

□ 特集：ユニークな換気モードの基本的動作と臨床使用の有用性と問題点 □

Volume Support & Pressure-regulated volume control ventilation Servo

星 邦彦* 斎藤 浩二* 佐々木 規喜*

ABSTRACT

Volume Support & Pressure-regulated volume control ventilation Servo

Kunihiko HOSHI*, Kohji SAITOH*, Chikanobu SASAKI*

* Department of Intensive Care Unit, Tohoku University Hospital, Sendai 980-8574

In the respiratory care of a patient with acute respiratory failure, a ventilation mode of pressure control such as PCV (Pressure control ventilation) and PSV (Pressure support ventilation) is widely used. It is thought that the PCV and PSV are the suitable mode on account of the prevention of the barotrauma during the respiratory care. The PCV and PSV invite a hypoventilation occasionally, because the tidal volume of the PCV and PSV is depending on the patient's compliance. So, new ventilation mode of a tidal volume control such as the PRVC (Pressure-Regulated Volume Control) and VS (Enhanced Volume Support) are developed and are carried by the Siemens Servo 300 ventilator. The PRVC and VS are a pressure-limited ventilation mode which the ventilator control the airway pressure by the auto-mode algorithm and are able to keep the setting tidal volume at the feasible low airway pressure. It is possible that The PRVC and VS are able to keep the suitable tidal volume preventing the barotrauma. In the clinical use, it is possible that the airway pressure becomes the unexpected high pressure and it is necessary that the high pressure alarm is set up firmly.

1. はじめに

急性呼吸不全患者に対する機械的人工呼吸管理の目的は、低酸素血症に対する酸素化の改善、高二酸化炭素血症に対する換気の改善、呼吸仕事量軽減による呼吸筋疲労の防止にある。これらの目的を達成するためさまざまな換気モードが開発され人工呼吸器に搭載されている。

たくさんある換気モードの中で、従来から使用されている SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation) モードでは、1回換気量

と呼吸回数を設定するのが一般的である。その1回換気量をどのように設定するかは、換気モードが同じ SIMV モードであっても人工呼吸器の種類によって異なる。1回換気量そのものを設定する場合や、吸気流速と吸気時間を設定して1回換気量を設定する場合などである。人工呼吸器が吸気相から呼気相に転じる方法に注目すると、従来までは、設定した換気量に達成すれば送気を止める従量式と、設定した気道内圧に達成したら送気を止め呼気相に転じる従圧式に分類することができる。現在の人工呼吸器では、次の3つの方法に分類することができる。

(1) 時間サイクル式：設定された時間が経った

* 東北大学病院集中治療部

ら呼気に転じる。

(2) 圧サイクル式：設定した圧になったら呼気に転じる。

(3) 容量サイクル式：設定した量が入ったら呼気に転じる。

さらに進化した人工呼吸器は、呼気への転換方式をこの3つのサイクル一つに固守しなくなってきた。換気量を流速と吸気時間で設定できる人工呼吸器では、呼気への転換方式が換気量と吸気時間・併用となり、時間サイクルと容量サイクルの2つの方法を併用できるようになってきた。また、後述する設定された気道内圧を設定された時間維持する換気モードである圧制御換気 (PCV：Pressure control ventilation) は、圧サイクルの他に時間サイクルの要素もからんでいる。

次に、換気パラメータの設定方法のうちで、1回換気量 (VT; l) と患者のコンプライアンス (C; l/cmH₂O), そして気道内圧 (Paw; cmH₂O) に注目してみると、この3者は、気道内圧 (Paw) = 1回換気量 (VT) ÷ コンプライアンス (C) なる関係式で成り立っていることがわかる。この3要素の中で、われわれ医療従事者が制御できるのは、流速 (Flow; l/sec) を含めた1回換気量 (流速の積分値) と気道内圧のみであり、コンプライアンスは患者の呼吸器の状態によって変化するため調節することはできない。患者のコンプライアンスが無気肺や肺炎などによって悪化 (Cの値が小さくなる) した状態で、気道内圧を一定に保とうとすれば、必然的に1回換気量は小さい値にならざるを得ない。その結果、分時換気量 (1回換気量 × 呼吸回数) が減少し、PaCO₂は高値となる。また、1回換気量を一定に保とうとすれば、気道内圧は高い値になり気胸などの圧外傷のリスクが大きくなる。逆に、患者のコンプライアンスが急によくなった (Cの値が大きくなる) 状態で、気道内圧を一定に保とうとすれば、1回換気量も大きな値にならざるを得なくなり、結果として肺の過膨張を引き起こすことになる。また、1回換気量を一定に保つようにすると、気道内圧は低い値となり、低圧アラームが頻回になる事態が起こることになる。

このような1回換気量、コンプライアンス、気

道内圧の関係の中で、1回換気量を target にした換気モードが、シーメンス社製人工呼吸器 Servo に搭載されている圧補正従量式換気 (PRVC：Pressure-Regulated Volume Control) と容量支持換気 (VS：Enhanced Volume Support) である。

2. PRVC：Pressure-regulated volume control

人工呼吸器を用いた急性呼吸不全患者の呼吸管理中、人工呼吸そのものによる肺傷害 (Ventilator Induced Lung Injury：VILI) が問題となる¹⁾。VILIは、肺胞の過膨張と末梢気道に生じるずり応力 (肺胞の虚脱と再開通の繰り返し) が主な原因と考えられている。急性呼吸不全患者の呼吸換気管理では過膨張を起こさないような換気、最高気道内圧 (プラトー圧) の上限を 30cmH₂O 以下にする換気が推奨されている²⁾。正常肺と異常肺が混在する急性肺傷害患者の呼吸管理では、患者-人工呼吸器の不同調が問題となる。特に、患者の吸気努力が不規則であったり大きすぎたりする場合や呼吸器系のコンプライアンスが低下した場合などには、鎮静剤などを用いた調節換気が必要となることがある。これを満足させる換気モードとしては、1回換気量は設定せずに、維持する気道内圧と吸気時間を設定する圧制御換気 (PCV：Pressure control ventilation) がある。PCV モードでは、吸気時の気道内圧と吸気時間、呼吸回数を設定する。換気量は呼吸器のコンプライアンスによって変動するが、気道内圧は設定以上には上昇しないため、最高気道内圧が規制される ARDS 患者の呼吸管理にはうってつけである。日本呼吸療法医学会の多施設共同研究委員会による「ARDS に対する Clinical Practice Guideline 第2版」によれば、ARDS 患者に対する人工呼吸器の初期設定は、PCV モードを用いて、1回換気量が 5~7ml/kg、吸気終末のプラトー圧が 30 cmH₂O 以下となるように設定し (Grade A Level I)、1回換気量は 10ml/kg、吸気終末のプラトー圧は 35cmH₂O を超えるように設定してはならない (Grade A Level I) とされている。

しかし、PCV は一旦 target の気道内圧を設定してしまうと、患者の病態の進行とともにコンプライアンスが悪化してしまう状態では、前述した理

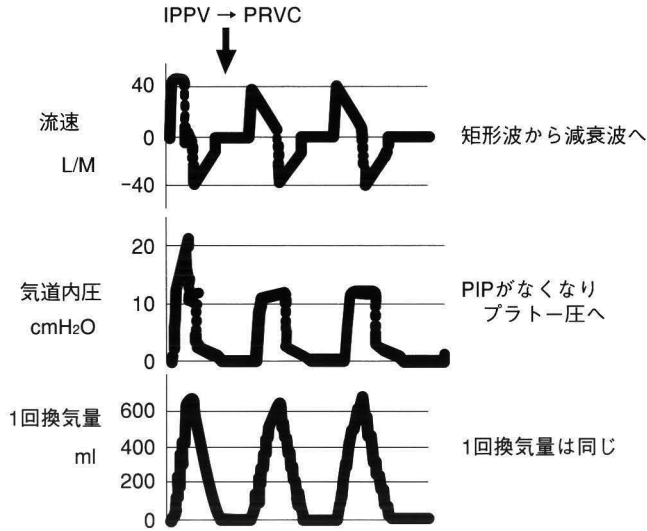


図1 IPPV から PRVC に換気モードを変化させた時の流速、気道内圧、1回換気量の変化

論から1回換気量が減少してしまい、知らぬ間に患者が低換気に陥ってしまっている可能性がある。このPCVの欠点を補った換気モードが、できるだけ低い気道内圧で設定1回換気量を得られるように人工呼吸器が自動的に圧レベルを調節するPRVCである。PRVCは、基本的には圧制御型強制換気であり、自発呼吸のない患者に使用される換気モードである。PRVCでは、一つ前の換気量と気道内圧を測定し、それが設定1回換気量になるように一呼吸ごとに次の呼吸の吸気圧を調節している。このため、低い気道内圧が要求され、かつ PaCO_2 をある程度コントロールしようとする呼吸不全患者の急性期の呼吸管理には有用である。図1は、IPPVモードからPRVCに変化させた時の、流速、気道内圧、1回換気量の変化をテスト肺を用いて検討した結果である。IPPVからPRVCに変化させると、PCVと同じように流量の波形は矩形波から減衰波に変化し、最高気道内圧の波形がなくなり、プラトー圧のみになる。1回換気量はモードの前後で変化せず、PRVCが換気量を保証していることがわかる。

われわれの施設では、コンプライアンスが変化しやすく、 PaCO_2 をなるべく一定にしたい小児の先天性心疾患術後患者の急性期にKocisらと同じ

ように使用している³⁾。ただし、気道狭窄や肺コンプライアンス低下時には気道内圧が異常上昇し気胸や気縦隔などの肺圧外傷を起こすので注意が必要であり、最高気道内圧のアラームをしっかりと設定する必要がある。

3. VS: Enhanced Volume Support Ventilation

現在、自発呼吸を補助する換気モードとしてはプレッシャーサポート換気(PSV: Pressure Support Ventilation)が一般的である。PSVは、自発呼吸がある患者への従圧式の補助呼吸で、人工呼吸器は患者の吸気を感じて前もって設定したサポート圧を保持するように送気を続け、患者の吸気が停止すると人工呼吸器からの送気は停止し、患者は吸いたいときに、吸いたい回数だけ、吸いたいスピードで吸気を行うことができる。ただし、1回換気量や分時換気量は患者の吸気要求に完全に依存している。PSVモードでは、努力呼吸をしている患者ではサポート圧を上げるだけで患者の呼吸仕事量が軽減すると言われており、設定が圧のみと簡単なため、自発呼吸がある小児から成人、急性および慢性呼吸不全、そして人工呼吸からの離脱(weaning)時期に幅広く使用されている。

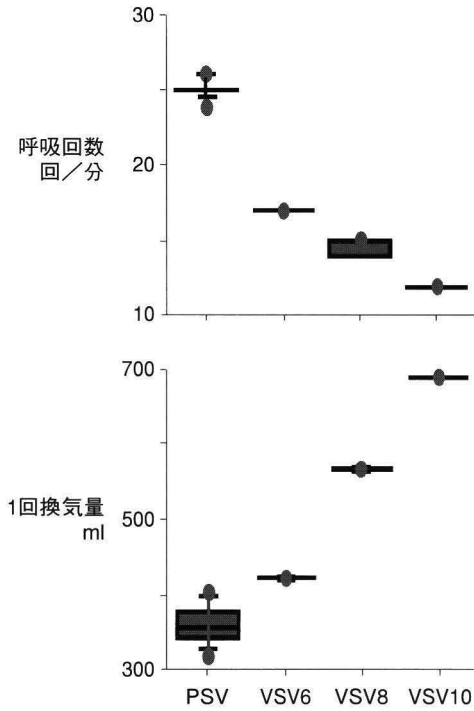


図2 抜管直前の患者でPSV 5cmH₂OとVSV (6, 8, 10ml/kg) の呼吸数と1回換気量の変化

ARDS ようにコンプライアンスが低い患者は、浅くて早い自発呼吸を行っている場合が多い。そのような自発呼吸にPSVモードを用いると、人工呼吸器の性能によっては、患者の吸気流速に追従できない、すぐに呼気に転じてしまう (premature termination) などのために、十分な1回換気量や吸気努力の軽減が得られない場合がある。そのような患者の呼吸管理中に用いられる持続鎮静と換気パラメータの関係は、ケタミンとミダゾラムの持続投与およびプロポフォール持続投与ともに、臨床使用量では分時換気量、呼吸数は有意の変化を示さないものの、1回換気量は有意に減少することが報告されている⁴⁾。このような患者においてPSVモードで呼吸管理を行っているときには、換気量を得るために必要以上の圧

を設定してしまう可能性がある。このようなPSVの欠点を考慮して、自発呼吸中の1回換気量をtargetにした換気モードである容量支持換気 (VS: Volume Support) が開発された。自発呼吸の感知がPSVと同じであるVSモードは、設定1回換気量になれば人工呼吸器は送気を中止し、患者が設定1回換気量以上に吸気を行いたいときには行うことができる。VSモードは、設定した目標1回換気量を得るための最も低いサポート圧レベルでガスを供給し、患者の呼吸仕事量を軽減させることができる。よって、人工呼吸器からの離脱時期、または1回換気量が十分でない呼吸不全患者の自発呼吸を補助する換気モードに適している。

図2は、抜管直前の患者でPSV 5cmH₂OとVS (6, 8, 10ml/kg) の呼吸数と1回換気量を比較したものである。自発呼吸を補助しているのでPSVおよびVSモードともに分時換気量に差はないが、VSでは設定1回換気量が大きくなるほど呼吸数が減少し1回換気量が増加していくのがわかる。しかし、VSを臨床応用するには、設定1回換気量をどのくらいにしたらいかが、気道内圧をどう解釈したらよいかなど解決しなければならない問題が残っている。

引用文献

- 1) 安本和正：人工呼吸による肺障害. ICUとCCU 27：175-179, 2003
- 2) Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, et al：Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. N Engl J Med 5：347-354, 1998
- 3) Kocis KC, Dekeon MK, Rosen HK, et al：Pressure-regulated volume control vs volume control ventilation in infants after surgery for congenital disease. Pediatr Cardiol 22：233 - 237, 2001
- 4) 佐藤 俊, 星 邦彦, 松川 周ほか：ミダゾラム, ケタミン持続鎮静が呼吸パターンに及ぼす影響. 呼と循 41：1181-1184, 1993