

S-I-3 各種人工呼吸装置の Pressure support ventilation (PSV) モードでの 自発呼吸への追従性の比較

九州大学 九州大学病院 救急・集中治療部
財津昭憲、岩下邦夫、白石公德

【目的】理論的には pressure support ventilation (PSV) は追従性さえ良ければ換気血流比は調節人工呼吸より自然呼吸に近く、過剰な気道内圧の負荷も抑えられ、PaCO₂ レベルは患者自身の呼吸中枢に任せられるので、患者に優しい換気モードである。しかし、追従性が悪ければ逆効果となる。COPD の急性増悪症例の一部で PSV が上手く追従しない症例に遭遇することがある。その PSV の追従性の悪さは人工呼吸装置に起因するのか、もしくはその他の要因によるものかを検証する。

【方法】PSV の追従性を検証するには、気道抵抗とコンプライアンスだけの受動的なテスト肺では測定不能で、一定の自発呼吸を創り出せる能動的なテスト肺¹⁻⁶⁾が必要である。今回、我々は能動的テスト肺として Active Servo Lung (ASL5000) を用い、患者の気道抵抗の違いによる各種人工呼吸装置における PSV の反応性にどのような違いが生じるかを調べた。気管挿管患者の動肺コンプライアンスは 20ml/cmH₂O 前後が多いので、ASL5000 の肺コンプライアンスを 20ml/cmH₂O に設定した。また、

筆者の自発呼吸口元圧曲線に似せて、吸気相 0.8 秒、息止め相 0.8 秒、呼気相 3.4 秒の 1 呼吸サイクル 5 秒とした吸気圧 - 10cmH₂O の自発呼吸曲線を創った。PSV は最高気道内圧 15cmH₂O、呼気終末圧 5cmH₂O とし、吸気トリガー感度はオートサイクリングしない最鋭敏感度としたら、Flow trigger = 1 L/min となった。吸気終末の設定は Peak flow の 25% に固定されている機種があるので、すべて flow termination = 25% とした。また、Vision の吸気・呼気トリガーはオートトラックの自動調節式なのでマニュアル調節出来なかった。この条件下で、テスト肺の気道抵抗 (10, 15, 20, 30 cmH₂O/L/min) の変化に対する各種装置 (iVent, Vision, Servo-i, Evita-4, Bennet-840) の自発呼吸への追従性を比較した。

【結果】同じ PSV といえども各種人工呼吸装置で、Flow, Pressure, Tidal volume 曲線 (図 1) は微妙な違いを示した。

吸気開始の認識 (図 2) は、Bennet-840 が 0.08 秒で最も速く、次いで、Servo-i, Vision, Evita-4 の順で、iVent は飛び抜けて吸気感度は悪かった。Flow trigger なので、気道抵抗が高くなるほど吸気認識は遅くなった。

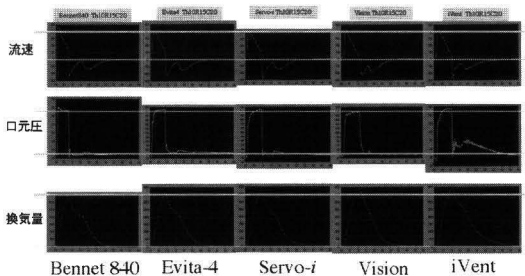


図 1. 人工呼吸装置の違いによる Flow, Pressure, Tidal volume の微妙な違い

テスト肺の設定条件は気道抵抗 = 15 cmH₂O/L/min, 肺コンプライアンス = 20 ml/cmH₂O で、人工呼吸装置の設定は PSV = 10 cmH₂O, PEEP = 5 cmH₂O, Flow termination = 25% である。

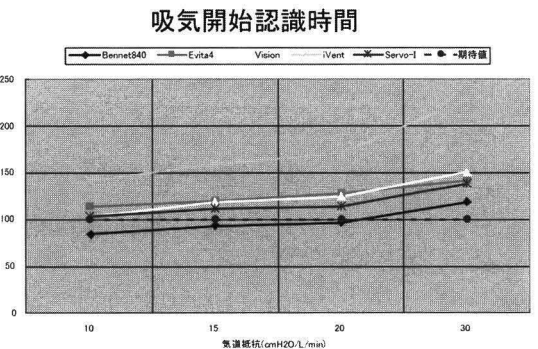


図 2. 吸気開始認識時間 (Time lag)

吸気終了は0.8秒で呼気開始を1.6秒に設定したが、感度の良いものほどPSVの吸気支援終了(図3)は0.8秒前後で早く終わり、1.6秒に真の呼気相となるので二段呼気(図1)になった。吸気支援時間(図4)はBennet-840<Servo-i, Evita-4<Vision, iVentの順に長く、また、気道抵抗の増加に伴って呼気開始設定値に近くなった。

最高口元圧(図5)はBennet-840を除いて気道抵抗が上昇してもほぼ15cmH₂Oで一定だった。しかし、最低口元圧(図6)は吸気トリガーの微妙な遅れで気道抵抗の増加に伴い低下した。Evita-4は吸気トリガーの感度がそれほど良いわけではないが、他の機種に比べて最初から若干高く、気道抵抗の増加による気道内圧の低下幅は最も少なかった。そのため、設定駆動圧(図1、7)に最も忠実だったのがEvita-4で、次いで、Vision, iVent, Servo-iの順で、最

もかけ離れていたのは吸気トリガー感度の最も鋭敏なBennet-840であった。口元圧波形は各機種で異なっており、それぞれの圧制御の特徴(図1)が最も良く表れている。

一回換気量(図8)は気道抵抗の増加に伴い減少し、気道抵抗が高い時は吸気支援時間が長いほど、一回換気量は理論値に近づいた。一回換気量の理論値400mlに最も近かったのは、吸気開始と吸気終了の認識が最も悪く、吸気支援時間が最も長くなったiVentであった。次いで、Vision, Servo-iが短くなり、さらにEvita-4の順で、最も短かったのはBennet-840であった。Bennet-840は駆動圧が最も高いにも拘わらず、吸気支援時間が最も短いため、一回換気量は最小であった。

【考察】PSV装置の吸気トリガー遅れの幅は0.8~0.23 secで狭いが、一方、吸気支援終了の

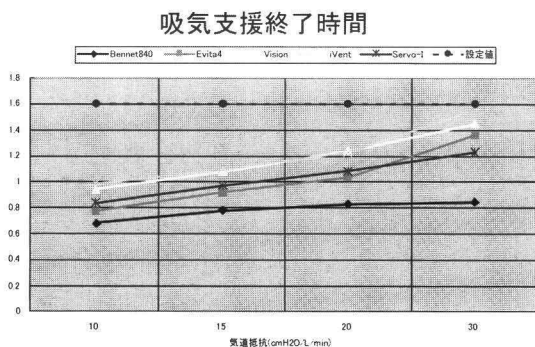


図3. 吸気支援終了時間

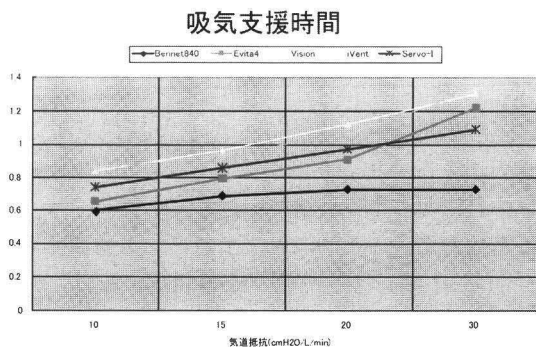


図4. 吸気支援時間 (= 吸気支援終了時間 - 吸気開始時間)

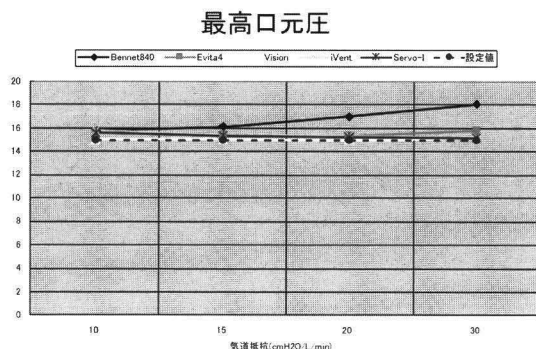


図5. 最高口元圧 (PIP = PSV + PEEP)

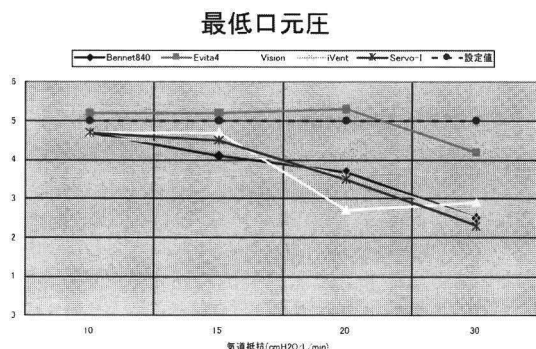


図6. 最低口元圧

駆動圧(ΔP=PIP-PEEP)

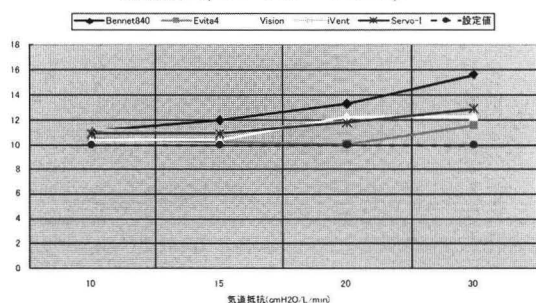


図7. 駆動圧 (ΔP = PIP - PEEP)

一回換気量

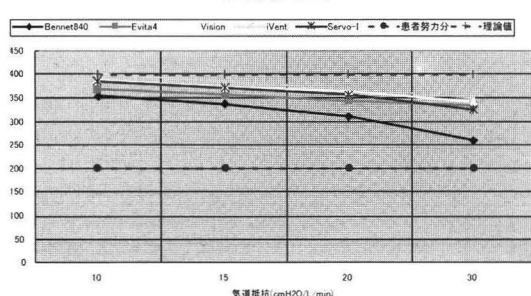


図8. 吸気一回換気量

幅は0.65~1.58 secと非常に広い。ゆえに吸気支援時間は吸気トリガーよりも呼気トリガーの影響が大である。気道抵抗が高くなるほど肺胞へはガスは入り難くなるので、呼気が開始する直前まで息止め相も吸気支援する吸気支援時間が長いものが最も理論値に近づくのは当然である。自発呼吸への追随性の善し悪しは吸気トリガーの優劣では無く、呼気トリガーの優劣にある。機種が違くと圧制御のアルゴリズム違いがあるので、同じFlow terminationでも呼気開始が大いに異なる。この実験で二段呼気を示すのは吸気終了が早すぎて、吸気支援が不十分なことが解った。呼気相に吸気支援をするのは拙いので、PSVにおけるFlow terminationの調節は二段呼気を起こすか起こさないかのぎりぎりまでが許容範囲である。吸気支援が呼気相にまで進入すれば、呼気開始(吸気終末)相に気道内圧の棘状の上昇が見られる筈である。

【結論】 気道抵抗が高い状態ではPSVの一回換気量は吸気支援時間に比例するので、吸気開始より終了認識の正確性が重要となる。PSVにおける二段呼気は吸気終了が早すぎるサインである。

参考文献

1. 星 邦彦、志賀 和佳、伊藤 淳、黒澤伸、加藤 正人：PEEP付加による吸気早期のコンプライアンスの変化 日本臨床麻酔学会第23回大会 2003
2. 桑迫 勇登、遠井 健司、井上 希代子、

安本 和正：気道抵抗ならびにコンプライアンスの多寡がServo-iによるlower/upper inflection pointの測定に及ぼす影響 日本臨床麻酔学会第23回大会 2003

3. 前田 岳：従量式ならびに従圧式換気が不均等換気に及ぼす影響 —ASL5000を用いた2コンパートメントモデル肺による検討 日本麻酔科学会第50回学術集会 2003
4. 飛田 育代：各種気管チューブサイズにおけるAutomatic Tube Compensationの有用性 —ASL5000モデル肺による検討— 日本麻酔科学会第50回学術集会 2003
5. 遠井健司、桑迫勇登、前田岳、飯森としみ、毛利祐三、安本和正：ASL5000を用いた2コンパートメントモデル肺における従量式ならびに従圧式換気が気道抵抗の差による不均等換気におよぼす影響 日本麻酔学会第51回学術総会 2004
6. 桑迫勇登、遠井健司、長谷川優子、甲田ルキ、鈴木保良、安本和正：2コンパートメントモデル肺におけるlower inflection point (LIP)の違いが圧曲線に及ぼす影響 日本麻酔学会第51回学術総会 2004