

人工呼吸器の基礎

この教育資料は人工呼吸器の初学者向け

●学習目標について

そこで掲げた学習目標を掲示します。これらが達成できるように学習を進めていきましょう。

<本日の学習目標>

- 1、人工呼吸器がどのように動いているかが説明できる（原理）
- 2、モードの構成要素を3つ説明できる。
(トリガー・コントロール・サイクル)
- 3、PS・PEEPについて説明出来る。
- 4、人工呼吸器の基本モード（CPAP,A/C,SIMV）について、特徴を説明する事が出来る。
- 5、用語、部品&付属品の名前と役割が説明できる
- 6、日常点検のポイントが説明できる
- 7、代表的なアラームの意味と原因が説明できる

0、準備運動

0-2 人工呼吸器の役割とは

人工呼吸器の役割には、大きく分けて3つあります。

- (1) 酸素化の改善
- (2) 換気の改善
- (3) 呼吸仕事量の軽減

人工呼吸器には3つの役割があります。1、酸素化の改善 これはPaO₂やSO₂を改善させることです。次に2、換気の改善ですが、人工呼吸器の世界で換気と言ったらPaCO₂の話になります。つまりPaCO₂を改善（適正化）するのが2つ目の役割です。そして最後に3、呼吸仕事量の改善ですが、何かしらの原因で呼吸不全になり呼吸筋の疲労が生じている場合、もしくは呼吸に対して、患者が非常に努力を要する状態になっている場合それを軽減させる目的で使用します。勘違いしてはいけないことは、人工呼吸器自体がARDSや肺炎を直接的に治療しているわけではないことです。あくまでも、原疾患の治療のための時間稼ぎとして人工呼吸器は使われるものなのです。

0-3 人工呼吸と自発呼吸

まずは、人工呼吸と自発呼吸の違いを考えましょう。

空気の流れをつくるには圧の差つまり「圧格差」が必要です。

圧格差があることで、圧の高い方から低い方へガスが流れます。

私たちが普段行っている呼吸は、呼吸の仕組みでお話ししたように横隔膜が収縮することで胸腔内を陰圧にして外気との圧格差を作ることによって空気を肺に取り込んでいます。人工呼吸はどのように空気を送り込んでいるかというと、人工呼吸器自体が高い圧をつくって肺に空気を押し込んでいるのが「人工呼吸器」です。つまり、陽圧をかけて圧力の低い肺へ空気を無理やり押し込んでいます。自発呼吸と人工呼吸では全く異なった方法で圧格差をつくって呼吸をしています。

1、人工呼吸器がどのように動いているかが説明できる。

●人工呼吸器の基本的な動き

まずは人工呼吸器がどのように動作しているかを見ていきましょう。これが人工呼吸器の原理だと考えられます。

そもそも人工呼吸の役割を人間が担おうと思うと右図のような方法を取るのではないのでしょうか？

この作業を24時間、数日やり続けることはできません。



そこで登場したのが我々がよく目にする陽圧式の人工呼吸器です。

しかし、人工呼吸器と言われると、何か難しい原理で動いていて近寄りがたいようなイメージを持つ方が多いのではないのでしょうか？

ただ、先ほどお話ししたように、人工呼吸を単純に考えると、それほど難しい原理で動いているわけではなさそうですね。

そこで、人工呼吸器の動作原理を2つの弁の動きで簡単に捉えてみましょう。

一番オーソドックスな人工呼吸器には、吸気弁と呼気弁といわれる弁がついています。これが、開いたり閉じたりすることで吸気や呼気が行われています。

2つの弁の 開け閉め

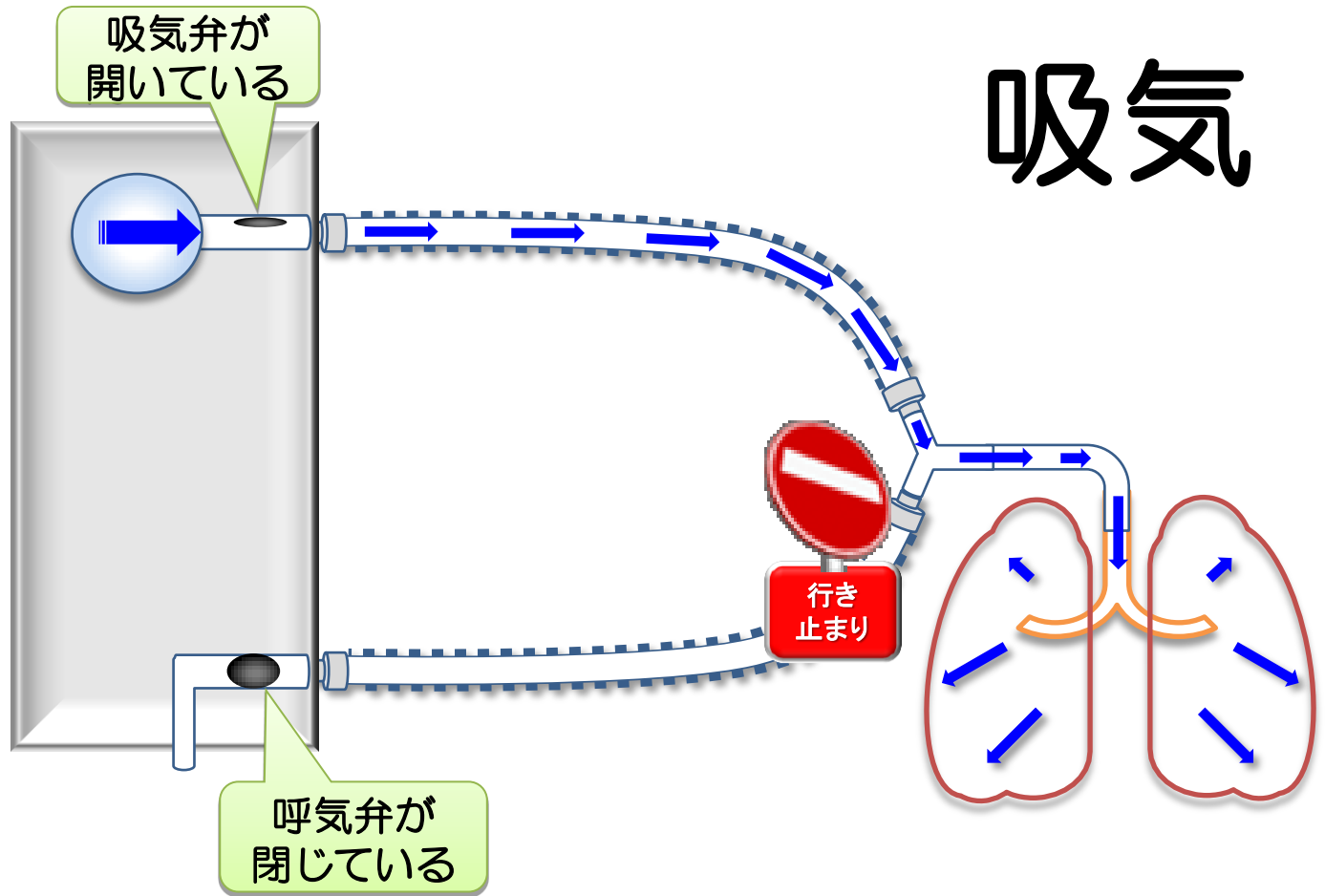
吸気・・・吸気弁開き、呼気弁閉じ

呼気・・・吸気弁閉じ、呼気弁開き

1、人工呼吸器がどのように動いているかが説明できる。

●人工呼吸器の吸気

もう少し専門家向けに説明を進めていきます。人工呼吸器をシンプルに考えるために、下の図のように人工呼吸器本体と回路、肺は風船のようなものがついていて考えてください。吸気側にガスの駆動源があって、その近くに吸気弁があります。その反対側に呼気弁があります。そして吸気するときには吸気弁が開いて、呼気弁が閉じて図の→のようにガスが流れて肺の中に空気が入っていきます。これが吸気です。



吸気

1、人工呼吸器がどのように動いているかが説明できる。

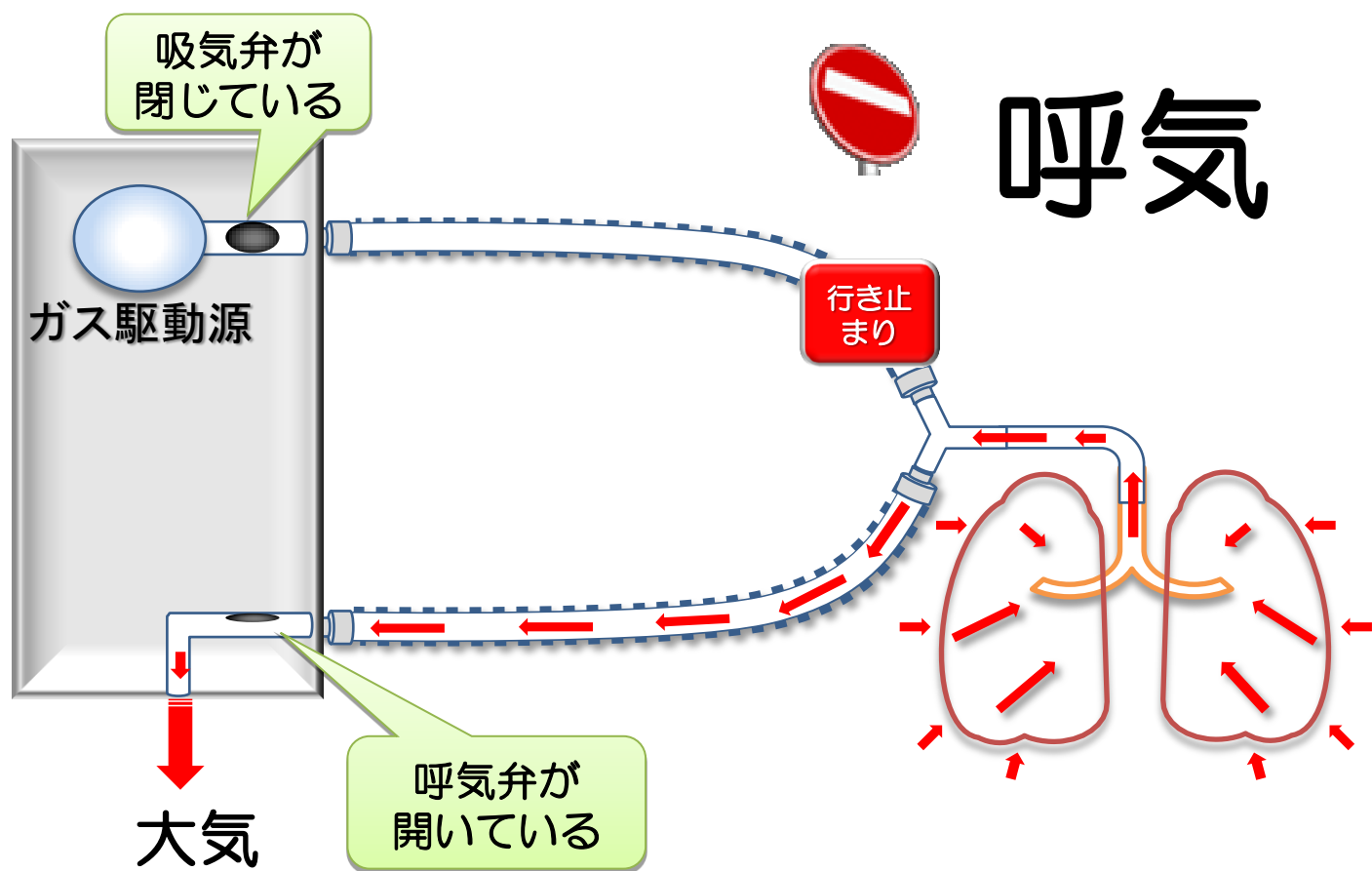
●人工呼吸器の呼気

次に呼気です。

呼気は先ほどと逆に吸気弁は閉じます。そして呼気弁が開く事でガスが大気へ流れだします。これが呼気です。

さて、人工呼吸の呼気時の動作は、呼気弁を開く以外にどのような動作をするのでしょうか？実は呼気時の人工呼吸器は呼気弁を開いているだけで、別に呼気側から陰圧をかけて引っ張ったりしている訳ではありません。ではどのように呼気を行っているかというところ・・・肺は膨らんだらしばむ性質を持っています。胸郭も広がったら元に戻る力を持っています。人工呼吸器の呼気はこの元に戻る力（弾性復元力）で行われます。

ここまでくるとお分かりになると思いますが、人工呼吸器は吸気を助ける機械で呼気は患者さんが自分で吐き出しているんです。それほど難しい動き方をしているわけではないですね。

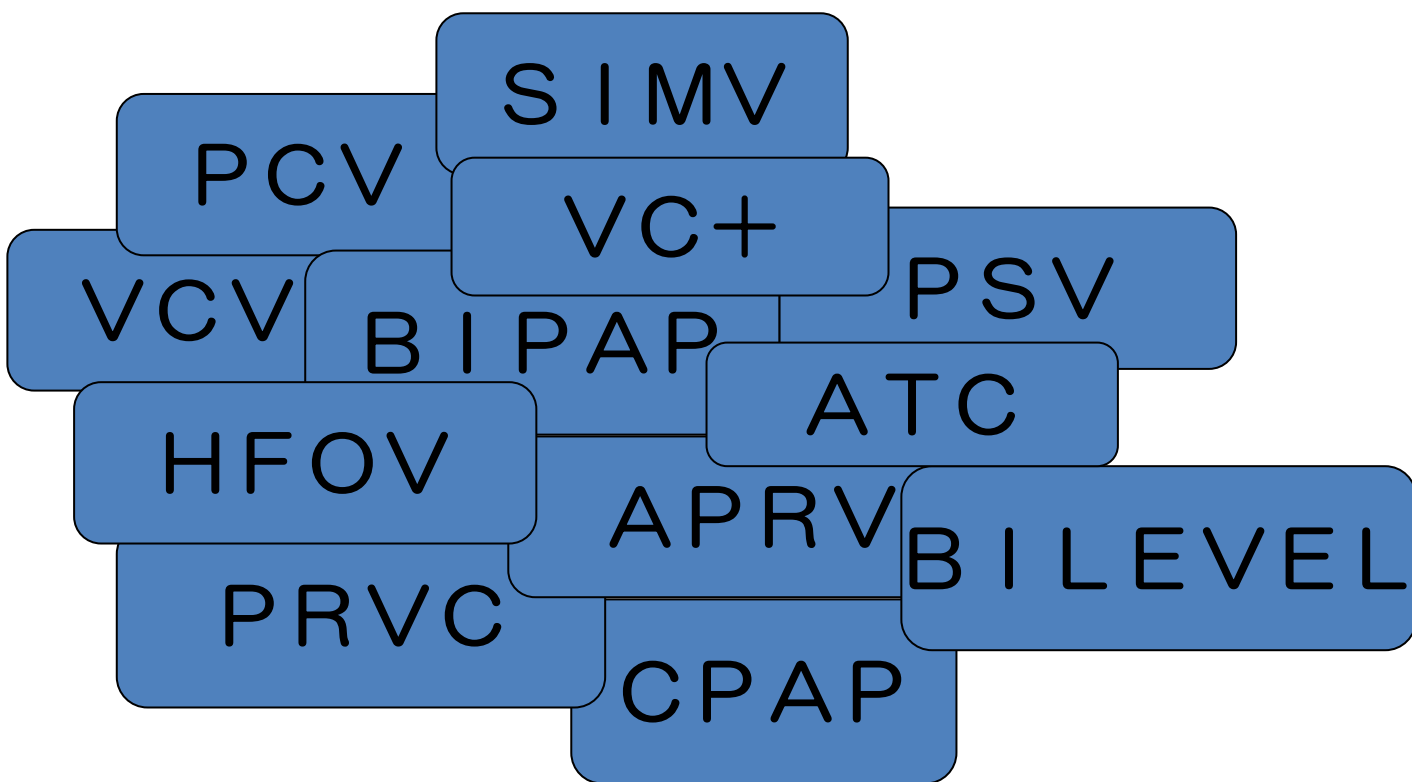


2、モードの構成要素を3つ説明できる。

●世の中にモードはいくつあるのか？

さあ皆さんが人工呼吸器を勉強する上で一番ややこしく思われることは「モード」なのではないでしょうか？では、モードはいったい世の中にいくつあるでしょう？！

残念なことに下記に示すようにたくさんあります。しかも、世の中に新しい人工呼吸器が発売されるたびに、新しいモードが出現して「こんなモードができました！！どうだ！！」というような感じで売り込みが来たりします。つまり、人工呼吸器のモードはどんどん増えていくと考えられ、様々なモードの動作を細かく分析していくことが自体がモードを理解する本質ではないと考えています。先ほど人工呼吸器の基本的な動きを見ていただいたように、人工呼吸器は弁が2つ付いていてそれがいい感じに動作しているだけです。そこで、ここではモードを理解するために基礎となる弁を開け閉めするタイミングを決めている要素がありますので、そこを押さえていきましょう。



＜人工呼吸器の動作原理＞
2つの弁を開け閉めしてるだけ！！

2、モードの構成要素を3つ説明できる。

先ほど人工呼吸器のモードを学ぶ前に、抑えるべき要素があると話しをしました。人工呼吸器を好きになれない理由として、モードが分からないという事が多いのではないのでしょうか。しかし、どんな複雑なモードでも所詮は2つの弁の動きですので、あまり難しく考えすぎずに進んでいきましょう。

人工呼吸器の動作は大きく3つの要素で動作しています。まず①「いつ」吸わせ始めるか（トリガー）、そして②「どうやって」吸わせるのか。最後に吸わせたので吐かせなければいけません。③「いつ」吸気をやめるか。実はモードはこの組み合わせを使って動作を説明する事が出来ます。

ポイントは3つ！

①「いつ」
吸わせ始めるか
トリガー

②「どうやって」
吸わせるか
コントロール

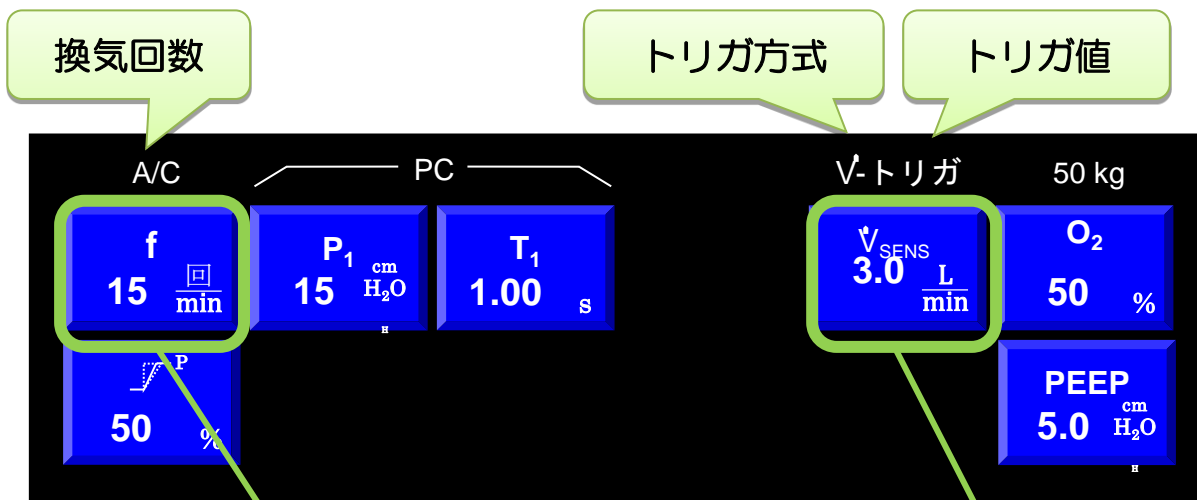
③「いつ」
吸気をやめるか
サイクル

2、モードの構成要素を3つ説明できる。

「いつ」吸わせ始める？

では、まずは「いつ吸わせ始める」トリガーの話です。トリガーの種類は世の中に2つあります。一つは時間で決めるタイプ「time-triggered」と、何が何でも時間で決めていたら患者さんが自分で吸っている場合はあんまり快適ではなさそうですね。なので患者さんにあわせる方式「patient-triggered」という方式があります。Patient-triggeredは図のようにトリガーを感知するレベルを設定する場所があります。

次に時間です、時間はどのように決めているのでしょうか？実は換気回数を決める事で「時間」を決めている事になります。計算例を図に示しましたが、例えば換気回数を15回とした場合、換気回数は1分間の回数ですので、単純な計算ですが、 $60 \div 15 = 4$ 秒という感じで出てきます。要するに4秒に1回吸わせるという事になります。



time-triggered

吸う回数を決めると
時間がきまる

f (換気回数) : 15回 (/min) だから、
 $60 \text{秒} / 15 \text{回} = 4 \text{秒}$ だから、
4秒に1回吸わせることになる。

patient-triggered

自発呼吸を感知
患者さんが吸いたい
タイミングに合わせる

トリガ値が5.0 L/minということは...

患者さんが5.0 L/min

速さで息を

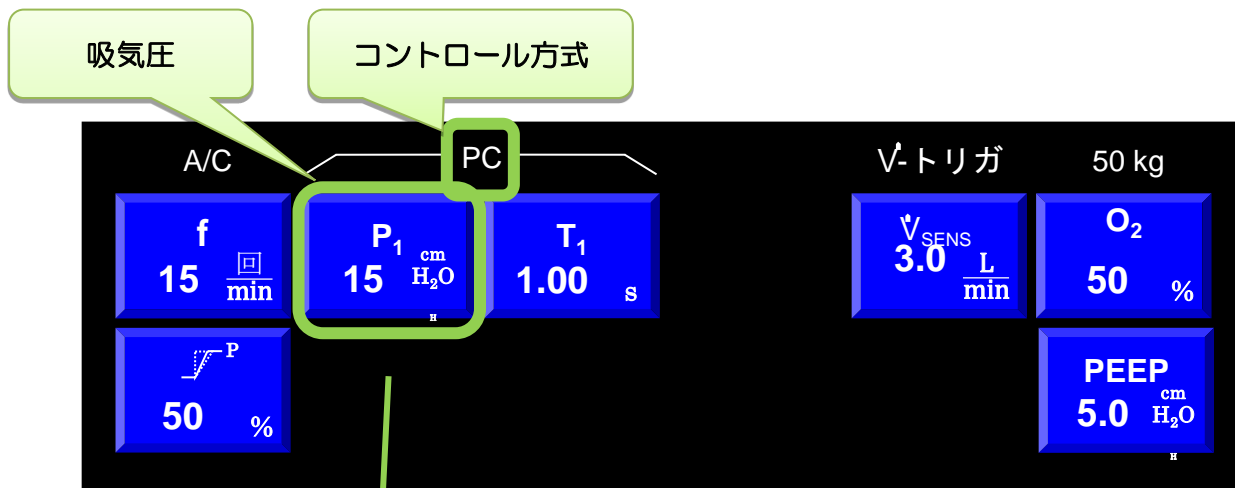
吸った時自発だと感知する

⇒ 吸う力が弱く感知しない場合は
設定を下げる

2、モードの構成要素を3つ説明できる。

「どうやって」吸わせる？

次に「どうやって」の部分です。これも世の中に2種類しかありません。一つは吸う時の量を決める「ボリュームコントロール」と「吸うときにどれくらい肺に圧をかけるかという「プレッシャーコントロール」です。注意していただきたい事は、プレッシャーコントロールは肺にかかる圧を設定するので、圧は決まっていますが、その肺に「どれくらいの量」が入ったかはわかりません。患者さんの肺の堅さや柔らかさによって変わってきます。

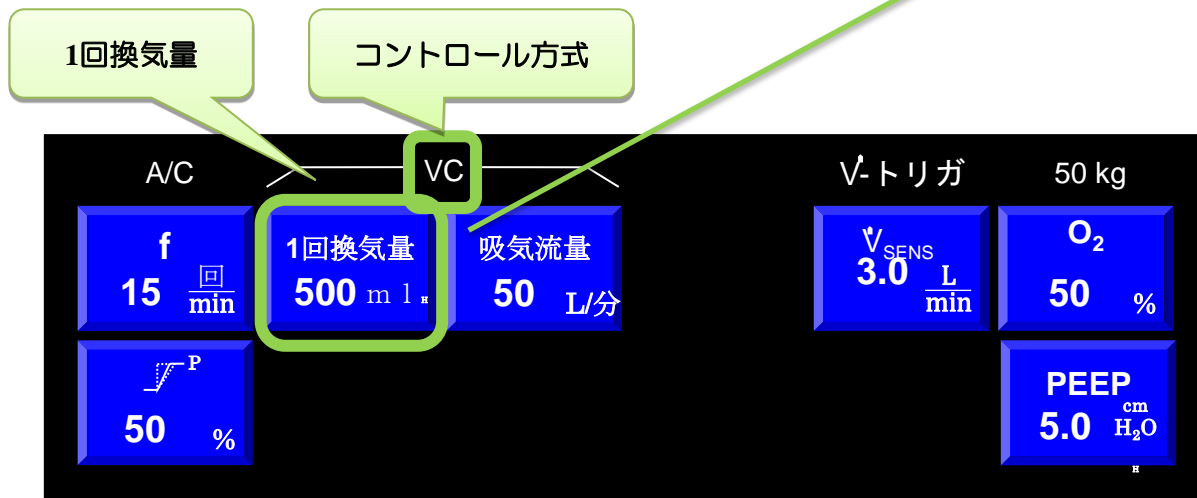


PC (プレッシャーコントロール)

吸う時の圧（吸気圧）を決める
どれくらいの量が入るかはわからない

VC (ボリュームコントロール)

吸う時の量（一回換気量）を決める



2、モードの構成要素を3つ説明できる。

「いつ」吸気をやめるか？

そして、吸わせる所までいきましたので、最後に止め時です。止め時には色々あります。例えば図で示したように、時間で決める場合これをタイムサイクル。もしボリュームコントロールだった場合500ml入れたら吸気を止める（ボリュームサイクル）等があります。どのような設定にも止め時を決めている部分があります。

The screenshot shows a ventilator control panel with the following settings:

- Mode:** PC (Pressure Control)
- A/C (Apnea Control):**
 - f : 15 $\frac{1}{\text{min}}$
 - P_1 : 15 $\text{cm H}_2\text{O}$
 - T_1 : 1.00 s
 - P : 50 %
- V-トリガ (Volume Trigger):** 50 kg
- Sensors:**
 - V_{SENS} : 3.0 $\frac{\text{L}}{\text{min}}$
 - O_2 : 50 %
 - PEEP: 5.0 $\text{cm H}_2\text{O}$

Callouts indicate that f is '吸気圧' (Inspiratory Pressure) and PC is 'コントロール方式' (Control Mode).

タイムサイクル

時間で吸気をやめる

ボリュームサイクル

一回換気量が入ったら吸気をやめる

The screenshot shows a ventilator control panel with the following settings:

- Mode:** VC (Volume Control)
- A/C (Apnea Control):**
 - f : 15 $\frac{\text{回}}{\text{min}}$
 - 1回換気量: 500 ml
 - 吸気流量: 50 L/分
 - P : 50 %
- V-トリガ (Volume Trigger):** 50 kg
- Sensors:**
 - V_{SENS} : 3.0 $\frac{\text{L}}{\text{min}}$
 - O_2 : 50 %
 - PEEP: 5.0 $\text{cm H}_2\text{O}$

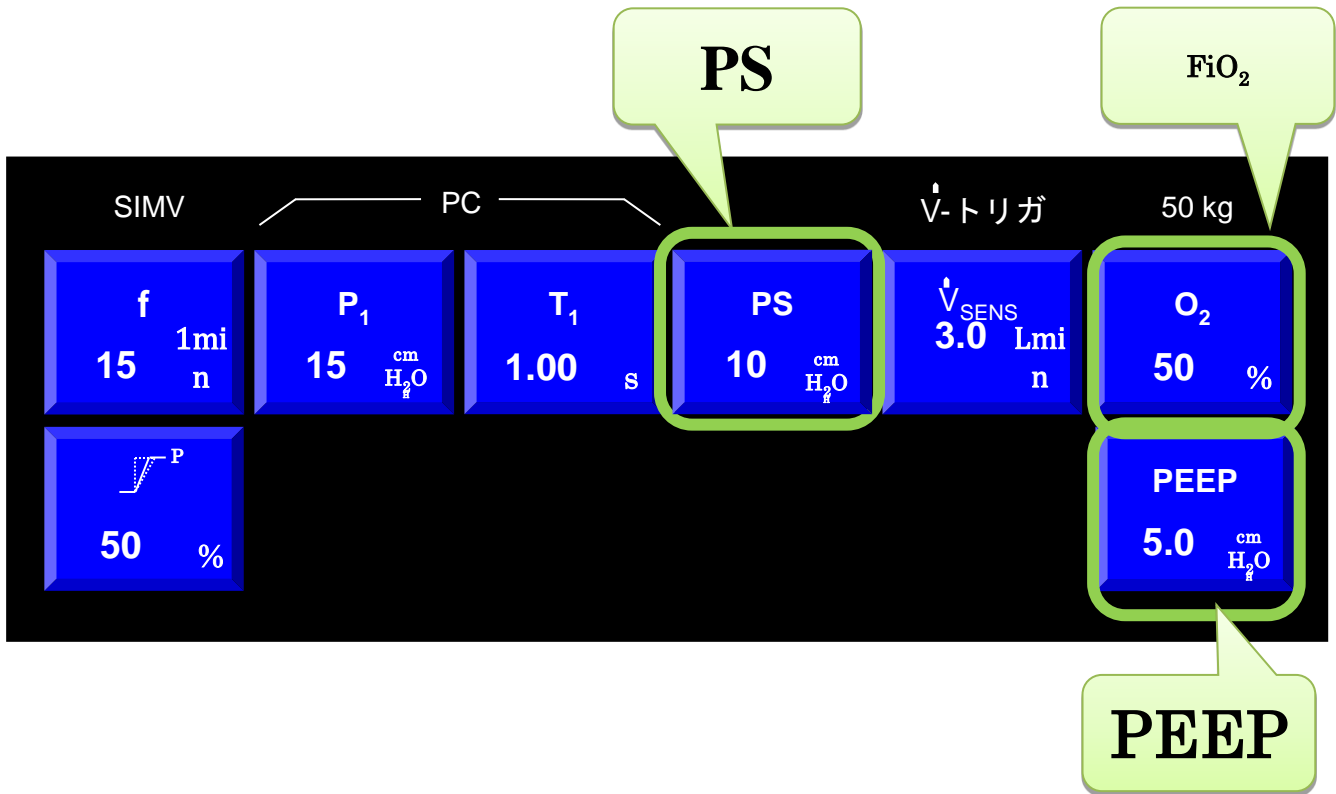
Callouts indicate that '1回換気量' (Tidal Volume) and VC are 'コントロール方式' (Control Mode).

2、モードの構成要素を3つ説明できる。

他の設定

その他に図のような設定項目があります。FiO₂はいいですね。吸入酸素濃度です。ちなみに一番低い設定は21%で目一杯ダイヤルをまわしても100%です。

それでは次にPS（プレッシャーサポート）とPEEP（ピープ）とはいったいどのようなものだろうか、その辺を見ていく事にしましょう。



PEEPとPSとは？

3、PEEP・PSについて説明が出来る。

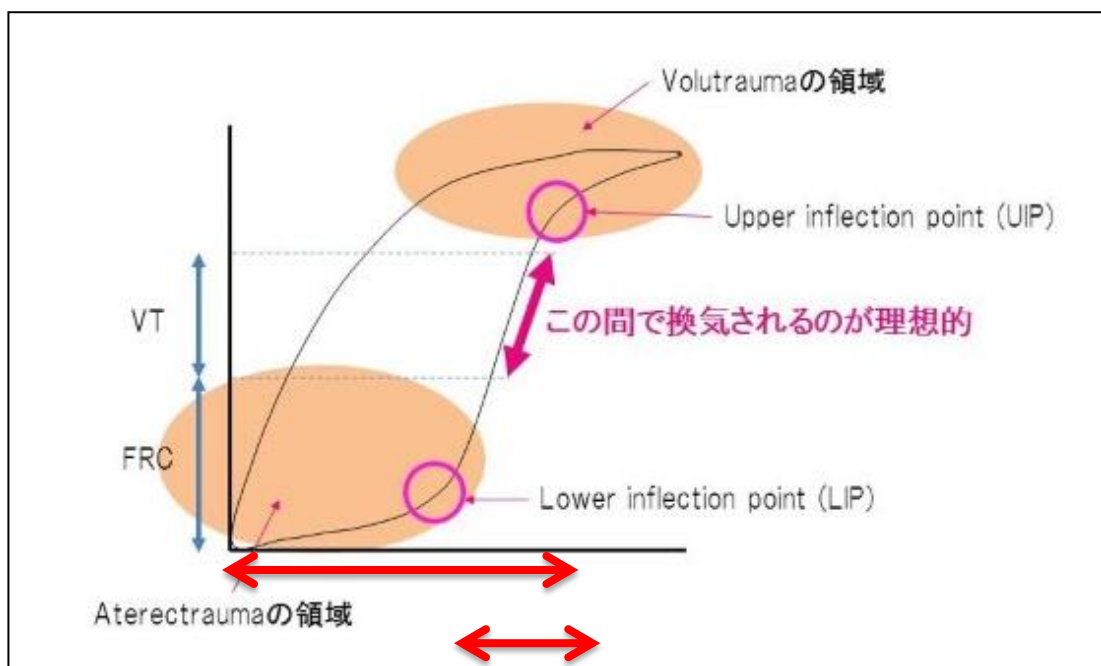
PEEPとは？

Positive End-Expiratory Pressure

呼気終末陽圧

PEEPというのは「ピープ」と読みます。英語で書くと「Positive End-Expiratory Pressure」日本語では「呼気終末陽圧」とどっちで呼んでも、読みにくいのでPEEPと書いて「ピープ」と呼んでいます。普通の人でも2～3 cmH₂O程かかっています。

PEEPをかけていると肺が完全にしぼまらずに膨らんだままになっています。つまり虚脱しないという事です。肺は虚脱するとよろしくありません。肺の特性として、肺は膨らみにくくしぼみにくい特性を持っています。一度膨らんでしまえば、たいした圧をかけなくても肺は膨らみやすくなります。しかし一旦しぼんでしまうと肺は膨らますのに非常に強い圧が必要です。例えば風船を思い浮かべてください、完全にしぼんだ風船を膨らませる力（圧力）」と中途半端に膨らんだ風船を膨らませる力（圧）では、中途半端に膨らんだ風船の方が容易に膨らませる事が出来ます。つまり、それを呼吸の力とすると呼吸の仕事量がより少なく肺を膨らませる役割りを持っている事になります。これがPEEPの役割りの一つです。



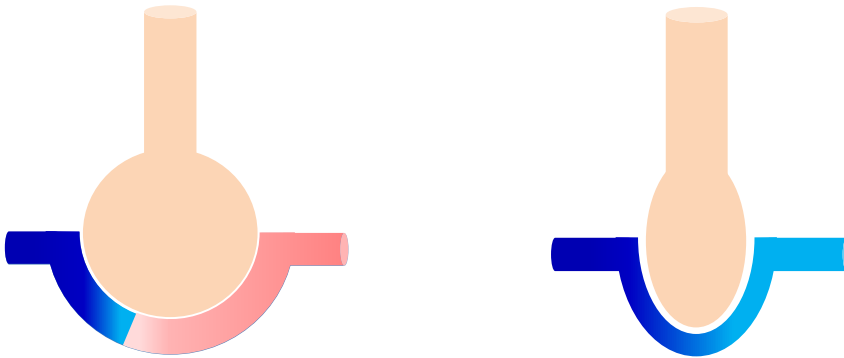
3、PEEP・PSについて説明が出来る。

PEEPによる機能的残気量の増加

さらに下の図を見ていただければ分かるように、PEEPをかけていくと肺の容量が大きくなっていくのが分かると思います。つまり酸素化や換気の効率を上げる事が出来るのです。

少し専門的な用語で話しをすると、人は吐ききった場合でも肺の中にガスが残っています。それを機能的残気量と言います。この機能的残気量が低下すると酸素化が低下すると言われていています。人間の酸素化は吸っているときだけ行われている訳ではありません。血液は常に流れているわけです。呼気時に肺の中にあるガスが減れば、吸気呼気を全体的に見て酸素化は低下しますよね。これをPEEPをかけてしっかり膨らませて、機能的換気量を増やそうとしている訳です。

また、肺炎や肺水腫を患っている患者は、肺がしぼみ易い状況になっています。つまり機能的残気量が低下している状況になっているので、そういう人には人工呼吸器が外から圧をかける必要があります。これがPEEPです。



呼気時にしっかり膨らんでいないと、呼気時に行われるガス交換が低下する

3、PEEP・PSについて説明が出来る。

PSとは？

Pressure Support

PSです。これはプレッシャーサポートと呼びます。モードに付随するオプションの一つです。基本的に患者さんの自発呼吸にあわせて少しサポートしてあげるもので、自発呼吸が無ければ作動しません。いわゆる先ほどの3つのポイントのトリガーで言うと「[patient-triggered](#)」ってわけです。

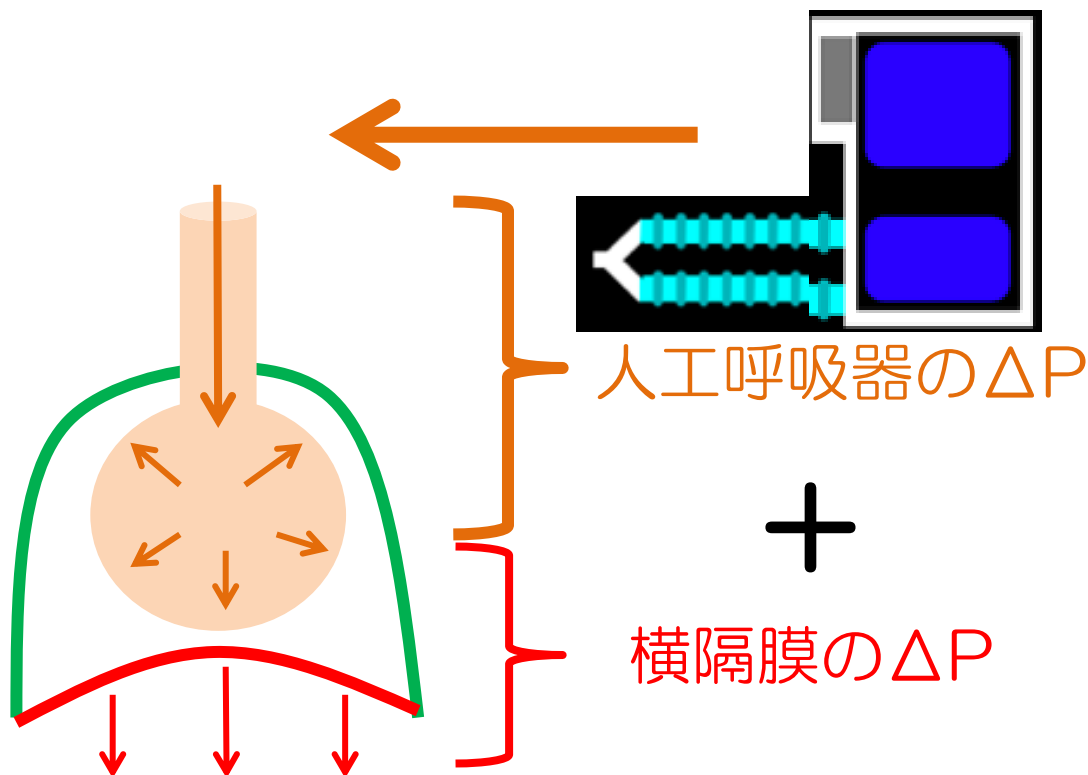
• 呼吸仕事量軽減のためのPS

肺を膨らませる為には、圧格差が必要であるといいました。圧格差があるから空気の流れるのでしたね。では、私たちは通常どのようにこの圧格差を作っているのでしょうか？そう横隔膜や外肋間筋などの筋肉ですね。筋肉が仕事をして圧格差を作っています。

その圧格差を外の力、つまり人工呼吸器で肩代わりしてあげれば、患者さんは無駄な筋力を使う事が無く圧格差を作ることができます。これで呼吸仕事量は軽減するわけですね。PSは呼吸仕事量を軽減させているのです。

肺に空気を入れる = ΔP

ΔP = 横隔膜・外肋間筋



4、人工呼吸器の基本モード（CPAP,A/C,SIMV）について、特徴を説明する事が出来る。

ここまで準備ができれば
モードを見てみよう！！

- CPAP
- A/C
- SIMV

先ほどのモードの基本要素「トリガー」「コントロール」「サイクル」を踏まえて、人工呼吸器の基本モードについて見ていきましょう。人工呼吸器のモードはたくさんある問い事は先ほどお話したので分かっていると思いますが、重要な事はモードそれぞれの動作を詳しく知る事よりも、動作の本質を知る事が重要です。それにはこれから紹介する3つの基本モードを抑えていただければ、大抵の人工呼吸管理に困る事はありません。それは頑張ってください。

4、人工呼吸器の基本モード（CPAP,A/C,SIMV）について、特徴を説明する事が出来る。

モードの考え方

モードの動作を詳しく説明する前に、モードの考え方の話しをしたいと思います。これは、簡単に見えて非常に重要です。いわゆるそのモードが「どの立ち位置にいるか？」という事です。

モードを考える上で、大事な事は「患者さんが呼吸の仕事をどれくらい負担するか（呼吸仕事量）」「人工呼吸器がどれくらい患者の呼吸の仕事を負担するか？」という事です。

下の図を見てください。例えば右側にあたる部分ですが、人工呼吸器の負担がとっても少ない状況になっています。そうすると、患者は自分が呼吸をするのにめっちゃめっちゃ頑張らなければなりません、いわゆる患者さんに呼吸の負担をかけているわけです。この一番右側にあるモードがCPAP（シーパップ）です。逆に全く左側をご覧ください。これは人工呼吸器がめっちゃめっちゃ仕事をしている状況です。この場合患者さんはほとんど力を使わずに楽に呼吸が出来るようにしているという事です。この左側にあるモードがA/C（アシストコントロール）というモードです。

SIMV（エスアイエムブイ）はというと、これは設定次第で右側にもよりますし、左側にもよるといふ特徴があります。なのでこのように真ん中位置にいます。このようにモードにはそれぞれの立ち位置があるので、このような図を頭に描いていて、今の状況ではどのモードが適切なのかを判断しなければなりません。

モードの考え方

SIMV

A/C

CPAP

小



大

大



小

4、人工呼吸器の基本モード（CPAP,A/C,SIMV）について、特徴を説明する事が出来る。

CPAP

まずはCPAPです。これは、「シーパップ」と呼びます。これは先ほどの「モードの考え方」の図でいうと、一番右側にあたるモードです。一番基本的なモードというよりか、人工呼吸器はほとんど何もやっていません、いわゆる人工呼吸器が吸気を助ける装置という意味で言うのであれば本当に何もしていません。では、人工呼吸器は何をやっているかという、PEEPをずっとかけている状態です。いわゆる吸っている時も吐いている時も常に陽圧を保っている状態となっています。これがCPAPです。ですので、基本的に自発呼吸がないとつかう事が出来ませんので注意してください。

しかし、吸気に全く何もしていないのは患者さんとしては少し苦しいかも・・・とか、少し位助けてあげた方がいいかな??ということで加えられる事が、PSです。これは、モードの名前というよりかは、オプションです。CPAPにオプションでPSを付ける、というような感じで、少し患者の呼吸仕事（特に吸気）を助けてあげる事が出来ます。

PEEPとPSをお忘れの方は、前に戻って確認してください。

PEEPをかけているだけ。

自発がないと使えない！

Continuous Positive Airway Pressure

持続的

気道

陽圧



ずっと気道に圧をかけ続けるモード

PSを追加する事が出来る！！

吸ってる時も
はいてる時も

4、人工呼吸器の基本モード（CPAP,A/C,SIMV）について、特徴を説明する事が出来る。

CPAP

CPAPの設定は至ってシンプルです。PEEPをかけているだけです、PEEPの設定と、酸素濃度（FiO2）です。そして先ほどお話ししたオプションのPSを設定する部分です。しかし、人工呼吸器によっては、下図のように手動換気を設定する部分やバックアップ換気を設定する部分等が設定項目に紛れ込んでくる場合がありますので注意してください。

設定項目（例）

モード名

PS

FiO2

CPAP

V_T-トリガ

50 kg

PS
10 $\frac{\text{cm}}{\text{H}_2\text{O}}$

V_{SENS}
3.0 $\frac{\text{L}}{\text{min}}$

O₂
50 %

\int^P
50 %

PEEP
5.0 $\frac{\text{cm}}{\text{H}_2\text{O}}$

PEEP

4、人工呼吸器の基本モード (CPAP,A/C,SIMV) について、特徴を説明する事が出来る。

A/C

次にA/Cです。アシスト・コントロールと呼びます。これは「モードの考え方」の図で言う一番左側にあたります。

今回のモードの解釈は強制換気がどのように患者さんに提供されるかという視点で見えていきます。それではA/Cはどのように強制換気が入っているかと言いますと、人工呼吸器に設定した換気回数いわゆる「決められた回数」は必ず強制換気が入ります。例えば下の図で15回と設定したら必ず15回/分強制換気が入ります。(無呼吸でも自発呼吸が15回以下でも)

では、自発呼吸が15回/分以上出て来たとしましょう。そうするとこのモードは「全ての自発呼吸に合わせて」強制換気を全て補助します。つまり、至れり尽くせりなモードです。だからモードの考え方の一番左側に来る訳です。

Assist / Control



決められた回数は強制換気
全ての自発呼吸に合わせて強制換気

設定項目(PCの場合)

モード名	コントロール方式	吸気時間	トリガー方式	FiO2
A/C	PC	T_1	\dot{V} -トリガ	50%
f 15 $\frac{1}{\text{min}}$	P_1 15 $\frac{\text{cm}}{\text{H}_2\text{O}}$	1.00 s	V_{SENS} 3.0 $\frac{\text{L}}{\text{min}}$	O_2 50 %
f 50 %			トリガー値	PEEP 5.0 $\frac{\text{cm}}{\text{H}_2\text{O}}$
換気回数	吸気圧			PEEP

4、人工呼吸器の基本モード（CPAP,A/C,SIMV）について、特徴を説明する事が出来る。

SIMV

次はSIMVです。これは、エス・アイ・エム・ブイと呼びます。これは、モードの考え方で言うとちょうど中間の位置にありましたが、正確に言うと、設定の仕方次第で右側にも左側にも変化するという意味の表現となります。

では、SIMVの強制換気の入り方ですが。まず、設定された換気回数（決められた回数）は強制換気が入ります。例えば15回/分と換気設定を決めたら15回/分強制換気が入ります。（無呼吸でも自発呼吸が15回/分以下でも）

実はここまではA/Cと同じなんです。では、どこが違うかというと、自発呼吸が決められた回数よりも多く出て来た場合なんです。

もし自発呼吸が20回/分出て来たとしましょう。15回/分は自発呼吸に合わせて（同期して）強制換気を提供します。しかし、残りの5回はどうかというと「ここがA/Cと違う」残りの5回には人工呼吸器は何もしません・・・（厳しー）。これがSIMVです。

ですので設定換気回数（決められた回数）を多く設定すればA/Cに近くなりますし、少なくすればCPAPに近づくという訳なので「モードの考え方の図」であのような位置になる訳です。

ただし、CPAP同様、強制換気の補助しない自発呼吸の部分にオプションでPSを付ける事が出来ます。これもSIMVの特徴の一つです。

同期的

Synchronized

Intermittent Mandatory Ventilation

間欠的

強制的

換気



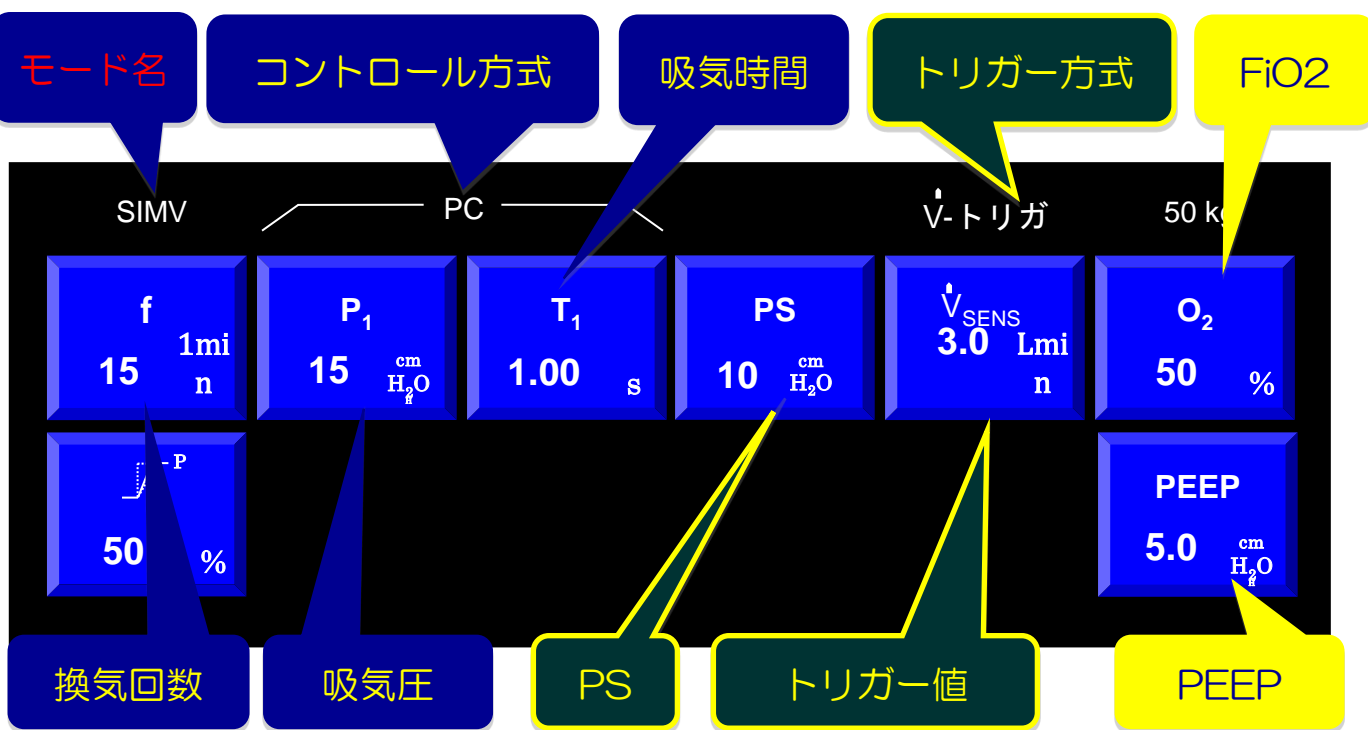
決められた回数は強制換気
それ以上の自発呼吸には基本的に何もしない

（PSを付加する事が出来る！！）

4、人工呼吸器の基本モード（CPAP,A/C,SIMV）について、特徴を説明する事が出来る。

SIMV

設定項目(PCの場合)



A/CとSIMVの違い

ここがポイント！！

A/C：設定された換気回数は強制換気
→全ての自発呼吸に強制換気

SIMV：設定された換気回数だけ強制換気

重要な用語

～意味と役割～

【人工呼吸器用語編】

人工呼吸器の世界では様々な用語が使われています。特に設定やモニタに関する用語は人工呼吸器の機種によって表示が異なるなど非常に多様で複雑です。ここでは、筆者が考える一般的で特に重要であるという思う用語をピックアップしてお話ししていきたいと思います。

まずは「呼吸回数」です、これは設定項目にも含まれますし患者さんの実測値いわゆるモニターでも使用される用語です。この呼吸回数が単位と共にどのような意味があるのかを見ていきます。

次に換気量です。これは従量式（VCV）では設定項目になりますし、もちろん患者の実測にも項目にもある用語です。こんなの知っているよ！！なんて思う方もいるかもしれませんが、換気量にはどのような種類の表示があるのか、どのような意味があるのかなど掘り下げていきましょう。

呼吸回数

換気量

①換気回数

- 表示は1分間の回数を表しています。

② 〇〇回

① 1分間に

回/分

まずは呼吸回数です。呼吸回数は1分間の回数です。単位の見方は①1分間に②〇〇回ということです。これは世界共通です、他の国は①30秒に②〇〇回というわけではありませんのでご安心ください。表示方法は f : frequency (回数) を示す場合があります。その他に換気回数など呼ばれる方は様々ですが、いわゆる呼吸回数です。

②換気量

換気量の代表

1回換気量・・・1呼吸の量（吸気量・呼気量）

_____ml

分時換気量・・・1分間の換気量

_____L / 分

② OOL

① 1分間に

次に換気量です。換気量は少し複雑です。換気量には大きく分けて2種類あります。1回換気量と分時換気量（ぶんじかんきりょう）です。1回換気量は1呼吸の量です。「はい吸ってください」の時に肺に取り込まれるガスの量です。次に分時換気量です。分時換気量は1分間の平均の量です。先ほど呼吸回数は1分間の回数といいました。この呼吸回数に1回の換気量（1回換気量）を掛け合わせると分時換気量となります。下の式が成り立ちますね。

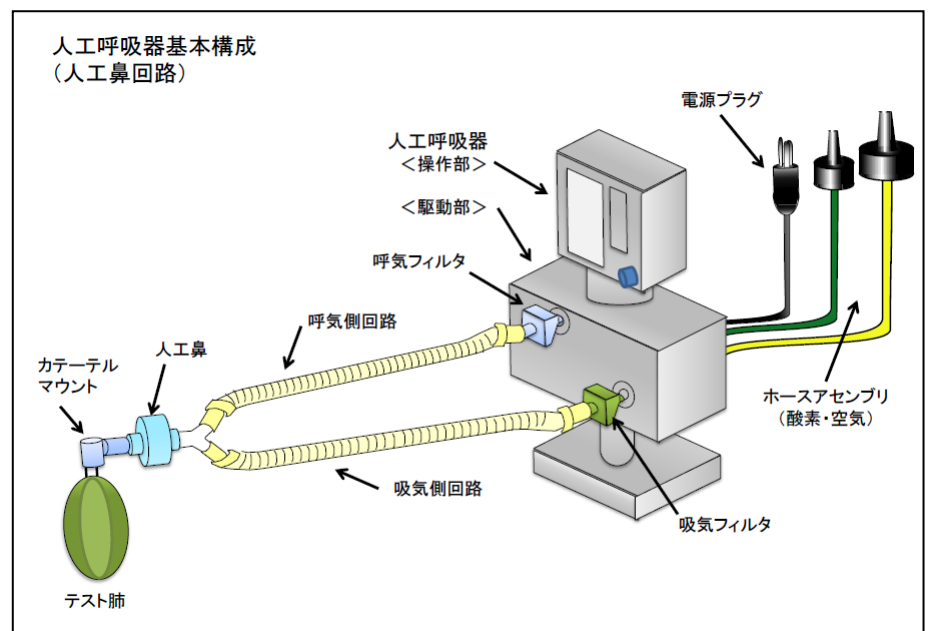
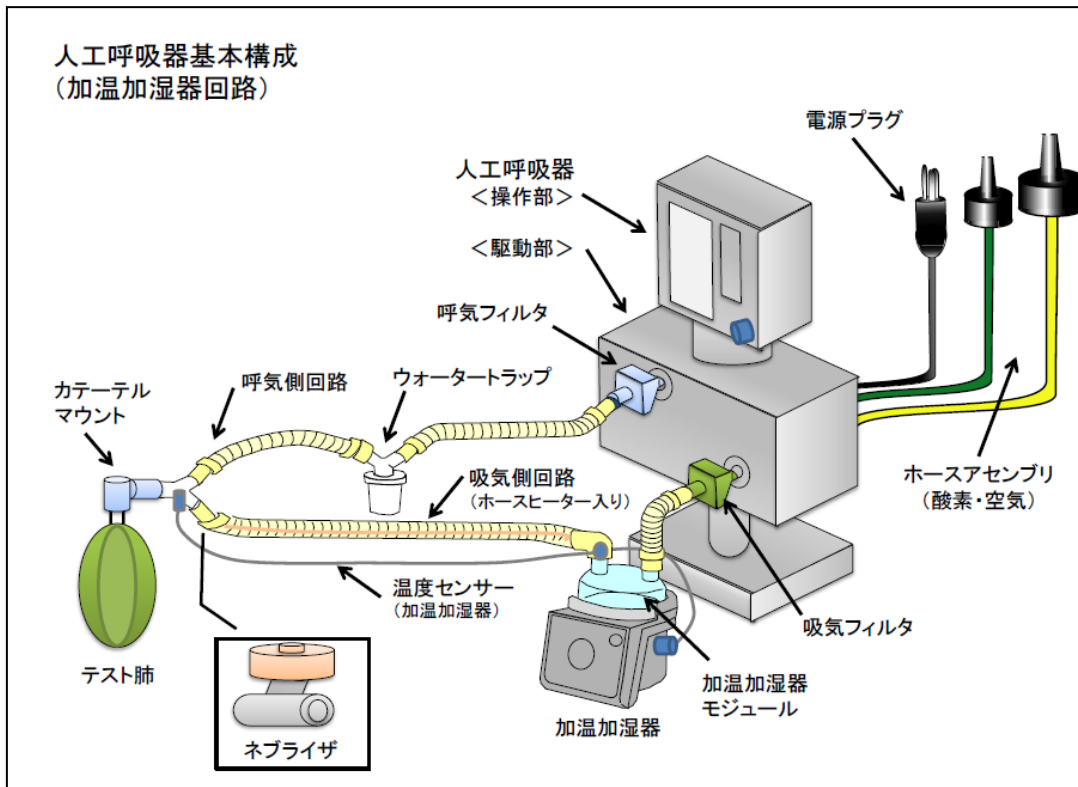
分時換気量 = 1回換気量 × 呼吸回数

これはアラームなどにも登場しますので覚えておきましょう。たとえば分時換気量が低下した場合「分時換気量低下アラーム」が発生します。しかし、どのような場面を想像しますでしょうか？まずは1回換気量が低下した場合、呼吸回数が低下した場合、1回換気量も呼吸回数も低下した場合等、複数の原因を考えることができます。この関係性をしっかり把握しておくことが重要です。

また、換気量は呼気の換気量を表示している場合と吸気の換気量を表示している場合があります。その表示にはEとかIなどが表示されています。

Eは呼気（expiration）Iは吸気（inspiration）です。

5、重要な用語、部品&付属品の名称と役割が説明できる 【部品・付属品（回路、物品編）】

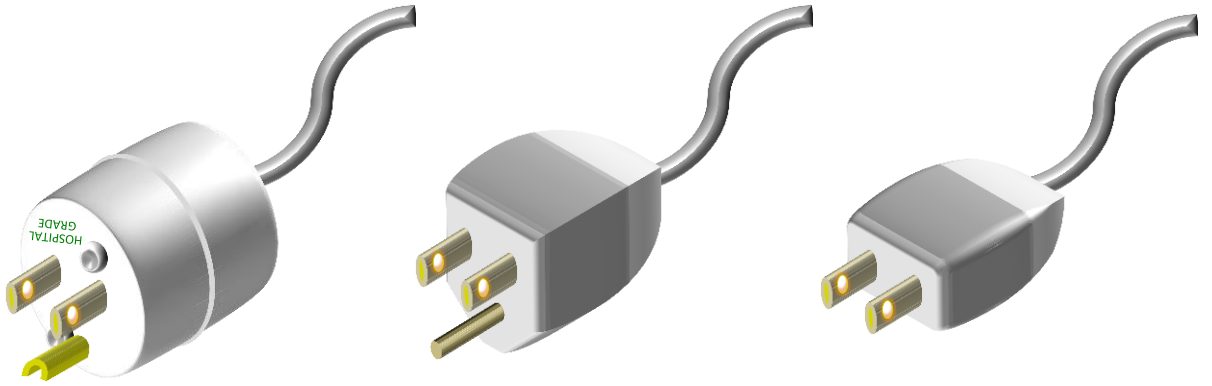


次は回路や物品の話です。人工呼吸器の構成や回路は様々な形態があります。1つだけ覚えればOKというわけではありませんが、代表的な構成や名称、役割を知っておくことは重要です。特に人工呼吸器に関連する事故の多くは回路や消耗品関連で多く発生しています。役割や特徴をしっかり把握しておきましょう。

5、重要な用語、部品&付属品の名称と役割が説明できる

電源プラグ

【電源プラグの種類】



ホスピタルグレード
のプラグ

3Pプラグ

2Pプラグ

電源コンセント、電源コードなど呼ばれていますが、

これらは**プラグ (plugs)**と呼びます。ちなみにコンセント (sockets) は受け側 (壁側) 方をいいます。

電源プラグの種類は2種類あって、病院で使用する医療機器のほとんどは3Pプラグです。これは漏れ電流などの電氣的な安全性を確保するために使われます。洗濯機に緑のコードが付いてるのを見たことがあると思いますが、あれは感電防止のために電気を逃がすアースといわれているものです。あれがまさしく漏れ電流などの電氣的な安全性を確保する仕組みです。3Pプラグの3つ目の刃 (突起) はアースです。

右側の2Pプラグで使われる医療機器 (人工呼吸器も含む) もあります。これは電氣的な安全性を無視しているわけではなく、別な方法で電氣的な安全性を確保していますので安心してください。

特に在宅で使用される医療機器のプラグは自宅が3Pプラグに対応しているなんてことはありませんので、2Pプラグが使われている機器が多いと思います。しかし、病院から在宅医療へ移る際はこのあたりの確認が必要です。

5、重要な用語、部品&付属品の名称と役割が説明できる

【コンセントの種類】

コンセントの種類も整理しておきましょう。病院は絶対停電しないなんて思っている方もいるかもしれませんが。そんなことはないんですよ！！

コンセントは4種類 (JIS T1022)

白



一般電源

通常の電源で、病院が何かしらの原因で停電した場合は、電気の供給が停止する。人工呼吸器などの生命維持管理装置は使用しない方が良いでしょう。

赤



非常用電源

非常用の電源で、病院が何かしらの原因で停電した場合は、一旦電気の供給が停止するが、発電機が動き出し電気の供給が開始される。無停電が無い場合は、人工呼吸器などの生命維持管理装置は非常電源に接続してください。

茶



緑



無停電電源

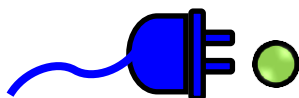
この電源は病院に備える大きなバッテリーに説毒されている。病院が何かしらの原因で停電した場合は、回路が瞬時に切り替わり、停電することなく電気の供給が開始される。人工呼吸器などの生命維持管理装置は無停電に接続してください。

【AC電源とバッテリー】

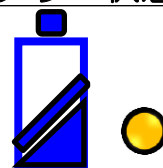
人工呼吸器の本体をよく見るとACという表示を見たことがあるでしょうか？ACとはいったいどんな意味があるのでしょうか。実はACというのは交流電流（こうりゅう電流、alternating current, AC）と言って、時間とともに周期的に大きさと向きが変化する電流のことです。

それを覚えてほしいわけではありません。ACというのは壁のコンセントから電源を取っているという事で、つまり電源プラグをしっかりと充電している状態になっているという事です。このACが光っている場合はしっかりと壁のコンセントから電源確保されています。逆に光っていない場合はバッテリーで稼働している可能性があります。バッテリー稼働時間も人工呼吸器の種類ごとに異なるので確認しておくことをお勧めします。

AC電源



バッテリー状態



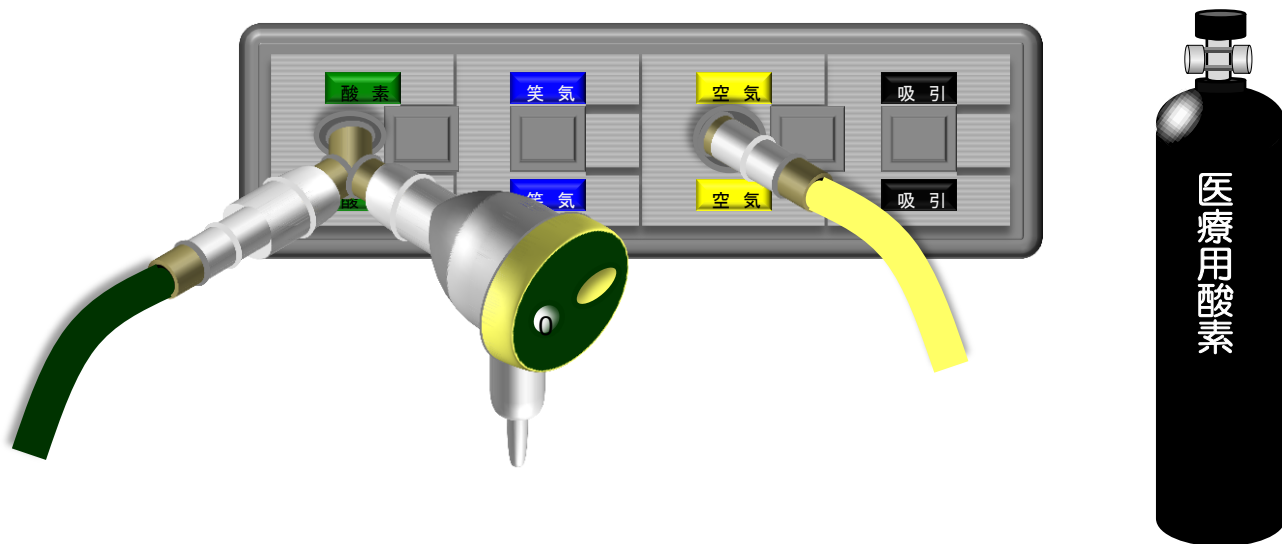
5、重要な用語、部品&付属品の名称と役割が説明できる

【酸素・圧縮空気 配管】

医療ガスを供給するガスアウトレットの酸素は緑、空気は黄色酸素ボンベの色は何でしょう？

ここでは医療ガスの話をします。まずはアウトレット（配管）です。酸素は緑、空気は黄色、では次にボンベの話も合わせてみていきましょう。酸素ボンベの色は何色でしょう？

そう黒ですね、配管の色とボンベの入りが違うので十分気を付けてください。



次にさらに質問です。二酸化炭素のボンベの色はなんでしょう？

そうなんです、なんと緑なんです。ではもう一度壁配管の酸素を見てください。

酸素のアウトレットは「緑」ですね、ここが非常に危険な部分となります。

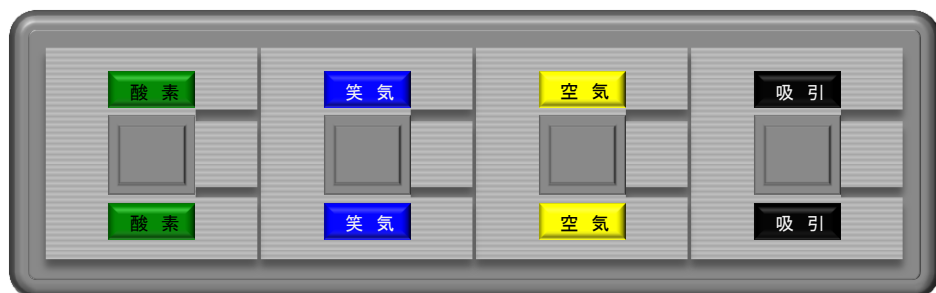
ボンベでは緑は二酸化炭素です。壁の配管は緑が酸素となっています。

実はこの緑のボンベはOPE室で内視鏡手術の気腹装置に使われます。

ここまでお話しすればお分かりかと思いますが、この色の関係性でボンベの取り違えの重大な事故が発生しています。

酸素 二酸化炭素

ガス供給アウトレット



5、重要な用語、部品&付属品の名称と役割が説明できる

【ガスボンベと配管の色】

ガス	高圧ガス保安法によるボンベの色	医療ガス配管設備 (JIS T7101)
酸素	黒	緑
笑気	ねずみ	青
空気	ねずみ	黄色
窒素	ねずみ	灰色
炭酸ガス	緑	橙
吸引	—	黒

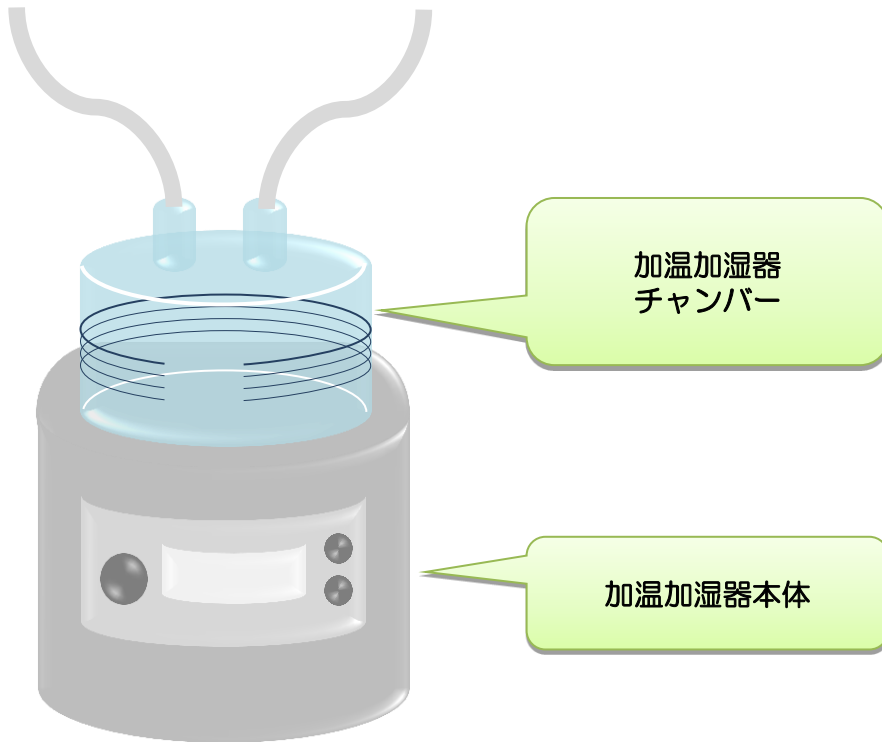
※ボンベの色と配管の色が違う事に注意！！

なぜガスボンベと配管の色がこのような関係になっているかというと、そもそも管理している法律が異なります。

表で示したようにガスボンベは高圧ガス保安法、配管はJISで管理されています。問題とはなっていて、これらを統一するために働きかけをしてくださる先生方がおりますが、中々変わらないのが現状です。

5、重要な用語、部品&付属品の名称と役割が説明できる

加温加湿器



これは、加温加湿器のシステムですね。主に機器（本体）と水を入れる部分「チャンバー」と呼ばれる部分で構成されています。まあ、「加湿器の窯（かま）」といっても通じると思いますが・・・

細かいところでは、温度を測定している「温度センサー」や回路の熱線に電気を提供するコードが付属している場合があります。

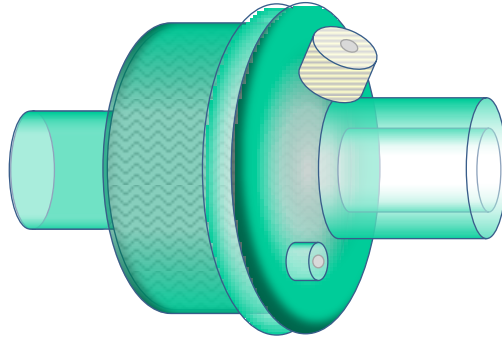
壁にきている医療ガスは湿度ゼロ%です（からっから）です。

人工呼吸器を装着している方は気管チューブを使っている場合が多いですよ（NPPV以外は）、その場合人間の加湿機能（鼻腔）を通過せずに直接ガスが肺に入って行ってしまいますので、ものすごく不都合な状態になっていますわけです。（乾燥により気管の繊毛運動が低下し、易感染状態になる）

5、重要な用語、部品&付属品の名称と役割が説明できる

人工鼻

どのような仕組みで加湿するかを知っておけば、禁忌の理解も深まる。



これは人工鼻です。これは加湿システムの一つです。原理は、患者さんから呼出された息を利用して加湿をしています。呼出された息（呼気）には水分が含まれています。皆さんも冬に窓ガラスに息を吹きかけると白く曇りますのを見たことはあると思います。それを利用します。このフィルターみたいなものにその水分を補足して、次の吸気の際にその水分を提供するという仕組みです。患者さんによって加湿効率は変わりますね。また、小児などカフ漏れを前提として管理している場合は、そもそも人工鼻に呼気が届きませんので加湿器として十分な働きをすることが出来ません。このように原理（仕組み）を知っておくことは非常に重要です。

また、禁忌（使ってはいけません状況）があります。それは、加温加湿器との併用、多量の分泌物がある場合です。

何故禁忌かといいますと、加温加湿器は多量の水蒸気を発生させる機器です。それと人工鼻を同時に使うとどんなことが起こるか想像してみてください。人工鼻がしっかり詰まってしまいます。これは絶対に行ってはいけません。また、同様に多量の分泌物が発生している場合も同様です。

適応と禁忌は非常に大事です。

5、用語、部品&付属品の名前と役割が説明できる

ウォータートラップ



不完全な接続の例

人工呼吸器回路のウォータートラップのカップの接続が不完全であったため、ここからガスが漏れてしまった事例がある。

これは、回路内の余分な結露を収集する水受けです。トラブルが一番多い部分です。何故トラブルが多いと思いますか？

それは、人間の手が頻繁に入るところだからです。

水は溜まったらもちろん捨てますね。1日に何回も行います。

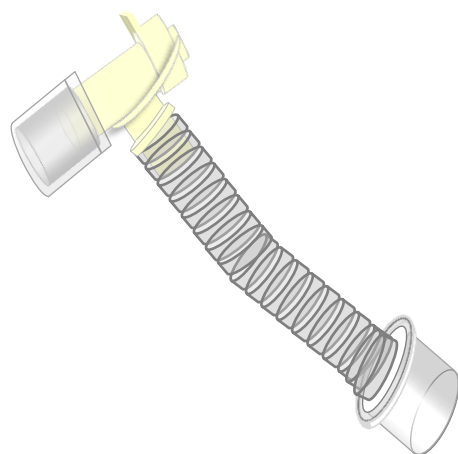
「トラブルの多いところ」＝「よくいじるところ」です。

また、水は下に溜まります。回路に余計な水分をとどめておくわけにはいきませんので、水をしっかり溜めなければいけません。そこで回路の1番下に設置させます。

これも「非常に見にくいところ」ということで、このような事がいろいろ重なって「1番トラブルの多い」ところとなっています。

カテーテルマウント

これは患者さんとの接続部です。「カテーテルマウント」呼び方をします。でも世の中には、回転コネクター・シーベルトマウントなどと呼ばれることがあり、同じ役割の物です。いずれにしても回路を動かした際、または患者さんを移動させる際など「患者の人工気道（気管チューブ）」などに過度の力が加からないようにする「あそび」の部分となります。



6、日常点検のポイントが説明できる

【点検の方法】

人工呼吸器設定および作動状況の点検

設備・機器外装の点検

人工呼吸器の回路・備品の点検

患者データの点検

日常の点検は非常に重要です。点検項目をあげていくと、あれもこれもと項目を増やしたくなり壮大な点検表が出来上がります。筆者の考えとしては、やたらと点検項目を増やせば安全性が高まるわけではないという事です。筆者としては「重要な項目をしっかりと見る事ができる」を重視しています。下記にガイドラインの点検表とみる項目を示します。さらに、補足として「点検のコツ」や「回路チェックの鉄則」等を加えて、点検が有効に行われることを目指しています。

人工呼吸器設定および作動状況の点検

「人工呼吸器設定の点検」

人工呼吸器 使用中点検表 (例)

2. 使用中点検

月日時刻	月日	月日	月日	月日	月日	月日
点検者						
⑤ 設定						
18 MODE (SIMV・CPAP・A/C)						
19 制御 (PC・VC)						
20 呼吸回数 [RPM]						
21 <input type="checkbox"/> 一回換気量 [ml]						
<input type="checkbox"/> IP [Pa]						
22 <input type="checkbox"/> 吸気流速 [LPM]						
<input type="checkbox"/> 吸気時間 [sec]						
23 Pressure Support [Pa]						
24 PEEP [Pa]						
25 トリガ (F/P) 感度						
26 酸素濃度 [%]						
⑥ アラーム設定						
27 呼吸数上限 [回/分]						
28 分時換気量下限 [L/分]						
29 低圧 [Pa]						
30 高圧 [Pa]						
31 無呼吸 [秒]						

人工呼吸器設定の点検

- 患者の状態に応じた適切な人工呼吸器の設定となっていること。

適切な設定の評価

- 酸素化、換気、呼吸仕事量の3つの視点で評価すること。
- 各種設定やパラメータが記録されていること。

適切なアラーム設定の評価

- 患者の状態の変化に応じて設定すること。
- アラーム設定の妥当性を適宜検討すること。

設備・機器外装の点検

人工呼吸器の回路・備品の点検

⑧ 設備・機器外装の点検	
43	電源プラグ・コードに破損がなく確実に接続されている
44	ホースアセンブリ（酸素・空気）に破損・緩みがない
45	人工呼吸器および加温加湿器本体に破損がない
46	人工呼吸器および加温加湿器操作パネルに破損がない
47	操作ダイヤル、タッチパネルが適切に動作する
48	表示灯、ディスプレイ表示に欠損がない
⑨ 人工呼吸器回路・備品の点検	
49	回路・加温モジュール、ウォータートラップに破損がなく確実に適切な方向に接続されている
50	定期交換部品の交換時期（各種フィルタ、人工鼻、閉鎖式吸引器など）
51	回路に多量の水滴がない
52	ウォータートラップの水の除去が確実にされている
53	加温加湿器の電源が入っている
54	加温加湿器に蒸留水が使用されているか（近くに似た形の薬剤ボトルがないか）
55	加温加湿の状況が適切である（加温加湿器、人工鼻）
56	加温加湿器と人工鼻が併用されていない
57	手動式人工呼吸器などが準備されている
⑩ 作動状況の点検	
58	適切なアラーム設定になっている
59	使用環境が適切である
60	作動時間
61	備考・特記事項 <input type="checkbox"/> Ns コールが連動する <input type="checkbox"/> 酸素流量計が準備されている

設備・機器外装の点検

- ・電源プラグ、コンセントに破損がなく確実に接続されていること。機器に電源が供給されていることを示すインジケータがある場合には、インジケータを確認すること。瞬時特別非常電源もしくは一般/特別非常電源コンセントに接続されていること。
- ・ホースアセンブリ、アウトレットに破損がなく確実に接続されていること。
- ・人工呼吸器および加温加湿器の本体、操作パネルや操作ダイヤルに破損がないこと。また、操作ダイヤルが適切に動作すること。
- ・人工呼吸器のタッチパネルが適切に動作すること。・人工呼吸器および加温加湿器のディスプレイの表示に欠損がなく、表示灯が正常に点灯していること。

人工呼吸器の回路・備品の点検

- ・人工呼吸器回路、加温加湿器モジュール、ウォータートラップ、ネブライザに破損がなく確実に接続されていること。
- ・ウォータートラップの水の除去が確実にされていること。
- ・人工呼吸器回路やウォータートラップが適切な位置に確実に固定されていること。
- ・加温加湿の状態が適切であること。（過剰な加湿による多量の水滴が発生していないこと。加湿不足による乾燥が発生していないこと。）
- ・人工鼻と加温加湿器の併用が行われていないこと。
- ・人工鼻を使用している場合は、適応・禁忌の評価を行うこと。
- ・緊急事態に備えた備品を配備しておくこと（バグバルブマスク、ジャクソンリースなど）。
- ・気管吸引を行う際は人工呼吸器のアラーム機能とトラブルシューティングの知識と技術を熟知している者が行い、気管吸引終了後には必ず人工呼吸器の動作、およびモニタの値を確認すること。

「作動状況の点検」

作動状況の点検 ～正常な状況とは？～

- ・適切なアラーム設定においてアラームが発生していないこと。
- ・機器から異音や異臭、異常な発熱がないこと。

人工呼吸器設定および作動状況の点検のコツ

いつもとどこかに違いがないか？という探索の視点が重要

特に人工呼吸器が正常に動作しているのか？特に「機器本体の点検」においてそれを見分けるのは難しく感じられます。この機械の見どころを大きく3つの項目に分けてみましょう。それは、「**機械の音**」「**機械の温度**」「**機械の色**」です。「何を言っているのだ。人の体じゃないんだぞ（怒）」と思われる方もいると思いますが、もう少し付き合ってください。

まず機器の音についてですが、通常動作時（日頃）から気にすることが重要です。点検時に「いつもより動作音が大きい気がする」「変な音がする」場合はトラブルの兆候の可能性を秘めています。また、音つながりでいうとアラームも音で判断しますね。

次に機械の温度に関してです。正常動作時（日頃から）に常に機器を触ってください。日頃どの程度の機器の温度で動いているのか、もしいつもと比べて異常に過熱している場合は機器が故障している（熱暴走）している兆候かもしれません。また異常に冷たい場合は機器が停止している可能性があるという事です。いずれにしても重大なトラブルにつながります。

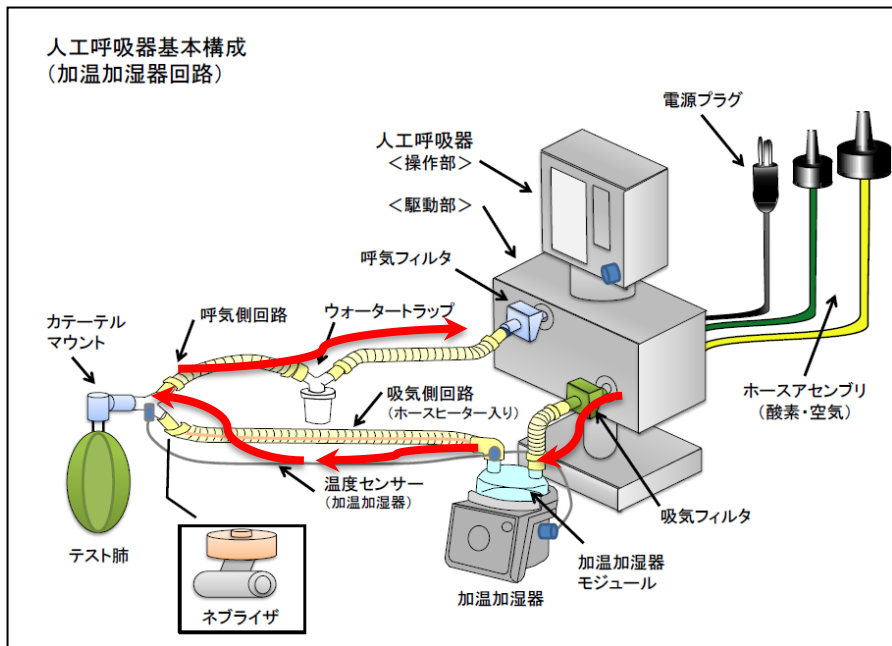
最後に色です。これは正常作動時に点灯しているランプです。機器は正常動作時には概ねどこかに「青」もしくは「緑」の表示を出しています。これが「黄色」や「赤色」となっている場合は異常である可能性がありますね。または全体的に見て「赤色が点滅」している場合などは明らかに異常です。

このように、五感を使って機器の点検を行うことが重要です。点検は「いつもと変わらないね」とみていると見逃します。「いつもとどこか違うところはないかな？」と疑いの目で見えていくことがトラブルの早期発見につながります。

6、日常点検のポイントが説明できる

【回路点検の鉄則】

- ①ガスの流れにそって回路に触りながら
- ②接続部のまし締め！！

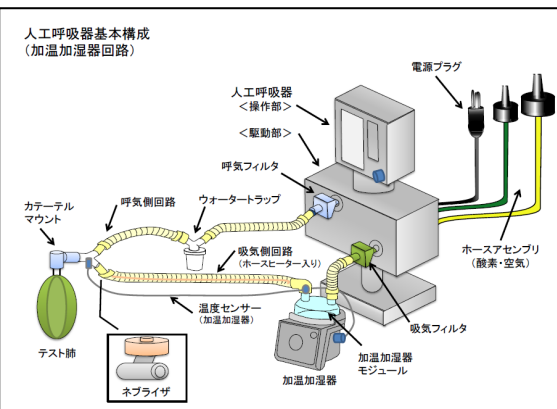


回路の点検の鉄則を伝授します。回路や消耗品関係は人工呼吸器関連で1番多くのトラブルを秘めていると統計上確認されています。ウォータートラップの所で解説しましたが、理由は「消耗品で壊れやすい」「人の手が繰り返し加わる」などです。

回路の点検方法ですが、原則①「ガスの流れに沿って、回路に触りながら」②「接続部を増し締め」で行います。これは、まずランダムでおもむろに回路を点検していると必ず点検漏れが発生します。これを防ぐためにガスの流れに沿って行います。また流れに沿ってみていく中で接続部の緩みや緩みに対して増し締め、回路のリーク等自分の手で感じることで、トラブルの未然防止と早期発見に非常に有効です。

問題：

人工呼吸器 トラブルランキング1位は回路です。では回路の中でも特にトラブルが発生しやすい箇所はどこでしょう？



6、日常点検のポイントが説明できる

患者データの点検

⑦ 患者データ									
32	最高気道内圧 (PIP)	[Pa]							
33	平均気道内圧	[Pa]							
34	最低気道内圧 (PEEP)	[Pa]							
35	呼吸回数 (実測)	[RPM]							
36	呼気一回換気量 (強制)	[ml]							
37	自発一回換気量	[ml]							
38	分時換気量	[L]							
39	SpO ₂	[%]							
40	EtCO ₂	[%]							
41	Cst (静的コンプライアンス)								
42	Rst (静的レジスタンス)								

患者データの点検

*患者データで特に重要な部分

呼吸回数

換気量 (PCVで重要)

最高気道内圧 (VCVで重要)

いつもとどこか違いはないか、変化を評価する

患者データの点検です。患者の実測を示すデータいわゆる「パラメーター」は多数の項目があります。これも全部見て評価するという事も大事なことなのですが、実際のところあまり評価のしようが無いような項目まで表示されています。

ここでは「この項目は世の中の人工呼吸器にも概ね表示されていて、さらに重要である」部分をお話ししていきます。

まずは「呼吸回数」です。重要な用語シリーズにも示しましたが、やっぱり重要です。

見方としては、設定どおりに動作しているか？自発呼吸があるのかなのか？自発呼吸があるのであればどれくらいあるのか？日内変動はあるのか？以前（前日・1週間前）と比べてどうなっているのか？などです。

次に換気量です。VCVの場合は決められた量がしっかり入っているのか？入ってなければ原因は何か？（リーク？）PCVの場合は、どの程度1回換気量が入っているのか？（前日からみて、1週間前からみて）変化している原因は何か？肺が固くなったのか（肺炎、ARDS、肺水腫等）閉塞しているのか？（痰詰まり、喘息、COPD等）、自発呼吸の消失？など評価が必要です。最後に気道内圧ですが、PCVの場合は設定した圧がかかっているのか？かかっているなければ何が原因か？（機器の故障？過剰なリーク？）VCVの場合は、どの程度気道がかかっているのか？（前日からみて、1週間前からみて）変化している原因は何か？肺が固くなったのか（肺炎、ARDS、肺水腫等）閉塞しているのか？（痰詰まり、喘息、COPD等）などを考えます。

モニター（実測）は「いつもと違うのか？」「いつも通りか」変化を見る為には、日ごろから継続的に記録しておくことが重要です。

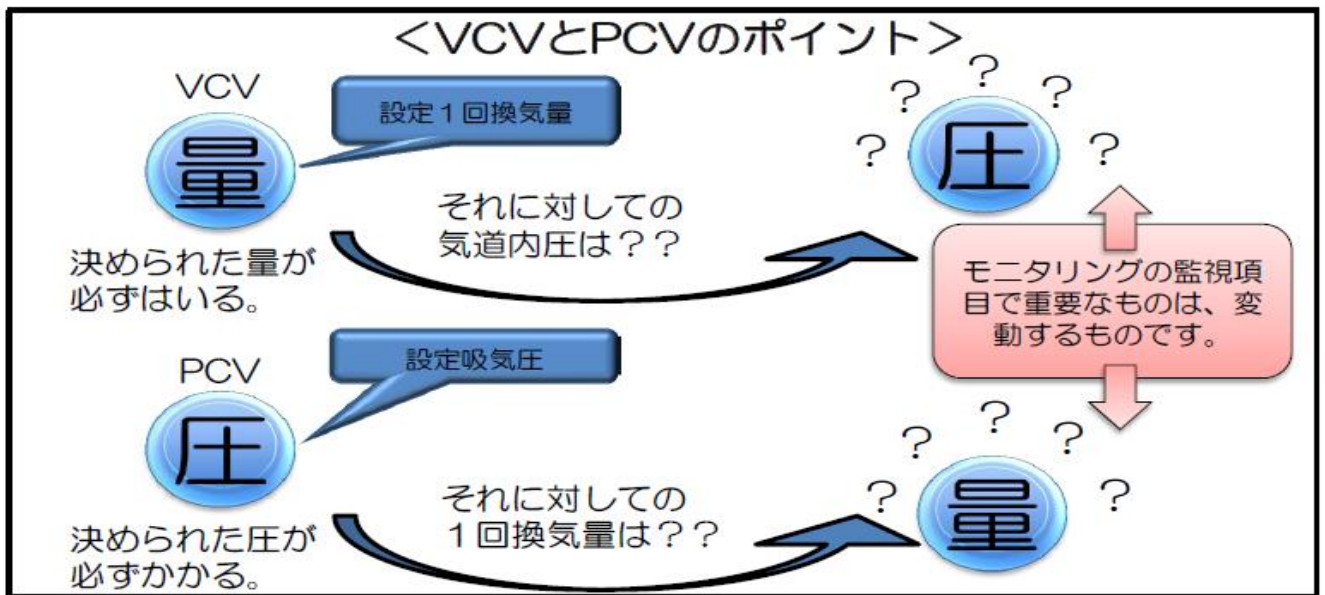
7、代表的なアラームの意味と原因が説明できる

次はアラームです。アラームに関して各メーカーの機器や機種で搭載しているアラームが異なります。

まずアラームの原則をお伝えします。アラームの心得として、絶対やってはいけないことが2つあります。1つは「初期設定のまま使う」2つ目は「絶対に鳴らないように設定する」です。

アラームは緊急事態を知らせるものです、医療者が鳴ってほしいときにだけなるように意図的に設定する必要があります。状況に応じて医師と確認し評価していきましょう。

さて、アラームの話ですがアラームには救命的なアラームと合併症予防のアラームがあります。テキストでは特に重要なものを示します。



実測値の点検の所でもお話ししましたが、VCVとPCVで考え方が変わります。VCVは換気量を規定しているため、リークがない限り1回換気量はほぼ一定になるはずで、変化するパラメーターは気道内圧です。ということは、変化する気道内圧のことを考えて気道内圧にアラームを設定していきます。逆にPCVの場合は圧を規定することができます。つまりほぼほぼ圧は一定になりますので圧を見てもあまり変化がありません。しかし、1回換気量は患者さんの肺の状況によって（抵抗やコンプライアンス）変化します。という事は、変化する換気量にしっかりとアラームをかけておく必要があるのです。

次のページにアラームの各論としてアラームの意味や設定の目安、対処を記載しましたのでご参照ください。

人工呼吸器のアラーム各論

人工呼吸器のアラーム

使用中に患者の生命を及ぼす緊急状態、またはこれに準ずる状態になった時、医療従事者に速やかに情報を伝えることを目的としている。

全ての項目にアラームを設定することは安全性の低下につながるとされており、どの項目にアラーム設定が必要か、設定値、またアラーム発生時の対処などを身につけておくことは安全管理上重要です。

(1) アラーム設定の心得

- 初期設定で使用しない、設定はオーダーメイドである。
- 鳴らないように設定しない、過剰に鳴りすぎる設定もNG。

*適切なアラームの考え方：

アラーム設定は患者の実測値によって常に適切なアラーム設定になっているかを評価すること、アラーム設定の目安は一般書籍等に記載はあるが各施設や部署でアラーム設定の妥当性を検討するとよい。設定のポイントは初期設定のまま使用することは絶対行ってはいけない。アラームは鳴り過ぎることがなく、逆に鳴らな過ぎることがない、必要な緊急事態で発生することが望ましい。

(2) アラームの分類

アラームには、大きく分けて救命的アラームと合併症予防アラームがある。

◆救命的アラーム：

1回換気量下限アラーム、気道内圧下限アラーム、無呼吸アラーム 等

◆合併症予防アラーム：

気道内圧上限アラーム、分時換気量上限アラーム、呼吸回数上限アラーム 等

【アラームの意味】

気道内圧アラーム（下限値） Low Airway Pressure Alarm	気道内圧が決められた時間（機種により異なる）内で、下限値以下になった時に発生する警報。
気道内圧アラーム（上限値） High Airway Pressure Alarm	気道内圧が上限を超えた時に発生する警報。最大吸気圧が上限値を超えた時点で吸気相から呼気になるため、過剰な圧がかからない安全機構。
酸素濃度アラーム Low Oxygen Concentration Alarm	供給酸素濃度が下限値以下になった時発生する警報。
ガス供給圧アラーム Gas Supply Pressure Alarm	人工呼吸器に供給されている酸素、空気いずれか、または両方の圧力が低下、あるいは完全に供給停止した時に発生する警報。
作動不良アラーム Inoperative Alarm	人工呼吸器の内部に不具合が生じて正常な作動が出来なくなったとき発生する警報。
消音 Silence Mute	可聴可視警報が発生した時、アラームの音を一時的に消すためのスイッチ。警報そのものは解除できない。
呼気一回換気量下限アラーム Low Tidal Volume Alarm	1回換気量が下限値になった時に発生する警報。
呼気分時換気量下限アラーム Low Minute Volume Alarm	患者の分時換気量（機械換気及び自発呼吸を含む）が下限値以下になった時発生する警報。
呼吸回数上限アラーム High Breath Rate Alarm	自発呼吸回数が設定した上限値を超えた時に発生する、いわゆる頻呼吸警報。
呼気分時換気量上限アラーム High Minute Volume Alarm	呼気分時換気量が設定された上限値を超えた時に発生する警報。
無呼吸アラーム Apnea Alarm	患者の分時換気量（機械換気及び自発呼吸を含む）が下限値以下になった時発生する警報。自発呼吸が一定時間なくなったとき発生する警報。

表：日本医用機器工業会人工呼吸器安全セミナー小委員会編：人工呼吸器安全セミナーテキスト、2002年5月

救命的アラーム

①1回換気量下限アラーム

●アラームの意味

1回換気量が減少したときにアラームが鳴ります。
原因は人工呼吸器の制御（VCV・PCV）によって異なります。

VCV:換気量を規定しているVCVで換気量が下がる場合は、特殊例である「リーク」や「高圧アラームの安全機能」が作動していて送気を制限している状況を疑います。

PCV:VCV同様に特殊例「リーク」の状況を疑います。次にPCV独特の変化として、気道抵抗の増加（吸気時間等の設定が同じ場合）・コンプライアンス（C↓）の低下による1回換気量の減少があげられます。

必要な換気量が得られないので速やかな対応が必要です。

●設定の目安

実測値の70～80%前後に設定する。

●対処方法

1回換気量下限アラームの対処は人工呼吸器の制御によって異なることに注意する。

PCV・VCV：共通事項として特殊例として「リーク」を検討します。リーク箇所として気管チューブのカフ漏れ、回路の破損、回路の接続部の緩みなどの頻度が多いので注意が必要です。また、自発呼吸が減少しているもしくは消失している場合はその原因を評価してください。

VCV：最高気道内圧のアラームで吸気が制限されていないか確認する。

*最高気道内圧が上昇している場合は、その原因を調査します。

PCV：次に抵抗成分（R）上昇によるものなのかコンプライアンス（C）低下によるものなのか肺メカニクスの原因を考慮します。

・**気道抵抗↑の問題**：「患者の問題なのか」「機械側（回路を含む）の問題」を分けて考える。

機械側：気管チューブの狭窄・閉塞、回路の閉塞など

患者側：喘息、気管支攣縮、異物の誤飲など

*機械側（回路を含む）問題であれば気管吸引、気管チューブの交換、回路交換を実施する。

・**コンプライアンス↓の問題**であれば「患者の問題」を考える。

肺炎の増悪、ARDS、肺水腫、気胸、片肺挿管など

*胸部レントゲンや血液ガスを評価し、それぞれの原因に対処する。

②気道内圧下限アラーム

●アラームの意味

何らかの原因で、気道内圧が設定された圧まで上昇しない時に発生します。原因としては呼吸器回路のリーク、呼吸器回路の外れ・接続部の緩みなど「リーク」にかかわる原因と人工呼吸器が供給する流量を超えた患者の吸気努力が発生しているという、2つの原因が考えられます。

<注意>

患者から呼吸器回路が外れてもアラームが鳴らない場合があります。

→アラームレベルを低く設定しすぎた状態で回路が外れてしまい、枕や布団などが気管内チューブ接続部をふさいでいると、見かけ上気道内圧が上昇してしまい、アラームが鳴らない場合があるので注意が必要です。

●設定の目安

最高気道内圧の70～80%程度に設定。

●対処方法

「リーク」が原因の場合は気管内チューブ及び呼吸器回路を点検する。接続不良があれば再接続しバイタルサインの確認を実施する。呼吸回路の亀裂などの破損があれば新しい回路へ交換する。この間は用手的換気を実施する。気管内チューブのカフ漏れであればカフへの空気を少しずついれる。カフ破損の疑いが強い場合には、直ちに気管チューブの入れ替えを行う。

患者の吸気努力が原因の場合は、吸気流量を適切に設定するなど設定の見直しが必要です。

③無呼吸アラーム

●アラームの意味

患者の自発呼吸が一定時間なくなった場合発生する。設定された無呼吸時間に基づいて無呼吸が検出されるとアラームが作動する。

*バックアップ換気（自発呼吸が低下した場合、自動的にあらかじめ決められた条件で強制換気を行う。）が搭載されている人工呼吸器では、無呼吸アラームの検知がバックアップ換気を開始するトリガーとなる。

●設定の目安

一般的には15～20秒であるが、様々な状況に応じて設定する。
（15秒設定は呼吸回数4回/分以下である。）

●対処方法

自発呼吸が優位なモード（CPAP等）であれば換気モードの変更を考慮する。また、なぜ無呼吸が発生しているかを評価することも忘れてはならない。無呼吸警報の作動と同時にバックアップ換気機能が作動する機種がほとんどである。そのためあらかじめバックアップ換気の設定も患者状態に設定しておく。

合併症予防アラーム

①気道内圧上限アラーム

●アラームの意味

人工呼吸器の回路内圧が設定された値より高くなることで発生します。原因は人工呼吸器の制御（VCV・PCV）によって異なります。

VCV: VCVでは量が規定されますので患者の気道抵抗（R）や肺-胸郭等のコンプライアンス（C）の変化で気道内圧に変化が現れます。

具体的な例として気管支攣縮（R↑）、喘息（R↑）、分泌物の貯留（R↑）、肺炎（C↓）、肺水腫（C↓）などがあげられます。

注意

気道内圧上限アラーム発生時には安全機構でそれ以上ガスを送らない（吸気相から呼気相に変わる）ように動作します。この状態が続けば低換気の原因ともなるので十分注意が必要です。

PCV: 圧を規定しているPCVでは気道内圧上限アラームは非常に鳴りにくいアラームです。しかし、絶対ならないわけではありません。たとえば人工呼吸器が圧を規定して吸気を送っている最中に患者が人工呼吸側（回路内）に向かって息を吹きかけたら、さすがにPCVでも気道内圧は上昇します。具体的な例として、咳嗽や吃逆などが考えられます。

●設定の目安

VCVでは、最高気道内圧の+10 cmH₂O

PCVでは、設定吸気圧の+10 cmH₂O

*プラトー圧が30 cmH₂O以上では、肺に圧損傷が発生する可能性が高くなるので確認が必要です。

●対処方法

PCV・VCV: 一目でわかる咳嗽や吃逆の有無を確認する。

VCV: 次に抵抗成分（R↑）上昇によるものなのかコンプライアンス（C↓）低下によるものなのか肺メカニクスを評価する。

・**気道抵抗↑の問題**であれば「**患者の問題**なのか」「**機械側**（回路を含む）の問題」を分けて考える。

機械側: 気管チューブの狭窄・閉塞、回路の閉塞など

患者側: 喘息、気管支攣縮、異物の誤飲など

*機械側（回路を含む）問題であれば気管吸引、気管チューブの交換、回路交換を実施する。

・**コンプライアンス↓の問題**であれば「**患者の問題**」を考える。

肺炎の増悪、ARDS、肺水腫、気胸、片肺挿管など

*胸部レントゲンや血液ガスを評価し、それぞれの原因に対処する。

②呼吸回数上限アラーム、呼気分時換気量上限アラーム

●アラームの意味

何らかの原因で患者の呼吸回数が増加した場合発生する。

*不適切な換気設定（酸素化不良、換気量不足、トリガー感度の不適切によるミストリガー）リークなどによるオートトリガー、ファイティング、バックング、不穏等で発生する。

●対処方法

・患者の換気に見合わない不適切な設定となっていないか評価する。

「酸素化」「換気」「同調性」の視点で換気設定を見直す。

*酸素濃度、PEEP、換気回数、1回換気量、トリガー感度、吸気流量、吸気時間等

・人工呼吸器の離脱中であれば、患者に「人工呼吸器離脱の準備が出来ているのか」を再評価する必要がある。

*原疾患の改善、自発呼吸の状況、感染症、発熱、栄養状態、痛み、筋力等

「人工呼吸器を学ぶ」スキルチェック

質問1：自発呼吸と人工呼吸器の違いについて、正しい記述を全て選択してください。

- 1、自発呼吸の吸気は、吸気筋の収縮により胸腔内に陰圧をつくり外気を吸い込む。
- 2、自発呼吸の呼気は、呼気筋の収縮により胸腔内に陽圧をつくり肺内のガスを排出する。
- 3、人工呼吸の吸気は、機械的に肺内に陽圧をかけてガスを送り込む。そのため気道内圧及び胸腔内圧は上昇する。
- 4、人工呼吸の呼気は、機械的に肺内に陰圧をかけてガスを吸い込む。そのため気道内圧及び胸腔内圧は低下する。

質問2：人工呼吸器で何が出来るか（目的）について、正しい記述を全て選択してください。

- 1、肺炎の改善
- 2、適切な換気量の維持
- 3、酸素化の改善
- 4、ARDSの改善
- 5、呼吸仕事量の軽減

質問3：人工呼吸器はどのような人に使われるか（適応）について、適切な文を完成させてください。

（注意：選択肢の用語は何度使っても結構です。）

- 1、換気の障害：様々な原因による低（ ）状態や（ ）
- 2、酸素化の障害：（ ）吸入でも改善されない低（ ）状態
- 3、呼吸仕事量の増大：何かしらの原因で（ ）が疲労している状態、（ ）予備力の低下

[選択肢] (a) 自発呼吸、(b)呼吸筋、(c)換気、(d)無呼吸、(e)酸素、(f)二酸化炭素

質問4：人工呼吸器の吸気と呼気の動作を吸気弁、呼気弁という用語を用いて適切な文を完成させてください。

- 1、吸気：人工呼吸器の（ ）が開いてガスを送り、（ ）が閉じることで、肺にガスが送り込まれる。
- 2、呼気：人工呼吸器の（ ）が閉じてガスの流れが停止し、（ ）を開く事で、肺・胸郭の弾力復元性により、送り込まれたガスを肺胞から排出する。

質問5：トリガー、コントロール、サイクルについて正しい組み合わせを線で結んでください。

- | | | |
|----------|--------------|---------------------|
| 1、トリガー | いつ吸い始めるか | 吸気時間 (Ti) |
| 2、コントロール | いつ吸気を終わりにするか | 従圧式 (PCV)、従量式 (VCV) |
| 3、サイクル | どうやって吸わせるか | 呼吸回数 (f)、トリガー |

質問6：PEEPとPSについて、それぞれ正しい記述を全て選択してください。

- 1、PEEPとは吸気時にかかる圧で酸素化を改善させる。
- 2、PEEPとは呼気時にかかる圧である酸素化を改善させる。
- 3、PSとは吸気時のサポートし、呼吸仕事量を軽減させる。
- 4、PSとは呼気時のサポートし、呼吸仕事量を軽減させる。
- 5、適切なPEEPはPaCO₂を上昇させる効果がある。
- 6、不適切なPSは呼吸仕事量を上昇させてしまう。

質問7：回路・付属品の名称と役割りについて、正しい組み合わせをそれぞれ選択肢より選択してください。

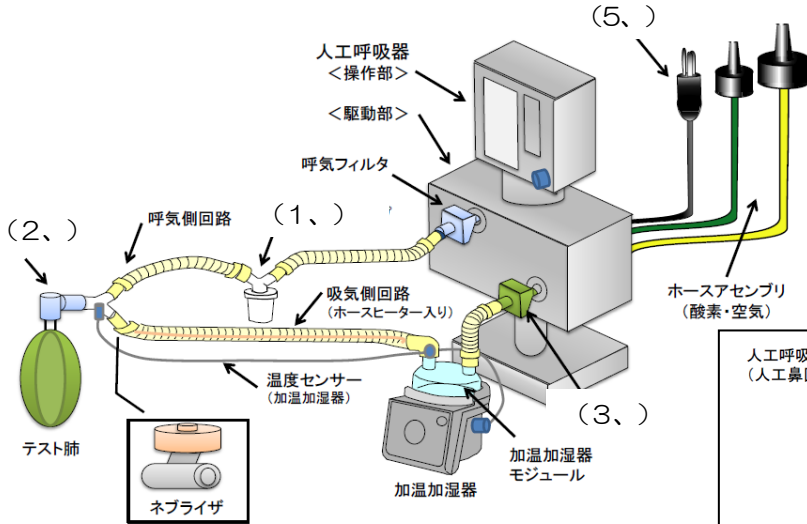
付属品：

- 1、ウォータートラップ：(C)
- 2、カテーテルマウント：()
- 3、吸気フィルター：()
- 4、人工鼻：()
- 5、電源プラグ：()
- 6、バッテリー：()

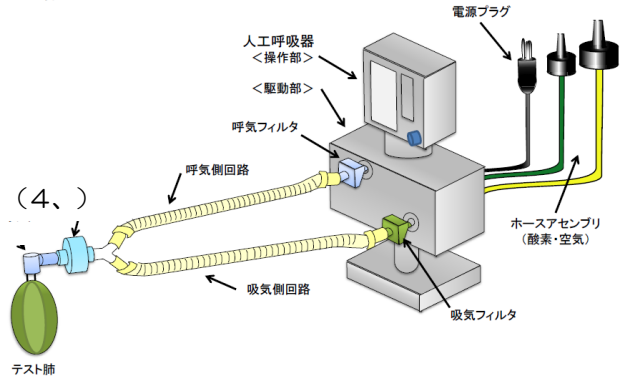
[選択肢]

- (a) 配管からの酸素ガス、空気ガスの粉塵等を除去するためのフィルター
- (b) 移動や非常時に使用される電源。
- (c) 回路内に溜まった水滴を回収し、患者への過剰な水滴の誤嚥や回路が水で閉塞する事を防いでいる。排水を適宜行わなければならない。
- (d) 加温加湿器に変わる加湿デバイス、加温加湿器との併用は禁忌である。
- (e) コンセントから電源を供給するための電源プラグ（人工呼吸器、加温加湿器に独立している）。
- (f) 回路と気管チューブの接続部。回路の操作や体位を変える際など過度に気管チューブに力がかからないようにするための遊びの役割がある。

人工呼吸器基本構成
(加温加湿器回路)



人工呼吸器基本構成
(人工鼻回路)



「人工呼吸器を学ぶ」フィードバック

質問1：自発呼吸と人工呼吸器の違いについて、正しい記述を全て選択してください。

- 1、自発呼吸の吸気は、吸気筋の収縮により胸腔内に陰圧をつくり外気を吸い込む。
- 2、自発呼吸の呼気は、呼気筋の収縮により胸腔内に陽圧をつくり肺内のガスを排出する。
- 3、人工呼吸の吸気は、機械的に肺内に陽圧をかけてガスを送り込む。そのため気道内圧及び胸腔内圧は上昇する。
- 4、人工呼吸の呼気は、機械的に肺に陰圧をかけてガスを吸い込む。そのため気道内圧及び胸腔内圧は低下する。

質問2：人工呼吸器で何が出来るか（目的）について、正しい記述を全て選択してください。

- 1、肺炎の改善
- 2、適切な換気量の維持
- 3、酸素化の改善
- 4、ARDSの改善
- 5、呼吸仕事量の軽減

質問3：人工呼吸器はどのような人に使われるか（適応）について、適切な文を完成させてください。

（注意：選択肢の用語は何度使っても結構です。）

- 1、換気の障害：様々な原因による低（c：換気）状態や（d：無呼吸）
- 2、酸素化の障害：（e：酸素）吸入でも改善されない低（e：酸素）状態
- 3、呼吸仕事量の増大：何かしらの原因で（b：呼吸筋）が疲労している状態、（a：自発呼吸）予備力の低下

[選択肢] (a) 自発呼吸、(b)呼吸筋、(c)換気、(d)無呼吸、(e)酸素、(f)二酸化炭素

質問4：人工呼吸器の吸気と呼気の動作を吸気弁、呼気弁という用語を用いて適切な文を完成させてください。

- 1、吸気：人工呼吸器の（吸気弁）が開いてガスを送り、（呼気弁）が閉じることで、肺にガスが送り込まれる。
- 2、呼気：人工呼吸器の（吸気弁）が閉じてガスの流れが停止し、（呼気弁）を開く事で、肺・胸郭の弾力復元性により、送り込まれたガスを肺胞から排出する。

質問5：トリガー、コントロール、サイクルについて正しい組み合わせを線で結んでください。

- | | | | | |
|----------|---|--------------|---|---------------------|
| 1、トリガー | — | いつ吸い始めるか | — | 吸気時間 (Ti) |
| 2、コントロール | X | いつ吸気を終わりにするか | X | 従圧式 (PCV)、従量式 (VCV) |
| 3、サイクル | X | どうやって吸わせるか | X | 呼吸回数 (f)、トリガー |

質問6：PEEPとPSについて、それぞれ正しい記述を全て選択してください。

- 1、PEEPとは吸気時にかかる圧で酸素化を改善させる。
- ② PEEPとは呼気時にかかる圧である酸素化を改善させる。
- ③ PSとは吸気時のサポートし、呼吸仕事量を軽減させる。
- 4、PSとは呼気時のサポートし、呼吸仕事量を軽減させる。
- 5、適切なPEEPはPaCO₂を上昇させる効果がある。
- ⑥ 不適切なPSは呼吸仕事量を上昇させてしまう。

質問7：回路・付属品の名称と役割りについて、正しい組み合わせをそれぞれ選択肢より選択してください。

付属品：

- 1、ウォータートラップ：(c) 2、カテーテルマウント：(f) 3、吸気フィルター (a)
- 4、人工鼻 (d) 5、電源プラグ：(e) 6、バッテリー：(b)

[選択肢]

- (a) 配管からの酸素ガス、空気ガスの粉塵等を除去するためのフィルター
- (b) 移動や非常時に使用される電源。
- (c) 回路内に溜まった水滴を回収し、患者への過剰な水滴の誤嚥や回路が水で閉塞する事を防いでいる。排水を適宜行わなければならない。
- (d) 加温加湿器に変わる加湿デバイス、加温加湿器との併用は禁忌である。
- (e) コンセントから電源を供給するための電源プラグ (人工呼吸器、加温加湿器に独立している)。
- (f) 回路と気管チューブの接続部。回路の操作や体位を変える際など過度に気管チューブに力がかからないようにするための遊びの役割がある。

