

□原著□

高頻度ジェット換気の肺内圧に及ぼす影響

佐藤 俊* 星 邦彦* 芳賀 忍*
松川 周** 橋本 保彦*

ABSTRACT

Effects of High Frequency Jet Ventilation on Intrapulmonary Pressure

Shun SATOH, Kunihiko HOSHI, Shinobu HAGA,
Shu MATSUKAWA, and Yasuhiko HASHIMOTO

*Department of Anesthesiology, Tohoku University School of Medicine
1-1 Seiryomachi, Aoba-ku, Sendai 980, Japan*

We measured left lower lobe intrapulmonary pressure (P_p), intratracheal pressure (P_t), and ventilatory circuit pressure (P_c) during high frequency jet ventilation (HFJV) in 5 anesthetized dogs. P_p was measured by a capsule glued to the pleural surface, and the intracapsular space had communication with the intrapulmonary space via holes of pleural punctures. Driving pressure of HFJV studied was 15 and 30 psi. The ventilatory frequency was varied from 100 to 600/min. Mean P_p was in the close proximity of mean P_t in all circumstances, and was significantly higher than mean P_c . It was thought airway pressure was transmitted to alveoli with only little attenuation, and high pressure existed in alveoli, which was almost equal to that in the airway during HFJV. The more the ventilatory frequency of HFJV increased, the more the lowest P_p elevated significantly. These results suggested the alveolar gas trapping will follow when the expiratory time becomes too short for the lung volume to fall to the preset level.

はじめに

実験的肺水腫犬での高頻度ジェット換気（以下HFJV）は、平均気道内圧を同一に保つならば、持続陽圧換気法より酸素化能が改善することはなく、酸素化能は平均気道内圧に依存することが示唆されている¹⁾。しかし、ジェット換気時の気道内圧はジェット流の影響をうけ、その測定部位により測定値は大きく変動することが問題となる。

橋本ら²⁾は、適正な圧測定部位はジェットカニューラ先端より7 cm以上遠位であり、それより近位であると測定位置により平均気道内圧が大きく変動すると報告している。また、小西ら³⁾は、モデル肺を用いて平均回路内圧より平均気管内圧の方が高いことを示している。測定上の圧が実際に気道内にかかる圧より低めに評価されると、過大な圧をかけ肺の圧損傷を起こす可能性があり危険である。

臨床での肺胞内圧の測定は難しいが、肺胞カプセル法を用いて、摘出肺での High frequency os-

* 東北大学医学部麻酔学教室

** 東北大学医学部集中治療部

cillation 中の肺胞内圧測定^{4)~6)}、あるいは Clamp off 法を用いた、生体での HFJV 施行時の平均肺胞内圧測定^{7)~9)}についていくつかの実験報告がある。今回われわれは、雑種成犬を用い HFJV 下で回路内圧、気管内圧、および肺胞カプセル法を用いて測定した肺内圧を比較検討したので報告する。

方 法

雑種成犬 5 頭に麻酔下に側管付きチューブを気管内挿管し、右側臥位で左開胸した。左下葉の肺側胸膜を穿刺しカプセルを接着させ、胸膜直下の肺と交通を作りカプセル内の圧を測定した。気管内チューブ側管より圧測定用カニューラをチューブ先端 2 cm 遠位まで進め、気管内圧を測定した。回路内圧の測定はコネクター部で行った。VS 600 を用いてコネクター部から HFJV を行い、回路内圧、気管内圧、肺内圧を同時に測定した。HFJV の換気条件は、駆動圧 15, 30 psi, 換気回数 100, 200, 250, 400, 600 回/分の 10 通りの組合せとした (図 1)。統計学的検討は t-検定を用い、 $p < 0.05$ を有意とした。

結 果

(1) 圧波形

図 2 に換気回数 400 回/分時の圧波形を示す。駆動圧 15, 30 psi のいずれの場合でも、肺内圧波形は気管内圧波形とほとんど等しく、回路内圧に比較し高かった。

(2) 測定部位と圧との関係 (図 3)

① 駆動圧 15 psi の場合

図 3 に示すように、最高気管内圧と最高肺内圧は、すべての換気回数で最高回路内圧に比較し有意に高かった。また、換気回数が 250 回/分以下のときに、最高肺内圧は最高気管内圧に比べ有意に低かった。

最低気管内圧と最低肺内圧は、すべての換気回数で最低回路内圧に比較し有意に高かった。換気回数が 100, 250 回/分のときに、最低肺内圧は最低気管内圧に比べ有意に高かった。

平均回路内圧、平均気管内圧、および平均肺内圧は、換気回数 100 回/分で 1.4 ± 0.1 , $7.5 \pm$

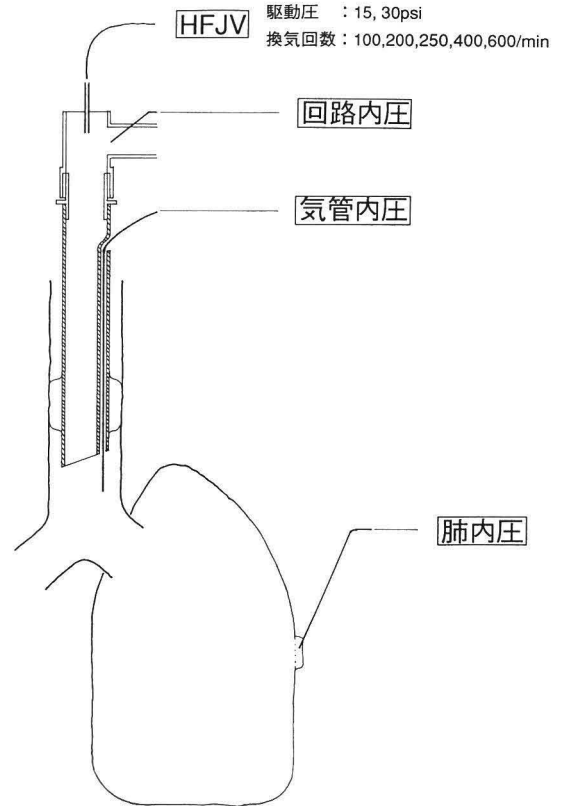


図 1 測定方法

0.1 , 7.3 ± 0.1 cmH₂O, 200 回/分で 1.3 ± 0.1 , 7.4 ± 0.1 , 7.3 ± 0.1 cmH₂O, 250 回/分で 1.2 ± 0.1 , 7.2 ± 0.2 , 7.2 ± 0.1 cmH₂O, 400 回/分で 1.2 ± 0.1 , 7.6 ± 0.1 , 7.4 ± 0.1 cmH₂O, 600 回/分で 1.2 ± 0.1 , 7.5 ± 0.1 , 7.4 ± 0.2 cmH₂O であった。平均肺内圧は、すべての換気回数で平均気管内圧とほとんど等しく、平均回路内圧に比較し有意に高かった。

② 駆動圧 30 psi の場合

図 3 に示すように、最高気管内圧と最高肺内圧は、すべての換気回数で最高回路内圧に比較し有意に高かった。また、換気回数が 200, 250 回/分のときに、最高肺内圧は最高気管内圧に比べ有意に低かった。

最低気管内圧と最低肺内圧は、すべての換気回数で最低回路内圧に比較し有意に高かった。換気回数が 600 回/分のときに、最低肺内圧は最低気管内圧に比べ有意に低かった。

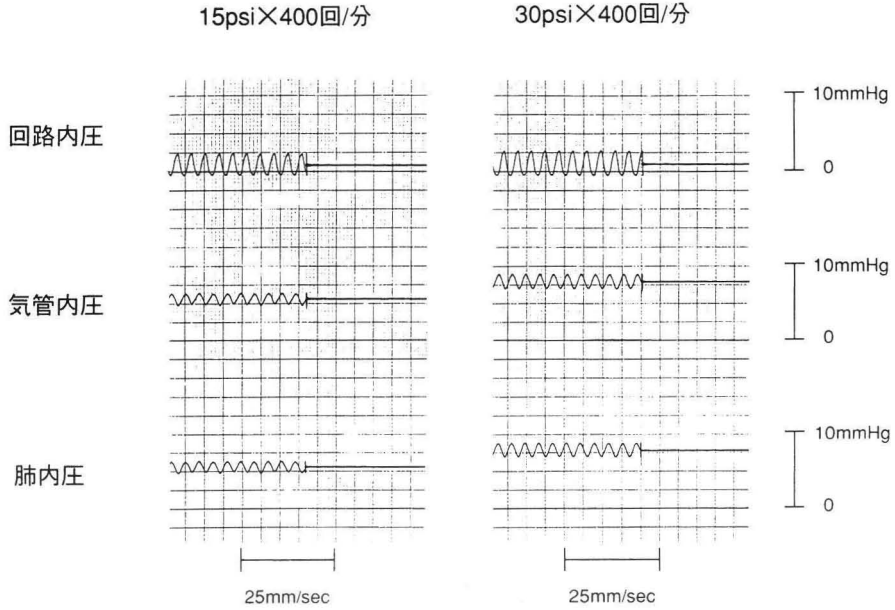


図2 換気回数400回/分時の圧波形

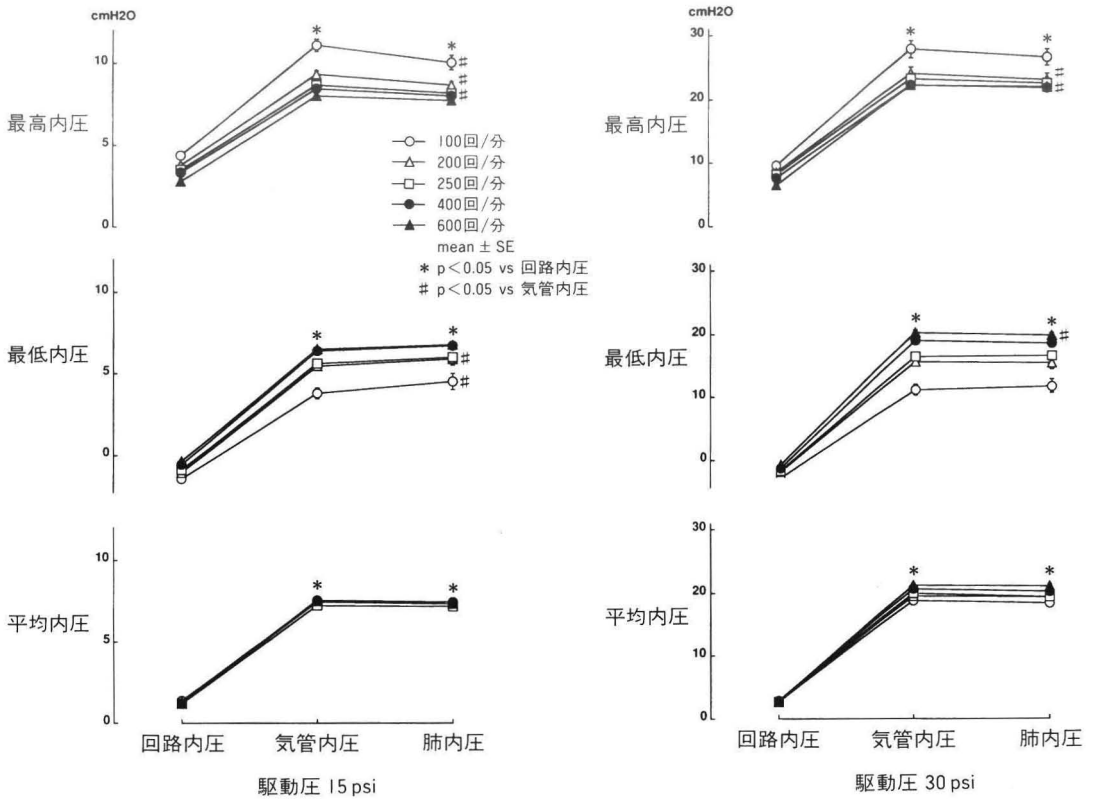


図3 測定部位と圧との関係

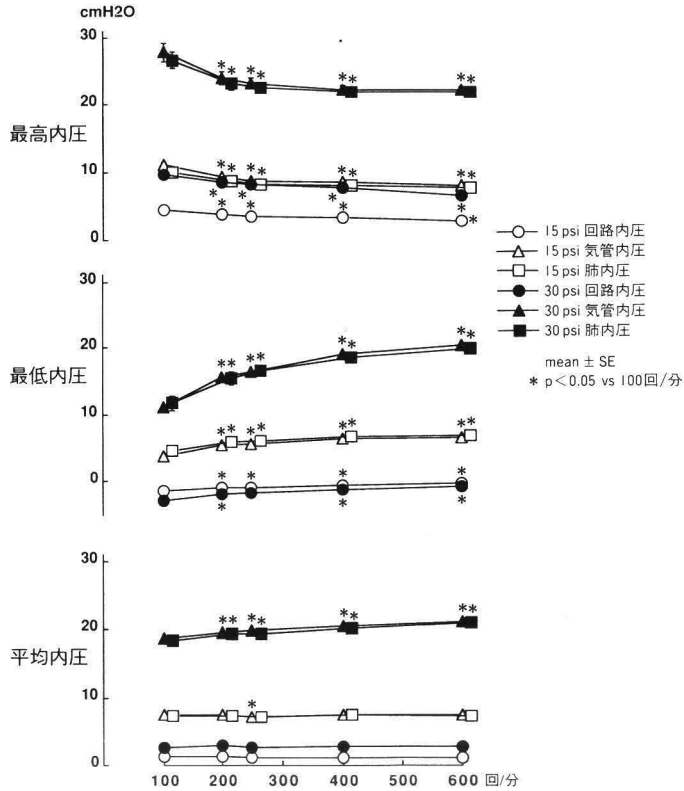


図 4 換気回数と圧との関係

平均回路内圧，平均気管内圧，および平均肺内圧は，換気回数 100 回/分で 2.7 ± 0.2 , 18.8 ± 0.7 , 18.4 ± 0.6 cmH₂O, 200 回/分で 2.9 ± 0.3 , 19.6 ± 0.5 , 19.4 ± 0.7 cmH₂O, 250 回/分で 2.7 ± 0.2 , 19.9 ± 0.5 , 19.4 ± 0.7 cmH₂O, 400 回/分で 2.8 ± 0.1 , 20.6 ± 0.6 , 20.2 ± 0.6 cmH₂O, 600 回/分で 2.7 ± 0.1 , 21.2 ± 0.3 , 21.1 ± 0.3 cmH₂O であった。平均肺内圧は，すべての換気回数で平均気管内圧とほとんど等しく，平均回路内圧に比較し有意に高かった。

(3) 換気回数と圧との関係 (図 4)

最高回路内圧，最高気管内圧および最高肺内圧は，駆動圧 15, 30 psi のいずれの場合でも，換気回数の増加に従い有意に低下した。

最低回路内圧，最低気管内圧および最低肺内圧は，駆動圧 30 psi, 換気回数 250 回/分のときの回路内圧を除き，換気回数の増加に伴い有意に上昇した。

平均回路内圧は，駆動圧が 15, 30 psi の両方で，換気回数が増加しても変化しなかった。駆動圧が 15 psi の場合，平均気管内圧は換気回数 100 回/分に比較し 250 回/分で有意に低下したが，他の換気回数では有意の変化を示さなかった。また平均肺内圧は換気回数が増加しても有意の変化を示さなかった。駆動圧が 30 psi の場合，換気回数を増加させると，平均気管内圧，平均肺内圧はともに有意に上昇した。

考 察

肺胞の直径は 0.2 mm 前後であり，穿刺の深さが 1 mm であれば数個の肺胞を貫いていることになる。カプセル内は，肺胞のみではなく肺胞管，呼吸細気管支に交通している可能性もある。今回測定したカプセル内の圧は，胸膜直下の肺胞内圧だけでなく，末梢気道内圧も反映していると考え肺内圧と呼んだ。

Positron emission tomography を用いて高頻度換気時の肺内換気分布を測定した報告によると、中心部に最も換気の良い部分が存在し、周辺にいくほど換気が悪くなることが示されている¹⁰⁾。高頻度換気時、肺内換気分布に連動して測定部位の違いにより肺内圧も不均等に分布することが予想され、測定部位、数に関しては今後の検討を要するものと思われる。

われわれが検討した HFJV の換気条件では、気管内圧はほとんど減衰せずに肺内圧に伝播しており、肺胞にも高い圧がかかっていると考えられた。HFJV 施行時、呼吸器の回路内圧をモニターするだけでは、実際に肺内にかかっている圧を過小評価する危険があると思われる。

Eliassen ら¹¹⁾は、犬の摘出肺を用いて、呼吸を大気開放した系で高頻度換気を行い、換気回数を増加させると、5 Hz (300 回/分) 以上で有意に末梢気道の呼吸終末圧が上昇したと報告した。今回、最低肺内圧は駆動圧 15, 30 psi のいずれの場合でも、換気回数の増加に伴い有意に上昇し、これは、呼吸が終了する前に吸気が始まってしまうために起こる肺胞気のトラッピングを意味すると考えられる。HFJV 時にも生体肺にヒステレーシスが存在するとすれば、モデル肺に比較し肺胞気のトラッピングが起りやすくなる可能性がある。

橋本ら²⁾は、モデル肺でジェットカニューラ先端より 10 cm 前後で気道内圧を測定した。15, 30 psi のいずれの駆動圧下でも、換気回数が多いほど、平均気道内圧、機能的残気量が増加した。その傾向は駆動圧が高いほどより顕著に現われた。彼ら²⁾は、換気回数を増加させると気道内圧が上昇する理由として、空気のトラッピングが関与していると推測した。

今回の実験では、駆動圧が 30 psi の場合、換気回数を増加させると、平均気管内圧、平均肺内圧はともに有意に上昇した。しかし、駆動圧が 15 psi の場合、平均気管内圧、平均肺内圧は換気回数が増加しても上昇しなかった。生体肺の全肺コンプライアンス曲線は、機能的残気量付近で、低肺気量位では立上がりが悪いが、肺気量が増加するに従い立上がってくる。肺は肺気量が多い

ほど膨らみやすく時定数が大きくなるため、呼吸がトラップされやすい特性を持つ。HFJV 時、駆動圧 15 psi に比較し、30 psi のときに吸気終末の肺気量がより大きく、肺胞気のトラッピングが起りやすいと考えられる。換気回数が増加すると、吸気時間が短縮し一回換気量が減少するため、最高気管内圧、最高肺内圧は低下する。しかし、駆動圧が高く吸気終末の肺気量が多いほど、呼吸時間短縮の影響を強く受ける。肺胞気のトラッピングによる最低気管内圧、最低肺内圧の上昇が、最高気管内圧、最高肺内圧の低下を相対的に上回り、平均気管内圧、平均肺内圧が上昇したと考えられる。一方、駆動圧が小さく肺気量が少ない場合には、時定数の増加がみられない。最高圧の低下と最低圧の上昇が相殺され、平均気管内圧、平均肺内圧が上昇しなかったと思われる。

結 語

1. 雑種成犬 5 頭を対象に HFJV を行い、回路内圧、気管内圧、肺内圧の同時測定を行った。
2. HFJV で平均肺内圧は平均気管内圧とほぼ等しく、回路内圧に比較し有意に高かった。
3. 最低肺内圧は駆動圧 15, 30 psi のいずれの場合でも、換気回数の増加に伴い有意に上昇した。

(1992.10.29 受)

文 献

- 1) 松川 周, 橋本恵二, 吉成道夫ほか: 肺水腫犬に対する HFJV の効果—CPPV との比較—. 「呼吸不全」調査研究班昭和 57 年度研究業績
- 2) 橋本恵二, 吉成道夫, 入間田悌二ほか: 高頻度ジェット換気下の気道内圧, 残気量, 換気量—モデル肺を用いて—. 人工呼吸 2: 89-92, 1985
- 3) 小西晃生, 川前金幸, 赤間洋一ほか: HFJV 施行時の気道内圧について. 人工呼吸 6: 113-118, 1989
- 4) Fredberg JJ, Douglas HK, Gray MG, et al: Alveolar pressure nonhomogeneity during small-amplitude high-frequency oscillation. J Appl Physiol 57(3): 788-800, 1984
- 5) Allen JL, Frantz III ID, Fredberg JJ: Regional alveolar pressure during periodic

- flow. *J Clin Invest* 76 : 620-629, 1985
- 6) Allen JL, Frantz III ID, Fredberg JJ : Heterogeneity of mean alveolar pressure during high-frequency oscillations. *J Appl Physiol* 62(1) : 223-228, 1987
 - 7) Simon BA, Gail GW, Wayne M : Mean airway pressure and alveolar pressure during high-frequency ventilation. *J Appl Physiol* 57(4) : 1069-1078, 1984
 - 8) Perez Fontan JJ, Heldt GP, Gregory GA : Mean airway pressure and mean alveolar pressure during high-frequency jet ventilation in rabbits. *J Appl Physiol* 61(2) : 456-463, 1986
 - 9) van Vught AJ, Versprille A, Jansen JRC : Alveolar pressure during high-frequency jet ventilation. *Intensive Care Med* 16 : 33-40, 1990
 - 10) Yamada Y, Charles B, Charles AH, et al : Regional mapping of gas transport during high-frequency and conventional ventilation. *J Appl Physiol* 66(3) : 1209-1218, 1989
 - 11) Eliassen K, Mogensen T, Andersen JB : Peripheral airway pressure during high frequency ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 30 : 97-100, 1986
-