

□原 著□

小児人工呼吸管理の新たな潮流

—小児における自発換気補助の臨床的検討—

松 川 周* 星 邦彦* 橋 本 保彦*

ABSTRACT

Clinical evaluation of ventilators for patient triggered ventilation in infants

Shuh MATSUKAWA, Kunihiko HOSHI, Yasuhiko HASHIMOTO

*Department of Anesthesiology and Intensive Care Medicine,
Tohoku University School of Medicine, Sendai, Japan 980*

We evaluated four types of ventilators (Babylog 8000[®], V.I.P. BIRD[®], Servo Ventilator 300[®], STAR SYNC[®]) for patient triggered ventilation (PTV) in twelve post-operative infants. Changes in airway pressure, airflow and tidal volume were recorded through respiratory monitor attached between a ventilator circuit and patient. Trigger delay was defined as a time in milisecond between 0 point of expiratory flow and an initiation point of inspiratory flow. The overall trigger delays during SIMV and PSV were almost less than 100 msec in all ventilators when flow trigger or abdominal pressure sensor trigger was used. Although PTV can be performed in almost all infants with these ventilators, fine adjustment of ventilatory setting was needed to fit the ventilators to patients.

はじめに

成人では同期式間歇的強制換気 (synchronized IMV) や圧支持換気 (pressure support ventilation : PSV) など自発換気努力を温存した PTV (patient triggered ventilation) が最近の呼吸管理の主流となってきた。一方小児では成人と比較して小換気量、頻呼吸であり、短い換気時間の間に吸気をトリガーして換気を行うことは技術的制約が多いため PTV は事実上不可能であり、非同期式の IMV の域を脱することはできなかった。しかし近年の人工呼吸器の技術的進歩は著しく、小児・新生児領域でも PTV が可能

であることをうたった人工呼吸器が開発され市販されるようになった^{1)~5)}。今回われわれは、何種類かの自発換気トリガーが可能な新しい小児用人工呼吸器を使用する機会が得られたので、これらの人工呼吸器で自発換気の補助が実際に可能か否かを主体に臨床的検討を行った。

1. 対象および方法

検討の対象とした人工呼吸器はドレーガー社製 Babylog 8000[®]、バード社製 V.I.P. BIRD[®]、インフラソニック社製 STAR SYNC[®]、シーメンス社製 Servo Ventilator 300[®] (SV 300) の 4 機種である。生後 7 日の新生児から 6 歳の小児までの主として胸部外科術後患児 12 名 (男児 6 名、女児 6 名) を対象にこれら 4 機種の人工呼吸器を

* 東北大学医学部附属病院集中治療部 (〒980 宮城県仙台市青葉区星陵町 1-1)

at random にのべ 24 回使用した。対象患児の体重は平均 9.39 kg (3.18~20.0 kg) である。人工呼吸よりの離脱が進み自発換気可能となった段階で、患児と人工呼吸器回路との間にプローブを装着し、日本光電社製換気モニターシステムにより気道内圧、吸気および呼気流量、換気量を測定記録し、そのパターンの変化から自発換気補助が可能か否かを検討した。

以下に 4 機種種のトリガー様式について簡単に述べる。

Babylog 8000 は呼吸器回路と患児の間に flow probe を有している (図 1 上段)。Trigger window が開いている間に吸気努力が発生するとその流量を感知し、吸入量が設定量を越えると呼吸器による送気が行われる、flow trigger による同期式 IMV (SIMV) が可能である。強制換気の流量と basal flow (呼気流量と呼んでいる。従来の定常流にあたる) は独立して設定が可能である。

図 1 下段に V.I.P. BIRD の自発換気補助様式を示す。上段に示すように、単体では患児口許の気道内圧変化をトリガーしての SIMV および PSV が可能である。これに流量の感知および制御ユニット (図中 “PARTNER”) を接続し、回路と患児の間に流量プローブを入れることで、flow trigger による SIMV, PSV ができるようになる。

SV 300 の flow trigger は basal flow を流しておいて吸気側・呼気側でその流量を測定し、その差が設定以上になったときにこれを吸気努力があったとみなして換気を補助するもので (図 2 上段)、SIMV や PSV のほか多岐にわたる換気様式の設定が可能である。

STAR SYNC は自発換気の吸気時の横隔膜の収縮を上腹部に貼った圧センサーで感知し、その圧変化によってトリガーをかけるもので (図 2 下段)、他の 3 機種が基本的には吸気時のフロー変化をトリガーに利用しているのに対して、圧トリ

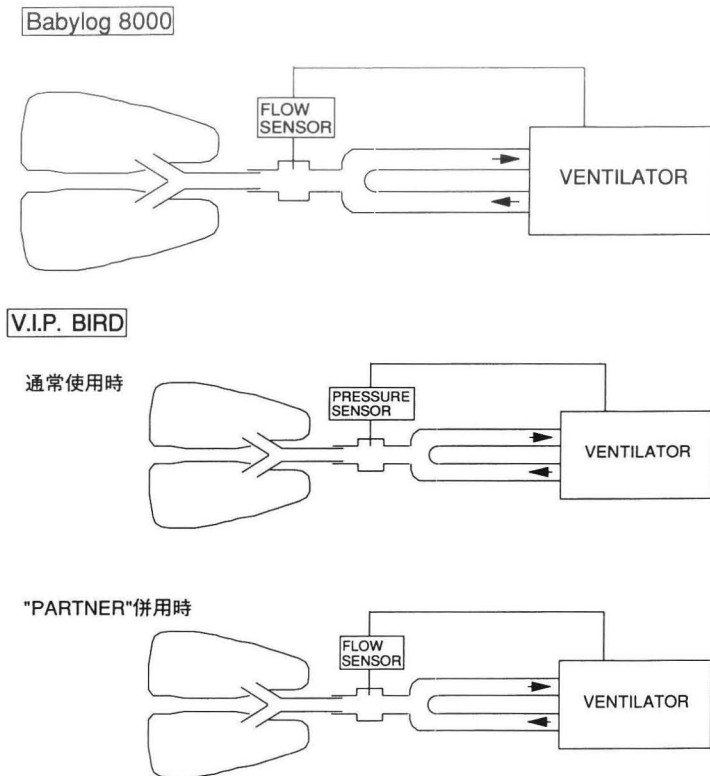


図 1 Babylog 8000 および V.I.P. BIRD のトリガー機構の模式図

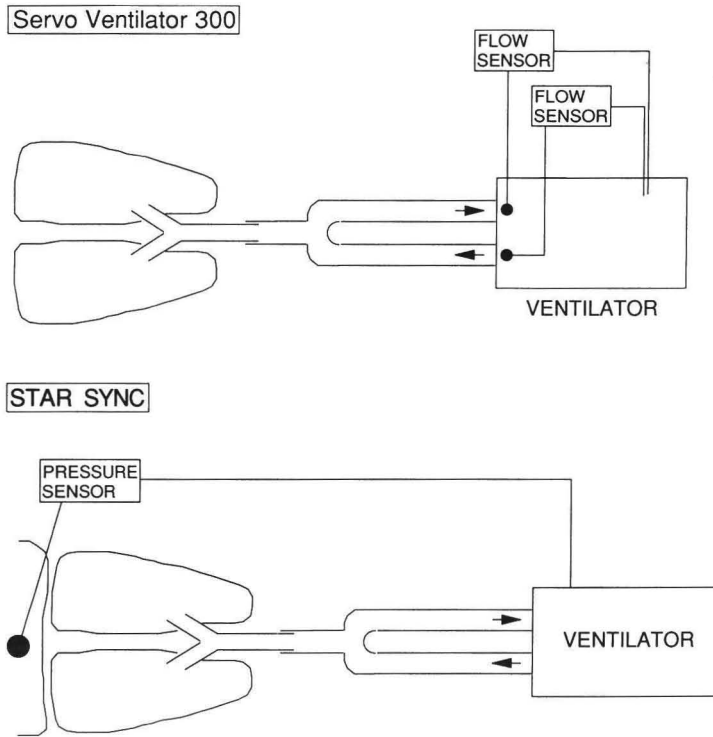


図 2 Servo Ventilator 300 および STAR SYNC のトリガー機構の模式図

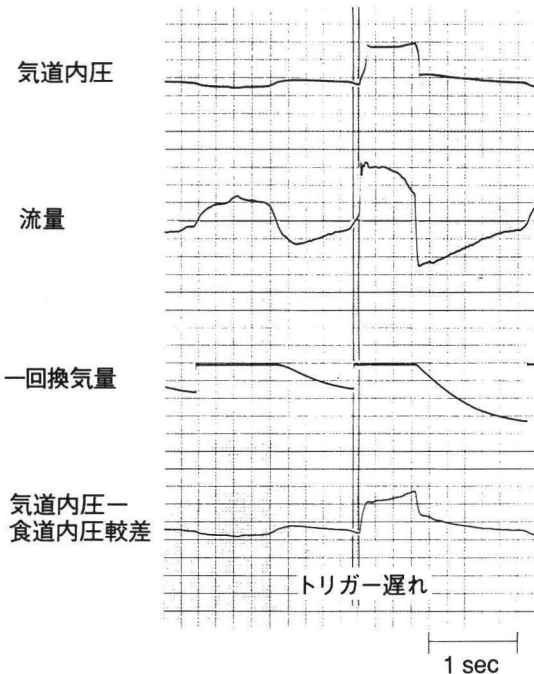


図 3 PTV 時のトリガー遅れの算出法

ガーをより吸気の発生源に近いところとする点がユニークといえる。

図 3 に自発換気補助時の気道内圧，呼吸流量，呼吸換気量，気道内圧－食道内圧較差の記録の 1 例を示す。呼気が終了した時点から吸気流速が急峻に立ち上がる変曲点までの時間を，患者の吸気努力がみられてから人工呼吸器が実際に対応するまでのトリガー遅れと定義し，autotriggering を起こさない最も高い感度のときのそれぞれの人工呼吸器でのトリガー遅れ時間を，連続した 5 呼吸の平均をとって算出した。検討した換気様式は，Babylog 8000 は flow trigger の SIMV，V.I.P. BIRD は圧トリガーの SIMV と PSV，およびフロートリガーの SIMV，STAR SYNC は腹部センサ使用の SIMV，SV 300 は flow trigger の SIMV および PSV である。

2. 結果

表 1 にそれぞれの人工呼吸器の換気様式，トリ

表 1 自発換気補助可能な小児用人工呼吸器 4 機種の特リガー遅れ

	換気様式	トリガー様式	トリガー感度	症例数	トリガー遅れ
Babylog 8000	SIMV	フロー	1.3±0.2 ml (0.5~2.0)	9	86.5±31.2 msec (50.4~154.0)
V.I.P. Bird	SIMV	圧	1 cmH ₂ O	1	49.0 msec
	SIMV	フロー	0.5 l/min	2	70.0±2.8 msec (68.0~72.0)
	PSV	圧	1 cmH ₂ O	5	131.0±77.8 msec (49.0~226.0)
STAR SYNC	SIMV	センサ圧		3	77.9±16.7 msec (57.6~98.4)
SV 300	SIMV	フロー	1/4	1	56.0 msec
	PSV	フロー	1/4~1/2	3	82.9±32.2 msec (38.4~113.6)

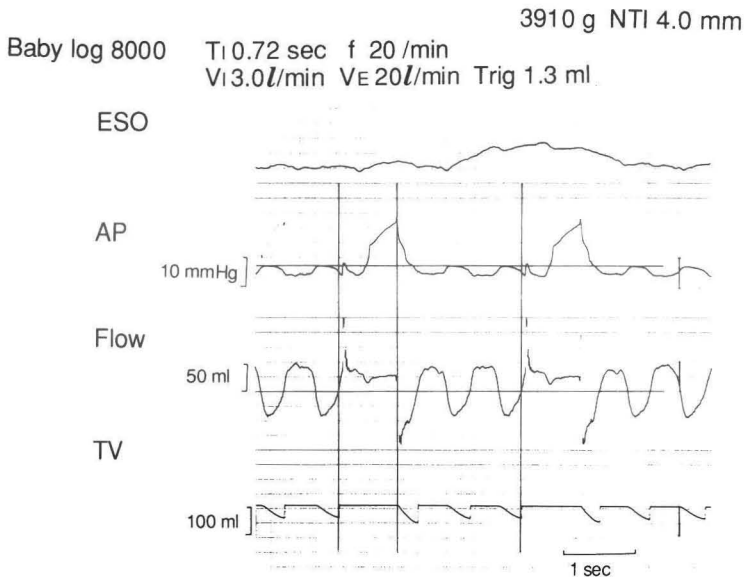


図 4 Babylog 8000 使用時の食道内圧，気道内圧，流量，一回換気量の経時波形

ガー様式，トリガー感度，症例数，およびトリガー遅れ時間を示す。圧トリガーによる V.I.P. BIRD の PSV 時を除けば，どの呼吸器もトリガー感度は平均して 100 msec 以内の値を示し，自発換気をトリガーにした換気がほぼ可能で，fighting は認められなかった。しかし Babylog 8000 で 2 例，V.I.P. BIRD で 3 例，STAR SYNC で 3 例，SV 300 で 1 例に自発換気に完全には同調しない例がみられた。

以下に症例をいくつか呈示する。

図 4 に 3910 g の 1 ヶ月の男児に Babylog による SIMV を行ったときの食道内圧，気道内圧および流量・換気量変化を示す。Trigger volume は調節可能で，ここでは 1.3 ml である。気管内チューブは内径 4.0 mm，IMV 時の流量は 3.0 l/min，呼気時流量（定常流にあたる）は 20 l/min，呼気時間 0.72 秒，換気回数 20 回/分の設定である。吸気時のトリガー遅れはこの例では

Babylog 8000

3820 g NTI 4 mm

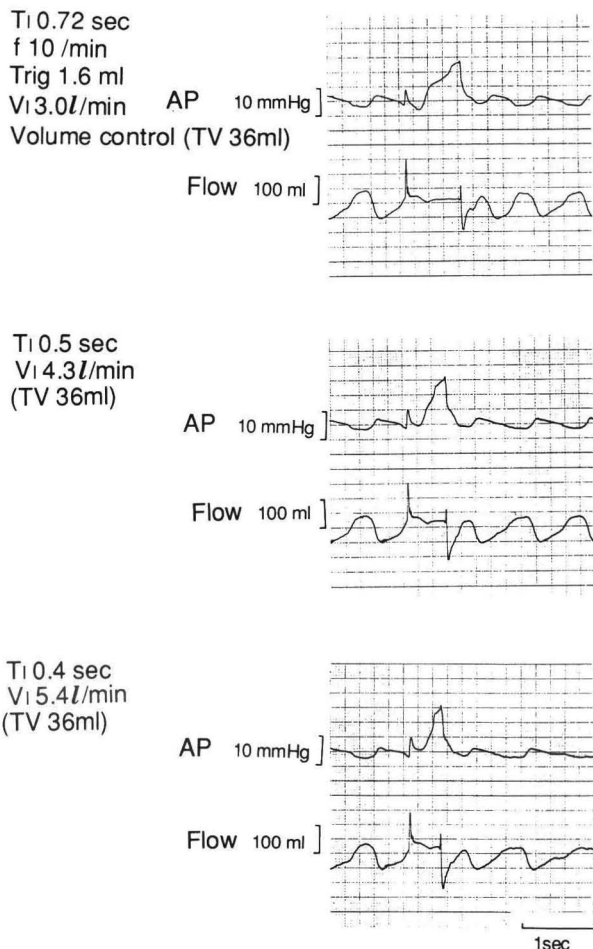


図 5 Babylog 8000 使用時の吸気時間および吸気流量を変化させたときの気道内圧波形の変化
一回換気量の設定は同じだが、流量を増加されると吸気初期の陰圧変化は減少し、ついには無くなる。

50 msec になる。吸気が開始されてダイヤモンドバルブが開き吸気時のフローが流れて気道内圧が陽圧に転ずるまで約 320 msec かかっている。

Babylog 8000 を使用して SIMV を行い、一回換気量を一定にして吸気時間を変化させ、吸気時流量を変化させた (図 5)。患児は 3 ヶ月の男児で体重 3820 g、気管内チューブは内径 4.0 mm、trigger volume は 1.6 ml である。吸気流量を増すにつれて、吸気初期の陰圧形成時間が短くなっており、吸気時間設定を 0.4 sec にすると吸気時

の気道内陰圧は消失した。

図 6 に生後 18 日、3960 g の男児に V.I.P. BIRD を flow trigger の SIMV で用いたときの気道内圧、流量、呼吸換気量のパターンを示す。気管内チューブ内径は 3.0 mm である。trigger flow を 0.5 lpm が 1.0 lpm にするとトリガー遅れが 76 msec から 120 msec へと延長している。

図 7 は V.I.P. BIRD を通常の圧トリガーの PSV に用いた例である。体重 8.6 kg の 1 歳 5 ヶ月の女児で、気管内チューブ内径は 4.0 mm、

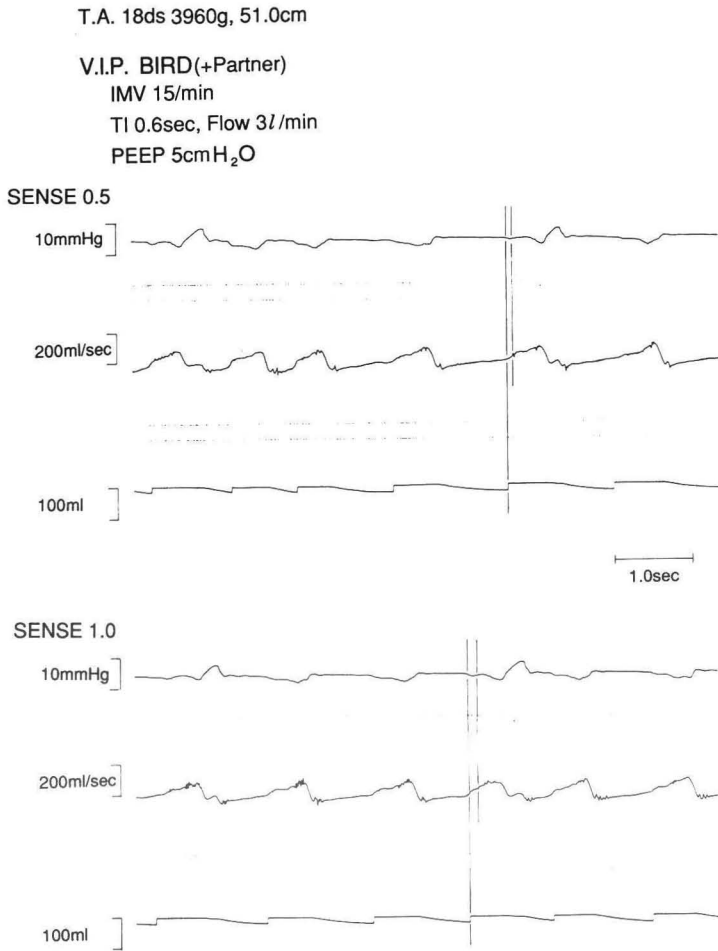


図6 V.I.P. BIRD 使用時にフロートリガー感度を变化させたときの波形変化
 感度を低くするとトリガー遅れは延長する。

PEEP 5 cmH₂O, PS 5 cmH₂O の設定で、感度を -1 cmH₂O から -3 cmH₂O まで变化させた。自発換気をトリガーにして PSV が行われるが、感度を下げていくと換気努力があってもトリガーされなくなっている。この例では、トリガー遅れは感度が最も高い -1 cmH₂O の時でも 200 msec を越えている。

図8はSV 300を用いて flow trigger のPSVを行った例である。4.5ヵ月、4550gの女児で、気管内チューブの内径は3.5mm、PEEPは4cmH₂O、上段がPS 5cmH₂O、下段がPS 10cmH₂Oである。トリガー遅れは約60msecで一

見非常にうまくトリガーされているようにみえる。しかし、圧パターンをみると上段のPS 5cmH₂Oではときどき吸気時間の著明な延長がみられ、PS 10cmH₂Oではほとんどの吸気が著しく延長しているのがわかる。

図9は3ヵ月、3850gの女児にSTAR SYNCによるSIMVを行ったときの換気パターンである。トリガーの様式が異なるためトリガー遅れを他の機種と単純に比較することは困難であるが、呼気流量が0となってから吸気が開始されるまでの時間は64msecで、吸気時初期の陰圧形成がほとんどみられない。自発換気時の圧変動が小さ

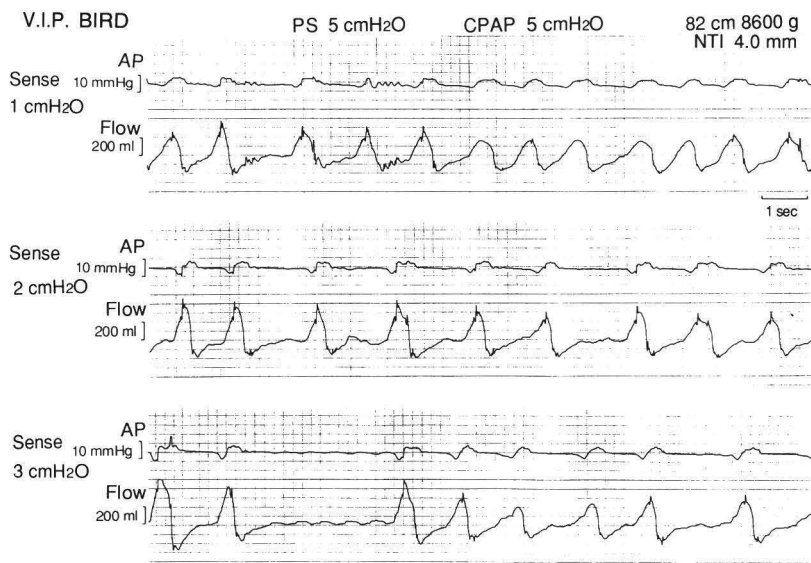


図 7 V.I.P. BIRD を圧トリガーの PSV に用いたときの波形変化

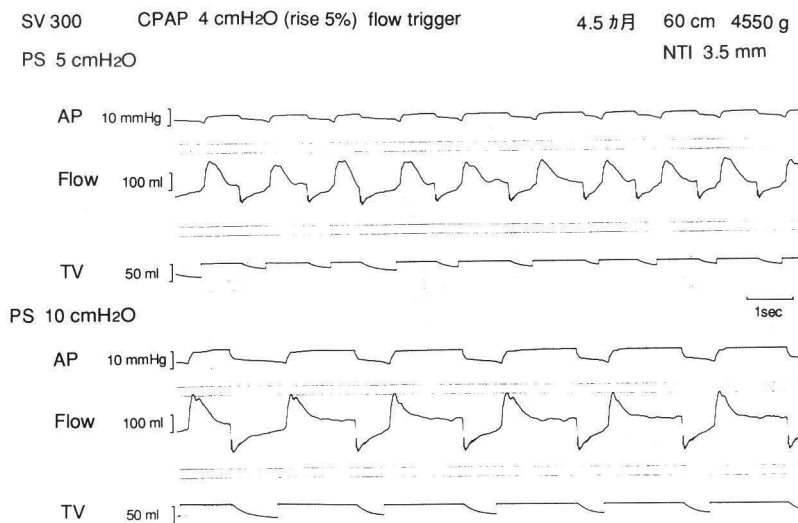


図 8 SV 300 使用時にみられた autotriggering

いのは流量の制御がうまくいっているためと考えられる。センサーは上腹部中央に貼っている。この例では当初全く自発換気によるトリガーが得られなかったためセンサー位置を貼り替えた。

3. 考案

今回、人工呼吸器のトリガー遅れを、呼気が終

了して呼気流量が 0 となってから吸気努力に人工呼吸器が反応して吸気が開始するまでの時間と定義した。この定義に問題が無いわけではなく、auto-PEEP が存在する状態では口もとでの呼気の流れが無くてもすでに吸気努力が始まっている、食道内圧をみると陰圧を生じているといわれる⁶⁾。しかし小児で食道内圧を正確に位置させる

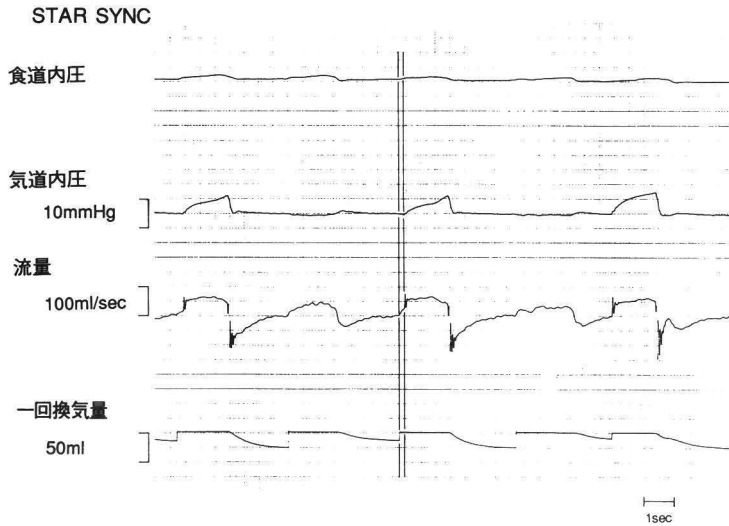


図9 STAR SYNC使用時の圧、流量、換気量波形

のは煩雑でもあり、また判読が困難でもあるので、食道内圧の変動を基準とはしなかった。人工呼吸器から患者をみると、トリガーが気道内圧であれ吸気時のフローであれ、患者の人工呼吸器に対する働きかけを認識できなければ反応のしようがない。そこでその基準点を簡便に判定の可能な呼気が終了して流量が無くなった時点と規定した。

人工呼吸器のトリガー遅れは、患者が吸気努力を開始してトリガーレベルまでの吸気時陰圧または吸気流量をつくるまでの時間と、トリガーしてから人工呼吸器のダイヤモンドバルブが開いて回路内にガスが流れ出すまでの時間の和になる⁷⁾。後者は人工呼吸器の基本性能に関係しており、Babylog 8000では約30 msec、V.I.P. BIRDでは約25 msec、SV 300では6 msecと機械によって異なる。前者は患者の吸気努力の大きさ・速さと人工呼吸器のトリガーレベルの設定により決定され、患者の状態・病態によって変化する。これ以外にもSIMVの場合には患者の吸気努力がtrigger windowのどこに入るかで、みかけ上のトリガー遅れが変わる可能性がある。特にwindowの後半に吸気努力が始まればトリガーレベルに達しなくても自発換気をしていないとみなされて強制換気が入ってしまい、いかにもトリガーされたかのようにみえることがあり得る。そこでSIMV

とPSVと双方が可能な呼吸器の場合には2つを分けてトリガー遅れを算出してみた。Flow triggerによるSIMVおよびPSVでのトリガー遅れはほぼ100 msecを下回っていた。またSTAR SYNCでセンサ圧トリガーを行った場合にもほぼ100 msecを下回っていた。トリガー遅れの許容範囲を全吸気時間の1/3以下と仮定すれば、今回対象とした新生児を含めた小児では4機種とも全て患児の自発換気をトリガーとした換気(PTV)が可能と考えられる。同一機種ではSIMVの方がPSVよりトリガー遅れが短い印象があるが、症例が少なく今後の検討を要する。圧トリガーはflow triggerに比べてトリガー遅れが長くなるので、今回は特に検討しなかった。

Babylog 8000は吸気と呼気時の流量を別個に設定できるが、基本的には定常流方式で、吸気時の流量制御は行われていない。そのため吸気時流量が足りないと図4で示したように吸気初期の陰圧形成が著明になる。吸気時間が長すぎると呼気ができなくなるため、能動的に呼気が起こりfightingの原因となるばかりでなく、平均気道内圧を低下させ酸素化の低下を招く可能性がある。これを防止するためには患児固有の吸気時間に設定を近づけて吸気初期の陰圧形成をなくす努力が必要となる(図5)。圧波形や流量波形が表示されると患児に合わせたきめ細かい設定をするのが

容易になると考える。

V.I.P. BIRDに限らないが flow trigger で用いる場合にも圧トリガー時と同様感度が高くなるほどトリガー遅れは短くなる。PSV で使用した場合、感度を下げるとトリガーしなくなる (図 6, 図 7)。小児・新生児では autotriggering を起こさないギリギリまで感度を上げて用いる必要があろう。

SV 300 を flow trigger の PSV に使用した際に、自発換気がないにもかかわらず、あたかも自発換気努力でトリガーされたかのような autotriggering がみられた (図 8)。SV 300 の PSV 時の吸気の termination はピークフローの 5% または設定呼吸時間の 80% と決められているが、気管内チューブと気管の間の漏れのためにピークフローの認識ができず吸気時間が延びたと考えられる。小児に漏れは付きものであり、また必要なものでもあるが、チューブサイズの選択に慎重である必要がある。これは SV 300 のみの欠点というわけではなく、他の機種は flow trigger の PSV モードを備えていないため問題になっていないだけであろう。反応の速さと吸気仕事量軽減を両立させるため今後克服すべき問題点と考えられる。

STAR SYNC のトリガー遅れは平均 47 msec とされ、従来用いられていた吸気時の腹部の動きを感知する方式と比較してかなり速い⁸⁾とされる。しかしわれわれの症例では絶対値は小さいもののその 2 倍近い値をとっており (図 9)、また全くトリガーがかからずに位置を換えなければならない症例があるなど、センサプローブの貼付位置などに習熟する必要がありそうである。術後患者では貼る位置が限定されてトリガーできない場合がありうること、回路の特性からいって大きな児

では対応できないことが残念な点である。

結 語

以上みてきたように、近年の人工呼吸器はかなりの程度まで自発換気補助が可能となってきているが、患児の呼吸器系に合わせた細かい調節が必要であり、使いこなすうえで換気モニターは必須のものとする。また、いまだ十全のものとはいいがたく、なおいっそうの改良が望まれる。

(1993.12.3 受)

引用文献

- 1) 坂本哲也, 繁田正毅, 有賀 徹: Servo Ventilator 300 の使用経験. 人工呼吸 9: 70, 1982
- 2) 安藤幸吉, 星 邦彦, 佐藤 俊ほか: Babylog 8000 の小児での使用経験. 人工呼吸 9: 198, 1992
- 3) 高橋利通, 武澤 純: 新生児, 小児人工呼吸管理の夜明け. 人工呼吸 9: 78, 1992
- 4) 今中秀光, 内山昭則, 妙中信之: V.I.P. BIRD の使用経験. 人工呼吸 10: 78, 1993
- 5) 水野克巳, 奥山和夫: Star-Sync の使用経験: SIMV の有効性について. 人工呼吸: 70, 1993
- 6) 桑山直人, 高橋利通, 木村智政ほか: 気道抵抗の高い肺でのプレッシャーサポート換気と auto-PEEP の関係. 人工呼吸 9: 32-37, 1972
- 7) Greenough A and Milner AD: Respiratory support using patient triggered ventilation in the neonatal period. Arch Dis Child 67: 69-71, 1992
- 8) Chan V and Greenough A: Evaluation of triggering systems for patient triggered ventilation for neonates ventilator-dependent beyond 10 days of age. Pediatr 151: 842-845, 1992