

同調性と横隔膜筋の維持に焦点を当てた PAV+™の臨床使用



則末 泰博 先生

ご略歴

1996年 慶応大学心理学科 卒業
1998年 東邦大学医学部 入学
2004年 東邦大学医学部 卒業
2004年 沖縄県立中部病院にて初期研修
2006年 ハワイ大学内科レジデント(米国総合内科専門格取得)
2009年 セントルイス大学、呼吸器内科・集中治療科フェロー
(米国集中治療専門医取得、米国呼吸器内科専門医取得)
2012年 東京ベイ・浦安市川医療センター、集中治療科部長、呼吸器内科部長
2012年 ARDSガイドライン作成委員
2015年 日本集中治療医学会倫理委員

資格・所属学会

日本内科学会 専門医
日本集中治療学会 専門医
米国内科学会 専門医
米国集中治療学 専門医
米国呼吸器内科学会 専門医
日本内科学会
日本集中治療医学会
日本呼吸療法医学会
日本呼吸器学会
米国内科学会 (American College of Physicians)
米国呼吸器・集中治療学会 (American College of Chest Physicians)
米国集中治療学会 (Society of Critical Care Medicine)

Pressure Support Ventilation (PSV) の非同調

多くの方は、PSVは最も自発呼吸に近く、非同調が少ないと考えているかも知れません。確かに、PSVは吸気時間を患者がある程度コントロール出来るため、Assist-ControlによるVolume Control Ventilation (VCV) やPressure Control Ventilation (PCV) と比べると、患者と人工呼吸器の同調性が一見良くなることをしばしば経験します。しかし、実はPSVでは、特にサポート圧を大きく設定しすぎてしまうことにより、様々な非同調が生じていることが報告されています^{1),2)}。

図1は食道内圧と気道内圧を表示しています。患者の吸気努力を食道内圧の陰圧として認識することが出来ます。人の吸気努力や吸気パターンは常に一定ではなく、呼吸ごとに変化していることが分かります。一方、PSVによる気道内圧の変化はどうでしょうか？患者の吸気努力の大きさや、吸気パターンに関係なく、全ての吸気で同じ送気パターンにより同じ気道内圧による吸気サポートが行われていることが分かります。

図2はPSVで、Pressure Support (PS) を必要以上に高く設定した場合の気道内圧と食道内圧です。患者の呼吸器系のコンプライアンスと気道抵抗に問題がない場合、大きいPSでは患者が吸気努力をやめた後も、流量が一定以下になるまで送気が続いてしまいます²⁾。患者が吸気努力をやめているにも関わらず送気が続いている状態はDelayed cycling (送気の終了遅延) と呼ばれます。図2では食道内圧がありますが、実臨床ではPSVのサポート圧を高く設定しすぎることによるDelayed cyclingを認識することは容易ではありません。Delayed cyclingが生じると、患者が吸気努力をやめた後に過剰な空気が肺に入ってくるため、患者が望む一回換気量よりも大きな一回換気量となってしまいます。患者が望むよりも大きな一回換気量となった場合、主に3つの弊害が考えられます。

①ミストリガーなどの新たな非同調

Delayed cycling自体が非同調ですが、このDelayed cyclingはさらに新たな非同調を生み出す可能性があります。一回換気量が大きいと、肺が過膨張した状態で呼吸をする事になり、患者によっては次の吸気の開始までに呼気を十分に行う事が出来ず、いわゆるAuto PEEPと呼ばれる状態になります。その場合、次の送気をトリガーするために大きな努力が必要になります。その結果、トリガーが遅くなるDelayed triggerや、トリガーが出来ないまま患者が吸気をあきらめてしまうミストリガーなどが生じます¹⁾。

②睡眠の質の低下

患者が望むよりも一回換気量が大きい場合、動脈血の二酸化炭素濃度が低下します。興味深いことに、PSVで一回換気量が大きくなっている睡眠中の患者は呼吸回数を減少させるわけではなく、動脈血の二酸化炭素濃度が一定以下になると無呼吸となり、二酸化炭素濃度が一定以上になると苦しくなって呼吸を再開することが分かっています(周期性無呼吸)。この周期性無呼吸により、患者は断眠傾向となり、睡眠の質が低下することが報告されています³⁾。

③横隔膜筋の萎縮の可能性

図2では、食道内圧が陰圧に触れて人工呼吸器からの送気をトリガーした後、食道内圧がすぐに陽圧に転じていることが分かります。このグラフィックが意味していることは、「患者は送気をトリガーした後にすぐに吸気努力をやめている」ということです。吸気努力をしなくても、大きなPSであれば患者の呼吸器システムに問題がなければ、Delayed cyclingにより大きな一回換気量が肺に送られることになります。もしこの状態が持続した場合、横隔膜筋が萎縮する可能性があることが容易に想像できます⁴⁾。

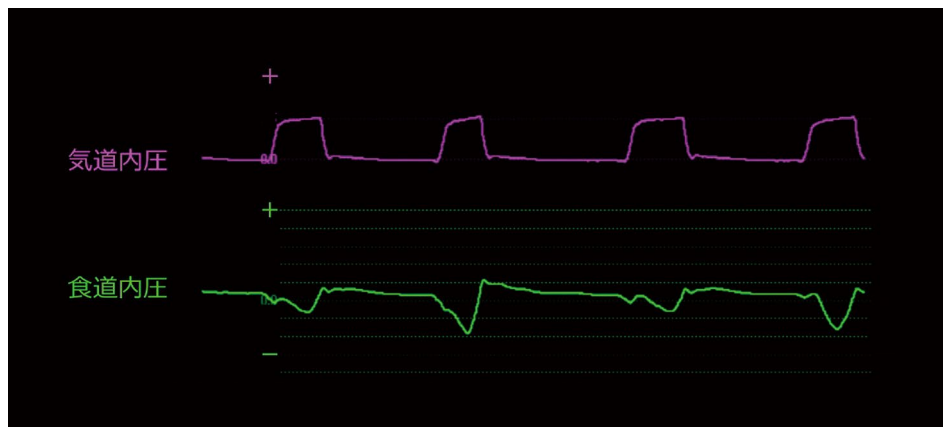


図1: PS設定時の気道内圧と食道内圧波形

患者の吸気努力の大きさや、吸気パターンに関係なく、全ての吸気で同じ送気パターンにより同じ気道内圧による吸気サポートが行われている。



図2: 大きいPS設定での気道内圧と食道内圧波形

患者の呼吸器系のコンプライアンスと気道抵抗に問題がない場合、大きいPSでは患者が吸気努力をやめた後も、流量が一定以下になるまで送気が続いている。

PAV+™の特性と臨床応用

PAV+™は、PSVと比べるとさらに自発呼吸に近く、上記のPSVの特徴を補うことが出来る可能性があるモードです。PAV+™は、患者が作り出している吸気努力(Pmus)を吸気の間、継続的に測定し、患者の吸気努力に合わせて気道内圧による吸気サポートを経時的に変化させるモードです。どうしてその様な事が出来るのでしょうか？以下の式をご覧ください。

$$P_{vent} + P_{mus} = R \times F + E \times V$$

P_{vent} :人工呼吸器が作り出す圧

P_{mus} :患者の吸気筋が作り出す圧

R:気道抵抗

F:流量

V:換気量

E:エラスタンス(コンプライアンスの逆数)

左辺は人工呼吸器による陽圧と、患者が吸気筋によって胸腔内を陰圧にするために作り出している圧の和であり、肺を拡げるために人工呼吸器と患者が共同作業を行っている事が分かります。右辺からは、肺を拡げるためには気道抵抗と肺の硬さ(エラスタンス)を克服する必要があることが分かります。PAV+™は4~10呼吸に一度、吸気終末に0.3秒のマイクロポーズを行う事で肺のコンプライアンスの測定を行い、呼吸波形から気道

抵抗を測定しています。さらに、吸気中に200回/秒の頻度で流量と換気量を測定しています。つまり、PAV+™では吸気中に式の右辺の変数を常に測定、代入することにより、患者の吸気努力を経時的に測定することが出来ます。PAV+™における呼吸器設定は、 F_{iO_2} 、PEEPそしてサポート%ですが、例えばサポート%を50%とし設定したとします。患者が横隔膜で5cmH₂Oの圧を作り出すことによって胸腔を陰圧にして肺を拡げようとしていた場合、人工呼吸器は気道内圧を5cmH₂Oとすることで、患者をサポートします。肺を拡げるために患者が作り出した陰圧と人工呼吸器による5cmH₂Oのサポートの共同作業で肺を拡げるわけですが、もしこの合計の圧が強すぎると患者が感じた場合、患者はすぐに吸気努力を減少させます。例えば患者が P_{mus} を3cmH₂Oまで減少させれば、人工呼吸器も気道内圧を3cmH₂Oに変化させます。つまり、PAV+™は患者の吸気努力の変化に追従して圧サポートを変化させるということであり、患者は吸気流量、気道内圧、吸気時間、そして結果的に一回換気量を自分自身でコントロールすることが出来ます。つまり、PAV+™は患者自身がコントロール出来る人工の補助横隔膜と言えるかも知れません。

図3は、患者の吸気努力と人工呼吸器による気道内圧の変化をPSVとPAV+™で比較したものです。PSVでは患者の吸気努力の変化に関わらず、人工呼吸器は常に一定の圧サポートを行いますが、PAV+™では患者の吸気努力の変化に従って圧サポートも変化していることが分かります。

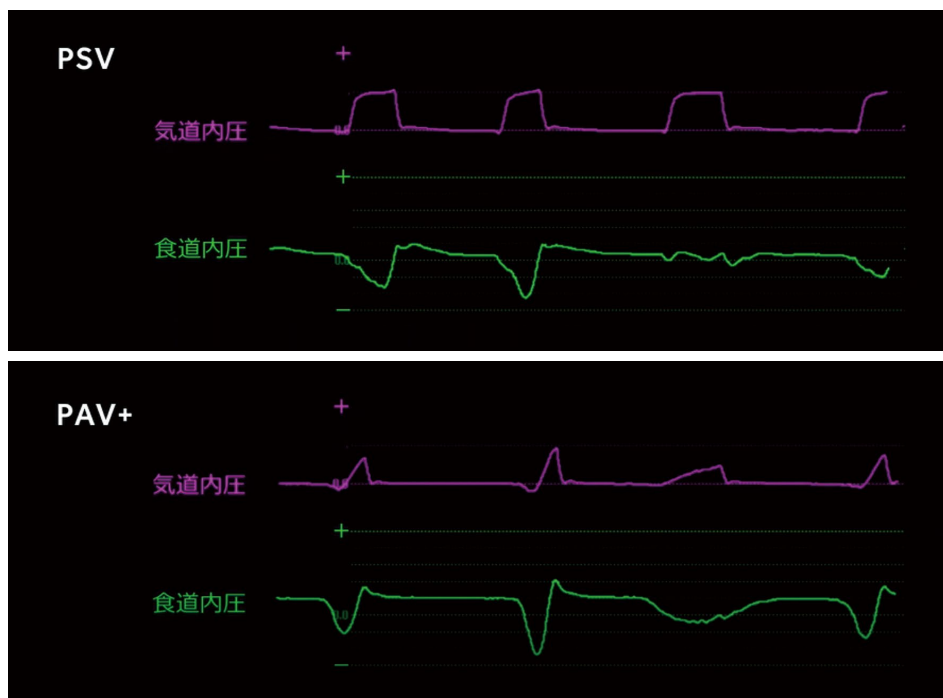


図3: PSVとPAV+™で比較した患者の吸気努力と人工呼吸器による気道内圧の変化
PSVでは患者の吸気努力の変化に関わらず、人工呼吸器は常に一定の圧サポートを行うが、PAV+™では患者の吸気努力の変化に従って圧サポートも変化している。

図4は、PAV+™モードの時の気道内圧と食道内圧のグラフィックです。患者の吸気努力に対して鏡のように気道内圧が変化していることが分かります。この特性上、PSVの場合のように、患者が送気のトリガーを行った直後に吸気努力をやめるということは起こりにくいということが分かります。また、結果的に患者が求める一回換気量となるため、Delayed cyclingだけではなく、ミストリガーなどの非同調もPSVと比較して減少する事が報告されています³⁾。また、メタ解析によると人工呼吸期間が短くなることが報告されていますが⁵⁾、この結果からは患者が吸気の際に吸気努力をやめないということから横隔膜筋が維持されている可能性も示唆されます⁴⁾。

それではどのような場合にPAV+™を使用すれば良いのでしょうか？一言で表すと、「PSVを使用しようと考えたとき」がPAV+™を使用する場面です。当院では、特別な理由がない限り、伝統的にはPSVを用いるような場面ではPAV+™を積極的に用いるようにしています。ただし、PAV+™を用いない方が安全な病態がありますので、以下に説明します(表1)。

ARDSや敗血症による重症の代謝性アシドーシスなど、呼吸ドライブが亢進しているときはPAV+™は適していません。通常であれば、どれくらいの一回換気量が適切かであるかを患者は分かっています。別の言い方をすると、通常であれば適切な一回換気量になると吸気努力をやめるように横隔膜にフィードバックがかかります。しかしこれらの超急性期の病態では、肺にとって危険な一回換気量になっても、吸気努力をやめるように横隔膜にフィードバックがかからず、結果として不適切に強い呼吸努力に

対して、PAV+™によって不適切に強くサポートしてしまうという現象が起こる可能性があります。また、神経筋疾患の急性期や重症のICU-AWにより、PAV+™のサポート下であっても患者が適切な一回換気量に到達できないほど吸気筋力が弱っているときは、不適切に弱い吸気努力呼吸に対して、PAV+™により不適切に弱くサポートするという現象が起こり、低換気となってしまう可能性があります。まとめると、患者の呼吸ドライブが異常に亢進している症例、患者の吸気筋力が著しく低下しているときにPAV+™は適していません。

PAV+™はその特性上、PSVよりもさらに自発呼吸に近く、患者の吸気努力に対して同調性が優れているだけではなく、患者が望む一回換気量になるためにミストリガーなどの非同調が減少し、睡眠の質も向上することが報告されています³⁾。また、通常の呼吸と同じように患者が吸気の間ずっと横隔膜筋を使用するため、結果的に横隔膜筋の萎縮が最小限になり、人工呼吸期間が短縮される可能性が示唆されています^{3), 4)}。PSVを使用するような場面では、積極的にPAV+™の使用を検討しても良いかもしれません。

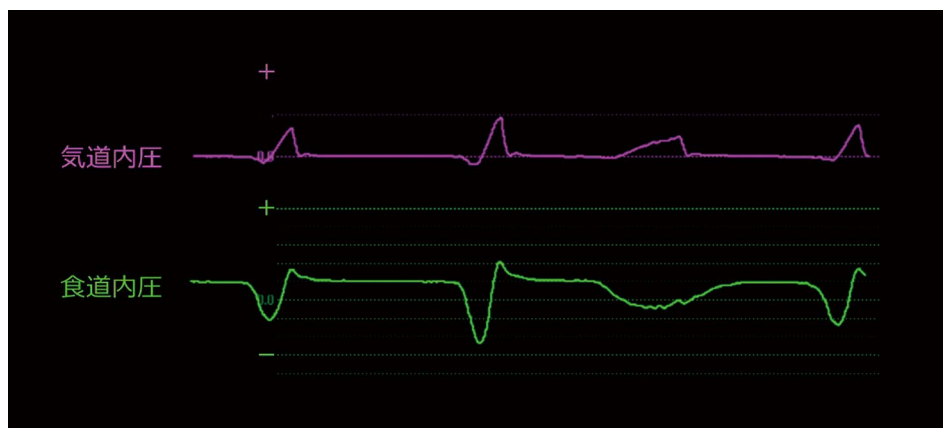


図4: PAV+™モードの時の気道内圧と食道内圧波形
患者の吸気努力に対して鏡のように気道内圧が変化している。

以下の場合にはPAV+は適していない

- 病的に呼吸努力が強いARDSの急性期
- PAV+が正確に測定できないほど呼吸努力が弱いとき
- 吸気と呼気のレジスタンスが変化するような重症のCOPD

表1: 伝統的にはPSVを用いるような場面では
PAV+™を積極的に用いるようにしているが、
PAV+™を用いない方が安全な病態がある。



Reference

- 1). Thille AW, et al. Intensive Care Med. 2008;34(8):1477-86. PMID:18437356
- 2). Yamada Y, et al. J Appl Physiol (1985). 2000;88(6):2143-50. PMID:10846029
- 3). Bosma K, et al. Crit Care Med. 2007;35(4):1048-54. PMID:17334259
- 4). Vaporidi K. Curr Opin Crit Care. 2020;26(1):41-6. PMID:31738231
- 5). Kataoka J, et al. Ann Intensive Care. 2018;8(1):123. PMID:30535648

販売名 ベンチレータ PB980シリーズ
医療機器承認番号 22600BZX00050000
製造販売元 コヴィディエンジャパン株式会社

使用目的又は効果、警告・禁忌を含む使用上の注意点等の情報につきましては製品の電子添文をご参照ください。

© 2021-2022 Medtronic. Medtronic及びMedtronicロゴマークは、Medtronicの商標です。
TMを付記した商標は、Medtronic companyの商標です。
Proportional Assist 及びPAV は、The University of Manitoba, Canada の商標であり、ライセンスに基づき使用しています。

Medtronic

お問い合わせ先
コヴィディエンジャパン株式会社

Tel : 0120-998-971
medtronic.co.jp