

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 20 日現在

機関番号：22401
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22700542
 研究課題名（和文） 呼吸筋活動を促通し調整する呼吸トレーニング方法の開発
 研究課題名（英文） Development of the training program to enhance the facilitation and coordination of respiratory muscle activity

 研究代表者
 木戸 聡史（KIDO SATOSHI）
 埼玉県立大学・保健医療福祉学部・助教
 研究者番号：50513214

研究成果の概要（和文）：本研究は、呼吸筋活動を促通し調整する呼吸トレーニング方法の開発を目指すものである。研究期間中、1）トレーニング時の換気・呼吸筋活動・胸郭運動の評価を可能とするための計測解析方法の構築、2）呼吸筋活動を調整し換気効率を向上させるための換気フィードバックシステムの開発、3）呼吸筋活動を促通するための方法の提案、4）1）-3）の統合により促通と調整を実現するためのトレーニング方法を構築し、身体に及ぼす影響を検証した。

研究成果の概要（英文）：The goal of this proposal is to develop a training system to facilitate and coordinate respiratory muscle activity. This project proceeded in 4 stages: 1) development of the method to measure and analyze ventilatory response, respiratory muscle activity, and thoracic motion; 2) development of a respiratory biofeedback system to coordinate the activities of the respiratory muscles; 3) proposal of the method to facilitate respiratory muscle activity; and 4) combining the above-noted results as well as developing the training program to enhance the facilitation and coordination of respiratory muscle activity. We then evaluated the newly developed training system.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：運動療法 呼吸 振動刺激

1. 研究開始当初の背景

呼吸器疾患の患者数は世界的に増加している。中でも慢性閉塞性肺疾患（COPD）は世界的に有病率・罹患率・死亡率が高く、その経済的・社会的負担は大きく、増大し続けている。2006年のWHOの推定では、中～重症の

COPD患者は全世界で約8000万人に昇る。国内では2001年の日本COPD疫学調査（NICE Study）によって約530万人のCOPD患者が存在すると試算された。呼吸器疾患患者に対する運動療法の有用性に関してはCOPDを筆頭にエビデンスが高く多くの患者に適応とな

っている。

運動制限因子は、換気制限、動的肺過膨張、換気効率の低下、ガス交換障害、呼吸筋疲労、肺循環障害、骨格筋の機能障害、心理的要素などが知られており、胸郭の柔軟性の低下、呼吸筋の委縮、呼吸補助筋群の過緊張が認められ、エネルギー効率の悪い呼吸パターンを呈し、運動中の呼吸困難を助長する。これに対して、呼吸パターンの修正や呼吸筋トレーニングの有用性が認識されている（すべての症例ではない）。

機器を使用した呼吸トレーニング方法には、肺活量を向上させるために換気量を視覚的にフィードバック（FB）する方法、マウスピースをくわえて吸気や呼気抵抗負荷をかけるトレーニング方法や、過換気法などがある。しかし、呼吸筋活動や呼吸運動を含めてトレーニングすることや、運動時や日常生活活動（ADL）動作における使用などにおいては、以下のような課題がある。

(1) 呼吸筋活動、呼吸運動の調整：呼吸バイオ FB を行う場合、現状では換気量、流速を FB する事が可能である。呼吸筋は頸部、肩、上肢、体幹部に多数存在する。必要換気量増大時や、呼吸困難時には吸気では、横隔膜、外肋間筋に加えて、僧帽筋、斜角筋、胸鎖乳突筋などの吸気補助筋の活動が増大する。しかしながら、呼吸努力時に呼吸補助筋の過活動や上部胸式呼吸優位のパターンなどを呈すると、呼吸筋疲労や呼吸仕事量の増大などが引き起こされる。現在の方法では呼吸筋活動、呼吸運動の調整を機器で行うことは困難である。

(2) 喚起方法：インセンティブスパイロメータを用いた方法では視覚的、聴覚的な提示が可能である。また、グラフィックモニタを用いて呼吸曲線を視覚的に FB する方法が報告されている。これらの方法は臥位、座位や立位でのトレーニングには有用である。運動時や ADL 動作におけるトレーニングを可能にするためには提示方法の工夫が必要である。

(3) 呼吸筋活動の促通：マウスピース型の機器で、吸気や呼気抵抗負荷をかけるトレーニングでは、吸気筋群、呼気筋群全体に負荷をかけることが可能である。我々がこれまで報告してきたマスクタイプの呼吸トレーニングデバイスでは運動時にも容易に呼吸負荷をかけることができるが、マウスピース型と同様に選択的に呼吸筋を促通することは困難である。直接呼吸筋活動を調整し促通することで呼吸機能、身体運動機能の改善を図るトレーニング方法が開発出来れば、より効果的な運動療法を発展させるために有益であると考えられる。これまで骨格筋において

振動刺激による筋活動が惹起されることが報告されてきた。呼吸筋に関してもシリンダー型振動器による刺激で1回換気量の増大が見られ、緊張性振動反射が誘発されることが示唆されてきた。近年振動モータの小型軽量化が進んでおり、使用の簡便性、装着性の向上があるが、小型のモータを呼吸筋活動の促通に使用した報告は殆どない。

2. 研究の目的

本研究の最終目標は、呼吸筋活動を促通し調整する呼吸トレーニング方法の開発を目指すものである。研究期間中は、健常若年者を対象として、トレーニング時の換気・呼吸筋活動・胸郭運動の評価を可能とするための計測解析方法の構築、呼吸筋活動を調整し換気効率を向上させるための換気 FB システムの開発、呼吸筋活動を促通するための方法の提案、上述結果の統合により呼吸筋活動の促通と調整を実現するためのトレーニング方法を構築し、安静および運動中の身体に及ぼす影響を検証した。

3. 研究の方法

(1) 換気・呼吸筋活動・胸郭運動の評価を可能とするための計測解析装置の作成
①換気測定は HANS RUDOLPH 社製測定用マスクの吸気側に分岐したホースを経由しフローセンサに接続した。吸気フローデータは AD インターフェースからパーソナルコンピュータへ取り込んだ。プログラムで解析したデータは、3L のシリンジを用いて校正した。
②表面筋電位は筋電計で測定し、①と同様に AD インターフェースからパーソナルコンピュータへ取り込んだ。
③胸郭運動計測はひずみセンサとひずみ測定器を用いて上記同様にパーソナルコンピュータへ取り込んだ。

(2) 換気フィードバック装置の開発

喚起の方式を検討するために、光・音・振動提示装置を作成して、(1)の測定システムに組み込んだ。また FB プログラムを作成した。健常若年成人男性 9 名を対象に、換気方式を検討するための実験を行った。

(3) 呼吸筋活動を促通する方法の提案

呼吸筋トレーニング機器を用いることにより呼吸筋の活動を促進させることが可能である。我々はこれまでにマスクタイプの呼吸トレーニングデバイスによっても呼吸負荷をかけることにより呼吸筋活動量を増大させることを報告してきた。これらの方法のみでは選択的に呼吸筋活動を促通することは困難である。呼吸器疾患などでは吸気補助筋の過緊張、上部胸式呼吸パターンを呈する

場合があるが、横隔膜活動を促通して横隔膜呼吸法を行うことにより、呼吸仕事量の軽減と換気効率の改善、呼吸困難の軽減、動作能力の向上が期待できる。本提案では緊張性振動反射による筋活動の増大が得られるという仮説を立て、小型の振動モータを配置したベルトを使用し吸気相で横隔膜レベルへの刺激を行う。健常成人 9 名を対象に換気量、筋活動の測定を行った。

(4) システムの統合と検証

これまで確立した FB 方法による呼吸筋活動の調整と促通方法を統合し、検証した。具体的には安静時、身体運動時の換気 FB 実施における評価、身体運動時に呼吸負荷を併用した時の評価を実施した。

4. 研究成果

(1) 換気・呼吸筋活動・胸郭運動の評価を可能とするための計測解析装置の製作

換気測定では、シリンジとフローセンサをチューブで接続し、シリンジから 3 リットル送り出す際の流量を異なる 3 日間でそれぞれ 5 回計測した。計測された電圧を 0 レベルオフセット後、積分し、得られた値が 3 リットルとなるように電圧-流量間の係数を求め、15 回分の平均値を採用した。測定確度は $\pm a = 1.75\%$ だった。

(2) 換気フィードバック装置の開発

(1) で製作した装置に提示装置とプログラムを組み込んで、換気フィードバックシステム (図 1) を構築した。構築したシステムを用いて、各種 FB 信号に対する反応特性を評価するため、振動刺激、光提示、音提示を組み合わせた条件で、呼吸の評価を実施した。振動刺激のみでは刺激に対する反応がわずかに遅延したが、最大でも 62msec の遅延だった (図 2)。

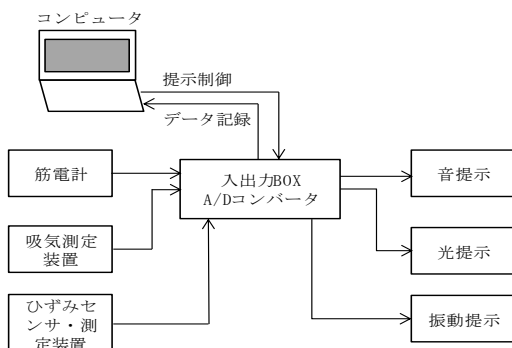


図 1. フィードバックシステムの概要

	視覚提示	音提示	振動提示
条件1	○	○	○
条件2	×	○	○
条件3	○	×	○
条件4	○	○	×
条件5	×	×	○
条件6	×	○	×
条件7	○	×	×

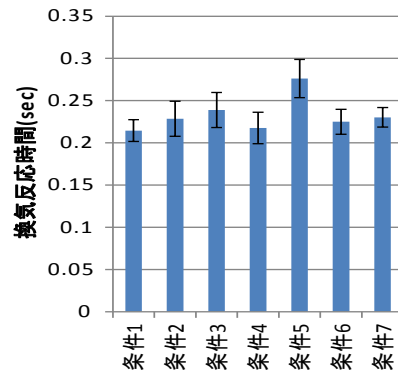


図 2. 提示条件ごとの換気応答

(3) 呼吸筋活動を促通する方法の提案

コイン型振動モータ 20 個が付いた伸縮ベルトを横隔膜レベルに巻いて端座位で最大吸気を 2 度実施した。最大吸気量は振動あり 4.41 ± 1.20 L、振動なし 5.05 ± 0.81 L で有意差がみられた。胸鎖乳突筋および斜角筋の筋活動に有意差はみられなかった。予測に反して、胸郭下部への振動刺激は最大吸気量を低下させた。呼吸筋活動を促通するために、本装置を使用した継続的な振動提示の効果は困難であった。

(4) システムの統合と検証

呼吸筋活動の調整と促通を目的として確立したシステムを検証するために健常若年者 10 名を対象に以下の実験を行い評価した。

①安静時の評価

安静座位で 1 分間の測定を行った。閾値は最大吸気量の 50% に設定して振動提示をした。呼吸困難が強い場合は 5% ずつ下げた。呼吸数は FB なしで 14.2 ± 1.1 回だったが、FB ありでは 8.0 ± 0.7 回に減少した。1 回換気量は FB なしでは 0.516 ± 0.98 l だったが FB ありでは 2.687 ± 0.367 l に増大した。分時換気量は FB なしでは 7.34 ± 0.98 l だったが FB ありでは 21.50 ± 3.33 l に増大した。結果から、安静時では振動 FB 装置を用いた時、呼吸数が減少し 1 回換気量が多い深くゆっくりとした呼吸パターンが促された。

②自転車エルゴメータ駆動時の評価

身体運動時における FB 装置および、FB 装置と呼吸負荷併用トレーニングにおける評

価をするために、対象者は3条件において50%心拍予備で自転車エルゴメータを駆動し、安定した5分間の測定データを解析した。結果は図3に示した。吸気補助筋と呼気に関わる腹直筋ではFBありと運動時呼吸負荷（CBS）+FB トレーニングで活動量の増大効果が確認された。また、FBありとCBS+FBでは呼吸数が減少し1回換気量が増大することを確認した。

本研究課題ではトレーニング時の身体応答を評価し、呼吸筋活動と換気指標においての影響を確認した。今後は継続的なトレーニング効果を検証することが必要であると考えられる。また、今回表面筋電図により吸気補助筋と腹部呼吸筋活動を評価したが、今後の課題としては本トレーニングが横隔膜活動に及ぼす影響の検討が必要である。

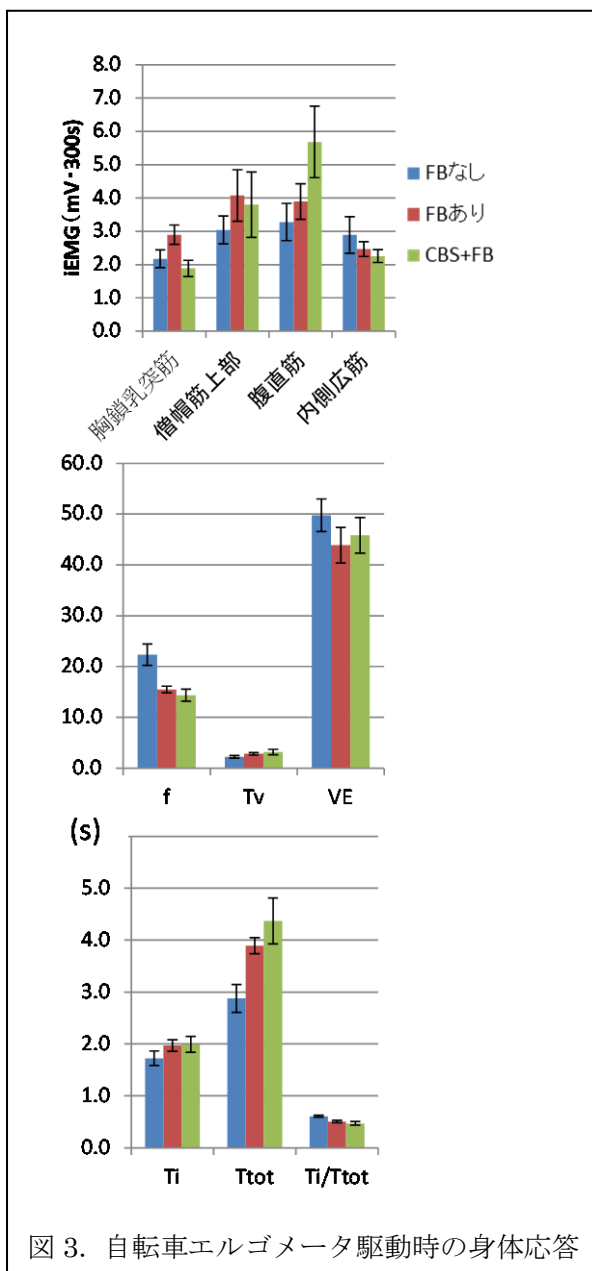


図3. 自転車エルゴメータ駆動時の身体応答

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Kido S, Nakajima Y, Miyasaka T, Maeda Y, Tanaka T, Yu W, Maruoka H, Takayanagi K, Effects of Combined Training with Breathing Resistance and Sustained Physical Exertion to Improve Endurance Capacity and Respiratory Muscle Function in Healthy Young Adults, J. Phys. Ther. Sci. 25, 5, 査読有, 2013, pp 605-610

[学会発表] (計3件)

- ① Kido S, Tanaka T, Miyasaka T, Shirogane S, Sunaga Y, Maruoka H, Takayanagi K. Effects of Vibratory Stimulation of the Lower Parts of the Thorax on Vital Capacity. WCPT - AWP & ACPT Congress 2013, (査読有), 2013年9月発表決定, 台湾
- ② Kido S, Miyasaka T, Tanaka T, Suzuki Y, Araki T, sunaga Y, Takayanagi K. Effects of the Tonic Vibration Reflex on Maximal Voluntary Muscle Contraction Force. Proceedings CD of 16th International World Confederation for Physical Therapy Congress 2011: RR-PO-303-19-Tue (査読有) 2011年6月21日, アムステルダム, オランダ
- ③ 木戸聡史, 田中敏明, 中島康博, 宮坂智哉, 鈴木陽介, 須永康代, 丸岡弘, 高柳清美. 呼吸負荷を組み合わせた新たなトレーニング方法は心肺持久力の改善に寄与するのか? 理学療法学 2011; 38, Suppl.2: OF1-084 (査読有) 2011年5月27日, 宮崎市
- ④ Kido S, Watanabe T, Hotta M, Miyasaka T, Yamanaka Y, Fukuda M, Suzuki Y, Araki T, Sunaga Y, Maruoka H, Takayanagi K. Effect of the Different Ways of Respiratory Management on Hemodynamics in Mechanically Ventilated Patients. Proceedings of 11th International Congress of the Asian Confederation for Physical Therapy 2010: 118 (査読有) 2010年10

月12日, バリ, インドネシア

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木戸 聡史 (KIDO SATOSHI)

埼玉県立大学・保健医療福祉学部・助教

研究者番号: 50513214