

□ 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 □

Adaptive support ventilation

井 上 博 満*

ABSTRACT

Adaptive Support Ventilation

Hiromitsu INOUE*

Department of Clinical Engineering, Nissan Tamagawa Hospital, Tokyo, 158-0095

Adaptive support ventilation (ASV) is a ventilation mode developed aiming at adaptation to patient's course of improvement from complete mechanical ventilation to spontaneous ventilation. Compared to other ventilation modes, the ASV offers ventilation in a more physiological method and provides faster weaning. In the clinical use, weaning is progressed based on the flow chart recommended by the manufacturer. However, as the current protocol of ASV is mostly for the use in Europe and U.S.A., early research and development of the original protocol in Japan is desired for extensive clinical use of ASV in Japan.

1. はじめに

1997 年, Hewlett らは強制分時換気 (MMV) を導入した。基本概念は予め設定された分時換気量 (\dot{V}_E) を供給するシステムから、まず患者が自分で呼吸できる分を供給し、残りの量を呼吸器の力で送気するというものである¹⁾。以後、MMV はさまざまな名前を変えて多くの呼吸器に組み込まれてきた。しかし、どれもアルゴリズムに限界があり、頻呼吸や過度の死腔換気量、複雑な操作に起因する不注意によるユーザーの設定ミスなどのリスクをもたらすことが明らかになってきた²⁾。Adaptive support ventilation (ASV) は、完全な機械換気から自発呼吸に改善するにつれて、患者に適応することを目的として開発された換気モードである。ASV は、他の換気モードと比較して、より生理学的な方法で患者に換気を

行い、より迅速なウィーニングができるようなものとなっている。現在 ASV を搭載した機器は HAMILTON 社製 GALILEO[®] と RAPHAEL[®] (図 1) の 2 機種である。

2. ASV の特徴

ASV は、Pressure support ventilation (PSV) を用いた、圧力制御式同期式間欠的強制換気 (P-SIMV) である。従来の P-SIMV とは違い、ASV では患者の自発呼吸とは別に、使用者側の設定した最小分時換気量を維持することを目指しながら、3 回のテスト送気が最初に行われ、呼吸によって得られた患者の呼吸努力を基に目標 1 回換気量と呼吸回数 (f) が調節される。目標呼吸パターンは最良呼吸パターン = 最小呼吸仕事量であるという³⁾ 仮定に基づいて計算される Otis 方式が使用されている。これは、自発呼吸がない時にベンチレータが供給する吸気圧 (P_{insp}) は必要最小限の圧で送気し、P_{insp} と f が目標に合うよう

* 日産厚生会玉川病院臨床工学科



図 1 RAPHAEL®
写真提供：HAMILTON
MEDICAL

に調節する。ASV は患者の状態が一番好ましいと思われる呼吸パターンで患者をガイドし、頻呼吸などを回避するように送気を行う。無呼吸やトリガーが弱い呼吸であれば、機械換気を送気し、自発呼吸が正常に近い状態であれば、患者自身に換気をコントロールさせる。これを吸気圧上限 (Pmax) で設定した圧の -10cmH₂O で作動する。

3. 設 定

通常人工呼吸器の設定では、1 回換気量 (V_T), f, FI_{O₂}, PEEP, トリガーなどを設定するが、ASV では V_T, f に変わり、Pmax, 理想体重 (IBW), 分時換気量率 (%MinVol) と 3 つのパラメータ設定を行う。Pmax は、目標 1 回換気量の到達するために必要となる Pin_{sp} を適切に調節するために、最低でも PEEP/CPAP+25cmH₂O でなければならない。IBW は表 1 を基に設定する。また、%MinVol は安全な初期値である 100% から開始する。例えば、ASV では通常換気は設定体重 1kg につき 100ml/min である。したがって、患者の体重が 60kg の時は 6l/min と計算される。%MinVol を 100% 以上に設定する場合は、敗血症、発熱、代謝性アシドーシスなどの高換気が必要な症例である。また、%MinVol を 100% 以下に設定する症例は喘息や ARDS などの症例である。

表 1 理想体重表*

〔文献 4) Hamilton Medical. Intensive care ventilator operator manual. 1999 より改変引用〕

身長 (m)	理想体重 (kg)	
	男性	女性
1.52	50	46
1.55	52	48
1.57	55	50
1.60	57	52
1.62	59	55
1.65	62	57
1.67	64	59
1.70	66	62
1.72	68	64
1.75	71	66

* ペンシルバニア・メディカル・センター資料による

実際、目標換気量は自動的に目標 1 回換気量と目標換気回数に分けられる。この計算は Y ピースと患者の間に装着したフローセンサー (図 2) から得られたデータを基に 1 呼吸ごとに更新される。このフローセンサーでは、機械換気および自発呼吸の換気動作を妨げることなく、吸気抵抗 (R_{insp}), 呼気抵抗 (R_{exp}), 肺コンプライアンス (C_{stat}), AutoPEEP を連続的に測定している。これらの測定値を得るために、最小二乗適合法 (LSF) という統計的手法が用いられている。患者が頻呼吸状態である場合はノイズ等を生み出すことがあり、測定精度に影響を与える場合があるが、ある程度患者が安定した呼吸状態であれば、特別なフローパターンや閉塞操作を行うことを必要としないものである。目標 1 回換気量は、前の呼吸と比較して、Pin_{sp} に変化が見られない時は同等の圧で換気が行われるが、実際に V_T が非常に少ない場合は、Pin_{sp} を 1cmH₂O ずつ増加させ、非常に多い場合には 1cmH₂O ずつ減少させる。f は、目標換気回数より患者の自発呼吸が実際の f より多い場合は次の機械換気は遅れて行わ

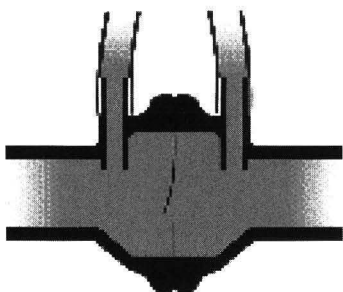


図2 フローセンサー

このフローセンサーにはハウジング内部に薄膜がある。この膜は可変式オリフィス構造となっており、双方向の流れが実現できる。〔文献4〕Hamilton Medical. Intensive care ventilator operator manual. 1999 より引用〕

れ、患者の自発呼吸の停止や減少により目標換気回数を下回る場合は機械換気が早く行われる。

4. ASV 使用

ASV 臨床使用に際し、メーカーにより推奨されているフローチャート（図3）を用いる。しかし、IBW と %MinVol により決められた V_T と f はすべての組み合わせが患者にとって安全とは限らない。 V_T が多いと過膨張を引き起こす場合があり、 V_T が少ないと肺胞換気が十分に行われない可能性がある。また、 f が多い場合は動的な過膨張が発生し、AutoPEEP の原因となり得る。 f が少ないと、低換気および無呼吸の原因となることが考えられる。これらを回避するため、ASV では患者の安全を確保するために、4つの安全リミット値が設定された肺保護規則が適応されている（図4）。この安全リミット値は1呼吸毎に更新

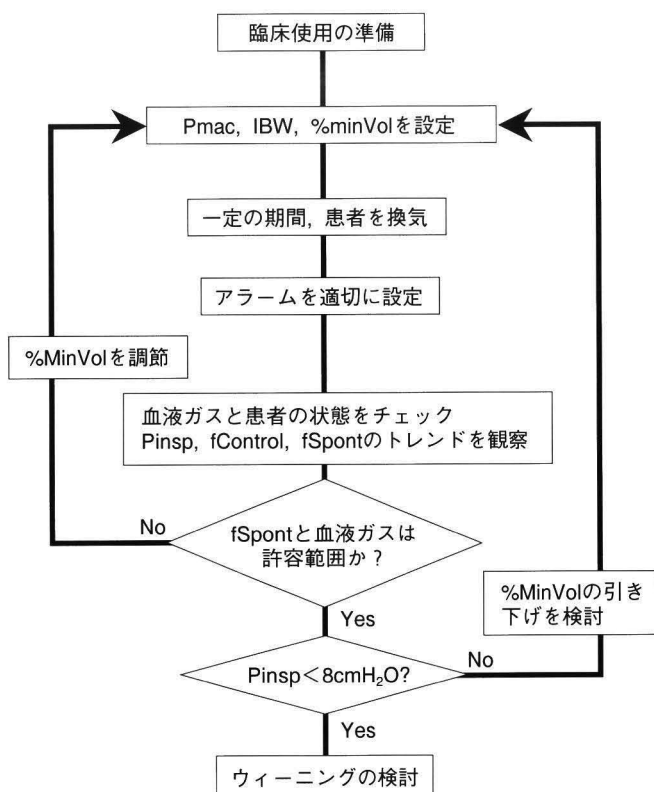


図3 ASV フローチャート

〔文献4〕Hamilton Medical. Intensive care ventilator operator manual. 1999 より改変引用〕

され、グラフィックモニター上の破線で描かれた四角形は図 5 に示されるように変化をし、最適な f と V_T が送気されている。

5. %MinVol の調整

通常実施する動脈血ガス測定の際に、ASV

ターゲットグラフ画面から得られるトレンドデータで行うことが推奨されている（図 6）。特に、グラフ上で表示されている自発呼吸回数（ f Spont）、強制換気回数（ f Control）、 P_{insp} の数値は非常に重要であり、患者の呼吸パターンの把握が容易となっている。なお、トレンドデータの解

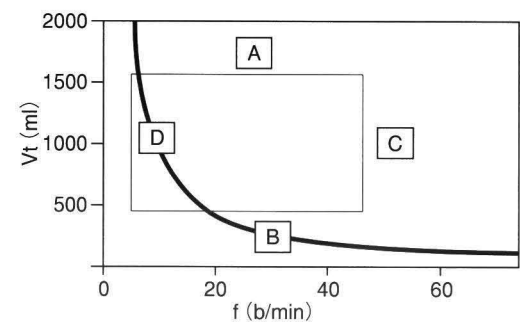


図 4 肺保護規則

高 1 回換気量および高気道内圧 (A)、低肺胞換気 (B)、動的な過膨張または過換気 (C)、無呼吸 (D) を回避するために V_T と f の組み合わせを制限している。〔文献 4) Hamilton Medical. Intensive care ventilator operator manual. 1999 より改変引用〕

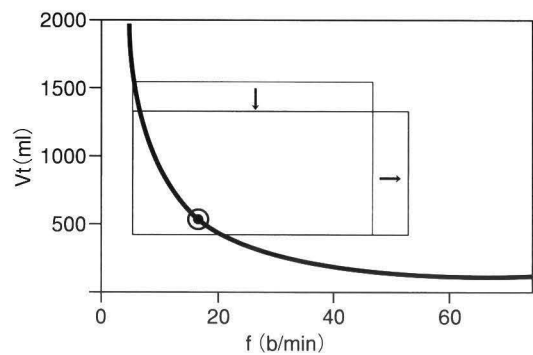


図 5 肺保護の動的調整

安全な呼吸パターンが常に適用されるように図中の破線に描かれた四角形は動的に変化し、また換気力学に従って変化する。〔文献 4) Hamilton Medical. Intensive care ventilator operator manual. 1999 より改変引用〕

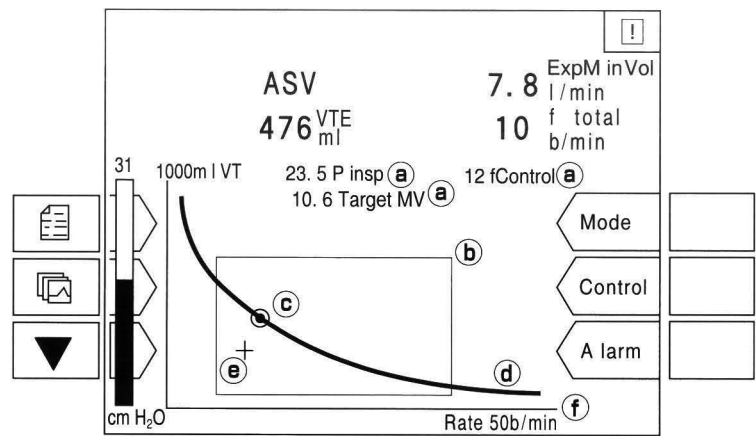


図 6 ASV グラフィック画面

- ① P_{insp} (cmH₂O), Target MV (目標分時換気量; l/min), f Control (強制換気回数; b/min)
- ② 肺保護制限枠
- ③ 目標点。目標 1 回換気量と目標呼吸回数の交差する点
- ④ \dot{V}_E 曲線
- ⑤ 実測点。 V_T と f の各測定値の交差する点
- ⑥ X 軸は f 。 Y 軸は V_T

表 2 %MinVol 設定 100% での呼吸パターンの解釈

〔文献 4〕 Hamilton Medical. Intensive care ventilator operator manual. 1999 より改変引用〕

f Spont	f Control	Pinsp	解釈
0	>10	>10	完全機械換気。ウィーニングには %MinVol 減少を考慮。
許容範囲	0	>10	自発呼吸をサポート。%MinVol 減少を考慮。
許容範囲	0	<8	完全自発呼吸。抜管を考慮。
高	0	>10	呼吸困難。%MinVol 増加。およびその他の臨床治療を考慮。オートトリガー発生の有無を確認。

積にはメーカーより推奨されている実測値解釈表 (図 7) を用いる。

6. ウィーニング

%MinVol を下げていくことにより、ウィーニングが促される。例えば、動脈血ガス測定の値を見て %MinVol を 100% から 70% に下げる。患者がこの低下を許容できれば、さらに 40% に下げることができ、完全にウィーニングするには %MinVol を 20% に下げることがある。これらの手順は PSV で通常行われていることに近似している。PSV の設定を下げる代わりに、ASV では %MinVol を下げる。さらに、ターゲットグラフ上で表示された Pinsp が $8\text{cmH}_2\text{O}$ 以下、f Control がゼロの状態がある一定時間継続するようであれば、ウィーニングがさらに容易となる。また、フローセンサーから得られるデータの一つとして 1l あたりの f と V_T の比率を表した値である頻呼吸指標 (RSB) もウィーニングには欠かせないものとなっている。Yang と Tobin は $105\text{l}/\text{l}^*\text{min}$ 以上であるとウィーニングの可能性が低く、 $100\text{l}/\text{l}^*\text{min}$ 未満の場合、ウィーニングが可能である⁵⁾と言われている。しかし、当院における臨床使用経験から RSB に関しては $50\text{l}/\text{l}^*\text{min}$ 未満でなければウィーニングの指標の一つとして考えられないのではないかと思われ、今後十分な検討が必要となるものと思われる。

7. まとめ

ASV は設定した %MinVol と患者自身が必要としている量および呼吸機能との相互作用によって、圧規定換気 (PCV)、P-SIMV、または PSV のように機能するモードである。患者が無呼吸または低換気状態の場合は、PCV のように換気する。すべての呼吸は装置が開始し、呼気までのサイクルは時間単位で行う。また、患者が自発呼吸することができ、設定された %MinVol が患者の必要量とほぼ等しい場合は P-SIMV と同様になる。さらに、患者が自発呼吸することができ、%MinVol の設定が患者の必要量よりもはるかに低い場合は、PSV と同様に機能する。すべての呼吸は患者が開始し、呼気までのサイクルはフロー単位である。つまり、ASV は、PCV、P-SIMV、PSV を自動的に移行する画期的なモードであると言える。近年、人工呼吸器装着に伴う肺炎 (VAP: ventilator associated pneumonia) が大きな問題となっているが、ASV は自発呼吸の迅速な回復と関連する挿管時間のかかなりの減少が観察された⁶⁾との報告がされている。実際当院においても ASV を設定した患者の人工呼吸器装着日数は最長 1 週間で離脱が可能であった。しかし、現在使用している ASV のプロトコルは欧米中心のものであり、治療にあたったスタッフからは日本独自のプロトコルがあってもよいのではないかと指摘があった。ASV は機械的人工換気からの

早期離脱時に、SIMV と同等のレベルの分時換気量と自発呼吸数を与えることができる⁷⁾ということから、ASV の特徴である IBW をメインに考えず、導入時にまず、どの程度の \dot{V}_E を確保したいのかを考えれば、本邦での使用も広がるのではないかと感じているところである。

8. おわりに

呼吸管理を行ううえで、起こりうる肺圧損傷などの危険性を最小限にし、かつ複雑な機器設定を必要としない ASV は、患者の状態の変化に P_{insp} および吸気流速を自動的に適応させ、至適呼吸パターンと設定した \dot{V}_E を維持することが可能となるモードである。今後、本邦でも広く臨床使用されることを期待したい。

引用文献

- 1) Hewlett AM, Platt AS, Terry VG : Mandatory minute volume. A new concept in weaning from mechanical ventilation. *Anaesthesia* 32 : 163-169, 1977
- 2) Quan SF, Parides GC, Knoper ST : Mandatory Minute Volume (MMV) ventilation : An overview. *Resp Care* 35 : 898-905, 1990
- 3) Otis AB, Fenn WO, Rahn H : Mechanics of breathing in man. *J Appl Physiol* 2 : 592 - 607, 1950
- 4) Hamilton Medical. Intensive care ventilator operator manual. 1999
- 5) Yang KL, Tobin MJ : A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from ventilation. *Intensive Care Med* 324 : 1445-1450, 1998
- 6) Christopher F, Rene C, Pierre GC, et al : Adaptive support ventilation for fast tracheal extubation after cardiac surgery. *Anesthesiology* 95 : 1339-1345, 2001
- 7) Tassaux D, Dalmas E, Gratador P, et al : Comparison between SIMV and Adaptive Support Ventilation (ASV) during early weaning from mechanical ventilation. *Int Care Med* 26 : S368, 2000