

1 | 漏れる!



大変です!



どうしました?



ついさっき他院から搬送されてきた人工呼吸管理中の患者さんですが、1回換気量下限アラームっていうのが鳴っているんです。



じゃあ、患者さんを診てみましょうか。

ベッドサイドにて



これは大変ですね。すぐに気管挿管の準備をして下さい。



既に挿管されていますけど、どうしたんですか?



気管チューブが抜けているかもしれません。



えっ!! それって大変なことじゃ……すぐに準備します!



処置の後

 危ういところでしたね。気管チューブがかなり上に上がっていて、カフが声門の上に飛び出していました。

 間に合ってよかったです。でも、なぜわかったのですか？

 **リーク**があったからです。人工呼吸器のグラフィックから空気が漏れていることはわかったのですが、回路からも漏れてなさそうだし、気管チューブのカフ圧もけっこう高そうだったので、あと考えられるのは気管チューブが抜けかけていることかと。

 人工呼吸器のグラフィックからそこまでわかるのですね。

 ほかにも状況証拠として、気管チューブの患者さんの口から出ている部分が長かったので(図1)、チューブが浅いのわかりましたし。

 さっきの短時間でそこまで見ていたのですね！ 人工呼吸器のアラームとかトラブルって、どうみたらいいのかわからなくて苦手なんです。

 それでは、ちょうどいい機会なので、人工呼吸器トラブルシューティングについて考えてみましょうか。

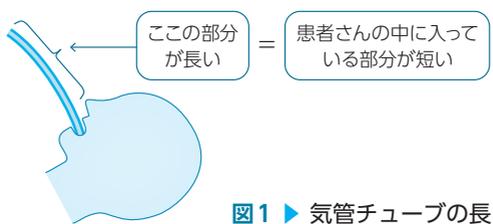


図1 ▶ 気管チューブの長さ

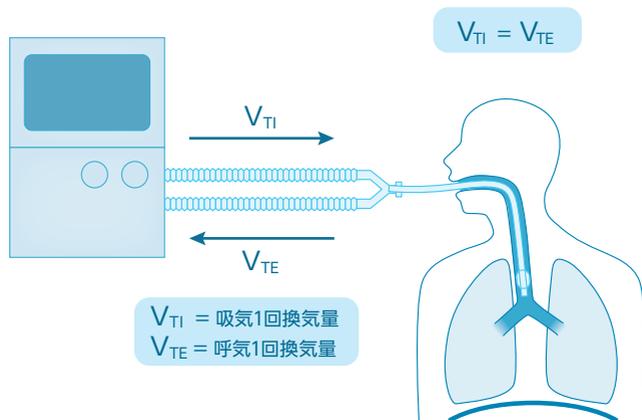


図2 ▶ 1回換気量

人工呼吸器から送られる空気の量 (V_{Ti}) と、戻ってくる空気の量 (V_{Te}) は同じ。

リークとは — 1回換気量の基礎知識

今回はリークが起っていました。リーク (leak) とは日本語で言うと「漏れ」のことです。

そもそも、リークって何なのでしょう？ 人工呼吸では、空気が人工呼吸器から回路を介して患者へ送られ、送られた空気は再び人工呼吸器へと戻ってきます (図2)。なので、**人工呼吸器から送られる空気の量と、人工呼吸器へ戻ってくる空気の量は同じになるはず**です。当たり前ですが、大事なところです。人工呼吸器から患者さんへと送られる吸気の1回換気量のことを V_{Ti} 、患者さんから人工呼吸器へと戻ってくる呼気の1回換気量のことを V_{Te} と呼びます。 V_T というのが1回換気量 (tidal volume) のことで、IやEはそれぞれ inspired と expired を意味します。inspire は「吸う」、expire は「吐く」という英単語なので、 V_{Ti} と V_{Te} はそれぞれ、吸った1回換気量、吐いた1回換気量ということで、**吸気1回換気量と呼気1回換気量**となるのです。ここまでの1回換気量の基礎知識です。

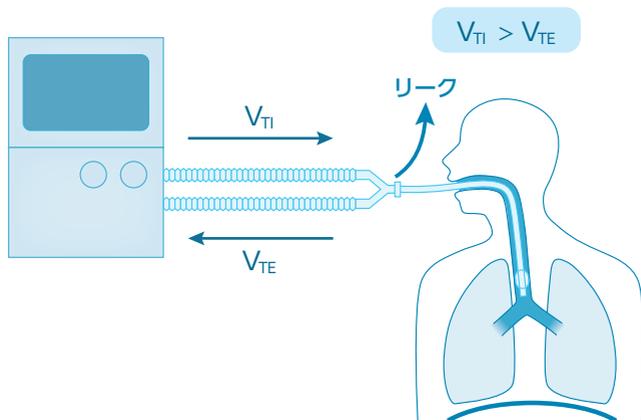


図3 ▶ リークがある場合

人工呼吸器から送られる空気の量より少ない量しか戻ってこない。

リークの見つけ方

「 $V_{Ti} > V_{Te}$ 」はリークのサイン

それでは、リーク (=漏れ) があるとどうなるのでしょうか？ どこかで空気が漏れて出て行ってしまうわけですから、人工呼吸器から送られた空気はすべて戻ってくるのではなく、一部が失われてしまいます(図3)。すると、 V_{Ti} よりも V_{Te} のほうが小さく、

$$V_{Ti} > V_{Te}$$

となりますね。これがあるとどこかにリークがあることがわかります。 V_{Ti} と V_{Te} は人工呼吸器の画面で数字として表示させることができるので、これらの2つの数値を見比べて差がないことを確認してもよいのですが、もっと簡単に視覚的にとらえるため、人工呼吸器のグラフィックを見てみます。

auto-PEEPとは

トリガー感度が適切に設定されていない場合は、患者さんの吸気努力を人工呼吸器が感知せず、ミストリガーの原因になることは1章-14トリガーが合っていない!① [すべてのモード] で説明しました。しかし、トリガー感度が適切であるにもかかわらず、ミストリガーが起こることがあります。それは**auto-PEEP**が存在するときです。これは主に、COPDや喘息といった閉塞性肺疾患で起こります。閉塞性肺疾患への人工呼吸管理での勘所でもありますので、auto-PEEPによってミストリガーが起こるしくみを順に見てみます。

呼気のしくみ

普段の呼吸(陰圧呼吸)でも、人工呼吸器による呼吸(陽圧呼吸)であっても、呼気は肺が縮むにしたがって**受動的**に行われるのでした。なので、息の吐きやすさは肺の縮みやすさ(エラスタンス)と気道の通りにくさ(気道抵抗)によって決まります。エラスタンスとはコンプライアンスの逆なので、結局のところ、**呼気はコンプライアンスと気道抵抗で決まる**と言えます(図1)。コンプライアンスが高い(肺が膨らみやすくて、縮みにくい)ほど、気道抵抗が高い(気道が通りにくい)ほど、息は吐きにくくなり、息を吐くのに時間がかかるようになります(p48「時定数(time constant)とは」)。

auto-PEEPが起こるしくみ

COPDや喘息などで気道抵抗が上昇すると、息を吐き出しにくくなります。完全に息を吐き出す前に呼気が終わってしまって、肺の中に余分な空気が残っていることを**空気とらえこみ(air trapping)**といいます。肺の中に空気が「とらえ」られているのです。本来、息を吐ききったあとの肺の中の圧は、大気圧

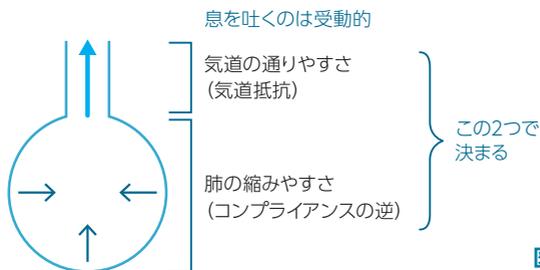


図1 ▶ 呼気のしくみ

と等しくなる（人工呼吸器を使っている場合にはPEEPと等しくなる）のですが、余分な空気があって肺が完全に縮みきっていない状態では、肺の中の圧は大気圧（人工呼吸ではPEEP）よりも高い状態のままになります（図2）。このように、呼気終末に肺にかかっている余分な圧のことをauto-PEEPと呼び、人工呼吸でかけるPEEPとは区別します。

auto-PEEPの弊害

auto-PEEPがあるとどのような問題が起こるのでしょうか。息を完全に吐ききれなければ肺は過膨張の状態になり、**肺傷害**のリスクになります。また、胸腔内圧が上昇して、心臓への静脈還流が減ることから、**低血圧**になることがあります。このように、auto-PEEPは呼吸だけでなく循環にも影響します。呼吸に関してはもうひとつ問題があり、**ミストリガー**が起こりやすくなります（図3）。

まとめ

- 呼気は受動的に起こる
- 閉塞性肺疾患では、auto-PEEPとair trappingが起こりやすくなる
- auto-PEEPは肺傷害、低血圧、ミストリガーの原因になる

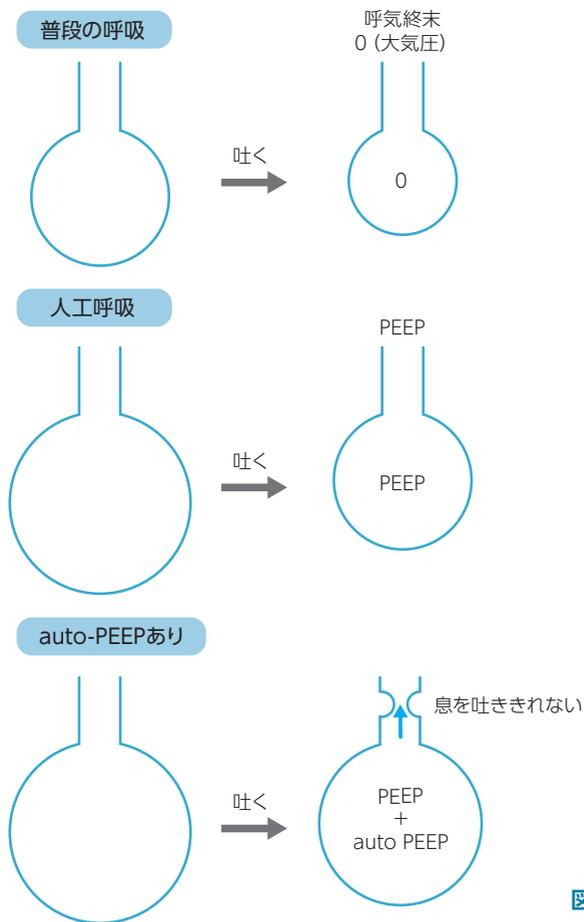


図2 ▶ auto-PEEP

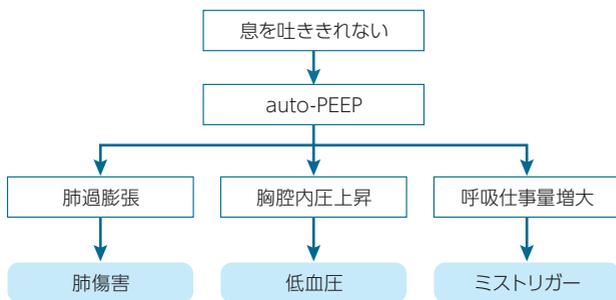


図3 ▶ auto-PEEPの弊害

auto-PEEPによるミストリガー

トリガー感度が不適切に高い場合、ミストリガーが起こることは既にお話ししましたが、auto-PEEPがあるとなぜミストリガーが起こりやすくなるのでしょうか？

— ミストリガーが起こるしくみ

話をわかりやすくするために、人工呼吸器によるPEEPを0cmH₂Oとします。このしくみが理解できたら、全体にPEEP分の圧(たとえば5cmH₂O)を足してもらえれば、PEEPがかかっている状況でも同じ話が成り立ちます。

閉塞性肺疾患のために息が吐ききれず、仮に7cmH₂Oのauto-PEEPがあったとします。本来、息を吐き終えたときには肺の中の圧は0cmH₂Oになるはずなのに、7cmH₂Oになっているわけです。人工呼吸器のトリガー感度を2cmH₂Oにしたとします。気道内圧が2cmH₂Oだけ低下して-2cmH₂Oになれば、人工呼吸器は患者さんが息を吸おうとしていることを感知することになります。しかし、auto-PEEPがあって、もともとの肺の中の圧が7cmH₂Oあると、患者さんは、

7cmH₂O → -2cmH₂O

の9cmH₂O分の努力をしなければ、人工呼吸器に吸気努力を気づいてもらえません(図4)。2cmH₂Oだけ下げればいいのと比べると、auto-PEEPの分だけ強く息を吸わなければならないのです。

— トリガー感度を変えても解決しない

このように、auto-PEEPがあると患者さんにとっては負荷になります。auto-PEEP + トリガー感度の分だけ圧を下げられなければ、人工呼吸器は患者さんの呼吸に気づかないことになり、**ミストリガー**が起こります。auto-PEEPが