

〔ミニパネル：機械的人工呼吸法の見直し再評価〕

③ PEEP と CPAP

司会者のまとめ

岡 田 和 夫*

呼吸管理の再評価という点から、この2つのモードに関し興味ある発表と討論がなされた。名市大の宮野氏は CPAP の意義、適応、問題点などについて豊富な経験に基づいて発表した。PEEP による気道内圧上昇による肺損傷、循環動態への悪影響が防げて、自発呼吸を残して呼吸仕事量が軽減でき、健常肺の過伸展も防げるなどを特長としてあげた。CPAP の実施法には continuous flow 方式と demand flow 方式とあり、前者は高流量が必要なのが欠点だが、後者では呼吸仕事量の増大を招き結局 CPAP が失敗することを示した。

呼吸気の圧変動を 2 cm 水柱の範囲におさえることが大切で、市販の CPAP 装置ではこれ以上の圧変動がくることに注意を換起して、独自の工夫の装置を紹介した。太いチューブ・サイズが必要で流量、リザーバー、呼気弁の組合せを充分考えることを強調した。CPAP の圧は 20~30 cm

水柱まで安全で、 Pao_2 の上昇とともに $Paco_2$ が低下するし、呼吸仕事量の軽減が自発呼吸下で達成できることなど興味ある発表であった。

福井医大の高橋氏は PEEP についての発表を行った。PEEP の功罪についてみたが、FRC が PEEP 1 cm 每に 90ml 上昇しても肺シャント率、 $\dot{V}o_2$ 、 $\dot{V}co_2$ が変らぬので健常肺を過膨張させるが病的肺の伸展はさほどではないかとコメントした。CPAP と PEEP はどんな時に使い分けするか、 CO_2 排泄を増やすためか O_2 摂取を増やすためかについての問題提起になる症例を示した。その後活発な討論があったが demand 方式でもすべてが悪いとは限らないし、加湿器などに工夫を加えた独自の CPAP 方式を確立したとの意見が岡山大、市立岡崎病院から出された。肺を休ませる方式 (ECMO) と積極的に肺換気を行う方式 (APRV) の二方向があるが、CPAP は前者であり PEEP は後者であって目ざす点は必ずしも同じでないのが理解できたような気がした。

* 帝京大学医学部麻酔科

CPAP の見直しと再評価

宮 野 英 範*

CPAP の利点

CPAP は自発呼吸を残したまま行うために、

気道内圧や胸腔内圧が低く抑えられる。このため持続陽圧呼吸の各種モードのなかでもっとも安全でもっとも生理的であることは論を待たない。CPAP と他のモード (IMV や CPPV) と比較した優劣論議がしばしば行われるが、こういった論

* 名古屋市立大学 ICU

議さえが元来が存在しないはずである。何故ならば、他のモードを選択したとしてもウィーニングの過程を経て、CPAP という自然なモードに回復せしめるのが呼吸管理の最終ゴールであるからである。したがって CPAP で済ましうるなら、それに勝るモードがないのは理の当然である。

正しい CPAP のかけ方

1) CPAP の圧波形と呼吸仕事量

CPAP は用語通りに解釈すれば、自発呼吸の上で呼吸の全サイクルで持続陽圧を維持するモードである。しかし CPAP を設定した場合、吸気時の圧低下 (ΔP) がほとんどない方式から、大気圧近くまで低下して EPAP (expiratory positive airway pressure) に近い方式までを、すべて CPAP と呼称することの非を強調しなければならない。この二者は呼吸仕事量において格段の差があり、 ΔP を 2 cmH₂O 以内に抑えうるかが CPAP の成否である。このような正しい CPAP では呼吸仕事量を減少する。

ΔP の大きい CPAP は、自発呼吸を残したというだけの意味はあっても、呼吸予備能の少ない患者にさらに負荷をかけ耐えられない。正しい方式で行えば重症呼吸不全例でも 20 cmH₂O という高い CPAP によく耐え、患者はむしろ楽になり呼吸数も減少する。

CPAP の二方式

CPAP のガス供給方法は、continuous flow 方式と demand flow 方式に大別され、前者は回路内に持続的に定流量ガスを供給するのに対し、後者は患者の吸気によってトリガーされて高流量ガスが設定圧まで供給される方式であり、それぞれに得失がある。

1) Demand Flow 方式

流失ガスが少なく経済的であり、装置もコンパクトにでき、換気量モニターも可能であるなどの利点がある。このためほとんどの人工呼吸器機種で本方式が採用されているが、continuous flow 方式に比し呼吸仕事量を増大しやすいという欠点がある。この原因として、デマンド感度の不良、応答時間の遅延 (time-delay)、ガス流量不足、回

路や PEEP 弁の抵抗などの構造上の欠陥があげられる。

このため CPAP に設定すると ΔP は大きく、吸気圧が低下するのみならず流量抵抗の大きい PEEP 弁によって呼気圧も上昇し、 ΔP が 20~25 cmH₂O におよぶ機種さえある。

最近の機種は改良されつつあるとはいえ、良好な continuous flow 方式と比較すればいまだしの観がある。最近の人工呼吸器の CPAP モードでは、吸気圧低下を防ぐために高流量の demand flow をトリガーして吸気後半に pressure support 気味になる機種もある。加湿器を含めた人工呼吸用の回路をそのまま自発呼吸の CPAP に使用する限り、回路抵抗に打ち勝つ必要があるため、pressure support はデマンド機種が採らざるを得ない、あるいは帰結すべき様式とみなしてよい。

これらの新機種の CPAP 良否判定は今後の課題であるが、トリガー感度や応答時間に関する問題は依然として残る。また、高流量ガスの送気のために PEEP 弁による呼気仕事量の増大をみる機種もある。吸気後半の overshoot の程度によっては補助呼吸に近似するため、抜管の時期を誤る恐れがないとはいえない。

2) Continuous flow 方式

今まで continuous flow 方式の CPAP 装置には理論的根拠に基づいた統一規格はなく、各施設ごとの様々な、いわゆる自家製 CPAP (home-made CPAP) が使用されているのが現状である。これらの装置デザインが多種多様であることは、これまでの本方式が細部の構造について検討されないまま臨床使用されていたことの証左にほかならない。

人工呼吸や麻酔回路の感覚を、そのまま自発呼吸の CPAP に持ち込むことに無理があったといえる。

以下のように、一見してさしたる影響がないようにも映る各箇所に難点がある。各箇所を単独に取り上げた場合には、わずかな仕事量によって克服できる程度の障害であっても、システム全体となると呼吸予備力の少ない患者には耐えられないほど大きくなる。

① ガス流量

送気されるガス流量が患者のピーク流量を下回ると、吸気時の ΔP が大となり呼吸仕事量が増える。健康人では吸気のピーク流量は分時換気量の4倍とされ、25~30 l/minの流量を必要とするが、呼吸不全例ではしばしば60~70 l/minにおよび、時に200 l/minにも達することがある。このような高流量ガスを回路内に連続的に送気することは、不経済であるうえに加湿器の性能限界を越えるため、大人用 CPAP ではリザーバーなしでは事実上無理といえる。

② リザーバー

5 l の麻酔用バッグをリザーバーとして回路に組込むだけで ΔP は著しく低下する。リザーバーは単なるガス貯留部でなく、その弾性によって吸気時にガスを押し込むようにして働くことが望ましい。この目的で重りのついた bellow を用いたり、バッグを2枚のプレートに挟んで重量をかけるなどの工夫がされている。コンプライアンスの高い容量の大きい 20 l 程度のバッグを用いるだけで目的は達せられ、送気ガス量が少なくて済み、 ΔP も小さい。

③ 加湿器

人工呼吸中には器械の仕事により加湿器を通過せしめるので抵抗にならないが、CPAP ではこの抵抗に打勝って吸入しなければならない。一般に普及しているカスケード型加湿器は、加温水中に浸漬した円筒の細孔から器内にガスを放出する様式であり、細孔や水面レベルが抵抗となる。このため、頻呼吸例にみられる 120 l/min相当のピーク量では、圧低下は実に 11 cmH₂O にも達する。加湿器抵抗を避けるためには、リサーバーを加湿器の下流に装着することが勧められる。

④ 一方向弁

再呼吸を防止するための一方向弁も回路抵抗の一因となる。呼吸回路の湿潤に伴って一方向弁の作動がさらに悪くなる恐れもあり、本弁は組込まずに valveless 回路とするのがよい。本弁の除去により一部の呼気が再呼吸されるが、分時換気量以上の送気量であれば実施上の問題はない。

⑤ 気管チューブ

CPAP 装置に含まれないが、回路の一部をなしている。人工呼吸ならばチューブの抵抗に打勝つ

て強制送気されるので細めのサイズでもよいが、CPAP では重大な問題となる。内径 8 mm のチューブでは 30, 60 l/minのピーク流量で、それぞれ 3.7, 6.1 cmH₂O/l/sec の抵抗となるが、CPAP 回路の総抵抗は 4.0 cmH₂O/l/sec に抑えるべきといわれることから、いかにチューブ抵抗が大きいかが分かる。7.0~7.5 mm の細めの気管チューブは経鼻挿管で多用される点を考慮すると、経口か経鼻かの選択が CPAP の成否に大いに関与してくれる。

⑥ PEEP 弁

PEEP 弁は、設定した PEEP レベルを越えると呼気が抜ける threshold resistor 方式が主として使用されている。threshold resistor と呼称する限りは、閾値圧以上では呼気が抵抗なく容易に排出されるべきであるが、実際には各種の PEEP 弁で満足なものは少なく、CPAP の呼気時にも呼吸仕事量が増加する一因となっている。もっとも良いのは PEEP 導入初期に汎用されていた水中弁であるが騒音が難点である。

リザーバーを加湿器後の回路に組めば、リザーバーが呼気圧を吸収し緩衝作用をなすため、PEEP 弁の良否にかかわらず弁抵抗は無視できるほど小となる。一方向弁を装着すると一方通行にこれができず、この点からも同弁は除去したほうがよい。

CPAP の適応

肺内シャント (Qs/Qt) 増加に起因する Pao₂ 低下例で、自発呼吸を有する場合はほとんど適応となる。具体的には、Qs/Qt 20% 以上あるいは純酸素下で Pao₂ 300 mmHg 以下の酸素化障害があり、換気能力として VT, VC が体重当たりそれぞれ 5 ml, 10 ml 以上、Paco₂ 45 mmHg 以下が適応の目安となろう。

CPAP によって Paco₂ が 55~60 mmHg あたりまで上昇しても、頻呼吸、頻脈、血圧上昇、努力呼吸、発汗などの症状がなければ人工呼吸に移行する必要はない。CPAP は循環への影響が少ないので設定圧を 10 cmH₂O ごとに上げても支障なく、CPAP レベル 20 cmH₂O でもよく耐え、一時的に 30 cmH₂O とすることも差しつかえない。

CPAP の施行上のコツとして、 ΔP を小さくした装置を使用することのほかに、虚脱部が再開通してコンプライアンスが上昇するか否かが呼吸仕事量に大いに関与している(図1)。このため、定期的に用手加圧を行い肺拡張を図ることが重要ポ

イントとなる。進行した ARDS では CPAP 施行が困難な理由は、線維化のために拡張可能な肺面積がすでに失われ、コンプライアンス上昇が期待できないことによる。

PEEP と CPAP

高橋 光太郎*

PEEP, CPAP はいずれも FRC を増加させることによる肺酸素化機能の改善を目的としている。

まず最初に、急性呼吸不全で人工呼吸中の5例を対象に、終末呼気圧を段階的に 10 cmH₂O まで上昇させていった場合の FRC の変化を検討した。終末呼気圧の上昇に伴い FRC は有意に漸増し、1 cmH₂Oあたり約 90 ml の増加がみられた。同時に測定した Pao_2 は上昇、 Qs/Qt は低下する傾向にあったが、有意の変化は得られなかつた。症例によっては FRC の増加にもかかわらず Pao_2 、 Qs/Qt はほとんど変化しなかつた。これは、健常部分のみ過膨張し、無気肺部分の再膨張が得られなかつたためと思われる。このような場合、健常部分の血流が肺内圧の上昇に伴って無気肺部分に shift し、かえってシャント量を増加させることも考えられる。これが PEEP の問題点でもあり、限界ともいえよう。片側肺疾患患者に対して、かかる事態を避けるために、selective PEEP が試みられている。われわれも左上葉肺水腫および右下葉肺炎の2症例に、selective PEEP による分離肺換気を行つた。吸入酸素濃度、一回換気量、呼吸数は左右同一とし、患側にのみ PEEP を施行した。これにより、両症例とも血液ガス所見、胸部X線写真に劇的な改善をみた。ところが患側肺からの酸素摂取量および炭酸ガス排出量を測定してみると、右下葉肺炎患者において、患側肺の酸素摂取量は 88 ml/min と全体の 41% であったが、

患側に 8 cmH₂O、10 cmH₂O と PEEP をかけていくと 34%、31% と減少した。同様に炭酸ガス排出量も 46% から 38%、32% と著明に減少した。このように selective PEEP は Pao_2 の著明な改善をもたらすが、患側肺のガス交換への関与は却つて減少し、ことに炭酸ガス排出量の減少が著明であった。Selective PEEP による血液ガスの改善は患側から健側への血流の shift により患側肺でのシャントの減少によるものであり、患側肺での肺胞の拡張によるものではない。一見合理的な selective PEEP も、必らずしも患側肺の病態を積極的に改善するものではないといえる。

次に集中治療部で呼吸管理を受けている6例の術後患者を対象に、同一吸入酸素濃度下に、同一終末呼気圧の PEEP および CPAP を施行、呼吸機能を両者間で比較検討した。酸素化の指標として Pao_2 、 $A-aDo_2$ 、R-index を、換気の指標として MV、 $\dot{V}A$ 、 VD/VT を測定し、あわせて $\dot{V}O_2$ も測定した。同一終末呼気圧であるから当然平均気道内圧は PEEP の方が高いにもかかわらず、 Pao_2 は PEEP と CPAP ではほとんど差がなく、 $A-aDo_2$ および R-index は PEEP 時の方がむしろ高い傾向にあった。換気効率についてみると、MV は PEEP 下で 9.7 ± 6.1 L、CPAP 下で 9.0 ± 4.5 L であったが、 $\dot{V}A$ は PEEP 下で 4.8 ± 1.3 L、CPAP 下で 5.2 ± 1.5 L とむしろ CPAP 時の方が大となり、CPAP の方が換気効率が優れていると思われた。 $\dot{V}O_2$ は PEEP 下で 197 ± 35 ml/min、CPAP 下で 214 ± 62 ml/min と、oxygen

* 福井医科大学麻酔科