

〔ミニパネル：機械的人工呼吸法の見直しと再評価〕

② Pressure Support Ventilation

司会者のまとめ

沼田 克雄*

Pressure support ventilation は、回路を通して患者に自発呼吸をさせる時、吸気相において回路内に陽圧をかけてその抵抗を軽減せんとするものである。

窪田氏はまず、本モードの概念、適応などにつき、総論的に解説した。そして臨床での自験例、他施設での報告なども紹介して、その有用性を説かれた。

武澤氏は、モデル肺に本モードを適用して、このモードが患者の換気仕事量を軽減せしめ得ることを示し、臨床例をも呈示された。

以上御二人のパネリストの発言内容は別掲されると思うので省略するが、フロアからの発言も含

めて本法の有用性を肯定する論が大勢を占めた。pressure support ventilation と言っても、微妙な所は人工呼吸器の機種によって異なる点もあるにせよ、一般に本モードは患者と人工呼吸器のfighting を少なくする。また、IMV や CPAP など人工呼吸器回路を通して自発呼吸をさせる方法が広く行われている現在、患者の換気努力を軽減して消耗を抑えることは現実の臨床では有意義な手法と思われる。設定圧を如何にすべきか、適応は何か、注意点は何かなどにつき、一応の呈示はなされたが、今後もなお検討を続けてゆくべき餘地を残しているし、また検討する意義は十分にあると思われる。今回本研究会のミニパネルのテーマのひとつにこの問題をとり上げられた後藤会長に敬意を表する。

* 東京大学医学部麻酔科

Pressure Support Ventilation

窪田 達也*

はじめに

最近開発された人工呼吸器はマイクロコンピューターを搭載し、その自動制御機構およびファイードバックシステムにより、人工呼吸器の性能は飛躍的に進歩した。われわれはこれらの人工呼吸器を第4世代の人工呼吸器と命名した(表1)¹⁾。その機能の改善の1つとして、pressure support

ventilation (PSV) という新しい換気モードの導入が挙げられる。

従来の第3世代の人工呼吸器 (Servo 900B まで) の問題点は S-IMV (synchronized-IMV) モードで使用した際、吸気・呼気弁の開閉に伴う応答時間の遅れ、回路内抵抗などが患者に余分の呼吸仕事量を負荷する結果となり、酸素消費量の増加も報告されている^{2)~6)}。

PSV の当初の設計上の目的はこの IMV 中の患者の負荷呼吸仕事量をいかに軽減するかにあり、

* 自治医科大学集中治療部

患者の吸気に追従して人工呼吸器から陽圧で吸気ガスを送り出し、患者への負荷をより少なくする方法である。さらに最近、この PSV をウィニングの初期より積極的に応用しようとする考え方がある⁷⁾⁸⁾。自発呼吸を維持しながら換気量を増加させるため、患者の異和感のなさ、呼吸の楽さ、呼吸仕事量の軽減などいくつかの利点が挙げられている。

また用語上では Siemens 社の pressure support, Engström 社の pressure assist, Dräger 社の assisted spontaneous breathing など機種により呼称も、また設計機構も異なっているが、Hansen ら⁹⁾はこれらの用語を統一して “Inspiratory flow assistance (IFA) と呼ぶことを提唱している。本邦では現在の所、PSV の用語で定着しているようである。

PSV の圧設定と補助呼吸 (assisted ventilation : AV) との相違について

(1) 初期設定圧の決め方

IMV 中の患者の呼吸仕事量を軽減することを目的とする場合には、患者の気道抵抗（気管チューブ）と人工呼吸器の弁および回路内抵抗を打消すに必要な圧を設定することである。その具体的な方法は表 2-A の計算式によって抵抗値を算出し、この抵抗値に相当する圧を設定する（抵抗値に対し最大吸気流速 (F) を 1.0 l/sec と仮定して設定圧を算出する）。臨床的には 3~5 cmH₂O 程度の圧で十分その目的を達している。

一方、ウィニング初期からの応用に関してはい

表 1 第 4 世代の人工呼吸器の特長

- (1) マイクロコンピューター使用による自動制御システム
正確な換気量の維持とバックアップシステム
- (2) 各パラメーター (Paw, VT, Flow) のディスプレイ
記録・表示部分の充実
- (3) 気道内圧と弁機構とのフィードバックシステムの確立
 - (a) 弁の応答時間の改善
 - (b) IMV/CPAP 時の患者の呼吸仕事量の軽減
 - (c) Pressure support ventilation の導入

まだ十分な資料がなく、McIntyre は 1 回換気量 10~15 ml/kg を維持するような高い圧設定で行っている⁸⁾。われわれは 1 つの試みとして調節呼吸時と同じ PIP (peak inspiratory pressure) を維持する圧を設定し（表 2-B）その圧を次第に低下させながらウィニングを進めている。

(2) PSV と AV との相違について

PSV は吸気開始時の陰圧をトリガーとするため、PSV の設定圧を高くすると補助呼吸 (assisted ventilation : AV) ときわめて類似した呼吸波形が得られる。Downs¹⁰⁾ はこのことより PSV と AV とは区別できず、PSV を新しい換気モードとすることを疑問視している。

表 2 PSV の設定圧

(A) IMV+PS 時の設定圧

3~5 cmH₂O

$$R = \frac{PIP - SP}{F} : \frac{30 - 26}{0.75} = 5.33$$

R : 気道および回路内抵抗 (cmH₂O/l/sec)

PIP : 最大吸気圧 (cmH₂O)

SP : 吸気静止圧 (cmH₂O)

F : 最大吸気流速 (l/sec)

(B) PSV による weaning 時の初期設定圧

(1) VT : 10~15 ml/kg を維持する圧

(2) CMV 時の PIP と同じ圧を設定する

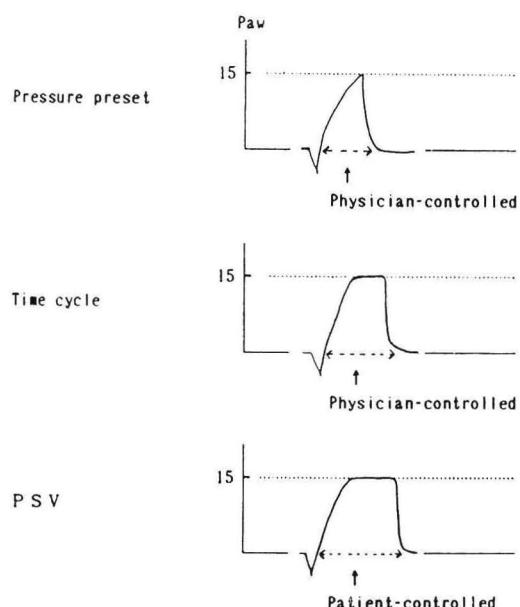


図 1 PSV と AV (Assisted Ventilation) との相違

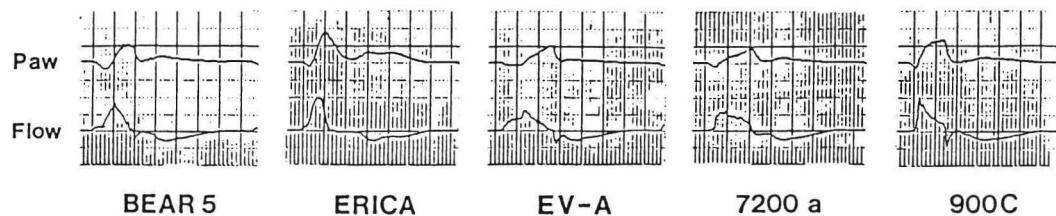


図 2 Pressure Support System での各機種による Flow および Paw の相違について

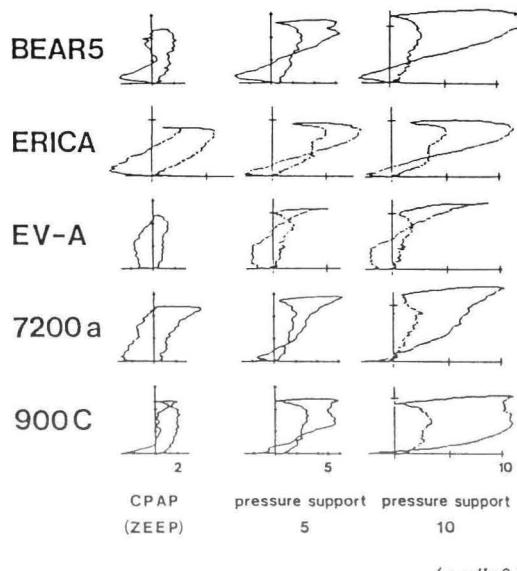
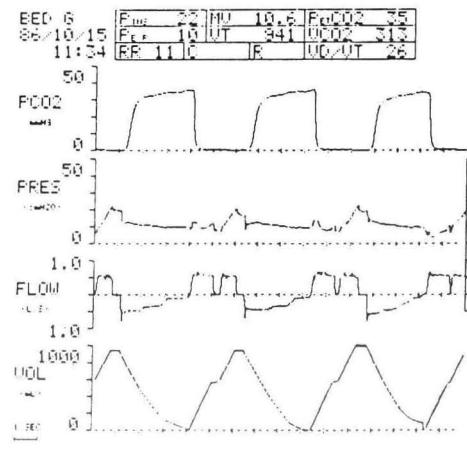


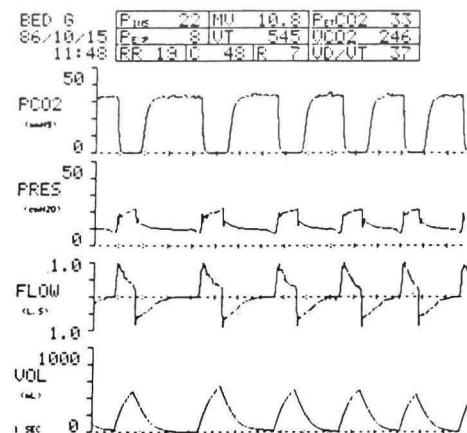
図 3 Pressure support ventilation (PSV) による各機種間での圧量曲線上の相違

PSV の機構的特徴は気道内圧の圧設定の仕方は同じであるが、気道内圧が peak 値に達しても、患者の吸気が続くかぎり吸気流速を維持し、患者の吸気が peak flow の 25% まで低下した時に呼気に切換る方式である。すなわち、1回ごとの換気量と吸気補助時間 (inspiratory assisted time) は患者の要求に応じて変化する訳で、いわゆる patient controlled volume and inspiratory time が特徴であり、この点が PSV と AV との相違点である。従来の pressure preset および time cycle の人工呼吸器では図 1 に示すごとく、1回換気量と吸気補助時間は治療者のコントロール下にあり、physician controlled で治療者の考えで決められることになる。

PSV の臨床応用はすでに広く行われつつあるが、新しい換気モードとしての有意性を報告した



"Fighting"



"Comfort"

図 4 CMV と PSV

論文はいまだ少ない¹¹⁾¹²⁾。MacIntyre は PSV により呼吸仕事量の減少、呼吸の楽さ (respiratory comfort), 呼吸数の減少から呼吸筋の円滑な回復、

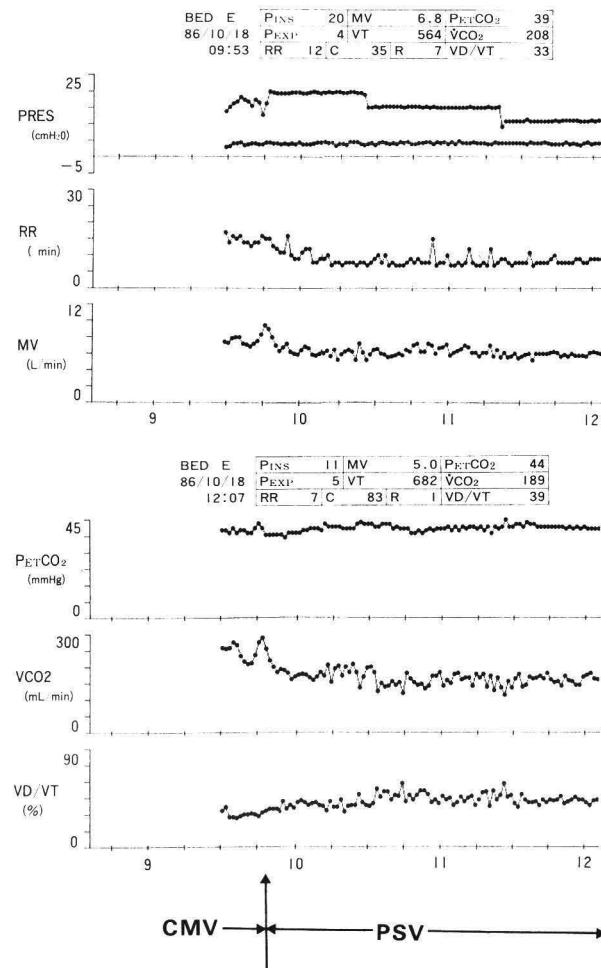


図 5 PSV による Weaning

length-tension relationship の保持, vagal activity への影響など肺機能の面からの検討を行っている。

PSV は使用目的の違いにより機種によって構造上の送気方式が異なる。図 2 は第 4 世代の人工呼吸器に属する機種での気速波形, 気道内圧を示したもので, Servo 900 C では送気開始時に最大流量が流れるのに対し, EV-A では可変性でかなり遅れて最大流量を流すことも可能である。Bear-5, Erica, Bennett 7200 a がその中間の波形を示している。図 2 は気速および圧を時間軸上に示したが, これを圧量曲線上に示すと各機種間の相違がより明らかとなる。図 3 は PSV の圧を 5 および 10 cmH₂O に設定した時の圧量曲線を示し

たもので, Servo 900 C では機械的に急激に押込まれる感じがあるのに対し, EV-A ではきわめて自然に補助している。この圧量曲線の持つ生理的意味については今後さらに検討する必要がある。

臨床応用の実際

IMV 使用時の患者の負荷呼吸仕事量の軽減について気道内圧を 3~5 cmH₂O に設定することで PSV の初期の目的を達することができる。一方, ウィニングの一方法としての新しい換気モードとしての有用性についてはこれからの検討が必要である。その第一は PSV の初期圧の決定である。1 回換気量 10~15 mL/kg を維持する圧とする意見もあるが, 自治医大 ICU では表 3 に示す

表 3 Pressure Support Ventilation (PSV) 使用時のプロトコール

| 圧設定の仕方 | |
|-------------------------------------|---|
| (1) | 初期設定圧 (Initial airway pressure) CMV から PSV への移行時 CMV 時の Peak airway pressure と同じにする。 |
| (2) | 最適設定圧 (Optimum airway pressure) 呼吸の楽さ加減 (Respiratory comfort) を患者に聞いて初期設定圧±5 cmH ₂ O の幅で調節する。 |
| (3) | ウェイニングの進め方 (Weaning process) は安定した臨床所見 (RR, HR, BP, 発汗の有無) を確認して 5 cmH ₂ O きざみで下げてゆく。 |
| 例 | |
| 20 cmH ₂ O→15→10→5→(3)→0 | |

(自治医科大学集中治療部)

プロトコールに従い、CMV 時の PIP (PAP: peak airway pressure) と同じ圧に設定して PSV を開始し、PSV の最適設定圧 (optimum airway pressure) を初期設定圧の ±5.0 cmH₂O 内で変動させて、患者の楽さ加減、呼吸数の減少などから決定している。その後は呼吸数、心拍数、発汗など臨床所見を確認しながら、5 cmH₂O きざみで減少させながらウェイニングを完了させる。

具体的な症例として食道癌根治術の 1 症例のウェイニングの経過を示す。術後 2 日目 CMV で管理していた所、自発呼吸が混入し気道内陰圧が生じ、いわゆるファイディングの状態を示していた。これを PSV に換気モードを変更した所、ファイディングが消失しバイタルサインも安定した (図 4)。その時のパラメーターの変化は peak flow の増加、呼吸数の減少、1 回換気量の増加、分時換気量の減少、 $\dot{V}CO_2$ の低下を認め $PETCO_2$ は不变であった。この $\dot{V}CO_2$ の低下は呼吸数および分時換気量の減少によるもので、患者の酸素消費量の低下、すなわち換気に対する患者の負担の軽減を意味する。図 5 は同症例の PSV によるウェイニングの経過をトレンドモニターで示したもので、約 1 時間の間隔で PSV の気道内圧を 15→10→5 cmH₂O と低下させた時の各種パラメーター (Paw, RR, MV, $PETCO_2$, $\dot{V}CO_2$, V_D/V_T) の変化

表 4 PSV の利点と問題点

| 利 点 |
|---------------------------|
| (1) 吸気仕事量の軽減 |
| (2) ファイディングの消失 |
| (3) Respiratory comfort |
| (4) 呼吸数の減少 |
| (5) 鎮静剤使用頻度の減少 |
| 問 題 点 |
| (1) 人工呼吸器依存性 (?) |
| (2) ウィーニングを進めて行く基準が不明 |
| (3) 無呼吸発生時の問題 |
| これからの課題 |
| (1) PSV は IMV の代りとなりうるか |
| (2) PSV はウェイニングの過程を促進できるか |

を検討したものである。全体の経過は RR および $\dot{V}CO_2$ の低下が明らかであり、 V_T の増加、MV の軽度減少、 $PETCO_2$ は不变ときわめて円滑にウェイニングが進められていることが判った。この他、 $Paco_2$ 110~140 torr と高度の慢性閉塞性、拘束性障害を示す結核後遺症の呼吸不全症例の急性増悪時の呼吸管理に PSV を適応し、自発呼吸を温存しながら至適 $Paco_2$ を模索しつつ呼吸管理を進め、 $Paco_2$ 80~90 torr でウェイニングに成功した症例を経験した。1987 年 7 月より 1988 年 6 月までの 1 年間に自治医大 ICU では PSV を 30 症例に適応し、IMV+PSV の併用 19 例、PSV のみ 11 例で食道癌術後症例、開心術後症例、慢性呼吸不全、喘息例などに応用している。

結 語

PSV 開発の端緒は IMV 中の患者の呼吸仕事量の増加をいかに軽減するかが第 1 の目的であったが、このことに加えてウェイニング時の新しい換気モードとして臨床上有用であることが明らかとなつた。この PSV は microprocessor による feed back system により患者の要求に応じて吸気時間を自由に変更することが可能であり (patient controlled inspiratory time), 従来の補助呼吸 assisted ventilation) とはまったく異なる新しい換気モードである。実際の臨床使用の経験から、呼吸の楽さ (respiratory comfort), ファイディングの消失、呼吸数の減少、 $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$ の低下および鎮静剤の使用頻度の減少などいくつかの利点が

明らかとなり、今後ウィニングへの積極的応用が期待される換気モードである。最後に PSV の利点と問題点およびこれからの課題を列記した（表4）。

文 献

- 1) 窪田達也：成人用人工呼吸器の最近の進歩：第4世代の人工呼吸器について. 臨床呼吸生理 19 : 83-91, 1987
- 2) Kacmarek RM & Wilson RS : IMV systems ; Do they make a difference ? Chest 87 : 557, 1985
- 3) 小野寺文雄, 窪田達也, 清水禮壽 : IMV モードにおける呼吸仕事量と人工呼吸器の負荷について. 呼吸と循環 35 : 569-76, 1987
- 4) Gibney RTN, Wilson RS & Pontoppidan H : Comparison of work of breathing on high gas flow and demand valve continuous positive airway pressure systems. Chest 82 : 692, 1982
- 5) Christopher KL, Neff TA, Bowman JL, et al : Demand and continuous flow intermittent mandatory ventilation systems. Chest 87 : 625-30, 1985
- 6) Kanak R, Fahey PJ & Vanderwarf C : Oxygen cost of breathing ; Changes dependent upon mode of mechanical ventilation. Chest 87 : 126-7, 1987
- 7) 窪田達也, 小野寺文雄 : ウィニング時の換気モードの選択. 日臨麻会誌 7 : 55-66, 1987
- 8) MacIntyre NR : Respiratory function during pressure support ventilation. Chest 89 : 677-83, 1986
- 9) Hansen J, Wendt M & Lawin P : Ein neues weaning-verfahren (Inspiratory flow assistance -IFA-) Anaesthetist 33 : 428-32, 1984
- 10) Downs JB : New modes of ventilatory assistance. Chest 90 : 626, 1986
- 11) Viale JP, Annat GJ, Bouffard YM, et al : Oxygen cost of breathing in postoperative patients ; Pressure support ventilation vs continuous positive airway pressure. Chest 93 : 506-9, 1988
- 12) Fiastro JF, Habib MP & Quan SF : Pressure support compensation for inspiratory work due to endotracheal tubes and demand continuous positive airway pressure. Chest 499-505, 1988

呼吸仕事量から見た PRESSURE SUPPORT と SIMV の比較

武 澤 純^{*1} 島 田 康 弘^{*2}
西 村 匡 司^{*3} 吉 矢 生 人^{*4}

人工呼吸の換気モードとしては現在様々な様式がとられている。今回われわれは呼吸仕事量軽減の観点から pressure support (PS) の優位性を SIMV と比較して報告した。本来、人工呼吸器が備えるべき性能の主なものは肺におけるガス交換能の改善、呼吸仕事量の軽減、段階的 weaning

が可能であること、患者ならびに呼吸器の安全性が保証されていること、そして修理が容易であることなどがある。その中でもとくに最近呼吸仕事量の軽減をどのような機構でどの呼吸様式を使って行うかが問題になっている。進行性肺病変を持った患者では、呼吸に要する仕事は正常肺で安静呼吸時の仕事量に比べて著しく上昇し、そのため心拍出量の相当部分が呼吸筋の仕事に使われる。その結果、呼吸困難は増強し、一方呼吸筋以外の

*1 名古屋大学医学部附属病院集中治療部

*2 名古屋大学医学部麻酔科

*3 大阪大学医学部附属病院集中治療部

*4 大阪大学医学部麻酔科