

〔一般演題〕

口元の呼吸流量に合わせて回路内流量を制御した CPAP システムの開発

— 気道内圧の変動が少ない新しい CPAP 法 —

明 石 学* 坂 中 清 彦** 山 本 康 裕*
坪 井 博* 野 口 宏* 佐 美 好 昭*

はじめに

定常流型の CPAP では、吸気時には気道内圧の低下がみられ、呼気時には定常流に呼気ガスが加わるため、気道内圧の上昇がみられる。われわれはこの気道内圧の変動幅を少なくするために、口元の呼吸流量に合わせて、回路内流量を制御する CPAP システムを試作し、本システムを用いた流量制御 CPAP 法 (Flow Regulated CPAP : FR-CPAP) を考案した。本研究ではモデル肺と健康成人で、FR-CPAP と従来の各 CPAP モードにおいて、口元の圧-容量曲線を記録し、これらを比較検討した。

FR-CPAP システム (図 1)

口元に日本光電社製の差圧型流量計 (TV-132 T, TP 602 T, TR-601) を装着し、この流量信号を日本電気社製のパーソナルコンピュータ (PC 9801 VX) に入力し、アサヒエンタープライズ社製電磁レギュレータ (631 FW) により、20

msec ごとに回路内流量を制御した。加湿器を組み込み、マッシュルーム型の CPAP 弁を用いた。なお回路内流量は最大 120 l/分得られた。

定常流量の設定はキーボードから行い、さらに吸気時に定常流量に加算する流量として患者の吸気流量に乘じる係数と、呼気時に定常流から減算する流量として呼気流量に乘じる係数を入力する。今回用いた FR-CPAP では、口元の流量がゼロの時は、定常流として 30 l/分の流量が流れるように設定し、吸気時には吸気流量と同じガス流量を定常流に加え、呼気時には呼気流量と同じガス流量を定常流から減ずるように設定した。また従来の定常流型の CPAP のモデルとして本システムを用いたが、流量制御は行わず、30 l/分の定常流のみ流すように設定した。

方 法

モデル肺として、自発呼吸可能な五十嵐医科製人工呼吸練習機 T-3 を用いた。1 回換気量 400 ml、呼吸数 20 回/分とした。健康成人では鼻口

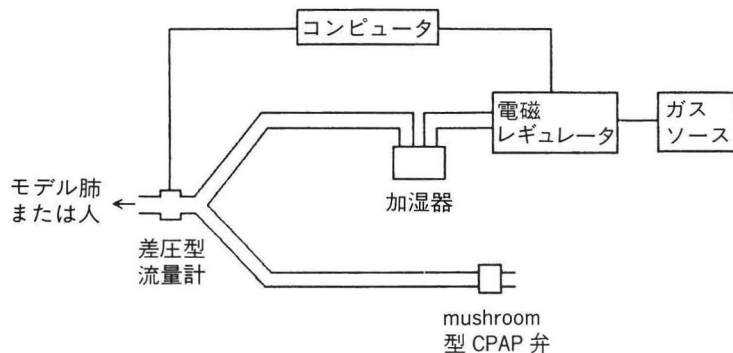


図 1 FR-CPAP システムの構成

* 愛知医科大学麻酔・救急医学教室

** 愛知医科大学 ME 室

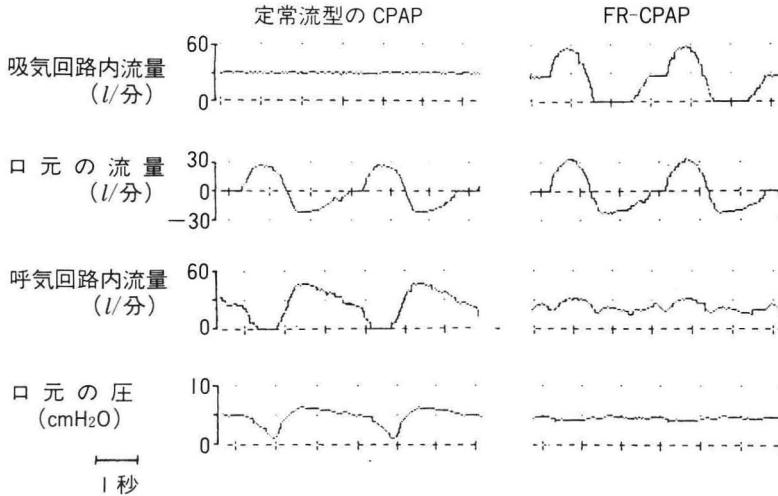


図2 定常流型のCPAPとFR-CPAPの各回路内流量の比較
モデル肺で1回換気量400 ml，呼吸回数20回/分に設定した。
リザーバーバッグは装着せず，CPAPは5 cmH₂Oとした。

をクランプし，マウスピースをくわえさせた。口元の圧—容量曲線は日本光電社製の呼吸モニター(OMR 7101)で記録した。CPAPは2または5 cmH₂Oに設定し，以下の実験を行った。

1. モデル肺で，リザーバーバッグなしの定常流型のCPAPとFR-CPAPの吸気回路内流量と呼気回路内流量を比較した。

2. モデル肺で，FR-CPAPと定常流型のCPAP，デマンド型のCPAP，flow-by方式のCPAPで圧—容量曲線を記録し比較した。なおデマンド型のCPAPのトリガー感度は-1 cmH₂O，flow-by方式のベースフローは10 l/分，フロートリガーは3 l/分とした。

3. モデル肺で，FR-CPAPの吸気時に定常流に加算するガス流量を吸気流量より多くした方法で圧—容量曲線を記録した。

4. 健康成人で，FR-CPAPと定常流型のCPAPで圧—容量曲線を記録し比較した。

5. 健康成人で，FR-CPAPの吸気時に定常流に加算するガス流量を吸気流量より多くした方法で圧—容量曲線を記録した。

結 果

1. 定常流型のCPAPにおいては吸気回路内流量は一定であったが，呼気回路内流量の変動は

著しかった。しかしFR-CPAPにおいては，吸気回路内には，30 l/分の定常流がベースにあるが，吸気時には吸気流量分が定常流に加算され，呼気時には呼気流量分が少なかった。その結果，呼気回路内流量の変動は少なかった。気道内圧の変動は定常流型のCPAPでは著明であったが，FR-CPAPではほとんどみられなかった(図2)。

2. 定常流型のCPAPではリザーバーバッグなしで気道内圧の変動幅は5.6 cmH₂Oであり，リザーバーバッグを装着すると気道内圧の変動幅は少なくなった。しかしFR-CPAPではリザーバーバッグなしでも，20 lのリザーバーバッグ装着の定常流型のCPAPより気道内圧の変動幅は少なく，圧—容量曲線は直線的に上下する波形を示した(図3)。デマンド型，flow-by方式のCPAPでは，吸気開始時の気道内圧の低下がみられ，呼気時には気道内圧の上昇がみられた(図4)。

3. 吸気時に定常流に加算する流量を吸気流量の1.5倍，2倍，2.5倍と増加させた時の圧—容量曲線は，加算する流量が増加するほど，吸気時の気道内圧の上昇がみられた(図5)。

4. 健康成人において，FR-CPAPではリザーバーバッグなしでも，20 lのリザーバーバッグ装着の定常流型のCPAPと比較して，気道内

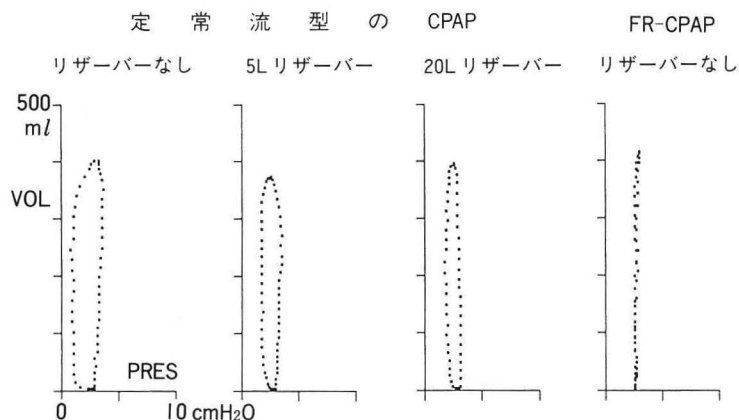


図3 定常流型のCPAPとFR-CPAPの圧-容量曲線の比較
モデル肺で1回換気量400 ml，呼吸回数20回/分に設定した。
CPAPは5 cmH₂Oとした。

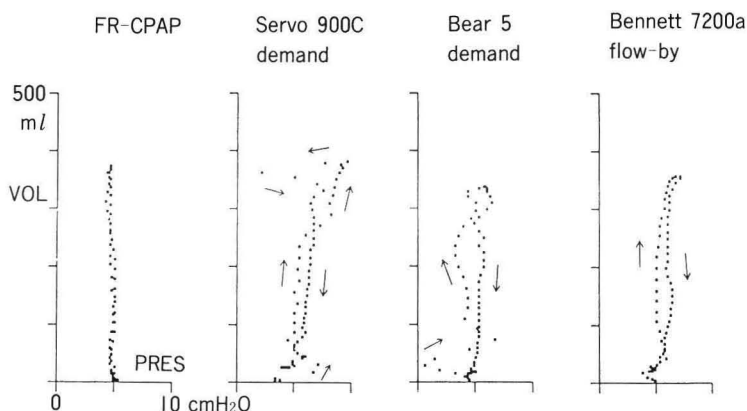


図4 FR-CPAPと各機種のCPAPモードの圧-容量曲線の比較
モデル肺で1回換気量400 ml，呼吸回数20回/分に設定した。
CPAPは5 cmH₂Oとした。

圧の変動が少なく，圧-容量曲線は直線的に上下する波形を示した（図6）。

5. 健康成人において，吸気時に加算する流量が増加するほど，吸気時の気道内圧の上昇がみられた（図7）。

考 察

理想的なCPAPとは，自然呼吸と同じように，全呼吸相で気道内圧の変動がないCPAPである¹⁾。そのためには患者が必要とする呼吸流量に等しい流量を常時供給できるCPAP装置が必要である。しかし現在使われているCPAP装置で

はこれらが満足できる理想的なものはない²⁾。

定常流型のCPAPでは，吸気時の気道内圧の低下を抑えるために，回路内に高流量のガスや大容量リザーババッグの装着等の工夫が必要である³⁾。しかしこのような工夫を行ってもある程度の気道内圧の変動はみられる。しかしFR-CPAPでは，平均30 l/分のガス流量で，しかもリザーババッグを装着しなくても，従来の定常流型のCPAPで20 lのリザーババッグ装着以上の効果が得られることが分かった。

デマンド型のCPAPでは，吸気時の気道内圧の低下，または人工呼吸器内の流量変化をトリ

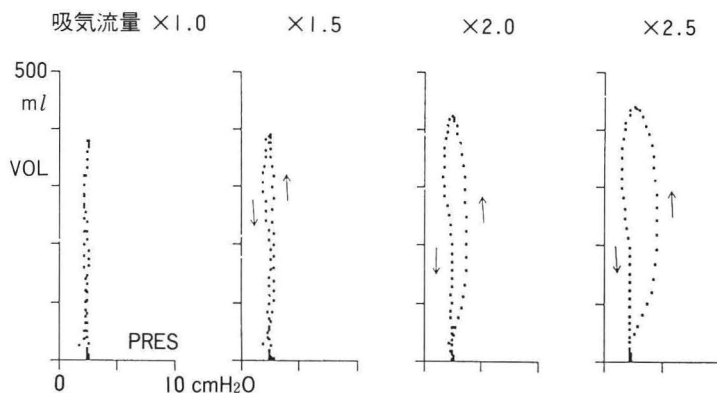


図 5 吸気時に定常流に加算する流量を吸気流量の 1.5 倍、2.0 倍、2.5 倍にした時の圧-容量曲線
モデル肺で 1 回換気量 400 ml，呼吸回数 20 回に設定した。
CPAP は 2 cmH₂O とした。

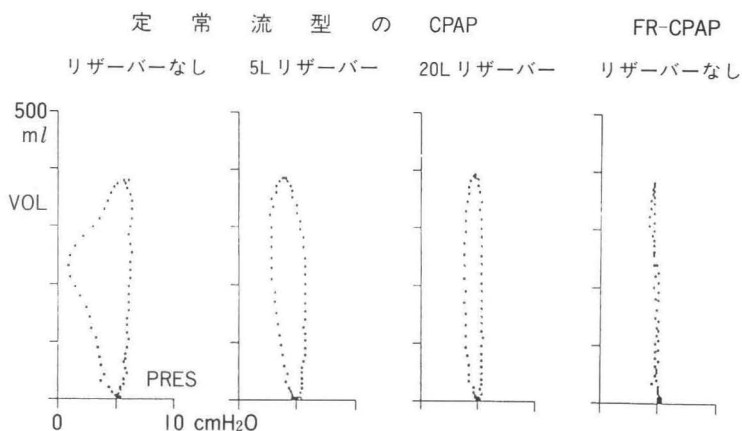


図 6 定常流型の CPAP と流量制御 CPAP の圧-容量曲線の比較
健康成人を対象とし，CPAP 2 cmH₂O とした。

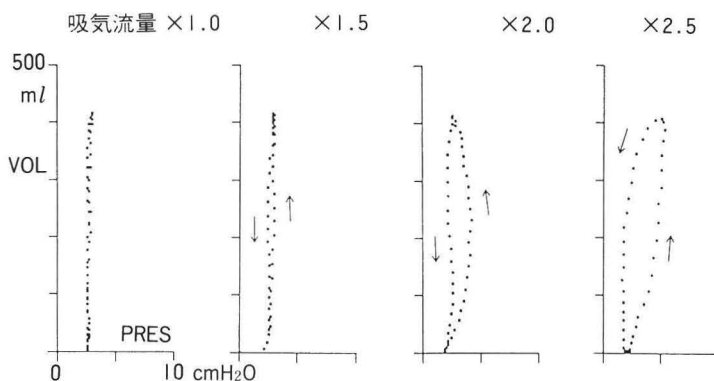


図 7 吸気時に定常流に加算する流量を吸気流量の 1.5 倍、2.0 倍、2.5 倍にした時の圧-容量曲線
健康成人を対象とし，CPAP 2 cmH₂O とした。

ガーとして、デマンド弁を開放し、回路内にガスを送気している。このため、吸気開始時の気道内圧の低下がみられる。また呼気時には呼気バルブの開放遅延や呼気弁の抵抗のため、気道内圧の上昇がみられる。本研究においてもデマド型のCPAPでは同様な結果が得られた。近年開発されたflow-by方式では呼気回路内の流量変化をトリガーにしているため、吸気開始時の気道内圧の低下が少ない⁴⁾。本研究においてもflow-by方式では吸気開始時の気道内圧の低下はデマンド型に比較して少なかった。しかし呼気時にはベースフローに起因すると思われる気道内圧の上昇がみられた。

FR-CPAPでは、吸気開始前にはすでに30 l/分の定常流が確保されており、さらに全吸気相にわたって吸気流量分だけ定常流に加算されている。呼気時には呼気流量分が定常流から減じてあるため呼気時の抵抗は少ない。その結果FR-CPAPでは、デマンド型やflow-by方式にみられる吸気開始時の気道内圧の低下はなく、呼気時の気道内圧の上昇もなく、圧-容量曲線は直線的に上下する波形を示した。

本システムで用いたマッシュルーム型のCPAP弁はthreshold resistorであるが、呼気ガスの流出口の面積が限られているので、中程度のflow resistorの作用が加わる。そのためCPAP弁を通過する流量の変化により気道内圧の変化がみられる⁵⁾。しかしFR-CPAPではCPAP弁を通過するガス流量を全呼吸相にわたってほぼ一定に保つことができ、CPAP弁などの呼気回路の影響を少なくすることからみても有用なCPAPであると思われる。

現在使用されているプレッシャーサポート換気においては、ほとんどの機種で気道内圧の低下をトリガーにしているため、吸気開始時の気道内圧の低下がみられる。しかしFR-CPAPを用いて、吸気時に定常流に加算する流量を吸気流量より増

加させることにより、吸気開始時の気道内圧の低下はなく、全吸気相にわたって、気道内圧を上昇させることができた。またこの時に記録された圧-流量曲線に囲まれた面積分、患者自身の呼吸の仕事量が軽減されたと考えられる。

このようにFR-CPAPは従来のCPAPモードと比較して気道内圧の変動幅は少なく、デマント型やflow-by方式にみられる吸気開始時の気道内圧の低下や、呼気時の気道内圧の上昇はなく、理想的なCPAPであると考えられる。また吸気時に加算する吸気流量を増加させることにより、吸気時に安定した気道内圧の上昇を得ることができた。これらのことから本方式を用いることにより、従来のモードと比較して、人工呼吸器による負荷呼吸の仕事量の少ない自発呼吸を残した呼吸管理ができることが期待される。

文 献

- 1) Gherini S, Peters RM, Virgilio RW : Mechanical work on the lungs and work of breathing with positive end-expiratory pressure and continuous positive airway pressure. *Chest* 76 : 251-26, 1979
- 2) Downs JB : Airway pressure support, In *Critical Care*. Edited by Civetta JM, Taylor RW, Kirby RR. Philadelphia, Lippincott Co, 1988 pp1151-1159
- 3) 宮野英範, 間淵則文, 早川 潔ほか : CPAP装置の各種デザインによる呼吸仕事量の比較 : *ICUとCCU* 12 : 135-144, 1988
- 4) Cox D, Tinloi SF, Farrimond JG : Investigation of the spontaneous modos of breathing of different ventilators. *Intensive Care Med* 14 : 532-537, 1988
- 5) Banner MJ, Downs JB, Kirby RR, et al : Effects of expiratory flow resistance on inspiratory work of breathing. *Chest* 93 : 795-799, 1988