

- 2) 丸川征四郎, 岐井誠三: 肺内シャント率と吸入酸素濃度, (1) 文献に見る相互関係の分析. 麻酔 30 : 681, 1981
- 3) 丸川征四郎, 岩井誠三: 肺内シャント率と吸入酸素濃度, (2) 人工肺におけるヒト血液と人工血液の比較検討. 麻酔 30 : 782, 1981
- 4) 丸川征四郎, 岩井誠三: 肺内シャント率と吸入酸素濃度, (3) 肺シャント率と $A-aDO_2$ および M index の比較検討. 麻酔 31 : 579, 1982
- 5) Suwa K : PAO_2 - PaO_2 relationship for the entire therapeutic range of oxygen in acute respiratory failure. Tohoku J Exp Med 122 : 275, 1977
- 6) 沢 桓, 北村博文ほか: 人工呼吸中の酸素摂取量. 酸素消費量および心拍出量の間に存在する因果関係に関する研究, 第1編 O_2 uptake model の提案と酸素摂取系に関する検討. 麻酔と蘇生 10 : 145, 1974
- 7) 沢 桓: 肺内シャントの問題点. 呼と循 27 : 121, 1979

Positive-negative HFJV による平均気道内圧 零換気の呼吸循環動態に与える影響

篠崎 正博* 末吉 章雄** 河野 一造**
門脇 啓治*** 加来 信雄* 無敵 剛介*

はじめに

High frequency jet ventilation (HFJV) は換気数の増加に伴い, 呼気が障害され, 気道内圧の上昇および換気不全が生じるため, 臨床使用は 3 Hz 以下の換気数に制限される。ゆえにわれわれは to and fro 方式の jet 流を利用し, すなわち positive negative HFJV で平均気道内圧を零に保ち, 5, 10, 15 Hz の換気数での肺におけるガス交換, 循環動態および中心静脈圧波形の周波数の変化を観察した。また pn HFJV では気道内圧を自由に変動させることができるのを利用し, オレイン酸による肺水腫作製犬において, 5 Hz の pn HFJV での気道内圧変化での肺におけるガス交換および循環動態について検討したので報告する。

実験方法

pn HFJV は Mera D Jet Ventilator を使用し, 気管内および気管外へ向けた jet 針から交互に jet 流を噴出させることにより pn HFJV を行

った。

体重 8~18 kg の雑種成犬を用い, nembutal 30 mg/kg, pancuronium 0.4 mg/kg による麻酔下に FI_{O_2} 1.0, $ETCO_2$ が 4.3% 前後になるように調節呼吸を行い, その後 2 つの実験設定を行った。Group I では $Paco_2$ が IPPV 時とほぼ等しく, また平均気道内圧が零となるように positive と negative 側の jet flow の working pressure を設定し, 5 Hz, 10 Hz, 15 Hz の pn HFJV を行い, 最後にもとの条件下の IPPV にもどした。Group II では IPPV 時に 0.08 ml/kg のオレイン酸を静注し, PaO_2 が低下したのを確かめ, 約 1 時間後に PEEP level が 4 mmHg の CPPV とし, さらに 5 Hz の pn HFJV では PEEP level と $Paco_2$ 値がほぼ CPPV 時と等しく (① 5 Hz pn HFJV), またつづく第 2 の pn HFJV 時では PEEP level および mean airway pressure が CPPV 時となるように設定した (表 1)。

これらの実験設定での血圧, 肺動脈圧, PCWP, CVP, 気管分岐部の気管内圧, PaO_2 , $Paco_2$, $A-aDO_2$ $\dot{Q}s/\dot{Q}t$ を測定した。また Millar 社のカテ先トランスデューサーで測定した中心静脈圧あるいは左心房圧をデーターレコーダーで記録し

* 久留米大学病院救命救急センター

** 久留米大学医学部麻酔学教室

*** 九州歯科大学麻酔学教室

表 1 Group I, Group II の実験設定

Group I (n=6)	Group II (n=5)
IPPV	IPPV oleic acid iv
5Hz pnHFJV	IPPV
10Hz pnHFJV	CPPV
15Hz pnHFJV	same PEEP level same PaCO ₂
IPPV	① 5Hz pnHFJV same PEEP level same mean airway pressure as CPPV
	② 5Hz pnHFJV

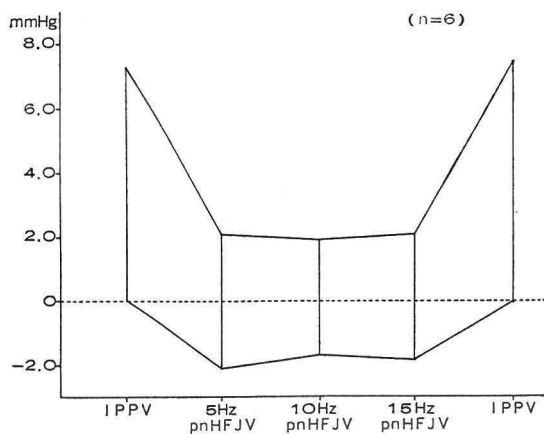


図 1 pn HFJV 時の気管内圧の変化 (Group I)

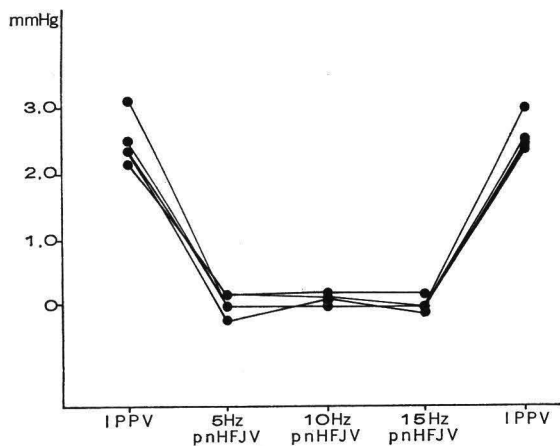


図 2 pn HFJV 時の平均気管内圧の変化 (Group I)

た後、ミニコンピュータを用い、fast fourier transform (FFT) による周波数解析を行った¹⁾。

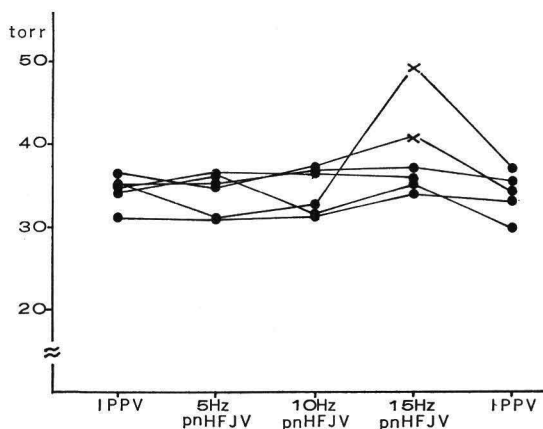


図 3 pn HFJV 時の PaCO₂ の変化 (Group I)

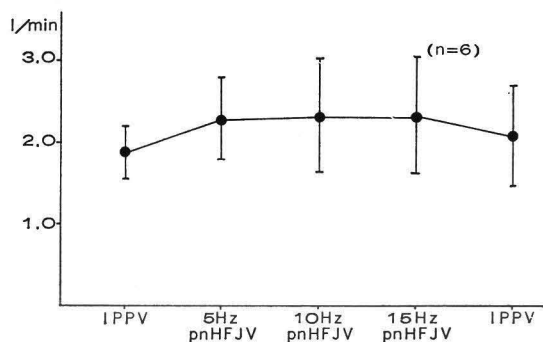


図 4 pn HFJV 時の心拍出量の変化 (Group I)

結 果

Group I : IPPV より平均気道内圧を零にした時、すなわち pn HFJV 時の気管分岐部の peak airway pressure は著明に低下する。pn HFJV 時のうち 10 Hz が最も peak airway pressure を低下させる傾向にあった(図1)。

IPPV 時の平均気道内圧は2.5 mmHg 前後で、pn HFJV 時は零前後に維持できた(図2)。

PaCO₂ は 5 Hz, 10 Hz のpn HFJV 時は IPPV 時と等しく設定できたが、体重 15 kg 以上の2頭の犬では 15 Hz の pn HFJV では 3 kg/cm² 以上の working pressure が必要であり、この研究に用いた jet ventilator の出力限界以上であり、そのため PaCO₂ は上昇した(図3)。

Cardiac output は pn HFJV では IPPV に比べ増加傾向を示し、再び IPPV にすると低下した(図4)。

平均動脈圧は pn HFJV では IPPV に比べ増

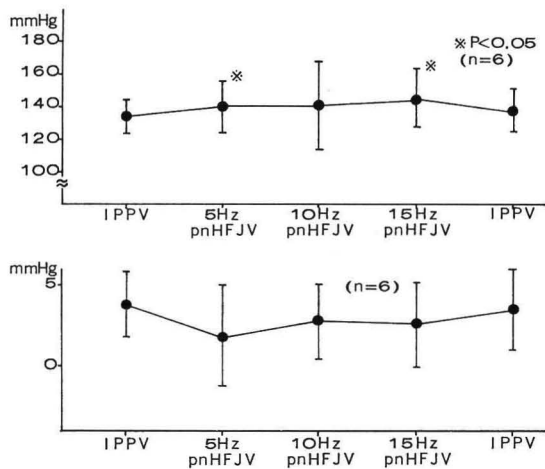


図 5 pn HFJV 時の平均動脈圧 (上) および CVP (下) の変化 (Group I)

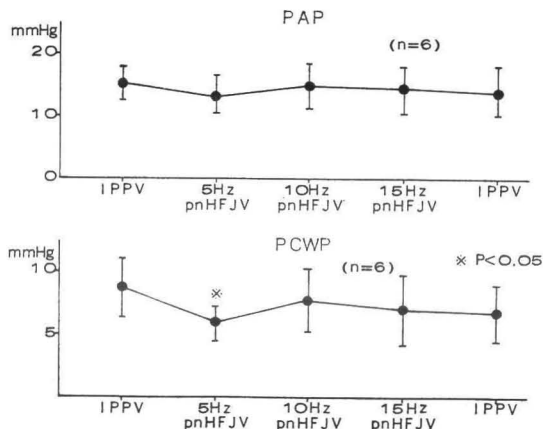


図 6 pn HFJV 時の心機能曲線の変化 (Group I)

加する。CVP は pn HFJV では IPPV に比べ低下傾向を示すが有意の低下ではなかった(図 5)。

平均肺動脈圧はほとんど変化せず、PCWP は 5 Hz の pn HFJV で有意に低下したが、10 Hz、15 Hz の pn HFJV ではほとんど低下しなかった(図 6)。

心機能図では pn HFJV 時は IPPV 時に比べ PCWP の低下と LVW の増加が認められた(図 7)。

全身血管抵抗 (TPR) は pn HFJV で一定の傾向を示さなかった。一方肺血管抵抗 (PVR) は 5 Hz の pn HFJV では一定の傾向を示さなかったが、10 Hz、15 Hz の pn HFJV では低下傾向を示した(図 8)。

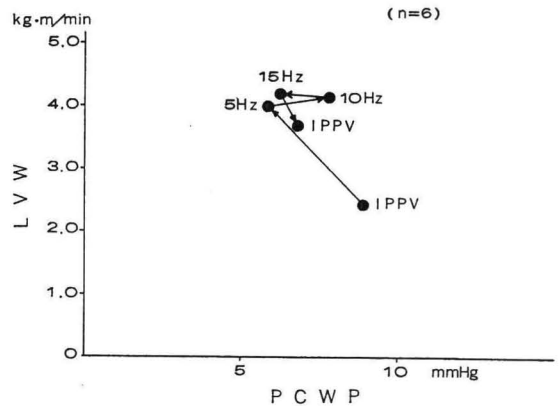


図 7 pn HFJV 時の心機能曲線の変化 (Group I)

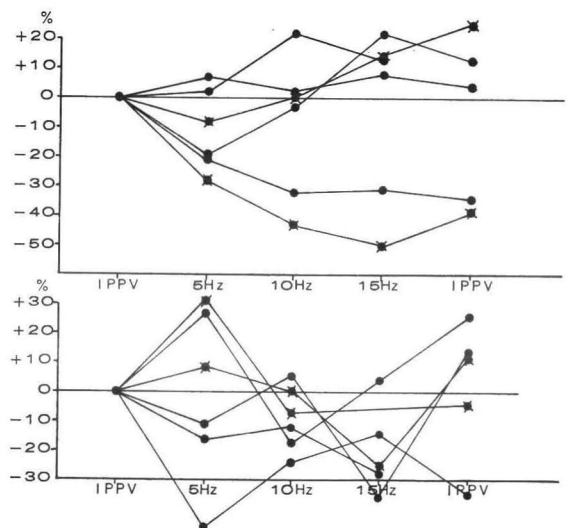


図 8 pn HFJV 時の全末梢血管抵抗 (TPR) および肺血管抵抗 (PVR) の変化 (Group I)

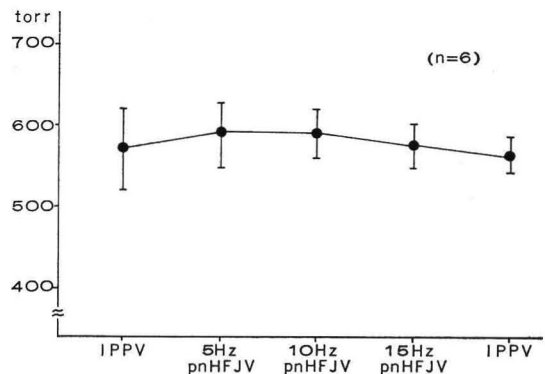


図 9 pn HFJV 時の P_{aO_2} (F_{iO_2} 1.0) の変化 (Group I)

P_{aO_2} は pn HFJV では IPPV に比べ上昇傾向を示した(図 9)。

A-a Do_2 は pn HFJV では IPPV に比べ低下傾向を示し, 5 Hz の pn HFJV では IPPV に比べ有意に低下した。 Q_s/Q_t は pn HFJV でもほとんど変化しなかった(図 10)。

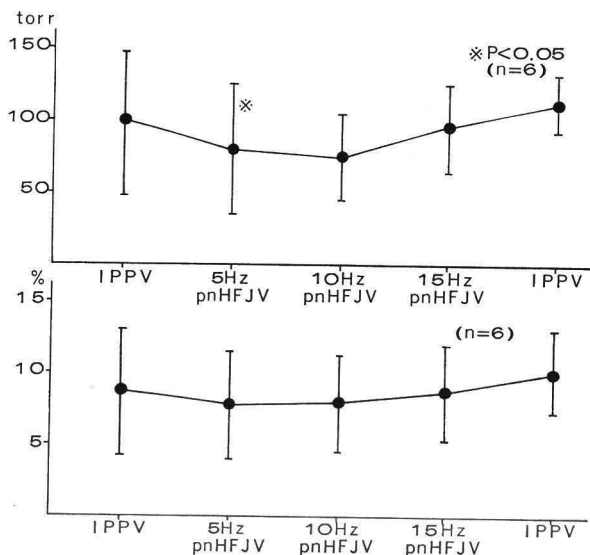


図 10 pn HFJV 時の A-a Do_2 , Q_s/Q_t の変化 (Group I)

CVP あるいは右心房圧の fast fourier transform (FFT) による周波数解析での spectrum は IPPV 時, 基本周波数 (pulse rate) が約 3 Hz で, 第 2 の harmonics が約 6 Hz, 第 3 の harmonics がなく, 第 4 の harmonics が約 12 Hz であったことを図 12 に示す。2 Hz の pn HFJV 時, 基本周波数は約 3 Hz で第 2, 第 3 の harmonics が認められ, 2 Hz の部位の spectrum は pn HFJV の圧波形由来であり, 4 Hz,

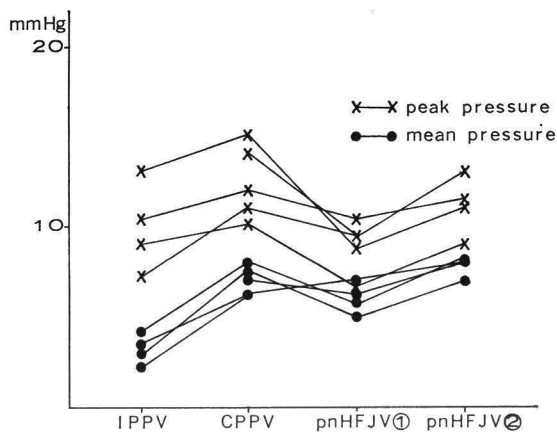


図 12 Group II における最高気道内圧および平均気道内圧の変化

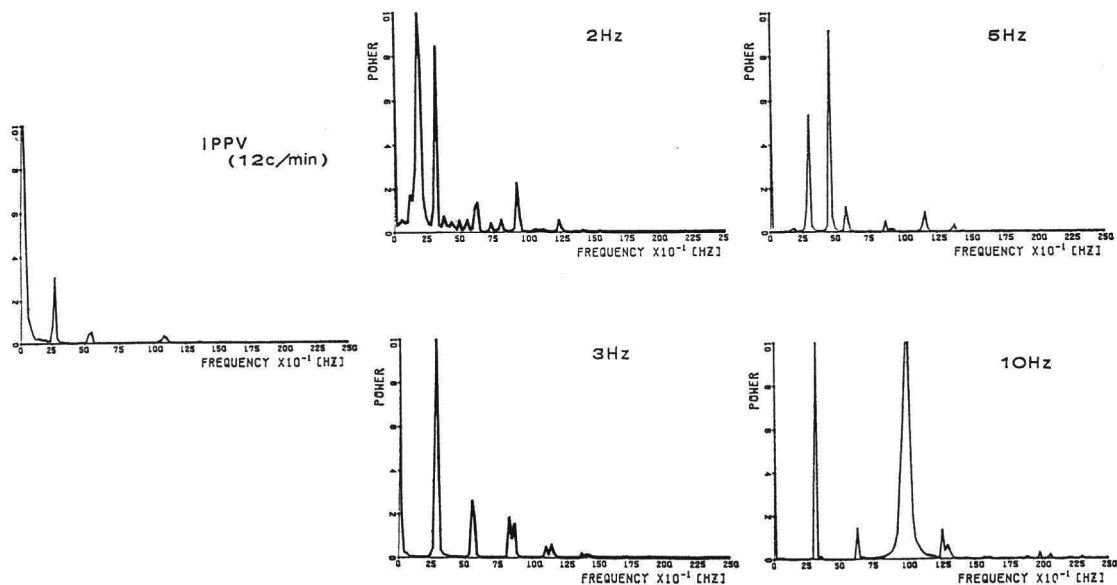


図 11 pn HFJV 時の CVP あるいは 左房圧波型の FFT (fast fourier transform) による frequency power spectrum の変化 (Group I)

6 Hz, 8 Hz の frequency 部位の spectrum power はその第 2, 第 3, 第 4 の harmonics であろう。3 Hz の pn HFJV では基本周波数と pn HFJV の周波数が一致するので 3 Hz 部位の frequency power は両者の wave が synchronized したものであり、6 Hz は第 2 の harmonics で、第 3, 第 4 の harmonics で両者の frequency に差が出たために二峰性を示している。5 Hz の pn HFJV では基本周波数および第 2, 第 3, 第 4 の harmonics が約 3, 6, 9, 12 Hz の frequency 部位で認められ、一方 pn HFJV による frequency power は 2, 4, 8, 12 Hz で認

められ、12 Hz では第 4 の基本周波数の harmonics と synchronized しているものと考えられる。10 Hz の pn HFJV では基本周波数とその harmonics は認められ、一方 10 Hz の frequency power は pn HFJV によるものであるが、その harmonics は認められない(図 11)。

Group II : オレイン酸肺水腫作製犬における peak airway pressure は CPPV で上昇し、①の pn HFJV で低下し、②の pn HFJV でもまだ CPPV に比べ低かった(図 12)。

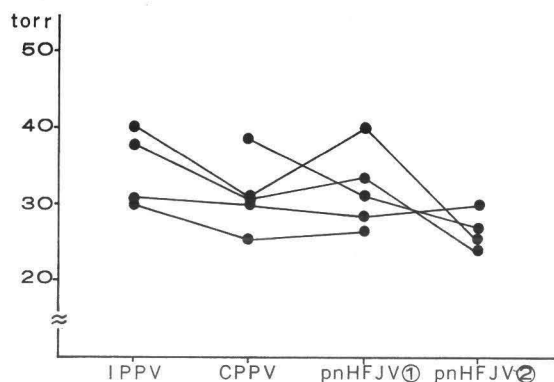


図 13 Group II における Paco_2 の変化

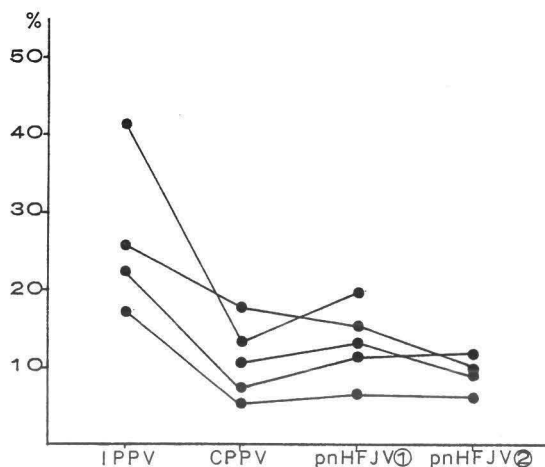


図 14 Group II における Qs/Qt の変化

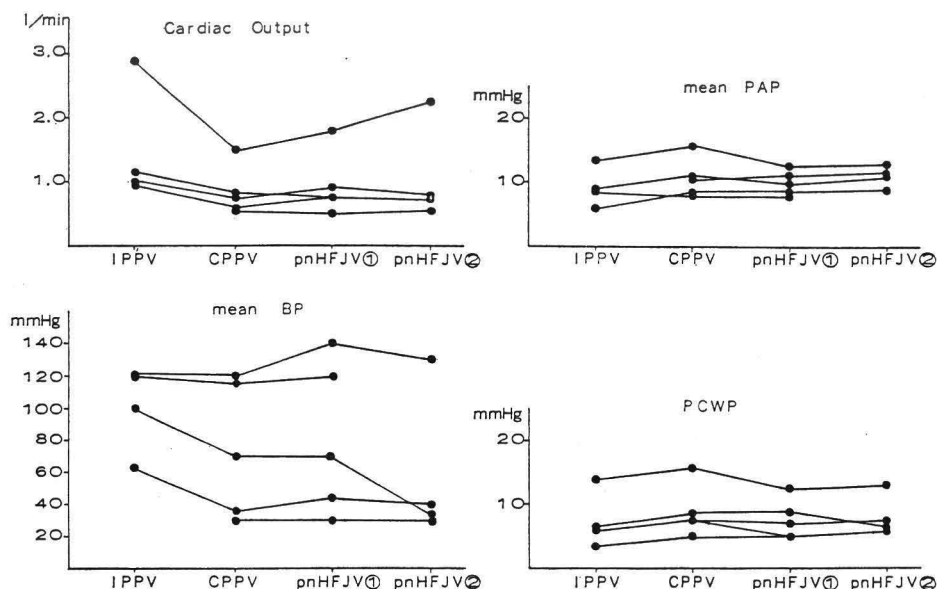


図 15 Group II における心拍出量, 平均動脈圧, 平均肺動脈圧および肺動脈楔入圧の変化

mean airway pressure は①の pn HFJV では CPPV より低く、②の pn HFJV 時は CPPV 時とほぼ等しくなるように設定されたことを示す (図 13)。

PaCO_2 は IPPV より CPPV にすると低下した。この低下は心拍出量の低下によるものであろう。第 1 の pn HFJV で PaCO_2 が CPPV 時と等しく設定できたのは 3 頭で、1 頭は上昇し、1 頭は低下していた。第 2 の pn HFJV 時は CPPV、②の pn HFJV より低い傾向にあった (図 14)。

pn HFJV では CPPV に比べ mean airway pressure を低く、また peak airway pressure を低くしても十分の CO_2 排泄が可能であることを示している。

\dot{Q}_s/\dot{Q}_t は IPPV より CPPV にすると \dot{Q}_s/\dot{Q}_t は低下し、第①の pn HFJV にすると \dot{Q}_s/\dot{Q}_t は上昇する。第②の pn HFJV、すなわち mean airway pressure を CPPV と等しくすると \dot{Q}_s/\dot{Q}_t は CPPV とほぼ等しくなった (図 15)。 PaO_2 の変化も同様の变化を示した。

図 17 は肺水腫犬における pn HFJV 時の循環動態の変化を示す。まだ症例数も少なく結論を出すに至っていない (図 16)。

考 案

HFV を行う装置はピストン方式²⁾、ジェット方式^{3)~5)}、スピーカー方式⁶⁾などがあるが、臨床使用に際し、それぞれ問題を有している⁷⁾。HFJV は比較的臨床使用が容易であるが、3 Hz 以上の換気回数では呼吸が障害されるためにそれ以上の換気数増加は PaCO_2 を増加させる。岡本らは通常の人工呼吸に HFJV を重畳した換気法により、正常肺犬において CO_2 の排泄が促進され、IPPV の回数を減すことができ、またオレイン酸による肺水腫犬で CPPV 時と同じ、最高気道内圧、平均気道内圧および PaCO_2 では、基本となる IPPV の回数を減しえ PEEP を高く維持でき、 A-aDO_2 0.21 の著しい改善を認めている⁹⁾。われわれはこの方法を superimposed HFJV と称し、重症呼吸不全症例に使用し、5 Hz の superimposed HFJV は CPPV に比べ、 PaCO_2 の

有意の変動がなく、 A-aDO_2 1.0 および \dot{Q}_s/\dot{Q}_t の有意の低下が認められた⁹⁾。このように HFJV の欠点を償う superimposed HFJV は臨床使用に有効であると考えられるが、通常の IPPV に HFJV の換気量加わるために気道内圧の設定が難しい。

pn HFJV は気道内圧を容易に変えることができる。これを利用した平均気道内圧零の pn HFJV では体重 15 kg 以下の正常肺犬では 15 Hz までの HFJV で PaCO_2 が維持できた。さらに肺における酸素化の指標である A-aDO_2 1.0 と \dot{Q}_s/\dot{Q}_t が pn HFJV で解離したのは心拍出量の増大によるものであり、pn HFJV では IPPV と比較し、 O_2 uptake には変化がなかったものと考えられる。一方循環動態は pn HFJV では CPPV に比べ改善した。この変化は pn HFJV では低い気道内圧で換気が維持できたことによるものと考えられ、右心不全患者の呼吸管理などに有用な方法と考えられる。Group I において 5, 10, 15 Hz の pn HFJV での呼吸機能に与える影響に差は認められなかったが、循環動態では心機能曲線などから 5 Hz の pn HFJV が最も有効に改善したと考えられた。ゆえに Group II のオレイン酸肺水腫に対しては 5 Hz の pn HFJV を用いた。

HFV の肺における酸素化の改善に対する報告は必ずしも一定していないが、オレイン酸肺水腫犬において、Wright らは間欠的に hyperinflation を行わないと PaO_2 は低下すると報告しており¹⁰⁾、Thompson らは HFJV では PaO_2 は平均気道内圧上昇と比例し、CPPV との平均気道内圧が等しければ両者の間に差がなかったと報告¹¹⁾、同様に諏訪らもスピーカー方式による HFV で PaO_2 に対する影響は呼吸数よりも平均気道内圧の方が大きいと報告している¹²⁾。今回のわれわれの Group II の実験において pn HFJV 時の A-aDO_2 1.0、 \dot{Q}_s/\dot{Q}_t は平均気道内圧に左右されることがわかり、また Thompson らの報告と同様に 5 Hz の pn HFJV での平均気道内圧が CPPV と等しければ肺における O_2 uptake には差がないことが判明した。しかし、5 Hz の pn HFJV での peak airway pressure は CPPV

時よりも低く, pn HFJV では CPPV に比べ肺の barotrauma の生じる危険性は少ないものと考えられる。

HFV の振動数そのものの生体に与える影響については現在ほとんどわかっていない。われわれの CVP あるいは右心房圧の FFT による frequency power spectrum が pn HFJV により種々に変化し, とくに基本周波数(心拍数)やその harmonics と同調した pn HFJV による振動が独特の frequency power spectrum を生じさせた。ゆえにこれらの振動が生体に及ぼす影響について検索する必要があるものと考えられる。

結 語

1) pn HFJV は体重 15 kg 以下の雑種成犬において平均気道内圧を零として 15 Hz まで PaCO_2 を正常に保つことができた。

2) pn HFJV は IPPV に比べ PaO_2 , A-aDO_2 は改善したが, \dot{Q}_s/\dot{Q}_t には変化がなかった。

3) pn HFJV は IPPV に比べ CVP, PCWP は低下, 平均動脈, 心拍出量, LVW は上昇傾向を示した。

4) pn HFJV 時の CVP あるいは右心房圧脈形の FFT による frequency power spectrum は pn HFJV の換気数により, 種々の周波数 power およびパターンを示すことが判明した。

5) オレイン酸肺水腫犬において 5 Hz の pn HFJV では同圧の PEEP レベルの CPPV に比べ, PaCO_2 は低い peak airway pressure で保てたが, PaO_2 の低下, \dot{Q}_s/\dot{Q}_t の上昇が認められた。しかし pn HFJV 時の mean airway pressure を CPPV 時の値まで近づけると CPPV 時の PaO_2 , \dot{Q}_s/\dot{Q}_t にほぼ等しくなった。

文 献

- 1) 戸畑裕志ほか: 血圧測定に関する臨床的研究. 医器学 53: 22~28, 1983
- 2) Bohn DJ, et al: Ventilation by high frequency oscillation. J Appl Physiol 48: 710~716, 1980
- 3) Sjöstrand U: Review of the physiological rationale and development of high-frequency positive-pressure ventilation-HFPPV. Acta Anaesth Scand (suppl) 64: 7~27, 1977
- 4) Klain M, Smith RB: High frequency percussive transtracheal jet ventilation. Crit Care Med 5: 280~287, 1977
- 5) Carlon GC, et al: Clinical experience with high frequency jet ventilation. Crit Care Med 9: 1~4, 1981
- 6) 諏訪邦夫: スピーカーを用いた動物用高周波人工呼吸器の試作. 麻酔 29: 1611~1615, 1980
- 7) 宮坂勝之: High frequency oscillation 法. 臨床麻酔 5: 1145~1158, 1981
- 8) 岡本和文: 高頻度断続的ジェット気流を重量した間欠的気道内加圧法の研究—呼吸循環に及ぼす影響. 麻酔 30: 911~919, 1981
- 9) 篠崎正博ほか: 重症呼吸不全患者における Superimposed High Frequency Jet Ventilation の効果. ICU と CCU 6: 975~981, 1982
- 10) Wright K, et al: Ventilation by high frequency oscillation in rabbits with oleic acid lung disease. J Appl Physiol 50: 1056~1060, 1981
- 11) Thompson WK et al: High-frequency oscillation compared with standard ventilation in pulmonary injury model. J Appl Physiol 52: 543~548, 1982
- 12) 諏訪邦夫, 田上 恵: 高頻度人工呼吸 HFPPV の生理と呼吸不全. 呼と循 30: 23~27, 1982