

□ 症例報告 □

Tracheal gas insufflation を施行した
volume reduction surgery 術後呼吸不全の 1 症例

長野 修*¹ 溝 渕 知 司*¹ 五 藤 恵 次*¹ 片 山 浩*¹
平 川 方 久*¹ 伊 達 洋 至*² 清 水 信 義*² 時 岡 宏 明*³

ABSTRACT

A case report of successful weaning by tracheal gas insufflation
after lung volume reduction surgery

Osamu NAGANO*¹, Satoshi MIZOBUCHI*¹, Keiji GOTO*¹, Hiroshi KATAYAMA*¹,
Masahisa HIRAKAWA*¹, Hiroshi DATE*², Nobuyoshi SHIMIZU*², Hiroaki TOKIOKA*³

*¹Department of Intensive Care and *²Department of Surgery II,
Okayama University Hospital

*³Department of Anesthesiology, Okayama Rosai Hospital

A 66-year-old male patient with emphysema was developed marked hypercapnia and mild bilateral air leakage after lung volume reduction surgery. His respiratory status did not improve in spite of continuing pressure support ventilation (PSV) for several days. Institution of tracheal gas insufflation (TGI) immediately ameliorated dyspnea with progressive decrease in PaCO₂. He was successfully weaned from PSV with TGI.

During spontaneous breathing, TGI (3 or 6 l/min) significantly decreased esophageal pressure swing without increase in auto-PEEP. Respiratory rate and PaCO₂ decreased slightly.

Because positive pressure ventilation potentially aggravates air leakage, TGI is thought to be an useful ventilatory support technique for this kind of patients. Effectiveness of TGI combined with PSV, however, should be further evaluated.

はじめに

肺容量減少手術 (volume reduction surgery ; VRS) は、肺気腫患者の呼吸機能改善を目的とした外科的手段である¹⁾²⁾。VRS の術後は、陽圧換気に伴う圧外傷やエアリークを避けるため原則的に術直後に抜管し自発呼吸で管理する³⁾。今回われわれは、ICU 退室後早期に呼吸不全を来た

し人工呼吸管理が必要となった VRS 術後患者に tracheal gas insufflation (TGI) を施行し、人工呼吸からの離脱促進に有用であったので報告する。

症 例

症例は 66 歳男性で、診断はびまん性肺気腫。1989 年労作時呼吸困難で発症し、1992 年より在宅酸素療法が開始された。1995 年 10 月当院第 2 外科において、呼吸機能改善を目的として両肺 VRS が施行された。

*¹ 岡山大学医学部附属病院集中治療部

*² 同第二外科

*³ 岡山労災病院麻酔科

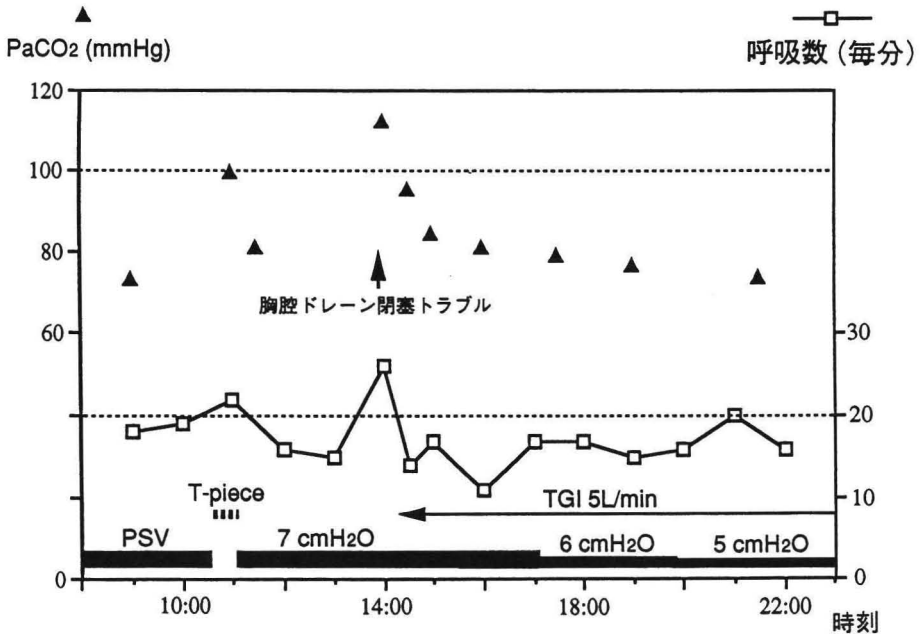


図1 TGI開始前後の呼吸数, PaCO₂の変化

術前検査では、努力肺活量 1.62 l, 1 秒量 0.53 l, 1 秒率 32.7%, 残気量 3.88 l で、鼻カニューラにて酸素 1 l/分投与下に PaCO₂ 73 mmHg, PaO₂ 51 mmHg であった。また、胸部 X 線写真で両肺の著しい過膨張と横隔膜の平坦化を認めた。

手術終了直後に抜管し、ICU で 2 日間管理した後病棟管理となった。同日深夜、喀痰排出困難のため酸素 5 l/分投与下に PaCO₂ 114 mmHg, PaO₂ 44 mmHg と高炭酸ガス血症、低酸素血症が著明となり、人工呼吸管理の目的で ICU に再入室した。気管切開施行後、PB-7200 ae™ (Nellcor Puritan Bennett, USA) を装着し pressure support ventilation (PSV) にて呼吸管理を開始した。術直後から両肺のエアリークが持続しており、3~7 cmH₂O の PSV で管理した。呼吸数は 20 回/分程度であったが PaCO₂ 80~90 mmHg の高炭酸ガス血症と呼吸困難感が持続し、早期のウィーニングは困難であった。ICU 再入室 6 日目、7 cmH₂O の PSV にて呼吸数 15 回/分、PaCO₂ 81 mmHg と安定していたが、胸腔ドレーンが一時的に閉塞するというトラブル (約 10 分間) を契機に呼吸困難が増強し、

呼吸数 25 回/分、PaCO₂ 112 mmHg (ドレーン閉塞中) と呼吸状態が悪化した。ドレーンの閉塞解除後も呼吸状態が改善しないため、PSV のサポート圧を増加させる代わりに TGI を 5 l/分にて PSV に併用した。TGI は、ブレンダーで酸素濃度を調節し加温加湿器を介した新鮮ガスを、気管分岐部手前約 1 cm まで挿入留置した 8 Fr の小児用閉鎖式気管内吸引システム (トラックエア™) の吸引ポートから一定流量で供給する方法で行った。

TGI 併用直後より呼吸困難感は軽減し、呼吸数は 12~18 回/分に減少した。PaCO₂ は TGI 開始 20 分後には 89 mmHg と改善し、その後さらに低下した (図 1)。そのため PSV を徐々にウィーニングし、翌日 (再入室 7 日目) には TGI 施行下に自発呼吸管理に移行できた。

自発呼吸管理に移行した当日、CP-100™ プルモナリモニター (Bicore; USA) を用いて換気諸量の計測を行った (図 2, 表 1)。TGI flow を 0, 3, 6 l/分と変化させると、吸気時の食道内圧の低下 (dPes) は 17.0, 15.2, 13.6 cmH₂O と有意に減少し (連続した 30 呼吸の平均値)、PaCO₂ は 92, 89, 79 mmHg と低下傾向を示し

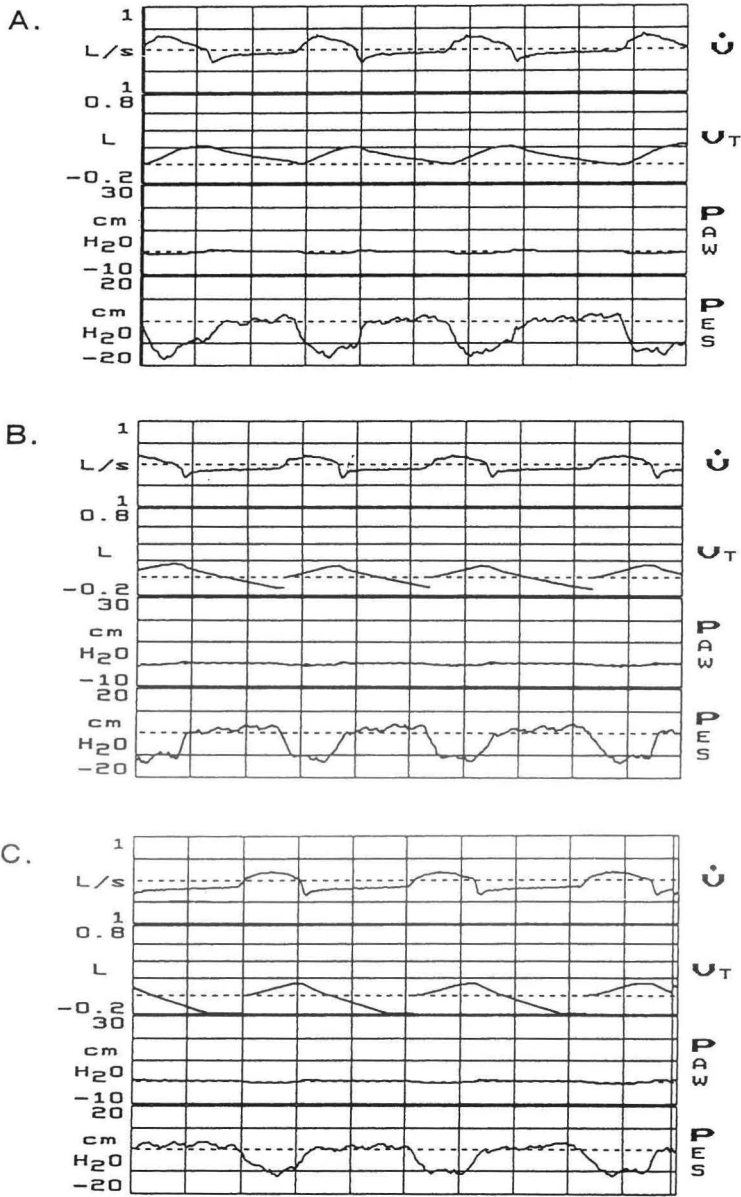


図 2：CP-100 による口元の流速，換気量，気道内圧および食道内圧の計測（自発呼吸時）

A：TGI 0 l/min， B：TGI 3 l/min， C：TGI 6 l/min

\dot{V} ：口元の流速， V_T ：換気量， P_{aw} ：気道内圧， P_{es} ：食道内圧

TGI 施行時には， V_T のトレーシングは連続しない。TGI 施行により食道内圧の変動は小さくなっている。

た。

その後、患者は肺炎を併発し再び人工呼吸管理を必要としたが、肺炎およびエアリークが治癒し

た後、再入室 25 日目に人工鼻での管理が可能となった。その間、TGI を断続的に計約 11 日間、同じく PSV を計約 8 日間施行した。人工鼻（酸

表 1 TGI 施行の有無による換気諸量の計測値 (自発呼吸時)

TGI flow (l/min)	0	3	6
Paco ₂ (mmHg)	92	89	79
RR (/min)	19.5±0.8	20.2±1.5	18.6±0.5* [§]
dPES (cmH ₂ O)	17.0±2.3	15.2±1.5*	13.6±1.2* [§]
PTP (cmH ₂ O·sec/min)	311±56	282±44	236±31
auto-PEEP (cmH ₂ O)	2.2±1.7	3.7±1.6	4.8±1.7
Ti/Ttot	0.38±0.03	0.39±0.04	0.34±0.02
WOBp (J/l)	1.37±0.23	1.22±0.12	1.12±0.11
V _{Ti} (l)	0.21±0.03	0.17±0.03	0.14±0.01
\dot{V}_I (l/min)	4.0±0.6	3.4±0.5	2.6±0.2
\dot{V}_E (l/min)	3.7±0.2	5.7±0.1	7.6±0.1

RR：呼吸数，dPES：吸気時の食道内圧低下，PTP：pressure-time product，Ti/Ttot：duty cycle，WOBp：呼吸仕事量，V_{Ti}：吸気1回換気量， \dot{V}_I ：吸気分時換気量 (V_{Ti}×RR)， \dot{V}_E ：呼気分時換気量，Paco₂ 以外の値は CP-100 による計測値 (連続した 30 呼吸の平均±標準偏差)

*：TGI flow 0 に対して有意差あり，[§]：TGI flow 3 l/min に対して有意差あり (ともに P<0.05；ANOVA, Dann's test)

RR, dPES 以外の計測値は，TGI 施行時の値が信頼できなくなるため統計検定を行っていない (本文参照)。

素 2 l/分) にて呼吸数は 15~20 回/分，Paco₂ は 70~75 mmHg で安定したため，ICU 再入室 27 日目に ICU を退室した。

考 察

TGI は，気管分岐部の 1~2 cm 手前に留置した細いカテーテルから数 l/分の新鮮ガスを流して換気効率を改善させる簡便な換気補助手段であり⁴⁾⁵⁾，呼吸不全患者への臨床応用が報告されている^{6)~9)}。急性呼吸不全において調節呼吸に TGI (4 l/分) を併用した報告⁷⁾では，1 回換気量と換気数が一定の条件では Paco₂ が，Paco₂ と換気数が一定の条件では 1 回換気量がそれぞれ約 20% 低下している。そのため，TGI は小さい 1 回換気量を用いて肺損傷を予防する lung protective strategy の補助手段としても注目されている⁸⁾¹⁰⁾。また，慢性呼吸不全に単独で用いた場合の有用性も報告されている⁶⁾⁹⁾。

TGI が換気効率を改善する主たる機序は，呼気時の TGI flow が上気道に残存する呼気を洗い出し炭酸ガスの再呼吸を減少させる作用 (解剖学的死腔の減少) による⁴⁾⁵⁾。TGI による換気効率

の改善とは，この死腔減少効果によって一定の肺胞換気量を得るための分時換気量が減少することを意味している。

CP-100 で換気諸量を計測した結果 (図 2, 表 1) では，自発呼吸下に TGI flow を 0, 3, 6 l/分と変化させると呼吸数および Paco₂ は低下傾向を示し，dPES, pressure-time product (PTP) および呼吸仕事量 (WOBp) は減少した。しかし，TGI 施行中に CP-100 で計測した口元の流速は実際の値と異なり，吸気時は TGI flow 分だけ少なく呼気時は TGI flow 分だけ多く計測される。また，口元の流速で見た吸気開始の認識は実際よりも若干遅れ吸気終了は若干早く認識される。そのため，TGI 施行中に CP-100 で計測した換気量は実際の値と大きく異なるほか，PTP, WOBp, duty cycle も信頼性に乏しくなるため厳密な比較はできない。一方，dPES は TGI の影響を受けないため，dPES が減少したことは換気補助手段としての TGI の有効性を裏付けるものである。dPES の減少は，換気効率改善に伴う 1 回換気量減少によると考えられ，呼吸数の変化と併せて分時換気量の減少も推察され

る。TGI 施行中の1回換気量や分時換気量は、CP-100の計測値と吸気時または呼気時のTGI flowから算出できるが、TGI flowを正確に測定していないことやエアリークなどのため不可能であった。

TGI以外にエアリークが換気効率改善に関与した可能性は否定できない。持続的なエアリークが存在する場合には、上気道の死腔が実質的に減少するTGI様の効果が発生すると考えられる。TGI施行によってエアリークが増加したとすれば、増加したエアリークが換気効率の改善に寄与した可能性はある。TGI非施行時のエアリーク量は、CP-100による換気量の計測値を用いた単純計算では約0.34 l/分(TGI off)、1呼吸当たり約17 mlであった。しかし、TGI施行中のエアリーク量の算出は、TGI flowを正確に測定していないなどの理由で信頼できない。臨床的には、TGI施行によって明らかなエアリークの増加は認めなかったため、エアリークの関与は少ないと考えられる。

TGIの換気効率改善機序から考えて、上気道の死腔を解剖学的に減少させる気管切開⁹や肺胞死腔が増大している症例¹¹ではTGIの有効性は減少する。一方、1回換気量が小さく高炭酸ガス血症の場合にはTGIの有効性は増すとされる¹¹。したがって、本症例でTGIが有効であった理由として、VRSによって気腫性病変の強い部分が切除され肺胞死腔が減少していること¹²、1回換気量が約200 mlと小さく著しい高炭酸ガス血症であったことが考えられる。

TGIの問題点として、auto-PEEP発生の可能性が指摘されている⁸⁾¹³。CP-100で計測したauto-PEEPは、TGI flow 0, 3, 6 l/分において、2.2, 3.7, 4.8 cmH₂Oと増加した(表1)。しかし、TGI施行中は患者の吸気流速がTGI flowを越えた時点での食道内圧の低下を計測するためauto-PEEPを過大評価する。口元の流速および食道内圧曲線においてTGI flowを考慮して計測し直すといずれの場合も2~3 cmH₂Oで、TGIによるauto-PEEPの増加はないと思われた。

本症例の様にエアリーク存在下に換気補助を行

う場合、通常の陽換気ではエアリークを増強させる可能性がある。TGIを自発呼吸下で行う場合(単独またはPSVとの併用)には気道内圧を上昇させないため⁴⁾⁵、auto-PEEPが増加しなければエアリークのある患者の換気補助手段として大変有用と考えられる。本症例では、TGIはエアリークを増強させることなく患者の呼吸状態を改善した。さらに陽圧呼吸からの離脱を促進しエアリークの改善に寄与した可能性も考えられる。

TGIに関する報告は、調節呼吸との併用⁷⁾⁸が単独⁶⁾⁹が多くPSVでの報告¹⁴は少ない。PSVにTGIを併用すると、トリガーと吸気の終了基準(termination criteria)が変化する⁴⁾⁵。圧トリガーの場合にTGI flowが存在すると、回路内定常流を併用した場合¹⁵と同様にトリガー遅れが増す¹⁴。TGIによってauto-PEEPが生じた場合には、auto-PEEPによるトリガー遅れの影響が加わる¹⁶。流速トリガーの場合もトリガー感度は鈍くなるが、本症例では流速トリガーの方が楽であるとの患者申告により基本的に流速トリガー(base flow: 5 l/分, sense flow: 1 l/分)を用いた。TGI flowが多く吸気努力が弱い場合にはトリガーできない可能性が報告されているが¹⁴、本症例で6 l/分以下でTGIを行った限り問題はなかった。一方、PB-7200のtermination criteriaは吸気流速5 l/分であるが、TGIを6 l/分で併用すると実際の吸気流速が11 l/分まで低下した時点で吸気が終了する。COPD患者においては、通常のtermination criteriaでは吸気終了が遅すぎる場合が多くむしろ好ましい可能性もあるが、トリガー遅れと併せてPSVの換気補助時間は短くなる。したがって、PSVにTGIを併用するとPSVの換気補助効果は減少し、TGIの換気効率改善による呼吸仕事量の軽減がPSVの換気補助減少を上回らなければTGIは無効となる¹⁴。本症例では、当初7 cmH₂OのPSVにTGIを併用し呼吸状態は改善したが、後日CP-100で換気諸量を計測しても明らかな効果は認めなかった。PSVにおけるTGI併用の有用性は、呼吸状態や病態によって異なる可能性があり今後の検討が必要である。

参考文献

- 1) Cooper JD, Trulock EP, Triantafillou AN, et al : Bilateral pneumonectomy (volume reduction) for chronic obstructive pulmonary disease. *J Thoracic Cardiovasc Surg* 109 : 106-119, 1995
 - 2) 伊達洋至, 五藤恵次, 多田慎也ほか : プラを伴わないびまん性肺気腫に対する volume reduction surgery. *呼吸* 15 : 1184-1189, 1996
 - 3) 五藤恵次, 平川方久 : 肺気腫に対する Volume Reduction Surgery の麻酔. *臨床麻酔* 21 : 785-793, 1997
 - 4) 今中秀光 : Tracheal Gas Insufflation. *人工呼吸* 14 : 1-9, 1997
 - 5) 長野 修, 五藤恵次, 時岡宏明 : Tracheal Gas Insufflation. *ICU と CCU* 20 : 559-565, 1996
 - 6) Hurewitz AN, Bergofsky EH, Vemero E : Airway insufflation : Increasing flow rates progressively reduce dead space in respiratory failure. *Am Rev Respir Dis* 144 : 1229-1233, 1991
 - 7) Nakos G, Zakynthinos S, Kotanidou A, et al : Tracheal gas insufflation reduces the tidal volume while P_{aCO_2} is maintained constant. *Intensive Care Med* 20 : 407-413, 1994
 - 8) Belghith M, Fierobe L, Brunet F, et al : Is tracheal gas insufflation an alternative to extra pulmonary gas exchangers in severe ARDS? *Chest* 107 : 1416-1419, 1995
 - 9) Nakos G, Lachana A, Prekatos A, et al : Respiratory effects of tracheal gas insufflation in spontaneously breathing COPD patients. *Intensive Care Med* 21 : 904-912, 1995
 - 10) Marini JJ : Pressure-targeted, lung-protective ventilatory support in acute lung injury. *Chest* 105 : 109 S-115 S, 1994
 - 11) Nahum A, Shapiro RS, Ravenscraft SA, et al : Efficacy of expiratory tracheal gas insufflation in a canine model of lung injury. *Am J Respir Crit Care Med* 152 : 489-495, 1995
 - 12) Goto K, Oku S, Mizobuchi S, et al : Intraoperative pulmonary mechanics and rapid improvement of gas mixing after lung volume reduction surgery. *Anesth Analg* 84 : S 585, 1997
 - 13) Imanaka H, Kacmarek RM, Ritz R, et al : Tracheal gas insufflation-pressure control versus volume control ventilation : a lung model study. *Am J Respir Crit Care Med* 153 : 1019-1024, 1996
 - 14) Hoyt JD, Marini JJ, Nahum A : Effect of tracheal gas insufflation on demand valve triggering and total work during continuous positive airway pressure ventilation. *Chest* 110 : 775-783, 1996
 - 15) 時岡宏明, 金城 実, 斉藤清子ほか : 回路内定常流が Pressure Support Ventilation 時の呼吸仕事量を増加させる危険性について. *ICU と CCU* 16 : 539-543, 1992
 - 16) 時岡宏明, 平川方久 : auto-PEEP の概念とその意義. *救急医学* 16 : 1063-1066, 1992
-