

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：33908

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K21253

研究課題名（和文）競技特性を考慮した呼吸筋トレーニングの有用性の検討－高強度運動に着目して－

研究課題名（英文）Investigation of the usefulness of respiratory muscle training considering the characteristics - Focusing on high intensity exercise -

研究代表者

小泉 潤 (Koizumi, Jun)

中京大学・スポーツ科学研究科・実験実習助手

研究者番号：80945361

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,800,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は補助吸息筋が活動的になる高強度運動において、運動パフォーマンスの向上には、補助吸息筋を活動的にさせる吸息筋ウォームアップが有効か検討することであった。高強度の吸息筋ウォームアップは、補助吸息筋の神経筋活動を高めるとともに、吸息筋力を向上させた。また、高強度の吸息筋ウォームアップによってその後の高強度運動時の筋の酸素動態が改善し、運動パフォーマンスが向上した。したがって、高強度の吸息筋ウォームアップは高強度運動パフォーマンスを向上させる有効なウォームアップであることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高強度運動に着目し運動パフォーマンスの向上を目的とした、吸息筋ウォームアップ法について検討した。高強度の吸息筋ウォームアップによって、筋の酸素動態が改善し、3～5分ほどで終了する高強度運動パフォーマンスが向上した。したがって、運動時間が3～5分である陸上競技の1500m走やスピードスケートの3000m走といった競技では、全身のウォームアップに加えて高強度の吸息筋ウォームアップを行うことによって運動パフォーマンスが向上する可能性がある。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was investigated whether inspiratory muscle warm-up that activate accessory inspiratory muscles are effective in improving exercise performance during high-intensity exercise in which the accessory inspiratory muscles become active. The high-intensity inspiratory muscle warm-up increased the neuromuscular activity of accessory inspiratory muscles and improved inspiratory muscle strength. The high-intensity inspiratory muscle warm-up improved muscle oxygenation during high-intensity exercise and exercise performance. Thus, these results suggest that the high-intensity inspiratory muscle warm-up is effective warm-up to improve high-intensity exercise performance.

研究分野：運動生理学

キーワード：吸息筋 補助吸息筋 吸息筋力 最大吸気口腔内圧 筋の酸素動態 高強度運動

1. 研究開始当初の背景

運動強度が高まると、代謝要求に応じて換気量が増加するため横隔膜、外肋間筋といった吸息筋のみならず胸鎖乳突筋などの補助吸息筋が動員される。また、高強度運動では吸息筋の疲労が生じることから、呼吸筋由来の代謝受容器反射を引き起こし、末梢の血管が収縮する。末梢血管の収縮は、活動肢への血流量および酸素供給を阻害するため、運動パフォーマンスを低下させる (Romer & Polkey, 2008)。したがって、吸息筋の疲労は高強度運動パフォーマンスを低下させると考えられている。

吸息筋の疲労を軽減および遅延することを目的として吸息筋ウォームアップや吸息筋トレーニングが行われている。その中でも、吸息筋ウォームアップは即時的に吸息筋力を高めることが報告されている (Cirino et al. 2023)。しかし、吸息筋ウォームアップの問題点として、プロトコルが競技特性を考慮し作られていない点がある。高い換気量を要する高強度運動では、補助吸息筋が活動的になる。補助吸息筋の活動はより高強度な吸気抵抗によって高まる。したがって、高強度の吸息筋ウォームアップによって補助吸息筋の神経筋活動を増加することができれば、高い換気量に対して吸息筋や補助吸息筋の活動が円滑になり、換気効率の改善に繋がり吸息筋の疲労を遅延することができるかもしれない。そのため、高強度の吸息筋ウォームアップが補助吸息筋の神経筋活動や高強度運動パフォーマンスに及ぼす影響を明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高強度運動パフォーマンスの向上を目的とした、吸息筋ウォームアップの方法を検討することである。

3. 研究の方法

(1) 高強度の吸息筋ウォームアップが補助吸息筋の神経筋活動および吸息筋力に与える影響

日常的に運動を行っている健康な成人男性 11 名 (年齢: 23 ± 2 歳、身長: 173.5 ± 4.8 cm、体重: 69.0 ± 6.6 kg) を対象とした。研究対象者は、計 4 回の実験を行った。1 回目は、身長、体重、肺機能、最大吸気口腔内圧 (maximal inspiratory mouth pressure: MIP) の測定を行った。2~4 回目は、強度の異なる吸気抵抗を与える 3 条件の吸息筋ウォームアップを実施した。3 条件の吸息筋ウォームアップは、高強度条件 (High-intensity: HIGH 条件)、中強度条件 (Moderate-intensity: MOD 条件)、プラセボ条件 (Placebo 条件: PLA 条件) とした。HIGH 条件では、MIP の 80% に設定された吸気抵抗で 10 呼吸を 3 セット、MOD 条件では MIP の 40% に設定された吸気抵抗で 30 呼吸を 2 セット、PLA 条件では MIP の 15% に設定された吸気抵抗で 30 呼吸を 2 セット行った。

吸息筋ウォームアップの前後で MIP を測定することによって、吸息筋力に与える影響を評価した。また、MIP 測定時および吸息筋ウォームアップ時に胸鎖乳突筋と肋間筋より表面筋電図を測定し、補助吸息筋の神経筋活動として評価した。表面筋電図のデータは二乗平均平方根化 (root mean square: RMS) した。MIP 測定時の RMS 値は吸息筋ウォームアップ前の値をベースライン (100%) とし、吸息筋ウォームアップ後の値を変化率で表した (Δ RMS)。吸息筋ウォームアップ中の RMS 値は、ベースラインに対し相対的な割合とした。

全てのデータは、平均値 $\pm$ 標準偏差で表した。MIP 測定中の Δ RMS、MIP 値は吸息筋ウォームアップの前後で評価し、対応のある 2 要因分散分析を用いて比較した。MIP と吸息筋ウォームアップ時の補助吸息筋の RMS 値は、対応のある 1 要因分散分析を用いて比較した。吸息筋ウォームアップ時の補助吸息筋の RMS 値と MIP の変化率 (Δ MIP) との相関関係はピアソンの積率相関より求めた。

(2) 高強度の吸息筋ウォームアップが高強度運動パフォーマンス及び筋酸素動態に与える影響

日常的に運動を行っている健康な成人男性 10 名 (22 ± 1 歳、身長: 170.3 ± 3.1 cm、体重: 63.8 ± 4.9 kg) を対象とした。研究対象者は、計 4 回の実験を実施した。1 回目は、身長、体重、最大酸素摂取量の測定を行った。2 回目は、肺機能、MIP の測定を行った。3、4 回目は、研究対象者は最大酸素摂取量の 100% 強度に設定した一定負荷運動テストを自転車運動にて疲労困憊に至るまで行った。一定負荷運動テスト前には、全身のウォームアップに加え強度が異なる吸息筋ウォームアップを行った。吸息筋ウォームアップは、高強度条件 (High-intensity: HIGH 条件) とプラセボ条件 (Placebo: PLA 条件) の 2 条件に設定した。HIGH 条件では、MIP の 80% 強度に設定された吸気抵抗で 10 呼吸を 3 セット、PLA 条件では、MIP の 15% 強度に設定された吸気抵抗で 30 呼吸を 3 セット行った。

一定負荷運動テストは、自転車エルゴメーターを用いて実施し、疲労困憊に至るまでの運動継続時間を高強度運動パフォーマンスの指標として用いた。一定負荷運動テスト時は、外側広筋より近赤外線分光を用いて筋の酸素動態 (総ヘモグロビン、酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビン、組織酸素飽和度) を評価した。

全てのデータは、平均値 $\pm$ 標準偏差で表した。運動継続時間は対応のある t 検定を用いて比較した。運動時の筋の酸素動態に関するデータは、対応のある 2 要因分析を用いて比較した。

4. 研究成果

(1) 高強度の吸息筋ウォームアップが補助吸息筋の神経筋活動および吸息筋力に与える影響

吸息筋ウォームアップ前後の MIP を図 1 に示した。MOD 条件 (Before: $131 \pm 19 \text{ cmH}_2\text{O}$ vs. After: $137 \pm 24 \text{ cmH}_2\text{O}$, $p=0.0031$) および HIGH 条件 (Before: $130 \pm 18 \text{ cmH}_2\text{O}$ vs. After: $139 \pm 19 \text{ cmH}_2\text{O}$, $p=0.0017$) では、吸息筋ウォームアップ後に MIP が有意に増加した。

MIP 測定時の胸鎖乳突筋および肋間筋の ΔRMS を図 2 に示した。HIGH 条件でのみ吸息筋ウォームアップ後に有意に増加した (胸鎖乳突筋: $123 \pm 30.6\%$, $p=0.029$ 、肋間筋: $137.8 \pm 55.5\%$, $p=0.047$)。 ΔMIP と吸息筋ウォームアップ時の RMS 値との間には有意な正の相関関係があった。

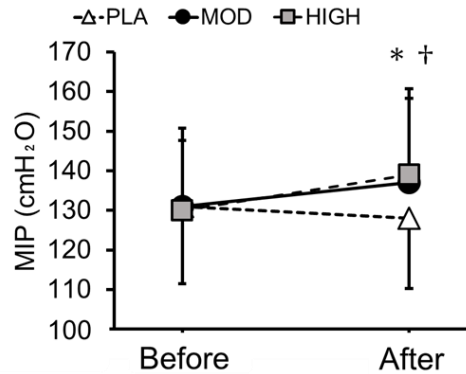


図 1. 吸息筋ウォームアップ前後の MIP

* $p < 0.05$ vs. Before (PLA 条件) † $p < 0.01$ vs. Before (HIGH 条件)

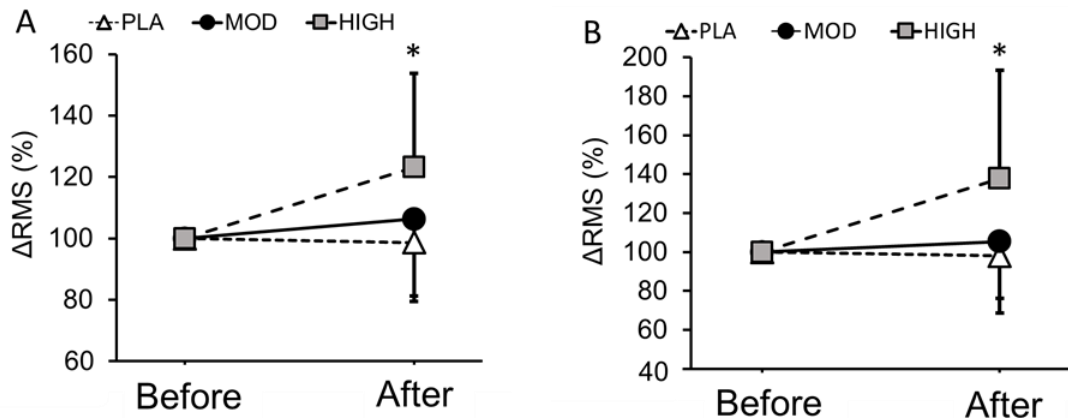


図 2. 吸息筋ウォームアップ前後の MIP 測定時の補助吸息筋の RMS 値

* $p < 0.05$ vs. Before (HIGH 条件) A: 胸鎖乳突筋 B: 肋間筋

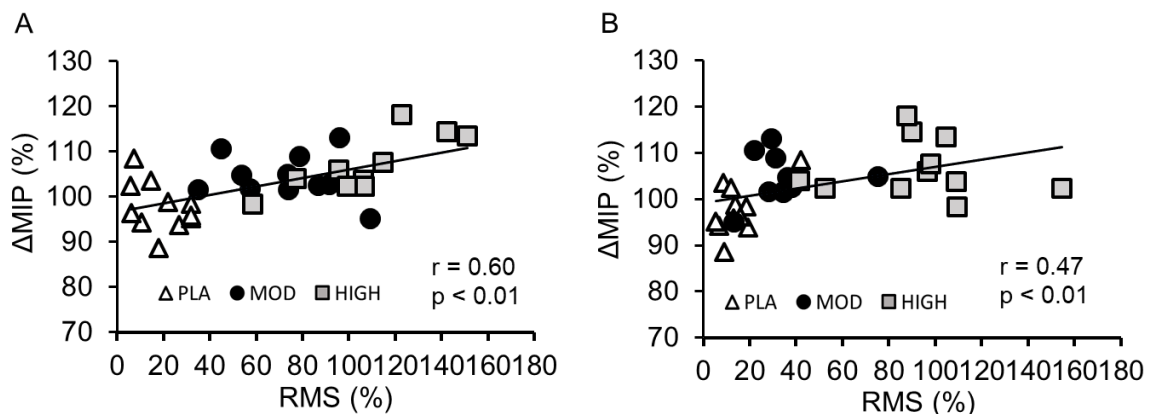


図 2. ΔMIP と吸息筋ウォームアップ時の補助吸息筋の RMS 値との相関関係

A: 胸鎖乳突筋 B: 肋間筋

以上の結果から、高強度運動の吸息筋ウォームアップは、補助吸息筋の神経筋活動を増加させ、吸息筋力を向上させた。また、吸息筋力の変化率と吸息筋ウォームアップ時の RMS との間に有意

な正の相関関係があったことから、吸息筋ウォームアップ時に補助吸息筋の神経筋活動を高めることができれば、吸息筋力の向上に繋がる可能性が示唆された。

(2) 高強度の吸息筋ウォームアップが高強度運動パフォーマンスおよび筋の酸素動態に及ぼす影響

運動継続時間を図 4 に示した。HIGH 条件は PLA 条件と比較して、運動継続時間が有意に延長した (HIGH : 228 ± 49 vs. 218 ± 49 , $p=0.003$)。

運動時の筋の酸素動態に関するデータを図 5 に示した。酸素化ヘモグロビンの値には有意な交互作用があり (条件×時間, $p=0.047$)、HIGH 条件が PLA 条件と比較して、運動継続時間の 80% 地点で有意に高い値を示した。

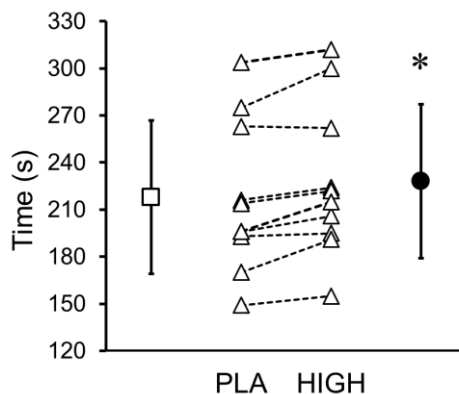


図 4. 運動継続時間 * $p < 0.05$ vs. PLA

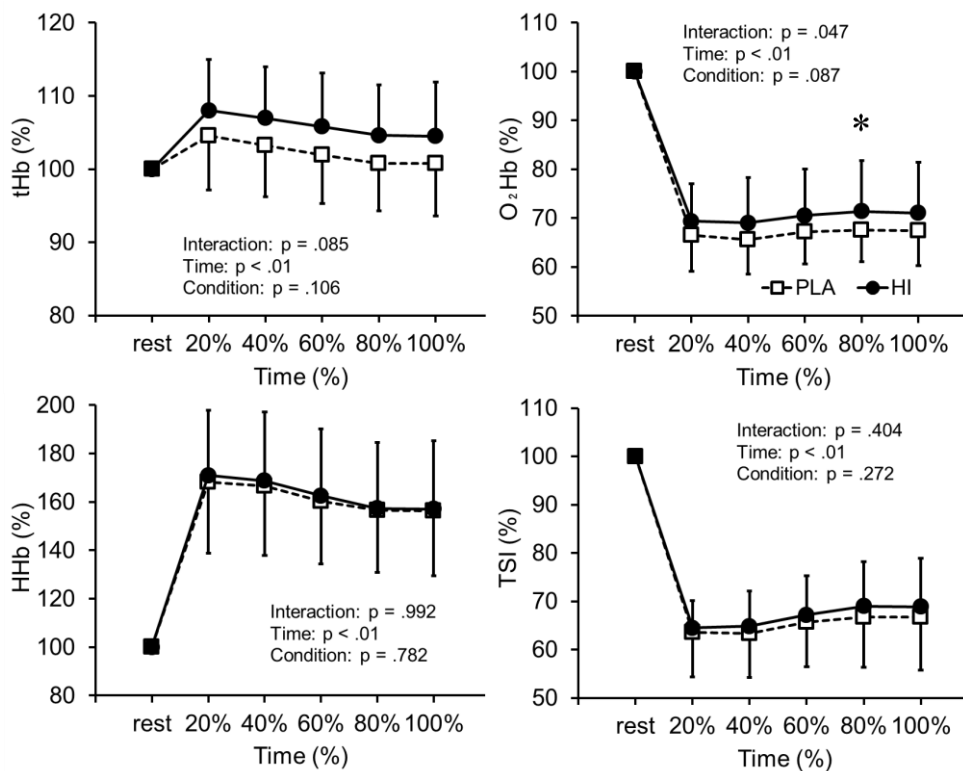


図 4. 筋の酸素動態の変化

tHb : 総ヘモグロビン O₂Hb : 酸素化ヘモグロビン

HHb : 脱酸素化ヘモグロビン TSI : 組織酸素飽和度

以上の結果から、高強度の吸息筋ウォームアップは、高強度運動時の活動肢への酸素供給を増加させ、高強度運動パフォーマンスを向上させることが示唆された。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1 . 著者名 Koizumi Jun、Ohya Toshiyuki	4 . 巻 313
2 . 論文標題 Effects of high-intensity inspiratory muscle warm-up on inspiratory muscle strength and accessory inspiratory muscle activity	5 . 発行年 2023年
3 . 雑誌名 Respiratory Physiology & Neurobiology	6 . 最初と最後の頁 104069 ~ 104069
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.resp.2023.104069	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1 . 著者名 Koizumi Jun、Ohya Toshiyuki	4 . 巻 19
2 . 論文標題 Effects of High-Intensity Inspiratory Muscle Warm-Up on High-Intensity Exercise Performance and Muscle Oxygenation	5 . 発行年 2024年
3 . 雑誌名 International Journal of Sports Physiology and Performance	6 . 最初と最後の頁 347 ~ 355
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1123/ijsp.2023-0163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件／うち国際学会 1件）

1 . 発表者名 小泉潤、大家利之
2 . 発表標題 強度の異なる吸息筋ウォームアップが補助吸息筋活動および吸息筋力に与える影響
3 . 学会等名 日本トレーニング科学会
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 Jun Koizumi , Toshiyuki Ohya
2 . 発表標題 Effects of high-intensity inspiratory muscle warm-up on high-intensity exercise performance and muscle oxygenation
3 . 学会等名 The 28th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4 . 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大家 利之 (Ohya Toshiyuki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------