〔一般演題〕

気管狭窄モデルの遠位および近位側からの jet ventilation の換気に及ぼす影響

篠　崎　正　博*　Miroslav Klain**

上気道狭窄患者の呼吸管理はしばしば困難をきわめているが，これらの患者に対する気道確保，換気方法などの研究についてはほとんどなされていない。

Klain らは percutaneous trans-tracheal HFJV は低い気道内圧で十分な換気が得られると報告している[1]。ゆえにこの方法は上部気管あるいは喉頭，咽頭の上気道狭窄に対して，緊急時の換気法として有用であるかもしれない。

一方われわれは著明な下部気管狭窄患者において狭窄前まで気管内チューブを挿入し，それを通しての JV により，十分な換気が得られたことを報告している[2]。また気管狭窄モデルにおいて JV は IPPV に比べ換気効率が良いことを認めている[3)4]。

今回われわれは気管狭窄とモデル肺を用い，狭窄前後からの JV の換気数が肺内圧，FRC に及ぼす影響を観察したので報告する。

実験方法

内径 4, 5, 6 mm，長さ 6 mm の気管狭窄モデルを使用し，モデル肺として Venti-Aid Training Test Lung 1600 を使用した。Jet ventilator は VS 600 を使用し 14 G の angio-cath を通して換気された。流速は ultra-sonic 法による VMS を用いて測定し，気管および肺内圧は Hewlett Packed model 270 の圧トランスデューサを用いた。FRC は test lung にそなえられた scale より digital で測定した。肺内圧，気管内圧，流速，MV，換気数および MV は HP model 150 computer に automatically に input され，一方 FRC のみは manmally に input された（図1）。

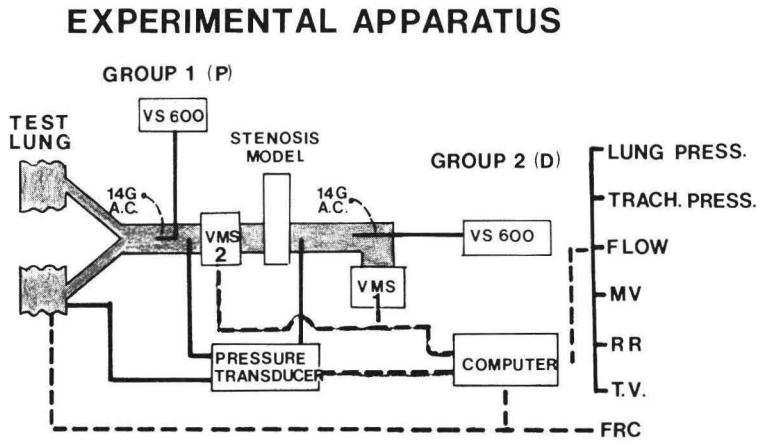

図 1　実験装置のシェーマ

Group 1 (P) では stenosis model の肺側から JV を行い，flow の測定は VMS 1 で行った。一方 Group 2 (D) では stenosis model の口側から JV を行い，flow の測定は VMS 2 で行った。（詳細は本文参照）

* 久留米大学病院救命救急センター
** Pittsburgh 大学 Montefiore 病院麻酔科

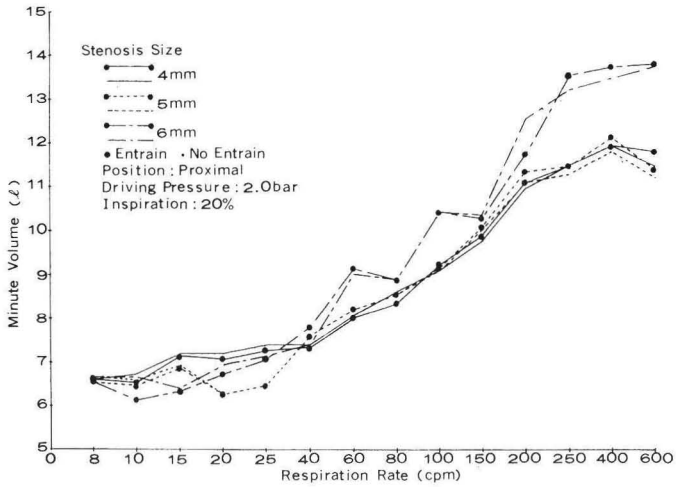

図 2　Group 1 における換気数の変化に伴う MV の変化

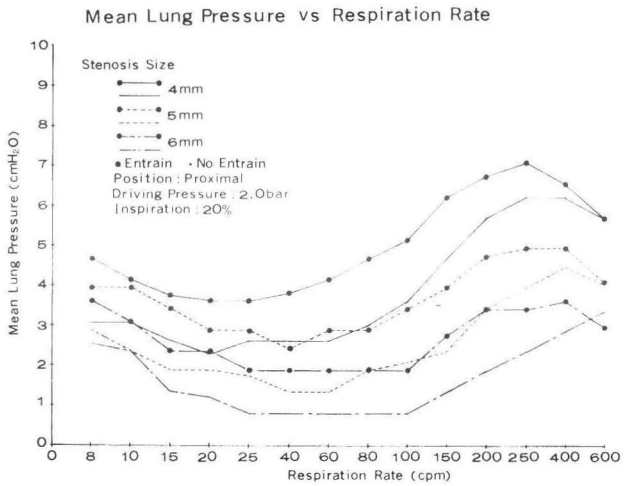

図 3　Group 1 における換気数の変化に伴う平均肺内圧の変化

Group 1 は狭窄後からの JV, すなわち percutaneous trans-tracheal jet ventilation のモデルであり, Group 2 は狭窄前からの JV, すなわち下部気管狭窄時の口側からの JV による換気法のモデルである。モデルの先端の空気出入口に一方弁を用いて吸気時に jet flow による Venturi 効果での空気の流入を防いだものを entrainment(−)とし，一方，一方弁を用いず開放回路としたものを entrainment (+) とした。いずれの実験においても jet ventilator の駆動圧は 2.0 bar とし，I/E は 20% とした。

結　果

1)　Group 1

MV は 4, 5, 6 mm の狭窄径，entrainment の有無にかかわらず，ほとんど同じで，換気数の増加とともに増加した（図 2）。

平均肺内圧はいずれの狭窄径においても凹型を示し，4 mm の狭窄径では換気数が 20〜25 cpm, 5 mm では 40〜60 cpm, 6 mm では 25〜100 cpm が最低を示した。平均肺内圧がもっとも高い 4 mm の狭窄径においても，平均肺内圧は換気数 150 cpm 以下では 8 cmH_2O 以下であった。また

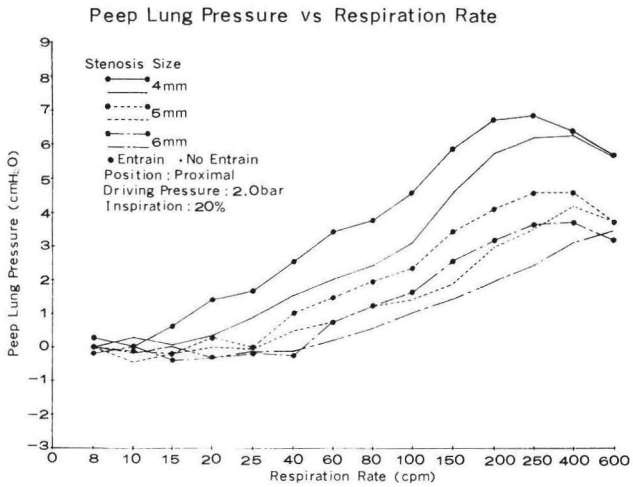

図 4　Group 1 における換気数の変化に伴う PEEP 値の変化

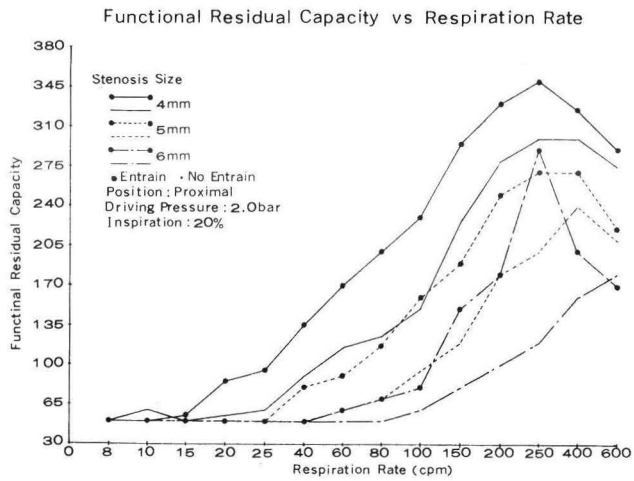

図 5　Group 1 における換気数の変化に伴う FRC の変化

entrainment を有するものはそうでないものに比べ平均肺内圧は上昇した（**図 3**）。

PEEP はいずれの狭窄径においても換気数の増加とともに上昇し，また狭窄径が小さい程 entrainment を有するものは閉鎖回路に比べ高値を示した。しかしながら 4 mm の狭窄径であっても換気数が 150 cpm 以下であれば PEEP 値は 5 cmH_2O 以下であった（**図 4**）。

FRC は PEEP 値と同様の変化を示し，換気数の増加とともに増加し，狭窄径が小さい程，また entrainment を有するものは閉鎖回路より増加した（**図 5**）。

2）Group 2

MV はいずれの狭窄においても換気数が 200 cpm 以上になると急激に減少する。Entrainment の有無による MV に対する影響は内径 6 mm でもっとも大きく，内径 4 mm では entrainment の効果が認められなかった（**図 6**）。

平均肺内圧は換気数の増加により凹型を示し，狭窄径が小さい程低値を示す。Entrainment の有無にかかわらず換気量がほぼ等しかった 4 mm の狭窄径では entrainment を有する方が平均気道

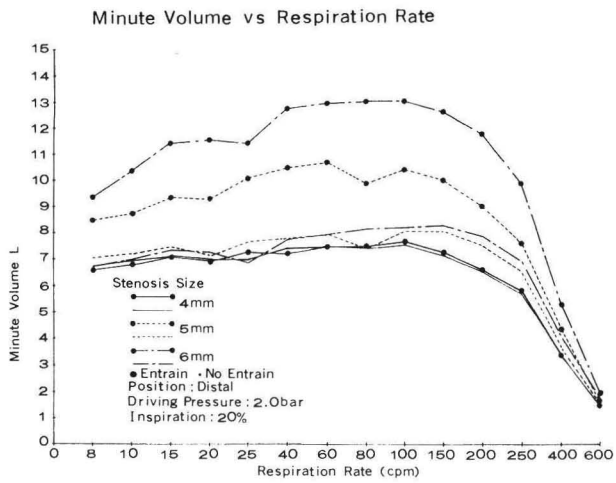

図 6　Group 2 における換気数の変化に伴う MV の変化

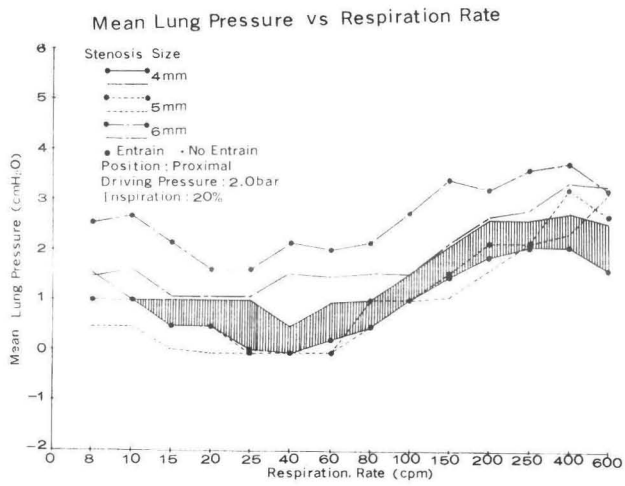

図 7　Group 2 における換気数の変化に伴う平均肺内圧の変化。
斜線は 4 mm 狭窄径での entrainment の有無の差を示す。

内圧は低下した（図7）。

PEEP 値は換気数の増加に伴い増加したが，4 mm の狭窄径では entrainment を有する方が閉鎖回路より低値を示した（図8）。

FRC は換気数の変化で PEEP 値と同様の変化を示した。また 4 mm の狭窄径では entrainment を有する方が閉鎖回路より低値を示した（図9）。

考　案

気管狭窄において，成人では狭窄径が 5 mm より臨床症状が生じるので，われわれは狭窄 4，5，6 mm のモデルを用いた。

気管狭窄に対する換気法において，JV の I/E 換気数，jet 針の大きさなどに影響される。今回われわれは jet ventilation の作動圧を 2.0，I/E 20% と固定し，換気数変化による換気効率についての検討を行った。

気管狭窄前からの JV すなわち percutaneous trans-tracheal jet ventilation のモデルである group 1 では換気量より，狭窄による air trapping での気道内圧が問題となる。図10に示すごとく平均肺内圧は低換気数では peak pressure,

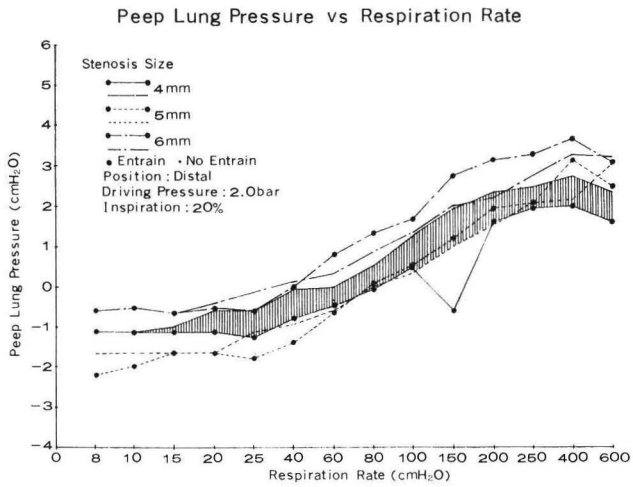

図 8　Group 2 における換気数の変化に伴う PEEP 値の変化。斜線は 4 mm 狭窄径における entrainment 有無における差を示す。

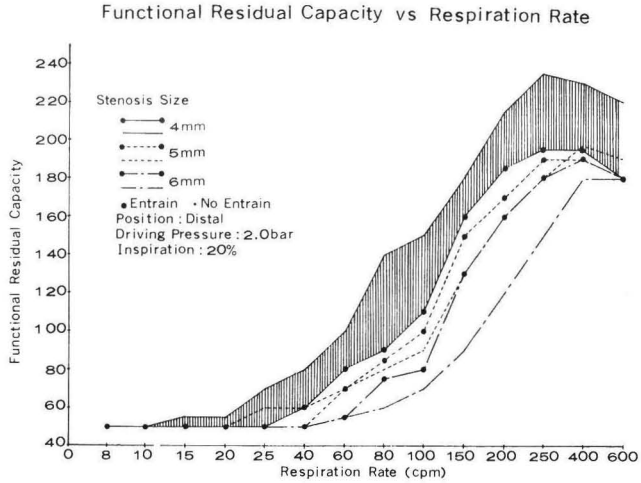

図 9　Group 2 における換気数の変化に伴う FRC の変化を示す。斜線は 4 mm 狭窄径における entrainment 有無での差を示す。

換気数の増加に従い PEEP pressure に影響される。換気量が十分であるとすれば，平均肺内圧がもっとも低下した換気数ら理想的な換気条件を示しているものと考えられる。すなわち 4 mm 狭窄径では 20～25 cpm, 5 mm 径では 40～60 cpm, 6 mm では 25～100 cpm の換気数であった。しかしながら**図 3** に示したごとく 4 mm の狭窄径においても平均肺内圧は 8 cmH_2O 以下であり，同様に換気数の増加により上昇した PEEP 値も 150 cpm 以下では 5 cmH_2O 以下であり，2.0 bar の駆動圧では著名な気管狭窄例においても 150 cpm 以下での JV は気道内圧に大きな影響を及ぼさないので臨床的に使用できるものと考えられる。しかし，このモデル実験においては，CO_2 の排泄能についてはまったく不明である。沢らは Pa_{CO_2} を 40 mmHg に保つことを目標とした IPPV から HFV まで適応できる換気予測式および表を報告している[5]。Group 1 での換気数と MV の関係が

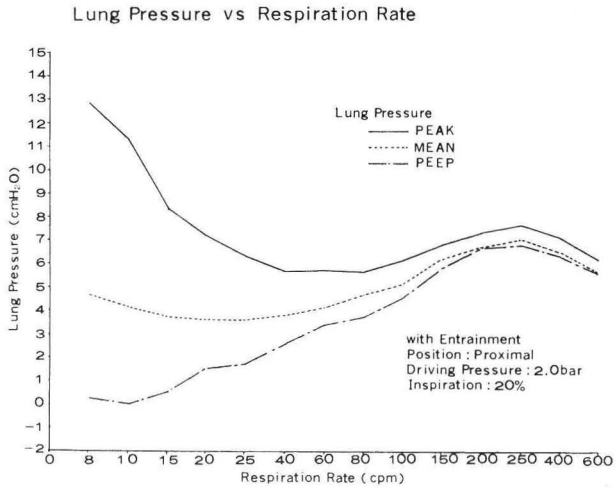

図 10　Group 1 における狭窄径 4 mm, entrainment (+), 駆動圧 2.0 bar, I/E 20% での peak, peep および mean の肺内圧を示す。

Pa_{CO_2} を 40 mmHg 以下に保てるかどうかを沢らの式で求めると体重 50 kg の男性では 40 cpm 以下の換気数でなければ十分な MV ではなかった。ゆえにそれ以上の換気数で CO_2 排泄に対する十分な換気量を保つためには駆動圧あるいは I/E を上昇させるかによらなければならない。

一方，気管狭窄前からの JV すなわち group 2 では group 1 と異なり，air trapping のみでなく，十分な換気が得られるかどうかが問題点となる。**図 6** に示したごとく MV は換気数が 200 cpm 以上になれば急激に低下する。ゆえに 150 cpm 以下の換気数が適切であろう。CO_2 の排泄面から group 1 と同様に沢らの式を用いて体重 50 kg の男性において Pa_{CO_2} を 40 mmHg 以下に保てる MV と換気数をわれわれの data 上でみると entrainment の有意にかかわらず 4 mm の狭窄径では 40 cpm 以下の換気数であった。平均肺内圧は group 1 と同様に呼吸数を増すことによって凹型を示すが，すべての換気数で 4 cmH_2O 以下を示し，また peak 値も同様であった。これらのことからわれわれが設定した駆動圧 2.0 bar および I/E は低く，十分な換気量も得られず，そのため肺内圧は低圧を示したものと考えられる。篠崎らは 3 mm の気管狭窄モデルを用い，group 2 と同様の狭窄前からの換気方法で，換気数 20 cpm, MV 200 ml の同じ条件下で IPPV と entrainment を有した JV を比較し，JV では IPPV と比べ気道内圧を低く保つことができ，この差は entrainment の有無によるものであろうと推測している[3]。今回の研究において 4 mm の狭窄モデルでは entrainment の有無にかかわらず MV はほとんど同じであった。しかし，平均肺内圧，PEEP 値および FRC は entrainment を有するものは閉鎖回路に比べ低下した。このことは，entrainment を有することにより，吸気時には jet 流の venturi 効果により entrainment より空気を吸入するが，同時に狭窄壁にあたった jet 流は逆方向へ流れ，吸気時であっても entrainment より排泄される。この逆向きの流れが呼気時に狭窄部を通しての呼気を促進することになり，平均肺内圧，PEEP，FRC を低下させるものと考えられる。

文　献

1) Klain M, Smith RB : High frequency percutaneous trans-tracheal jet ventilation. Crit. Care Med. 5 : 280–287, 1977

2) 末吉章雄，篠崎正博ほか：Jet Ventilation による気管狭窄患者の術中呼吸管理．日本臨床麻酔学会誌 4 : 68–73, 1984

3) 篠崎正博ほか：気管狭窄モデルにおける IPPV と

jet ventilation の換気力学について．麻酔 33 (11 S)：294，1984
4) 末吉章雄，篠崎正博ほか：気管狭窄モデルにおける流速波型の相違による気管内圧への影響．人工呼吸 3：72-74，1986
5) 沢　桓，真鍋雅信ほか：IPPV から HFV まで適応できる換気量予測法．呼と循 31：637-643，1983