

平成 27 年度学位申請論文

心臓血管外科術後患者の機械的換気補助による
離床時呼吸困難感の軽減効果に関する研究

名古屋大学大学院医学系研究科
リハビリテーション療法学専攻

(指導：山田 純生 教授)

上坂 建太

目次

	頁
I. 序論	1
II. 予備検討	
目的	4
方法	4
結果	6
考察	6
III. 研究	
目的	10
方法	10
結果	15
考察	19
IV. 総括	24
V. 参考文献	34
VI. 要旨 (和文)	43
VII. 要旨 (英文)	48

I. 序論

労作時の換気亢進や呼吸困難感は、心臓血管外科術後（術後）の離床時に多くみられる症状であり、離床促進や運動拡大を制限する要因の一つである¹⁾。労作時の換気亢進や呼吸困難感を引き起こす術後の呼吸器合併症は高率に発生することから、その対策が臨床においては重要な課題である。心臓血管外科術後の換気亢進の要因には、換気血流不均衡、早期の乳酸アシドーシス、呼吸調節障害があるとされ²⁾、術後早期は、特に肺うっ血や無気肺によって生じる換気血流不均衡が換気亢進の主な要因とされている^{3,4)}。術後早期の換気血流不均衡には、非効率な換気の増大（有効換気の減少）、有効循環血流の低下、酸素搬送能の低下が関連する。また、手術侵襲により術後早期の呼吸機能は術前の約 50%までに低下することが報告されており^{5,6)}、特に、機能的残気量が低下する^{4,5,7)}。これらに肺うっ血による肺コンプライアンスの低下³⁾が加わるため、亢進する換気の多くは非効率な換気となる。また、血流の低下は術中の低体温状態や人工心肺、ならびに心筋保護液による肺胞血流遮断によって生じるとされ⁴⁾、酸素搬送能の低下は術中の出血や希釈性の貧血によって生じる⁴⁾。

一方、呼吸困難感は“呼吸に伴う不快な主観的感觉”と定義される⁸⁾。呼吸困難感の発生機序は、主に慢性呼吸器疾患を対象としていくつかの機序が報告されている^{8,9)}。一つ目の機序は、呼吸中枢からの呼吸運動出力を感覚する **motor command theory** であり¹⁰⁾、二つ目は、化学受容器¹¹⁾や機械的受容器¹²⁾からの求心性入力を感じ覚する機序、三つ目は、これら出力と入力の感覚ミスマッチが呼吸困難感を増すというものである¹³⁾。

また、運動中の肺の動的過膨脹によって生じる呼吸中枢出力と換気応答の解離によって生じる機序も提唱されている⁹⁾。心疾患における呼吸困難感は、最大換気量（maximum voluntary ventilation; MVV）に対する分時換気量（minute ventilation; $\dot{V}E$ ）の相対的強度と関連することが報告されており、 $\dot{V}E/MVV$ は Dyspnea Index (DI) と称されている¹⁴⁾。

以上のごとく、術後は中枢性ならびに末梢性要因によって $\dot{V}E$ が増加するが、術後に生じる拘束性換気障害や胸郭運動の低下によって一回換気量（tidal volume; TV）の上昇が不十分であるため、 $\dot{V}E$ 増加は有効換気には不利となる呼吸数（respiratory rate; RR）の増加によって代償される^{4,7)}。一方で、術後早期は呼吸筋力が低下することより^{4,6,15)}、MVV が低下する¹⁴⁾。したがって、術後の DI 上昇には、MVV の低下と $\dot{V}E$ の増加の両者が関連していると考えられる。つまり術後早期は、呼吸機能や呼吸筋力の低下が生じることにより、労作時の換気需要への円滑な応答が困難となり、その結果前述した機序が関与し、呼吸困難感が生じるものと推測される。これら呼吸困難感による早期離床の遅延は、骨格筋筋力が低下し、日常生活動作を再獲得する際の制限因子となることが十分考えられる¹⁶⁾。特に高齢手術患者が増加した現在では、早期の日常生活動作の再獲得は、その後の生活に大きく影響することは容易に想像される。したがって、術後早期の労作時呼吸困難感を軽減させるための介入方策は、離床促進のみでなく、積極的な日常生活への復帰を目指す新たな理学療法介入として重要な役割を果たす可能性がある。

機械的換気補助（VA）を労作時呼吸困難感の軽減に用いた報告は多い。慢性心不全患者では、VA による換気効率の改善ならびに呼吸仕事量の軽減が、運動能力を改善させる¹⁷⁻²¹⁾。健常成人でも、換気補助下での運動において、労作時呼吸困難感が軽減し、呼吸困難感の減少度が $\dot{V}E/MVV$ の減少度と関連する²²⁾。術後患者を対象にした先行研究では、胸腹部大動脈置換術後患者を対象として抜管後 24 時間陽圧換気補助（10cmH₂O）を施行することによって、ICU 滞在日数や在院日数が減少することが報告されている²³⁾。冠動脈バイパス（coronary artery bypass grafting; CABG）術後患者を対象とした先行研究では、陽圧負荷（10cmH₂O）を付加したインセンティブスパイロメトリーを用いることで、術後 7 日目の 6 分間歩行距離が延長することが報告されている²⁴⁾。特に、術後早期では肺うっ血や無気肺が生じ呼吸機能が低下することにより、呼吸循環動態において心不全の病態と類似するため⁴⁾、Kindgen²³⁾や Haeffnener²⁴⁾らの検討は術後の VA が労作時の呼吸困難感を改善した可能性を示唆している。しかし、術後早期の初期離床における VA の効果検討した報告は見当たらない。

以上より、本研究では心臓血管外科術後患者を対象として、初期離床における VA の呼吸困難感の軽減効果について明らかにすることを目的とした。VA が効果的である症例の特徴を明らかにすることより、離床促進策としての VA 導入の可能性を検討することとした。

Ⅱ．心臓血管外科術後の機械的換気補助様式についての予備的検討

【目的】

心臓血管外科術後において、安静時呼吸困難感の増加をきたさない換気補助様式を陽圧負荷の方法と設定圧の点から明らかにすること。

【方法】

1. 対象

対象は、2012年9月から2013年2月までの間で北野病院にて心大血管外科手術を受けた17例とした。選択基準は、満20歳以上のもの、人工呼吸器抜管後に自発呼吸下にて術後呼吸・循環動態が安定したものとし、術後コミュニケーションが困難なものは除外した。研究に先立ち、同病院「医の倫理委員会」の承認を受け（承認番号：P11-12-006）、全対象者にインフォームドコンセントを行い、同意を得た。

2. 換気指標の測定方法

評価時の姿勢は、head-up 30°の安静臥位とした。換気指標の測定には人工呼吸器（HAMILTON-C2, HAMILTON MEDICAL AG, Bonaduz, Switzerland）を用い、マスクには非侵襲的陽圧換気療法（non-invasive intermittent positive pressure ventilation; NPPV）

にて一般的に使用される Full Face Mask (Mirage Quattro, Res Med, Sydney, Australia)

を用いた。換気指標には RR、TV、 \dot{V}_E を用い、VA 施行前と VA 中に測定を行った。

3. 陽圧負荷の設定方法と設定圧

陽圧負荷には、HAMILTON-C2 を用いて吸気ならびに呼気時に持続的な圧がかかる positive end-expiratory pressure (PEEP) と、吸気時のみに圧がかかる pressure support (PS) を用いた。PEEP を 0cmH₂O から 1cmH₂O 毎に増加させる施行 (施行 1) を行い、十分な休息をとった後に PS を 0cmH₂O から 1cmH₂O 毎に増加させる施行 (施行 2) を行った。各換気指標は、1 分間の測定の平均値を用いた。また、測定の同日に電子式診断用スパイロメーター (AS507, Minato Medical Science, Osaka, Japan) を用いて一秒量 (forced expiratory volume in 1 second; FEV1) を測定し、Carter らの予測式 ($FEV1 \times 38$) を用いて²⁵⁾、MVV を算出した。そして、呼吸仕事量の指標である \dot{V}_E/MVV を算出した。

4. 呼吸困難感の評価

対象者の評価時の姿勢は、head-up 30°の安静臥位とした。安静時の呼吸困難感は、修正 Borg スケール (Borg スケール) を用いて評価した²⁶⁾。対象者には呼吸困難感が無

い状態を“0”とし、これまでに経験したことのないほどの呼吸困難感を“10”として答えるよう説明した。対象者に対し、VA 施行下の呼吸困難感を聴取した。

【結果】

PEEP を用いた施行 1 では、PEEP 0cmH₂O から 1cmH₂O 上昇させた時点で、17 例とも呼吸困難感を訴えたため、測定を行うことができなかった。次に、PS を用いた施行 2 では、症例 1 から 4 例目（症例 4）までにおいて、PS 4cmH₂O で呼吸困難感が増加したため、その時点で中止した（図 1）。5 例目（症例 5）以降は、PS の上限は 3cmH₂O とした。症例 5 から症例 17 までの 0cmH₂O と 3cmH₂O における、呼吸困難感と $\dot{V}E/MVV$ の経過を図 2 に示す。5 例目以降の 13 例において、呼吸困難感の Borg スケールは PS 0cmH₂O: 2.5 ± 1.0 、PS 3cmH₂O: 2.8 ± 1.3 であった。全 17 例の内、3cmH₂O の PS によって呼吸困難感の増加をきたさなかったものは、10 例（58.8%）であった。呼吸仕事量の指標である $\dot{V}E/MVV$ は、PS 0cmH₂O: $26.9 \pm 10.5\%$ 、PS 3 cmH₂O: $32.3 \pm 11.2\%$ であった。全 17 例の内、3 cmH₂O の PS によって $\dot{V}E/MVV$ が増加したものは、16 例（94.1%）であった。

【考察】

本予備検討において、**PS** を用いた **VA** によって、**58.8%** の症例で呼吸困難感の増強をみず、呼気抵抗の増加する **PEEP** では全例の呼吸困難感が増加した。つまり、心臓血管外科術後の安静時呼吸困難感の増加をきたさない **VA** 様式は、吸気時のみに陽圧が負荷される **PS** であり、設定圧は **3cmH₂O** の低圧であることが明らかとなった。

本予備検討で用いた **Full Face Mask** の構造的なリークでは呼気抵抗が強く、術後において呼吸仕事量を増加させやすい可能性が考えられた。**Full Face Mask** の不快感によって対象者の約 **7～10%** で呼吸困難感を訴えることが報告されており²⁷⁾、**NPPV** 導入に際し、呼気抵抗が小さい **Nasal Mask** が用いられる。このことから、術後 **VA** の換気様式には、呼気抵抗を軽減させるためにマスクの構造も考慮する必要があると考えられた。

【まとめ】

心臓血管外科術後において、安静時呼吸困難感の増加をきたさない **VA** の換気様式を検討した。その結果、**VA** の換気様式は、吸気時のみに陽圧が負荷される **PS** であり、設定圧は **3cmH₂O** の低圧であると考えられた。さらに、**VA** を用いる際には、呼気抵抗を軽減させるマスクの構造を考慮する必要があると考えられた。

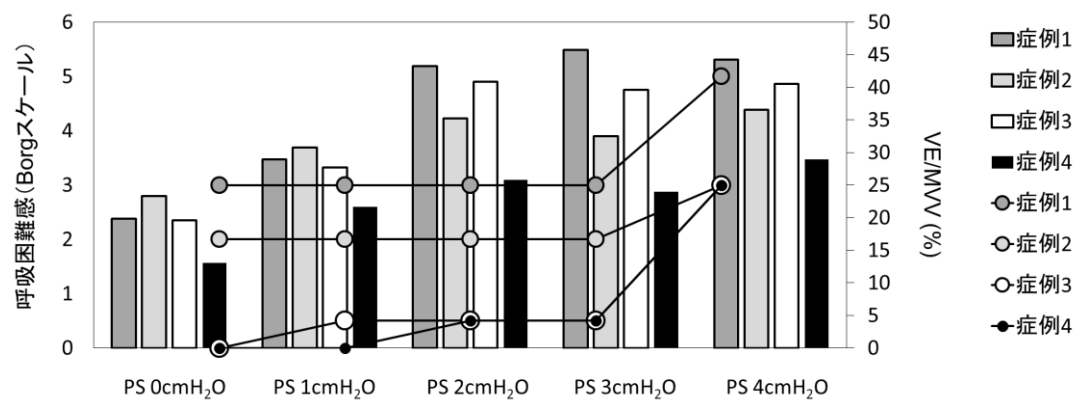


図 1. 各症例における PS 毎の呼吸困難感と VE/MVV の経過

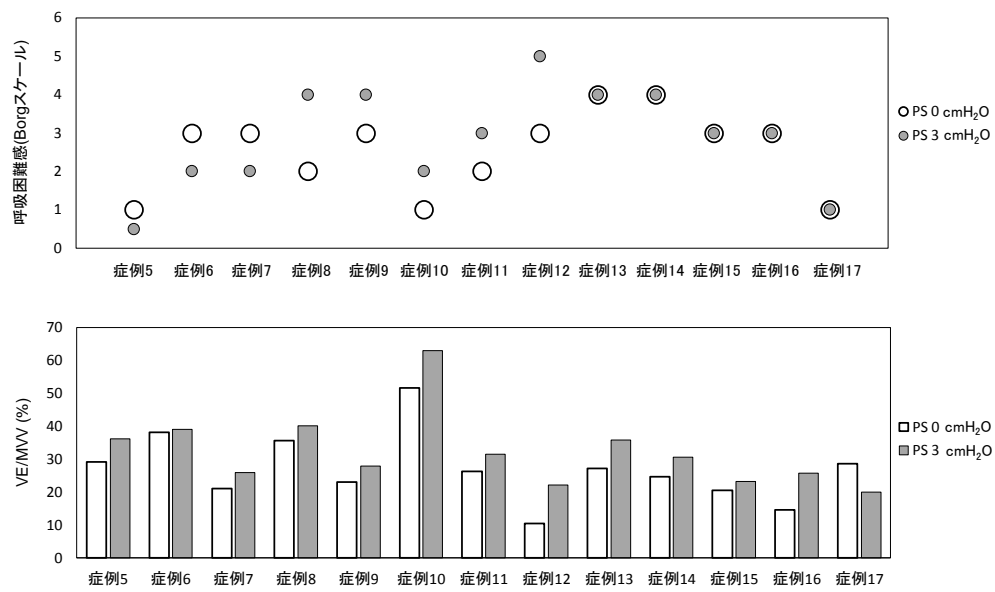


図 2. 症例 5 以降における PS 0cmH₂O と 3cmH₂O の呼吸困難感と VE/MVV の経過

Ⅲ. 研究 2：心臓血管外科術後患者の機械的換気補助による歩行時呼吸困難感の軽減効果

【目的】

心臓血管外科術後において、VA が効果的である症例の特徴を明らかにし、VA の効果に関連する要因を明らかにすること。

【方法】

1. 対象

対象は、2013 年 3 月から 2014 年 4 月までの間で北野病院にて心大血管外科手術を受けた連続症例とした。取り込み基準は、満 20 歳以上のもの、術後歩行可能なものとした。除外基準は、術後心原性ショックなど重篤な心合併症や重篤な心室性不整脈を発症したもの、術後脳血管疾患により離床に制限をきたす四肢の機能障害が生じたもの、術後コミュニケーションが困難なもの、精神疾患を既往に有するものとした。本研究は同病院「医の倫理委員会」の承認を受け（承認番号: P11-12-006）、全対象者にインフォームドコンセントを行い、同意を得た。

2. 研究デザイン

本研究はクロスオーバーデザインを用いた **prospective case series** とした。術後初回歩行時に、VA 施行せずに歩行 (**session A**) した後に VA を施行しながら歩行 (**session B**) する方法と、**session B** を行った後に **session A** を行う方法の 2 通りに対象者をランダムに割り付けた (図 1)。ランダム化は乱数表を用いた。クロスオーバーデザインによる持ち越し効果の影響を最小限にするために、各 **session** 間では、安静座位にて 10 分間の十分な休息をとり、2 回目の **session** 開始前に換気指標と自覚症状が 1 回目の **session** 開始前と同じ状態に戻ったことを確認した。対象者にはいずれの **session** でも、100m を最大歩行距離としてできるだけ遠くまで歩くよう説明した。**Session B** では、対象者は Nasal Pillows Mask (Swift FX, Res Med, Sydney, Australia) を装着し、人工呼吸器 (HAMILTON-C2, HAMILTON MEDICAL AG, Bonaduz, Switzerland) による換気補助を受けながら歩行した。歩行時は歩行補助具を使用し、人工呼吸器は理学療法士が運んだ (図 2)。換気補助様式は、歩行時の呼吸負荷とならないよう PS を用い、設定圧は安静時で呼吸苦の出現しない上限圧の 3 cm H₂O とした。歩行前に各対象者に対して、PS 1 cm H₂O から 3 cm H₂O まで、1 cm H₂O 毎に段階的に上昇させ、3 cm H₂O の換気補助が快適であることを確認した。

3. 呼吸困難感と下肢疲労感

歩行時の呼吸困難感と下肢疲労感は、**session A** と **session B** それぞれの前と直後において修正 **Borg** スケール (**Borg** スケール) を用いて評価した²⁶⁾。対象者には呼吸困難感や下肢疲労感が全く無い状態を“0”とし、これまでに経験したことのないほどの呼吸困難感や下肢疲労感を“10”として答えるよう説明した。

4. 歩行前と歩行直後の換気指標

換気指標には、RR、TV、VE を用いた。各指標は、**session A** と **session B** それぞれの前と直後で測定した。対象者には **FullLife mask** (**FullLife SE**, **Philips Respironics**, **Tokyo, Japan**) を装着させ、人工呼吸器の **Noninvasive ventilation mode** を用いて安静座位にて測定した。各指標の 1 分間の測定の平均値を採用した。

5. 呼吸機能

呼吸機能には、肺活量 (**vital capacity; VC**)、一秒量 (**forced expiratory volume in 1 second; FEV1**)、努力性肺活量 (**forced vital capacity; FVC**)、最大吸気筋力 (**maximal inspiratory pressure; MIP**)、最大呼気筋力 (**maximal expiratory pressure; MEP**) を用いた。**MIP** は最大呼気位からの最大吸気における最大口腔内圧、**MEP** は最大吸気位からの最大呼気における最大口腔内圧を測定した。各指標とも電子式診断用スパイロメーター (**AS507**, **Minato Medical Science**, **Osaka, Japan**) を用いて、安静座位にて 2 回測定

を行い、最大値を採用した。呼吸機能は、術前と術後初回歩行の同日に評価した。MVVはFEV1×38で算出した²⁵⁾。

6. 身体機能

身体機能には、握力と等尺性膝伸展筋力を用いた。握力は、握力計（JAMAR dynamometer, Sammons Preston, Bolingbrook, Illinois, USA）を用いて、安静座位にて第二指のPIP関節が90°屈曲位となるよう把持してもらった。そして、左右3回ずつ測定し、最大値を採用した。等尺性膝伸展筋力は、hand-held dynamometer（μTas F-1, ANIMA ; Tokyo, Japan）を用いて、安静座位にて5秒間の等尺性筋力左右3回ずつ測定し、最大値を採用した。握力は術前と術後初回歩行の同日に評価し、等尺性膝伸展筋力は術前と術後7日目に評価した。

7. 胸部レントゲン所見

胸部レントゲン所見（X-P score）は、初回歩行と同日に心臓外科医が評価した。先行研究²⁸⁾を参考にして、無気肺（atelectasis）、胸水（pleural effusion）、肺うっ血（pulmonary edema）、肺浸潤影（lung consolidation）、気胸（pneumothorax）の5項目をそれぞれ0～4点で得点化し、合計点（total score）を算出した。

8. 対象者の群分け

対象者の中で、**session A** にて呼吸困難感の **Borg** スケールが 1 上上昇したものを “**dyspnea group**” とし、上昇しなかったものを “**non-dyspnea group**” とした。**Session B** にて呼吸困難感の **Borg** スケールが **session A** よりも 1 以上低下し呼吸困難感が改善したものを “**responders**”、低下しなかったものを “**non-responders**” と分類した (図 3)。

9. 統計解析

対象者の術前患者特性、術前後の呼吸機能、身体機能、術後胸部レントゲン所見、手術所見を、1) **dyspnea group** と **non-dyspnea group**、2) **responders** と **non-responders** のそれぞれ 2 群間で対応のない **t** 検定もしくは χ^2 二乗検定を用いて比較した。**X-P score** については、**responders** と **non-responders** の 2 群で対応のない **t** 検定で比較した。換気指標については、各群の各指標において一元配置分散分析を行い、**post hoc analysis** には、等分散性が仮定される場合は **Tukey test** を用い、等分散性が仮定されない場合は **Games-Howell test** を用いて比較した。統計解析には、**SPSS 21.0 software package** (**SPSS Japan, Tokyo, Japan**) を使用し、有意水準は 5% 未満とした。

【結果】

1. 対象者の特性

本研究の取り込み基準に合致した 74 例の対象者の内、除外基準に合致した 18 例が除外され、56 例が解析対象となった。全ての対象者が胸骨正中切開にて手術を施行され、歩行時には胸腔ドレーンや心嚢縦隔ドレーンは抜去されていた。解析対象となった 56 例の内、21 例が non-dyspnea group に分類され、35 例が dyspnea group に分類された、そして、dyspnea group の 35 例の内、18 例が VA responder であり、non-dyspnea group では全例が non-responder であった。解析対象となった 56 例の内、32%が VA 施行後に呼吸困難感が軽減した。

対象者の術前患者特性ならびに手術所見を Table 1 に示した。本研究の対象者の多くは、CABG もしくは大動脈弁置換術 (aortic valve replacements; AVR) 症例であり、全体の約 70%であった。そして、dyspnea group は non-dyspnea group と比較し、有意に年齢が高く、心不全症例の割合が多かった。さらに、responders は non-responders と比較し、心不全症例の割合が有意に多かった。本研究の対象者には、慢性閉塞性肺疾患 (chronic obstructive pulmonary disease; COPD) を有する症例はいなかった。

2. 呼吸困難感と下肢疲労感

Responders の呼吸困難感 Borg スケールは、VA によって session A (3.6 ± 1.2) から session B (2.1 ± 1.2) へ有意に低下した。一方で、non-responders の呼吸困難感 Borg スケールは、VA によって session A (3.6 ± 0.7) から session B (3.7 ± 0.8) と低下しなかった。Responders の下肢疲労感 Borg スケールにおいても、同様の傾向を示したが、non-responders では低下しなかった (図 4)。Non-dyspnea group では、呼吸困難感ならびに下肢疲労感 Borg スケールは session 間の有意な差は認めなかった (rest; 1.6 ± 1.5 , session A; 1.5 ± 1.5 , session B; 1.5 ± 1.5)。

3. 換気補助の有無での換気指標

術後安静時の TV、RR、 $\dot{V}E$ 、 $\dot{V}E/MVV$ は non-dyspnea group と dyspnea group で有意な差は認めなかった。Dyspnea group では、session A 後の $\dot{V}E$ 増加量は、non-dyspnea group と比較して有意に高値であった (non-dyspnea group; $3.2 \pm 2.5L$, dyspnea group; $5.0 \pm 3.8L$, $p < 0.05$)。Responders は VA 施行により $\dot{V}E$ と $\dot{V}E/MVV$ は有意に低下したが、non-responder では低下しなかった。Non-dyspnea group では、 $\dot{V}E$ ならびに $\dot{V}E/MVV$ は session A と session B のいずれにおいても有意な上昇は認めなかった (図 5)。

4. 呼吸機能

Dyspnea group の VC、FEV1、MVV は術前および術後のいずれも non-dyspnea group と比較し有意に低値を示した。さらに、responders と non-responders を比較すると、VC、FEV1、MVV、MEP は術前および術後で有意な差は認めず、術後 MIP のみ有意に差を認めた (Table 1, 2)。

5. 身体機能

術前の握力と等尺性膝伸展筋力は dyspnea group と non-dyspnea group、responders と non-responders との比較において有意な差は認めなかった (Table 1)。一方で、術後 dyspnea group の等尺性膝伸展筋力は non-dyspnea group と比較し有意に低値を示した (Table 2)。術後の responders と non-responders との比較では有意な差は認めなかった。

6. 胸部レントゲン所見

Responders の total score と pulmonary edema score の平均値 (total score; 2.1 ± 1.2 points, pulmonary edema score; 0.7 ± 0.6 points) は、non-responders と比較して有意に高値を示した (total score; 1.1 ± 0.9 points, pulmonary edema score; 0.2 ± 0.4 points)。つまり、responder において軽度の肺うっ血を呈していることを示していた。

Non-dyspnea group は、non-responders と同じ傾向を示した (total score; 1.1 ± 1.0 points, pulmonary edema score; 0.2 ± 0.4 points)。

【考察】

本研究において、術後症例の約 3 分の 2 で初回歩行時の呼吸困難感が生じ、呼吸困難感を生じた症例の約半数が VA に効果的に反応した。VA に効果的に反応した症例は、吸気筋力が低値であり、術後軽度の肺うっ血を呈していた。このことは、術後症例に対する 3 cm H₂O の PS は、 $\dot{V}E/MVV$ を指標とした呼吸仕事量を低下させ、肺胞換気を改善させることによって、術後早期離床時の呼吸困難感を軽減させることを示唆している。我々の知る限りでは、本研究は術後患者の早期離床時における呼吸困難感に対する VA の効果を明らかにした初めての報告である。

術後の呼吸筋力低下は手術侵襲、胸腔ドレーンや心嚢縦隔ドレーンの留置、術後のタンパク分解によって生じる^{4,6,15)}。呼吸筋力低下によって MVV が低下する。そして術後は拘束性換気障害や胸郭運動の低下によって TV 上昇が不十分となるため^{4,7)}、RR 増加によって非効率的に $\dot{V}E$ が上昇する。呼吸困難感は、 $\dot{V}E/MVV$ の約 20～30% で増強し始め、50% を超えると重度なものとなる¹⁴⁾。本研究の responders においては、術後 MIP は低値であり、 $\dot{V}E/MVV$ は初回歩行直後にはおよそ 40% まで上昇したが、VA 施行によっておよそ 30% まで低下した。さらに、responders では軽度の肺うっ血を呈していたことから、VA によって換気血流不均衡が改善し肺胞換気が促進されたことで²⁹⁾、呼吸困難感が軽減したことが示唆された。

もう一方で、MIP 低下は FEV1 低下の要因の一つであり、MIP と FEV1 両者の低下は MVV 低下の要因となる。本研究において、responders の術後 MIP は non-responders と比較し有意に低値であったが、術後 MEP、FEV1、MVV は両群間で差は認められなかった。これらの結果は、術後呼吸機能低下とは異なる努力呼気時の疼痛などの要因によって生じている可能性が考えられた。さらに術後 MIP 低下は吸気中の胸骨正中切開部におけるシェアストレスによる疼痛が原因となる可能性もあり、今後さらなる検討が必要であると考えられた。

術後の肺うっ血によって、およそ 1~3 cm H₂O の内因性 positive end expiratory pressure (i-PEEP) が生じる³⁰⁾。その結果、吸気筋は i-PEEP を超えるだけの吸気圧を生じる必要があるため、吸気筋の仕事量が増大する³¹⁾。このことから、Responders の歩行中では、3 cm H₂O の PS によって i-PEEP を超える圧が生じていた可能性が考えられた。一方で non-responders では、胸部レントゲン所見にて胸水を認めたが、肺うっ血はほとんど認めなかったことから、肺うっ血を呈していることが VA に効果的に反応する要因である可能性が示唆された。以上のことから、3 cm H₂O の PS によって、術後の肺うっ血によって生じる i-PEEP を超える圧が生じることで吸気筋の負荷が軽減し、呼吸仕事量が減少すると考えられた。

COPD に対する VA の効果を検討したシステマティックレビューでは、PS の施行によって、呼吸困難感が改善し運動時間が延長したと報告されている³²⁾。心不全症例に

対する PS による換気補助によって、収縮期の左室経壁圧勾配が低下し左室の後負荷が軽減することで心拍出量が増加、その結果、末梢血流を改善させることが報告されている³³⁾。一方で、慢性心不全においては、呼吸筋の虚血の存在も指摘されている³⁴⁾。本研究においては、responders は non-responders と比較し、脳性ナトリウム利尿ペプチド (brain natriuretic peptide; BNP) が高値を示していたことから、responders の心機能が低下していた可能性がある。つまり、術直後の心不全を合併した症例においては、PS の呼吸筋への血流改善が、呼吸困難感の軽減と関連していた可能性が示唆された。

Dyspnea group では non-dyspnea group と比較して、AVR 症例の割合が多かった。このことには、AVR 症例が有する拡張機能障害が関連している可能性がある。拡張機能障害を有する症例に対する術後の水分バランスは、一般的に有効循環血液量が不足しないよう慎重に管理される³⁵⁾。その結果、AVR 症例はその他の術式症例と比較し、術後早期は軽度の肺うっ血を呈していた可能性が考えられた。もう一方で、dyspnea group は non-dyspnea group と比較し高齢であり、術後に下肢筋力低下が認められた。術後の異化作用亢進による筋タンパク分解によって、下肢筋力低下が生じる¹⁵⁾。さらに健常高齢者では安静臥床によって、タンパク合成が抑制され下肢筋力低下が生じる³⁶⁾。つまり、高齢者の術後筋力低下は、骨格筋のタンパク分解と合成抑制の両者が要因となっている可能性がある。さらに、dyspnea group と non-dyspnea group では歩行速度に差

は認めなかったことから、**dyspnea group** の歩行時には相対的に下肢筋の仕事量が増大し、その結果早期の乳酸アシドーシスを引き起こした可能性が示唆された。

【本研究の限界】

まず初めに、術式の違いが **VA** の効果や歩行時の換気応答に影響していた可能性がある。具体的には、高齢であり、術前 **BNP** 値が高かった **responders** と **non-responders** の背景要因として、手術による拡張機能障害改善の程度は考慮されていない。二つ目に、呼吸筋力測定が患者の努力に影響されやすい術後 4 日目に測定したため、実際の値より低く見積もっている可能性がある。三つ目に、本研究の結果からは、**PS** が効果的でなかった機序に関するデータが提示できなかった。特に、**non-dyspnea group** においては、本研究で設定した歩行時の負荷量が不十分であった可能性がある。最後に、本研究は対照群を設定しておらず、サンプルサイズも小さい。したがって、今回の結果を一般化するためには、今後サンプルサイズを増やしランダム化比較試験を行う必要がある。それでもなお、本研究は術後早期に **VA** を併用することで労作時呼吸困難感を軽減する可能性を示した最初の報告であり、術後早期離床の新しい介入方策として今後さらに検討を進めるべきと思われる。

【まとめ】

術後の離床開始時における PS を用いた VA が効果的である症例の特徴を検討した。

その結果、術後症例の約 3 分の 2 で呼吸困難感が生じ、その約半数（全体の約 3 分の 1）の症例で 3cmH₂O の PS によって呼吸困難感が軽減した。そして、PS による呼吸困難感改善には、呼吸仕事量の軽減や肺胞換気の改善が関連していると考えられた。

IV. 総括

VA に用いた 3 cmH₂O の PS は、高齢で心肺予備能が低下した心大血管外科手術症例に対して、呼吸仕事量の低下や肺胞換気の改善を介して術後早期離床を促進させることが示唆された。術後早期の労作時呼吸困難感を軽減させるための VA 介入は、新たな理学療法方策として期待され、今後はランダム化比較試験など、更なる検討により適応ならびに離床促進効果を明らかにすることが必要である。

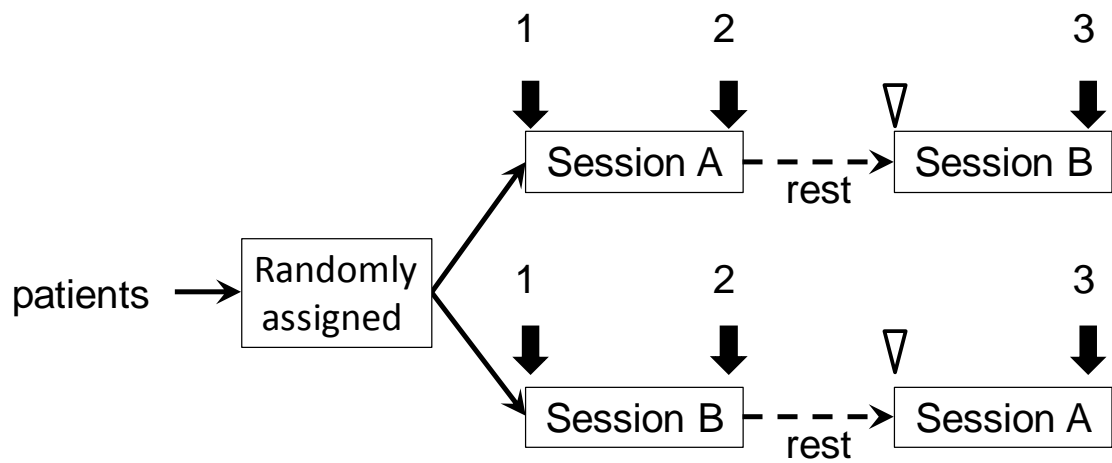


図 1. 研究デザイン

Session A: walking without VA, Session B: walking with VA

↓ : We measured ventilatory parameters by using mechanical ventilator. ∇:

We confirmed that the Borg scale and RR recovered at the status 1.



図 2. VA 施行中の歩行の様子

Patient walked with mobility aid and a therapist carried a ventilatory assist device.

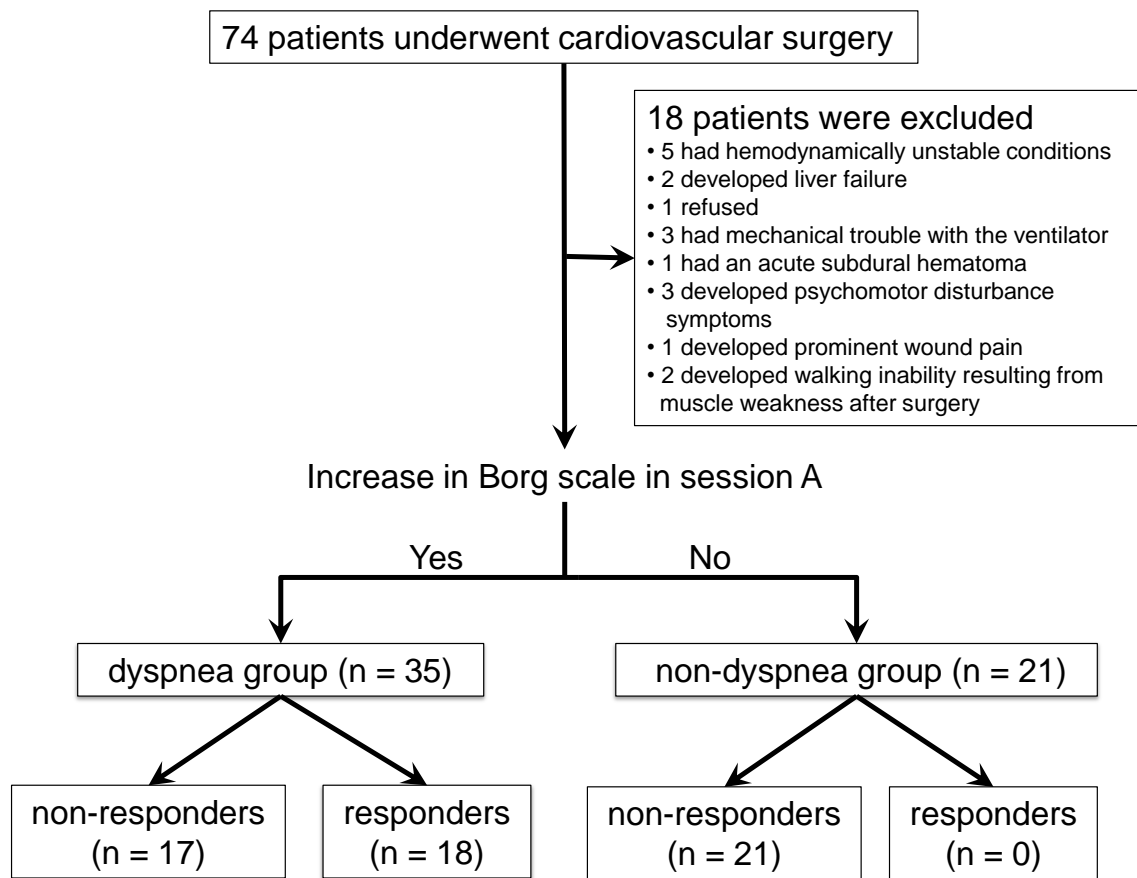


図 3. 対象者の群分け.

Session A: walking without ventilatory assist

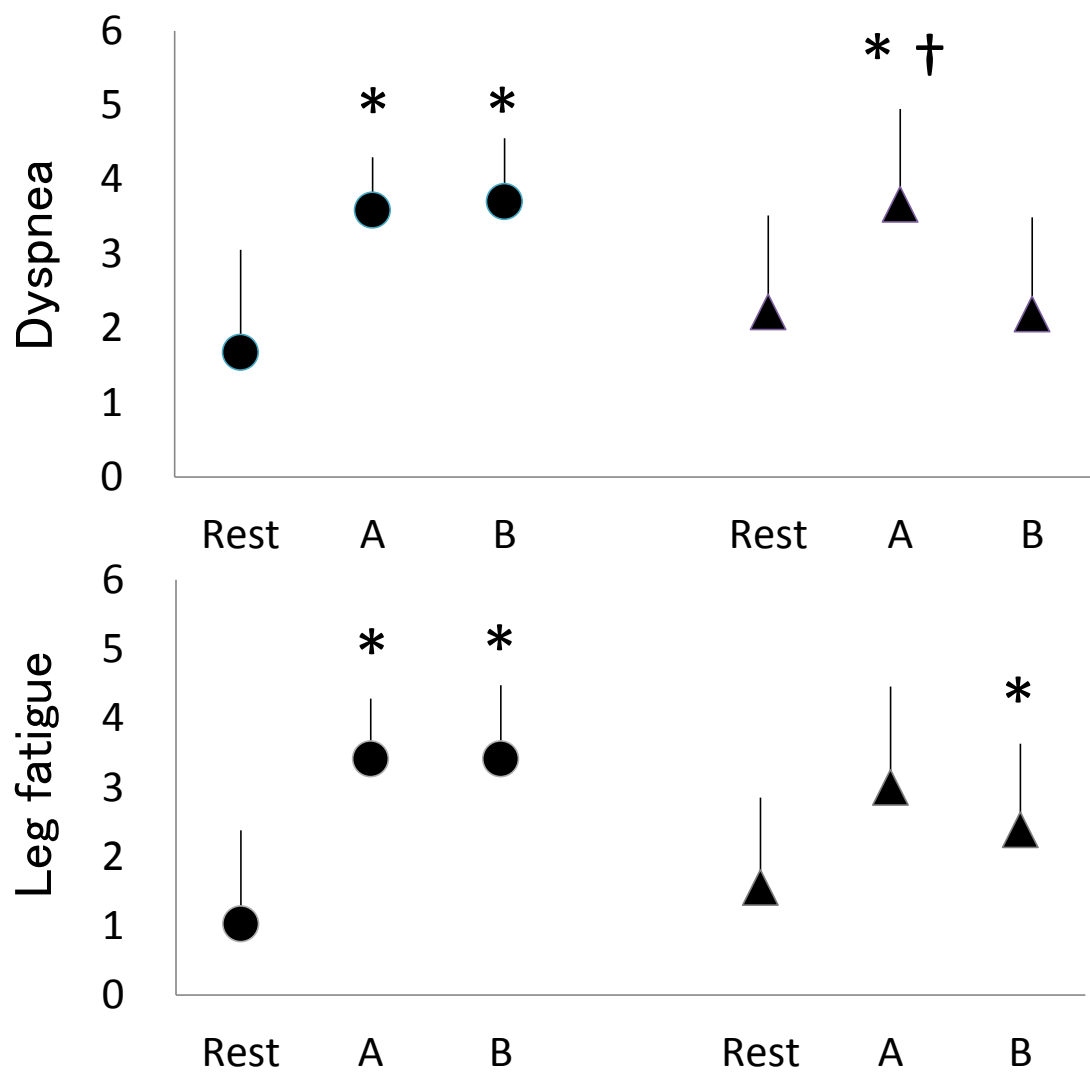


図 4. Dyspnea group の VA 施行の有無における Borg スケールの変化

The Borg scale of dyspnea and leg fatigue in non-responders (●) and responders (▲). Values are shown as the mean \pm SD. A: session A, B: session B.

* $p < 0.05$, relative to at rest. † $p = 0.05$, relative to with session B.

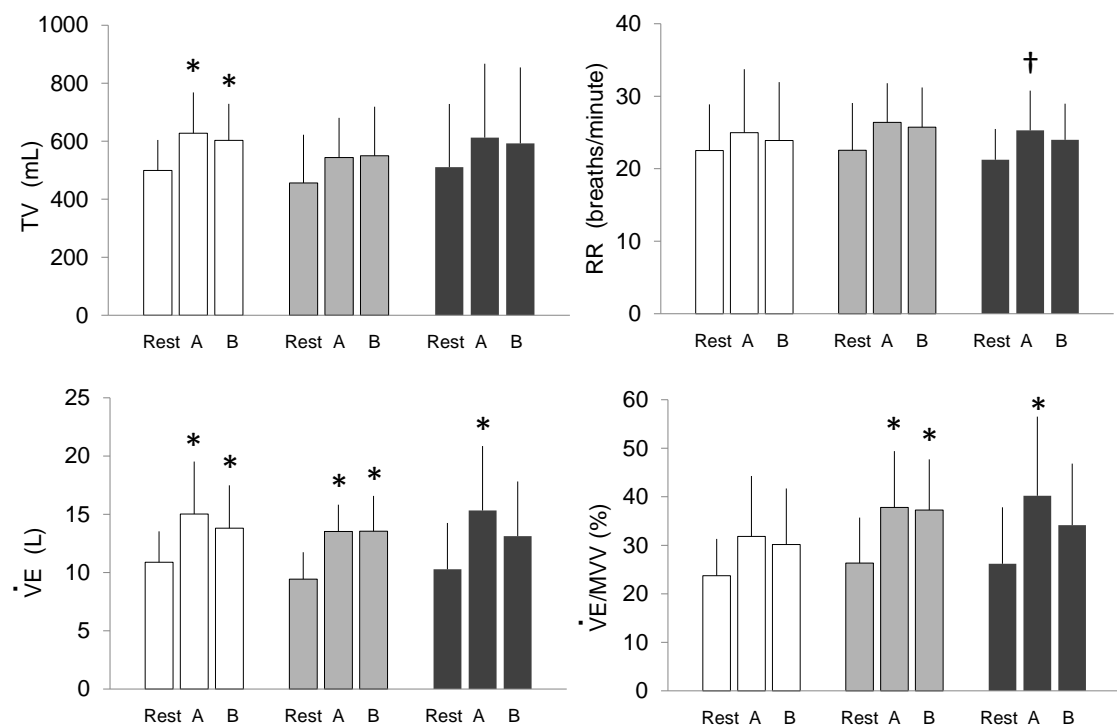


図 5. VA 施行の有無における換気指標の変化

Ventilatory response are shown at rest and after walking in non-dyspnea group

(white bars), and in non-responders (gray bars) and responders (black bars) of

dyspnea group. The bars represent the mean \pm SD. A: session A, B: session B. *

$p < 0.05$, relative to at rest. † $p = 0.05$, relative to at rest.

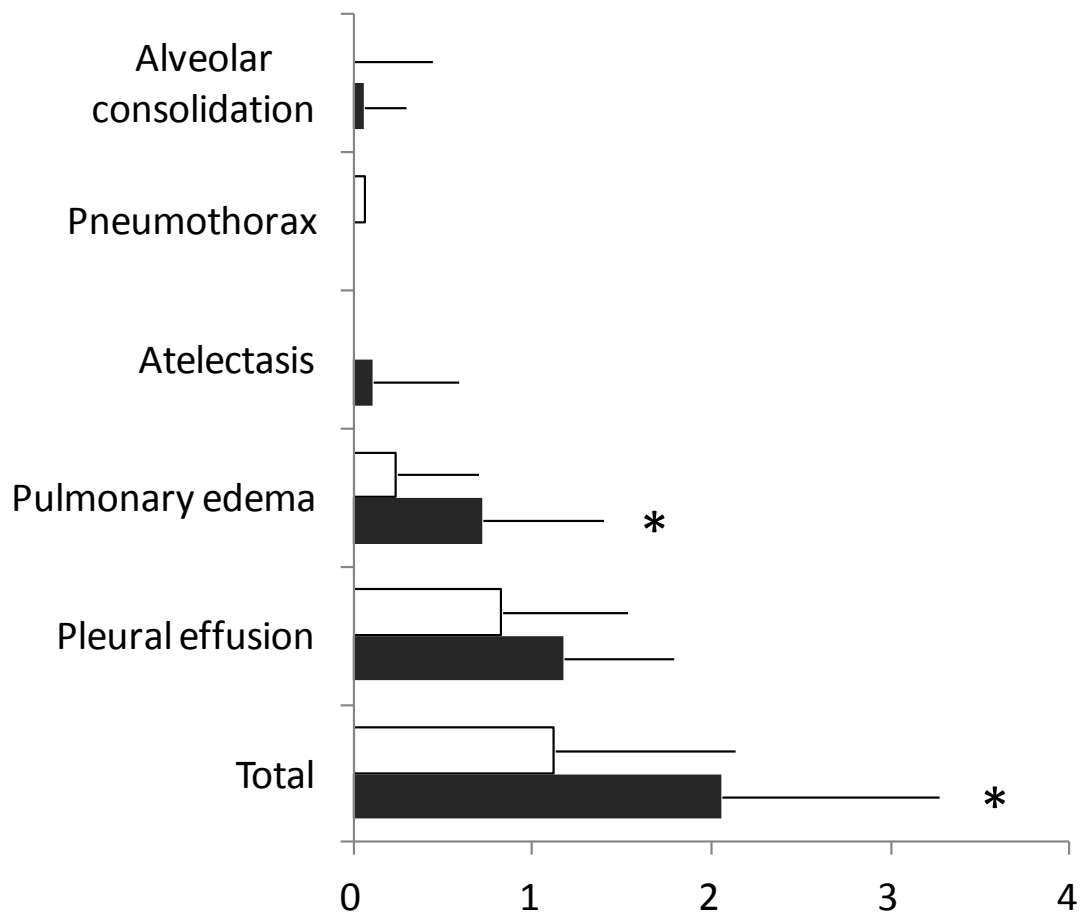


図 6. Dyspnea group の胸部レントゲン所見の変化

Scores of pulmonary alterations in chest radiographs among non-responders

(white bars) and responders (black bars). The bars represent the mean \pm SD. * p

< 0.05, relative to non-responders.

Table 1. 術前の患者特性と術中所見

variable	all patients (n = 56)	all patients		dyspnea	
		non-dyspnea (n = 21)	dyspnea (n = 35)	responders (n = 18)	non-responders (n = 17)
Age (years)	68.3 ± 10.6	63.7 ± 12.7	71.1 ± 8.1 *	72.6 ± 8	69.4 ± 8.2
Sex (male : female)	41 : 15	16 : 5	25 : 10	14 : 4	11 : 6
BMI (kg/m ²)	22.4 ± 4.9	22.7 ± 6.4	22.2 ± 4.0	21.9 ± 4.2	22.4 ± 3.9
LVEF (%)	57.2 ± 12.0	59 ± 9.2	56.2 ± 13.2	54.2 ± 15.4	58.5 ± 10.3
E/E'	15.1 ± 7.6	15.3 ± 4.5	15.9 ± 8.6	15.3 ± 5.1	16.3 ± 10.8
NYHA (I : II : III)	30 : 13 : 13	15 : 4 : 2	15 : 9 : 11	6 : 6 : 6	9 : 3 : 5
BNP (pg/mL)	307.7 ± 560.6	184 ± 397	378.8 ± 630.3	514.1 ± 779.8 ¶	174.3 ± 179.5
Serum creatinine (mg/dL)	1.5 ± 1.7	1.5 ± 1.8	1.5 ± 1.6	1.6 ± 1.8	1.4 ± 1.4
CHF (number)	18	3	15 *	10 ¶	5
DM (number)	22	9	13	8	5
HT (number)	34	12	22	10	12
Smoking history (number)					
non : past : current	25 : 25 : 6	10 : 11 : 0	15 : 14 : 6	6 : 9 : 3	9 : 5 : 3
Medication (number)					
β blocker	22	9	13	9	4
ACE inhibitor or ARB	27	7	20	9	11
statin	29	10	19	8	11
diuretics	19	2	17	9	8
calcium blocker	19	7	12	6	12
Lung function					
VC (L)	2.7 ± 0.8	3.1 ± 0.5	2.5 ± 0.8 *	2.4 ± 0.6	2.5 ± 0.9
FEV1 (L)	2 ± 0.6	2.4 ± 0.4	1.7 ± 0.6 *	1.7 ± 0.6	1.8 ± 0.6
%VC (%)	82.5 ± 14.8	88.1 ± 11.9	79.6 ± 15.6	76.3 ± 16.9	82.8 ± 14
FEV1/FVC (%)	77.2 ± 8.9	79.1 ± 8.0	76.1 ± 9.3 †	75.8 ± 11.1	76.5 ± 7.4
MIP (cmH ₂ O.)	68.1 ± 27.1	86.3 ± 24.5	58.3 ± 23.4 *	57.1 ± 23	59.6 ± 24.7
MEP (cmH ₂ O.)	98.6 ± 41.3	118 ± 39.8	88.5 ± 39.1 *	89.8 ± 37.6	87.4 ± 41.5
MVV (L)	79.8 ± 25.8	98.1 ± 18.4	70.7 ± 24.2 *	69.1 ± 24.3	72.4 ± 24.8
ventilatory impairment (number)					
normal : restrictive : obstructive : mixed : no data	23 : 6 : 14 : 3 : 10	12 : 2 : 2 : 0 : 5	11 : 4 : 12 : 3 : 5	5 : 2 : 5 : 3 : 3	6 : 2 : 7 : 0 : 2
Physical function					
Grip strength (kg)	22.6 ± 8.9	24.7 ± 7.7	18.6 ± 9.4	18.2 ± 8.1	19.0 ± 11.3
KEMS (N·m/weight)	1.4 ± 0.5	1.3 ± 0.6	1.4 ± 0.4	1.6 ± 0.4	1.3 ± 0.4
Data on the surgical procedures					
Elective : emergency (number)	51 : 5	16 : 5	35 : 0 *	18 : 0	17 : 0
Type of surgery (number)					
CABG (OPCAB)	26 (9)	14 (5)	12 (4)	7 (3)	5 (1)
AVR or AVR/CABG	12	1	11	8	3
MVR or MVP or MVP/CABG	7	3	4	2	2
DVR or AVR/MVP	5	1	4	1	3
aneurysmectomy or aneurysmectomy/AVR	6	2	4	0	4
Operation time (minute)	323 ± 77	324 ± 79	322 ± 78	307 ± 77	338 ± 78
CPB time(minute)	136 ± 49	127 ± 26	140 ± 56	137 ± 52	144 ± 62
Fluid balance (mL)	2602 ± 1731	2770 ± 1511	2508 ± 1858	2685 ± 1571	2310 ± 2172
Volume of bleeding (mL)	1115 ± 862	937 ± 732	1199 ± 91.5	1017 ± 894	1380 ± 926
Intubation time (hours)	31.2 ± 10.4	27 ± 5.0	33 ± 11.0	31 ± 10	34 ± 13

LVEF = left ventricular ejection fraction. NYHA = New York heart association

classification. BNP = brain natriuretic peptide. CHF = chronic heart failure. DM =

diabetes mellitus. HT = hypertension. ACE inhibitor = angiotensin converting enzyme

inhibitor. ARB = angiotensin receptor blocker. VC = vital capacity. FEV1 = forced

expiratory volume in 1 second. MIP = maximal inspiratory pressure. MEP = maximal

expiratory pressure. MVV = maximum voluntary ventilator. KEMS = knee extensor

muscle strength. CABG = coronary artery bypass grafting. AVR = aortic valve

replacement. MVR = mitral valve replacement. MVP = mitral valve plasty. DVR = double valve replacement. CPB time = cardiopulmonary bypass time. Values are presented as the mean \pm SD. * $p < 0.05$, relative to non-dyspnea. † $p = 0.06$, relative to non-dyspnea. ¶ $p = 0.08$, relative to non-responders.

Table 2. 術後の歩行関連指標、呼吸機能、身体機能、血液検査指標

variable	all patients		dyspnea group	
	non-dyspnea (n = 21)	dyspnea (n = 35)	responders (n = 18)	non-responders (n = 17)
day of walk (postoperative days)	4.0 ± 1.3	4.6 ± 1.5	4.6 ± 1.2	4.5 ± 1.8
walking distance (meter)	82 ± 26	67 ± 29	61 ± 31	72 ± 27
walking speed (meter/minute)				
with VA	32.6 ± 16.0	27.3 ± 13.8	27.5 ± 15.2	27.1 ± 13.0
without VA	32.7 ± 17.0	25.3 ± 13.8	25.3 ± 15.2	25.3 ± 13.2
Heart rate (beats/minute)				
before walking	80 ± 16	81 ± 12	85 ± 12	80 ± 13
after walking with VA	85 ± 20	88 ± 15	89 ± 14	88 ± 16
after walking without VA	84 ± 18	89 ± 13	91 ± 12	87 ± 15
SpO ₂ (%)				
before walking	97 ± 2	96 ± 2	96 ± 2	96 ± 2
after walking with VA	95 ± 3	95 ± 3	95 ± 3	95 ± 3
after walking without VA	94 ± 3	95 ± 3	95 ± 2	95 ± 3
Lung function				
VC (L)	1.6 ± 0.5	1.3 ± 0.4 *	1.4 ± 0.4	1.2 ± 0.4
FEV1 (L)	1.2 ± 0.3	0.9 ± 0.3 *	1.0 ± 0.3	0.9 ± 0.3
%VC (%)	47.1 ± 14.5	41.4 ± 11.9	44.8 ± 7.9	37.5 ± 14.6
FEV1/FVC (%)	82.5 ± 8	81.4 ± 10.2	80.3 ± 9.1	82.8 ± 11.4
MIP (cmH ₂ O.)	37.3 ± 18.7	31.9 ± 12.9	28.8 ± 11.2 †	39.1 ± 12.8
MEP (cmH ₂ O.)	46.3 ± 21.6	44.8 ± 18	46.6 ± 21.2	45.7 ± 11.4
MVV (L)	50.5 ± 15.1	39.9 ± 13.9 *	41.2 ± 12.4	38.6 ± 15.6
Physical function				
Grip strength (kg)	16.4 ± 8.3	14.5 ± 7.2	13.6 ± 5.3	15.5 ± 9.1
KEMS (N·m/weight)	1.5 ± 0.7	1.1 ± 0.3 *	1.1 ± 0.3	1.2 ± 0.3
Serum creatinine (mg/dL)	1.5 ± 2.4	1.5 ± 1.6	1.4 ± 1.7	1.2 ± 1.3
BNP (pg/mL)	84.8 ± 42.1	267.9 ± 263	372.6 ± 480.7	145.7 ± 75.9

VA = ventilatory assist. SpO₂ = percutaneous oxygen saturation. VC = vital capacity.

FEV1 = forced expiratory volume in 1 second. MIP = maximal inspiratory pressure. MEP

= maximal expiratory pressure. MVV = maximum voluntary ventilator. KEMS = knee

extensor muscle strength. BNP = brain natriuretic peptide. Serum creatinine was

measured on the day of walking. BNP was measured at discharge. Values presented

are mean ± SD. * p < 0.05.

V. 参考文献

1. Adachi H. Itoh H. Sakurai S. Short-Term Physical Training Improves Ventilatory Response. *Jpn. Circ. J* 2001; 65: 419–423.
2. Tumminello G. Guazzi M. Lancellotti P. Piérard LA. Exercise ventilation inefficiency in heart failure: pathophysiological and clinical significance. *Eur. Heart J* 2007; 28: 673–678.
3. Ferguson MK. Preoperative Assessment of Pulmonary Risk Preoperative Assessment of Pulmonary Risk. *Chest* 1999; 115: 58S–63S.
4. Wynne R. Postoperative pulmonary dysfunction in adults after cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: clinical significance and implications for practice. *Am J Crit care* 2004; 13: 384–393.
5. 高橋 哲也. 奈良 勲. 有菌 信一. 熊丸 めぐみ. 小笠原 マリコ・スエリー. 安達 仁. 金子 達夫. 大島 茂. 谷口 興一. 心臓外科手術後の肺活量の回復について:

経時的変化とインセンティブスパイロメータの効果. 理学療法学 2003; 30:

335–342.

6. Iida Y. Yamada S. Nishida O. Body mass index is negatively correlated with respiratory muscle weakness and interleukin-6 production after coronary artery bypass grafting. J Crit Care 2010; 25: 172.e1–8.
7. Morsch KT. Leguisamo CP. Camargo MD. Coronel CC. Mattos W. Ortiz LD. Lima GG. Ventilatory profile of patients undergoing CABG surgery. Rev Bras Cir Cardiovasc 2009; 24: 180–187.
8. Parshall, MB. An official American Thoracic Society statement: update on the mechanisms, assessment, and management of dyspnea. Am J Respir Crit Care Med 2012; 185: 435–452.
9. O'Donnell DE. Banzett RB. Carrieri-Kohlman V. Casaburi R. Davenport PW. Gandevia SC. Gelb AF. Mahler DA. Webb KA. Pathophysiology of dyspnea in

chronic obstructive pulmonary disease: a roundtable. Proc Am Thorac Soc 2007; 4: 145–168.

10. Killian KJ. Gandevia SC. Summers EE. Effect of increased lung volume on perception of breathlessness, effort, and tension. J Appl Physiol Respir Env Exerc Physiol 1984; 57: 686–691.
11. Chonan MT. Mulholland MB. Cherniack NS. Effects of voluntary constraining of thoracic displacement during hypercapnia. J Appl Physiol 1987; 63: 1982–1828.
12. Hamilton RD. Winning AJ. Perry AG. Aerosol anesthesia increases hypercapnic ventilation and breathlessness in laryngectomized humans. J Appl Physiol 1987; 63: 2286–2292
13. Homma I. Eklund GK. Respiration in man affected by TVR contractions elicited in inspiratory and expiratory intercostal muscles. Respir Physiol 1978; 35: 335–348.

14. Weiser PC. Mechanisms of Exertional Dyspnea in Patients with Chronic Heart Failure. *Heart Fail* 1992; 8: 202–209.
15. Iida Y, Yamazaki T, Kawabe T, Usui A, Yamada S. Postoperative muscle proteolysis affects systemic muscle weakness in patients undergoing cardiac surgery. *Int J Cardiol* 2014; 172: 595–597.
16. JCS Joint Working Group. Guidelines for Rehabilitation in Patients With Cardiovascular Disease (JCS 2012). *Circ J* 2014; 78: 2022–2093.
17. O'Donnell DE. Hyperinflation, dyspnea, and exercise intolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Proc Am Thorac Soc* 2006; 3: 180–184.
18. Arzt M, Schulz M, Wensel R, Montalvan S, Blumberg FC, Riegger GJ. Nocturnal continuous positive airway pressure improves ventilatory efficiency during exercise in patients with chronic heart failure. *Chest* 2005; 127: 794–802.

19. Wittmer VL, Simoes GS, Sogame LM, Vasquez EC. Effects of continuous positive airway pressure on pulmonary function and exercise tolerance in patients with congestive heart failure. *Chest* 2006; 130: 157–163.
20. Chermont S, Quintão MP, Mesquita ET, Rocha NN, Nóbrega AL. Noninvasive ventilation with continuous positive airway pressure acutely improves 6-minute walk distance in chronic heart failure. *J. Cardiopulm. Rehabil. Prev* 2009; 29: 44–48.
21. Yamada S, Sakakibara M, Yokota T, Kamiya K, Asakawa N, Iwano H, Yamada S, Oba K, Tsutsui H. Acute Hemodynamic Effects of Adaptive Servo-Ventilation in Patients With Heart Failure. *Circ J* 2013; 77: 1214–1220.
22. 山田 純生. 河野 裕治. 岩津 弘太郎. 換気補助による主観的疲労感の軽減効果
機序に関する研究. *心臓リハビリテーション* 2005; 10: 243–249.
23. Kindgen-Milles D, Müller E, Buhl R, Böhner H, Ritter D, Sandmann W, Tarnow J.

- Nasal-continuous positive airway pressure reduces pulmonary morbidity and length of hospital stay following thoracoabdominal aortic surgery. *Chest* 2005; 128: 821–828.
24. Haeffener MP, Ferreira GM, Barreto SS, Arena R, Dall'Ago P. Incentive spirometry with expiratory positive airway pressure reduces pulmonary complications, improves pulmonary function and 6-minute walk distance in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *Am Heart J* 2008; 156: 900.e1–900.e8.
25. Carter R. Peavler M. Predicting maximal exercise ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *CHEST* 1987; 92: 253–259.
26. Borg G. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and science in sports and exercise* 1982; 14: 377–381.
27. Puntillo K. Nelson JE. Weissman D. Curtis R. Weiss S. Frontera J. Gabriel M.

- Hays R. Lustbader D. Mosenthal A. Mulkerin C. Ray D. Bassett R. Boss R. Brasel K. Campbell M: Advisory Board of the Improving Palliative Care in the ICU (IPAL-ICU) Project. Relief of pain, dyspnea, and thirst - A report from the IPAL-ICU Advisory Board. *Intensive Care Med* 2014; 40: 235–248.
28. Staton GW. Williams WH. Mahoney EM. Hu J. Chu H. Duke PG. Puskas JD. Pulmonary outcomes of off-pump vs on-pump coronary artery bypass surgery in a randomized trial. *Chest* 2005; 127: 892–901.
29. Sullivan MJ. Higginbotham MB. Cobb FR. Increased exercise ventilation in patients with chronic heart failure: intact ventilatory control despite hemodynamic and pulmonary abnormalities. *Circulation* 1988; 77: 552–559.
30. Broseghini C. Brandolese R. Poggi R. Polese G. Manzin E. Milic-Emili J. Rossi A. Respiratory mechanics during the first day of mechanical ventilation in patients with pulmonary edema and chronic airway obstruction. *The American review of respiratory disease* 1988; 138: 355–361.

31. Keilty SE. Ponte J. Fleming TA. Moxham J. Effect of inspiratory pressure support on exercise tolerance and breathlessness in patients with severe stable chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1994; 49: 990–994.
32. van 't Hul A, Kwakkel G, Gosselink R. The acute effects of noninvasive ventilatory support during exercise on exercise endurance and dyspnea in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *J. Cardiopulm. Rehabil* 2002; 22: 290–297.
33. O'Donnell DE. D'Arsigny C. Raj S. Abdollah H. Webb KA. Ventilatory assistance improves exercise endurance in stable congestive heart failure. *Am. J. Respir. Crit Care Med* 1999; 160: 1804–1811.
34. Mancini DM, Henson D, LaManca J, Levine S. Respiratory muscle function and dyspnea in patients with chronic congestive heart failure. *Circulation* 1992; 86: 909–918.

35. JCS Joint Working Group. Guidelines for Treatment of Acute Heart Failure (JCS 2011). *Circ. J* 2013; 77: 2157–2201.
36. Kortebein P. Ferrando A. Lombeida J. Wolfe R. Evans WJ. Effect of 10 days of bed rest on skeletal muscle in healthy older adults. *JAMA* 2007; 298: 1772–1774.

VI. 要旨

【序論】

労作時の換気亢進や呼吸困難感は、心臓血管外科術後（術後）の離床時に多くみられる症状であり、離床促進や運動拡大を制限する要因の一つである。術後早期は、肺うっ血や無気肺によって生じる換気血流不均衡が換気亢進の主な要因とされている。換気血流不均衡は、換気の亢進、血流の低下、酸素搬送能の低下によって生じる。一方で心疾患における呼吸困難感は、最大換気量（maximum voluntary ventilation; MVV）に対する分時換気量（minute ventilation; \dot{V}_E ）の相対的強度と関連し、 \dot{V}_E/MVV は Dyspnea Index (DI) と称されている。術後は \dot{V}_E が増加、MVV が低下するため、 \dot{V}_E/MVV が増加する。つまり、術後早期は呼吸機能ならびに呼吸筋力低下により労作時の換気需要への応答が困難となる。術後に機械的換気補助（VA）を用いることで、術後 ICU 滞在日数の減少や、術後早期の運動能力の改善が報告されている。このことは、術後の VA が離床を促進し、運動能力を改善することを示しており、同時に労作時の呼吸困難感改善の可能性も示している。しかし、術後早期の離床拡大に VA を併用した報告は見当たらない。本研究では心臓血管外科術後患者を対象として、初期離床における VA の呼吸困難感の軽減効果について明らかにすることを目的とした。VA が効果的である症例の特徴を明らかにすることより、離床促進策としての VA 導入の可能性を検討することとした。

1. 予備検討

【目的】

心臓血管外科術後において、安静時呼吸困難感の増加をきたさない換気補助様式を陽圧負荷の方法と設定圧の点から明らかにすること。

【方法】

対象は、2012 年 9 月から 2013 年 2 月までの間で北野病院にて心大血管外科手術を受けた 17 例とした。head-up 30°の安静臥位にて、VA 施行前と VA 中に呼吸数 (respiratory rate; RR)、一回換気量 (tidal volume; TV)、 \dot{V}_E を測定した。同日に一秒量を測定し、 \dot{V}_E/MVV を算出した。換気指標の測定には人工呼吸器 (HAMILTON-C2) を用い、マスクには Full Face Mask を用いた。VA 時の換気補助様式は、positive end-expiratory pressure (PEEP) と pressure support (PS) を用いた。安静時の呼吸困難感は、修正 Borg スケール (Borg スケール) を用いて評価した。

【結果】

PEEP を用いた施行では呼吸困難感が増悪したため測定の継続が困難であった。全体の約 71%の症例が 3 cmH₂O の PS によって呼吸吸困難感の増加をきたさなかったが、約 90%で \dot{V}_E/MVV が増加した。

【結論】

心臓血管外科術後において、安静時呼吸困難感の増加をきたさない VA の換気様式は、吸気時のみに陽圧が負荷される PS であり、設定圧は 3cmH₂O の低圧であると考えられた。さらに、VA を用いる際には、呼気抵抗を軽減させるマスクの構造を考慮する必要があると考えられた。

2. 研究

【目的】

心臓血管外科術後において、VA が効果的である症例の特徴を明らかにし、VA の効果に関連する要因を明らかにすること。

【方法】

対象は 2013 年 3 月から 2014 年 4 月の間、当院にて心臓血管外科手術を施行された 20 歳以上の症例とした。本研究は prospective case series であり、クロスオーバーデザインを用いた。VA 施行せずに歩行する場合を session A、VA を施行しながら歩行する場合を session B とした。術後初回歩行時において session A を行った後に session B を行う方法と、その反対の方法で行う 2 通りに対象者をランダムに割り付けた。各 session の間は 10 間の休憩を設けた。VA は人工呼吸器（Hamilton C-2）を用い、設定圧は PS 3 cm H₂O とした。対象者には nasal pillows mask を装着させた。歩行時の呼吸困難感と下肢疲労感は、session A と session B の前後において修正 Borg スケールを

用いて評価した。TV、RR、 $\dot{V}E$ を session の前と直後で Hamilton C-2 を用いて評価した。各指標の安静時 1 分間の平均値を用いた。初回歩行同日に、呼吸機能（肺活量、一秒量、 $MVV = \text{一秒量} \times 38$ ）、最大吸気筋力（Maximal inspiratory pressure ; MIP）、握力を測定した。さらに、先行研究を参考に胸部レントゲン所見（X-P score）を評価した。術後 7 日目に等尺性膝伸展筋力を評価した。対象者の中で、session A にて呼吸困難感 Borg スケールが 1 以上上昇したものを“dyspnea group”とし、上昇しなかったものを“non-dyspnea group”とした。さらに、session B の呼吸困難感 Borg スケールが session A よりも 1 以上低下し呼吸困難感が改善したものを“responders”、低下しなかったものを“non-responders”と分類した。

【結果】

解析対象となった 56 例の内、21 例が non-dyspnea group、35 例が dyspnea group に分類された。そして、dyspnea group の 35 例の内、18 例が VA responders であり、non-dyspnea group では全例が non-responders であった。解析対象となった 56 例の内、32% が VA 施行後に呼吸困難感が軽減した。Responders は non-responders と比較し、術前心不全症例が有意に多く、術後 MIP が有為に低値であった。そして responders の $\dot{V}E/MVV$ は、session A では安静時よりも有意に上昇したが、session B では安静時と比較し有意な差はなかった。一方 non-responders の $\dot{V}E/MVV$ は session A と session B のいずれも安静時よりも有意に上昇した。術後の等尺性膝伸展筋力は non-dyspnea

group と比較し、dyspnea group で有意に低値を示した。X-p score では、responders の肺うっ血 score が non-responders と比較し有意に高かった。

【結論】

本研究の結果は、高齢で心肺機能予備能が低い症例に対して VA を併用することで、術後早期離床が効果的に進行することを示唆している。つまり、術後早期の労作時呼吸困難感を軽減させるための VA 介入は、今後の新たな理学療法介入方策となる可能性がある。

VII. Summary

【Backgrounds】

Dyspnea is one of the major complaints when ventilation is accelerated by physical activities in patients who have undergone cardiovascular surgery. The ventilation-perfusion mismatch caused by increasing pulmonary congestion and atelectasis are reported as possible underlying mechanisms of exercise induced hyperpnea in post-surgical patients. In the immediate post-surgical phase, patients cannot respond to increased respiratory demands because of a reduction in vital capacity and weakness of the respiratory muscles, and consequently suffer from dyspnea.

Mechanical ventilatory assist (VA) was reported to improve ventilatory efficiency and exercise performance by reducing the amount of respiratory muscle work in patients with chronic heart failure. We hypothesized that early mobilization with VA could possibly improve dyspnea, and in turn, improve walking capacity during the early postoperative period. To determine the optimum VA mode and to examine the factors involved in response to VA in patients who had undergone cardiovascular surgery.

1. Preliminary study

【Methods】

Ambulatory patients > 20 years of age who underwent cardiovascular surgery from September 2012 to February 2013 were enrolled in this study. Respiratory rate (RR), tidal volume (TV), and minute ventilation (\dot{V}_E) were measured by mechanical ventilation with Full Face Mask at lying position. VA mode were positive end-expiratory pressure (PEEP) and pressure support (PS). We measured dyspnea by using a modified Borg scale.

【Results】

All patients were intolerant and discontinued VA with PEEP because of dyspnea. In approximately 71% of total patients, the Borg's rating of dyspnea did not increased by using 3 cmH₂O of PS, whereas in approximately 90% of total patients \dot{V}_E /MVV increased

【Conclusion】

Respiratory muscle work at rest after cardiovascular surgery can be increased by

application of PEEP and high level PS with Full Face Mask. Therefore, 3cmH₂O of PS and using of Nasal Mask can avoid increasing dyspnea at rest in patients underwent cardiovascular surgery.

2. Study

【Methods】

Ambulatory patients > 20 years of age who underwent cardiovascular surgery from March 2013 to March 2014 were enrolled in this study. We conducted the first walking session after surgery either with or without VA in a randomized order. The patients walked with 3 cm H₂O of inspiratory pressure support. We measured dyspnea and leg discomfort during initial walking either with or without VA by using a modified Borg scale. Ventilatory parameters were measured by mechanical ventilation before and immediately after walking. Lung function and maximal inspiratory pressure (MIP) measurements were performed by a spirometric computerized test and chest radiographs were analyzed by same cardiac surgeon on the same day as walking. The patients who showed a ≥ 1 increase in dyspnea rating caused by walking without VA were defined as "dyspnea group" and patients who did not were classified as "non-dyspnea group". Then, among groups, those who showed a ≥ 1 decrease in

dyspnea during walking with VA compared to those with no VA were defined as “responders,” and patients who did not as “non-responders.”

【Results】

From the total of 74 patients who underwent cardiovascular surgery, 56 patients were successively enrolled in the study. Thirty-five out of 56 patients had dyspnea (dyspnea group) and 18 patients (30% of the total patients) effectively responded to VA (responders) in dyspnea group. Non-dyspnea group had no responder. The characteristics of dyspnea group were older age and high prevalence of CHF when compared to non-dyspnea group. Minute ventilation / estimated maximum voluntary ventilation immediately after walking significantly decreased with VA and MIP was lower in responders than in non-responders after surgery. The responders revealed greater pulmonary edema scores than non-responders.

【Conclusions】

The findings of the present study suggest that VA may possibly facilitate successful mobilization early after cardiovascular surgery, especially in patients with impaired cardiopulmonary function. The new PS technology in facilitating immediate postoperative ambulation will be an area of further clinical research.