

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 8 月 20 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560348

研究課題名(和文)低酸素環境を利用した呼吸筋トレーニングの開発と持続的パフォーマンスへの効果

研究課題名(英文)Effect of respiratory muscle training in hypoxia on endurance exercise performance

研究代表者

片山 敬章 (Katayama, Keisho)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号：40343214

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：低酸素環境における呼吸筋トレーニングによる呼吸筋由来の代謝受容器反射への影響に関する研究を実施した。大学陸上部に所属する長距離選手を常酸素および低酸素群に振り分けた。6週間(30分/日)の呼吸筋トレーニング前後に、呼吸筋持続的テストによる循環応答を測定した。トレーニングは最大随意換気量の50%とし徐々に増加させた。低酸素群の動脈血酸素飽和度を80%に設定した。呼吸筋持久力テスト時の血圧応答は両群で有意な低下が認められたが、応答の低下に両群間で差はなかった。呼吸筋の持続的トレーニングは、呼吸筋由来の代謝受容器反射を低下させるが、低酸素環境でのトレーニング実施による付加効果はないことが示唆される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study was to clarify the effect of respiratory muscle endurance training in hypoxia on respiratory muscle-induced metaboreflex. Collegiate male endurance runners assigned to a normoxic or hypoxic group. Before and after 6 weeks of respiratory muscle endurance training, cardiovascular response to an incremental respiratory endurance test was measured. Minute ventilation during the training increased progressively. Target SpO<sub>2</sub> in the hypoxic group set at 80%. The change arterial blood pressure during the incremental respiratory endurance test reduced significantly after the training in both groups. No significant difference in arterial blood pressure during hyperpnoea was found after the training between the two groups. These results suggest respiratory muscle-induced metaboreflex is attenuate by respiratory muscle endurance training, but no additional effect appears when the training is performed under hypoxic conditions.

研究分野：運動生理学

キーワード：呼吸筋 低酸素 運動パフォーマンス 持久力 代謝受容器反射

1. 研究開始当初の背景

呼吸の働きは、酸素の供給と二酸化炭素の排出（ガス交換）であり、横隔膜や肋間筋といった呼吸筋の収縮・弛緩によって行われる。一般健常者の場合には、ガス交換能力は最大運動時であっても十分な余力を持っており、有酸素性運動パフォーマンスの制限要因にはならない。しかしながら、持久的アスリートでは、代謝要求に見合ったガス交換が行われず、呼吸系がパフォーマンスの制限要因となる。また、呼吸筋が疲労すると代謝受容器反射による末梢血管の収縮、血圧上昇が起こる（呼吸筋由来の代謝受容器反射）。これらのガス交換不全の改善や呼吸筋の疲労軽減を目的として、呼吸筋トレーニングが行われている。これは、安静状態で吸気抵抗をかけ、呼吸筋のみをトレーニングするものである。これまでの研究では、呼吸筋トレーニングにより有酸素性運動パフォーマンスが向上するという報告が多い。低酸素環境におけるトレーニングは多くのアスリートにより用いられており、骨格筋の緩衝能向上などが期待できる。低酸素環境では呼吸筋にも適応が現れることが考えられる。したがって、低酸素環境で呼吸筋のトレーニングを行うことで運動時の呼吸筋の疲労が寄り軽減され、持久的パフォーマンスの向上に貢献するかもしれない。

2. 研究の目的

本研究では、(1) 運動による呼吸筋の疲労を軽減させるための低酸素環境を用いた新しい呼吸筋トレーニング装置の開発、(2) 呼吸筋由来の代謝受容器応答への影響を明らかにすること、を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、(1) 呼吸筋トレーニング装置の開発、(2) 低酸素環境における呼吸筋トレーニングの効果の確認を行った。

(1) 呼吸筋トレーニングの開発

当初計画では低酸素室での実施を考案していたが、常酸素環境にて呼吸筋の低酸素トレーニングを実施可能となれば、よりスポーツ現場にとって有益となることから、装置開発を試みた。

(2) 大学陸上部に所属する 12 名の長距離選手を対象とし、常酸素群と低酸素群に振り分けた。6 週間 (30 分/日、4~5 日/週) の呼吸筋トレーニング前後に、肺機能検査、呼吸筋力テスト、呼吸筋持久力テストによる循環応答を測定した。呼吸筋トレーニングの初期値は 1 週目は最大随意換気量の 50%、2 週目は 60% とし、その後は呼吸困難感が軽減した場合にトレーニング設定換気量を徐々に増加させた。低酸素群のトレーニング中の動脈血酸素飽和度は、2 週目までは 90%、その後は 80% に設定した。呼吸筋持久力テストは初

期値を最大随意換気量の 30% とし、3 分おきに 10% ずつ増加させ、設定された換気量を維持できなくなった時点で終了とした。呼吸筋持久力は終了時点の時間により評価した。

4. 研究成果

(1) 換気量増加によって呼気終末二酸化炭素分圧（動脈血内の二酸化炭素分圧の指標）が低下するため、再呼吸バッグおよびマニュアル弁を用いて呼気終末二酸化炭素分圧の調整を試みた。換気量の調節は以下のとおりである。1 回換気量は、流量計からの信号をモニターに連続的に表示することにより行い（肺活量の 60% 似設定）、呼吸数は設定された換気量を維持するためコンピュータからのメトロノーム音に合わせて呼吸を行うことにより調整した。設定した動脈血酸素飽和度を維持できるように、パルスオキシメータ（指プローブ）からの信号によって窒素 (N<sub>2</sub> ガス) および空気ガスを自動的に流入・停止するようコントロールできるコンピュータプログラムを用いた。低酸素環境でのトレーニングについては、窒素ガス添加の他、死腔量を追加した。この場合、炭酸ガスの蓄積を予防するため、二酸化炭素吸収剤を死腔スペースへ組み込んだ。これにより、動脈血酸素飽和度が 75%~98% の範囲で調整可能となった (図 1)

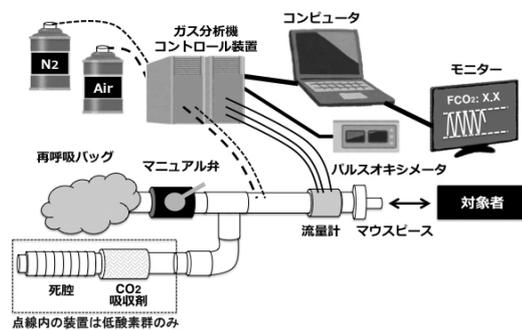


図1. 呼吸筋トレーニング装置

(2) トレーニング期間中の設定換気量は常酸素群および低酸素群いずれも有意な増加が見られた (図 2)。

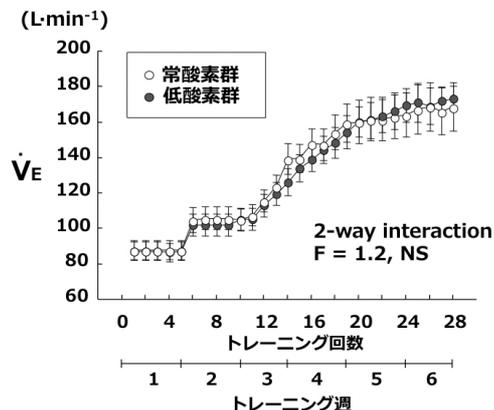


図2. トレーニング期間中の設定換気量の変化

トレーニング期間中の動脈血酸素飽和度は設定したとおり、2週目までは90%、その後は80%程度となった(図3)。開発したトレーニング装置は設定どおりに作動したといえる。

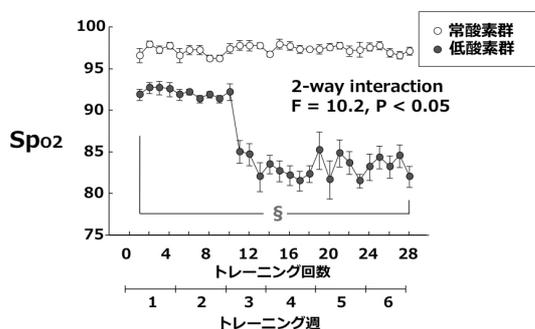


図3. トレーニング期間中の動脈血酸素飽和度の変化

努力性肺活量(FVC)、呼吸筋力(最大呼気・吸気口腔内圧)は呼吸筋トレーニングにより変化が認められなかった。

呼吸筋持久力は常酸素群および低酸素群の両群において有意な増加が認められた(図4)。しかしながら、両群間で増加の程度に差は認められなかった。

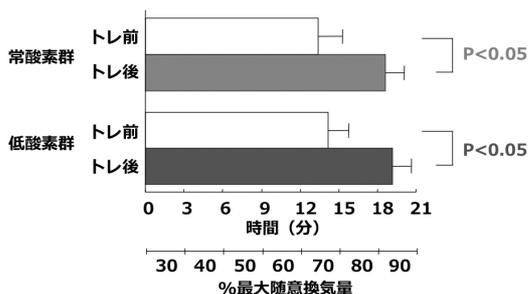


図4. 呼吸筋持久カテストの継続時間

呼吸筋持久カテスト時の血圧は、換気量増加にともなって有意な増加が認められた。6週間の呼吸筋トレーニングにより、呼吸筋持久カテスト時の血圧増加が抑えられた。しかしながら、両群間に差は見られなかった。

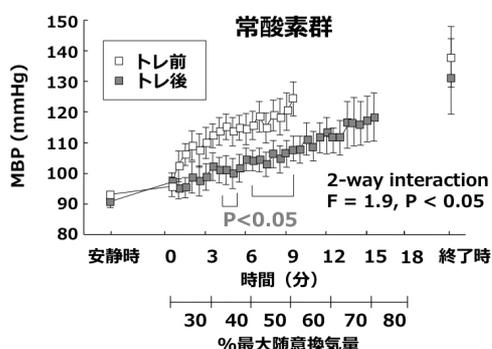


図5. トレーニング前後における呼吸筋持久カテスト時の血圧変化(常酸素群)

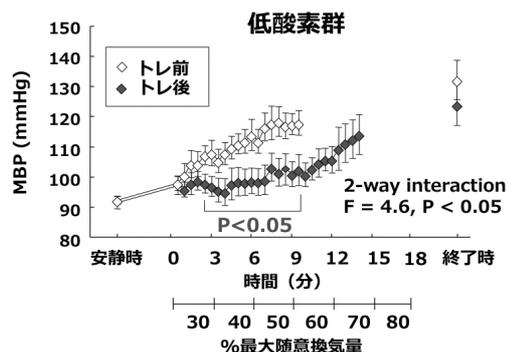


図6. トレーニング前後における呼吸筋持久カテスト時の血圧変化(低酸素群)

## 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 Yuka Itoh, Keisho Katayama, Erika Iwamoto, Kazushige Goto, Yasuhiro Suzuki, Toshiyuki Ohya, Kenji Takao, and Koji Ishida. 査読有, Respir Physiol Neurobiol 230, 22-28, 2016.

[学会発表] (計4件)

- ① 片山敬章. シンポジウムテーマ:呼吸循環系研究者の応用科学への試み 呼吸に関する基礎研究から -呼吸筋のトレーニング効果-. 第23回日本運動生理学会大会, 東京, 2015.
- ② 片山敬章. シンポジウムテーマ:呼吸筋トレーニングは呼吸循環機能や持久性のパフォーマンスを改善するか, 運動時の循環調節に対する呼吸筋活動の影響. 第71回日本体力医学会大会, 2016.
- ③ 片山敬章. シンポジウムテーマ:酸化ストレスに対する生理機能を知る ~低酸素実験から~, 低酸素環境における呼吸筋活動の増加による運動時の循環調節への影響. 第94回日本生理学会大会, 2017.
- ④ Katayama Keisho, Iwamoto Erika, Ohya Toshiyuki, Goto Kazushige, Takao Kenji, Kasai Nobukazu, Sumi Daichi, Ishida Koji, and Suzuki Yasuhiro. Respiratory muscle endurance and cardiovascular response to hyperpnoea after respiratory muscle training in hypoxia. ACSM 64<sup>th</sup> Annual Meeting, 2017.

[図書] (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

片山 敬章 (KATAYAMA, Keisho)  
名古屋大学・総合保健体育科学センター・  
教授  
研究者番号：40343214

(2) 研究分担者

鈴木 康弘 (SUZUKI, Yasuhiro)  
独立行政法人日本スポーツ振興センター  
国立スポーツ科学センター・スポーツ科学  
研究部・先任研究員  
研究者番号：00392697

石田 浩司 (ISHIDA, Koji)  
名古屋大学・総合保健体育科学センター・  
教授  
研究者番号：50193321

大家 利之 (OHYA, Toshiyuki)  
独立行政法人日本スポーツ振興センター  
国立スポーツ科学センター・スポーツ科学  
研究部・契約研究員  
研究者番号：70610062

後藤 一成 (GOTO, Kazushige)  
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授  
研究者番号：60508258

(3) 連携研究者

岩本 えりか (IWAMOTO, Erika)  
札幌医科大学・理学療法学科・講師  
研究者番号：40632782

(4) 研究協力者

伊藤 佑華 (ITO, Yuka)  
名古屋大学・大学院医学系研究科・大学院  
生

後藤 歌奈子 (GOTO, Kanako)  
名古屋大学・大学院医学系研究科・大学院  
生

清水 香 (SHIMIZU, Kaori)  
名古屋大学・大学院教育発達科学研究科・  
大学院生

高尾 憲司 (TAKAO, Kenji)  
立命館大学・大学院スポーツ健康科学研究  
科・大学院生

笠井 信一 (KASAI, Nobukazu)  
立命館大学・大学院スポーツ健康科学研究  
科・大学院生

角 大地 (SUMI, Daichi)  
立命館大学・大学院スポーツ健康科学研究  
科・大学院生

森 寿仁 (MORI, Hisashi)  
日本学術振興会・特別研究員  
研究者番号：90794298