

WEB動画

で学ぶ

人工呼吸管理

編集 日本呼吸ケア教育研究会

執筆 安田 英人、山田 紀昭、鵜澤 吉宏

基礎が
わかれば
実践できる



好評な

人工呼吸管理
ワークショップを
書籍化!

ワークショップが体感できる

約
[動画]

130分付

人工呼吸の基本

人工呼吸器設定、管理中のトラブルシューティングなどを正しく理解するためには、呼吸不全に至る機序と人工呼吸の目的をしっかりと理解しなければなりません。この章では、人工呼吸器設定、管理中のトラブルシューティングを正しく理解するために必要な呼吸の仕組み、呼吸不全に至る機序、さらに人工呼吸の目的への理解を深めましょう。

到達目標

- 1 呼吸の基本は、肺胞と気道の圧較差を作ることであり、その方法には陰圧呼吸と陽圧呼吸があることを挙げることができる。
- 2 呼吸の仕組みの6つの要素を列挙することができる。
- 3 圧較差を作るのに影響を与える因子として、気道抵抗とコンプライアンスを挙げることができる。
- 4 人工呼吸の目的は、ガス交換の改善と呼吸仕事量の軽減であることが言える。

キーワード

ガス交換 # 酸素化 # 換気 # 呼吸仕事量 # 圧較差 # 陽圧呼吸
陰圧呼吸 # 気道抵抗 # コンプライアンス

1. 人類はなぜ“呼吸”をする必要があるのでしょうか

人工呼吸について学習する前に、「人類はなぜ呼吸をする必要があるのか」ということを考えてみましょう。皆さんに「呼吸って何ですか?」「何のために行うのですか?」と聞いた時、多くの方は「体内に酸素を取り入れ、体外に二酸化炭素を出すこと」と答えるでしょう。全く間違っていない。正しいです。しかし「惜しい!」の一言です。確かに、肺だけに注目すればその回答で良いのですが、肺における呼吸は生命活動に必要な他の臓器と密接に絡んでおり、肺だけを独立して考えてはいけません。生命活動の中で肺はどのような役割を担っているか、それを理解することが人工呼吸器を必要とする患者さんを管理する上で非常に重要となります。

外呼吸と内呼吸

人間の生命活動には酸素が不可欠なのです。全ての重要臓器は、ゴールである細胞まで酸素を運ぶために存在しているといっても過言ではありません (図1-1 / →P.2)。

入り口である口からゴールの細胞までの間には、**気道、肺、血液、心臓**が存在します。意識がなければ気道や肺に酸素を運ぶことができません。また、血液がなければ酸素が結合できず、心臓がなければヘモグロビンに搭載された酸素が末梢である細胞まで到達できません。このように、生命活動に重要とされる ABCD

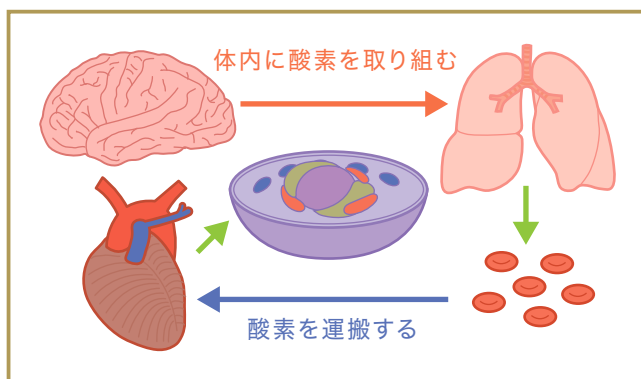


図1-1 酸素がたどる道のり

酸素は呼吸中枢の働きにより気道を介して肺胞に取り込まれ、外呼吸により血中のヘモグロビンに結合し、循環により末梢組織まで送り込まれます。最後に内呼吸によりエネルギー (ATP) を産生します。

(A : airway 気道、B : breathing 呼吸、C : circulation 循環、D : Disability 意識) は、酸素を運ぶ流れに沿った要素だということが容易に理解できるかと思います。末梢の細胞まで運ばれた酸素は“**ミトコンドリア**”と呼ばれるところで生命活動に必要な **ATP (アデノシン三リン酸)** を作る材料となります。ここで使用される酸素が不足すると、“**乳酸**”という物質を産生することでATPを産生しようとします。循環不全患者さんにおいて乳酸が上昇する機序はこの酸素不足にあるのです (図1-2)。

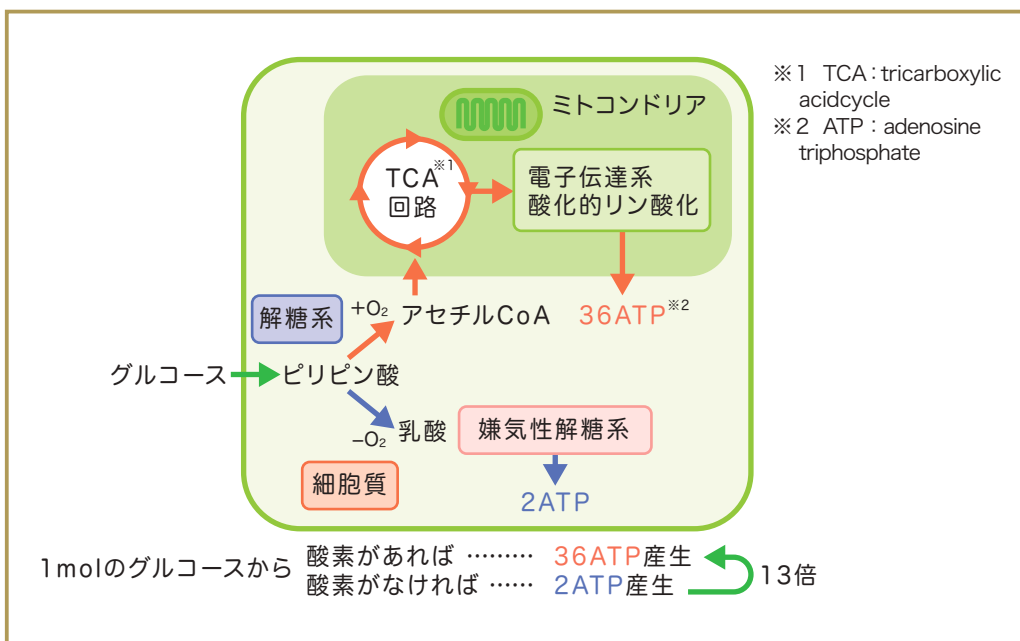


図1-2 内呼吸によるエネルギー (ATP) 産生と嫌気性代謝

末梢まで運ばれた酸素は、ミトコンドリアで電子伝達系により酸素を利用してエネルギー (ATP) を産生します (内呼吸 : 上経路)。酸素がなければ下の経路をたどり、乳酸を産生することによりエネルギー (ATP) を搾り出します。

このミトコンドリアで行われる酸素利用のことを“**内呼吸**”と呼び、肺で行われる呼吸のことを“**外呼吸**”と呼びます。どちらも重要な呼吸です。このように全体像を理解した上で、外呼吸である肺での呼吸を理解することが、呼吸に関して学習している目的を失わないことにつながります。本章では、内呼吸のことは扱わず、外呼吸に焦点を絞って解説をしていきます。

外呼吸に重要な肺の役割は、

- 酸素を体内に取り込む
- 不揮発性の酸である二酸化炭素を外に排出する

の2つで、酸素の取り込みが障害された場合には**低酸素血症**に至り、二酸化炭素の排出が障害された場合には**高二酸化炭素血症**に至ることになります（**図1-3**）。

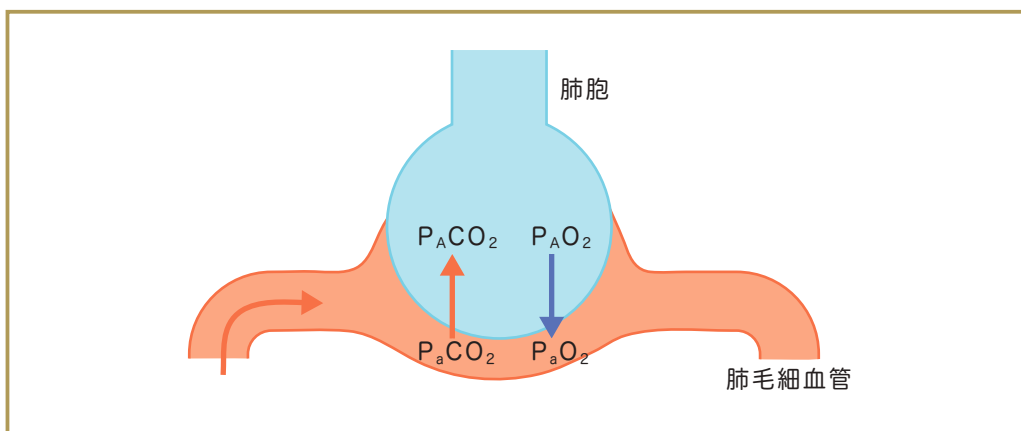


図1-3 外呼吸の要素

外呼吸は、肺胞でのガス交換のことを指し、酸素を体内に取り込み、二酸化炭素を体外に排出する役割を担っています。

2. 肺胞に空気が入る機序

外呼吸により、体内に酸素を取り込んだり二酸化炭素を体外へ排出するためには、そもそも外の環境と肺胞の間で空気のやりとりを行う必要があります。では、どのようにしたら肺胞の中に空気を入れることができるのでしょうか？

空気を動かす重要な歯車は、

圧較差を作ること

になります。水が重力の高いところから低いところへ流れるのと同じように、空気も圧が高いところから低いところへ流れます。このような“圧較差”を利用することにより、口元から肺胞へ空気を流すことになります（図1-4）。

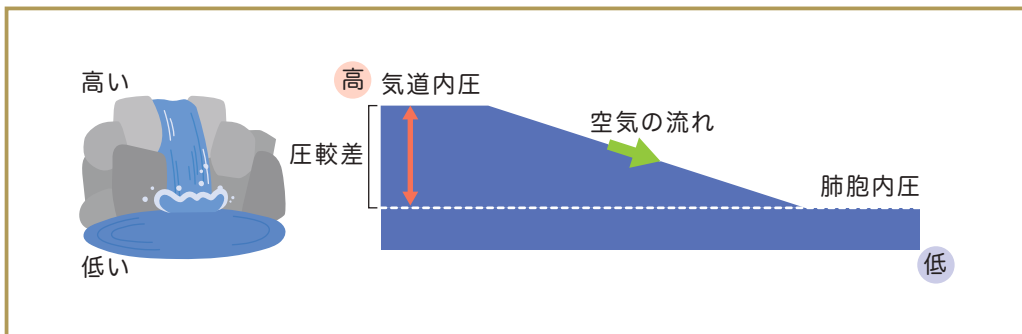


図1-4 圧較差による肺胞への空気の誘導

ゴールである肺胞の圧（肺胞内圧）よりも空気の入り口である口元の圧（気道内圧）が高くなることで、肺胞内に空気が誘導されます。

よって肺胞に空気を送り込むためには、肺胞内圧よりも口元の圧、つまり気道内圧の方が高くなる必要があります。この圧較差さえ作られてしまえば、自然と肺胞の中に空気が入ってくるようになります。

このような圧較差を作るためには、

1. 気道内圧に対して肺胞内圧を低くする
2. 肺胞内圧に対して気道内圧を高くする

の2通りあります。前者の1がいわゆる自発呼吸に伴う陰圧呼吸の機序であり、後者の2が人工呼吸管理などの陽圧呼吸の機序になります。

3. 圧較差を作る機序

肺胞でガス交換を行うためにまず必要なことは、気道と肺胞間の「圧較差を作ること」でした。では、その圧較差はどのように作られるのでしょうか？ 先ほど挙げた2つの方法のうち陽圧呼吸の場合は、気道側に無理やり圧をかけることによって圧較差を作るため、それほど理解が難しいことではないでしょう（**図1-5**）。

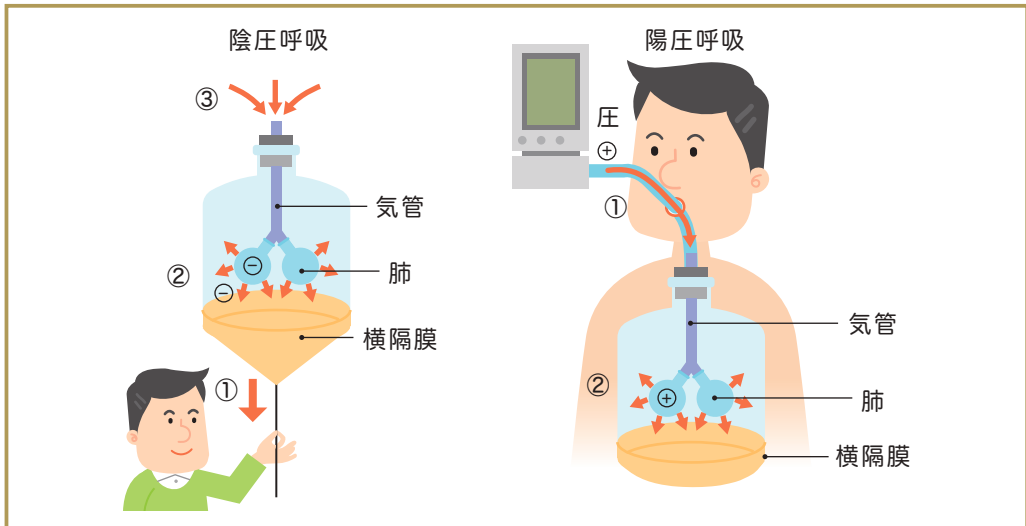


図1-5 圧較差を作る二つの機序（左：陰圧呼吸、右：陽圧呼吸）

左：陰圧呼吸 横隔膜が収縮することにより胸腔内が陰圧となり肺胞に空気が入ります。
右：陽圧呼吸 気道に陽圧が加わることで肺胞に空気が入ります。

しかし複雑なのは自発呼吸に伴う陰圧呼吸になります。自発呼吸により圧較差を作るためには大きく分けて2つの要素が必要となります。すなわち、

1. 胸腔内圧を陰圧にする（胸郭を動かす）
2. 胸郭を動かすための呼吸筋に指令を伝える

です。

胸腔内圧を陰圧にする（胸郭を動かす）

気道内圧よりも肺胞内圧を低くするためには、胸腔内圧を陰圧にする（気道内圧に比べて低い圧にする）必要があります。それにより閉鎖空間である胸腔の陰圧に引っ張られて、肺胞内圧も陰圧になります。胸腔内圧を陰圧にするために必要なのが胸郭を広げることです。胸郭は、胸骨・肋骨・呼吸筋（横隔膜、肋間筋、腹筋、斜角筋、胸鎖乳突筋など）で構成されています。



急性期の呼吸管理を行う上で、グラフィックを見ながら患者さんの管理をすることは必要不可欠です。この章では、グラフィックの基礎を学び、グラフィックを理解しなければならない理由を考え、異常波形から起こっている変化（例えば、非同調やリーク）を予測、もしくは早期発見できるようにしましょう。

到達目標

- 1 圧-時間波形、流量-時間波形、換気量-時間波形の3波形を読み取ることができる。
- 2 グラフィックから肺メカニクスの変化、非同調、リークが予測できる。

キーワード

圧-時間波形 # 流量-時間波形 # 換気量-時間波形 # 肺メカニクス
コンプライアンス低下 # 気道抵抗上昇 # リーク # 非同調

対応する動画の内容

グラフィック movie 7-1 ▶

グラフィックの動画では、それぞれの非同調やリークの波形を紹介しています。正常グラフィックと対比させながら示し、視覚的にもグラフィックの基礎と応用を理解しやすいように解説しています。

- movie 7-2 正常波形 (VCV、矩形波)
- movie 7-3 正常波形 (VCV、漸減波)
- movie 7-4 正常波形 (PCV)
- movie 7-5 肺メカニクス測定：正常 (VCV)
- movie 7-6 肺メカニクス測定：コンプライアンス正常-気道抵抗上昇 (VCV)
- movie 7-7 肺メカニクス測定：コンプライアンス低下_気道抵抗正常 (VCV)
- movie 7-8 正常波形 (PCV)
- movie 7-9 肺メカニクス測定：コンプライアンス低下 (PCV)
- movie 7-10 肺メカニクス測定：気道抵抗上昇 (PCV)
- movie 7-11 非同調：サギング (VCV)
- movie 7-12 非同調：プレッシャースパイク (VCV)
- movie 7-13 非同調：プレッシャースパイク (PCV)
- movie 7-14 非同調：ダブルトリガー (VCV)
- movie 7-15 非同調：ダブルトリガー (PCV)
- movie 7-16 非同調：エアトラッピング
- movie 7-17 auto-PEEP測定
- movie 7-18 非同調：ミストリガー エアトラッピングの弊害
- movie 7-19 リーク
- movie 7-20 回路に過剰な水滴があった場合



1. グラフィックの理解なくして、適切な人工呼吸管理は不可能

グラフィックって、得意な人はそうはいないですよ。多くの読者の方が苦手だと感じていることかと思います。事実、筆者もグラフィックの存在理由を理解し、患者さんの管理に役立てることができるようになったのは人工呼吸管理に関わり始めて5・6年経った後だったような気がします。しかし、グラフィックの重要性を理解してから人工呼吸管理の世界が変わりました。グラフィックの評価を知らずに管理していた時代が恥ずかしく、また、患者さんに申し訳なく感じるようになったことを覚えています。本章の前にもグラフィックに関して、いろいろな話題が出てきましたが、どこでも重要なポジションを占めていましたね。近年の人工呼吸管理では、**グラフィックをしっかりと理解しないと、患者さんに対して適切な人工呼吸管理など到底できません。**人工呼吸管理に携わる医療従事者は、必ずグラフィックに対する理解を深めておく必要があります。

本章では、これまでに出てきたグラフィックに関する知識を含めて、改めて体系的にまとめてみたいと思います。もし「自分はグラフィックが得意だ」と思われる方がこの本を読んでくれているのであれば、もうこの先は読まなくてもいいかもしれませんね。

2. グラフィックの基礎

グラフィックの評価を日々の患者さんの管理にどのように役立てるのか、それを理解する前に、まずはグラフィックにはどのような種類があり、どのような形をしているのかという超基本的なところを理解しておく必要があります。何事も基本から、ですね。

グラフィックには3つの基本波形があります。横軸に時間を取り、縦軸に圧、流量、換気量をとった3つです。時間が経過するに従って、それぞれの要素がどのように変化するのが示されています。



movie 7-2

movie 7-3

movie 7-4

チェックポイント

ここで、正常波のVCV矩形波、VCV漸減波、PCVのグラフィックを確認してみましょう。

VCV (矩形波)

movie 7-2 ▶



VCV (漸減波)

movie 7-3 ▶



PCV

movie 7-4 ▶



圧波形

圧波形の見方を示します。ここでいう「圧」とは気道内圧のことで、人工呼吸器または

回路の中で測った圧を指します。圧波形の横軸は時間（左から右に進む）で、縦軸が気道内圧です。人工呼吸器というのは吸気に陽圧をかけて呼吸を助ける器械なので、圧は原則としてプラス方向に動きます。圧が高ければ高いほど縦軸のプラス方向に高く表示されます（図7-1）。

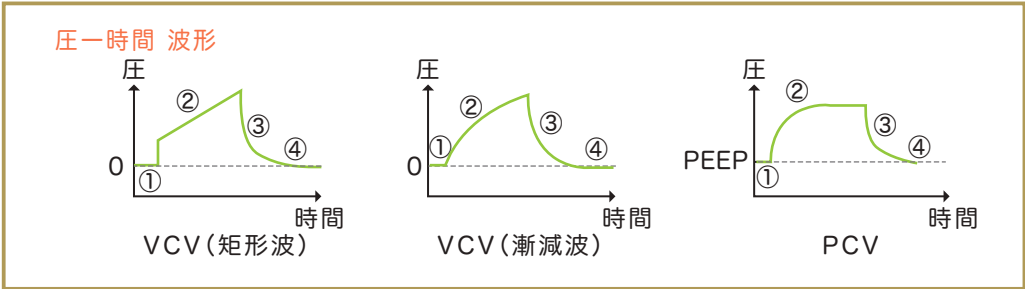


図7-1 圧-時間波形

- (左) VCV（矩形波）でのグラフィック：圧波形（圧-時間曲線）
- (中央) VCV（漸減波）でのグラフィック：圧波形（圧-時間曲線）
- (右) PCVでのグラフィック：圧波形（圧-時間曲線）

圧波形は、それぞれの換気様式で異なった波形となります。また、その波形は下記の4つのパートから成り立っています。

- ①吸気はPEEPから始まります。
- ②VCVの場合、気道内圧はピーク圧（最高気道内圧）まで右上がりに上昇します。
- ③VCVの場合、設定した1回換気量に達したところで吸気から呼気に移り、気道内圧は低下していきます。PCVの場合は設定した吸気圧まで上昇します。
- ④最後に気道内圧はPEEPまで圧が下がります。

流量波形

次に流量波形の見方を示します。圧波形と同様、横軸に時間軸を取ります。先ほど示した圧波形は上向きに変化していましたが、流量波形は縦軸にプラスとマイナスの方向性があります。これは、空気の流れに吸気（人工呼吸器→患者）と呼気（患者→人工呼吸器）があるのを区別するためです。縦軸のプラス方向が吸気、マイナス方向が呼気というのが決まりごとです。マイナス方向にグラフィックが変化する波形は、この流量波形だけですので、マイナスに触れている波形を見た場合、その瞬間に流量波形であると気づけるようになります（図7-2 / →P.110）。

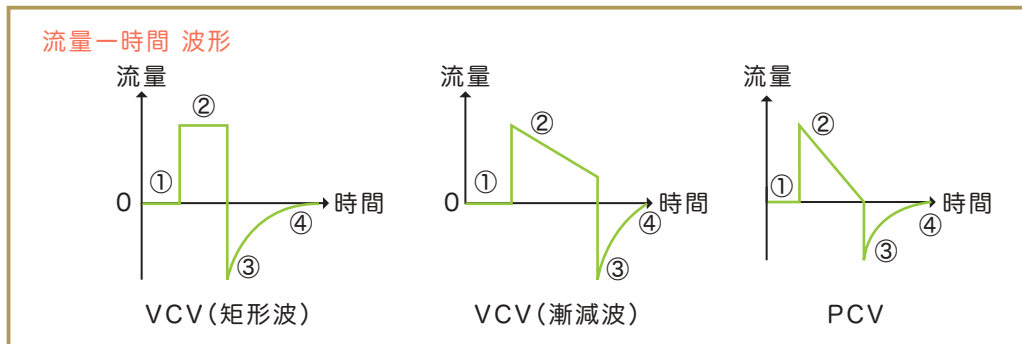


図7-2 流量—時間波形

(左) VCV (矩形波) でのグラフィック：流量波形 (流量—時間曲線)

(中央) VCV (漸減波) でのグラフィック：流量波形 (流量—時間曲線)

(右) PCV でのグラフィック：流量波形 (流量—時間曲線)

1回換気量は流量波形の面積から算出しています。つまり、形は異なっても吸気の波形面積と呼気の波形面積は、通常同じになります。

流量波形も基本的にはそれぞれの換気様式で異なった波形を示しますが、VCV漸減波とPCVは似たような形をしており、実際の臨床の場面では見分けにくい場合もあります。圧波形同様にそれぞれの波形は下記の4つのパートから成り立っています。

- ① VCVでもPCVでも、ベースライン (流量=0) から始まり勢いよく吸気 (上向き) が流れ始めます。
- ② VCVの矩形波では流量が一定なので吸気波形は平らになります。VCVの漸減波やPCVでは吸気の始めに流量が最も大きく、吸気終末に近づくにつれて小さくなります。
- ③ 呼気が始まると空気の流れは逆向きになります。呼気の始まりで流量は最も大きく、呼気が終わるにつれて徐々に小さくなっていきます。
VCVでもPCVでも、呼気は患者さんの肺が受動的に元の大きさに戻るだけで、人工呼吸器が手助けするわけではないので、どんな換気様式でも呼気の波形は同じです。
- ④ 呼気の終わりで流量は0になります。

換気量波形

最後に、換気量波形の見方を示します。換気量波形の横軸は時間 (左から右に進む) で、縦軸が換気量です。換気量波形では人工呼吸器から肺へ送られた空気の量が表示されます。そのため、息を吸っている時には次第に大きくなり、吐いている時には逆に小さくなります (図7-3)。

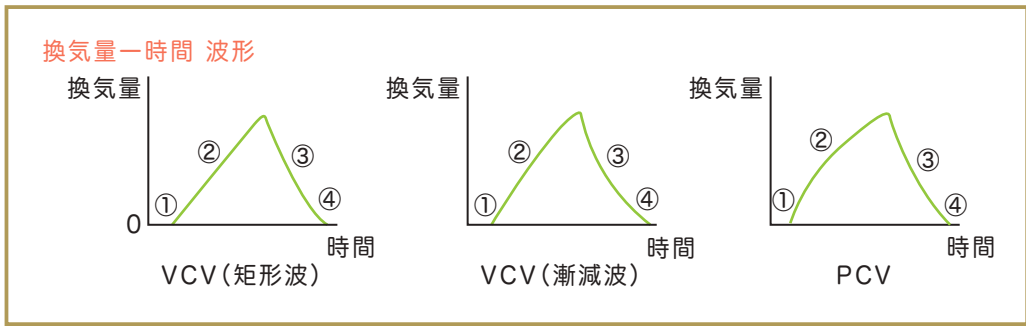


図7-3 換気量—時間波形

(左) VCV (矩形波) でのグラフィック：換気量波形（換気量—時間曲線）

(中央) VCV (漸減波) でのグラフィック：換気量波形（換気量—時間曲線）

(右) PCVでのグラフィック：換気量波形（換気量—時間曲線）

換気量波形は、他の2つの波形とは異なり、それぞれの換気様式でそれほど違いは生じません。換気量波形も下記の4つのパートから成り立っています。

- ①吸気では換気量はゼロから始まります。
- ②吸気が進むにつれて換気量は大きくなり、吸気終末で最も大きくなります（山のてっぺん）。この時まで肺に送られる空気量が、1回換気量です。
- ③呼気は空気が肺から出ていくので、山は下り坂になります。
- ④正常では、吸う空気量と吐く空気量は同じなので、呼気の終わりで波形はゼロに戻ります。

以上が正常のグラフィック基本3波形です。正常を理解せずに異常は指摘できませんので、必ずこの基本波形を理解して、頭に叩き込んでおいてください。そうすれば、異常グラフィックを見つけた時に、何か違和感を覚えることができるようになると思います。その違和感に気づくようになることがとても大切です。

なお、グラフィックには、これら基本3波形の他に、“**ループ波形**”というものも存在します。時間という軸を取り除いて、3つの要素（圧、流量、換気量）のうち2つを選んでそれぞれを横軸縦軸に置くことにより、その2つの要素を同時に評価することができます。しかし、ループ波形は応用であり、基本が成り立っていなければ学ぶ意義は低いです。先ほど解説した基本3波形を、しっかりと理解した後に学習するようにした方がいいと思います。事実、基本3波形に現れずにループ波形だけに現れる所見はほとんどありませんので、患者さんの人工呼吸管理をする際には、基本3波形だけを学べば十分だと思います。目新しいものに即座に飛びつかないようにしてくださいね。