

〔一般演題〕

各機種 CPAP モードにおける呼吸に及ぼす影響

— 気道内圧ならびに食道内圧の面から —

川 前 金 幸* 小 西 晃 生* 田 勢 長一郎*
藤 井 真 行* 奥 秋 晟* 蛭 田 芳 文**

近年の人工呼吸器にはマイクロコンピューターが組み込まれた高性能の機種が次々と開発され、その進歩には目を見張るものがある。今回われわれはとくに注目を集めている CPAP モードについて、最新の人工呼吸器、ならびに high flow CPAP の呼吸に及ぼす影響について比較検討を行ったので報告する。

方 法

対象は ASAI~II の術後患者。人工呼吸器としては、Servo 900 C, Bennett 7200 a, New port E-100, Bear 5, および high flow CPAP (以下 h-CPAP) を用いた。h-CPAP (図 1) とは、吸気側より、total flow 毎分 30 L を流し、5 L のリザーバーバッグを 2 個装着、呼吸側にはマッシュルー

ム型の PEEP 弁を備え、回路内圧を調節している装置であり、ジェットによるネブライザーも可能にしている。測定項目は、気管内チューブの入口部で気道内圧 (Pa), 胸腔内圧に代わるものとして食道内圧 (Pe), および換気量 (V) を測定し、さらに Pa-V curve, ならびに, Pe-V curve を描き、呼吸仕事量を求めた。測定は PEEP 0, 5, 10, 15 cmH₂O で行った。なお, Servo 900 C, 7200 a, Bear 5 の demand valve の感度はいずれも -0.5 cmH₂O とした。測定には、日本光電社製、呼吸モニター OMR 7101 を用いた。

結 果

はじめに各機種および h-CPAP での PEEP 負荷時の気道内圧の変化を図 2 に示した。すなわち

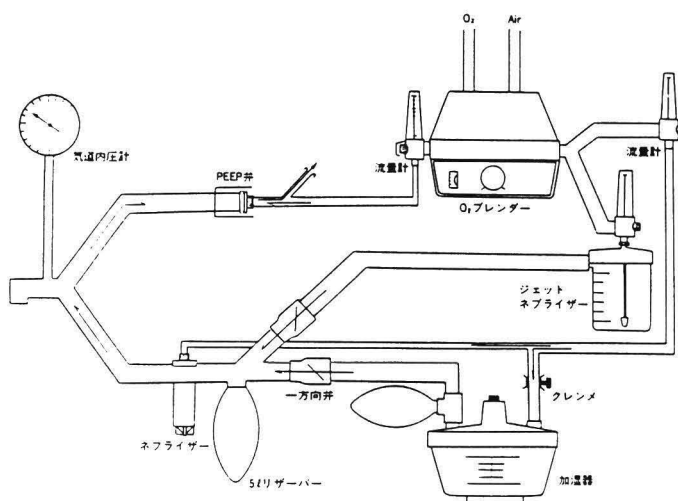


図 1 CPAP 回路図

* 福島県立医科大学麻酔科学教室

** 総合会津中央病院麻酔科

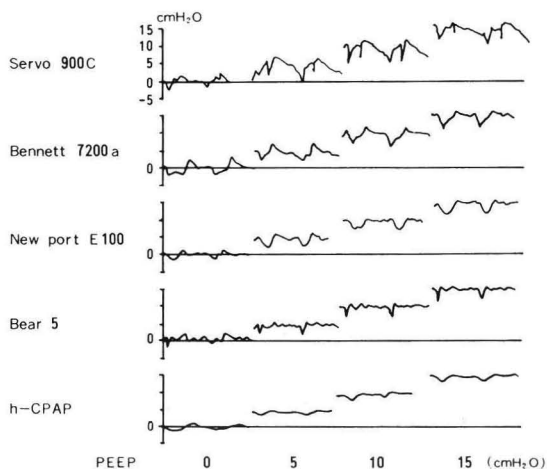


図 2 気道内圧 (Pa) の変化

左から PEEP 0, 5, 10, 15 cmH₂O の変化で、どの人工呼吸器でも、吸気時の陰圧は著明であったが、Bear 5 では他の機種に対し陰圧は軽度であった。さらに 900 C, 7200 a, Bear 5 において、吸気終末から呼気相の初期にかけて設定圧以上に陽圧となっており、とくに 900 C で著明であった。h-CPAP では、吸気時の陰圧は小さく、また設定圧以上の陽圧になることもなく気道内圧の変化はもっとも小さかった。

各 PEEP での Pa-V curve の変化をみると図 3 のごとくで、負荷呼吸仕事量を表わすと言われていた図形の面積は New Port がもっとも大きく、Servo 900 C, 7200 a でも比較的大きくなっている。Bear 5, h-CPAP では小さかった。図形の歪みを見ると Servo 900 C がもっとも大きく、h-CPAP では、縦に細長い楕円形を呈し、歪みはもっとも少なかった。

図 4 は食道内圧を測定したものであるが、Servo 900 C, 7200 a で、吸気時の陰圧は他に比較してやや大きく、New Port, Bear 5 ではやや小さく、h-CPAP ではもっとも小さかった。また各機種とも PEEP 上昇時に、基線は上昇し陰圧の程度は少なくなる傾向があった。

図 5 に Pe-V curve の変化を示したが、面積をみると 7200 a, 900 C がやや大きく、歪みのある図形となっているが、New Port, Bear 5, そして h-CPAP では、縦に細長い楕円形となっている。一方 PEEP を上昇させるといずれの機種も、面

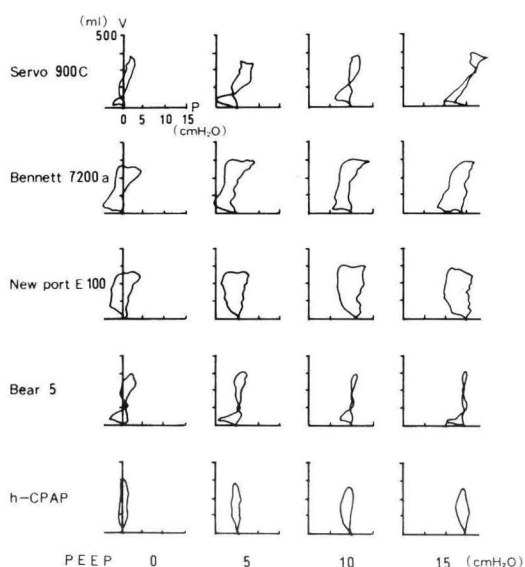


図 3 Pa-V curve

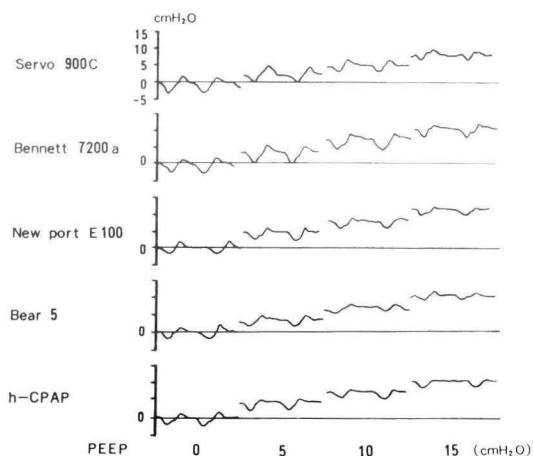


図 4 食道内圧 (Pe) の変化

積は小さくなっており、呼吸仕事量を軽減することを示している。

次に定常流を付加できる New Port E 100, Bear 5, そして h-CPAP について、定常流付加による気道内圧の変化(図 6)を検討した。New Port では、回路内に定常流が約 10 L 流れており、ここに流量計で得られる最大流量 15 L を付加し、25 L に増加させた。また Bear 5 では、回路内にパイロットガスとして常時 5 L 流れており、そこに生理的な吸気流速に近い毎分 30 L を流したものと比較した。両機種とも定常流を付加することによ

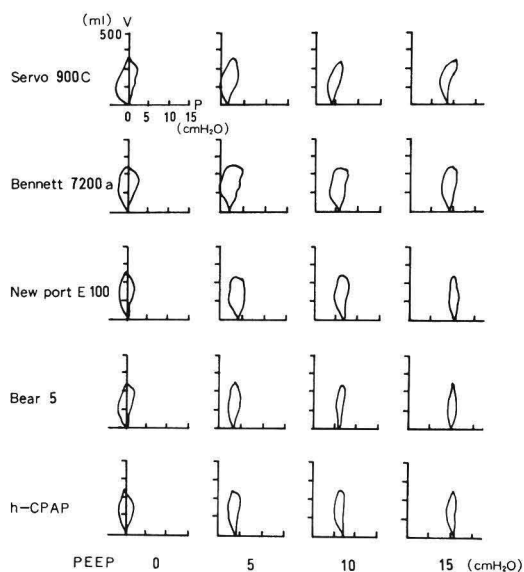


図 5 Pe-V curve

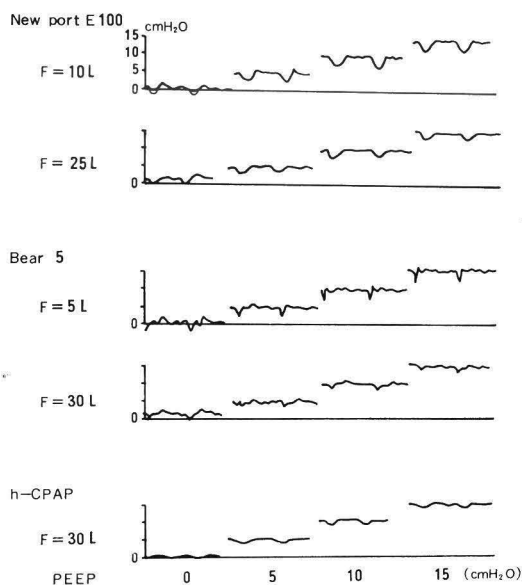


図 6 定常流付加時の Pa の変化

り、吸気時の陰圧の程度は小さくなった。本来定常流が 30 L 流れ、リザーババッグを備えている h-CPAP では、Bear 5 の 30 L に近い波形であるが、やはり吸気、呼気ともに変化はもっとも少なかった。

これを Pa-V curve の変化 (図 7) でみると、各 PEEP において定常流増加により、図形の面積は小さく、歪みも軽減された。とくに Bear 5

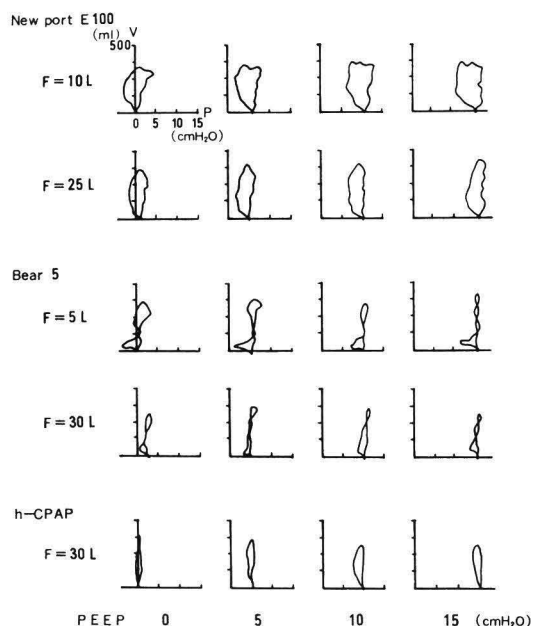


図 7 定常流付加時の Pa-V curve

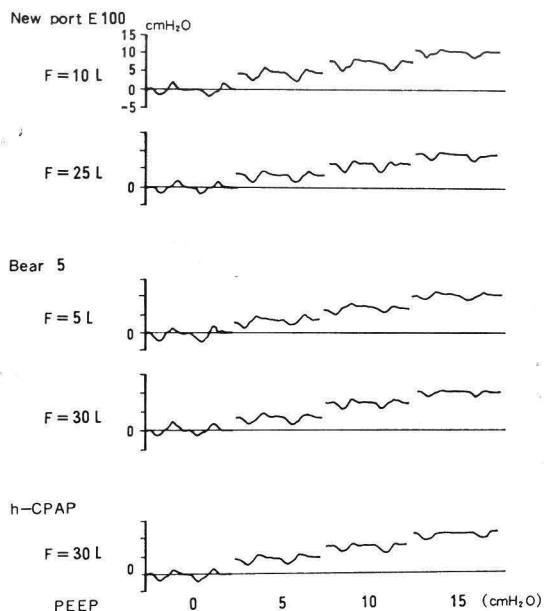


図 8 定常流付加時の Pe の変化

で 30 L 流した場合、まだ軽度の歪みは残るものの、h-CPAP に近い形となった。

同様に食道内圧の変化 (図 8) をみると、定常流を増加させた方が陰圧の程度は小さくなっている。これを Pe-V curve (図 9) として描かせると、各 PEEP において、流量の増加により、図

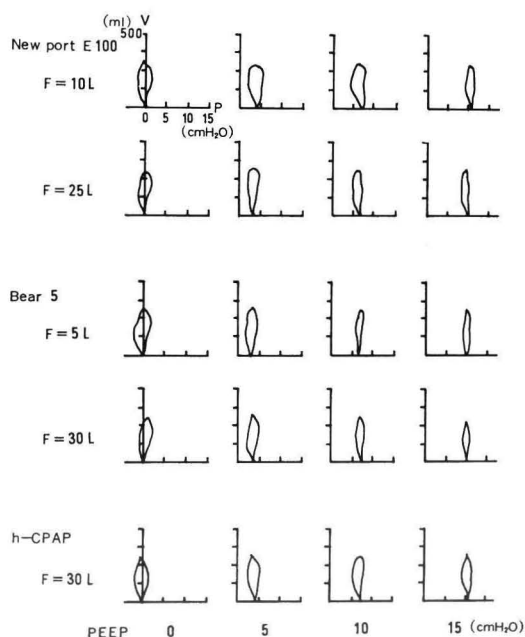


図9 定常流付加時の Pe-V curve

形の面積は小さく、歪みも消失しており、呼吸仕事量を減少させ、呼吸困難感を軽減させていると思われた。

考 察

各機種における Pa (気道内圧) の変化、および Pa-V curve の相違は、人工呼吸器の性能をみるための指標としての報告は多い^{1)~3)}。これは患者が楽に呼吸ができるかどうかの度合を示すばかりでなく、吸気弁、呼気弁、ガス供給の制御性能について検討するための手段として有用であり、また実際の換気条件を設定する際、demand Valve の感度、PEEP、定常流の設定値の影響を受け、適切な条件かどうか確認するに良い指標となる¹⁾³⁾。

本臨床実験では、demand type の Servo 900 C, 7200 a, constant flow type の New Port, h-CPAP, 両者を兼ねた Bear 5 について検討した。demand type の場合、吸気仕事量増大の因子となっている吸気時の陰圧の大きさは感度の程度、demand valve 解放遅延時間の長さ、そして陰圧に追従するガス供給能によると思われる⁴⁾⁵⁾。例えば Servo 900 C のように呼気弁解放遅延時間が

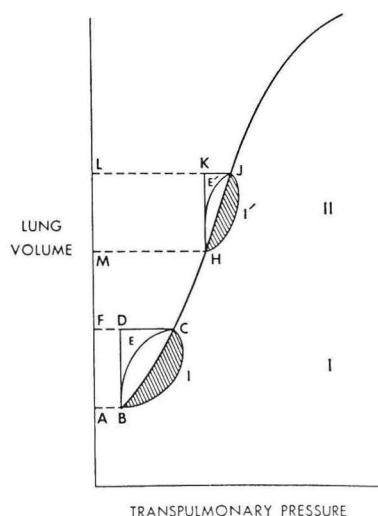


図10 Elastic pressure-volume curve

I. No CPAP breathing

II. CPAP breathing

(Katz JA, et al : Inspiratory work with and without continuous positive air way pressure in patients with acute respiratory failure. Anesthesiology 63 (5) : 98-607, 1985 より引用)

他に比して長く、さらに呼気弁の断面積が小さいなど、呼吸抵抗が大きいいため、呼気に設定圧以上の圧がかかってしまうため Pa-V curve は歪むこととなる⁵⁾。また、7200 a では吸気の設定圧を、PEEP から感度圧を引いたところとしているため、吸気時の給供様式に問題がある。呼吸困難感には Pa-V curve の面積の大きさ、吸気はじまりの trigger 部分、呼気のはじまりの3点に起因するといわれており、demand type のものにはまだ改善の余地がある。constant flow type の場合、New Port は定量流が 10 L と少なく吸気時の陰圧には十分追従し得ない。しかし、流量を増大させたり、あるいは、備え付けのリザーバーの容量を大きくすることで、患者の吸気流速に近い流速を得ることは可能である。Bear 5 は demand type でありながら定量流を 40 L/分まで流すことのできる最新の機種の中ではもっとも h-CPAP に近い CPAP モードを有している。

口元で測定される Pa の変化は機種の特性による影響が大きく、Pa-V curve は機種が患者に負

荷する仕事量の指標にはなるが、患者の仕事量は表現されていない。そこで患者自身の実際の呼吸仕事量を胸腔内圧と換気量から求めることを考え、胸腔内圧の代用として食道内圧を測定した。食道内圧の測定には熟練を要すと言われているが⁶⁾、食道内圧測定用バルーン（長さ 10 cm, 直径 35 mm, カテーテルの先端約 1 cm に接着剤で固定したもの）を用い、バルーン全体が噴門部から 1 cm 上方の胸腔内食道に位置するように設定し、バルーンの容量を 0.5 ml とすることにより、会得すれば比較的簡単に行うことができる。臥位での測定には問題があると言われているが⁷⁾、同一患者で同一条件のもとに臥位で経時的に測定し比較検討することは可能であり、Katz ら⁸⁾も同様の方法で測定を行っている。

食道内圧の変化は、気道内圧の変化とほぼ相関があるとみてよい。つまり ΔPa の小さいものほど ΔPe は小さい傾向があった。 $Pe-V$ は $Pa-V$ のような歪みや変形は少なく、各機種間において同様な形の図形となっている。しかし図形の面積は機種により異なっており、やはり constant flow を増加させた機種、そして十分吸気の陰圧に追従している h-CPAP でもっとも少なかった。さらに興味のあることには、いずれの機種も PEEP を増加させると、 Pe の陰圧の程度は減少し、実際の呼吸仕事量は減少していた。これは図 10 の静的圧量曲線で説明される^{8)~10)}。I の CPAP をかけない場合、呼吸仕事量は、P-V curve の対角線の ABCDF（弾性仕事量）と右の円弧 BIC（抵抗仕事量）の和 ABICDF となる。なお ABDF は、胸郭によりすでになされている弾性仕事量である。CPAP を行って陽圧レベルを II へ移行させると、CPAP 装置が HKLM の弾性仕事量をバックアップし、等量の V_T でも弾性仕事量と抵抗仕事量は減少するため呼吸仕事量は HIJK のように減少する。

以上よりコンプライアンスが低下し、吸気努力の強い患者において、PEEP を増加させ、 ΔPe を小さくすることで、呼吸仕事量の軽減を図り、自然呼吸と同じように、口元部での吸気呼気の圧差 ΔPa をできる限り小さくすることが大切である。

結 語

1. 各種人工呼吸器による CPAP モードでは、気道内圧の変化、食道内圧の変化、および呼吸仕事量は大きかった。これらの負荷を軽減するためには、定常流の付加が有効であった。2. h-CPAP では、患者の呼吸にきわめて良く追従し、気道内圧の変化、食道内圧の変化および呼吸仕事量はともに小さかった。3. 各機種において、PEEP を上昇させるにつれて、呼吸仕事量は軽減した。

文 献

- 1) 窪田達也：成人用人工呼吸器の最近の進歩第四世代の人工呼吸について。臨床呼吸生理 19：83-91, 1987
- 2) 岡崎 薫, 沼田克雄：各種人工呼吸器の CPAP mode と呼吸困難感。人工呼吸 1：68-73, 1984
- 3) 小野寺文雄, 窪田達也, 清水禮壽：圧量曲線の図形的解析による人工呼吸器の特性について。人工呼吸 4：69-74, 1987
- 4) 早川 準, 磨田 裕, 山口 修ほか：デマンドバルブのタイムラグ（時間遅れ）と呼吸変化。ICU と CCU 11：757-763, 1987
- 5) 磨田 裕, 山口 修, 大塚将秀ほか：各種人工呼吸の特性と問題点、特に自発呼吸モードについて。臨床呼吸生理 19：93-99, 1984
- 6) 金野公朗：食道内圧の測り方。呼吸と循環 14：139-141, 1966
- 7) 菊池喜博：換気力学（2）食道内圧法による肺コンプライアンスと抵抗の求め方。呼吸と循環 17：485-493, 1969
- 8) Katz JA, Marks JD：Inspiratory work with and without continuous positive air way pressure in patients with acute respiratory failure. Anesthesiology 63 (5)：98-607, 1985
- 9) 宮野英範：CPAP の再評価。臨床麻酔 12：561-574, 1988
- 10) 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 76：251-256, 1979