

# これだけは知っておきたい 人工呼吸器管理の基本



露木菜緒

# 本日の内容

1. 人工呼吸療法の目的と適応
2. 人工呼吸器の構造
3. 人工呼吸器のモードとみるべきモニタリング
4. 人工呼吸器のアラーム対応
5. 非侵襲的人工呼吸器（NPPV）とは
6. 人工呼吸器の全身に及ぼす影響
7. 酸素化の調整
8. 人工呼吸器からの離脱

# 人工呼吸療法の目的と役割

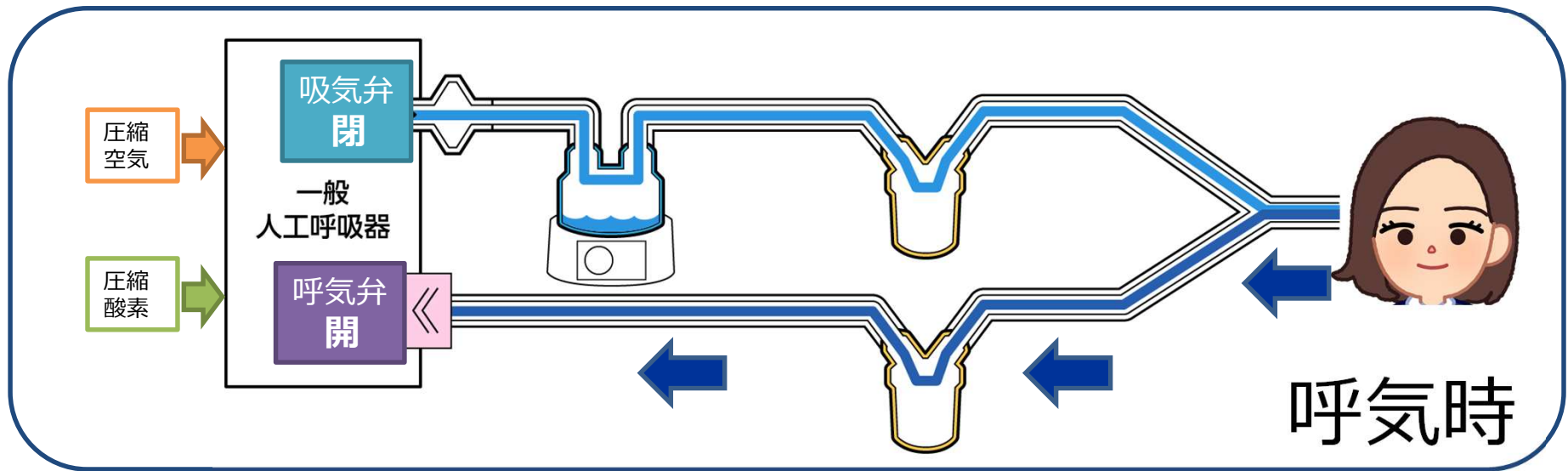
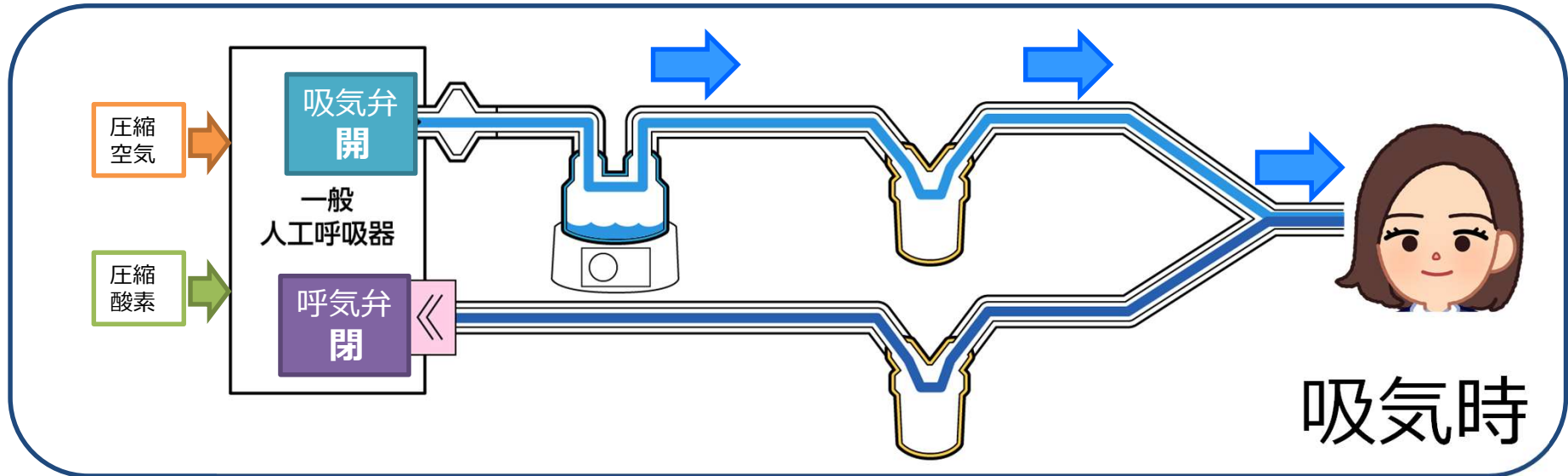
1. 換気の維持
2. 酸素の供給
3. 酸素化の改善
4. 呼吸仕事量の軽減
5. 全身管理の一環



# 人工呼吸療法の適応

1. 心肺停止
2. 換気不全、酸素化不全を呈する各種呼吸不全
3. 重症うっ血心不全
4. 脳圧亢進の中樞神経疾患
5. 多発性肋骨骨折
6. 大きな手術後、重篤な外傷、疾病

# 人工呼吸器の構造



# 人工呼吸器の回路



人工鼻回路



加温加湿器回路





# 人工呼吸器のモードと 見るべきモニタリング

# 人工呼吸器のモード

## 換気モードって何？

- 換気のしかた、換気の方法。呼吸のサポートのしかた

## 換気モードの種類

- ①調節換気：何から何まですべておまかせ
- ②補助換気：吸うタイミングだけ自分が決める
- ③自発呼吸：すべて自分で決めて行う



## 空気の送り込み方

- VCV (volume Controlled Ventilation)  
量を決めて空気を送り込む
- PCV (pressure control ventilation )  
圧を決めて、その圧になるまで空気を送り込む

VCVのメリット  
一回換気量が保たれる  
VCVのデメリット  
気道内圧が上昇する

PCVのメリット  
最高気道内圧を制限できる  
PCVのデメリット  
換気量が左右する。

# 換気モードの分類

	従量式換気 VCV	従圧式換気 PCV
調節換気 CMV	従量式-調節換気 VC-A/C換気	従圧式-調節換気 PC-A/C換気
補助換気 PTV	従量式-同期的間欠的強制換気 VC-SIMV	従圧式-同期的間欠的強制換気 PC-SIMV
		圧支持換気 PSV
自発呼吸	持続的気道陽圧CPAP	

CMV : controlled mechanical ventilation

PTV : patient trigger ventilation

VC-SIMV : vc-synchronized intermittent mandatory ventilation

PC-SIMV : pc -synchronized intermittent mandatory ventilation

PSV : Pressure support ventilation

CPAP : Continuous Positive Airway Pressure

# PEEP : 呼気終末陽圧

- 酸素化の改善
  - F R C (機能的残気量) の増加
- 呼吸仕事量の減少
- 肺水腫の軽減

呼気時

PEEPなし

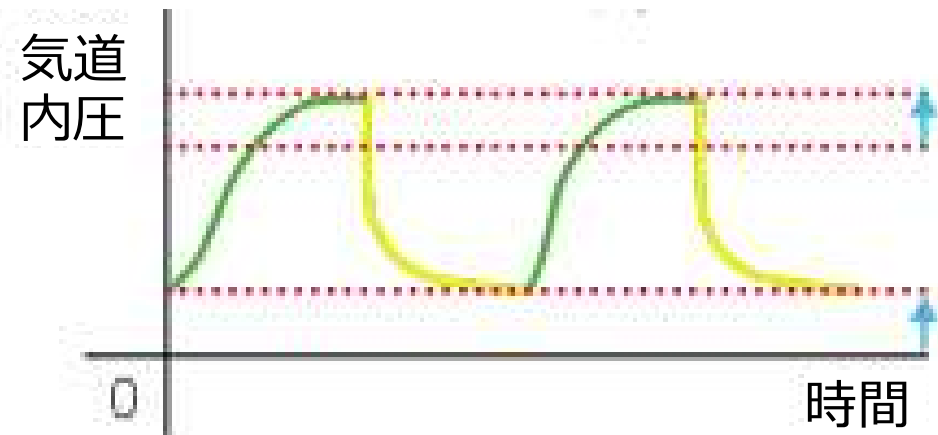


肺胞がつぶれる

PEEPあり

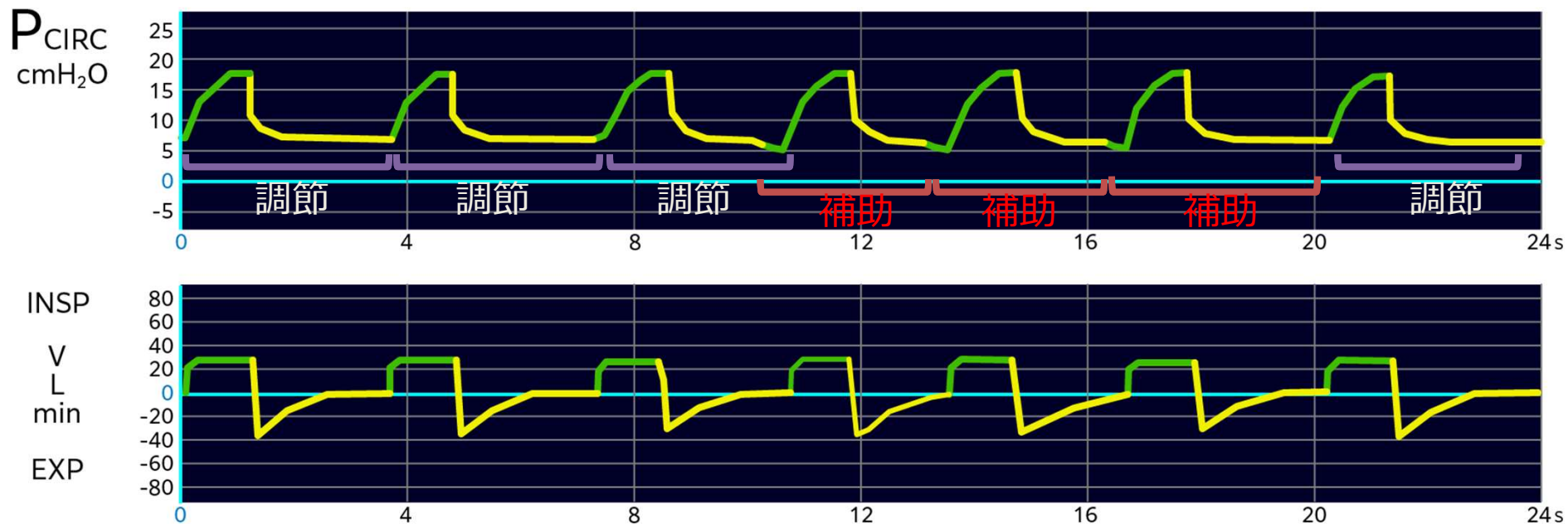


肺胞がつぶれきらない



# A/C

換気回数15回/min、VCの例



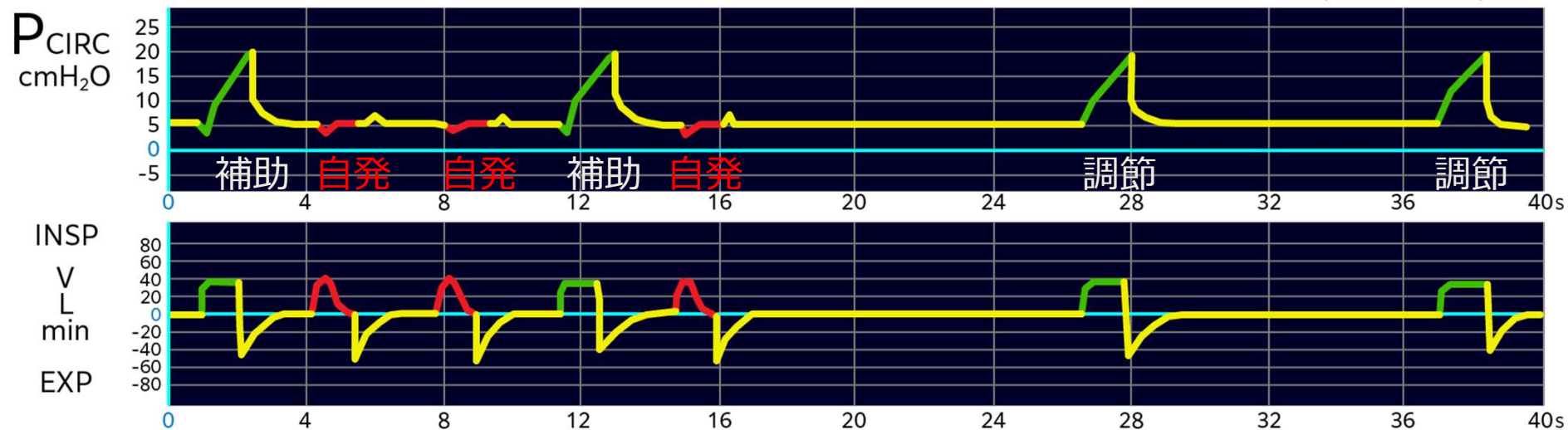
- 自発呼吸がない場合、設定された呼吸回数で強制換気を行う。
- 自発呼吸をトリガーすると、自発呼吸に同調させながら設定された強制換気を行う。

## モニタリング

- 自発呼吸の有無
- PCモードであれば換気量
- VCモードであれば気道内圧

# SIMV

VC;換気回数5回/min

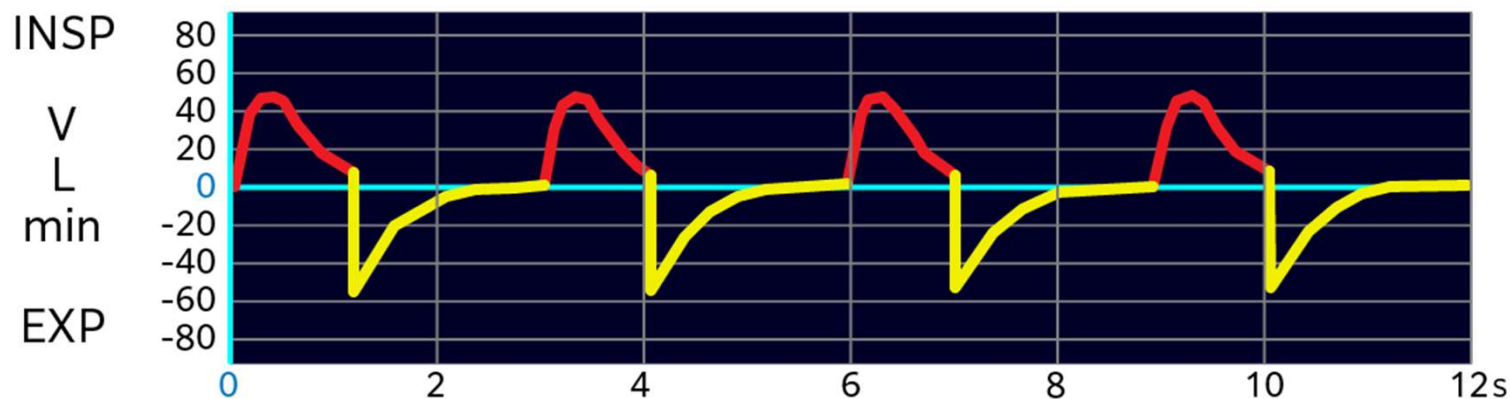
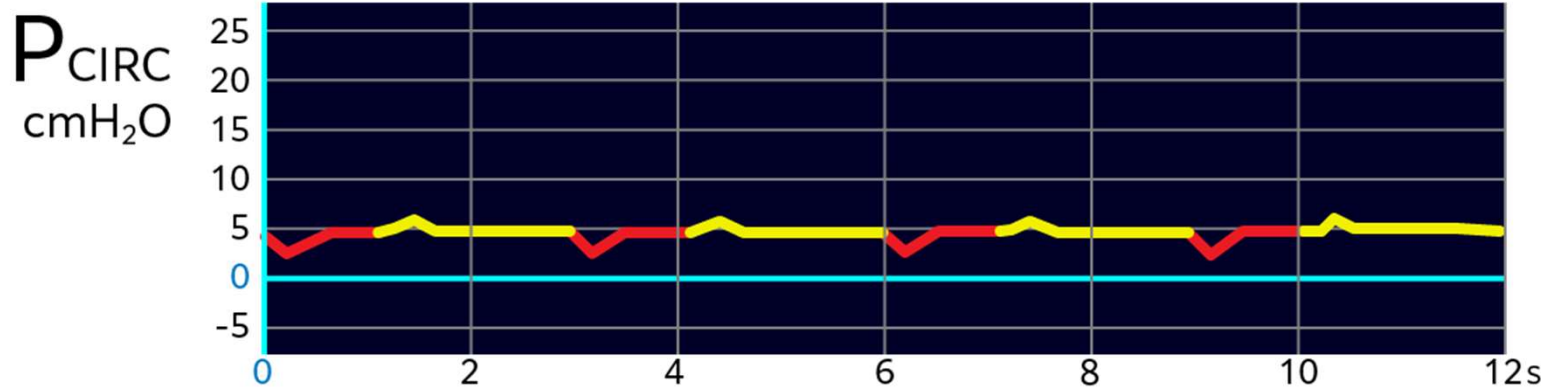


- 自発呼吸を期待したい場合に使用し、一定の強制換気を保障するモード
- 自発吸気に合わせて、設定された呼吸回数だけ強制換気を行う。強制換気回数が設定呼吸回数より多くなることはない。

## モニタリング

- 自発呼吸の有無
- 強制/補助換気の換気量または気道内圧
- 自発呼吸の換気量と気道内圧（強制換気時との差）
- 自発呼吸時の努力呼吸の有無

# CPAP




- 吸気時も呼気時も持続的に陽圧をかけ続けるが、自発呼吸にあわせて換気の補助は行わない。
- 自発呼吸があることが前提。ウィニング時、気道確保時など。

## モニタリング

- 換気量と気道内圧
- 努力呼吸の有無
- 頻呼吸の有無





# 人工呼吸器のアラーム対応

# 人工呼吸器アラームの種類

アラームのタイプ	アラームの種類／設定の目安	
緊急事態アラーム ※自動設定	電源供給異常	
	作動不能	
	ガス供給圧低下	
救命アラーム ※最低限設定が必要	分時換気量下限	分時換気量の70～80%程度
	気道内圧下限	気道内圧の70%程度
	無呼吸	15～20秒
合併症予防アラーム	気道内圧上限	最高気道内圧 + 10cmH <sub>2</sub> O (35～40cmH <sub>2</sub> O 以下)
	分時換気量上限	30～35回/分程度
	呼吸回数上限	分時換気量の +20～50%程度

# 気道内圧上限アラーム

## 原因

### 人工呼吸器回路

- 回路の屈曲・閉塞
- 人工鼻の汚染（呼吸器回路をベッド柵などではさんでしまった場合など）

### 患者

- 気管チューブの屈曲・閉塞
- 痰詰まり
- 片肺換気（気管チューブの挿入が深いことによる）
- 肺コンプライアンスの低下
- 気管の攣縮
- ファイティング
- バッキング

### 設定

- 低すぎるアラーム設定

## 対応

### 人工呼吸器回路

- 回路の屈曲・閉塞を解除
- 人工鼻の汚染を確認し交換

### 患者

- 呼吸音（分泌物の貯留や狭窄音）の確認
- 分泌物が原因であれば気管吸引の実施，もしくは気管支鏡の依頼
- 急激な気道内圧の上昇は，回路の閉塞やファイティングの疑い
- 緩徐な気道内圧の上昇は，肺病変の進行による肺コンプライアンスの低下の疑い

### 設定

- アラーム設定を適切な値に変更

回路・患者・設定それぞれの原因を考え、対応を考える。



# 無呼吸アラーム

## 原因

### 人工呼吸器回路

- 回路の外れ

### 患者

- 自発呼吸の減少
- 鎮静薬の影響による呼吸抑制

### 設定

- トリガー感度が低い



## 対応

### 人工呼吸器回路

- 回路の点検（外れ，接続の確認）

### 患者

- 自発呼吸の有無を確認し，無呼吸であれば設定変更
- 自発呼吸がない場合は鎮痛・鎮静レベルなど確認し薬剤を減量

### 設定

- トリガー感度の設定変更
- バックアップ換気機能への切り替わりの確認
- 強制換気の回数を増加
- 強制換気（A/C）か補助換気（SIMV）に設定変更

# NPPVって何？



# N P P Vとは

- NPPV (non-invasive positive pressure ventilation)とは、非侵襲的陽圧換気療法のこと。
- 気管挿管や気管切開などの侵襲的な処置を行わず、マスクなどを通して気道に陽圧を加えることで、呼吸機能自体を補助・代行することができる。
- ちなみにNPPVを、BIPAPと呼ぶ人がいますがそれは間違い。  
(BIPAPは商品名)



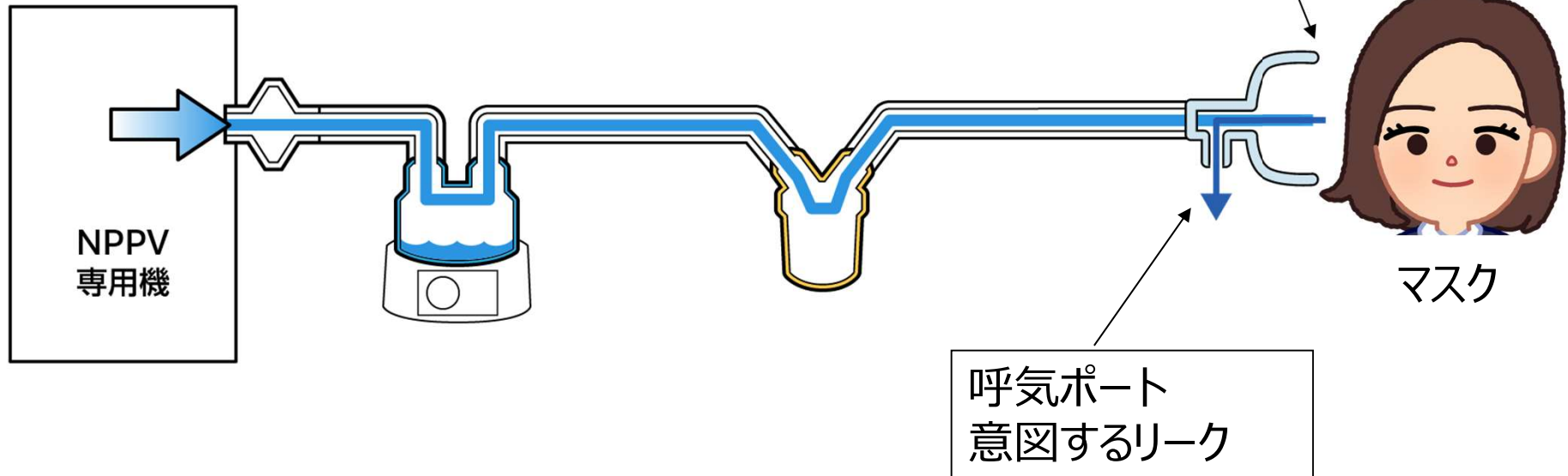
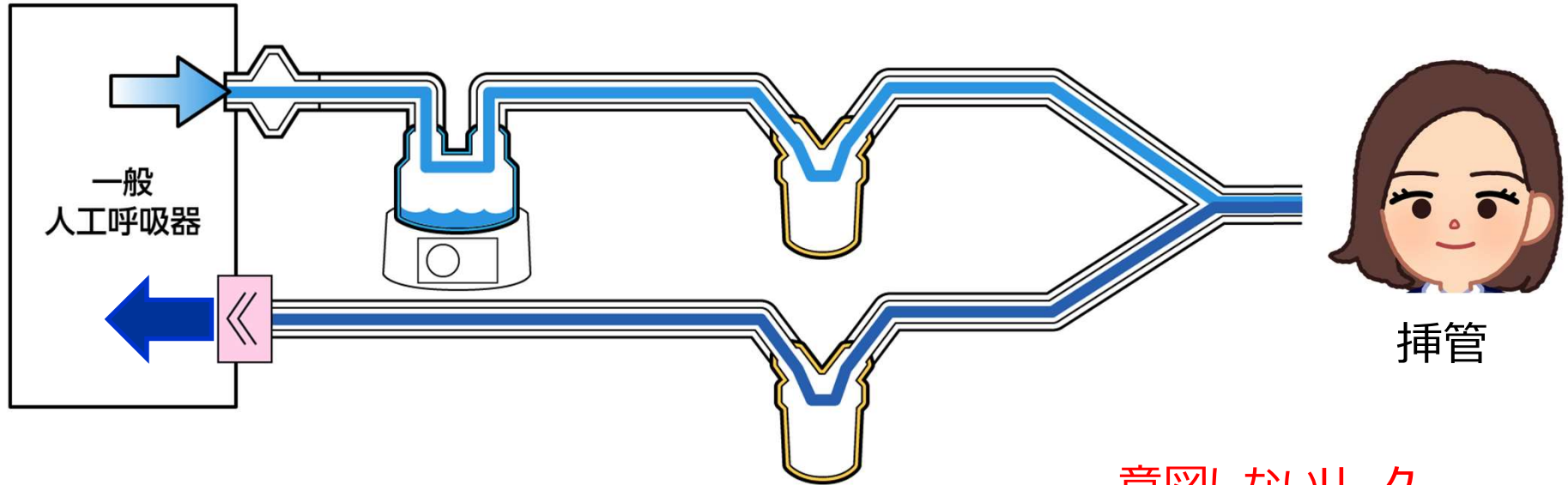
# N P P V 導入条件

- 自発呼吸がある
- 気道確保の必要性なし（舌根沈下なし）
- 誤嚥の危険性がない（嚥下障害なし）
- 咳嗽力があり排痰ができる
- 循環不全がない（血圧低下なし）
- 多臓器不全がない

# NPPVの一般的な禁忌

- 心停止、呼吸停止
- 肺以外の重篤な臓器不全
  - 重篤な脳疾患・消化管出血、不安定な血行動態
- 顔面の手術後、外傷、奇形
- 上気道閉塞
- 気道確保が不能
- 非協力的
- 気道分泌物排出が不能
- 誤嚥の危険性が高い

# NPPVの回路



# NPPVのリーク量

呼気ポートテストをしない画面表示

$$\text{Total leak} = \text{意図するリーク量} + \text{意図しないリーク量}$$

(呼気ポートから) (マスクから)

呼気ポートテストをした画面表示

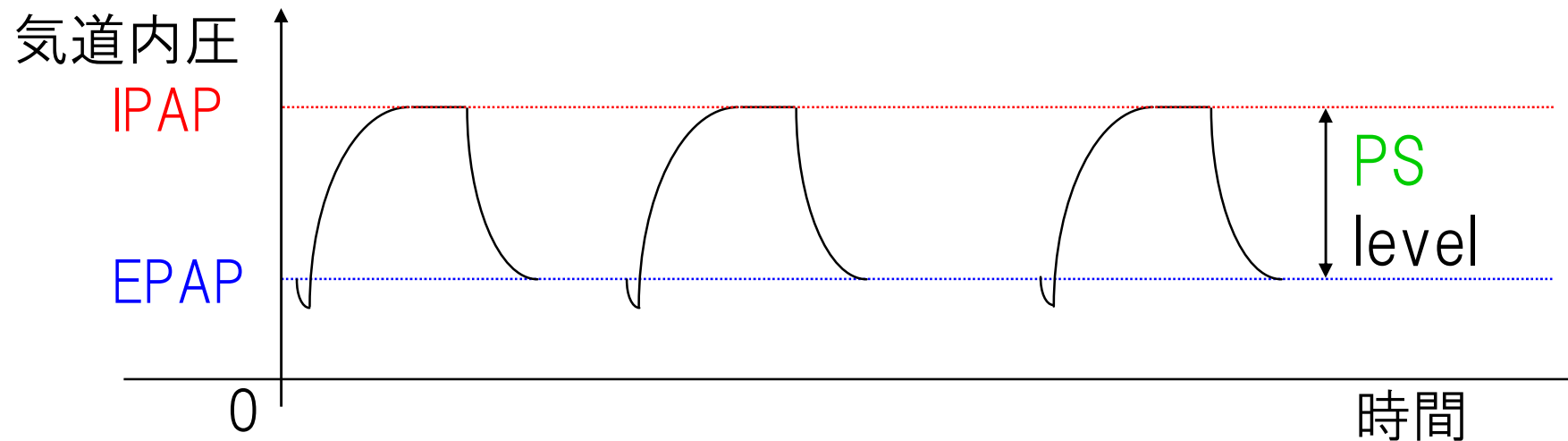
$$\text{Patient leak} = \text{意図しないリーク量}$$

**BiPAP Visionは60L/minまでリークの補正ができる**

# 換気モード

- S/Tモード (Spontaneous/timed)
- CPAPモード

- ・ IPAP (吸気時にかかる陽圧)
- ・ EPAP (呼気時にかかる陽圧 = PEEP)
- ・  $IPAP - EPAP = PS$



# NPPV導入後の観察とケア

## 1, 呼吸状態の観察

- ◆ 胸郭の動き
- ◆ 呼吸努力と人工呼吸器との同調性
- ◆ 呼吸補助筋の活用

## 2, 合併症や自覚症状の確認

- ◆ マスクの不快感
- ◆ 皮膚損傷
- ◆ マスク周囲からのリーク
- ◆ 上気道の乾燥（鼻・咽喉痛など）
- ◆ 眼球の乾燥、充血
- ◆ 腹部膨満感、嘔吐



# 挿管人工呼吸への移行

## 評価の基準

- 呼吸性アシドーシスの進行悪化
- 意識レベルの悪化、不穏
- 循環動態不安定
- コントロールできていない去痰不全
- 酸素化の不良

NPPVを始めたら

開始後1～2時間が勝負！患者の側でしっかり評価

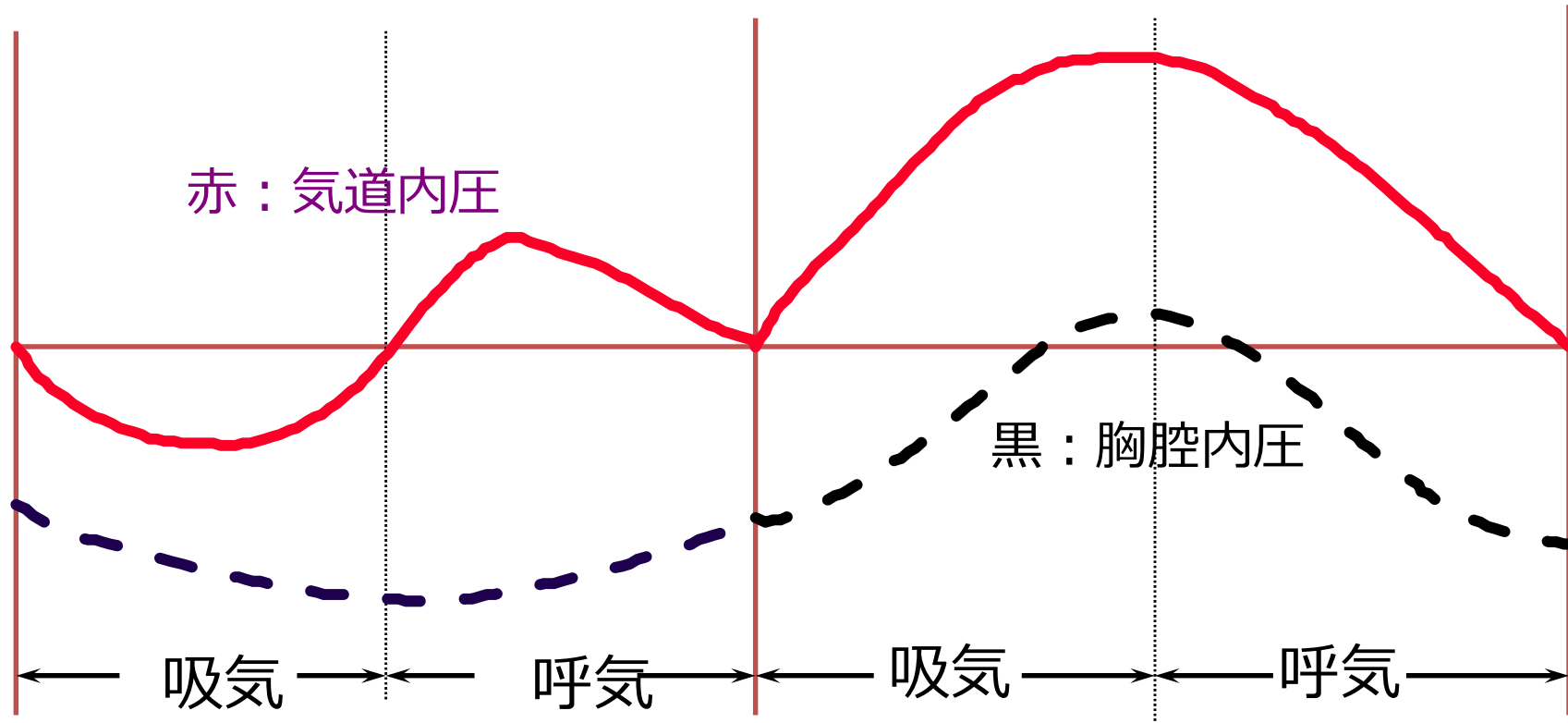


# 人工呼吸器の 全身に及ぼす影響

# 人工呼吸時の生理

自然呼吸

陽圧呼吸



# 陽圧換気の呼吸・循環に及ぼす影響

血管内脱水があると顕著となる！

上昇・増加



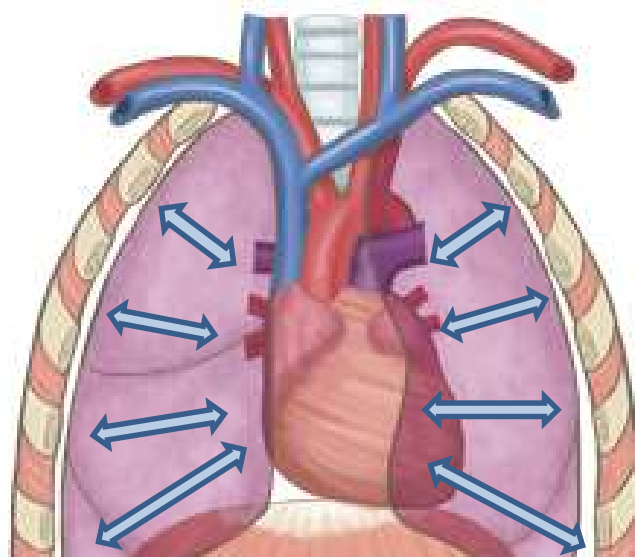
低下・減少

平均胸腔内圧上昇

静脈圧上昇

頭蓋内圧上昇

換気血流比上昇  
圧外傷



静脈還流量減少



心拍出量減少



腎血流量・肝臓血流量減少



尿量の減少



肝機能低下

- ストレスによる潰瘍形成や消化管出血
- 空気の嚥下に伴う胃拡張



# 酸素化の調整

# 例題 1

$F_{I}O_2 : 0.6$

$PaO_2 : 110\text{mmHg}$

$F_{I}O_2$ を0.5に下げたら $PaO_2$ はいくつ？



# 酸素化の調整


$$\frac{\text{現在のF}_1\text{O}_2}{\text{現在のPaO}_2} = \frac{\text{新しいF}_1\text{O}_2}{\text{新しいPaO}_2}$$

## 例題2

$F_{I}O_2 : 0.4$

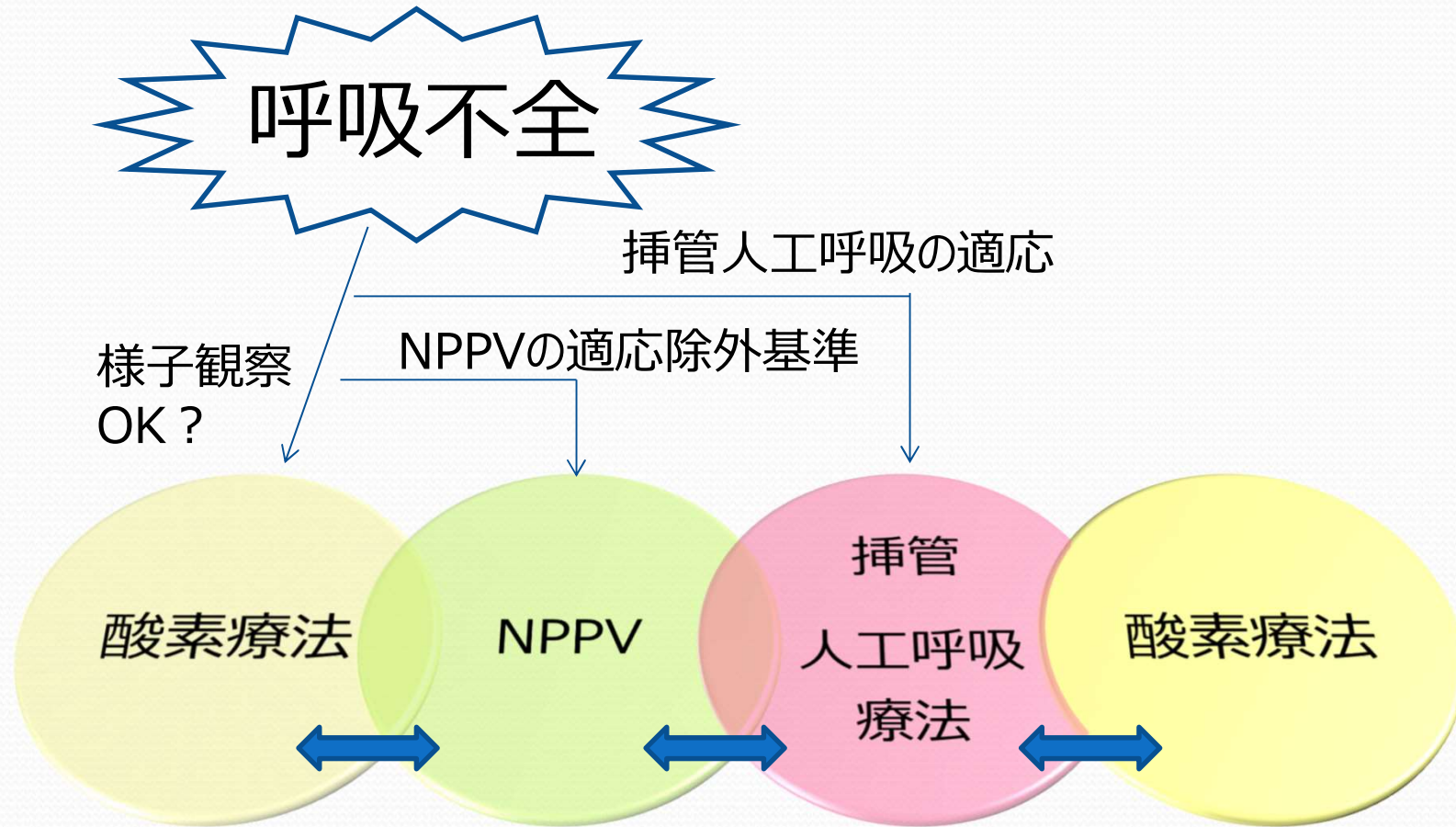
$PaO_2 : 80\text{mmHg}$

$PaO_2$  100mmHgにするには $F_{I}O_2$ を  
いくつにするのか？



# 人工呼吸器から離脱 抜管後の呼吸の観察

# 換気の補助がある？ いない？





# 人工呼吸器から離脱、酸素療法中

## 事例

70歳男性。肝臓部分切除後3日目抜管。  
抜管直後はSpO<sub>2</sub> 95% 嚕声あり。

## 15分後

吸気延長しはじめる。嚕声持続。胸鎖乳突筋の緊張  
吸気時にストライダー聴取  
呼吸回数15回/分。バイタルサインに変動なし。

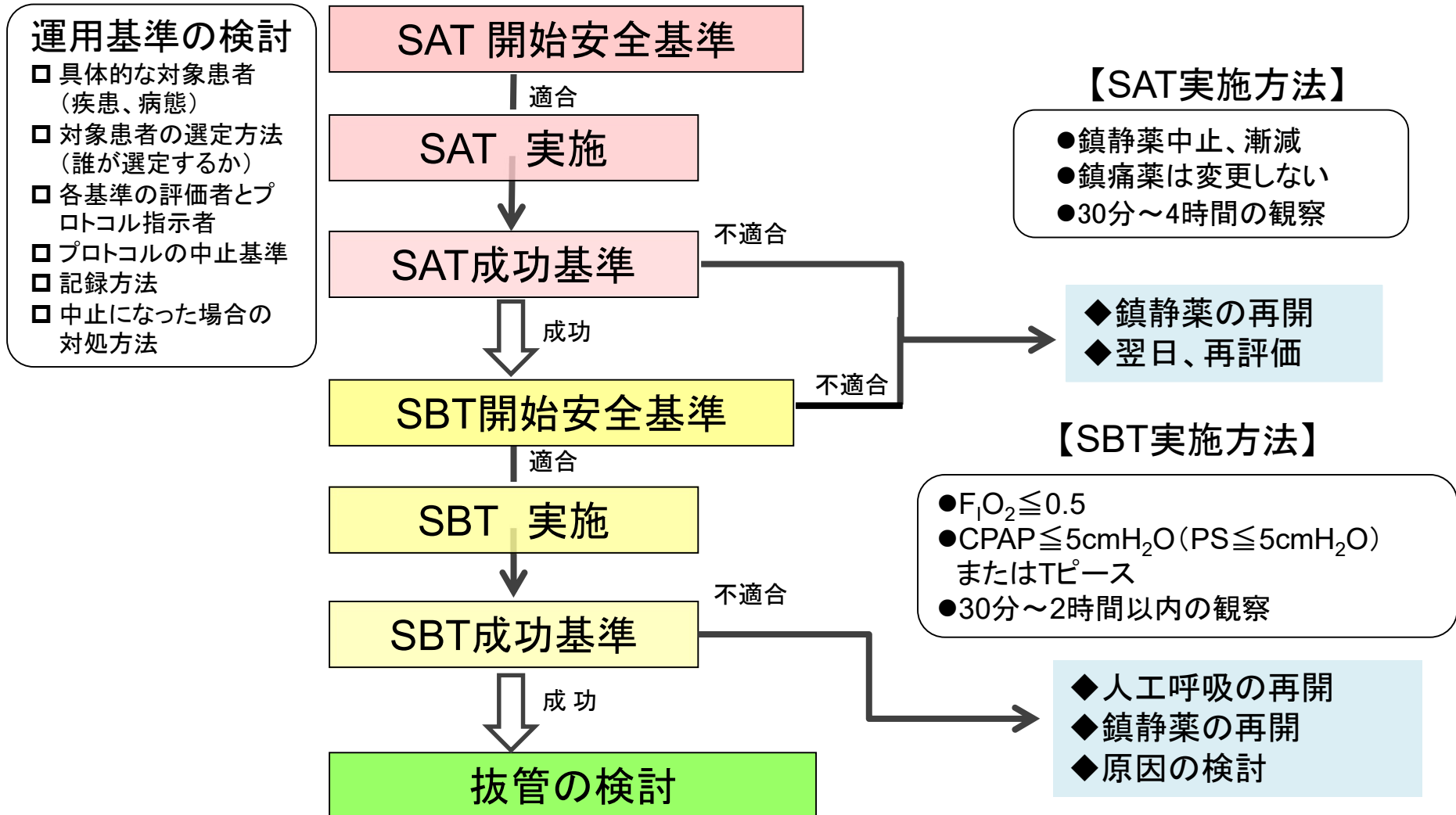
## 上気道狭窄症状

ストライダー または 減弱、消失  
呼吸困難  
補助呼吸筋の使用

- ※呼吸数増加しない
- ※胸郭の動きはある



# 3学会人工呼吸器離脱 プロトコール



# SBT開始安全基準

## ① 酸素化が十分である

a.  $F_I O_2 \leq 0.5$ かつ $PEEP \leq 8 \text{cmH}_2\text{O}$  のもとで  $SpO_2 > 90\%$

## ② 血行動態が安定している

a. 急性の心筋虚血、重篤な不整脈がない

b. 心拍数  $\leq 140 \text{bpm}$

c. 昇圧薬の使用について少量は容認する

( $DOA \leq 5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 、 $DOB \leq 5 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ 、 $NAD \leq 0.05 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ )

## ③ 十分な吸気努力がある

a. 1回換気量  $> 5 \text{ml}/\text{kg}$       分時換気量  $< 15 \text{L}/\text{分}$

b. Rapid shallow breathing index

(呼吸回数/1回換気量[L])  $< 105 \text{回}/\text{min}/\text{L}$

c. 呼吸性アシドーシスがない ( $\text{pH} > 7.25$ )

# SBT開始安全基準

## ④異常呼吸パターンを認めない

- a.呼吸補助筋の過剰な使用がない
- b.シーソー呼吸（奇異性呼吸）がない

## ⑤全身状態が安定している

- a.発熱がない
- b.重篤な電解質異常を認めない
- c.重篤な貧血を認めない
- d.重篤な体液過剰を認めない

# SBT成功基準

- 呼吸数 < 30回/分
- 開始前と比べて明らかな低下がない  
(たとえば  $\text{SpO}_2 \geq 94\%$ 、 $\text{PaO}_2 \geq 70\text{mmHg}$ )
- 心拍数 < 140bpm、新たな不整脈や心筋虚血の徴候を認めない
- 過度の血圧上昇を認めない
- 呼吸促迫の徴候を認めない (SBT前の状態と比較)
  1. 呼吸補助筋の過剰な使用がない
  2. シーソー呼吸 (奇異性呼吸)
  3. 冷汗
  4. 重度の呼吸困難感、不安感、不穏状態

# 抜管リスクの評価と対応

抜管リスクの分類

## 評価：抜管後気道狭窄の危険因子

以下の危険因子がある場合は、**カフリークテスト**により評価することが望ましい

- 長期挿管 (>48時間)
- 女性
- 大口径気管チューブ
- 挿管困難
- 外傷
- \_\_\_\_\_ など

## 評価：再挿管の危険因子

以下の危険因子が1つでもある  
<例>

- 上気道部手術の術後
- 頸部の血腫：術後
- 反回神経麻痺の可能性
- 開口困難
- 頸椎術後
- 挿管困難の既往
- カフリークテスト陽性 など

以下の危険因子が2つ以上ある

- 十分な咳嗽反射なし
- 頻回な気管吸引  
(2時間1回以上)
- 頻回な口腔内吸引
- SBT失敗≥3回
- 慢性呼吸不全 (COPDなど)
- 低栄養
- 水分過多 など

危険因子なし

抜管前対応

### 超高リスク群

- 咽頭浮腫の評価
  - 頭部挙上・利尿による浮腫軽減
  - ステロイド投与
  - 抜管時のTE※の使用準備
  - 非侵襲的陽圧換気の準備
  - 再挿管の準備 (緊急気切) など
  - 抜管時の麻酔科医等の立会
- ※TE：チューブエクスチェンジャー

### 高リスク群

- 排痰促進およびポジショニング
- 呼吸リハビリテーション
- 再挿管の準備
- 非侵襲的陽圧換気の準備
- 抜管時のTE※の使用準備 など

### 低リスク群

- 再挿管の準備

# 抜管後の観察

## 抜管時の対応と抜管後の評価

### 抜管

- 医療従事者間の明確な情報伝達・綿密なモニタリング
- 抜管後1時間は15分ごとに以下の項目を評価する  
呼吸数・SpO<sub>2</sub>・心拍数・血圧・意識状態・呼吸困難感・呼吸様式・咳嗽能力・頸部聴診・嘎声/  
喘鳴
- 動脈血液ガス分析→超高リスク・高リスク群：抜管後30分の時点

### 抜管後評価

観察項目	抜管前	抜管後	15分後	30分後	45分後	60分後	120分後
呼吸数・SpO <sub>2</sub>							
心拍・血圧・意識							
呼吸困難感							
呼吸様式							
咳嗽能力・誤嚥							
聴診（頸・胸部）							
嘎声/喘鳴							
血液ガス							



# 抜管時のアセスメント

- 再挿管リスクを評価する
- 再挿管リスクに応じて抜管前に予防をする
- 低リスク群であっても再挿管準備をする
- どの患者も再挿管リスクがあると認識し、抜管後1時間は特に注意して観察する。

# 人工呼吸器は非生理的機器！

人工的陽圧換気は、呼吸（肺）や循環をはじめマイナスの影響しか与えない。非生理的な機器である人工呼吸器から1日もはやく、患者が脱するための戦略を実行しよう！