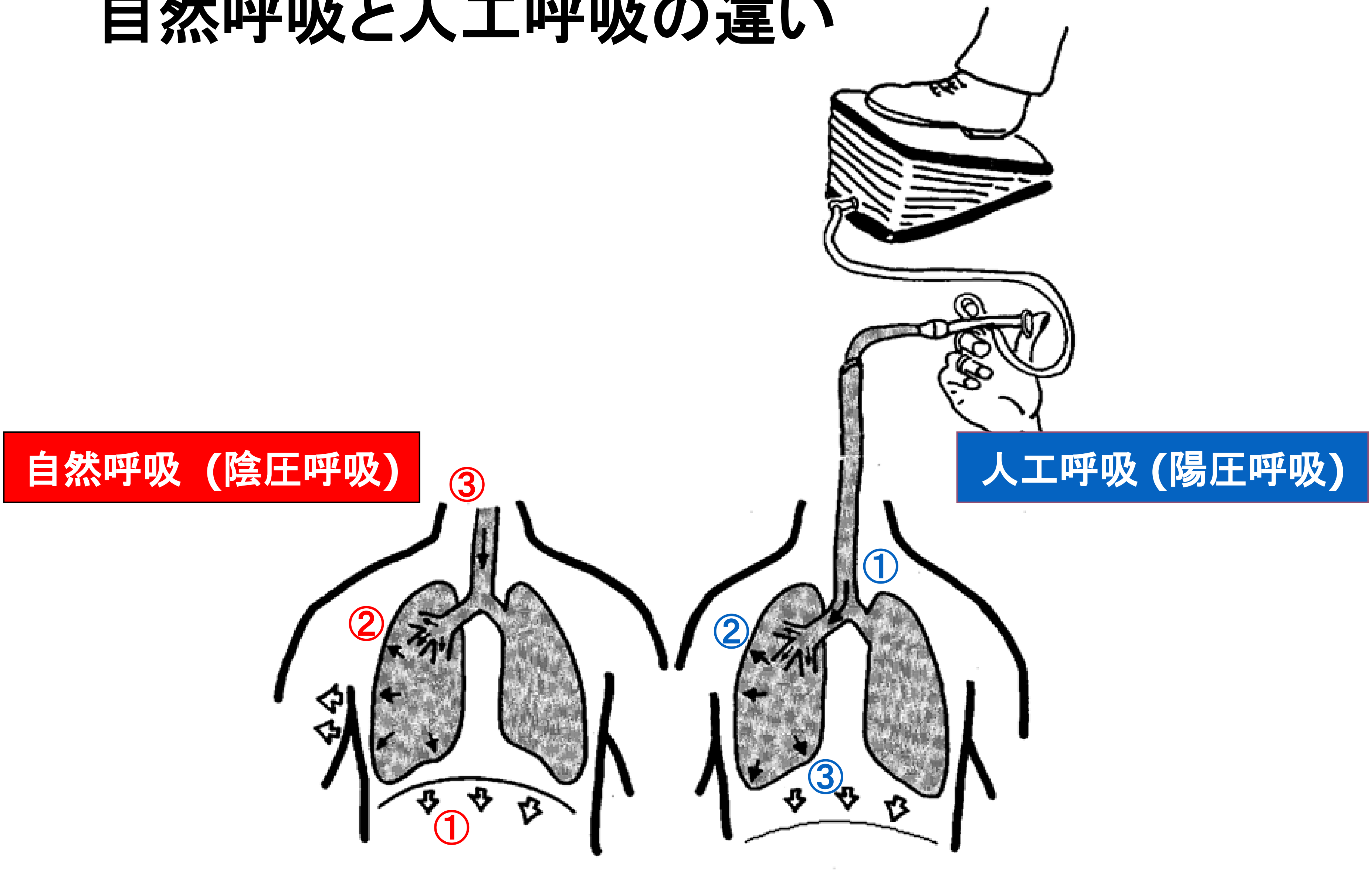
換気	鼻・口を介してガス(O_2・CO_2)が出入	ポンプ機能 ・中枢呼吸 ・胸郭・気道 ・呼吸筋	外呼吸
分布	肺内で呼吸ガスを(各肺胞へ)分配		
拡散	肺胞気と肺毛細血管のなかでO_2とCO_2の交換	ガス交換 ・肺	
血流	血行動態・各臓器へ酸素を運搬・消費		内呼吸

これらを人工呼吸器で代行する

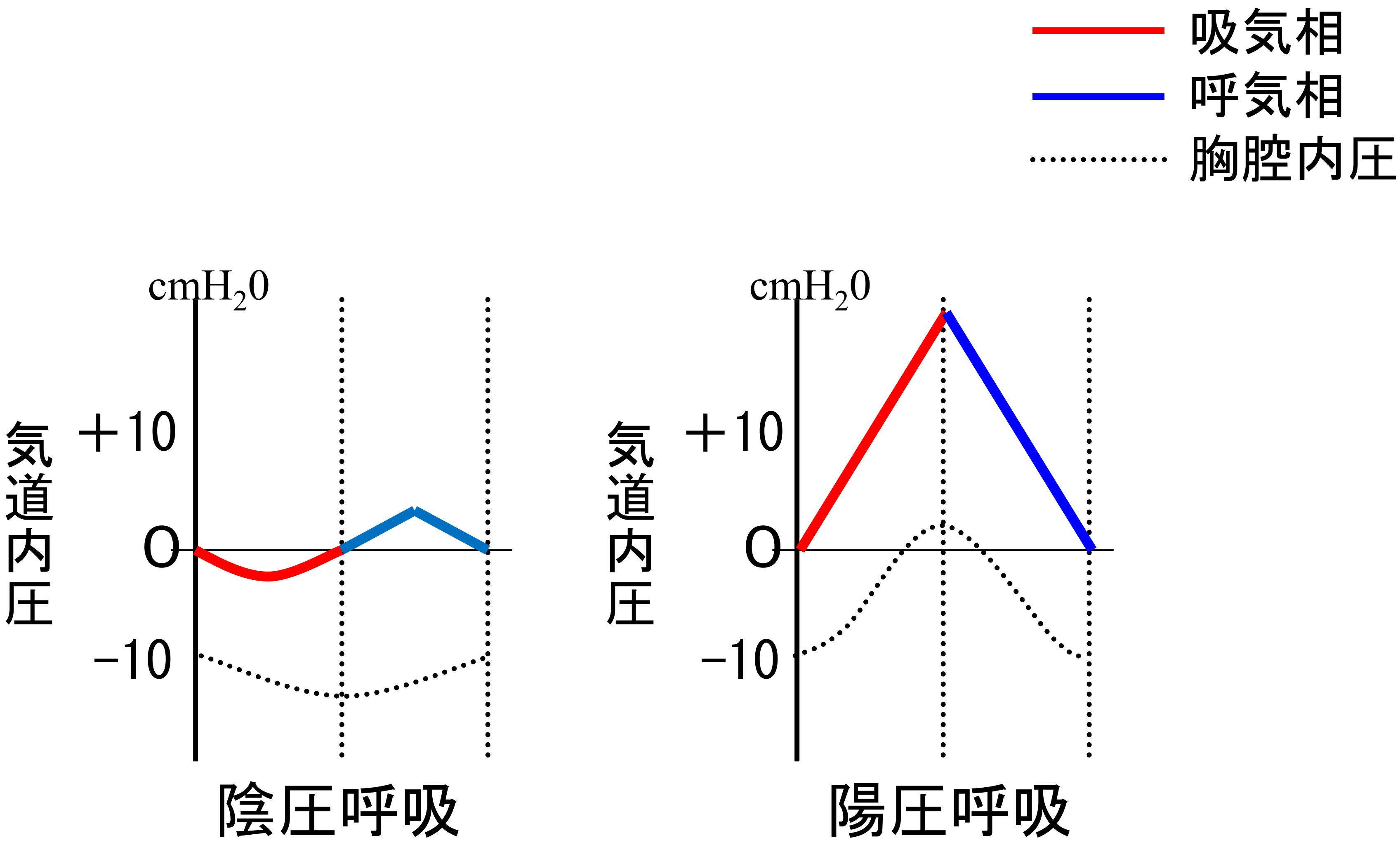
人工呼吸器とは

生体が何らかの原因で呼吸が正常にできなくなった（呼吸不全）とき、その呼吸を人工的に補助または代行する機器のことを、人工呼吸器という。

自然呼吸と人工呼吸の違い

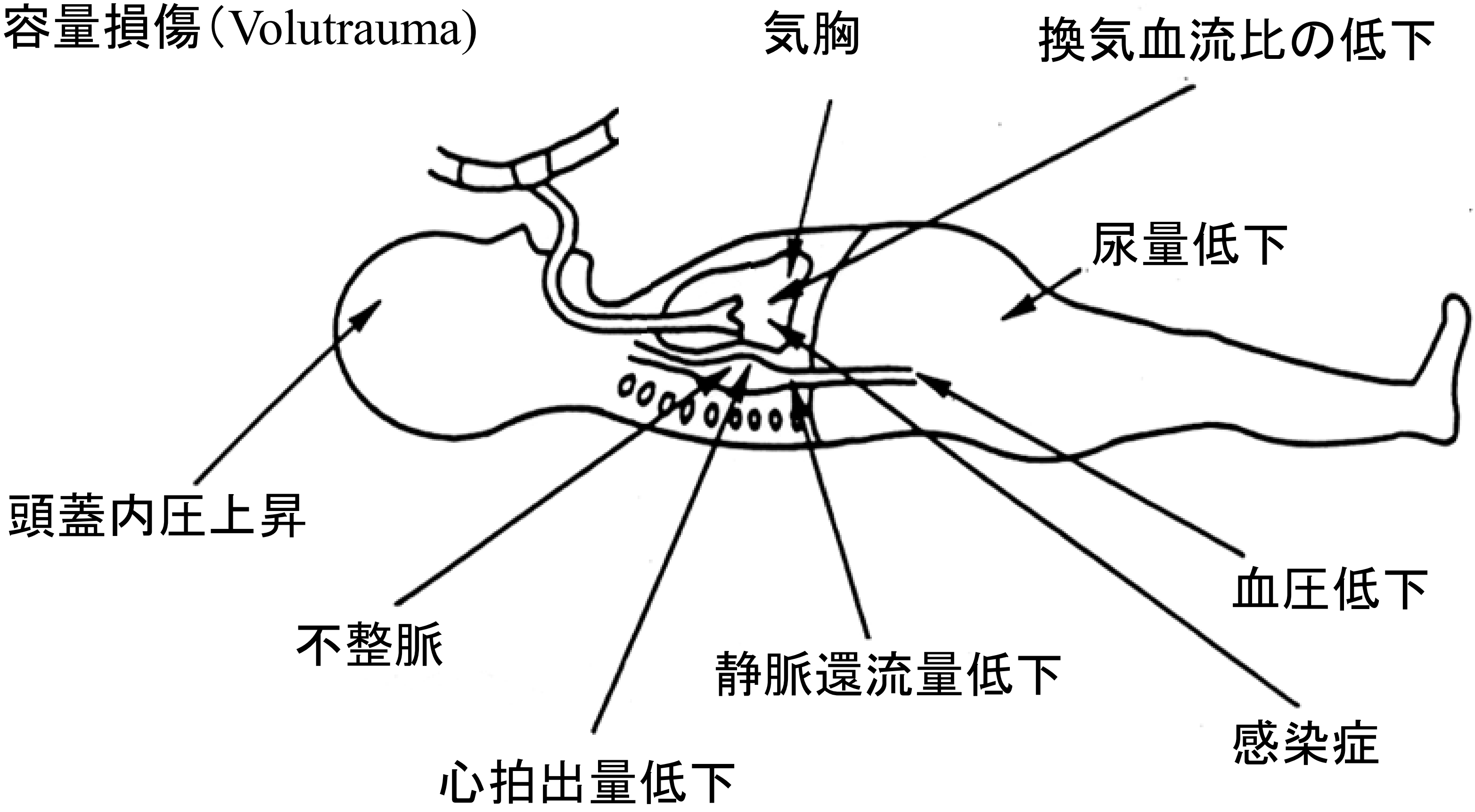


自然呼吸と人工呼吸の違い

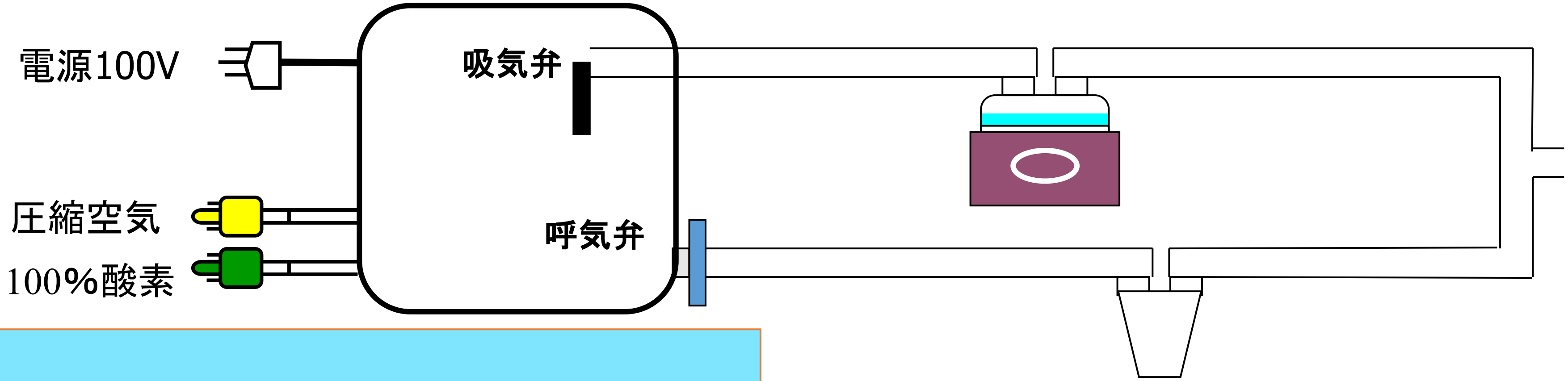


陽圧呼吸による影響

- 心拍出量の減少
- 圧損傷(Barotrauma)
- 容量損傷(Volutrauma)



人工呼吸器の構造



駆動源

電源供給部
ガス供給部
- 100%酸素
- 圧縮空気

本体内部

電気制御系
ガス制御系
- ブレンダ
- 吸気弁
- 呼気弁

人工呼吸器本体

呼吸回路

吸気側
呼気側
ｳｫｰﾀｰﾄﾗｯﾌﾟ

加温加湿器

滅菌蒸留水
・ヒータ付
・ヒータ無

・人工鼻

ガスの温度と水分量

	医療ガス	室内空気	肺
温度	15℃	20℃	37℃
相対湿度	2%	50%	100%
絶対湿度	0.3mg/L	9mg/L	44mg/L

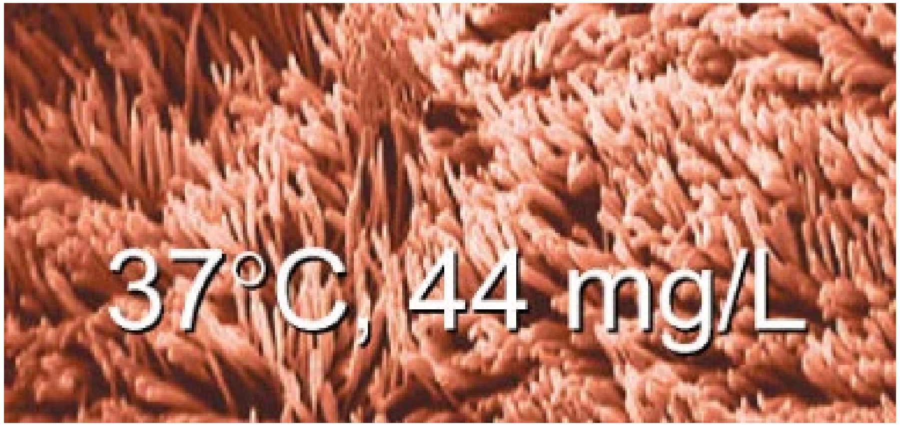
相対湿度：空気中に含まれる水蒸気の量と、その温度の空気が含み得る水蒸気の最大量との比率

絶対湿度：1立方メートル中の水蒸気の質量

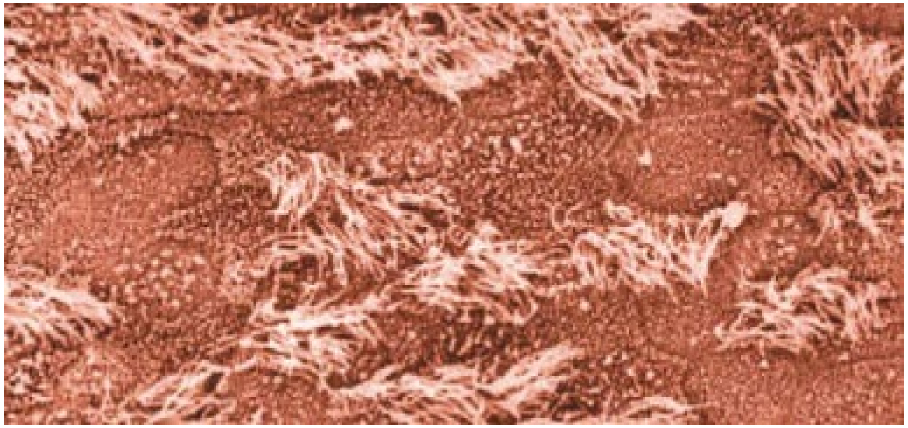
鼻腔の役割

- 気道の乾燥防止
  - 気管･気管支の繊毛運動
    異物の混入防止、排出
  - 分泌物の粘調化防止
    痰の吐き出しやすさ
  - 粘膜への刺激防止
    ガスの通りやすさ

気道の状態

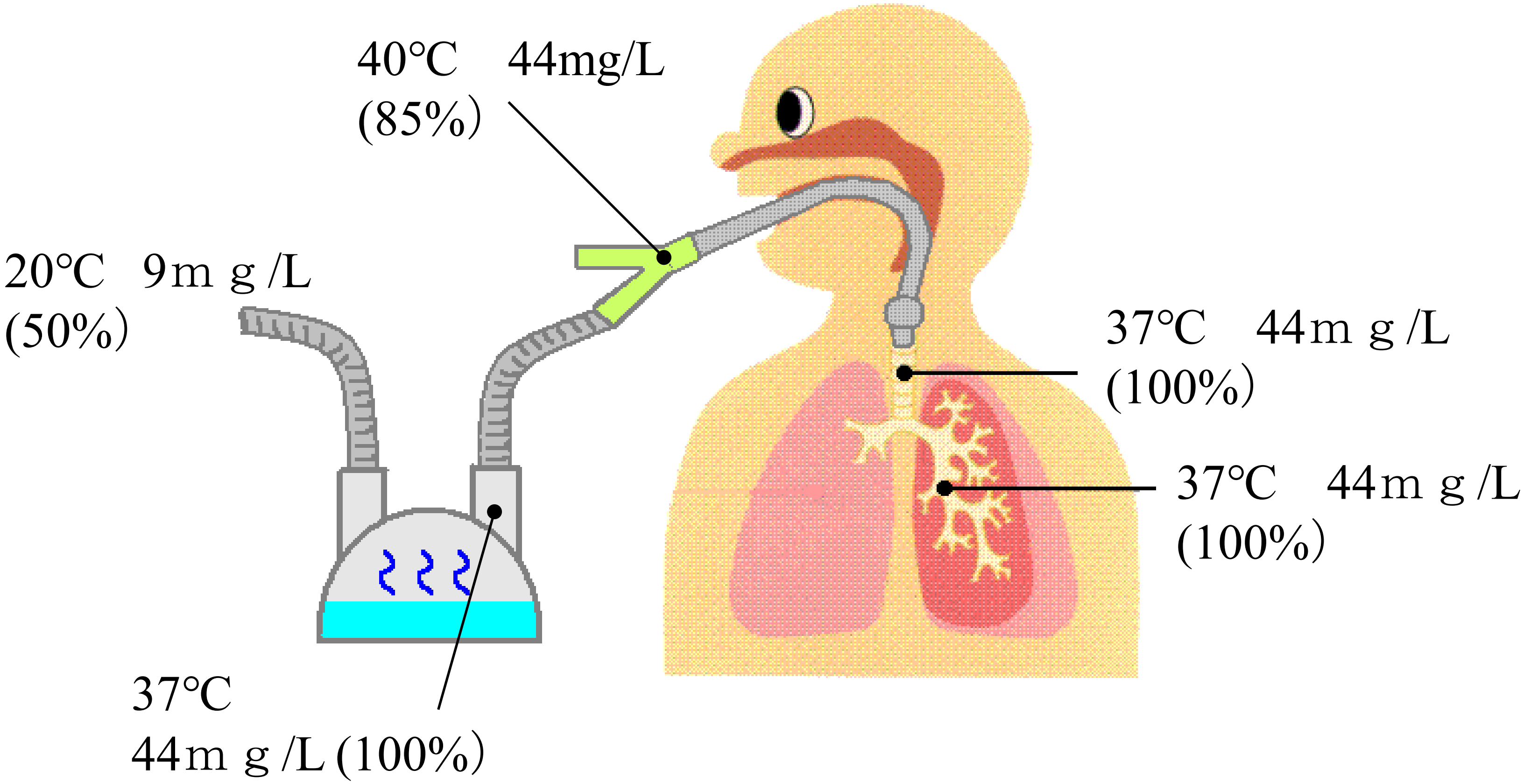


適切な加湿

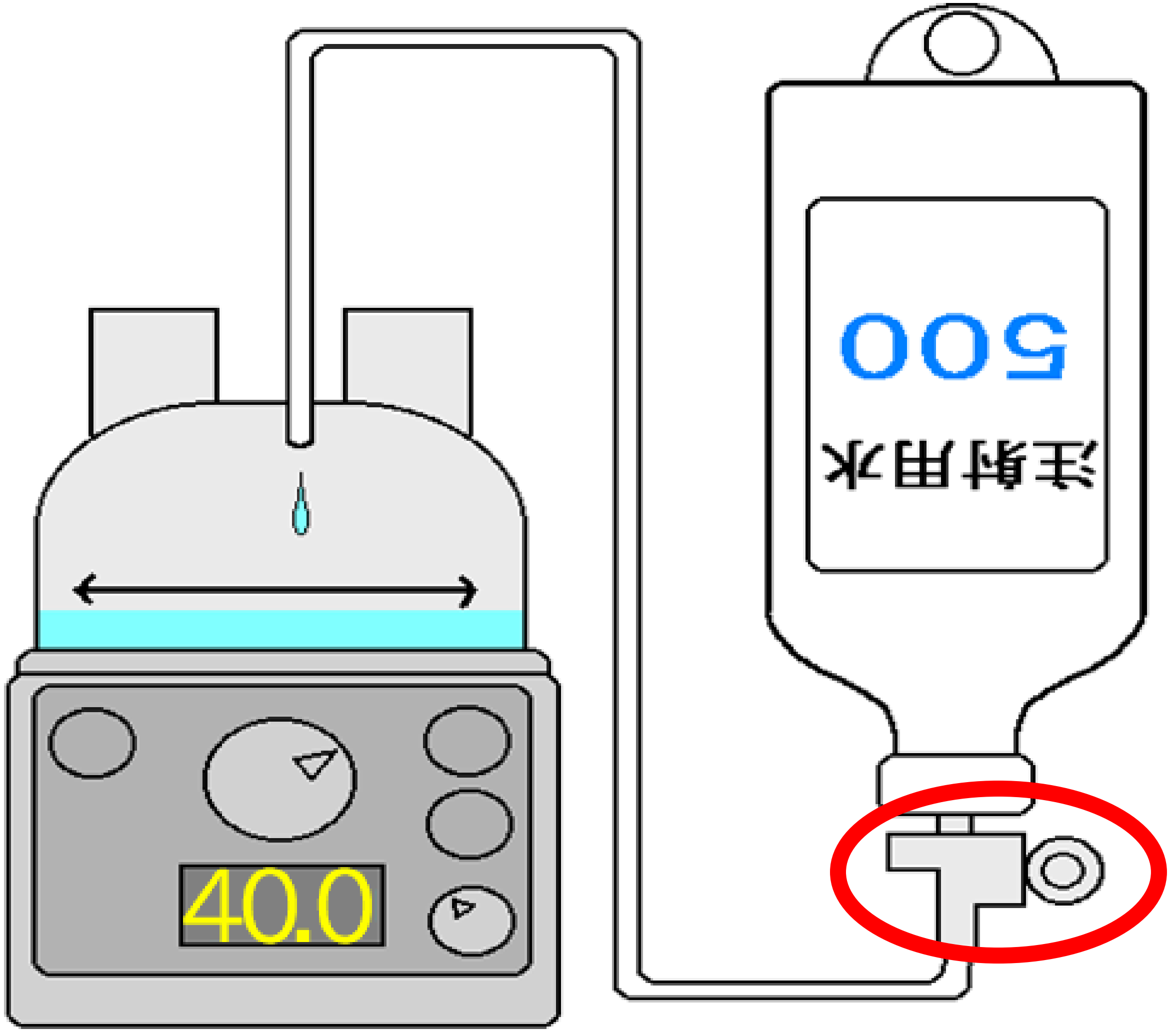


不適切な加湿

加温加湿器



加温加湿器

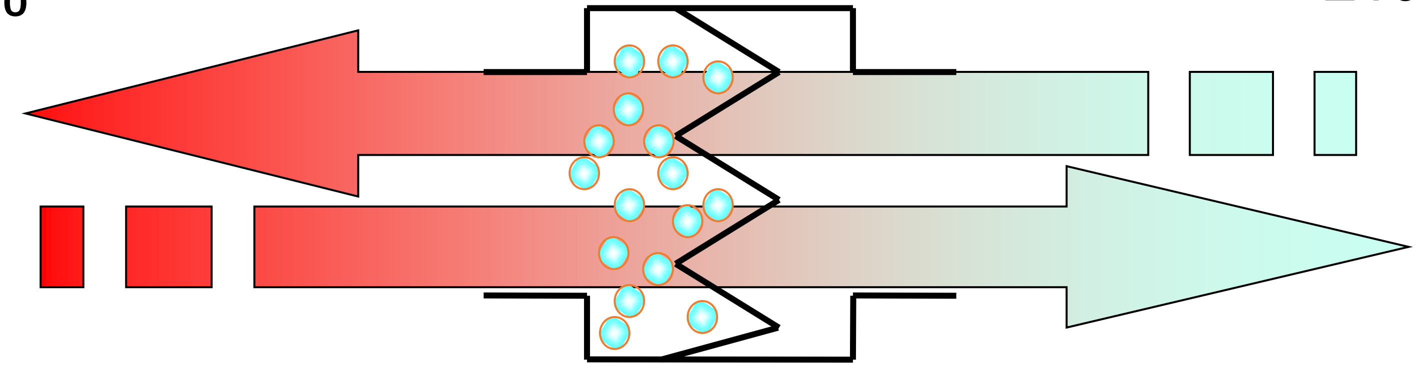


人工鼻: HME (Heat and Moisture Exchanger)

- 患者自身の呼気ガスに含まれる水分と熱を貯え、次に行われる吸気のガスに水分と熱を与える。

患者側
33±3℃
95±5%

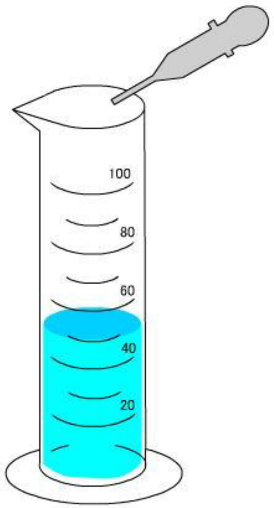
人工呼吸器側
15℃
2%



人工鼻の禁忌

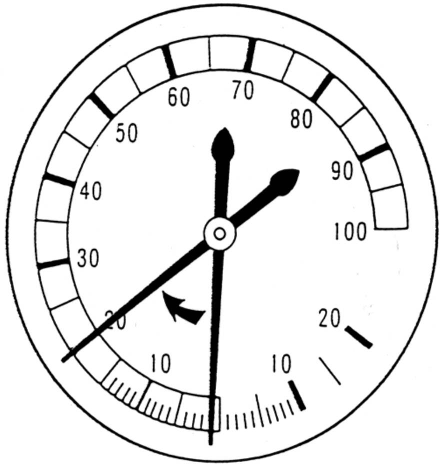
気道内分泌物が多い 気道内から出血している	人工鼻の目詰まりを起こす可能性がある
呼気一回換気量が少ない	一回換気量が少ないと、人工鼻の死腔の割合が増加し換気できない危険性がある
低体温(32°C以下)	呼気温が低くなり人工鼻の温度が上がらない
気道分時換気量が多い (分時換気量10ℓ以上)	分時換気量が多すぎると、人工鼻の抵抗が高くなり呼気が正常に終了できなくなる
ネブライザーの使用	人工鼻の目詰まりを起こす危険性に加えて、薬剤が気道に達しない可能性がある

陽圧式人工呼吸の分類



従量式
一定の換気量を供給
管理が簡単

肺損傷の心配



従圧式
一定の圧力を供給
低圧コントロール
リークに強い
換気量が一定でない

時間式
一定時間供給

調整換気：CMV（Controlled Mandatory Ventilation）

自発呼吸がない患者に対し、人工呼吸器で設定したタイムインターナルでガスを送り込む方式

A/C（Assist Control）

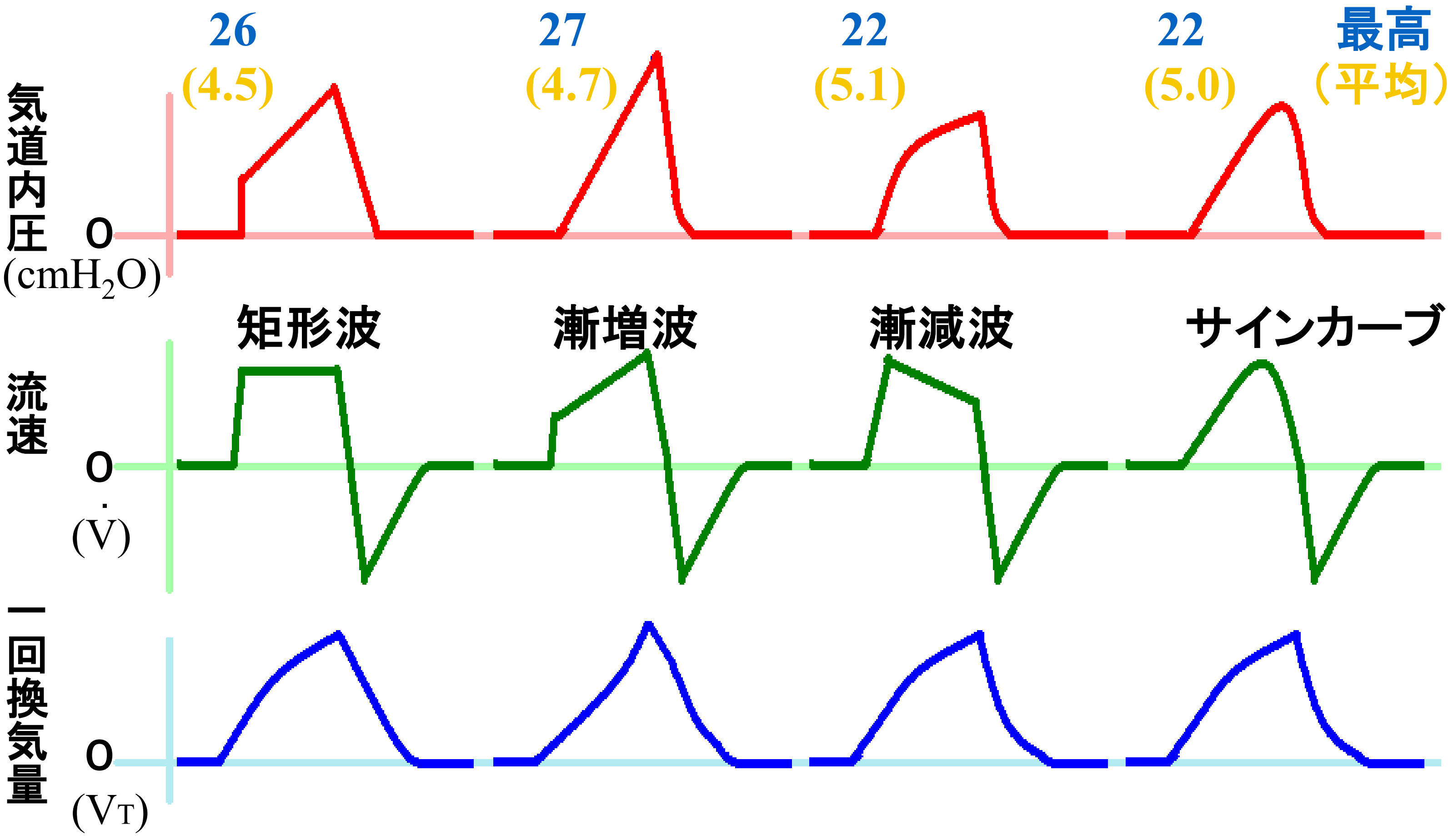
従量式（量規定）
VCV（Volume Control Ventilation)

- 一回換気量
- 吸気時間(I:E)
- 換気回数

従圧式（圧規定）
PCV（Pressure Control Ventilation)

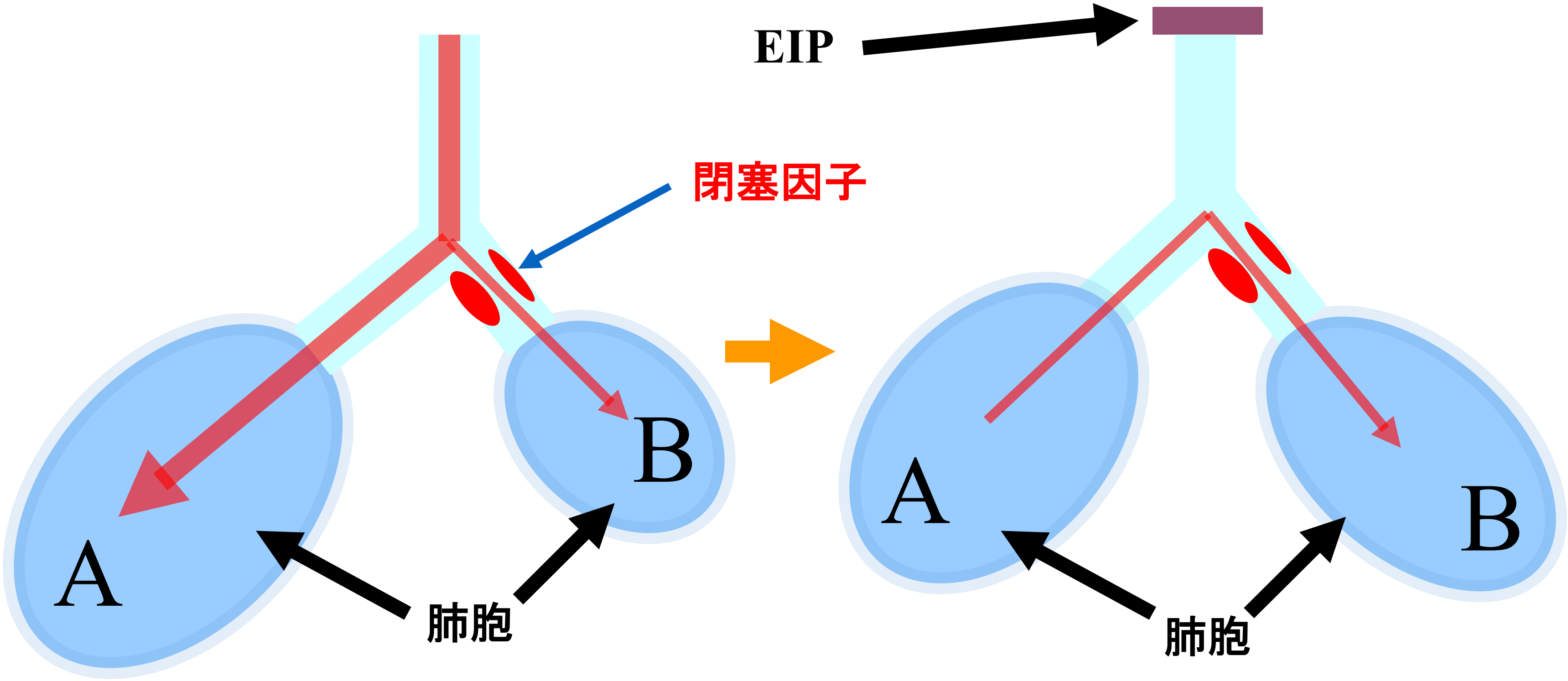
- 吸気(PC)圧
- 吸気時間(I:E)
- 換気回数

VCVの波形

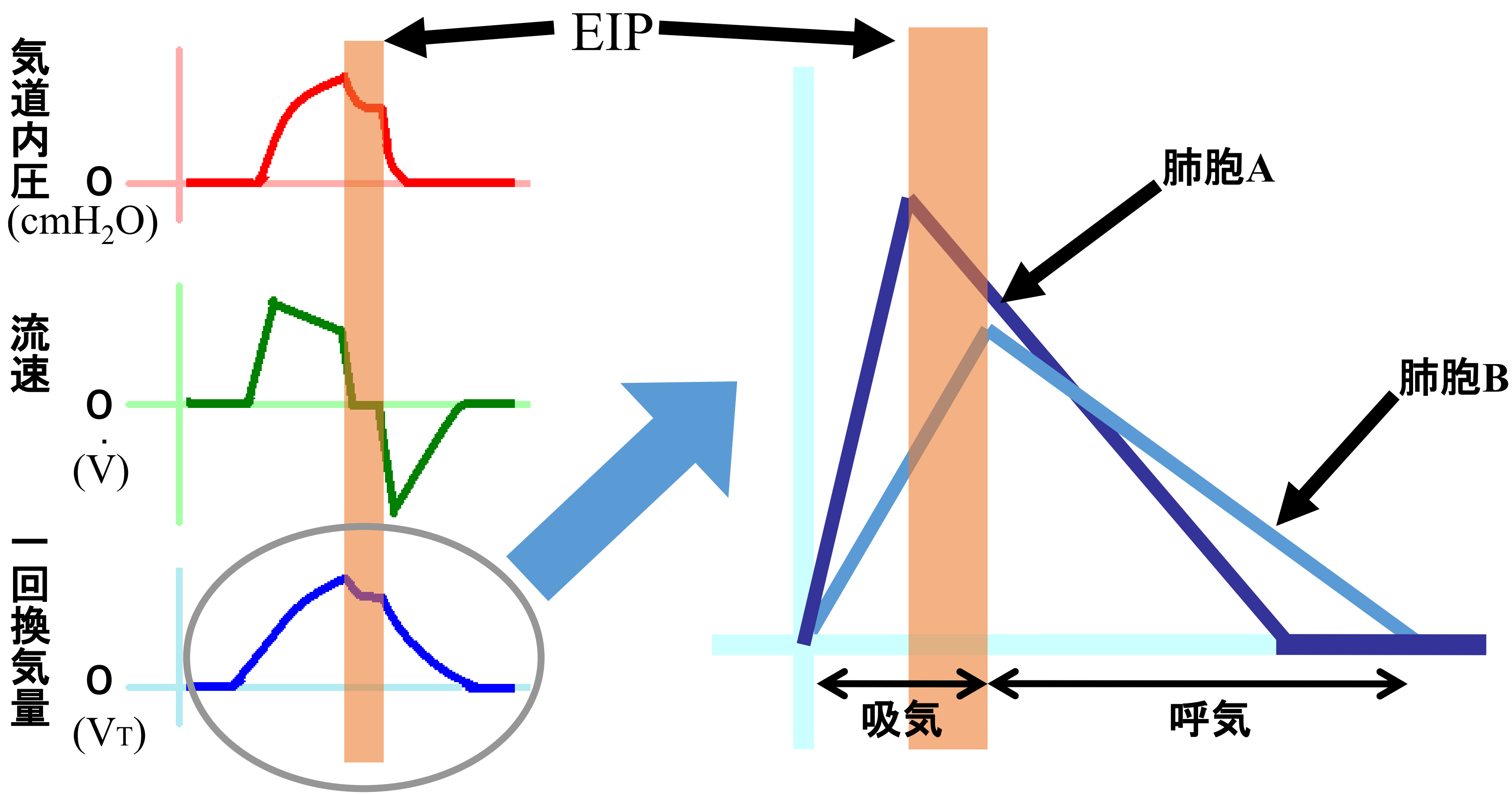

26
(4.5)
27
(4.7)
22
(5.1)
22
(5.0)
最高
（平均）
気道内圧
0
(cmH2O)
矩形波
漸増波
漸減波
サインカーブ
流速
0
(V̇)
一回換気量
0
(VT)

吸気終末休止：EIP（End Inspiratory Pause）

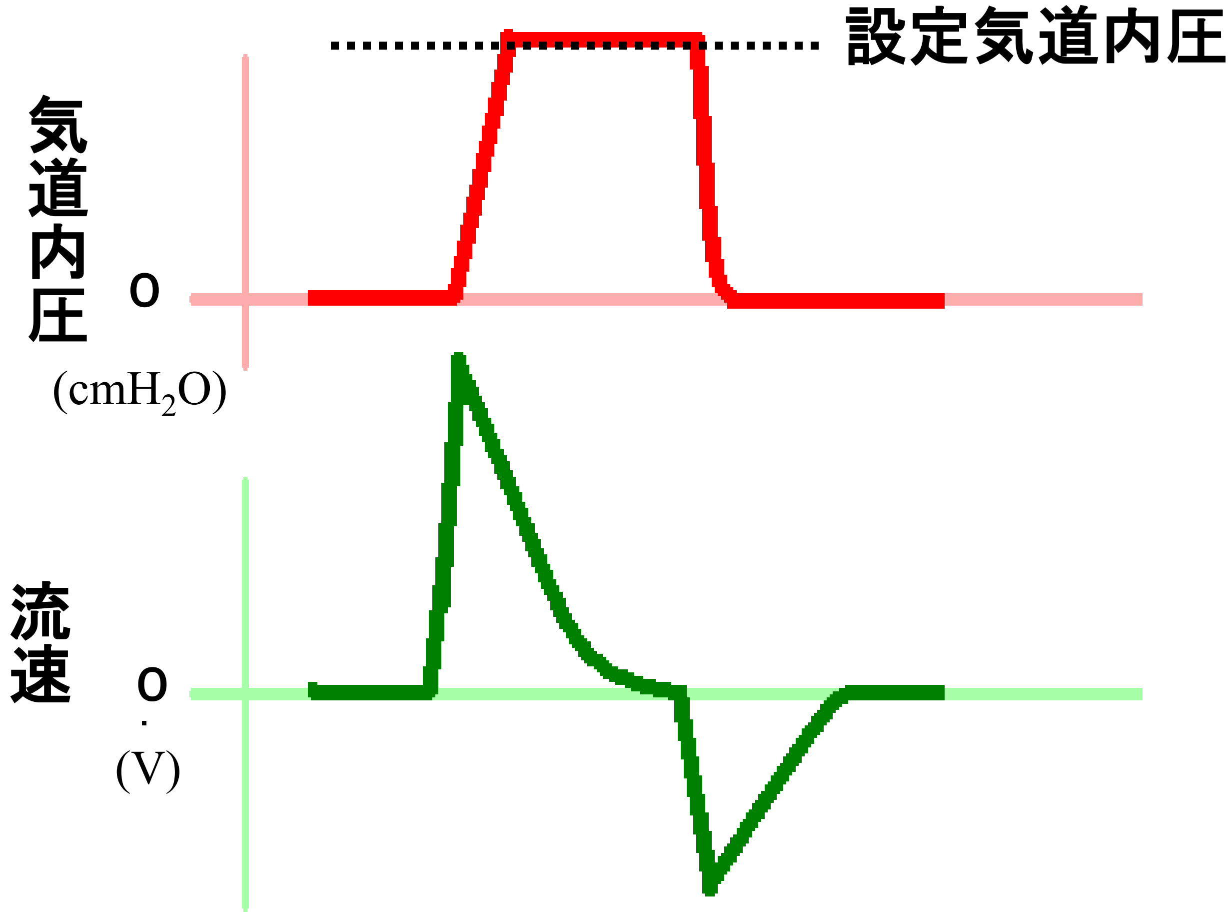
肺胞内の不均等換気の是正を目的とする。



吸気終末休止：EIP（End Inspiratory Pause）

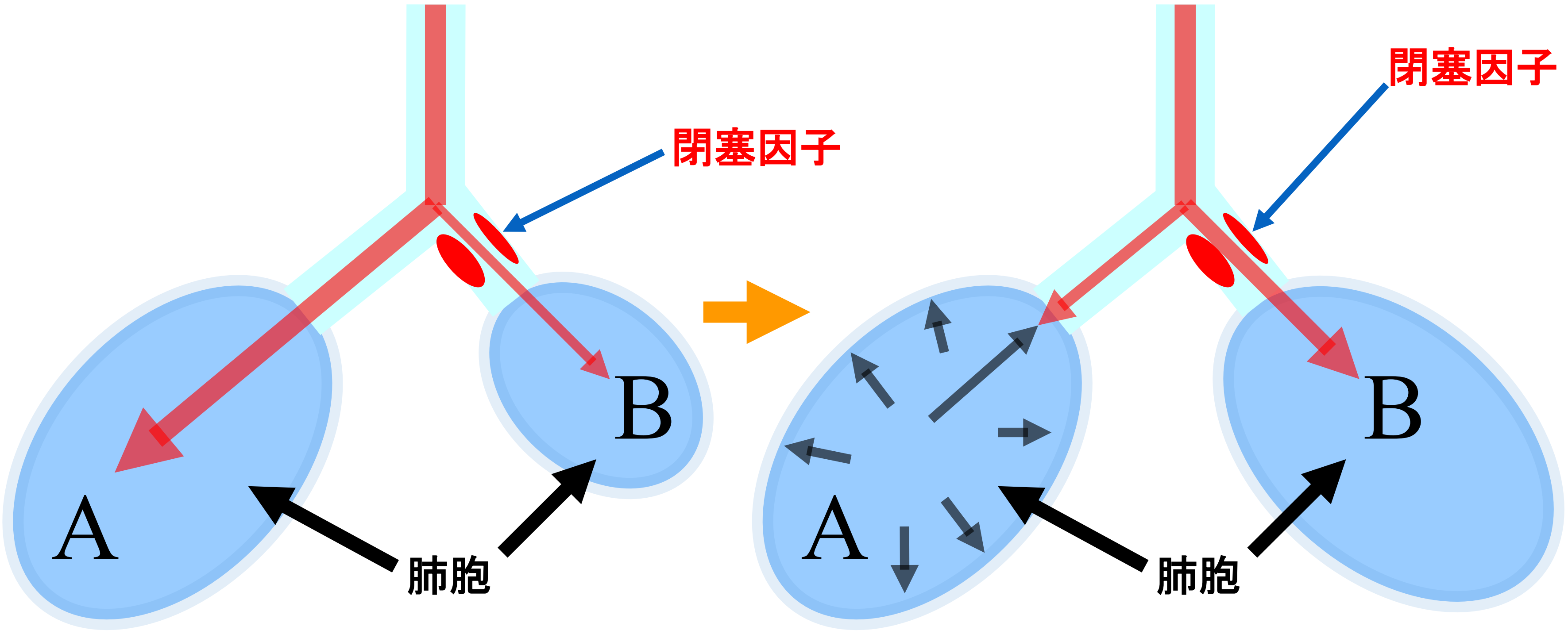


PCVの波形

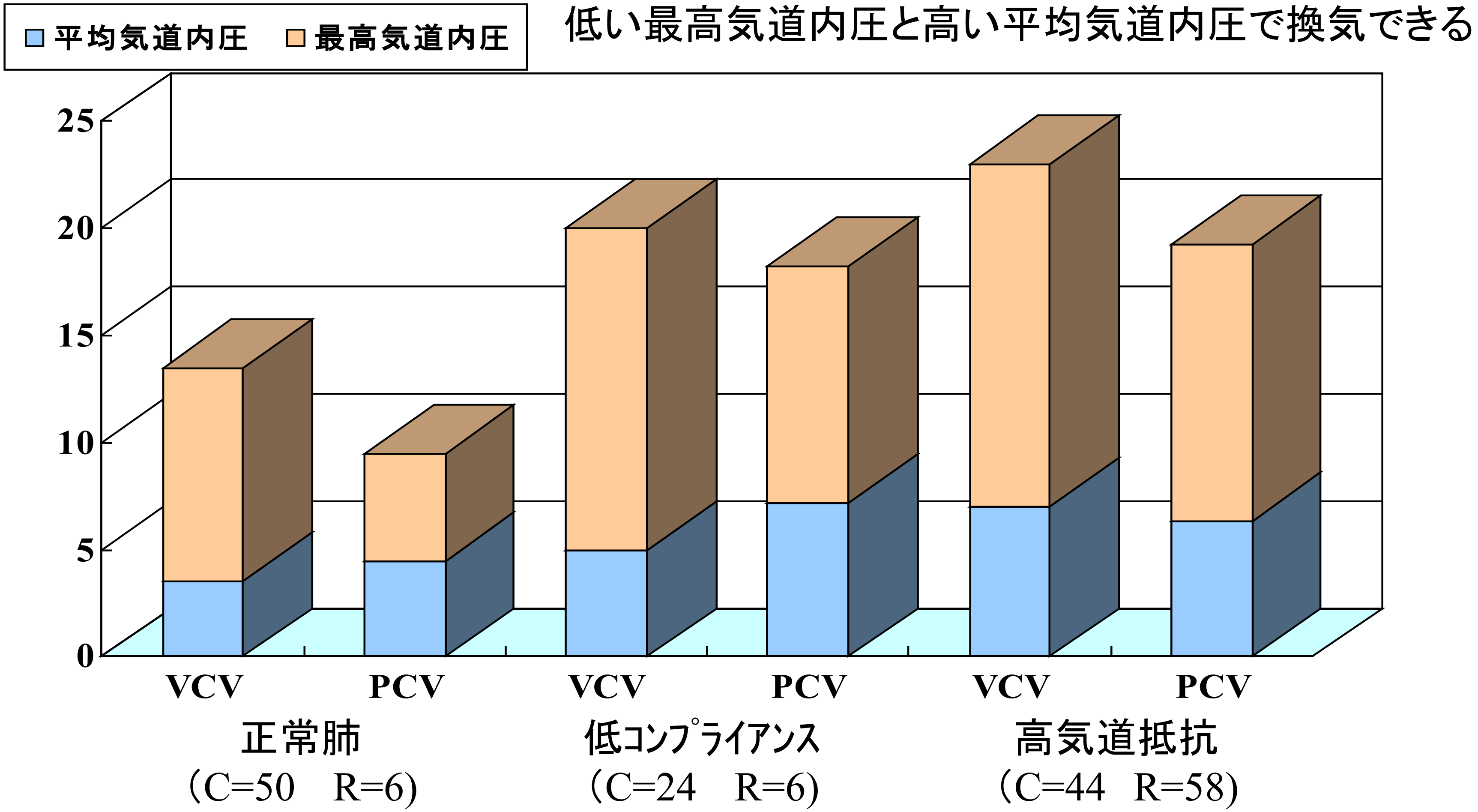


PCVの利点

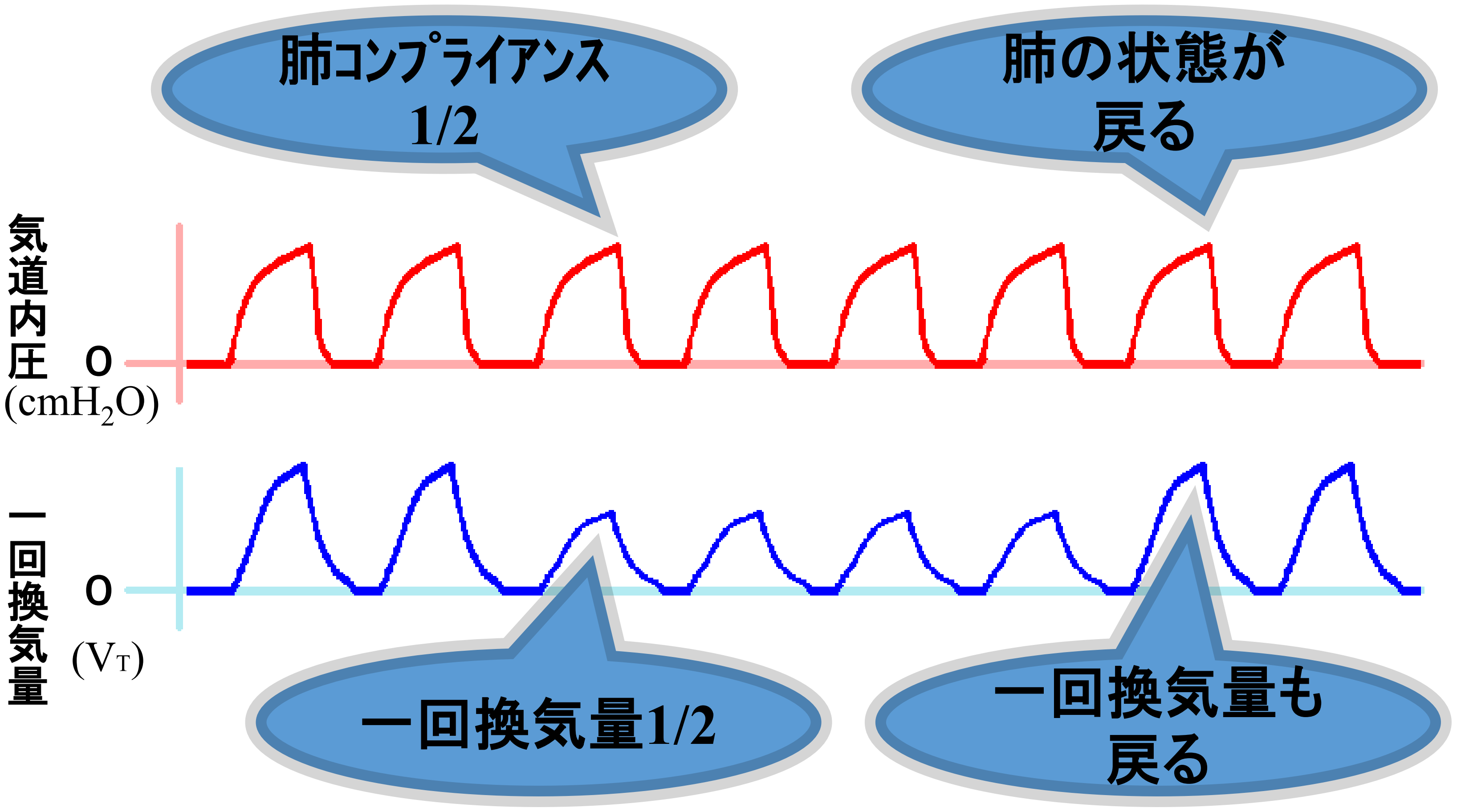
肺胞内の不均等換気の是正を目的とする。
またEIPと異なり、送気時から不均等分布を改善させる。



PCVの利点


平均気道内圧
最高気道内圧
低い最高気道内圧と高い平均気道内圧で換気できる
25
20
15
10
5
0
VCV
PCV
VCV
PCV
VCV
PCV
正常肺
(C=50　R=6)
低ｺﾝﾌﾟﾗｲｱﾝｽ
(C=24　R=6)
高気道抵抗
(C=44　R=58)

PCVの問題点


肺コンプライアンス
1/2
肺の状態が
戻る
気道内圧
0
(cmH_2O)
一回換気量
0
(V_T)
一回換気量1/2
一回換気量も
戻る

VCVとPCVの比較

VCV
- 換気量は保障される
- 不均等換気
- 気道内圧上昇

→ **肺の圧損傷**

↓

気道内圧上昇に注意を要する

PCV
- 換気量は保障されない
- ガス分布は比較的均一
- 気道内圧不変

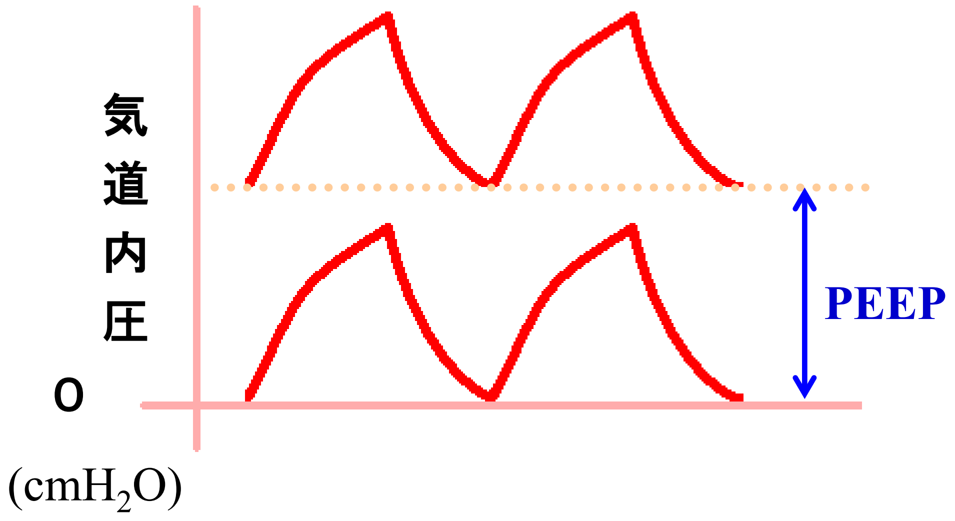
→ **換気量減少**

↓

換気量を保障する工夫が必要となる（PRVC）

持続陽圧換気：CPPV（Continuous Positive Pressure Ventilation）

間欠的陽圧換気：IPPV（Intermittent Positive Pressure Ventilation ）はCMVと同等の換気方法である。
CPPVとはIPPVにPEEP（Positive End Expiratory Pressure）をかけた状態のことを言う。



呼気終末陽圧(PEEP)の作用

呼気になると虚脱してしまう肺胞を開いた状態で保持する。

↓

虚脱肺胞への換気再開
気道閉塞の防止
ガス交換の場の増大
肺胞膜伸展による拡散距離の減少

↓

機能的残気量(FRC)の増大によるPaO_2の上昇

呼気終末陽圧（PEEP）の副作用

胸腔内圧の上昇による右心系
静脈還流量の低下

心拍出量の低下

アルドステロン増加による水の再吸
収及び血管収縮による腎血流低下
抗利尿ホルモンの増加

尿量減少

脳圧亢進

過度の陽圧

肺の圧損傷

自発換気モード：SPONT

吸気同調換気: PTV（Patient Triggered Ventilation ）

- 自発呼吸はあるが弱いため、吸気のタイミングや吸気時間、吸気流量、換気量、呼気のタイミングなど全て患者に合わせ、呼吸をサポートする。

トリガ感度（吸気感度）

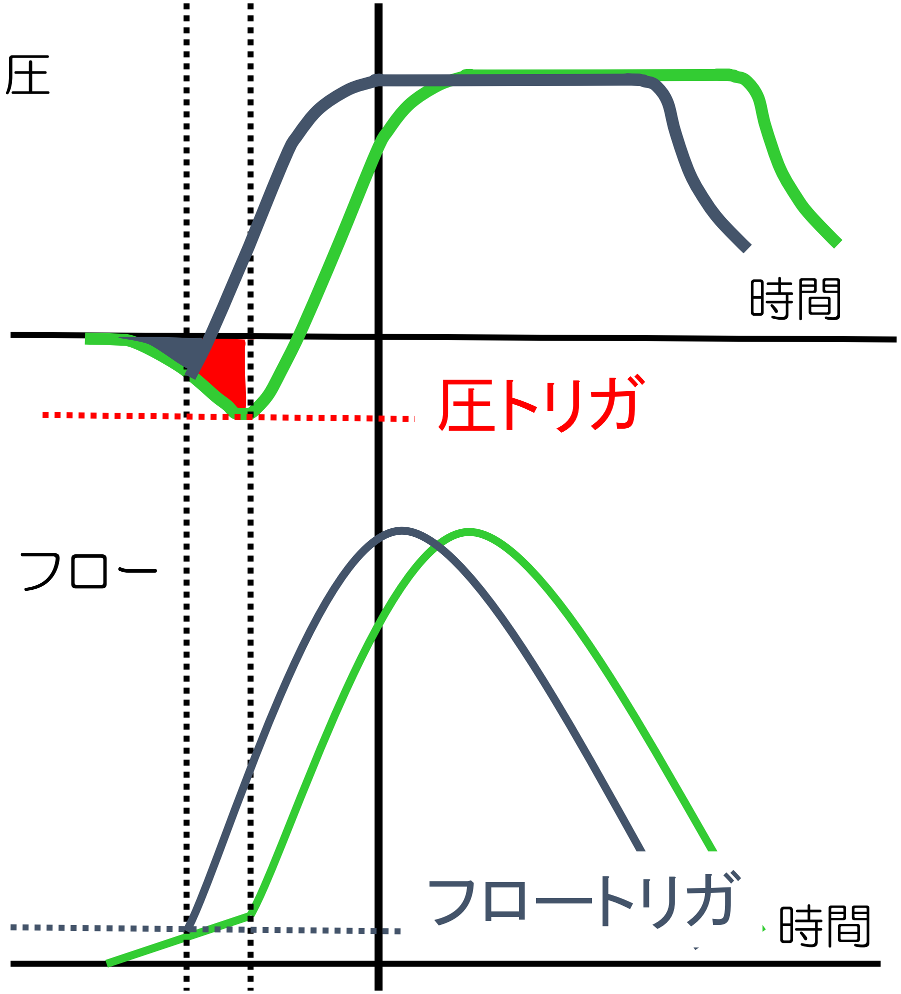
◆**圧トリガ**

患者が、吸気を行うことによって呼吸回路内が陰圧になる。その陰圧レベルを設定。

◆**フロートリガ**

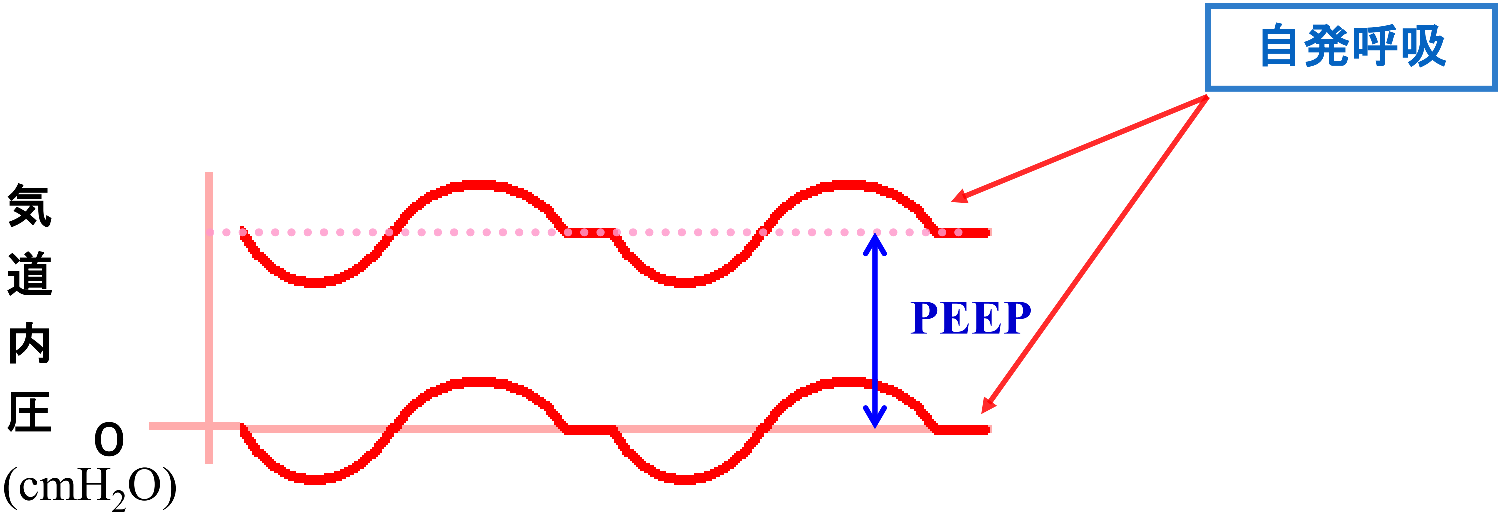
■患者が、吸気を行うことによって発生するフローを検知。

■圧トリガよりも、はやく検知できるため、小さく、浅い呼吸の患者に適す。

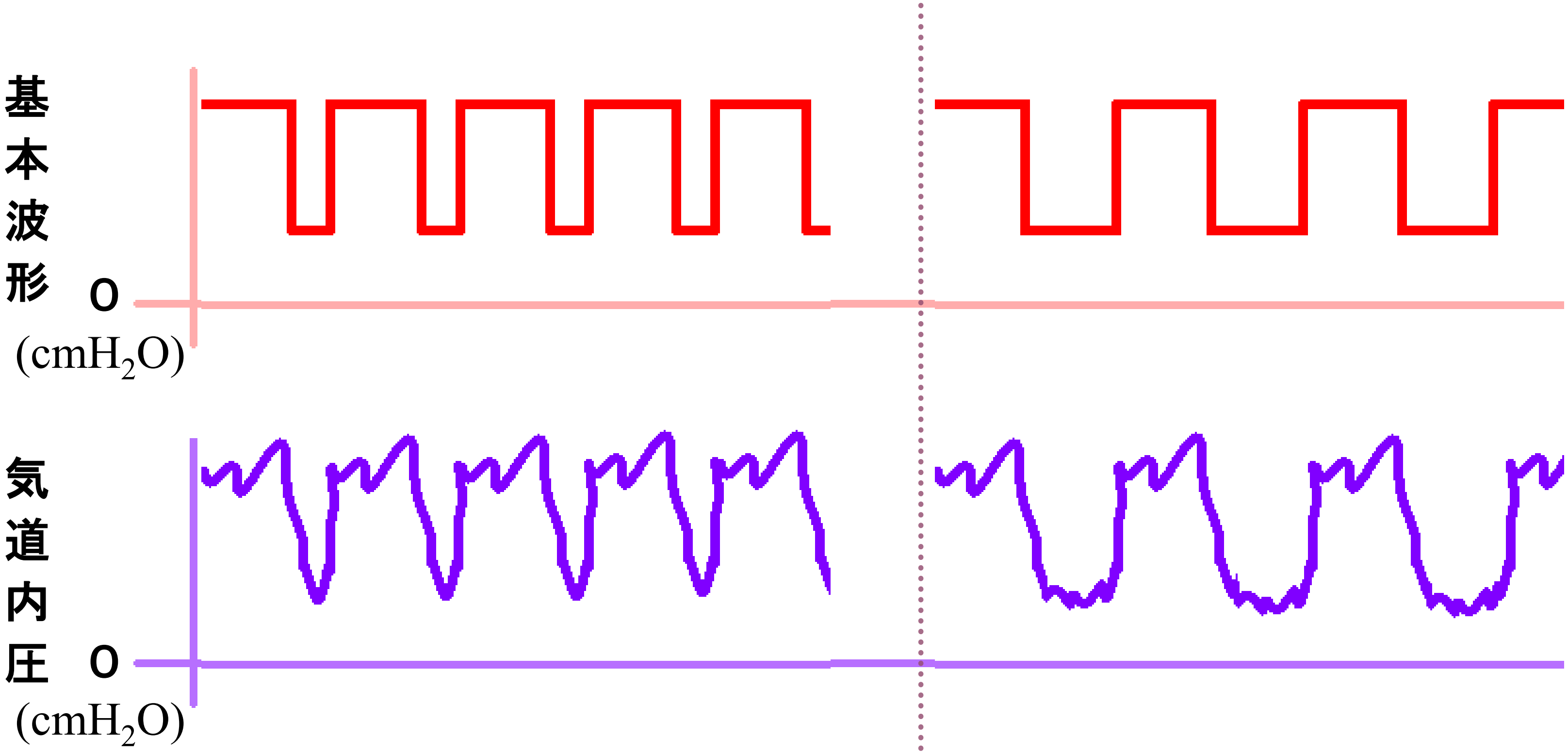


持続的気道陽圧：CPAP

持続的気道陽圧（Continuous Positive Airway Pressure）とは、自発呼吸にPEEP（Positive End Expiratory Pressure）をかけた状態のことを言う。



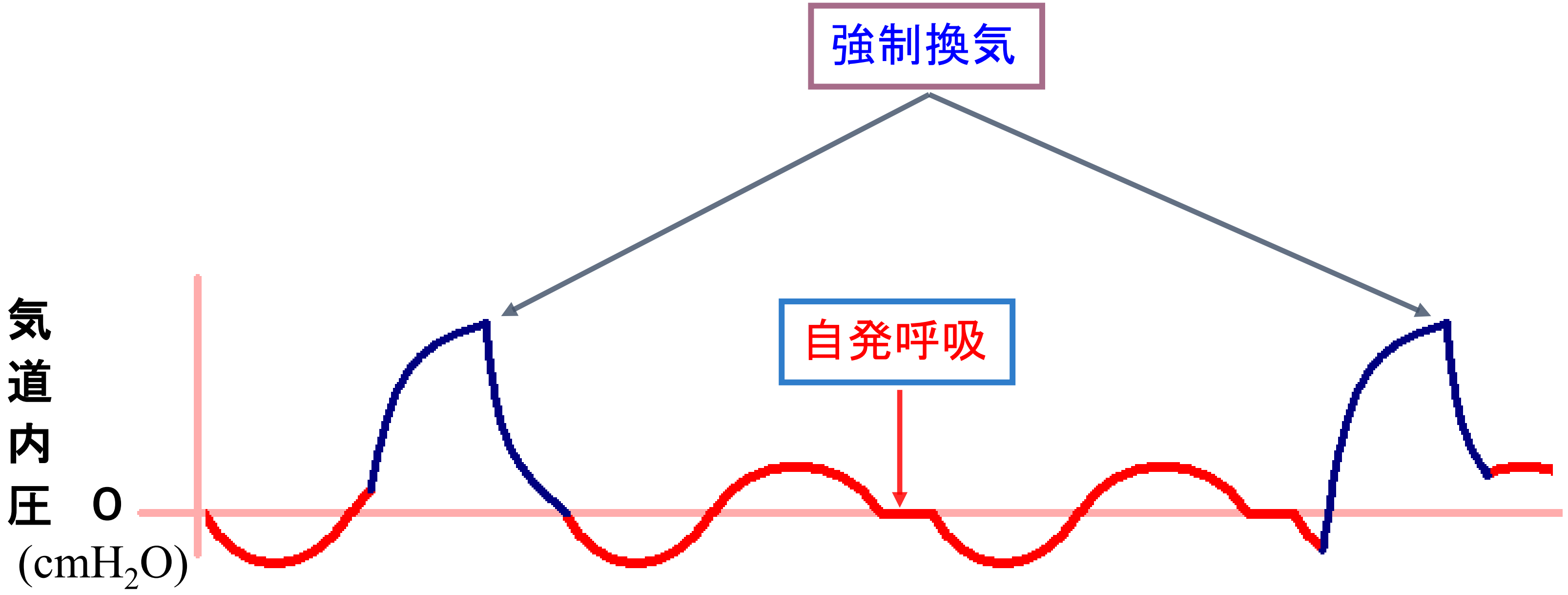
APRV / BIPAP



APRV
Airway Pressure Release Ventilation

BIPAP
Biphasic Positive Airway Pressure

間欠的強制換気：IMV（Intermittent Mandatory Ventilation）



間欠的強制換気：IMV（Intermittent Mandatory Ventilation）

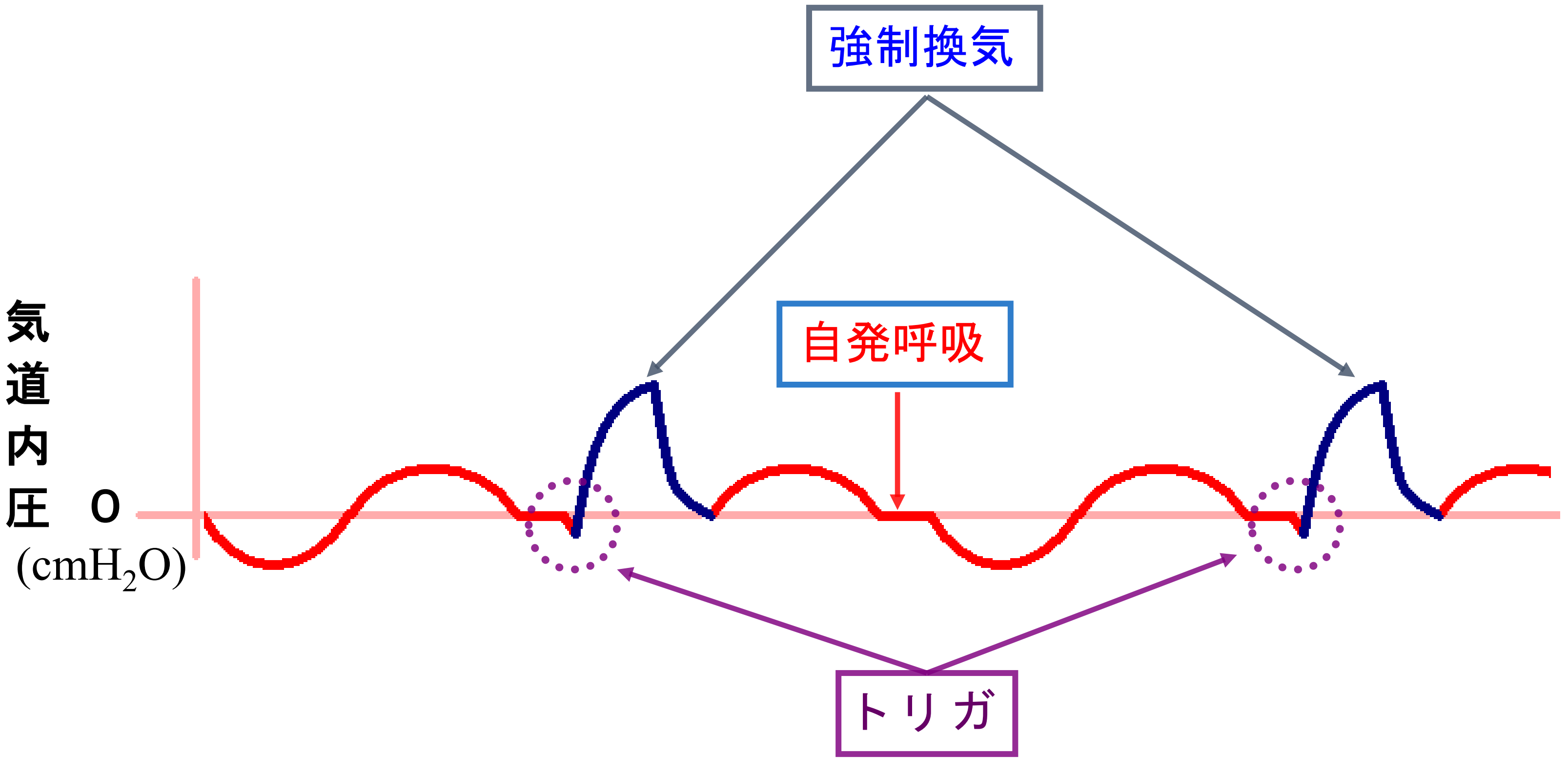
利点

- ●自発呼吸が存在するため、胸腔内圧の上昇が少なく、循環動態の影響が軽減される
- ●高CO_2血症の人工呼吸開始時に、急激な$PaCO_2$低下を防ぐ
- ●新生児に有効（V_T少・呼吸数多）
- ●予防的人工呼吸管理を行いやすい
- ●Flail Chestの治療に良好
- ●人工呼吸からの離脱がスムーズ

欠点

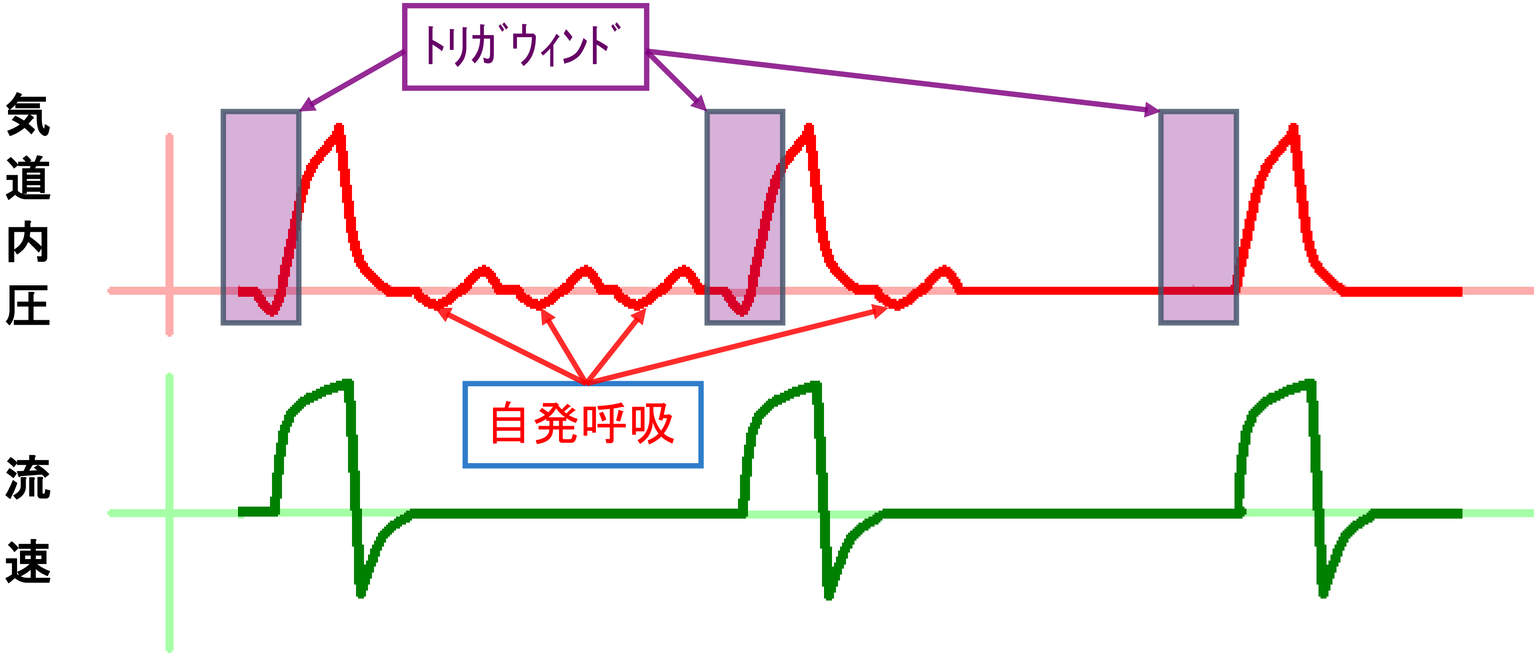
- ●自発呼吸の呼気時に人工呼吸器からの送気で気道内圧が著しく上昇する。 ⇒ ファイティング
- ●呼吸リズムが乱れる

同期式間欠的強制換気：SIMV（Synchronized IMV）

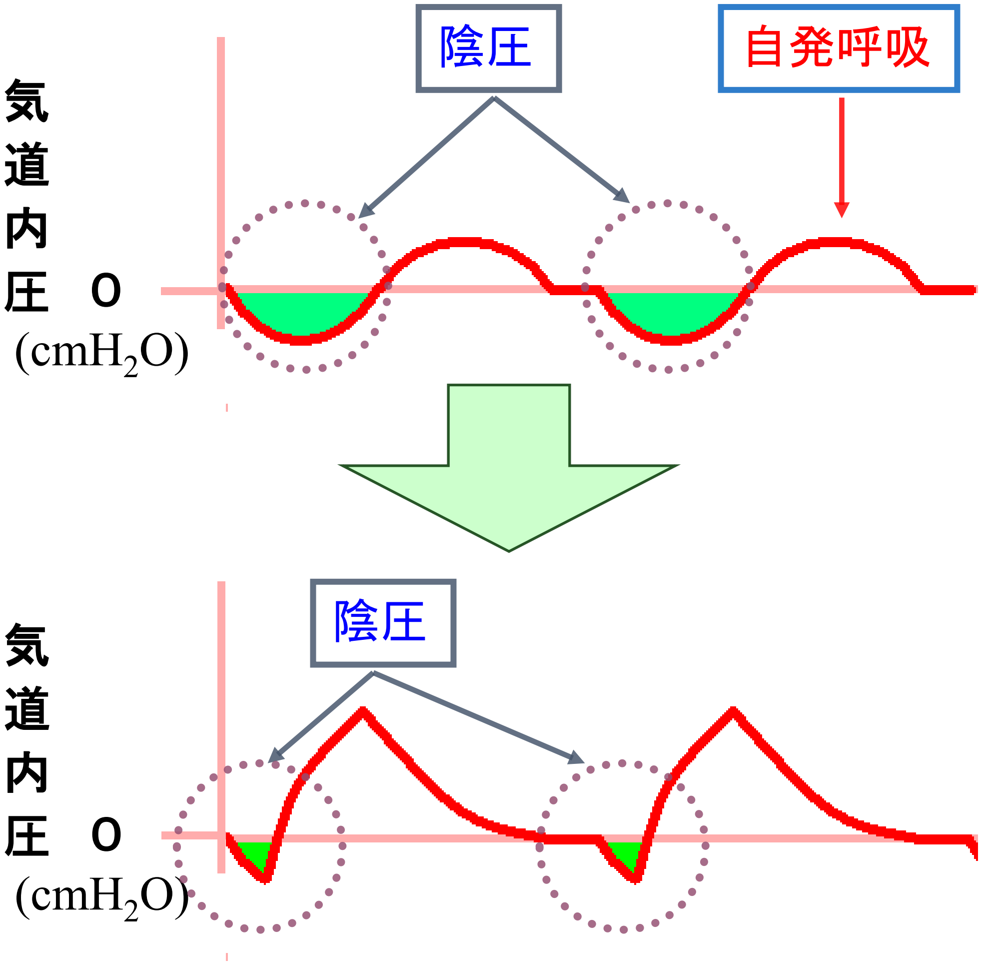


同期式間欠的強制換気：SIMV （Synchronized IMV ）

規則的な呼吸をしている患者に、間欠的に換気する回数を設定したとき、患者の自発呼吸に対して設定した割合で動作する。しかし過呼吸と無呼吸を繰り返す場合や不調律な呼吸をする人に対して安定した送気ができない場合がある。そのため、確実に送気するためのトリガウインドというものが用意されている。



プレッシャーサポート：PSV（Pressure Support Ventilation ）

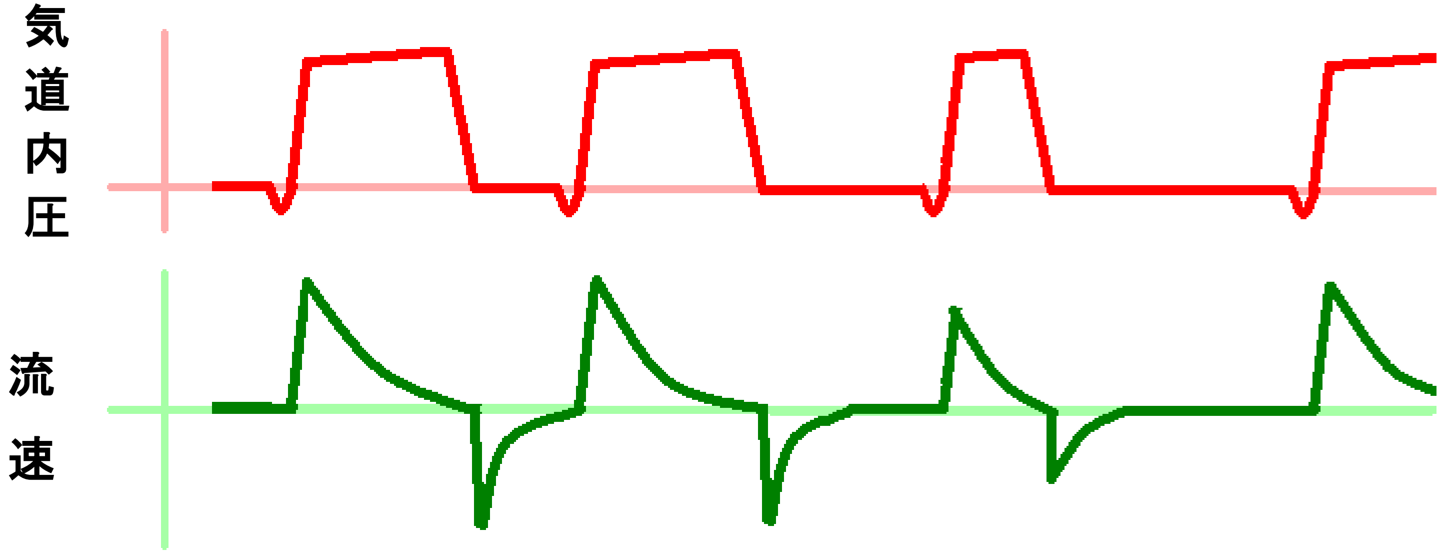


プレッシャーサポート：PSV（Pressure Support Ventilation）

PSVは自発呼吸がない場合は使用できず、呼吸回数が正常かそれ以上に維持されていて、一回換気量は少ない換気障害が適応となる。
また、低い最高気道内圧で十分な換気量が得ることができるため、最高気道内圧の上昇を避けたい病態に有用である。

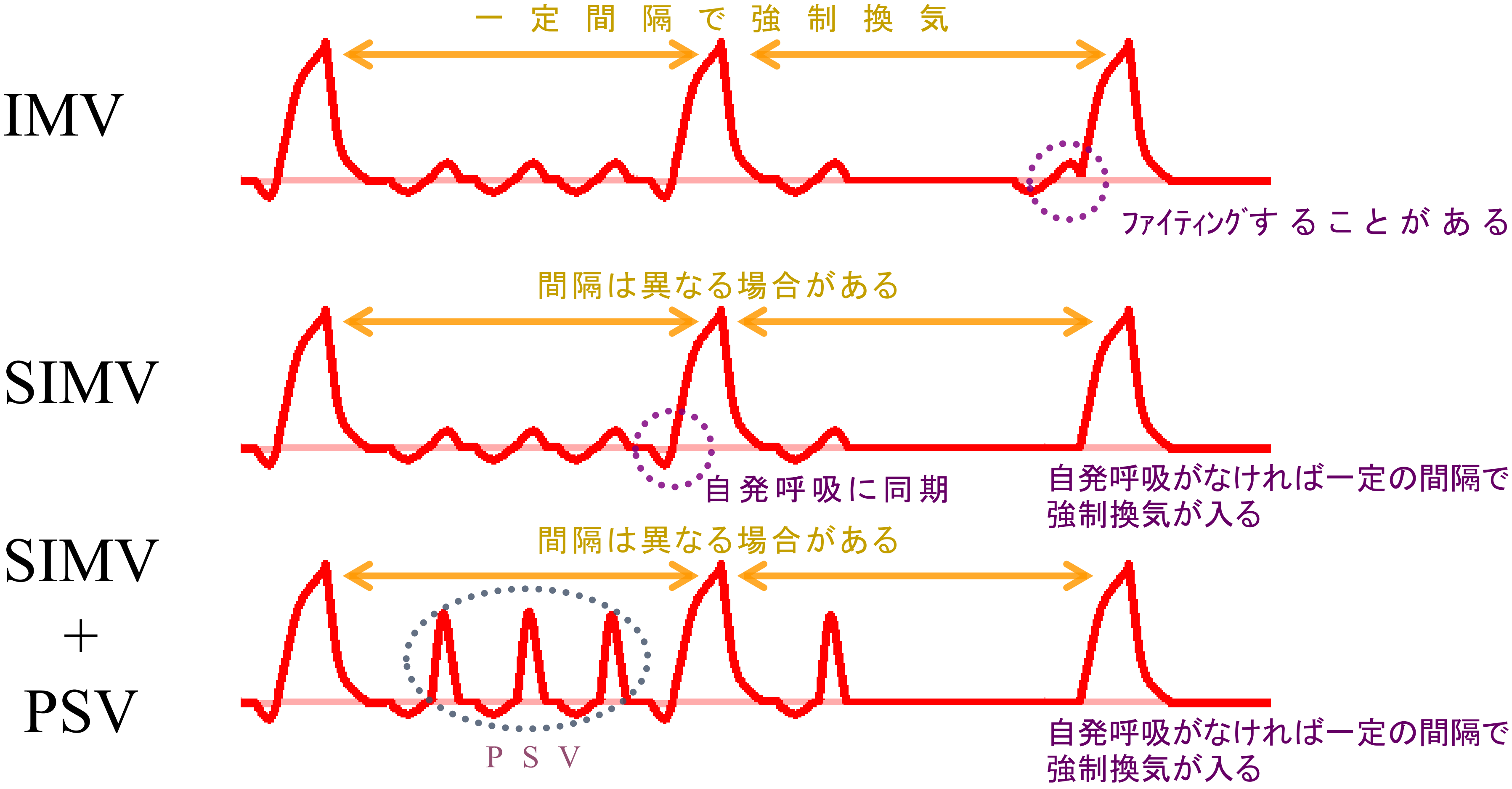
プレッシャーサポート：PSV（Pressure Support Ventilation）

個々の自発呼吸に合わせて流量や吸気時間を調整することができる。



異なる自発呼吸でもそれぞれの呼吸に合わせて送気することができる。

SIMV＋PSV


一 定 間 隔 で 強 制 換 気
IMV
ﾌｧｲﾃｨﾝｸﾞす る こ と が あ る
間隔は異なる場合がある
SIMV
自 発 呼 吸 に 同 期
自発呼吸がなければ一定の間隔で
強制換気が入る
間隔は異なる場合がある
SIMV
＋
PSV
P S V
自発呼吸がなければ一定の間隔で
強制換気が入る

アラーム

●異常状態をいち早く発見するためのものである

●不適切な設定は、異常の発見を遅らせ、患者に低換気や、肺の圧障害などの危険性を及ぼす可能性が高くなる

低分時換気量アラーム

アラームの発生原因

- 呼吸回路の外れ
- 呼吸回路からのリーク(漏れ)
- 気管内チューブのカフリーク
- 十分な呼出が行なわれていない
- 無呼吸の発生

回路の接続確認
リークチェック

カフ圧確認

呼吸回数、
呼気時間を確認

水滴除去
センサー交換

他の要因
□呼気フローセンサの異常

呼気の換気量が低下している(低換気状態)

低分時換気量アラーム設定

分時換気量の示す値の 70%※前後

- 分時換気量を読み取る
- 計算

アラーム設定値 ＝ 分時換気量 × 0.7

例）分時換気量 **6 L/min**

アラーム設定値 ＝ 6 × 0.7

＝**4.2 L/min**

※日本医用機器工業会推奨値

気道内圧上限アラーム

アラームの発生原因

- 痰のつまり
- 気道が細くなった
- 呼吸回路の閉塞
- 気管内チューブの折れ曲がり
- 肺がかたい
- ファイティング

吸引を行う
加温加湿の評価

呼吸回路・気管内
チューブのチェック

設定の再評価

気道内圧が高くなりすぎる（圧による肺損傷）

気道内圧上限アラーム設定

気道内圧計の示す最大値の +10cmH_2O※

- 最高気道内圧を読み取る
- 計算

アラーム設定値 ＝ 最高気道内圧 + 10

例）最高気道内圧　**20**cmH_2O

アラーム設定値 ＝ 20 ＋ 10

＝**30**cmH_2O

※日本医用機器工業会推奨値

無呼吸アラーム

アラームの発生原因

- 自発呼吸の停止
- 必要分時換気量の低下
- 呼吸中枢の障害
- カフ圧の低下
- 呼吸回路の外れ･ゆるみ
- 気道内圧モニタ部のトラブル

モードの再設定が必要

呼吸回路・気管内チューブのチェック

機器の交換

呼吸管理ができていない可能性がある

無呼吸アラーム設定

基本設定は15~20秒 ※（患者の状態による）

※日本医用機器工業会推奨値