

## 一般演題〔換気力学(2)〕

## A-39 TTLが発生する自発呼吸の検討

公立昭和病院救急医学科(ICU)、東京大学医科学研究所付属病院手術部\*

繁田正毅、山本博俊、坂本哲也、山田芳嗣\*

現在自発呼吸をシミュレートしたモデル肺はTTLが多く使われているが、それが発生する「自発呼吸」の良否に関する検討は少ない。今回我々はTTLが作り出す自発呼吸について検討した。

## 【対象と方法】

モデル肺としてTTL、TRAINING/TEST LUNG；Michigan Instruments, Inc.を使用し、ドライブ側用にサーボ300及びPB7200を用いて自発呼吸を発生させた。ドライブ側ベンチレーターの呼吸モードは定常流VCV・PCV・サイン状フローでのVCV・2次曲線状気道内圧である。これらによって得られた自発呼吸をドライブ側チャンバー内圧によって評価した。2次曲線状気道内圧はパーソナルコンピューターでサーボ300をコントロールすることによって実現した。

## 【結果】

ドライブ側ベンチレーターの呼吸モードによってドライブ側チャンバー内に発生する圧はそれぞれ次のようになった。

1. 定常流によるVCVでは直線状
2. PCVでは指數関数的にピークに向かって漸近する形
3. PB7200によるサイン状フローでのVCVではサインカーブの別位相(S字状)
4. パソコンによって作り出した2次曲線の圧波形を与えると気道抵抗を負荷しない場合ではほぼ2次曲線状

## 【考察】

ヒトの自発呼吸を気道閉塞法によって評価すると、ほぼ二次曲線に近いカーブを描くことが知られている。一方、人工呼吸器装着下のpartial ventilatory assistの状態では、ベンチレーターの補助の程度が小さいときは患者の吸気努力が換気の大部分を決定することが既に知られている。従ってこのような状況を想定する場合にはモデル肺においてもヒトの自発呼吸に近い呼吸筋発生圧を作るべきである。

TTLではドライブ側チャンバーにベンチレーターで圧を加えその結果広がったチャンバーが肺側チャンバーを引っかけて広がっていくことになる。すなわちドライブ側チャンバー内に発生する圧は胸郭と肺の両方を広げることになり、これは呼吸筋発生圧に相当することになる。このようにしてドライブ側チャンバー内に発生した圧は陽圧であり、これが肺内に鏡像の陰圧を発生させて換気が

実現されるわけである。尚、TTLはその構造上、胸腔内圧を直接見ることはできないので計算によって求めることになる(胸腔内圧=肺側チャンバー内圧-肺側エラスタンス×換気量)。

ドライブ側チャンバーに作られる呼吸筋発生圧を計算にて求めると以下のようになる。

1. ドライブ側気道に定常流 $V' = \text{一定}$ が与えられるとき(通常のvolume control ventilation)

$$P_{mus} = E^* V + R^* V' - R^* V' \quad (E, R, V, V' \text{ はドライブ側})$$

$$= E^* V$$

$$= E^* V^* t \quad \dots \text{ドライブ側肺内圧は直線状に}$$

増加

もしも $E = -(at+b)$ ならば、 $P_{mus} = -at^2 + \dots$ の形になり得るが、技術的に困難。これはTTL側面のコンプライアンス調節用ストッパーの位置を時間とともに滑らかに移動させることを意味する。

2. ドライブ側気道に一定圧 $P_{set}$ が与えられるとき(Pressure Control Ventilation)

$$P_{mus} = P_{set} - R^* V'$$

$$= P_{set} - R^* P_{set} / R^* \exp(-t/RC)$$

=  $P_{set}(1 - \exp(-t/RC)) \dots$  ドライブ側肺内圧は指數関数的に一定値に向かって漸近する

3. ドライブ側気道にフローがsinカーブで与えられるとき(PB7200の場合)

$$P_{mus} = E^* \int \sin t + R^* V' - R^* V'$$

=  $E^*(k - \cos t) \dots$  ドライブ側肺内圧はsinカーブの別位相で増加(S字状に増加)

4. ドライブ側気道に2次曲線状に圧が与えられるとき(パソコンによる圧制御)

$$P_{mus} = -at^2 - R^* V'$$

ここで $R \neq 0$ ならば

$P_{mus} = -at^2 \dots$  ドライブ側肺内圧は2次曲線状に増加

今回得られた結果はここで示されたものとほぼ同様の波形になった。従ってドライブ側に気道抵抗無しに2次曲線の圧波形を与えたときが最も自然な自発呼吸になるといえる。一方、このような特殊なモードを使えない場合は、PCVにてドライブ側のRCを適切に設定することで自発呼吸に比較的近い呼吸筋発生圧を得ることができる。

## 【結論】

TTLにおいては、簡便にはPCVを、より正確には2次曲線状の圧波形をドライブ側に与えることで実際に近い自発呼吸を作製できた。TTLでの自発呼吸のシミュレーションにはいずれかのモードでドライブするべきである。