

□ 原 著 □

用手加圧練習装置の試作とその効果の検討

大塚 将秀* 磨田 裕**

ABSTRACT

Development of a Training System for Manual Ventilation and Effect of This Training on Practical Skill

Masahide OHTSUKA and Yutaka USUDA*

*Department of Anesthesiology, *Intensive Care Unit, Yokohama City University, School of Medicine, 236-0004, Yokohama*

The ability to ventilate a patient manually with a Jackson-Rees circuit is an important technical skill, especially in an intensive care unit. However, the technique is often said to be difficult for medical trainees and nurses to master because the invisible movement of the lung makes it difficult to confirm that ventilation is being performed properly. To master manual ventilation technique efficiently, we assembled a training system with a test lung, a flow generator, and a Jackson-Rees circuit. A trainee could confirm delayed inflation and deflation of the test lung, and could understand alveolar ventilation. The efficacy of training with this system was evaluated using different time-constant lung units connected in parallel. Twenty-seven nurses working in an intensive care unit participated in this study. The results showed that the training in manual ventilation using this system reduced uneven ventilation of the different time-constant lung units. The skill in manual ventilation obtained with this training remained for over a year. The ability to equally ventilate the lung correlated with duration of the assignment in intensive care unit. Nevertheless, training with this system was more effective in obtaining skill in achieving equal ventilation than experiential training in daily work.

1. はじめに

ジャクソンリース（以下、J-R）回路は、人工気道確保中の患者の用手的な肺拡張や痰の咯出補助のために必須の器具である¹⁾。用手加圧器具は、使用法を誤ると重大な合併症を起こす可能性がある²⁾にもかかわらず、その使用法や加圧法に関して、十分教育されていないのが現状^{3)~5)}ではないかと思われる。そこで、モデル肺を用いたJ-R回路の加圧練習装置を考案し、その教育効果

を検討した。

2. 対象と方法

装置は、図1のようにJ-R回路とモデル肺(Dual Adult TTL™, Michigan Instruments Inc., USA)を接続したものである。J-R回路は、日常使用しているバッグ容量5 lのもので、新鮮ガスは15 l/分供給した。モデル肺の2つある肺ユニットの一方の気道抵抗を20 cmH₂O/lps, 他方を5 cmH₂O/lpsとして換気に不均等分布をもたせた。コンプライアンスは両者とも50 ml/cmH₂Oとした。

* 横浜市立大学医学部麻酔科学講座

** (同) 附属病院集中治療部

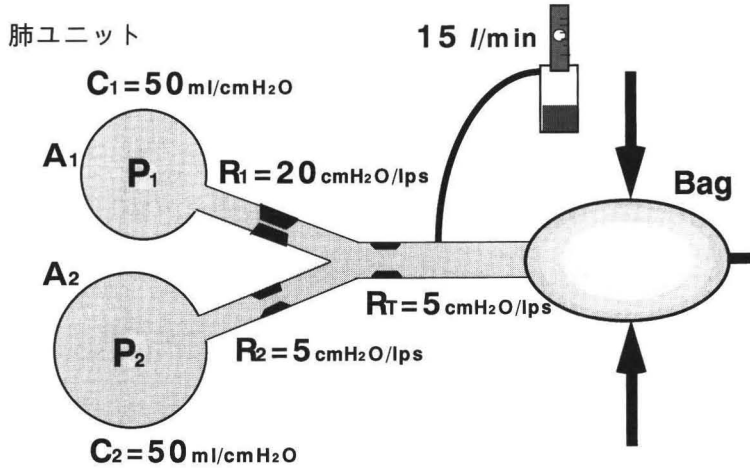


図 1 換気練習に用いた装置の概略

A1, A2 は、それぞれモデル肺の肺ユニット 1 および 2。
P：肺内圧, C：コンプライアンス, R：気道抵抗。

表 1 模擬患者としてのモデル肺の情報

- 年齢：30 歳代の男性
- 体重：70 kg
- 手術後未覚醒
- 挿管されて人工呼吸中
- 自発呼吸はない
- 呼吸器系の既往歴はない
- 術前の呼吸機能検査に異常を認めない

表 2 加圧法の説明の要点

- 2つの肺で時定数が異なるため肺の動きに時間の差が生じること
- 高頻度に換気すると時定数の大きい肺（気道抵抗の大きい肺＝痰が貯留したと仮定した肺）の換気量が減少し、痰の略出に不利であること
- 吸気プラトーを付加すると時定数の大きい肺も十分に拡張すること
- 呼気時間を十分にとると auto-PEEP を減少させることができること
- 最高肺内圧は 15-20 cmH₂O 程度が望ましいこと

被検者は、ICU に勤務する看護師 27 人とした。模擬患者に見立てたモデル肺の情報として表 1 のものを与え、

「聴診で痰の貯留が疑われるので、これから J-R 回路で用手換気ののち、気管内吸引を行う。」と説明した。被検者から肺の動きが直接見えないように、モデル肺には柔らかい布を掛けた。臨床では患者の胸郭の動きを見ながら換気を行うが、その状況を再現するため、布で覆われたモデル肺全体が加圧によって膨らむ様子を観察できるよう配慮した。

はじめに、J-R 回路を用いて加圧を数回行うよう被験者に指示した。このとき胸郭の動きを観察させ、肺胸郭コンプライアンスや気道抵抗を体感させた。

つぎに、普段の要領で 5 回加圧させた。2つの肺ユニットの肺内圧を圧トランスデューサで測定

し、サーマルアレイレコーダで記録した。それぞれの肺ユニットの最高肺内圧と auto-PEEP 値を、5 回の加圧の平均値として求めた。auto-PEEP 値は、吸気開始直前の肺内圧値とした。それぞれの肺の換気量は、

$$\text{コンプライアンス} \times (\text{最高肺内圧} - \text{auto-PEEP})$$

の式で計算して求めた。

つぎに、モデル肺の覆いを取り、モデル肺の動きを見せながら加圧法の説明を行った。説明の要点は、表 2 に示した。説明と同時に肺の動きや肺内圧計を見ながらの加圧練習を自由に行ったのち、モデル肺に覆いをかけて再度同様の測定を行った。

被検者 27 人のうち 18 人については、1 年後にまったく同じ練習と測定を行った。

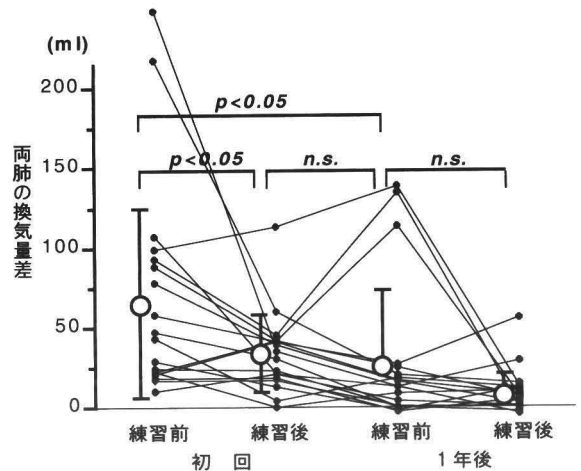
統計学的には、それぞれの肺ユニットの最高肺内圧、auto-PEEP、一回換気量、2 つの肺ユニットの一回換気量の差について繰り返しのある二元配置の分散分析を行い、練習効果および 1 年間の経時変化を検討した。2 点間の比較には、Wilcoxon の順位和検定を行った。5% の危険率をもって有意な差とした。また、換気の不均等分布と看護師経験年数の関連を検討するため、2 つの肺ユニット間の換気量差（練習前の値、練習後の値、練習前後の差）と ICU 経験年数および看護師経験年数との間で Spearman の相関係数を求めた。

3. 結果

結果を表 3 に示す。最高肺内圧、auto-PEEP、一回換気量は、練習によって有意な変化はなかったが、経時的にはいずれも 1 年後に有意に増加していた。

図 2 に、個々の被検者の 2 つの肺ユニットの換気量差の推移を示す。換気量差は、初回の練習後

に有意に減少した。1 年経過後は、平均値は同じ値を維持したが、被験者によるばらつきが大きくなった。その後の練習でばらつきは減少し、平均



(n.s. : not significant)

図 2 両肺の換気量差の推移

初回の練習で換気量差は減少し、1 年後もその値は維持された。個々のデータを見ると、1 年後に換気量差が大きくなる被験者がいたが、再度の練習で換気量差は再び小さくなった。

表 3 最高肺胞内圧、auto-PEEP、一回換気量の測定結果

	初 回		1 年後		練習前後の比較	経時変化	交互作用	
	練習前	練習後	練習前	練習後				
最高肺内圧 (低抵抗側)	16.2±4.8	17.4±3.3	22.4±6.5	20.5±3.4	cmH ₂ O	n.s.	p<0.01	n.s.
最高肺内圧 (高抵抗側)	15.4±4.6	16.8±3.1	21.7±6.2	20.3±3.2	cmH ₂ O	n.s.	p<0.01	n.s.
auto-PEEP (低抵抗側)	2.1±1.2	1.8±0.6	4.2±1.0	3.7±0.9	cmH ₂ O	n.s.	p<0.01	n.s.
auto-PEEP (高抵抗側)	2.1±1.2	1.7±0.6	4.1±1.0	3.6±0.9	cmH ₂ O	n.s.	p<0.01	n.s.
一回換気量 (低抵抗側)	747±234	792±165	911±305	846±144	ml	n.s.	p<0.05	n.s.
一回換気量 (高抵抗側)	678±40	759±155	881±290	836±136	ml	n.s.	p<0.01	n.s.
総一回換気量	1,424±439	1,550±318	1,792±594	1,682±279	ml	n.s.	p<0.05	n.s.
両肺の一回換気量の差	69.1±66.0	33.6±24.5	30.3±45.4	9.5±13.7	ml	p<0.01	p<0.01	n.s.

(平均±標準偏差, n.s. : not significant)

統計学的検討は二元配置の分散分析で行い、練習前後および経時変化を検定した。練習後は両肺の一回換気量の差が有意に小さくなった。1 年後も、一回換気量の差の平均値は小さいまま維持された。

表 4 経験年数と両肺の換気量差との相関係数

	ICU 経験年数	看護婦経験年数
練習前	-0.51 p<0.05	-0.32 n.s.
練習後	-0.23 n.s.	-0.08 n.s.
練習による変化	0.35 n.s.	0.37 n.s.
1 年間の変化	-0.38 n.s.	0.38 n.s.

(n.s. : not significant)

ICU 経験年数と練習前の換気量差にのみ弱い負の相関関係を認めた。

値も減少傾向を示した。

練習効果と経時変化の要因間の交互作用は、すべての項目で認めなかった。

経験年数と肺ユニット間の換気量差の検討(表 4) では、看護師経験年数との相関を認めなかった。一方、ICU 経験年数は、練習前値と有意な負の相関関係を認めた。練習後の値や練習による改善度、一年間の経時変化との相関は認めなかった。

4. 考 察

J-R 回路による用手加圧法の習得が難しいといわれるのは、肺の動きが見えないだけでなく、抵抗成分とコンプライアンス成分が存在するために、加圧圧力に対して肺の拡張と収縮に時間的な遅れが生じることも一因と考えられる。回路内圧計を見ながら換気を行うと、加圧手技が向上することは、従来より報告されている⁶⁷⁾。しかし、回路内圧計だけでは肺の動きの時間の遅れまで把握することはできない。そこで、肺の動きを直接見ることができるよう、抵抗とコンプライアンスをもたせたモデル肺に J-R 回路を接続した装置を用いて加圧の練習を行い、その練習効果を検討した。

練習によって、最高肺内圧や一回換気量の標準偏差は小さくなった。これは、大きかった加圧手技の個人差が、練習によって小さくなったものと考えられた。今回は、換気技術の稚拙が現われやすいように、時定数の異なる肺ユニットを並列に接続して換気の不均等分布を起こしやすいモデルを作成した。2つの肺ユニット間の一回換気量の差を用いて、換気の不均等分布を評価した。一回

換気量の差は、練習によって標準偏差が小さくなり、平均値も小さくなった。これは、不均等分布を起こしやすい肺モデルでも、練習によって均等な換気ができるようになったことを意味すると考えられる。

J-R 回路のように常に新鮮ガスの供給と排気があるシステムでは、一回換気量を感覚でとらえることが難しい。本システムは、通常では見ることのできない肺の動きを直視でき、肺の加圧時の現象を目で確認できることが特徴である。肺の動きを見ながらいろいろな加圧の方法を試すことで、より有効な手技を体得できたものと思われる。

今回は、気道抵抗に差をつけたモデルを用いたが、設定を変更することで、閉塞性換気障害、拘束性換気障害、急性呼吸窮迫症候群モデルなど自由な模擬患者での練習が可能である。閉塞性換気障害モデルでは時定数が大きいために呼気の呼出が遅くなること、拘束性換気障害モデルでは加圧圧力に比べて肺の拡張が悪いことなど、モデルによって観察点は異なると考えられる。今回は検討していないので、これらの設定の場合の練習効果の有無や効果の持続期間などは不明だが、目の前でモデル肺が膨らむ様子を見る効果は決して小さくないと考えられる。

練習効果の持続期間を調べるために、同じ調査を1年後に行った結果(表 4, 図 2) では、換気の不均等分布は有意に減少したままであり、練習効果は残っていたと考えられた。しかし、個々の例を見ると、換気量差が大きくなった被験者もあった。これらの被験者も、二度目の練習で換気量差が再度減少しており、再練習の効果があったものと考えられた。

看護師経験年数、ICU 経験年数と換気の不均等分布との比較では、練習前の値と、ICU 経験年数の間にのみ弱い相関関係を認めた。ICU 経験を積むにしたがって、不均等分布を少なく換気することができるようになっていたと考えられた。しかし、練習後の値とは相関関係がなく、年数をかけて得た技術も、1回の練習で十分に習得できたものと考えられた。ICU 経験年数と練習による不均等分布の改善度の間には相関がなく、経験年数と練習効果には関連がないものと考えら

れた。

看護師経験年数と、練習前値、練習後値、練習による不均等分布の改善度の間には相関を認めなかった。看護師経験年数には、呼吸管理とあまり関連のない部署での勤務期間も含まれるが、それが有意な相関関係を生じなかった理由ではないかと考えられた。

文献的には、用手換気の稚拙と看護師経験年数との関連を認めた報告⁶⁾もあるが、多くは関連を認めないと報告⁴⁾⁵⁾されている。

5. まとめ

肺の動きをモデル肺で確認しながら J-R 回路の加圧練習をする装置を考案した。時定数の異なる肺を並列に接続したモデルで練習効果を検討した。練習により、換気の不均等分布は減少した。練習効果は、全体としては1年後にも残っていたが、効果が減弱している被験者もあった。J-R 回路で不均等分布を少なく換気する能力は、ICU 経験年数と相関したが、経験の差以上に本装置を用いての練習が有用であった。

引用文献

- 1) Hodgson C, Carroll S, Denehy L : A survey of manual hyperinflation in Australian hospi-

- tals. *Aust J Physiother* 45 : 185-193, 1999
- 2) Connery LE, Deignan MJ, Gujer MW, et al : Cardiovascular collapse associated with extreme iatrogenic PEEP_i in patients with obstructive airway disease. *Br J Anaesth* 83 : 493-495, 1999
- 3) McCarren B, Chow CM : Manual hyperinflation : a description of the technique. *Aust J Physiother* 42 : 203-208, 1996
- 4) Glass C, Grap MJ, Corley MC, et al : Nurses' ability to achieve hyperinflation and hyperoxygenation with a manual resuscitation bag during endotracheal suctioning. *Heart Lung* 22 : 158-165, 1993
- 5) Rusterholz B, Ellis E : The effect of lung compliance and experience on manual hyperinflation. *Aust J Physiother* 44 : 23-28, 1998
- 6) Howard-Glenn L, Koniak-Griffin D : Evaluation of manometer use in manual ventilation of infants in neonatal intensive care units. *Heart Lung* 19 : 620-627, 1990
- 7) Redfern J, Ellis E, Holmes W : The use of a pressure manometer enhances student physiotherapists' performance during manual hyperinflation. *Aust J Physiother* 47 : 121-131, 2001