レター

高頻度ジェットベンチレーションの小動物における有用性

森島隆司

Effects of High Frequency Jet Ventilation on Small Animals

Takashi MORISHIMA

(平成12年4月19日受付／平成12年6月15日受理)

はじめに

高頻度ジェットベンチレーション (HFJV) は, high frequency ventilation (HFV) の1方法であり, 気道内圧を低く保ちながら, 換気できることから, 気道にもれのある症例や気腫性嚢胞などで加圧できない症例に適した換気法とされている。このため肺外科手術への応用が開始されているが, 具体的な方法についての定説は確立されていない^{1~4), 6)}。

そこで今回, 人工的に気管支の開放創を作成し, HFJV 使用時の血液ガスに及ぼす影響を間欠的陽圧換気 (IPPV) を対照として検討し, 若干の知見を得た。

供試動物および実験方法

供試動物は雑種猫3頭で, 年齢2~10歳, 体重3.3~4.5 kgであった (表1)。

供血動物を硫酸アトロピン 0.03 mg/kg にて前

処置後, チオペンタール 20 mg/kg で導入し, イソフルランの吸入麻酔にて維持した。動物は右側横臥位とし, 右総頸動脈に動脈血採血用カテーテルを留置した。また, サクシニルコリン (SCC) 等, 薬剤投与および採集血返還用として撓側皮静脈にも留置針を投置した。

動物には開胸操作開始前に, SCC の急速点滴を行い, 自発呼吸を停止させて呼吸回数 12 回/分, 気道内圧 10 cmH₂O, 吸気時間 1 秒の IPPV を行った。開胸は右側第 6 肋間から行い, 開胸後右側後葉へ分岐する肺動脈, 肺静脈を分離結紮して切断し, その後, 気管支を切断してただちに実験を開始した。IPPV 下での値を開胸後 2 分, 5 分, 8 分に測定し, その後 IPPV を停止し, コネクターより気管チューブをはずし, 気管チューブ入口に 8 Fr 栄養チューブを使用して, 200 cycle/min, 0.01 ratio の条件で HFJV を開始した。HFJV 開始後 5 分, 10 分, 15 分値を測定した。測定終了後気管支断端を修復し, ついで IPPV 下で維持し閉胸後覚醒させて実験を終了した (表2)。実験後は十分な鎮痛を行い, また, 猫は実験後もきわめて良好な状態を維持した。なお, 測定項目は, 動脈血 pH, Pco₂, Po₂, SpO₂ とした。人工呼吸はメトラン社製コンボース B・EV を使用し, 血液ガスの測定はラジオメーター社製全自動

みどり動物病院 (名古屋市緑区有松町桶狭間愛宕西 23-28, 〒458-0916)

Midori Animal Hospital, 23-28 Atagonishi, Ok ehazama, Arimatsu-cho, Midori-ku, Nagoya 458-0916, Japan

表 1 供試動物血液検査所見

	猫 No. 1	猫 No. 2	猫 No. 3
WBC/ μ l	15000	8600	13000
RBC/ μ l	7060000	6270000	3780000
Hb g/dl	10.4	10.4	6
Ht %	30.6	30.8	18.5
Glu mg/dl	52	74	86
T-Cho mg/dl	85	118	158
BUN mg/dl	40	28	69
T-Bil mg/dl	0.2	0.2	0.2
GOT IU/L	13	12	10
GPT IU/L	63	49	18
Cre mg/dl	1.4	1.9	6.1
体重 kg	4.4	3.3	4.5
性	♀	♀	♂
年齢	2	7	10

表 2 実験手順

1.	前処置，チオペンタールにて導入し気道確保後，イソフルランにて自発呼吸下で維持麻酔。
2.	SCC 急速点滴にて呼吸停止
3.	IPPV（呼吸回数 12/分，気道内圧 10 cmH ₂ O，吸気時間 1 秒）開始。
4.	IPPV 開始 5 分後，control 値測定
5.	右側第 6 肋間開胸術により，右側後葉血行遮断後，気管支切断
6.	開胸後，IPPV 2 分，5 分，8 分値測定。
7.	8Fr 栄養チューブを利用し HFJV（200 cycle/min，0.0 ratio）開始
8.	HFJV 開始後，5 分，10 分，15 分値測定
9.	右側後葉気管支縫合後，IPPV 開始。
10.	閉胸後測定し，覚醒。

血液ガス分析装置（ABL30），術中モニターは日本コーリン社製（BP508）を使用した。

結 果

各分析結果を表 3 および図 1 に示した。
気管支切断後，IPPV 下の値はコントロール値に比較して，pH は低下傾向にあり，気管支切断後 2 分値では平均 7.091，5 分値では 7.009，8 分値では 7.032 であった。その後 HFJV 実施下では 5 分値 7.204，10 分値 7.182，15 分値では 7.176 であり，IPPV 下に比較すると上昇傾向にあった。PaO₂ は，気管支切断前平均コントロール値 538.4 mmHg に比較し，気管支切断後 2 分値では 319.8 mmHg，5 分値 276.5 mmHg，8

分値 259.4 mmHg と 50％近く低下した。その後の HFJV 実施時には開始後 5 分値 183.6 mmHg，10 分値 201.3 mmHg，15 分値では 170 mmHg と IPPV 使用時に比較するとさらに低下した。しかし，SpO₂ の値は気管支切断後 IPPV，HFJV のいずれの換気下でも 98％以上を維持していた。動脈血 Pco₂ では，気管支切断前平均コントロール値 31.5 mmHg に比較し，気管支切断後 IPPV 実験下の 2 分値 61.8 mmHg，5 分値 72.3 mmHg，8 分値 78.4 mmHg と大幅に上昇した。その後の HFJV 実施時には開始後 5 分値 45.2 mmHg，10 分値 41.2 mmHg，15 分値 44.6 mmHg と IPPV 使用時に比較すると著しく低下した。

表3 血液ガス測定値の変化

	pH	Pco ₂	Po ₂	SpO ₂	脈拍
猫 No1					
control	7.308	32.1	488.0	99.8	133
気管支切断					
IPPV 2 m	7.052	65.6	257.3	99.2	
IPPV 5 m	7.044	71.4	257.4	99.2	155
IPPV 8 m	7.005	82.6	253.3	99.1	169
HFJV 5 m	7.204	45.2	183.6	99.8	167
HFJV 10 m	7.230	42.2	182.7	98.9	168
HFJV 15 m	7.234	44.7	147.2	98.2	116
IPPV 12 m	7.133	57.8	254.0	99.3	159
自発呼吸下	7.142	59.4	282.7	99.5	158
猫 No2					
control	7.319	30.9	588.8	99.9	99
気管支切断					
IPPV 2 m	7.032	57.9	338.6	99.5	134
IPPV 5 m	6.974	73.2	295.5	99.3	133
IPPV 8 m	6.958	74.2	265.4	99.1	119
HFJV 5 m					
HFJV 10 m	7.133	40.2	219.8	99.1	132
HFJV 15 m	7.118	44.5	193.8	98.7	119
IPPV 12 m					
自発呼吸下	7.253	29.1	481.8	99.8	114
猫 No3					
control	7.575	16.7	524.4	99.9	120
気管支切断					
IPPV 2 m	7.188	58.9	363.5	99.9	156
IPPV 5 m	7.117	59.2	299	99.5	156
IPPV 8 m	7.133	54.2	249.1	99.7	153
HFJV 5 m	7.196	40.5	164.9	98.5	187
HFJV 10 m	7.259	37.6	155.7	98.5	190
HFJV 15 m	7.261	39.6	173.5	98.9	192
IPPV 12 m	7.197	47.3	296.5	99.6	107
自発呼吸下					

考 察

交通事故等の著しい外傷に伴う肺損傷，気胸時など肺実質に開放創が生じた場合，従来の IPPV，呼気陽圧換気，呼吸気陽圧換気等の人工呼吸法では，吸気相と呼気相の変換ができないため安全な麻酔管理，呼吸管理が不可能な状態になる。今回実験を行った HFJV は低い気道内圧で，拡散に近い形で，肺泡に酸素を送り込み，二酸化炭素を搬出可能にする換気法であり，呼気吸気の呼吸相に依存しない新しい換気法である。また，HFJV

は鼻孔近くの気管チューブ開口部でのジェットの発生によりベンチュリー効果を生じさせ，周囲の空気を巻き込むため，気道内の低圧を維持したまま実際の流量より多量の流量を気道内に得ることができ，さらに適度の混合気を自然的に作り出すことが可能となる。しかし，人医界においても HFJV も具体的な条件に関する定説はなく，試行錯誤の段階である⁵⁾。

今回の実験は，HFJV の基礎研究として気管支切断実験モデルを用い，IPPV を対照に血液ガス値の動向を観察した。IPPV では，気管支切断 2

図1 血液ガス値の推移

Jet : HFJV, Spont : 自発呼吸

分後より Po₂ 値は切断前のコントロール値の 50% にまで低下し, Pco₂ 値は 250% にまで上昇し, pH は低下し呼吸性アシドーシスの状態に陥った。これは気管支切断により気道内圧が機械的に十分に加わらず不安定となるために, 呼気相と吸気相の円滑な変換が障害され換気不全に陥ったためと思われた。

HFJV では, Po₂ 値の低下は起きたが, Pco₂ 値も IPPV より低く維持でき, 軽度の呼吸性アシドーシスに陥ったのみであった。Pco₂ 値を低く維持できたのは, HFJV が IPPV と異なり, 低い気道内圧で拡散に近い形で肺胞に酸素を送り込み, 二酸化炭素を排出したためと思われた。また, Po₂ 値が IPPV より低値を示した原因は, HFJV の特性であるベンチュリー効果により周囲の空気を気管チューブ内に巻き込み, 自然に空気混合気体を作成するために吸入気中の酸素分圧が低下す

るために発生したものと思われた。HFJV 時に Po₂ 値は IPPV 時より低値を示したが, SpO₂ は 98% 以上を維持し, 気管支切断 15 分間は HFJV で十分な換気を確保できるものと思われた。今回の実験で, 体重 3~5 kg 程度のものではあれば, 200 cycle/min, 0.01 ratio の条件の HFJV は十分な換気を得ることができると思われた。

実際の臨床面では, 気管支切断のようなきわめて重篤な肺損傷時に, 十分な換気状態を 15 分程度維持することができれば, 救命率の向上が期待できるものと推察した。

文 献

- 1) 五藤恵次 (1987): 高頻度ジェット換気法における換気式, ICU と CCU, 3 (1) 45-53.
- 2) 小西晃生, 蛭田芳文, 川前金幸, 阿曾晶子,

- 藤井真行, 鈴木美保子, 奥秋成 (1985) : オレイン酸肺水腫犬に対する HFJV の応用. 麻酔 34 : 1482-1486.
- 3) 桑迫勇登 (1985) : HFJV が 4 タイプの実験的病的肺に及ぼす効果. 麻酔 34 : 1085-1094.
- 4) 桜井淑男, 宮坂勝之 (1993) : 高頻度振動換気法. ICU と CCU. 17 (12) : 1193-1199.
- 5) 関口弘昌, 宮尾秀樹, 高橋純一, 増田純一, 長野政雄 (1985) : Open bronchus 中の HFJV について, 麻酔 34 : 463-467.
- 6) 吉田仁, 酒井資之, 高折益彦 (1991) : 肺内塩酸注入による肺水腫モデルに対する重畳式高頻度換気法の効果, 麻酔 40 : 1326-1332.