

□原 著□

同期式 Airway Pressure Release Ventilation (s-APRV) 装置の試作

沢 桓* 榎田 浩史* 豊岡 秀訓* 天羽 敬祐*

ABSTRACT

A synchronized airway pressure release ventilation (s-APRV) device

Takeshi SAWA, Kosi MAKITA, Hidenori TOYOOKA and Keisuke AMAHA

*Department of Anesthesiology and Critical Care Medicine
Tokyo Medical and Dental University*

Downs et al. introduced airway pressure release ventilation (APRV) which releases PEEP periodically during CPAP to prevent hypoventilation. Since his device is time-cycling, the exhalation valve sometimes opens during inspiratory phase and a special exhalation valve with wide bore is required to release PEEP effectively. In the present study, the device was improved so that the exhalation valve opened synchronously with the start of expiratory phase of every preset respiratory interval. At the same time, constant flow was interrupted by a solenoid valve during APRV period, thereby enabling an effective release of PEEP with any exhalation valves of regular size. A flow sensor was attached between the endotracheal tube and the Y-piece and the expiratory flow signal was processed to obtain a synchronizing pulse at the beginning of every expiration. Then the pulse was introduced to a preset electronic counter and the output signal of the counter was used to control the exhalation and the solenoid valves. The device was applied to a patient who was recovering from anesthesia and a good synchronizing characteristic, effective pressure release and CO₂ elimination were achieved. Further clinical investigation is needed to prove its usefulness.

CPAPで呼吸管理を行っている患者では、自発呼吸が十分でない場合は炭酸ガスが蓄積する。これに対処するためにIMVやプレッシャーサポートなど陽圧をかけて換気を補助する方法がとられる。しかし陽圧換気に伴う合併症も多いので¹⁾⁻³⁾、それを避けるためにDownsらは、CPAPを行いながら時折PEEPを解除して肺内ガスを呼出させるAPRV (Airway Pressure Re-

lease Ventilation) を提唱した⁴⁾。Downsらの方法はtime cycle方式で、一定時間ごとに患者の呼吸サイクルとは無関係にPEEPを解除するので、吸気時にPEEPが解除される不都合を含んでいる。またDownsらの方法ではAPRV中にも定常流を流すので、呼気弁の抵抗が高いと有効な除圧ができず、そのために特殊な大口径の弁を必要とした。われわれは、これらの点について改良を行った同期式APRV装置を試作したので、その方法と性能について報告する。

装置と方法

1. 同期式 APRV 装置の回路

図 1 に試作した同期式 APRV 装置の回路を示す。酸素アウトレットに接続したホースにまず電磁弁を接続し、次に Flow Generator (Vital Signs 社の DOWNS ADJUSTABLE FI_{O_2} FLOW GENERATOR) を接続する。Flow Generator には流量と空気の取り込み量を調節するつまみがついている。Flow Generator によって調節された酸素・空気の混合ガス (定常流) は加湿器 (フィッシャーパイクル社製) を通って、T ピースにより患者に供給される。T ピースと気管内チューブとの間には流量センサー (ミナト医科学 (株) 製の熱線流量計 RM-100) を接続し、患者の吸気・呼気流量を検出する。T ピースの呼気側の蛇管の先端には PEEP 弁 (Vital Signs 社製のマスク CPAP 用 PEEP 弁) が接続され、所定の PEEP 圧を設定する。呼気回路の途中には PEEP を解除するための呼気弁が接続されてい

る。呼気弁は特注の電磁弁方式の弁で、弁口径は 20 mm である。定常流の大きさは、リザーババッグがなくても吸気時の圧変動を抑えるのに十分な流量という意味で 40 L/min 以上を流し、患者の換気量によってその大きさを調節した。

この同期式 APRV 装置は以下のような原理によって動作する。すなわち流量センサーからの呼気開始信号を制御装置に導き、制御装置内のカウンターによって所定の呼吸回数を設定すると、設定された呼吸回数ごとに、呼気の開始に同期して呼気弁が開き、同時に電磁弁が閉じて定常流が遮断される。呼気弁が開いている間は電磁弁によって定常流が遮断されるので、呼気弁の抵抗と定常流による圧の上昇がなく、特別な大口径の弁でなくても有効な圧の解除が可能となる。呼気弁が開いている時間は制御装置のタイマーによって設定した。

2. 同期信号処理プロセス

図 2 に同期式 APRV 装置用の同期信号処理プロセスを示す。流量センサーとしては、どんな原

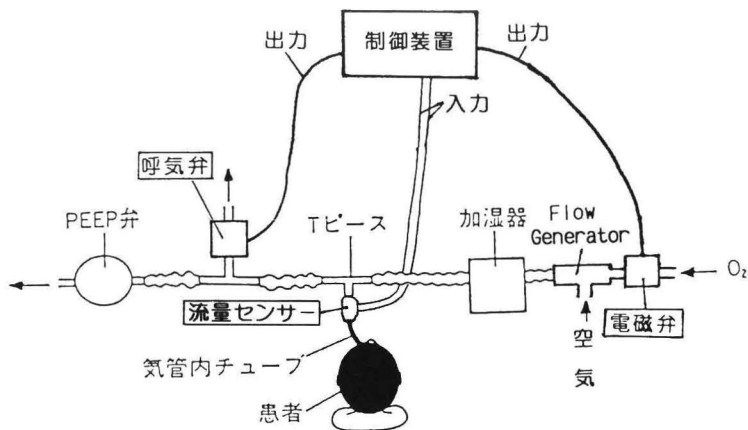


図 1 試作した同期式 APRV 装置の回路

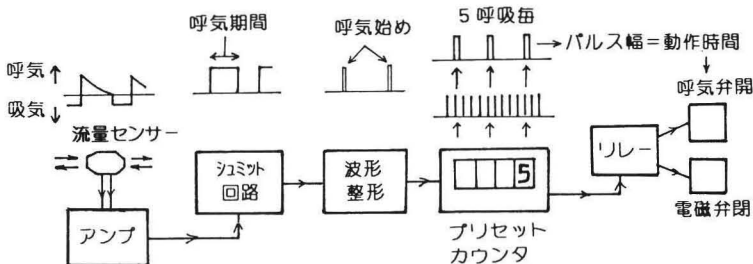


図 2 同期式 APRV 装置の同期信号処理プロセス

理のものでもよいが、できる限り小型で邪魔にならず、かつ口元での圧の解除が効果的に行われるように呼吸抵抗の低いものが望ましい。今回は前述のように熱線式流量計を用いたが、バリエブル・オリフィス型のニューモタグラフも適している。呼気開始に同期した時間遅れの少ないパルス信号を発生させるために、まず流量センサーからの流量信号を増幅してからシュミット回路に入れて矩形波に変換する(図2の上段には各部位における波形を示す)。この矩形波は波形整形回路によって微分され呼気始めに一致したパルスが得られる。次にこのパルスをプリセットカウンターに導き、カウンターで設定したカウント数(すなわち呼吸回数)ごとに出力パルスが出るようにする。図では5呼吸ごとに出力パルスが出ている場合を示す。

出力パルスはリレーを介して、呼気弁を開放し、同時に電磁弁を閉じて定常流を遮断する。出力パルスの幅を調節することによって呼気弁が開いている時間を可変できる。呼気弁の開放時間は、Downsの推奨によれば、1~1.5秒である。この時間が過ぎると呼気弁が閉じ、電磁弁が開い

て定常流が再開し、自発呼吸相(通常のCPAP)に戻る。

3. 圧の解除のしかた

肺酸化能障害の大きい患者では、PEEPをゼロにまで解除すると PaO_2 の低下が懸念される。そのような場合には図1の回路の左端に接続されている本来のPEEP弁(その設定圧を $PEEP_1$ とする)の他に、呼気弁の出口にもう一つPEEP弁を接続し、その圧を $PEEP_1$ より低い $PEEP_2$ に設定し、呼気弁開放中にも気道内圧がゼロにまで落ちないようにする。このようにすれば、回路内圧が $PEEP_1$ と $PEEP_2$ との間を上下するBIPAPを行うことができ、炭酸ガスの効果的な排出が得られるとともに PaO_2 の低下を防ぐことができる。

結果

試作した同期式APRV装置の、(1)同期性の良否、(2)圧解除が効率よく行われるか否かを調べるために、術後リカバールームにおいて、自発呼吸が出てきた患者について試用した。

図3に試用結果の一例を示す。患者は59歳、



図3 同期式APRV装置を試用した結果の一例

胆嚢摘除手術後の男性である。自発呼吸は換気回数 19 回。一回換気量は約 370 mL で、血液ガスは T ピース、酸素流量 2 L/min で PaO_2 が 190 mmHg, Paco_2 が 38 mmHg であった。この患者に図 1 に示した APRV 装置を装着して 4 呼吸ごとの同期式 APRV を行った。PEEP は 7 cmH_2O とし、定常流の大きさは 45 L/min とした。図は上から、呼気炭酸ガス分圧 (記号 Pco_2)、回路内圧 (PRES)、呼吸流量 (FLOW) および一回換気量 (VOL) の波形である。

回路内圧 (PRES) の急峻な低下によって示される呼気弁の開放は、その下段の FLOW 波形の呼気開始 (マイナス方向への立ち下がり) と非常によく同期しているのが判る。また呼気弁が開いている期間中は電磁弁にて定常流が遮断されたので圧はゼロとなっている。ただし、患者の口元の圧は、流量センサーの抵抗と患者の呼気流量とによって生ずる圧のためにゼロにならず、わずかの陽圧が残った。呼気弁の開放により大きな一回換気量 (最下段) が得られ、 Pco_2 (最上段) は低下した。次に呼気弁の閉鎖とともに回路内圧は直ちに設定 PEEP 圧 (この場合には約 7 cmH_2O) にまで急上昇し、通常の CPAP に戻った。

上記の試用例に示されるように、試作した同期式 APRV 装置の同期性は良好であり、また呼気弁が開いている間じゅう定常流を遮断したために普通サイズの呼気弁によっても効率よく圧の解除を行うことができた。

試用した他の患者についても同様の結果が得られた。

考 察

今回試作した装置の特徴は、(1) 呼気弁が必ず呼気開始に同期して呼気の時にだけ開き、吸気時に開くことはない、(2) Flow trigger なので応答が早く、かつ患者に呼吸のための努力負担をかけない、(3) 呼気弁が開いている間じゅう定常流を遮断したので、大きな定常流による圧の上昇がなく、特殊な大口径の呼気弁を用いる必要がない、(4) 呼吸流量センサーを使用するので、CPAP 中の換気量を連続モニターができ、低換気あるいは無呼吸アラームを発することができる。(5) 比較

的簡単な装置で安価である、などである。

本研究では呼気開始時にのみ同期をかけ、呼気時間は手動で患者の呼気時間に合わせるように調節した。従って患者の呼気時間が変化して呼気時間中に患者の吸気が始まると、患者は開いている呼気弁を通して室内空気を吸うことになる。この時、吸入酸素濃度が変動するが、ごく短時間のうちに高流量の定常流が再開されるので臨床上是問題とならないと考えられる。しかしもしも呼気弁開放時に PEEP がゼロになるのを防ぐために呼気弁の外にもう一つの PEEP 弁をつけたときには、室内空気を吸うことができず、患者には短い時間ではあるが吸気困難を生じさせることになる。その点を改善するためにでき得れば、呼気開始だけでなく、吸気開始も患者の吸気に同期するようにした呼気-吸気完全同期式にするほうが望ましい。図 1 に示したように患者の口元には呼吸流量センサーが接続されているのであるから、吸気の同期信号を得ることは呼気と同様に可能である。本装置の回路は流量トリガーのデマンドバルブ方式の CPAP と同じく、圧トリガー方式と異なり、吸気開始から定常流開始までの時間遅れは非常に短くなるように設計することが可能である。

解除圧を大気開放するのでなく PEEP₂ に設定するときには、患者はデマンドバルブ方式の CPAP と同じような呼気負担を感じるようになる。これを軽減するためには呼気時に定常流を完全にゼロにするのではなく、ある大きさの定常流を残すなどの工夫が考えられる。

今回試用した症例の自発呼吸回数は 15~22 回の間であったが、呼吸回数がもっと早くなっても遅れ時間なく圧の開放と定常流の再開が行われなければならない。今回用いた回路では図 2 に示すようにシュミット回路の前段にアンプを入れ、呼吸流量信号を十分に増幅することにより、呼気流量が開始してから呼気弁や電磁弁を駆動するための出力パルスが出るまでの遅れ時間が 50 ミリ秒以下になるように設定した。従って呼吸回数が 60 回になっても遅れ時間は無視できる。

図 3 の気道内圧波形は、吸気時間の非常に長い一種の inverse I : E ratio の陽圧換気波形を示

している。すなわち APRV というのは、自発呼吸にこの inverse I : E ratio の陽圧換気を重畳させた換気方式であるということが出来る。これが APRV によって換気量が増加するメカニズムであるというとらえかたも出来る。

本研究においてはまだ、同期式 APRV 装置の試作とその性能チェックを行ったに過ぎず、その臨床的な有用性については今後、多くの臨床経験を積み重ねて明らかにしてゆく必要がある。

(1992. 11. 27 受)

参考文献

- 1) Zwillich CW, Pierson DJ, Creagh CE, et al : Complication of assisted ventilation. Am J Med 57 : 161-168, 1974
 - 2) Petersen CW, Baier H : Incidence of pulmonary barotrauma in a medical ICU. Crit Care Med 11 : 67-71, 1983
 - 3) 沼田克雄, 岡崎 薫 : 呼吸管理と Iatrogenic Complication. ICU と CCU 8 : 1-7 1984
 - 4) Stock MC, Downs JB, Frolicher DA : Airway pressure release ventilation. Crit Care Med 15 : 462-466, 1987
-