モデル肺を用いた Pressure Support Ventilation・ Pressure Control Ventilation の検討

吉川 保* 木山 秀哉* 落合 亮一*
武田 純三*² 福島 和昭*²

Investigation of Pressure Support Ventilation and
Pressure Control Ventilation by using a Test Lung

Tamotsu Yoshikawa, Shuya Kiyama*, Ryoichi Ochiai*²,
Junzo Takeda*² and Kazuaki Fukushima*²*

* Department of Anesthesiology, Shizuoka Red Cross Hospital
8-2 Otte-chou, Shizuoka-shi, Shizuoka 420, Japan

*² Department of Anesthesiology, School of Medicine, Keio University
35 Shinanomachi, Shinjuku-ku, Tokyo 160, Japan

Abstract

We investigated the changes in tidal volume, maximum inspiratory flow, and inspiratory pressure plateau in response to the settings of the ventilator regarding pressure support ventilation (PSV) and pressure control ventilation (PCV) in six commercially available ventilators by using a test lung. Tidal volume (V_T), inspiratory pressure plateau, and maximum inspiratory flow (MIF) were measured at various inspiratory pressure settings.

Inspiratory pressure, V_T , MIF and pressure curve were different between six ventilators, probably due to the different controlling mechanisms and their own flow limitations. Dependent on the increase in inspiratory effort, V_T and MIF were increased. Furthermore, during PSV mode above 10 cm of water, V_T and MIF did not increase in response to the increase in inspiratory effort. These findings suggest that we have to monitor the respiratory mechanics in order to maintain the adequate ventilation during PSV and PCV settings in different ventilators.

【目 的】

人工呼吸管理患者の肺の圧損傷の予防ならびに自発呼吸の温存を目的として Pressure support ventilation (PSV) および Pressure control ventilation (PCV) が注目されている^{1,2)}。両換

* 静岡赤十字病院麻酔科

*² 慶応義塾大学医学部麻酔学教室

(原稿受付日：1996年12月27日)

気法とも最高気道内圧を設定する換気様式であるが、患者の気道特性、吸気努力の変化により設定圧と換気量の関係が予測できないことがある。また人工呼吸器の機種により吸気・呼気の制御方式の相違、限界性能の差異があり^{3,4)}、同様の設定であっても換気量が異なることが考えられる。本研究では自発呼吸をシミュレートした呼吸器と TTL 方式のテストラングを接続した実験系を用い、PSV あるいは PCV で換気

(2) 医 器 学 Vol. 67, No. 5 (1997)

補助を行った場合の換気量について、吸気努力の相違・機種による相違から検討したので報告する。

【方 法】

対 象

測定に用いた人工呼吸器は Bear-1000 (Bear Medical), Bird 8400 STi (Bird), Evita EVT-1000 (Dräger), Adultstar (Infrasonic), New Port E-200 (NMI), Servo-300 (Siemens) の 6 機種とした。

測定系の設定

TTL 人工肺は 2 つの人工肺から構成され、一方に測定対象とは別の New Port E-200 を接続し (自発呼吸側), 自発呼吸をシミュレートした。また測定対象の呼吸器を人工肺の他方に接続した (測定側)。自発呼吸側, 測定側のコンプライアンスは各々 100 cmH₂O, 50 cmH₂O とした。自発呼吸側の肺は, 取り付け金具により自発呼吸をトリガーするよう測定側の肺を持ち上げるように働き, 接続し

図 1 実験方法の概略図

た測定対象の呼吸器をトリガーさせる。測定側の肺のホース部には、気道内圧測定用の側孔付きアダプターと換気量および吸気流量測定用のプローブを接続した。側孔付きアダプターから耐圧延長管を介し圧トランスデューサーに接続し、気道内圧曲線を記録した。換気量と吸気流量の測定には Pulmonary monitor (CP-100, BIOCORE monitoring system) を使用した (図 1)。

呼吸器の設定

自発呼吸をシミュレートする呼吸器は、Assist/Control モード、吸気時間 0.5 秒、換気

表 1 自発呼吸をシミュレートした呼吸器の設定

自発呼吸の Pattern	Flow (l・min ⁻¹)	PCV (cmH ₂ O)
Pattern 1	30	20
Pattern 2	60	20
Pattern 3	100	30

表 2 測定対象の呼吸器の設定

	吸気流量 (l・min ⁻¹)	立ち上がり
Bear-1000	200(注1)	Slope=0
Bird 8400 STi	120(注2)	設定無し
Evita EVT 1000	120(注2)	ASB の Phase 1 は最も急峻に設定
Adultstar	160	設定無し
New Port E-200	100	設定無し
Servo 300	200(注3)	5%(IPPV=10/m)(注4)

注 1) Peak Flow の設定

注 2) 設定項目は無いが、設定圧まで最大流量を送り込む。

注 3) 設定項目は無いが、立ち上がり時間を設定できる。

注 4) Servo 300 は立ち上り時間が換気回数によるため、IPPV サイクルの 5%と設定した。

回数 20 回に設定し、吸気流量と吸気圧を変化させることにより 3 種類の自発呼吸をシミュレートした (表 1)。測定対象の呼吸器については、PCV では Assist/Control モード、吸気時間 1.0 秒とした。PSV, PCV 共に PEEP=7 cm H₂O, Trigger=-1 cmH₂O とし、吸気流量、立ち上がりは各々の呼吸器のほぼ最大性能を設定した (表 2)。

測定項目

3 種類の吸気努力発生時に、6 機種の人工呼吸器について PSV 5, 10, 20 cmH₂O および PCV 10, 20 cmH₂O を設定した場合の一回換気量、最大吸気流量、気道内圧曲線とした。

【結 果】

一回換気量、最大吸気流量 (表 3, 4)

PSV 設定時には、全機種とも設定圧に依存して一回換気量、最大吸気流量が増加した。同一設定圧で自発呼吸の吸気流量を変化させた場合、設定圧が 5 cmH₂O, 10 cmH₂O 時では、自発呼吸の吸気流量に依存して一回換気量、最大吸気流量が増加したが、設定圧が 20 cmH₂O 時には同様の関係はみられなかった。また

表 3 測定対象の呼吸器の最大吸気流量の変化

自発呼吸	最大吸気流量 (l・min ⁻¹)				最大吸気流量 (l・min ⁻¹)			
	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3		Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	
Bear-1000	PSV 5	27.6	33.6	52.2	PCV 20	54.6	57	59.4
	PSV 10	30.6	36	53.4	PCV 30	55.2	63.6	64.8
	PSV 20	57	45	57				
Bird 8400STi	PSV 5	18.6	22.2	31.8	PCV 20	48	49.2	42.6
	PSV 10	22.8	26.4	35.4	PCV 30	57.6	58.2	59.4
	PSV 20	52.2	48	42.6				
Evita EVT-1000	PSV 5	22.8	26.4	33.6	PCV 20	55.2	56.4	58.2
	PSV 10	32.4	32.4	37.8	PCV 30	63.6	64.2	66
	PSV 20	58.8	58.2	52.2				
Adultstar	PSV 5	21	21.6	28.8	PCV 20	51	52.8	55.2
	PSV 10	28.8	29.4	33.6	PCV 30	60	60.6	62.4
	PSV 20	59.4	58.8	39.6				
New Port E-200	PSV 5	22.8	26.4	35.4	PCV 20	49.2	49.2	50.4
	PSV 10	31.2	31.2	38.4	PCV 30	58.8	59.4	61.8
	PSV 20	53.4	54.6	45.6				
Servo-300	PSV 5	22.8	25.2	30.6	PCV 20	59.4	59.4	61.8
	PSV 10	33	32.4	34.8	PCV 30	52.8	53.4	56.4
	PSV 20	59.4	測定できず	測定できず				

表 4 測定対象の呼吸器の一回換気量の変化

自発呼吸	一回換気量 (ml)				一回換気量 (ml)			
	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3		Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	
Bear-1000	PSV 5	236	260	386	PCV 20	570	597	669
	PSV 10	280	332	444	PCV 30	802	820	885
	PSV 20	594	447	555				
Bird 8400STi	PSV 5	204	236	368	PCV 20	456	483	515
	PSV 10	257	312	413	PCV 30	678	712	761
	PSV 20	590	430	516				
Evita EVT-1000	PSV 5	233	267	393	PCV 20	566	595	630
	PSV 10	279	330	435	PCV 30	792	806	870
	PSV 20	631	625	579				
Adultstar	PSV 5	213	259	378	PCV 20	555	581	621
	PSV 10	268	295	431	PCV 30	801	866	866
	PSV 20	572	589	527				
New Port E-200	PSV 5	239	300	427	PCV 20	431	500	837
	PSV 10	297	355	487	PCV 30	726	731	837
	PSV 20	576	493	596				
Servo-300	PSV 5	246	271	381	PCV 20	575	610	689
	PSV 10	293	342	442	PCV 30	774	737	797
	PSV 20	645	測定できず	測定できず				

Servo-300 は吸気 Pattern 2 および 3 の設定では Double-Cycling が著しく、一回換気量、最大吸気流量共に測定できなかった。PCV 設定時においても、全機種とも設定圧に依存して一回換気量、最大吸気流量が増加した。同一設定圧で自発呼吸の吸気流量を変化させた場合、Bird 8400 STi を除き自発呼吸の吸気流量に依存して、一回換気量、最大吸気流量が増加した。

気道内圧曲線の特徴 (図 2, 3)

PSV 20 cmH₂O 設定時に自発呼吸の吸気流量が小さいと、吸気時間が延長する傾向がみら

れた。特に Evita EVT-1000 と Adultstar は、吸気時間の延長が著明であった。しかしこのような傾向は PSV 5 cmH₂O, 10 cmH₂O 設定時にはみられなかった。PCV 設定時には、吸気時に設定圧を一定に維持できず気道内圧が安定しない機種がみられた。特に Bear-1000 と Bird 8400 STi については吸気開始から終了まで気道内圧が安定しないが、Evita EVT-1000 と New Port E-200 については吸気開始直後にのみ気道内圧が安定しなかった。Adultstar と Servo-300 については他の 4 機種に比べ気

(4) 医 器 学 Vol. 67, No. 5 (1997)

図 2 PSV 20 cmH₂O 時に吸気時間が著明に延長した 2 機種種の気道内圧波形

図 3 PCV 20 cmH₂O, 自発呼吸 Pattern 2 での気道内圧波形

道内圧が安定していた。

【考 察】

PSV, PCV は共に吸気時の気道内圧を設定する換気様式であるため、吸気流量、一回換気量は患者により、また人工呼吸器の性能により一定しない。今回の研究結果から PSV, PCV では設定圧の増加により、また自発呼吸の最大吸気流量の増加に依存して一回換気量と最大吸気流量が増加することが明らかとなった。しかし PSV 設定時においては、ある設定圧以上では自発呼吸の吸気努力が増加しても一回換気量と最大吸気流量が増加する傾向は認められなかった。

PSV による換気の特徴は、患者の吸気努力を認識して加圧を開始し、気道内圧を設定した圧に加圧し、吸気流量の減少を認識し加圧を終了する点にある。したがって吸気時間、吸気流量、一回換気量は患者の吸気努力、肺コンプラ

イアンス、気道抵抗が相互に影響するため一定しない。本研究ではこれらの要素のうち設定圧と吸気努力を変化させた。設定圧を増加させると一回換気量、最大吸気量は増加したが、設定圧が 20 cmH₂O 時には、吸気努力を増加させても一回換気量、最大吸気流量は増加しなかった。PSV では設定圧の増加に伴い呼吸に要する仕事を肩代わりしていくため、ある設定圧以上では患者の呼吸仕事量は呼吸器のトリガーが働くのに要する仕事量だけとなる⁵⁾。このため高い PSV は吸気時間を患者の吸気努力と無関係に決定し、調節的に働くこととらえることができる⁶⁾。

PSV での気道内圧曲線については、機種により著明な吸気時間の延長を認めた。この現象は弱い自発呼吸に対して設定圧が高い場合、PSV が調節呼吸的に働くことにより生じるが、気道抵抗が高い場合や肺コンプライアンスが高い場合にも同様の現象が生じるといわれている⁶⁾。PSV の吸気終了の認識条件は多くの機種で、吸気流量が最大吸気流量の 25% に低下した時点を採用しているが、その他の条件を組み合わせる機種もみられる⁴⁾。また吸気流量の制御方式には流量設定が可能な機種と流量設定がガスの供給機構に依存する機種に分けられるが、最大吸気流量は吸気終了条件の因子となるため、流量の制御は吸気開始時だけでなく吸気終了条件にも影響すると考えられる。

PCV においても、Assist/Control モード時には、PSV と同様に気道内陽圧と自発呼吸努力による胸腔内陰圧の相互作用によって換気がなされる。しかし PCV では吸気終了の条件が Time Cycle であり、この点が患者の吸気流量変化に応じて吸気が終了する PSV とは異なる。ARDS の様な肺コンプライアンスが低下した症例では PSV で換気中に吸気の早期終了が問題となるが、PCV では吸気時間を調節することによりこれを防止することができる⁷⁾。

気道内圧曲線については Bear-1000 と Bird 8400 STi では、吸気中に気道内圧の著明な振動が認められたが、この振動は設定圧が高いほど、また自発呼吸の吸気流量が大きいほど著明

であった。この振動は呼吸器側の要因としては、吸気時のフィードバック制御の性能、供給流量の限界性能などが関与する。振動の生じる原因には呼吸器の性能以外に、呼吸回路の材質、挿管チューブの抵抗が挙げられる。振動の抑制という観点からは回路の材質は固く、挿管チューブの抵抗は少ない方が少ない振動で換気が行えるが、臨床使用する場合、固い材質の回路は配置が不便なうえ挿管チューブの屈曲を生じる様な力がかかる危険性が生じるため十分な注意が必要である。

自発呼吸を温存した呼吸管理では呼吸筋の萎縮の予防、肺の圧損傷の予防、循環器系への負荷の軽減、不均等換気のは正^{7,8,9)}を目的とした呼吸管理が可能である。しかし調節呼吸による呼吸管理に比べ Fighting を生じ易く、特に慢性呼吸不全症例では絶えず呼吸努力が変化するため、適切な鎮静を得るのは困難である。また PSV, PCV は圧制御型の換気様式であるため換気量が保証されない。しかし PSV, PCV の利点を生かしつつ換気量の維持を目的として改良を加えた換気モードを備えた呼吸器も発表されている^{4,10)}。

【結 論】

PSV, PCV による換気補助時には呼吸器の設定圧が同一であっても機種による吸気、呼気の制御方式・限界性能の相違により一回換気量、最大吸気流量が異なることが明らかとなった。また吸気努力の増加に依存して一回換気量、最大吸気流量が増加した。これは自発呼吸を温存した呼吸管理時には、呼吸器による気道内陽圧と自発呼吸努力による胸腔内陰圧の相互作用によって換気がなされることによる。しかし

PSV においては高い設定圧での吸気努力の増加に依存した一回換気量、最大吸気流量の増加は認められなかった。

引 用 文 献

- 1) 福岡敏雄, 桑山直人, 武澤 純: ARDS 患者における Pressure control ventilation の評価, ICU と CCU, 1993, 17(11): 1055-1061.
- 2) 時岡宏明, 平川方久: ARDS に対する pressure support ventilation の適応と限界, ICU と CCU, 1993, 17(11): 1063-1072.
- 3) D. Cox, S. F. Tinloi, J. G. Farrimond: Investigation of the spontaneous modes of breathing of different ventilators, Intensive Care Med, 1988, 14: 532-537.
- 4) 丸川征四郎, 福山 学: 人工呼吸モードの概念と基本設計, 人工呼吸器ハンドブック, 医学図書出版, 1996, 7-25.
- 5) 時岡宏明, 平川方久: PSV—臨床的な問題点と使い方, 呼吸と循環, 1992, 40(9): 865-870.
- 6) 山田芳嗣: PSV の理論, 呼吸と循環, 1992, 40(9): 845-851.
- 7) 五十洲 剛, 荻野英樹, 川前金幸ほか: Pressure support ventilation におけるサポート圧と一回換気量, 呼吸数の関係, ICU と CCU, 1990, 14(9): 825-829.
- 8) 武澤 純: PSV のモデル肺による解析「患者—人工呼吸器の相互作用」, 呼吸と循環, 1992, 40(9): 853-857.
- 9) 川前金幸, 島田二郎, 菊地恵子ほか: Pressure Controlled Ventilation の呼吸パターンに及ぼす影響について, ICU と CCU, 1992, 16(4): 349-355.
- 10) 山村剛康, 菊地信明, 横田 祥, ほか: サーボ 300 ベンチレータと新しい換気モード: PRVC と VSV, ICU と CCU, 1991, 16(2): 177-182.