

◎原 著◎

肺リクルートメント手技の比較 —APRV と 3-breaths method—

小松孝美¹⁾・折井 亮²⁾・玉井久義²⁾・岩間 裕³⁾・西田昌道³⁾
鈴木哲司³⁾・深柄和彦¹⁾・坂本哲也³⁾・安原 洋¹⁾・山田芳嗣²⁾

キーワード：肺リクルートメント手技，急性呼吸促進症候群（ARDS），3-breaths method，
airway pressure release ventilation（APRV），open lung strategy

要 旨

目的：急性呼吸窮迫症候群（ARDS）に対して、肺保護を目的に肺リクルートメント手技がなされているが、手技が多様であり、その多様な手技を比較した研究はない。我々はそのうちの二つの手技（APRV と 3-breaths method）についてCT画像と酸素化の改善と経過時間などを比較検討した。

患者背景と方法：ARDSと診断された患者6人をAPRVと3-breaths methodの群に分けた。APRV群の平均年齢は52.7 ± 27.3歳で従来の呼吸管理からAPRVを施行されるまでの平均時間は37.7 ± 29.9時間であった。3-breaths method群はそれぞれ、61.1 ± 18.1歳、44.7 ± 7.0時間であった。

結果：6人全員がARDSから回復した。APRV群のP/F比は112 ± 57.0から257 ± 102へ、3-breaths method群では103 ± 58.0から470 ± 65.3へと改善した。CT画像での改善はAPRV群では24時間以上要したが、3-breaths method群では2分後に改善があった。

考察：二つの肺リクルートメント手技により酸素化と背側硬変の改善が出来た。呼吸器からの離脱までの時間には二つの手技に差は無かった。両手技は共にARDSからの改善に効果的であった。

序 文

急性呼吸窮迫症候群（Acute Respiratory Distress Syndrome；ARDS）に対して、肺保護を目的に様々な治療方針が示されている。現在までのところ、効果があると言われているのは肺保護的換気戦略と総称されている治療法のみである。特に人工呼吸管理中の低一回換気量（6 ml/kg）が通常の換気量（12ml/kg）より生命予後が良いという報告がARDSNetで発表¹⁾されてから、過剰な換気量が侵襲的であると考えられるようになった²⁾。過剰な換気は肺胞の過伸展を生じ、さらには虚脱している肺胞とずり応力（share force）を生じる。また閉塞と再開通を繰り返す事でも肺胞に

ダメージを与える。これらによって生じる肺へのダメージがVILI（ventilator-induced lung injury）の原因となる。しかし過剰な換気を避けるだけでは、肺胞虚脱、無気肺特に背側無気肺（gravital consolidation）の問題は解決しない。可能なかぎり虚脱した肺胞を広げ、肺胞を開いたまま呼吸をする方法として、ARDSNetは高いPEEP戦略を行った²⁾が、この戦略は死亡率に影響はなく有効とは言えない。肺胞虚脱の再開通には高い圧が必要であるが、高いPEEPを長時間かけることは循環系などの影響もあり、困難である。そのため、短時間に非常に高い圧をかけ、虚脱した肺胞を再開通し含気を取り戻す方法；Recruitment Maneuver（肺胞開存手技、肺リクルートメント手技）が提案された。肺リクルートメント手技の有効性に関してはARDSNetでは酸素化の改善も一時的である³⁾と言われたが、実

¹⁾ 東京大学医学部付属病院手術部

²⁾ 同 麻酔科・痛みセンター

³⁾ 帝京大学医学部付属病院救命救急センター

は肺リクルートメント手技には多くの方法^{3~7)}があり、確立したものはない(図1)。一度改善した酸素化の維持方法も多種あり、確立されていない。さらにこれらの様々な手技は比較された事もなく、予後や改善率も

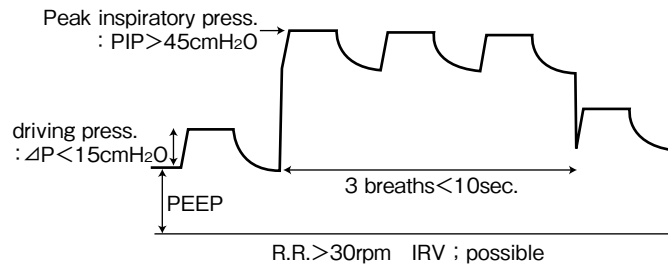
不明である。我々は今回、肺リクルートメント手技の中で APRV (airway pressure release ventilation) と 3-breaths method をそれぞれ3例ずつ施行したので、これを比較検討し報告する。

1. APRV or high PEEP



2. 3-breaths method

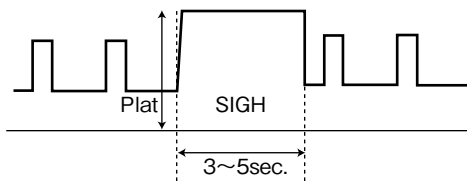
PEEP PIP 増加 ΔP:一定



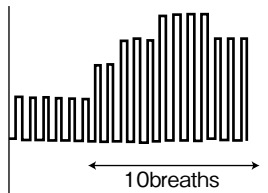
3. PIP:一定、PEEPのみ漸増



4. Sigh or intermitt. high-PEEP



5. PEEP:一定、PIPのみ漸増



6. 40/40method: 40cmH₂O 40sec.



図1 6つのリクルートメント手技

6つのリクルートメント手技を示す。

1. APRV (含 high-PEEP) は基本的には CPAP 状態でリクルートメントを行う (図2 参照)。
2. 3 breaths method (図3、4 参照)。
3. PEEPのみを徐々に上げリクルートメントを行う方法。
4. 息こらえを一定の周期で入れる方法。
5. PEEPは一定として PCV で最高気道内圧を上げていきリクルートメントを行う方法。
6. 40/40 method. 40 cmH₂O 40 秒間圧を加える。

対 象

対象は救命救急センターに搬入され、気管挿管し5日以上人工呼吸されARDSの診断基準⁸⁾を満たした6例(男性5例、女性1例、年齢は23~77歳、人工呼吸装着期間16~74日)である。対象者の人工呼吸器管理に至った診断名は外傷患者4名、中毒患者1名、重症感染症患者1名であった。対象者は全例、鎮静薬、筋弛緩薬を投与し、気管挿管され、人工呼吸器管理中は筋弛緩薬を用いず、鎮静薬(propofolとfentanyl)にて鎮静された。ARDSと診断されるまではVolume controlによるSIMVで管理されていた。肺リクルートメント手技はAPRVを3例、3-breaths methodを3例施行した。それぞれの平均年齢は 52.7 ± 27.3 歳と 61.0 ± 18.1 歳、人工呼吸を開始してから手技を施行するまでの時間は 37.7 ± 29.9 時間、 44.7 ± 7.02 時間であった。

方 法

肺胞虚脱の改善をAPRVと3-breaths methodで施行したそれぞれ、各3例を比較検討した。比較はP/F ratioの改善とそれに要した時間、さらには胸部CT像で行った。

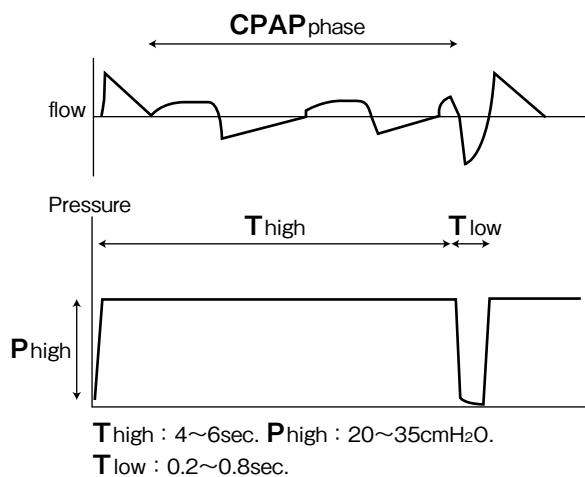


図2 APRVの設定方法

基本的には高いCPAPであるが、短い低圧相($P_{low} = 0$ cmH₂O)を入れることで内因性PEEPにより肺胞の虚脱を防ぎつつ二酸化炭素の排出を行う。初期設定は図に示したとおり高圧相の圧(P_{high})は20~35 cmH₂Oで、時間(T_{high})は4~6秒、低圧相の圧(P_{low})は0 cmH₂Oで時間(T_{low})は0.2~0.8秒。

1. APRV

APRV (airway pressure release ventilation) はStockとDowns^{9, 10)}によって提唱され、CPAP (continuous positive airway pressure) 相と間歇的な開放圧相からなる。APRVのCPAP (P_{high}) 相は適度な肺容量を確保することで肺リクルートメント手技を行う(図2)。本症例群の設定圧は初期設定値が P_{high} : 35 cmH₂O、 P_{low} : 0 cmH₂O、 T_{high} : 5.4秒、 T_{low} : 0.6秒であった。

2. 3-breaths method

Lachmann¹¹⁾らによって提唱され、換気圧(driving pressure: 最高気道内圧-最低気道内圧)を一定以下とし、P/F ratioを参考に段階的に圧を上昇させていく方法である。具体的にはPressure control ventilation modeで最高気道内圧(PIP)とPEEPを同時に上げ、 $PIP - PEEP$; driving pressureは一定(< 15 cmH₂O)として3回の呼吸(10秒以内)を行う。これをP/F ratioが450以上となるまで徐々に上げる(図3)。10秒の肺リクルートメント手技後は循環状態を確認しながら、維持圧を設定する。維持のための圧の設定はPIPから徐々に下げ、P/F ratioが450以下となったら再度肺リクルートメント手技を行い、P/F ratioが

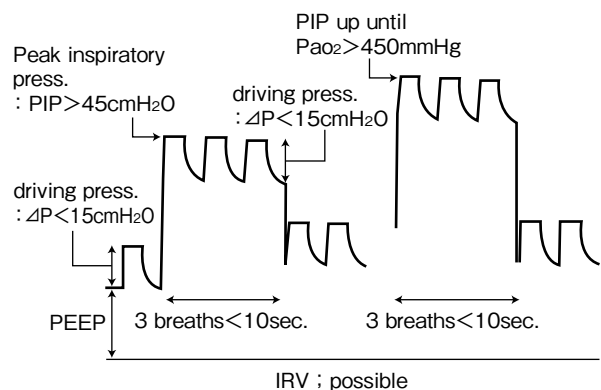


図3 3-breaths methodの第一段階

肺胞の再開通のためのリクルートメント

3-breaths methodの第一段階(換気様式は全てPCV)、虚脱した肺胞を全て広げることを行う。PF比で450(実際は $FI_{O_2} 1.0$ で行うので Pa_{O_2} の絶対値)を目標として ΔP は一定(=15 cmH₂O)として3回高い圧でリクルートメントを施行する。PF比で450未満ならさらに圧を上げ続ける。時には PIP : 55 cmH₂O、 $PEEP$: 40 cmH₂Oとなることもある。

450以上を維持出来た圧を PIP とする。次に PEEP を同様に下げ、維持圧を設定する (図 4)。出来るだけ低い維持圧を設定出来たら、4～6 時間程度維持し、徐々に P/F ratio を参考に PIP と PEEP を下げていく。この間、通常 F_{IO2} は 1.0 とし PaO₂ 450mmHg 以下の際には再び肺リクルートメント手技を行う。本症例群の設定圧は PIP : 50～60 cmH₂O、PEEP が 35～45 cmH₂O であった。

それぞれ循環動態は観血的動脈圧モニターで観察しながら行った。

それぞれの特徴の比較を表 1 に示す。

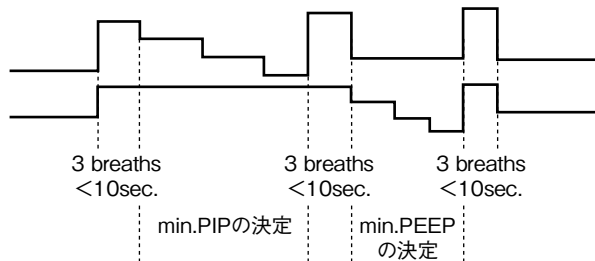


図 4 3-breaths method の第二段階

再開通した肺胞の維持 (再開通から再虚脱へを防止)

3-breaths method の第二段階、開放した肺胞を虚脱しない様に維持する圧の決定方法。3呼吸のリクルートメント後、維持する圧の PIP のみを徐々に下げる。下げた後、BGA を施行し、P/F 比で 450 以下となったら再び 3呼吸のリクルートメント (圧設定は図 3 で決定した圧) を行い、P/F 比で 450 以下となる直前の圧に PIP を決定する。今度は PEEP を徐々に下げ、BGA を施行し、P/F 比で 450 以下となるまで下げる。再び 3呼吸のリクルートメントを行い、P/F 比で 450 以下となる直前の圧に PEEP を決定する。

表 1 3-breaths method と APRV の比較

リクルートメントに要する時間、肺胞の開放までに要する時間 (経過時間)、CT 画像での変化などを比較。

	3-breaths method	APRV
mode	PCV	CPAP + release
Recruitment time	10sec. × 3～5	数時間
経過時間	数十分～数時間	数十時間
CT 画像変化	即効	緩徐

結 果

肺リクルートメント手技を施行し、酸素化が改善して ARDS より離脱 (P/F ratio 200 以上) に要した時間は APRV では 16～50 時間、3-breaths method では 18～42 分であった。このときの P/F ratio は、APRV では施行前が 112 ± 57.0 で施行後は 257 ± 102 で、3-breaths method では施行前が 103 ± 58.0 で施行後は 470 ± 65.2 であった。APRV と 3-breaths method の胸部 CT 写真 (図 5) を示す。3-breath method では 2分ほどの時間差のみで、CT 所見で著明な改善が見られる。APRV では 48 時間で CT 所見の改善が見られた。酸素化の改善に要した時間は異なったが、人工呼吸器離脱までの時間には差がみられなかった。

考 案

APRV と 3-breaths method による肺リクルートメント手技を行い、6 症例で全て ARDS からの離脱が出来た。リクルートメント手技の有効性については 24～92% まで幅広い報告がある^{13, 14)}。効果ありとする研究は一般に高い圧を長時間かけたこととされる。また今回の症例の様に比較的早い段階で診断をし、施行することで肺の虚脱をほぼ完全に回復させ、低酸素血症を改善できると示している¹⁴⁾。本研究ではわずかに 6 例であるが、全例肺リクルートメント手技を行うまでの期間は ARDS 診断から 24 時間以内であり、そのために全例が有効であったと考えられる。肺リクルートメント手技は従来の人工呼吸管理を継続しつつ行える。非常に手軽に行える反面、一度開放できた肺胞をいかに維持するかが問題となる。肺リクルートメントの酸素化の改善が一時的であると結論付けられた点もここにある。いったん開放できた肺胞を虚脱させない (開存する) 方法は一定以上の圧を肺胞にかけるのが、最も有効かつ簡易である。APRV は既に述べたように、CPAP (P_{high}) 相は適度な肺容量を確保することで肺リクルートメント手技を行う。さらに APRV は短時間低圧の開放相 (P_{low}) を持ち、自発呼吸を促進させる (図 2)。開放相は肺、胸郭の弾性収縮力により呼気相となるが、非常に短く (T_{low}: 0.2～0.8 秒)、auto PEEP 状態となり虚脱防止効果もある。最新の人工呼吸器では呼気弁の開放が迅速かつ回路内流量の連動も優れ制御が非常に優秀となり、APRV を以前

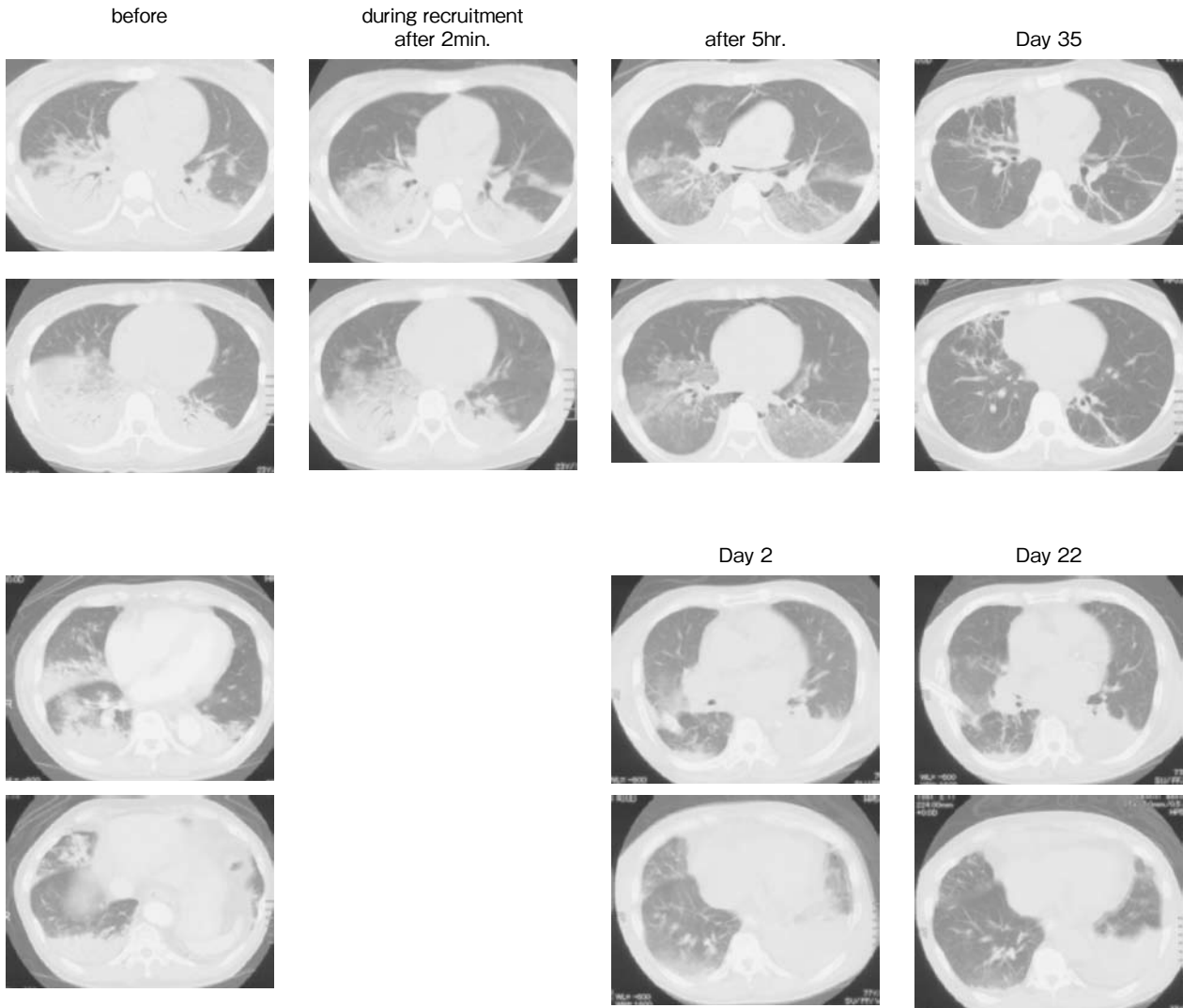


図5 リクルートメント時のCT変化

上二段は3-breaths methodのCT変化を示す。CT室内でリクルートメント手技中を行った。2分程度の時差があるが、すでに虚脱していた肺野が再開通している。5時間後ではほぼ全肺野で再開通している。下二段はAPRVでのCT変化を示す。2日後には一部虚脱していた肺野が再開通している。

よりも優れた状態とすることが出来るようになり新たに
見直されている。詳しくは総説でHabashi¹⁵⁾が
APRVをrecruitment maneuverの一つとして紹介し
ている。APRVは肺胞を広げるための圧がそのまま
維持につながる点が他の肺リクルートメント手技とは
異なる。ただし、高い圧の設定(Phigh)を適切に取
らないと肺胞を開放させることが困難となる。肺胞を
開放させるために、一般的にPhighは適切なプラトー
圧より高く保つ必要があるとされている¹⁵⁾。また開
放した肺胞を虚脱させないため、Tlowは呼気流速が
50～70%に落ちるまでの時間(<0.8sec)に設定し

なくてはならないとされている¹²⁾。APRVは自発呼
吸を残しつつ、肺リクルートメント手技と肺胞の開放
維持を同時に行える点で非常に優れている方法と言え
る。また高いPEEP相(Phigh)だけだと二酸化炭素
の貯留が起きるが、これを短い呼気相(Plow; 0
cmH₂O)で換気することで解消している。

3-breaths methodは一気に高い圧をかけるため、
肺に対するダメージが心配となる。これに対してはヒ
トの咳嗽時には気道内圧が100 cmH₂Oにもなること
を挙げ、短時間であればPIPが60 cmH₂O程度であ
れば問題では無く、むしろ問題となるのはdriving

pressure を 15 cmH₂O 以上にすることであるとしている¹¹⁾。我々が行った症例の中には高齢の患者もいたが気胸などの合併症は無かった。症例を重ね合併症の頻度なども検討する必要があると思われる。またこの肺リクルートメント手技（特に 3-breaths method）時には低血圧と肺高血圧は必発で、循環動態を厳密に管理することなく、安易にすることは非常に危険であると思われる。我々は必ず観血的動脈圧を参考としている。今回はリクルートメントを中止した症例は無かった。10 秒の肺リクルートメント手技後には圧を徐々に下げていくが、この下げる際には何度も血液ガスを施行する必要がある、症例によっては 12 回以上施行した（図 3 と 4 参照）。この点も今後改善を要すると思われる。P/F 比の改善は 3-breaths method の方（103 ± 58.0 → 470 ± 65.2）が APRV（112 ± 57.0 → 257 ± 102）より著明であった。

肺リクルートメント手技は肺胞虚脱からの再開通を目的としているが、同時に再開通した肺胞を再び虚脱させないことも重要である。この手技中、過膨張している肺胞が部分的に存在する可能性がある。そのため肺胞の過膨張を防止するために行う呼吸管理、permissive hypercapnea とは対極とも言える。肺リクルートメント手技を施行しているグループの中には permissive hypercapnea にすることは肺胞虚脱を容認することであり、肺リクルートメント手技を行うことで高二酸化炭素血症状態にすることなく、呼吸管理をすることは可能であるとしている。

我々の設定では APRV が 3-breaths method より肺胞虚脱の再開通には長時間を必要とした。少ない症例数であるが、両リクルートメント手技に精通している医師であれば、容易に理解できることである。ただし、再開通に要する時間が短いことが全て良いとも言えず、過膨張の問題と共に、今後更なる検討を要すると思われる。このことは何を指標（CT、PaO₂、SpO₂ など）にリクルートメント手技をすべきかと言う問題と共に容易に結論付けすることは困難である。

我々は、3-breaths method を施行後に APRV を行い予後が良好な症例も経験した。今後、この様に幾つかの異なったりクルートメント手技を組み合わせるなど新たな方法も考えられる。

最後に 3-breaths method をご教授下さった Lachmann 氏、APRV をご教授下さった Habashi 氏とその機会を

与えて下さった Dräger medical 社ならびに本学会で貴重な時間を下さった氏家良人教授に感謝の意を捧げたいと思います。

引用文献

- 1) The Acute Respiratory Distress Syndrome Network : Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2000 ; 342 : 1301-1308.
- 2) Eichacker PQ, Gerstenberger EP, Natanson C, et al : Meta-analysis of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome trials testing low tidal volumes. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002 ; 166 : 1510-1514.
- 3) Brower RG, Schoenfeld D, Thompson BT, et al : National Heart, Lung, and Blood Institute ARDS Clinical Trials Network. : Higher versus lower positive end-expiratory pressures in patients with the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2004 ; 351 : 327-336.
- 4) The ARDS Clinical Trials Network : Effects of recruitment maneuvers in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome ventilated with high positive end-expiratory pressure. *Crit Care Med.* 2003 ; 31 : 2592-2597.
- 5) Lim CM, Park W, Chin JY, et al : Mechanistic scheme and effect of "extended sigh" as a recruitment maneuver in patients with acute respiratory distress syndrome : a preliminary study. *Crit Care Med.* 2001 ; 29 : 1255-1260.
- 6) Tusman G, Nador C, Turchetto E, et al : Alveolar recruitment strategy increases arterial oxygenation during one-lung ventilation. *Ann Thorac Surg.* 2002 ; 73 : 1204-1209.
- 7) Grasso S, Slutsky AS, Marco Ranieri V, et al : Effects of recruiting maneuvers in patients with acute respiratory distress syndrome ventilated with protective ventilatory strategy. *Anesthesiology.* 2002 ; 96 : 795-802.
- 8) Bernard GR, Artigas A, Brgigham KL, et al : the American-European Consensus Conference on ARDS. *Am J Respir Crit Care Med.* 1994 ; 149 : 818-824.
- 9) Downs JB, Stock MC : Airway pressure release ventilation : new concept in ventilatory support. *Crit Care Med.* 1987 ; 15 : 459-461.
- 10) Stock CM, Downs JB : Airway pressure release ventilation. *Crit Care Med.* 1987 ; 15 : 462-466.
- 11) Haitsma JJ, Lachmann B : Lung protective ventilation in ARDS : the open lung maneuver. *Minerva Anesthesiol.* 2006 ; 72 : 117-132.
- 12) Putensen C, Von Spiegel T, Mutz N, et al : Long-term effects of spontaneous breathing during ventilatory support in patients with acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001 ; 164 : 43-49.
- 13) Gattinoni L, Cornejo R, Bugedo G, et al : Lung

recruitment in patients with the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med.* 2006 ; 354 : 1775-1786.

- 14) Borges JB, Okamoto VN, Amato MB, et al : Reversibility of lung collapse and hypoxemia in early acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006 ; 174 : 268-278.
- 15) Habashi NM : Other approaches to open-lung ventilation : Airway pressure release ventilation. *Crit Care Med.* 2005 ; 33 : S228-240.

Comparison of airway pressure release ventilation and the three-breath method as two effective recruitment maneuvers in acute respiratory distress syndrome patients

Takami Komatsu¹⁾, Ryou Orii²⁾, Hisayoshi Tamai²⁾, Hiroshi Iwama³⁾, Masamichi Nishida³⁾
Tetsuji Suzuki³⁾, Kazuhiko Fukatsu¹⁾, Tetsuya Sakamoto³⁾, Hiroshi Yasuhara¹⁾, Yoshitsugu Yamada²⁾

¹⁾ Graduate School of Medicine, The University of Tokyo, Surgical Center

²⁾ Graduate School of Medicine, The University of Tokyo, Anesthesiology

³⁾ Teikyo University School of Medicine, Trauma and Critical Care Center

Key words : recruitment maneuver, acute respiratory distress syndrome (ARDS), 3-breaths method, airway pressure release ventilation (APRV), open lung strategy

Background :

Multiple studies have reported the efficacy of recruitment maneuvers (RMs) in acute respiratory distress syndrome (ARDS) patients. However, no studies have compared the efficacy of RMs for ARDS patients due to the large number of RMs. We evaluated the efficacy of two RMs by chest computed tomography (CT) scan, P_{aO_2} to F_{IO_2} (P/F) ratio and time to improve.

Patients and methods :

Six patients diagnosed with ARDS were selected for the study. Each was administered airway pressure release ventilation (APRV) or the three-breath method. The patients in the APRV group were 52.7 ± 27.3 years old and the time between conventional mechanical ventilation and APRV was 37.7 ± 29.9 hrs. Patients in the three-breath method group were 61.1 ± 18.1 years old and the time before three-breath method administration was 44.7 ± 7.0 hrs.

Results :

All patients recovered from ARDS. The APRV group P/F ratio increased from 112 ± 57.0 to 257 ± 102 , while the three-breath method group P/F ratio increased from 103 ± 58.0 to 470 ± 65.3 . The chest CT scan detected improvement after more than 24 hrs following APRV, but in only 2 min following the three-breath method.

Conclusion :

RMs can improve oxygenation and gravitational consolidation. There is no difference in the weaning time from ventilation between APRV and the three-breath method. Although the recovery time is different, both methods are effective for ARDS patients.