

□原 著□

Bear 1000™ の吸気呼吸仕事量に及ぼす トリガー方式およびベースフローの影響

竹内 昭 憲* 勝屋 弘 忠*

ABSTRACT

Evaluation of inspiratory work of breathing
under Bear 1000 ventilator using a patient-simulated lung model
—Effects of triggering mode, triggering level and base flow rate—

Akinori TAKEUCHI* and Hirotada KATSUYA*

*Department of Anesthesiology and Resuscitology, Nagoya City University Medical School,
1 Kawasumi, Mizuho-cho, Mizuho-ku, Nagoya, Japan 467-8601

To study the respiratory work required to trigger a mechanical ventilator, we developed an apparatus which consists of a double lung model (Dual Adult TTL, Michigan Instruments, USA) and a driving ventilator which simulates a patient's effort. This apparatus can "breathe" as a patient. Using this device, we studied the work required during inspiratory phase of mechanical ventilation with Bear 1000 ventilator while changing inspiratory flow and inspiratory time of the driving ventilator and changing triggering level and base flow rate of the ventilator. Inspiratory work was 0.19 J/L when the flow rate of driving ventilator was set at 40 LPM and inspiratory time at 0.1 sec. It increased to 0.56 J/L when the inspiratory time was increased to 0.5 sec. When the inspiratory flow rate of the driving ventilator was raised to 90 LPM (mimics inspiratory effort) the work increased significantly to 0.84 and 2.04 J/L at inspiratory time of 0.1 and 0.5 sec respectively. If pressure triggering and flow triggering were both used, there was a tendency for the work to decline along with the increase of base flow rate. It was suggested that the combination of flow- and pressure-triggering with base flow of 5-10 LPM is the mode of choice to decrease inspiratory work under mechanical ventilation with Bear 1000 ventilator.

緒 言

Bear 1000™ (Alleid Healthcare Products Inc. Riverside, California, USA) のプレッシャーサポートモードは従来の圧トリガーに加えてフロートリガーも行えるようになった。プレッシャーサポートモードでは圧トリガーのみ、および圧トリガーとフロートリガーの組み合わせがトリガリン

グモードとして選択できる。本機種ではフロートリガー使用時もプレッシャートリガーとフロートリガーのうちいずれか早いほうでトリガーがかかるようになっている。しかしながらどのようなトリガーの組合せが患者の呼吸仕事量を軽減させるかは明らかではない。われわれはモデル肺を用いてフロートリガー使用時の Bear 1000™ の呼吸仕事量について調べたので報告する。

* 名古屋市立大学医学部麻酔・蘇生学教室

目 的

Bear 1000™ ベンチレータを被検ベンチレータとして

1) 患者（駆動ベンチレータ）の吸気流速が 40 LPM のときと、90 LPM のときで、トリガーモードによりベンチレータを駆動させる呼吸仕事量にどのような違いがあるか調べる。

2) フロートリガー使用時に、ベースフローと

フロートリガーの組合せにより Bear 1000™ ベンチレータを駆動させる呼吸仕事量はどうか調べる。

方 法

肺モデル¹⁾

二連のモデル肺 (Dual Adult TTL™, Michigan Instruments, Grand Rapids, Michigan, USA) の二つの肺を連結し、一方のアウトレッ

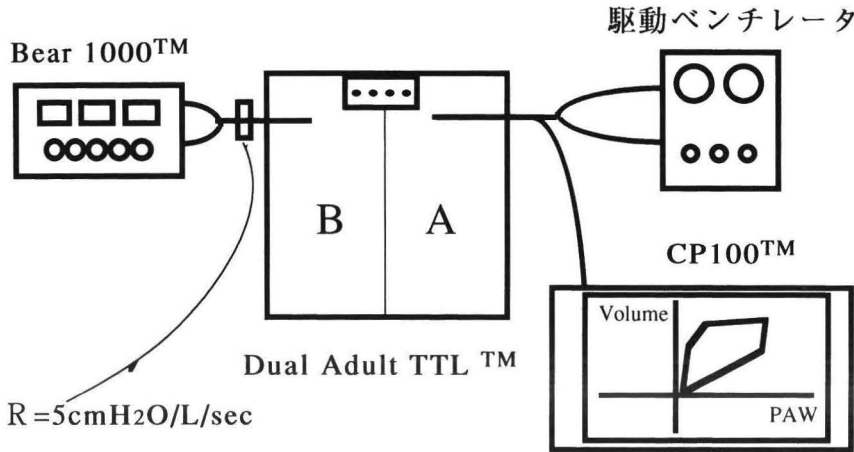


図 1 肺モデル。駆動ベンチレータにより A のコンパートメントが持ち上げられると連動して B のコンパートメントも持ち上がり、B の入り口に陰圧が発生する。

表 1 Combinations of flow-trigger, pressure-trigger, and base flow

Pressure-trigger 5 cmH ₂ O	and flow-trigger 1 LPM	with base flow 2 LPM
		5 LPM
		10 LPM
		20 LPM
	and flow-trigger 2 LPM	with base flow 2 LPM
		5 LPM
Pressure-trigger 0.2 cmH ₂ O	and flow-trigger 1 LPM	with base flow 2 LPM
		5 LPM
		10 LPM
		20 LPM
	and flow-trigger 2 LPM	with base flow 2 LPM
		5 LPM

トに駆動用のベンチレータを接続する。駆動用ベンチレータにより陽圧換気を行うとベンチレータに接続された側のモデル肺Aが持ち上がり、連動して他側のモデル肺Bも持ち上がりそのアウトレットに陰圧が発生する。駆動用ベンチレータとそれに接続されたモデル肺Aは患者の呼吸筋に相当するコンパートメントと考えられ、他側のモデル肺Bは患者の胸郭・肺胞に相当するコンパートメントと考えられる。肺胞に相当するコンパートメントに被験ベンチレータを接続し作動させたときの、駆動ベンチレータの呼吸仕事量を呼吸モニター (CP 100™, Bicore, USA) で測定する。この呼吸仕事量が患者の呼吸仕事量 (WOBp) に相当すると考えられる。

呼吸筋に相当するモデル肺Aのコンプライアンスばねははずし、胸郭・肺胞に相当するモデル肺Bのコンプライアンスは $0.02 \text{ l/cmH}_2\text{O}$ に設定した。呼吸抵抗は $5 \text{ cmH}_2\text{O} \cdot \text{sec/l}$ に設定した。

駆動用ベンチレータ

駆動用ベンチレータには New Port E 100 A™ (NMI, USA) を用い、吸気フローは 40 および 90 LPM, 吸気時間は 0.1 および 0.5 秒とした。

被験ベンチレータ

被験ベンチレータには Bear 1000™ を用いてプレッシャーサポートモードでサポート圧はいずれも $10 \text{ cmH}_2\text{O}$ とした。以下のような 3 通りについて駆動ベンチレータの呼吸仕事量を測定した。

1) フロートリガーは使用せず、圧トリガーを $0.2 \text{ cmH}_2\text{O}$ とした。

2) 圧トリガー感度を $5 \text{ cmH}_2\text{O}$ としフロートリガーを以下のように設定した。

フロートリガーは 1 または 2 LPM とし、ベースフローを 2, 5, 10, 20 LPM と変化させる。

3) 圧トリガー感度を $0.2 \text{ cmH}_2\text{O}$ とし他は 2) と同様の条件とした。

結果

1) 圧トリガー $0.2 \text{ cmH}_2\text{O}$ のみのとき

(1) 駆動ベンチレータのフローが 40 LPM で、吸気時間が 0.1 秒の時、呼吸仕事量は 0.19 J/L , 吸気時間が 0.5 秒の時、呼吸仕事量は 0.56 J/L であった。

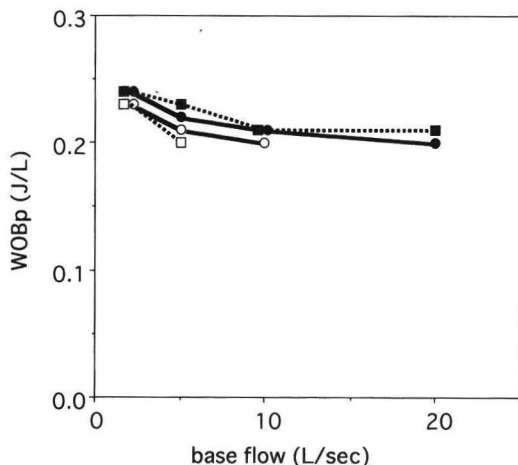


図 2 患者吸気流速 40 LPM, 吸気時間 0.1 秒の時の患者呼吸仕事量

—○— WOB: p5/f1: 圧トリガー $5 \text{ cmH}_2\text{O}$, フロートリガー 1 LPM

ベースフロー 20 LPM ではオートリガーとなった。

—●— WOB: p5/f2: 圧トリガー $5 \text{ cmH}_2\text{O}$, フロートリガー 2 LPM

ベースフロー 10 および 20 LPM ではオートリガーとなった。

..... WOB: p0.1/f1: 圧トリガー $0.1 \text{ cmH}_2\text{O}$, フロートリガー 1 LPM

..... WOB: p0.1/f2: 圧トリガー $0.1 \text{ cmH}_2\text{O}$, フロートリガー 2 LPM

(2) 駆動ベンチレータのフローが 90 LPM で、吸気時間が 0.1 秒の時、呼吸仕事量は 0.84 J/L , 吸気時間が 0.5 秒の時、呼吸仕事量は 2.04 J/L であった。

2) 圧トリガーとフロートリガーを使用したときにベースフローを変化させたときの呼吸仕事量を図 2~5 に示す。フロートリガーを 1 LPM に設定したときにはオートリガーを起こすことが多く、したがってその設定での仕事量が測定できなかった (図 2~4)。駆動ベンチレータの吸気時間を 0.1 秒としたときには、ベースフローを増加させると呼吸仕事量は減少する傾向があったが (図 2, 4), 吸気時間が 0.5 秒の時にはベースフローが 10 LPM 以上では呼吸仕事量の減少が頭打ちになる傾向があった (図 3, 5)。

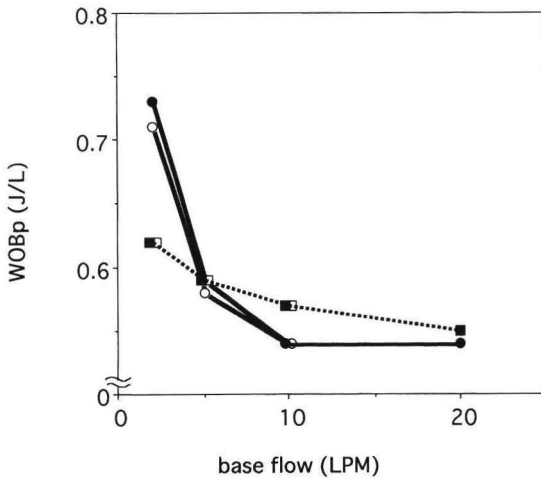


図3 患者吸気流速 40 LPM, 吸気時間 0.5 秒の時の患者呼吸仕事量

- WOB : p5/f1 : 圧トリガー 5 cmH₂O, フロートリガー 1 LPM
ベースフロー 20 LPM ではオートトリガーとなった。
- WOB : p5/f2 : 圧トリガー 5 cmH₂O, フロートリガー 2 LPM
- ⋯□ WOB : p0.1/f1 : 圧トリガー 0.1 cmH₂O, フロートリガー 1 LPM
ベースフロー 20 LPM ではオートトリガーとなった。
- ⋯■ WOB : p0.1/f2 : 圧トリガー 0.1 cmH₂O, フロートリガー 2 LPM

駆動ベンチレータのフローが 40 LPM の時には、フロートリガーを併用した場合よりも圧トリガーのみの方が呼吸仕事量が小さかった。駆動ベンチレータのフローが 90 LPM の時には、フロートリガーを組み合わせた方が圧トリガーのみの場合よりも呼吸仕事量は小さかった。

考 察

本研究では、駆動用ベンチレータと二連モデル肺を用いて陰圧を発生させ自発呼吸をシミュレートする肺モデルを用いた。このモデルの利点として、任意の条件設定が可能で、また動物やヒトを用いた研究と異なり再現性がきわめて高いためデータに偏差がほとんどなく任意の設定について毎回同じデータが得られることである。

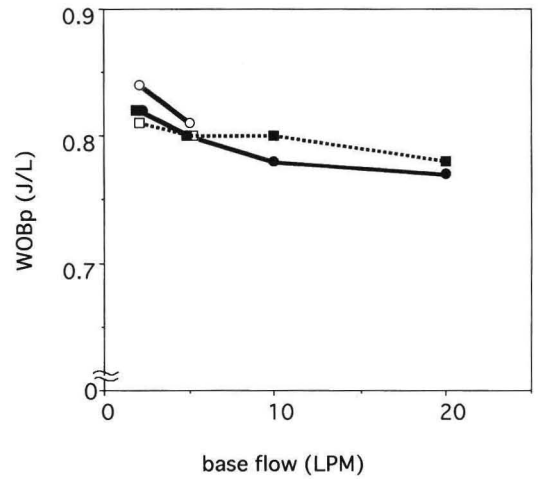


図4 患者吸気流速 90 LPM, 吸気時間 0.1 秒の時の患者呼吸仕事量

- WOB : p5/f1 : 圧トリガー 5 cmH₂O, フロートリガー 1 LPM
ベースフロー 10 および 20 LPM ではオートトリガーとなった。
- WOB : p5/f2 : 圧トリガー 5 cmH₂O, フロートリガー 2 LPM
- ⋯□ WOB : p0.1/f1 : 圧トリガー 0.1 cmH₂O, フロートリガー 1 LPM
ベースフロー 10 および 20 LPM ではオートトリガーとなった。
- ⋯■ WOB : p0.1/f2 : 圧トリガー 0.1 cmH₂O, フロートリガー 2 LPM

肺モデルの設定についてであるが、今回われわれは、患者の吸気フローとして正常な吸気努力時のフローである 40 LPM とかなり強い吸気努力時のフローである 90 LPM を用いた。肺コンプライアンスは 0.02 l/cmH₂O とかなり病的なものに設定した。呼吸抵抗は今回は 5 cmH₂O・sec/l と正常なものを選択したがもちろん病的なものに設定することも可能である。いずれにせよこの肺モデルを用いた設定ではこれらの組合せは無制限とっていいほどありそのすべてを網羅することは不可能であるが、今回はこのような設定で行った。

PB 7200 a を使用して、気管内挿管された患者で CPAP を用いた場合には、患者の吸気仕事量

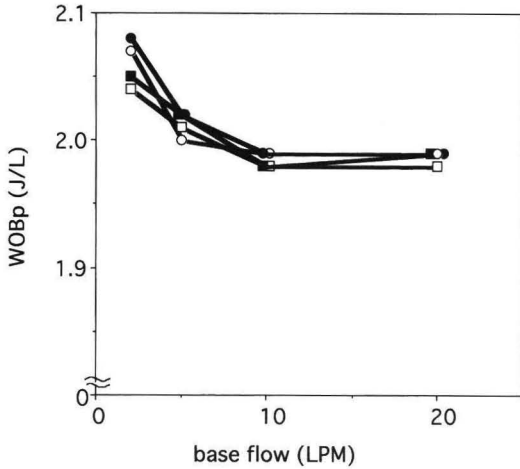


図5 患者吸気流速 90 LPM, 吸気時間 0.5 秒の時の患者呼吸仕事量

- WOB : p5/f1 : 圧トリガー 5 cmH₂O, フロートリガー 1 LPM
- WOB : p5/f2 : 圧トリガー 5 cmH₂O, フロートリガー 2 LPM
- WOB : p0.1/f1 : 圧トリガー 0.1 cmH₂O, フロートリガー 1 LPM
- WOB : p0.1/f2 : 圧トリガー 0.1 cmH₂O, フロートリガー 2 LPM

は圧トリガーよりもフロートリガーの方が有意に少ないという報告がある²⁾。今回、Bear 1000™ を使用して PSV を用いた結果では、吸気時間 0.1 秒の時、駆動ベンチレータのフローが 40 LPM では圧トリガーのみの方がフロートリガーを組み合わせるよりも WOBp が小さかった。逆に駆動ベンチレータのフローが 90 LPM の時には圧トリガーのみの時よりもフロートリガーを組み合わせたほうが WOBp が小さかった。しかしながらその差は小数点以下 2 桁であるため臨床で問題になるほど有意の差とは思われず、臨床で使用するときにはプレッシャーサポート時のトリガーの選択として、圧トリガーにフロートリガーを組み合わせると患者の吸気流速が速い場合（すなわち努力性吸気の場合）にもそうでない場合にも呼吸仕事量は小さくてすむということが示唆される。

今回の研究では「吸気開始初期の仕事量」を測定するために、吸気時間を 0.1 および 0.5 秒に設

定した。これは以下に述べるような理由による。トリガーされるまでの吸気努力を評価しようとするれば、吸気努力が開始されてから（このモデルでは気道内圧が陰圧になってから）ベンチレータがフローを開始するまでの呼吸仕事量、あるいは pressure time product (PTP) を測定すればよいことになる。しかし実際の臨床で PSV 時の患者の呼吸パターンを見ていると、「吸気開始初期の仕事量」はこの time delay とベンチレータのトリガー感度とともにベンチレータの出す初期フロー流速の多寡にも大きく影響されているように見える。測定時間を 0.1 秒としたのはこの両者から規定される呼吸開始時の呼吸仕事量を測定したいがためである。0.5 秒間の呼吸仕事量を測定したのは、それに引き続く呼吸の中で初期の呼吸仕事量がどの程度の比重を持っているか、またトリガー、ベースフローなどのベンチレータの設定がそれにどのような影響を及ぼすかを調べるためである。今回、駆動ベンチレータの吸気時間を 0.1 秒としたときには、患者吸気フロー 40 LPM 時の圧トリガー 0.1 cmH₂O・フロートリガー 2 LPM の組合せを除いて、ベースフロー 10 LPM 以上では呼吸仕事量の減少がみられた。一方、駆動ベンチレータの吸気時間を 0.5 秒としたときには、患者吸気フロー 40 LPM 時の圧トリガー 0.1 cmH₂O・フロートリガー 2 LPM の組合せを除いて、ベースフロー 10 LPM 以上では呼吸仕事量の減少はみられなかった。このことは、呼吸開始 0.1 秒までの仕事量はベースフローを増加させると減少するが、それ以後の仕事量に関してはベースフローを増加させても、10 LPM 以上ではあまり呼吸仕事量の減少に寄与しないことを示している。Mancebo らは、フロートリガー使用時に CPAP でベースフローの量について急性呼吸不全の患者で検討した研究では、10 LPM のほうが 20 LPM の時よりも吸気仕事量が増加したと報告している³⁾。今回の研究ではベースフローを増加させることにより吸気呼吸仕事量は減少する傾向を認めたが、Mancebo らの報告との違いはわれわれは PSV を用いているためかもしれない。このことから、臨床で Bear 1000™ で PSV 下にフロートリガーを使用する場合にはベースフローは 5～10

LPM を用いれば呼吸仕事を減らすことができることが示唆される。

モデル肺を用いて Bear 1000™ のプレッシャーサポートモードでのフロートリガー使用時の呼吸仕事量について調べた。フロートリガー 1 または 2 LPM でベースフロー 5~10 LPM の設定で呼吸仕事を少なくできることが示唆された。

文 献

- 1) MacIntyre NR, Gropper C, Westfall T : Combining pressure-limiting and volume-cycling features in a patient-interactive mechanical breath. *Crit Care Med* 22 : 353-357, 1994
 - 2) Sassoon CSH, Lodia R, Rheeman CH, et al : Inspiratory muscle work of breathing during Flow-By, Demand-Flow and Continuous-Flow systems in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 145 : 1219-1222, 1992
 - 3) Mancebo J, Valleverdu I, Bak E et al : Effects on the work of breathing (WOB) of different CPAP system during weaning from mechanical ventilation (Abstract). *Am Rev Respir Dis* 147 : A 876, 1993
-