



図 9 回路内圧モニター (ACOMA 社製)

リーク・アラームを回路内圧モニターとして使用している。

4) 回路内圧モニター

通常の麻酔換気と同様回路内圧をモニターすることが望ましい。ほとんどの麻酔器が回路内圧計を有しているが著者らは図に示すような low pressure alarm 兼用のものを好んで使用している。

本法の利点

主として jet 式と比較しての著者らの方法の有利な点を列挙する。

今までの麻酔法の換気回数を増しただけであるので

- 1) ハロセン、エンフルレンなど吸入麻酔薬が

使用できる。

- 2) 熱線式レスピロモニターあるいはライトレスピロメータによる呼気量計測が簡単にできる。

- 3) 半閉鎖法なので jet 方式のように完全な乾燥ガスを吸入しない。

- 4) Open system でないので気道確保が完全である。

- 5) 用手換気への切り換えが簡単。

- 6) ベンチレータの呼気口より余剰麻酔ガスの集中排除が簡単にできる。

文 献

- 1) Sjöstrand U : High-frequency positive-pressure ventilation (HFPPV); A review. Crit Care Med 8 : 345, 1980
- 2) Manabe M, Sawa T, Ikezono E, et al : Semi-closed halothane anesthesia by high frequency ventilation. Anesthesiology 57 : A463, 1982
- 3) 真鍋雅信, 熊沢光生, 沢恒ほか : 各種人工呼吸器を麻酔用ベンチレーターとして用いる方法. 臨床麻酔 7 : 17~23, 1983
- 4) Pappin JC : The current practice of endobronchial intubation. Anaesthesia 34 : 57, 1979
- 5) 井上宏司, 正津 晃, 小川純一ほか : 一側肺麻酔のための新工夫. 臨床胸部外科 2 : 402, 1982
- 6) 真鍋雅信 : 麻酔中の換気量決定法とその検討. 臨床麻酔 5 : 779, 1981
- 7) 真鍋雅信, 沢 恒, 横山訓典ほか : HFV による半閉鎖 GOF 麻酔. 麻酔 31 : 1087, 1982

各種 oscillation 重畳による換気動態の変動

安 本 和 正*

死腔またはそれ以下という極めて少ない 1 回換気量を非常に多い換気数にて換気する非生理的換気様式「高頻度陽圧呼吸法」¹⁾の研究が内外において積極的に現在行われている。しかし、本人工呼吸法の検討が進むにつれて、純然たる本方式よりも従来の IPPV に何らかの方法により振動を重畳する方式、すなわち両者の中間的な換気法の方が

ガス交換の効率もよく、かつ概念的にもなじみやすいと述べられている。しかし、重畳された振動は報告者により区々で、一定のまたは最良の方式はまだ決定されていないようである。

今回、Servo ventilator 900 シリーズに 1 ないし 99 Hz の jet oscillation (J.O.) の重畳を目的として試作された Servo HFV unit を使用する機会を得たので、2 つの項目についての検討を加

* 昭和大学医学部麻酔学教室

えた。まず本機器による J.O. 重畳が換気量および気道内圧に及ぼす影響をテスト肺を用いて検討し、ついで J.O. 重畳効果を全身麻酔下の患者において検索したので、若干の考察を加え報告する。

方 法

Servo ventilator 900C に Servo HFV unit を接続し、各種 J.O. の重畳を行ったが、気管内チューブには振動重畳用チューブ（マリネクロフト社製）を用いた。気管内チューブとテスト肺との間に hot-wire transducer（ミナト医科社製）を設置して、1回換気量と流速の測定を行った。気道内圧の測定は、蛇管と気管内チューブの接続部にて行った。上記により得られた1回換気量、流速および気道内圧等の変動は記録計（日本光電社製）に連続して記録した。なお、hot-wire transducer は実験開始直前に既知量のピストンにて校正し、誤差範囲が $\pm 1\%$ 以内であることを確認した。

また、Servo ventilator の換気条件は、分時換気量 6 l、換気数 12 回/分、吸気：EIP：呼気 = 25：10：65 とした。 $FI_{O_2} = 0.21$ で行った。

上記の設定条件のもとでテスト肺を用いて、(1) valve 数 (1, 2 個), (2) pulse time (10, 25, 50, 75%), (3) 周波数 (3, 5, 10, 25, 50, 75, 99 Hz), (4) J.O. 重畳時期 (全相, 吸気相, EIP, 呼気相) 等を変えることによる 1 回換気量並びに気道内圧等の変動を記録した。ただし、(1) では pulse time は 50% に、周波数は 10 Hz, (2) では valve 数は 1 個, 周波数は 10 Hz, (3) では valve 数は 1 個, pulse time は 50% にそれぞれ固定して行った。

ついで、GOF 麻酔下高齢者上腹部手術例 15 例を対象とし、J.O. 重畳がガス交換に及ぼす影響を検討した。麻酔導入後より Servo ventilator 900C を用いて $FI_{O_2} = 0.33 \pm 0.01$ にて I:E 比を 1:2 (pause 相は用いず) として人工呼吸を行ったが、手術開始後 2 時間より pulse time 50%, 10 Hz の J.O. 重畳を開始し、30 分後の血液ガスの変動を検討した。対象を重畳時期により以下の 2 群に分類したが、吸気相に重畳した 9 例を ins.

表 1

	IPPV	Number of valve		Pulse time (%)			
		1	2	10	25	50	75
Tidal volume (ml)	481	538	600	500	513	538	575
Peak airway p. (cmH ₂ O)	9	13.6	19	9	11	12.7	14.7

表 2 Frequency of oscillation (Hz)

	3	5	10	25	50	75	99
Tidal volume (ml)	550	550	544	538	544	538	550
Peak airway p. (cmH ₂ O)	13	13	13	13.3	14	14.2	14.5

表 3 Duration of J.O.

	All	Ins.	Pause	Exp.
Tidal volume (ml)	538	538	488	481
Peak airway p. (cmH ₂ O)	13.3	10.7	9	11

群、また吸気相に重畳した 6 例を exp. 群とした。

結 果

1) テスト肺による検討

valve 数, pulse time, 周波数更に重畳時期等の違いによる、1 回換気量と最大気道内圧等の変動を表 1, 2, 3 に示した。

(1) J.O. を作る valve 数を増すことにより 1 回換気量は約 60 ml ずつ増加し、それに伴って気道内圧も上昇した。また、図 1 にみるように流速も valve 数の増加に比例して増大した。

(2) pulse time の増加は、1 サイクルの振動におけるジェット流の持続時間の増大を意味するが、pulse time の増加に伴って 1 回換気量は増え、気道内圧は上昇した。

(3) 重畳振動の回数を 3 ないし 99 Hz に増加したが、1 回換気量はほとんど変わらなかった。一方、最大気道内圧は 25 Hz 以降は周波数の増加に伴い、わずかではあるが上昇する傾向を認めた。

(4) 振動を吸気相に重畳すると 1 回換気量は増加するが、呼気相に重畳しても全く換気量は変わらなかった。一方、気道内圧の変動を見ると、呼

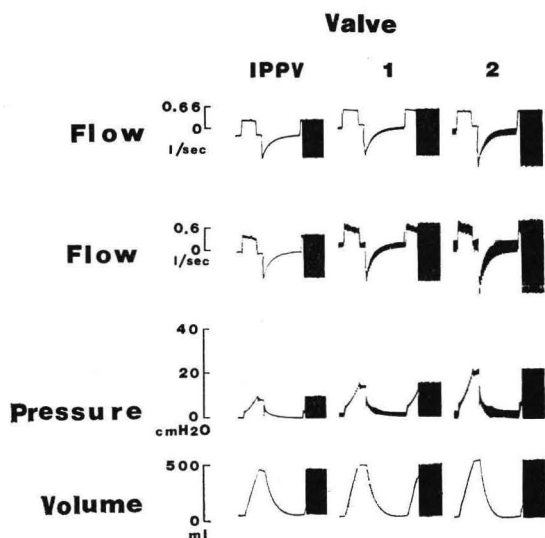


図 1 Functioning valve 数を 1 ないし 2 としたときの上段より Servo ventilator 内の流速，テスト肺入口部の流速，気道内圧，さらに 1 回換気量等を示す。

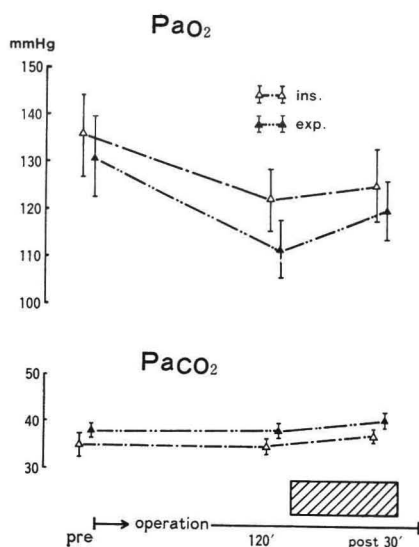


図 2 全身麻酔中の血液ガスにおけるジェット振動重畳効果
重畳時期を吸気相としたものを ins. また、呼気相に行ったものを exp. と表現した。

気相振動重畳では換気量には変化が見られないにもかかわらず気道内圧は上昇した。全体的には全期間重畳が最も強い気道圧の上昇を招来した。

2) 全身麻酔下 J.O. 重畳の血液ガスへの影響

図 2 にみるように手術開始後 2 時間には手術開

始前に比して PaCO₂ にはさしたる変動は認められないが、PaO₂ は両群において有意に低下した。J.O. 重畳開始後 30 分には手術中にもかかわらず、両群で PaO₂ は上昇したが、上昇率が強く、かつ推計学的に有意差が認められたのは exp. 群であった。しかし、本群においてもその回復率はほぼ 50 % 弱で、完全ではなかった。一方、PaCO₂ は、J.O. 重畳により両群でわずかではあるが上昇した。

なお、ins 群では J.O. 重畳により 1 回換気量は増加するので、重畳前後の換気量がかわらないように IPPV よりの換気量を減少させた。

考 察

高頻度陽圧呼吸法 (HFPPV) の利点は、本換気法下では平均気道内圧が低いので循環動態への影響が少なく、barotrauma の発生率が減少するだけではない。Fletcher ら²⁾によると彼らのモデル実験では、気道内圧は低かったが肺内圧は上昇していたので、肺レベルにおいて PEEP 様効果を HFPPV はもたらし、ガス交換に対し有効に作用すると述べている。

また、実験的には他にもいくつかの HFPPV の肺に対する有効な作用が報告されている。Schmid ら³⁾は ¹³³Xe を用いた研究より換気血流比が均等化することを、さらに Eriksson と Sjöstrand ら⁴⁾は multiple N₂ washout 法の測定より lung clearance index ならびに N₂ washout delay がそれぞれ改善する結果を得たことにより、HFPPV 下ではガス交換が促進されると報告している。

しかしながら、Wright ら⁵⁾は健康な家兎ではピストンによる 5 ないし 30 Hz の振動で十分に血液ガスを維持しえるが、オレイン酸投与下家兎では、20 分ごとに 3 回の大換気を行わないと血液ガスの維持の難しいことを報告した。従って、HFPPV 単独による病的肺の換気には問題があり、従来の人工呼吸法 IPPV に振動を重畳するという両換気法の間接型のほうが、ガス交換の効率が優れている可能性が示唆された。

肺が心臓によって変位を受けると肺局所における拡大と圧縮が起こり、その結果 cardiogenic flow pulse が発生する。そのため肺胞気ガスが

気道内へ押し出され、肺胞ガス混合が促進されるが、この現象を cardiogenic gas mixing と呼んでいる⁶⁾。J.O. 重畳が cardiogenic oscillation と同様に作用し、ガス攪拌を促進し、気道内拡散を高める可能性は十分考えられる。また、HFJV が 200 回/分以上となると air trapping が発生し、呼出が難しくなるが、併用法ではこの問題も解消され⁷⁾、利点の 1 つと考えられている。

現在本邦においては、臨床的应用にはもっぱら振動重畳法が用いられている。その際の周波数は 5 ないし 10 Hz であるが、方式は各施設によって異なっている。

今回の検討より周波数を変えても、換気量にはさしたる増減のないことがうかがわれた。しかし、換気量には差がなくとも、呼気相における気道内圧の振幅には周波数によって違いがあったので、周波数によりガス交換への影響が異なる可能性があり、今後血液ガスを中心とした詳細な検討が必要と思われる。

IPPV の吸気相に振動を重畳することにより実験的呼吸不全の血液ガスの改善を得たと、太田ら⁸⁾は報告した。一方、財津⁹⁾は、呼気相に陽圧とともに振動を加えると、RDS の患者の PaO_2 が PEEP 単独では得られないほど有意に上昇した結果を得、その機序には喀痰排出効果やリンパ還流の促進による肺水分量の減少を示唆している。しかし宮野ら⁷⁾は振動重畳効果を、吸気相、呼気相、さらに全相と重畳時期を分けて検討したが、各群間の PaO_2 には有意を認めなかったと述べている。

しかし、著者の結果より振動を吸気相に重畳した場合には、換気量は増加したので、吸気相での振動重畳効果を検討する際には、今回行ったように、IPPV よりの換気量を減少させて、実際の換気量が振動重畳開始前後で変わらないように配慮して効果の判定を試みるべきであろう。

上腹部手術中は、手術操作によりコンプライアンスの減少を伴った PaO_2 の低下が発生する¹⁰⁾が、この現象に対し J.O. 重畳がある程度効果を奏した。特に、呼気相への重畳がより効果的であった事実は、振動重畳時期を検討するにあたって興味ある結果と思われる。しかし作用機序の解明、た

とえば PEEP 様効果が介在しているか否かなど、今後の多方面よりのアプローチが必要である。

結 語

試作された Servo HFV unit を用いて、重畳する振動の違いによる換気動態の変動を検討した。ついで、GOF 麻酔下上腹部手術中に、低下した PaO_2 の改善を目的として、吸気相と呼気相に分けて 10 Hz の J.O. を重畳し、以下の結果を得た。

- 1) Pulse time の増加に伴い 1 回換気量は増加し、気道内圧は上昇した。
- 2) 周波数を変えても換気量はほとんど変わらなかったが最大気道内圧は 25 Hz 以上では、周波数の増加に伴ってわずかに上昇した。
- 3) 呼気相に J.O. を重畳しても換気量は増加しないが、気道内圧は上昇した。
- 4) 上腹部手術中に低下した PaO_2 を J.O. 重畳は不十分ではあるが改善した。しかし、その程度が強く、かつ推計学的有意差を得たのは呼気相重畳群であった。

文 献

- 1) Sjöstrand U : High-frequency positive-pressure ventilation (HFPPV); A review. Crit Care Med 8 : 345, 1980
- 2) Fielcher PR, Ebstein RA : Experimental studies in high frequency ventilation (HFV). Anesthesiology 53 : 5401, 1980
- 3) Schmid ER, et al : Pulmonary gas distribution during high frequency oscillation. Anesthesiology 53 : 5402, 1980
- 4) Eriksson I, Sjöstrand U : Effects of high-frequency positive-pressure ventilation (HFPPV) and general anesthesia on intra pulmonary gas distribution in patients undergoing diagnostic bronchoscopy. Anesth Analg 56 : 585, 1980
- 5) Wright K, et al : Ventilation by high-frequency oscillation in rabbits with oleic acid lung disease. J Appl Physiol 50 : 1056, 1981
- 6) 福地義之助ほか : Cardiogenic oscillation. 呼と循 26 : 221, 1978
- 7) 宮野英範ほか : 累積高頻度ジェット換気法. ICU と CCU 6 : 967, 1982

- 8) 太田保世・笹本 浩：振動呼吸法における血液ガス異常の改善，厚生省特定疾患「呼吸不全」調査研究班，昭和 53 年度研究業績，1979
- 9) 財津昭憲：Servo Ventilator 900B による Vib-

ratory PEEP の検討，ICU と CCU 5 : 229, 1981

- 10) 安本和正：高齢者手術の術中管理の諸問題“呼吸管理を中心に”，手術部医学 4 : 25, 1983

Weaning における SIMV の応用

盛 直 久* 鈴 樹 正 大*

緒 言

近年様々な機能を備えた人工呼吸器の普及により，重篤な呼吸不全の患者も救命できるようになったが，呼吸機能をはじめ全身状態が改善して人工呼吸器から離れる段階になって，weaning に難渋する例が多々ある。

この原因の一つとして調節呼吸を行うのに必要な患者の条件から weaning を進めるための条件への切換えがスムーズにゆかないことがあげられる。すなわち調節呼吸中は人工呼吸器による強制換気がスムーズに行えるよう十分な鎮静と筋弛緩が要求され，種々の鎮痛・鎮静薬や末梢性・中枢性の筋弛緩薬などが投与される。これに対し weaning に際しては自分で気道確保ができ，十分な自発呼吸を維持できるように clear な覚醒と十分な呼吸筋力の回復という，前者とは逆の条件が要求される。

On-off 方式による weaning では，この 2 つの相反する条件を連結するためにどちらかの条件が不十分となる。すなわち調節呼吸中に weaning のための条件が作られると，患者は覚醒し人工呼吸器と fighting をおこし，精神状態も不安定になり，循環系も異常反応を示すことがある。反対に覚醒や呼吸筋の回復が不十分なうちに人工呼吸器を離すと，自発呼吸が弱く，十分な換気が維持できないばかりか，分泌物貯留などにより肺機能を悪化させることもある。さらに長期 ICU 滞在者では ICU 症候群による興奮状態，ARDS では肺代謝障害によるカテコラミン上昇に起因する極度の血圧上昇などが weaning をやっかいなもの

にしている。このような異常な循環系反応や低酸素血症は，各臓器の予備力の少ない患者や心血管系病変のある患者では非可逆的障害を与えることがある。

このような症例では，weaning の全過程を通して十分な鎮痛，鎮静，循環系のコントロールが保たれるとともに，十分な自発呼吸能回復までは呼吸を補助してやり，回復後にすみやかに覚醒させるとともに気管内チューブを抜去して weaning を完了する方法が望まれる。この方法の 1 つとして，われわれは SERVO 900C (Siemens Elema 社) を用いて，笑気にて鎮静，循環コントロールを行いながら，synchronized IMV (SIMV) および pressure support (PS) 機構にて呼吸を補いスムーズな weaning を行っている。

われわれの weaning 法 (図 1)

われわれは従来より呼吸，循環不全，大手術後の患者には積極的に人工呼吸管理を行ってきた。人工呼吸には SERVO ventilator を用い，笑気投与を主体に適宜 diazepam, pentazocine, meperidine などの静脈内投与にて鎮痛，鎮静をはかるとともに，多くの例では pancuronium を投与して調節呼吸を行った。

Weaning は全身状態が安定し，呼吸機能が回復したのをみはからって開始する。まず早朝より筋弛緩薬と静脈内鎮静薬投与を中止し，笑気のみにて鎮静をはかって調節呼吸を続行する。筋弛緩薬作用が消失するころより SIMV+PS モードに移行し，SIMV 回数は調節呼吸回数よりやや少なく，trigger 圧は $-1 \sim -2 \text{ cmH}_2\text{O}$ に設定する。呼吸筋力の回復とともに自発呼吸が出現すると吸気時

* 秋田大学医学部麻酔学教室