

□ 原 著 □

BiPAP vision[®] の性能に対する検討

桑 迫 勇 登* 安 本 和 正** 遠 井 健 司**
岡 安 理 司** 細 山 田 明 義**

ABSTRACT

Evaluation of the Features of BiPAP vision[®]

Yuhto KUWASAKO*, Kazumasa YASUMOTO**, Takashi TOHI**,
Tadashi OKAYASU**, Akiyoshi HOSOYAMADA**

**Department of Anesthesia, Tokyo Rohsai Hospital*

***Department of Anesthesiology, Showa University School of Medicine*

We evaluated the the features of BiPAP vision[®] which is used for noninvasive pressure support ventilation (NIPSV).

BiPAP vision[®] graphically exhibits real time changes in flow, airway pressure (Paw) and tidal volume on a liquid crystal display. The safety of BiPAP vision[®] is greater than that of BiPAP S/T-D[®] and S/T-D 30[®]. During ventilation of a lung model using BiPAP vision[®], although the errors in the precision of measuring fraction of inspiratory oxygen (FI_{O₂}) were slightly large at higher concentrations, the measurements almost approximated the established values on a regression line ($Y=0.93 X+1.82$, X : established values, Y : measured values) ($R^2=0.9986$).

In a lung model (compliance (C)=16 ml/cmH₂O, resistance (R)=4.0 cmH₂O/l/sec), the IPAP (inspiratory positive airway pressure) level was established at 40 cmH₂O, the upper limit of BiPAP vision[®]. When this lung model was ventilated using BiPAP vision[®], the IPAP level almost precisely reached the established level.

In a normal lung model (C=50 ml/cmH₂O, R=4.0 cmH₂O/l/sec), when the level of IPAP/EPAP (expiratory positive airway pressure) was established at 15/2 cmH₂O and the rise time was varied between 0.4 and 0.05 sec, overshoot of Paw was observed at the rise of inspiration as the rise time decreased. When the IPAP level remained constant and the EPAP level was varied, overshoot of Paw disappeared as the EPAP level increased. In constant, when the EPAP level remained constant and the IPAP level was varied, overshoot of Paw became prominent as the IPAP level increased. However, when changes in oral pressures were measured in healthy adults, overshoot of oral pressure was not observed.

FI_{O₂} can be precisely regulated by BiPAP vision[®]. Moreover, BiPAP vision[®] was considered safe and useful in clinical settings.

* 東京労災病院麻酔科

** 昭和大学医学部麻酔学教室

1. はじめに

非侵襲的陽圧換気法である noninvasive positive pressure ventilation (NIPPV) あるいは noninvasive pressure support ventilation (NIPSV) は、気管挿管を行わなくても補助呼吸を施行できる人工呼吸法であり、近年睡眠時無呼吸症候群、慢性閉塞性肺疾患 (COPD) の在宅人工呼吸療法、さらに気管挿管を躊躇する COPD の急性増悪症例などに応用され、その有用性が報告されている¹⁾²⁾。

Respironics 社製 BiPAP[®] (bi-level positive airway pressure) は、NIPPV または NIPSV を行える人工呼吸器であり、BiPAP S/T-D[®] および S/T-D 30[®] のモデルが市販されていた。S/T-D 30[®] は、吸気相ならびに呼気相のトリガー方式が S/T-D[®] より改良されたとともに、設定圧が 20 から 30 cmH₂O へと引き上げられたことにより、頻呼吸を呈する患者やコンプライアンスが低い肺疾患に対しても良好な補助呼吸を行えるようになった。しかし、S/T-D 30[®] においても、① 吸入酸素濃度 (FI_{O₂}) を規定できない、② rise time (EPAP ; expiratory positive airway pressure から IPAP ; inspiratory positive airway pressure へ移行する時のフローの立ち上がりスピード³⁾) が固定されている、③ 表示窓が小さく各パラメータの観察を行にくい、などの複数の問題点が指摘されていた。今回、これらの点について下記のように改良された BiPAP vision[®] が開発されたので、その性能について検討した。

2. BiPAP vision[®] の主な改良点

- 1) liquid crystal display (LCD) 上に流量、気道内圧、換気量などの波形ならびに数値がリアルタイムに表示される。
- 2) FI_{O₂} を 0.21 ないし 1.0 間で調節できる。
- 3) IPAP の最高設定圧が 30 から 40 cmH₂O へと引き上げられた。
- 4) rise time を 0.05 ないし 0.4 秒に可変できる (S/T-D[®] ならびに S/T-D 30[®] では 0.05 秒に固定されている) (図 1)。

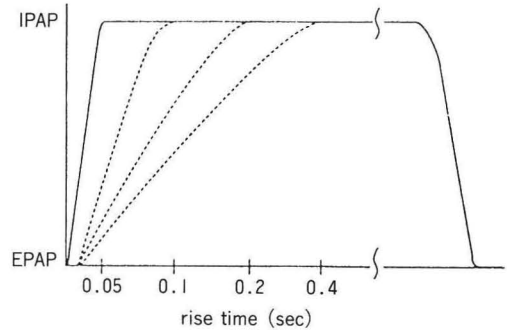


図 1 BiPAP vision[®] における IPAP, EPAP ならびに rise time の設定方法 (文献 3 より)

3. 研究方法

1) FI_{O₂} の精度の検討

BiPAP vision[®] にテスト肺を接続し、手動的に自発呼吸を発生させ、S/T モードにおいて補助呼吸を行い、FI_{O₂} (設定値) を 0.25 から 1.0 の間で変化させた。その際のテスト肺を換気する FI_{O₂} (実測値) をブリュエル & ケア社製ガスモニターを用いて測定し、設定酸素濃度と測定値とを比較検討した。

2) 最高駆動圧の精度

モデル肺のコンプライアンスを 16ml/cmH₂O、抵抗を 4.0 cmH₂O/l/sec にして、IPAP レベルを BiPAP vision[®] の上限である 40 cmH₂O に設定した時の気道内圧を測定した。

3) rise time, IPAP ならびに EPAP の多寡による流量、気道内圧の変化

正常肺モデル (コンプライアンス=50 ml/cmH₂O, 気道抵抗=4.0 cmH₂O/l/sec), 低コンプライアンス肺 (コンプライアンス=25 ml/cmH₂O, 気道抵抗=4.0 cmH₂O/l/sec), 高気道抵抗肺 (コンプライアンス=50 ml/cmH₂O, 気道抵抗=30 cmH₂O/l/sec) において、BiPAP vision[®] の rise time, IPAP, さらに EPAP などを下記のように変化させ、流量と気道内圧などを測定した。

(1) おのおののモデル肺において IPAP/EPAP を 15/5 cmH₂O として、rise time を 0.4 ならびに 0.05 秒と変化させた。

(2) 正常肺モデルにおいて IPAP/EPAP を

15/2 cmH₂Oとして、rise timeを0.4, 0.2, さらに0.05秒と変化させた。

(3) 正常肺モデルにおいてrise timeを0.05秒とし、IPAPを15 cmH₂Oに固定し、EPAPを2, 3, 4 cmH₂Oと変化させた。

(4) 正常肺モデルにおいてrise timeを0.05秒とし、EPAPを2 cmH₂Oに固定し、IPAPを15, 20, 30 cmH₂Oと変化させた。

4) 健常成人における流量ならびに気道圧の変化
健常成人においてフェイスマスクを用いて、BiPAP vision®のIPAP/EPAPを15/2 cmH₂Oとし、rise timeを0.05秒に設定した際の圧変化を回路内（回路とマスクの接続部）ならびに口腔内の両者において測定した。

流量および気道内圧は日本光電社製 OMR-8101を用いて測定し、それらを日本光電社製サーマルアレイレコーダ RTA-1200により記録した。

4. 結果

1) F_IO₂の精度の検討では、酸素濃度を高く

設定するにしたがって両者間の誤差はやや大きくなるものの、回帰直線（X：設定値，Y：測定値）は、 $Y=0.93 X+1.82$ $R^2=0.9986$ ($P<0.0001$)と、ほぼ設定値と近似した測定結果が得られた（図2）。

2) IPAPをBiPAP vision®の上限である40

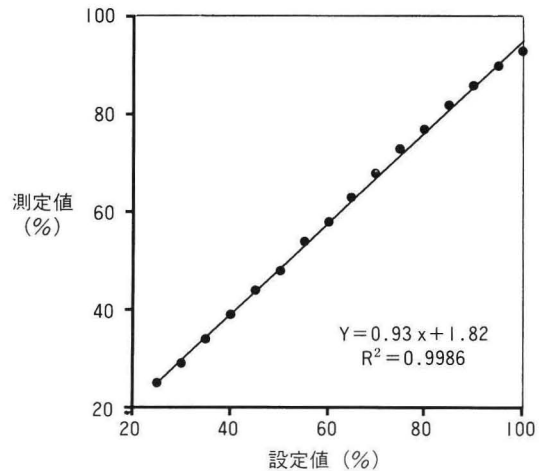


図2 吸入酸素濃度の設定値の精度

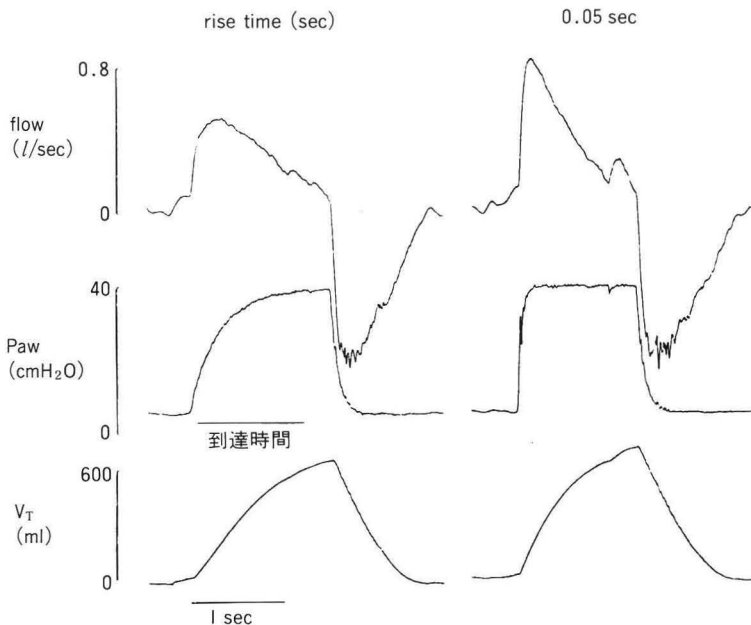


図3 IPAP/EPAP=40/5 cmH₂Oに設定した際の流量，気道内圧，換気量の波形
(モデル肺：コンプライアンス (C)=16 ml/cmH₂O, 抵抗 (R)=4.0 cmH₂O/l/sec)

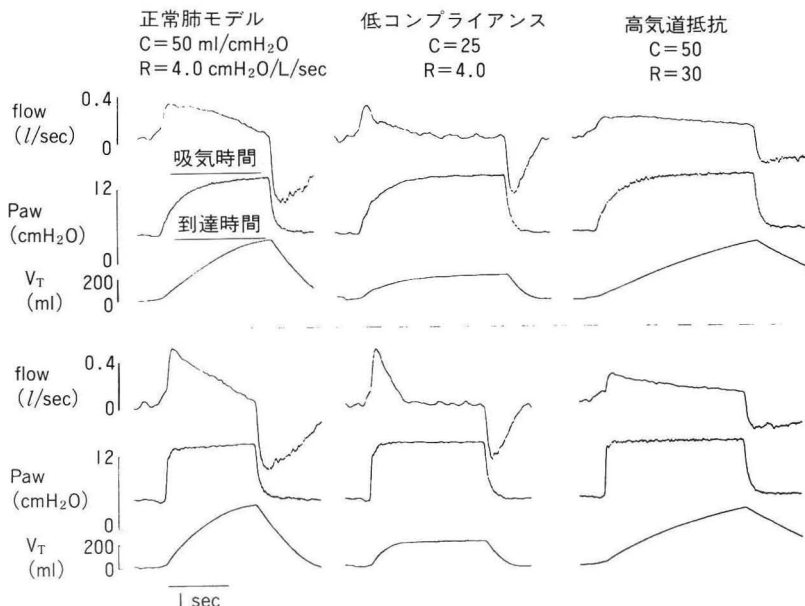


図4 各種モデル肺における流量，気道内圧，換気量の波形
(IPAP/EPAP=15/5 cmH₂O 上段：rise time=0.4 sec，下段：0.05 sec)

表1 各種モデル肺において，IPAP/EPAP=15/5 cmH₂O に設定し，rise time を0.4ならびに0.05秒にした際の吸気開始からIPAPの設定値に到達するまでの時間（到達時間）と吸気時間

rise time	正常肺 C=50, R=4.0		低コンプライアンス肺 C=25, R=4.0		高気道抵抗肺 C=50, R=30	
	到達時間	吸気時間	到達時間	吸気時間	到達時間	吸気時間
0.4	1.25	1.73	0.77	2.31	0.69	2.5
0.05	0.15	1.46	0.15	1.81	0.15	2.19

(sec)

cmH₂O に設定すると，rise time の多寡にかかわらず気道内圧は39.7 cmH₂O と，ほぼ正確に設定値に到達した。また，吸気開始からIPAPの設定値に到達するまでには（到達時間），rise time=0.4秒では1.2秒を，一方rise time=0.05秒では0.25秒を要した（図3）。

3)

(1) IPAP/EPAPを15/5 cmH₂Oとしてrise timeを0.05秒ならびに0.4秒と変化させると，全モデル肺において到達ならびに吸気時間は，rise timeを0.05秒に設定した方が0.4秒設定時

より短かった（図4，表1）。

(2) 正常肺モデルにおいて，IPAP/EPAPを15/2 cmH₂Oとしてrise timeを0.4, 0.2, さらに0.05秒と変化させると，0.2秒以下で吸気の立ち上がり時に気道内圧がオーバーシュートする現象が発生した。オーバーシュートの程度は，rise timeを小さくするにしたがって大きくなった（図5）。

(3) IPAPを15 cmH₂Oに固定してEPAPの設定値を変化させると，EPAPを上げるにしたがって圧のオーバーシュート現象は消失した（図

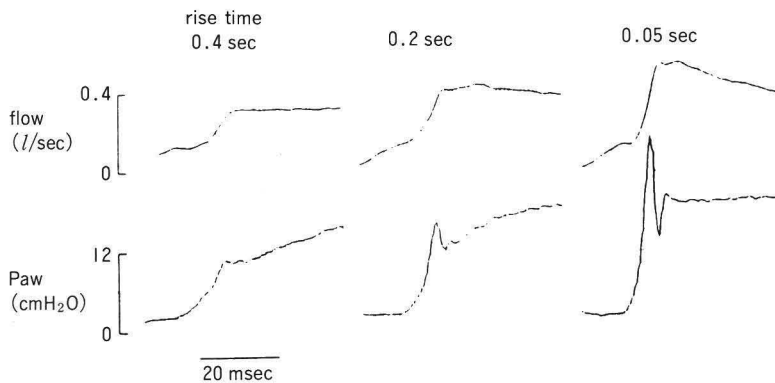


図 5 IPAP/EPAP=15/2 cmH₂O に設定し, rise time を変化させた際の流量, 気道内圧の波形 (正常肺モデル: C=50, R=0.4)

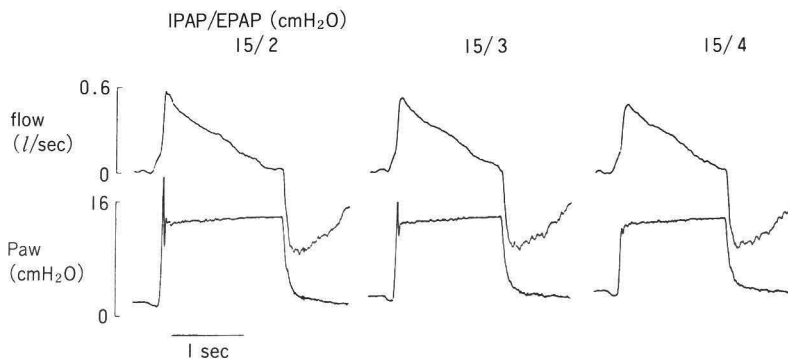


図 6 EPAP レベルを変化させた際の, 流量, 気道内圧の波形 (正常肺モデル: C=50, R=0.4, rise time=0.05 sec)

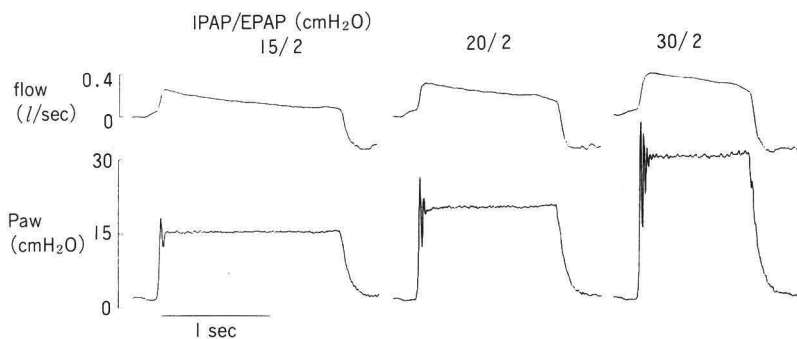


図 7 IPAP レベルを変化させた際の, 流量, 気道内圧の波形 (正常肺モデル: C=50, R=0.4, rise time=0.05 sec)

6)。

(4) EPAP を 2 cmH₂O に固定して IPAP の設定値を変化させると, IPAP を上げるにしたがっ

て圧のオーバーシュート現象は増大した (図 7)。

4) 健常成人の換気時において回路内圧の変化を測定すると, 吸気開始時にオーバーシュート現

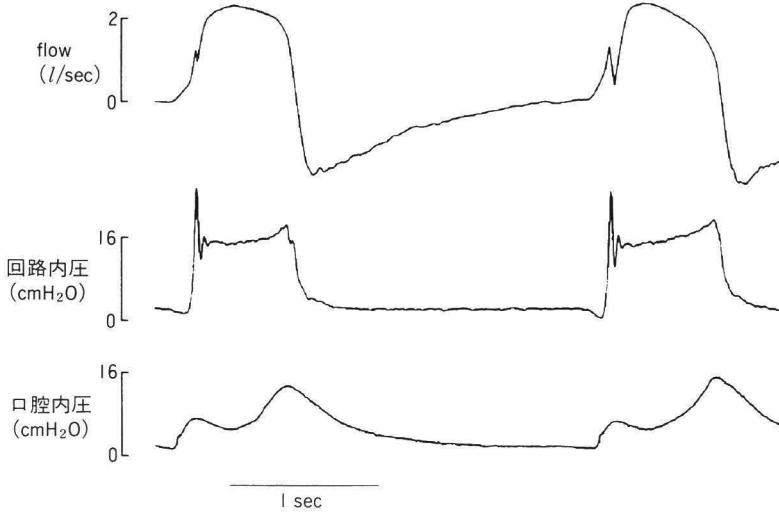


図8 健康成人において、IPAP/EPAP=15/2 cmH₂O に設定した際の回路内圧および口腔内における流量と圧の波形 (rise time=0.05 sec)

象が観察された後に約 15 cmH₂O と設定圧のレベルを推移した。しかし吸気終末時には約 18 ないし 19 cmH₂O と設定圧より高いレベルになった。一方、口腔内では吸気開始時のオーバーシュート現象は認められなかった。口腔内圧の推移は吸気開始直後に約 5.5 cmH₂O まで上昇した後に 3.5 cmH₂O に低下し、以後なだらかに口腔内圧が上昇し、吸気終末時に 14 ないし 15 cmH₂O に到達した。(図 8)。

5. 考 察

NIPSV は、重篤な呼吸不全や咳嗽反射が低下して誤嚥の可能性のある患者には不適応であるものの、気管挿管を伴う人工呼吸療法に比べて、気管挿管に起因する合併症を避けられる。その上、食事や会話が可能であるなどの利点もあり⁴⁾、今後使用頻度が増加する可能性のある人工呼吸療法である。それに伴い、各社で NIPSV 用のベンチレータが開発されている。今回は、それらの中で BiPAP の最も新しい機種のパフォーマンスについて検討した。なお、吸気ならびに呼気のトリガー方式には S/T-D 30[®] からの改良はないので、この点については検討を行わなかった。

流量、気道内圧、換気量の波形やアラームの状

態などが映し出される LCD が装備されたことは、患者の換気状態をリアルタイムにグラフィックで観察することができ、旧型の S/T-D[®] ならびに S/T-D 30[®] と比較して安全性が向上した。その反面、機械本体の容量が大きく、重量も増したために機動性は損なわれたと思われる。

酸素投与方法については、S/T-D[®] ならびに S/T-D 30[®] では、低フロー酸素ソースをマスク部分に装着し、酸素を流し込む (最大 15 ml/min まで) 方法を用いていた。したがって、マスク部分のリークや V_T が増加すると、それに伴いベースフローであるプロワーからの空気量のみが増えるために、吸入酸素濃度が低下する現象が指摘されていた⁵⁾⁶⁾。一方 BiPAP vision[®] では、この酸素投与方法に加えて、オプションではあるが酸素モジュール (高圧酸素を必要とする) を用いる方式が追加された。酸素モジュールには、リークや V_T の増加に伴い空気量だけでなく供給酸素量も増加させる機能が備わっており、リークや V_T の多寡にかかわらず一定の FI_{O₂} を維持することができる。

今回の検討では酸素モジュールを搭載した機種を使用し、FI_{O₂} に関しては良好な測定結果が得られた。しかし、高圧酸素ポンペを常備しにくい

在宅における人工呼吸療法では、低フロー酸素ソースを装着して使用せざるを得ないため、 FI_{O_2} を正確に規定することはできない。

低肺コンプライアンス患者を対象とした場合、S/T-D 30[®]において最高駆動圧を30 cmH₂Oに設定しても十分な換気量が得られない⁵⁾との指摘があり、BiPAP vision[®]では最高駆動圧が40 cmH₂Oに引き上げられた。今回の最高駆動圧の精度に関する検討では、ほぼ正確に圧が駆出されることが確認された。したがって低肺コンプライアンス患者に対する適応はS/T-D 30[®]よりも広がったと思われる。しかし、十分な換気量を得られるか否かについては termination criteria も影響するため、これに対する検討も今後必要であろう。

BiPAP vision[®]におけるオーバーシュート現象は、rise timeを短く設定した場合やIPAP/EPAPの圧較差を大きく設定すると発生しやすい。すなわち、圧較差を大きく設定し速いフローでIPAPの設定レベルに到達させようとする、オーバーシュートしやすいことが判明した。しかし、吸気開始時のオーバーシュートは、他の人工呼吸器のPSVモードにおいても吸気の応答性をよくすると発生しやすいことが指摘されており⁷⁾ BiPAP vision[®]特有の現象ではない。また、オーバーシュートした圧が気管支や肺実質まで伝搬されるとは考えにくく、また今回の健常成人における口腔内圧の測定においてもオーバーシュート現象は観察されなかったことより、臨床的には特に問題とならないと考えられる。

健常成人の口腔内圧の測定において、設定されたIPAPに達せず吸気終末時に到達したことは、フェイスマスク部分のリークがないようにして換気を行っており、リークによるものとは考えにくい。健常成人に対する実験であるため、無意識に

能動的に吸気を行った可能性があり、これによって口腔内圧がなかなか設定値まで到達しなかったと推測される。したがって、実際にNIPSVの適応患者に使用した場合の口腔内圧の推移とは異なる可能性がある。

6. 結 論

BiPAP vision[®]では、 FI_{O_2} や駆動圧の設定範囲が広がり、またrise timeを調節できる。したがって様々な呼吸不全の病態に適応できると思われる。BiPAP vision[®]はすべての気管挿管による人工呼吸療法の代わりとなることはできないものの、BiPAPの適応範囲が広がることが示唆された。

引用文献

- 1) Brochard L, Mancebo J, Wysocki M, et al : Noninvasive ventilation for acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *N Engl J Med* 333 : 817-822, 1995
- 2) Kramer N, Meyer TJ, Meharg J, et al : Randomized, prospective trial of noninvasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med* 151 : 1799-1806, 1995
- 3) フジ・アールシー(株) : BiPAP vision[®]取扱説明書. p 34
- 4) 大井元晴 : 呼吸不全の治療・管理における非侵襲的人工呼吸. *臨床医* 23(2) : 73-76, 1997
- 5) 財津昭憲 : 急性呼吸不全へBiPAP療法応用の実際とコツ. *人工呼吸* 14(1) : 32-38, 1997
- 6) 三澤和秀, 山田芳嗣 : 鼻腔CPAP (BiPAP) の適応と効果. *Medical Practice* 14(2) : 311-314, 1997
- 7) 魚岸博明, 岡部暁夫, 安達哲夫 : PSVにおける気道内圧制御法の検討. *人工呼吸* 13(2) : 232, 1997