

令和 3 年 5 月 26 日現在

機関番号：33908

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13178

研究課題名(和文) エリート競泳選手の泳パフォーマンス向上のための呼吸筋トレーニングに関する研究

研究課題名(英文) Inspiratory muscle training for improving swimming performance in elite swimmers

研究代表者

大家 利之(Ohya, Toshiyuki)

中京大学・スポーツ科学部・准教授

研究者番号：70610062

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：吸息筋の疲労は泳パフォーマンスを抑制する一つの要因である。呼吸筋のトレーニングは泳パフォーマンスを改善する。呼吸筋のトレーニングは2種類に大別される。呼吸筋力トレーニングと呼吸筋持久力トレーニングである。本研究の目的は、エリート競泳選手を対象として6週間の呼吸筋力トレーニングおよび呼吸筋持久力トレーニングが泳パフォーマンスに及ぼす影響に明らかにすることである。6週間の呼吸筋力トレーニングは、エリート競泳選手の最大吸気口腔内圧を向上させ、呼吸筋持久力トレーニングは、呼吸筋持久力を向上させる。それぞれ6週間のトレーニング実施後、制限呼吸条件下での泳パフォーマンスが改善した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究期間では、エリート競泳選手の泳パフォーマンス向上のための呼吸筋トレーニング法について検討した。エリート競泳選手を対象に呼吸筋力トレーニングと呼吸筋持久力を実施し、そのトレーニング期間の前後で肺機能の測定と泳パフォーマンステストを実施した。6週間の呼吸筋力トレーニング実施後、呼吸筋力の指標である最大吸気口腔内圧が向上し、泳パフォーマンスが改善した。また、呼吸筋持久力トレーニング実施後、呼吸筋持久力が向上し、泳パフォーマンスが改善した。呼吸筋トレーニングは、エリート競泳選手の泳パフォーマンス向上の一助になることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Inspiratory muscle fatigue(IMF) would limit swimming performance. Inspiratory muscle training attenuates IMF and can improve swimming performance. Inspiratory muscle training is classified into two major categories: inspiratory muscle strength training and inspiratory muscle endurance training. The optimal inspiratory muscle training loads for elite swimmers remain unclear. The purpose of this study was to clarify the effect of inspiratory muscle strength training and inspiratory muscle endurance training for 6 weeks on swimming performance in elite swimmers. Elite male swimmers participated in this study. This study showed that maximal inspiratory mouth pressure and inspiratory endurance were increased after 6 weeks of inspiratory muscle training and inspiratory muscle endurance training, respectively, with improved 100-m freestyle swimming times under the controlled-frequency breathing condition.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：呼吸筋 横隔膜 競泳選手 最大吸気口腔内圧 呼吸筋持久力 呼吸困難感 吸気抵抗 水泳運動

## 1. 研究開始当初の背景

呼吸筋とは、横隔膜や肋間筋といった筋群の総称であり、これらの筋群が収縮・弛緩することによって換気が行われている。一般健常者の場合には、ガス交換能力は最大運動時においても十分な余力を持っており、最大酸素摂取量や有酸素性パフォーマンスの制限要因にはならない。しかしながら、持続的アスリートでは、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 (Dempsey et al. Med Sci Sports Exerc 1996)。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、血圧上昇が起こることが明らかになっている (Katayama et al. Am J Physiol Regul Integr Physiol 2012)。末梢血管の収縮は、活動筋への血流 (酸素運搬) を低下させ、運動パフォーマンスの低下を招く。

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、呼吸筋のウォーミングアップや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たり、過換気を行ったりすることによって、呼吸筋のみをウォーミングアップしたり、トレーニングしたりするものである。申請者らは、吸気抵抗をかけた呼吸筋のウォーミングアップは呼吸筋の機能を向上させることを報告している (Ohya et al. SpringerPlus 2015)。また、呼吸筋トレーニングは、運動パフォーマンスを向上させると報告されている (Illi et al. Sports Med 2012)。しかしながら、呼吸筋ウォーミングアップやトレーニングのプログラムは、競技種目に特異的なものはなく、それぞれの競技種目選手に最適な呼吸筋ウォーミングアップやトレーニングのプログラムは明らかになっていない。

水泳運動中は常に水圧が胸部にかかっていることや、ストロークに合わせた呼吸が求められることによる呼吸のタイミングの制約が多いことから、陸上運動と比較して呼吸筋への負荷が大きい。したがって、水泳運動後に呼吸筋が疲労すると報告されている (Lomax et al. J Strength Cond Res 2012)。呼吸筋への疲労を軽減することは、水泳運動パフォーマンスの改善に貢献するかもしれない。本研究では、陸上運動と比較して呼吸筋への負担が大きい水泳運動に着目し、エリート競泳選手の運動パフォーマンス向上に貢献する呼吸筋のトレーニングの方法を明らかにする。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、エリート競泳選手の泳パフォーマンス向上のための呼吸筋トレーニングの方法を明らかにすることである。

## 3. 研究の方法

### **(1)高強度な呼吸筋力トレーニングがエリート競泳選手の泳パフォーマンスに及ぼす影響**

エリート競泳選手 30 名を対象に、実験を行った (年齢:  $19 \pm 1$  歳、身長:  $174.4 \pm 4.9$  cm、体重:  $69.0 \pm 6.6$  kg)。被験者を、最大吸気口腔内圧 (Maximal inspiratory mouth pressure: MIP) の 75%強度で呼吸筋力トレーニングを行う群 (以下、High-intensity: HI 群とする)、50%強度で呼吸筋力トレーニングを行う群 (以下、Moderate-intensity: MOD 群とする)、呼吸筋力トレーニングを行わない群 (以下、CON 群とする) にそれぞれ 10 名ずつ分類した。呼吸筋力トレーニングは、30 呼吸を 1 セッションとし、1 日あたり 2 セッション、1 週間に 6 日間、それを 6 週間行わせた。呼吸筋力トレーニングには、パワーブリーズ (IMT Technologies Ltd., Birmingham, UK) を用いた。

MIP は、オートスパイロメータ (AAM377、ミナト医科学社製) を用いて 6 週間のトレーニング期間の前、後で測定した。トレーニング期間中は、1 週間に 1 回 MIP を測定し、その値を基に呼吸筋力トレーニングの負荷を調整した。また、6 週間のトレーニング期間の前後で、泳パフォーマンステストを実施した。泳パフォーマンステストは、25m の屋内プールで 100m の自由形泳を行い、自由に呼吸を行う自由呼吸条件と、4 ストロークに 1 回呼吸を行う制限呼吸条件の 2 条件で実施した。

得られた測定データは、平均値  $\pm$  標準偏差で示した。統計処理には、統計処理ソフトウェア (SPSS23.0 for windows) を用いた。トレーニング期間の前後の MIP の変化の分析、100m 自由形泳パフォーマンステストの分析には、反復のある二元配置分散分析を行い、その後の検定には、Bonferroni 法を用いた。有意水準は危険率 5%未満とした。なお、6 週間のトレーニング期間中に、HI 群の 2 名の被験者が、肋間の痛みと頸の痛みを訴えたため、トレーニングを最後まで遂行することができなかったことから、分析データからは除外した。

### **(2)呼吸筋持久力トレーニングがエリート競泳選手の泳パフォーマンスに及ぼす影響**

エリート競泳選手 25 名を対象に、実験を行った。被験者を、呼吸筋持久力トレーニングを行う群 10 名 (以下、Tr 群とする、年齢:  $20 \pm 1$  歳、身長:  $175.1 \pm 5.2$  cm、体重:  $67.9 \pm 8.1$  kg)、呼吸筋持久力トレーニングを行わない群 15 名 (以下、Con 群とする、年齢:  $20 \pm 1$  歳、身長:  $173.5 \pm 3.8$  cm、体重:  $68.8 \pm 7.8$  kg) にそれぞれ分類した。なお、両群ともに実験期間中の水中トレーニングおよび筋力トレーニングは通常通り実施し、同様の内容であった。

呼吸筋持久力トレーニングは、1回のトレーニング時間は30分間とし、6週間で30セッション行なった。各トレーニングでの設定負荷は、最大随意換気量の60%に設定し、1回換気量の目標値を肺活量の60%に固定し、呼吸頻度変化させることで調整した。トレーニング開始の最初の1週間は、毎分換気量を固定しトレーニング強度を変化させなかった。2週目からのトレーニング強度の調整は、呼吸困難感を基に次に示す方法で調整した。各トレーニングセッションの20分後、24分後、30分後(終了時)に呼吸困難感(0-10)を被験者に尋ね、24分の時点で9か10を示した場合は、そのトレーニングセッションの最後の5分間の呼吸頻度を5回/分下げた。この場合、次トレーニングセッションのスタート時の呼吸頻度を2回/分下げてトレーニング強度を調整した。24分の時点で呼吸困難感が7か8であった場合は、呼吸頻度を変えずにそのトレーニングセッションが終了するまで呼吸頻度を維持させた。また、24分の時点で呼吸困難感が6以下であった場合、最後5分間の呼吸頻度を5回/分上げてトレーニング強度を調整した。このトレーニング調整を行った後の30分の時点の呼吸困難感が9か10であった場合、次のトレーニングセッションのスタート時の呼吸頻度は2回/分上げ、呼吸困難感が8以下であった場合、3回/分上げた。

各トレーニングにおいて被験者は椅子に座って行った。呼吸は、マウスピース(PIF2A; ミナト医科学)と特製のフローメータ(有限会社アルコシステム、千葉)を介して、T管に繋がれた。T管の一方は約10Lの再呼吸バッグ、もう一方は長さ可変式のチューブに接続し、その先は開放した。呼気ガスは、フローメータに接続されたサンプリングチューブを介してガス分析器(GA-2CT; 有限会社アルコシステム)を用いて二酸化炭素濃度を測定した。動脈血酸素飽和度と心拍数はフィンガーパルスオキシメータ(Radical-7; Mashimo、アーバイン、アメリカ)を用いてモニタリングした。フローメータとガス分析器、パルスオキシメータからの信号は、アナログ・デジタル変換器(CSI-320416; Interface, 広島)を介してパーソナルコンピュータに記録した。吸気と呼気の流れは、メトロノームにより被験者にフィードバックし、流量の信号は一回換気量の目標値とともに、スクリーンに映し、呼吸の強さやタイミングを管理した。また、二酸化炭素濃度と動脈血酸素飽和度は、スクリーンに表示し、二酸化炭素濃度が5.5%から6.0%になるように、可変式チューブの長さによって調整し安全性を管理した。

6週間のトレーニング期間の前後で、呼吸筋持久力テストと泳パフォーマンステストを実施した。呼吸筋持久力テストは、漸増負荷法を用いて、最初のステージの呼吸基準を最大随意換気量の40%に設定し、3分ごとに最大随意換気量の10%ずつ漸増するプロトコルを用いた。設定された基準での呼吸を維持できなくなるまでの時間を測定した。呼吸の基準値は、一回換気量を60%に固定し、呼吸数を増加させることによって調整した。なお、Con群の呼吸筋持久力の測定は、15名中10名をランダムで選出して実施した。

泳パフォーマンステストは、25mの屋内プールで100mの自由形泳を行い、自由に呼吸を行う自由呼吸条件と、4ストロークに1回呼吸を行う制限呼吸条件の2条件でランダムに割り付けて実施した。

得られた測定データは、平均値で示した。統計処理には、統計処理ソフトウェア(SPSS23.0 for windows)を用いた。トレーニング期間の前後の呼吸筋持久力テストの結果および100m自由形泳パフォーマンス時の泳タイムの分析には、反復のある二元配置分散分析を行い、その後の検定には、Bonferroni法を用いた。有意水準は危険率5%未満とした。

#### 4. 研究成果

##### (1)高強度な呼吸筋力トレーニングがエリート競泳選手の泳パフォーマンスに及ぼす影響

呼吸筋力トレーニング開始前(Before)、2週間後および6週間後のMIPの変化を図1に示した。HI群およびMOD群は、6週間の呼吸筋トレーニング後、Beforeと比較して有意にMIPが増加した( $P < 0.05$ )。100m自由形泳のタイムは、自由呼吸条件では、有意な差はなかったが(図2-A)、制限呼吸条件において、HI群およびMOD群が呼吸筋力トレーニング前と比較して有意に短くなった(図2-B、 $P < 0.05$ )。

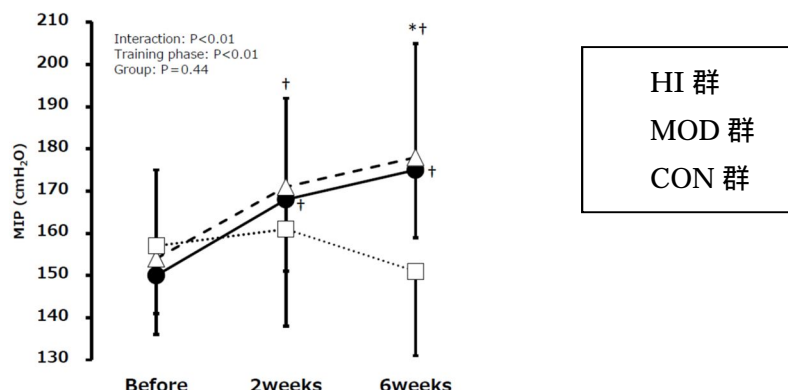
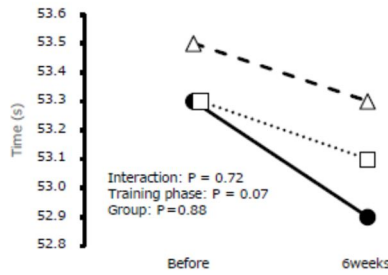


図1: 呼吸筋力トレーニングによる最大吸気口腔内圧の変化

A



B

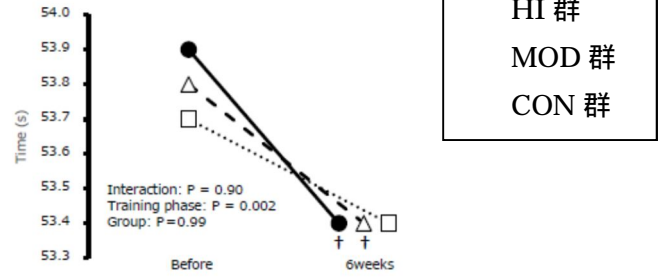


図2：呼吸筋力トレーニングによる100m自由形泳パフォーマンス（A：自由呼吸、B：制限呼吸）の変化

6週間の呼吸筋力トレーニングは、エリート競泳選手の最大吸気口腔内圧を向上させる。また、制限呼吸を伴った泳パフォーマンスを改善する。ただし、呼吸筋力トレーニングのMIPおよび泳パフォーマンス向上への効果は、高強度（MIPの75%）と中強度（MIPの50%）で変わらなかった。

## (2)呼吸筋持久力トレーニングがエリート競泳選手の泳パフォーマンスに及ぼす影響

トレーニング期間の前後の呼吸筋持久力テストの結果を図3に示した。Tr群は、6週間の呼吸筋持久力トレーニング後、呼吸筋持久力テスト時の運動時間がcon群と比較して有意に長かった（ $P < 0.05$ ）。

100m自由形泳のタイムは、自由呼吸条件では、有意な差はなかった（図4-A）が、制限呼吸条件において、Tr群の記録が呼吸筋持久力トレーニング前と比較して有意に向上した（図4-B、 $P < 0.05$ ）。

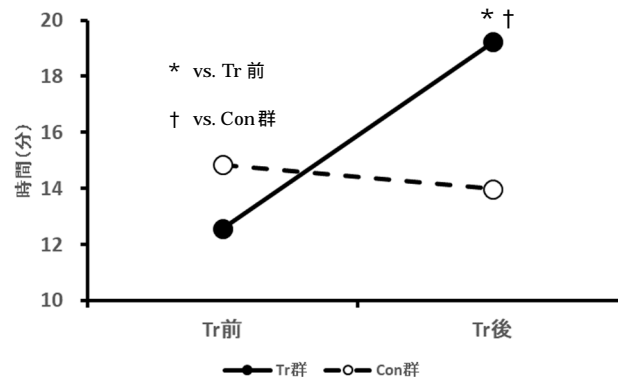
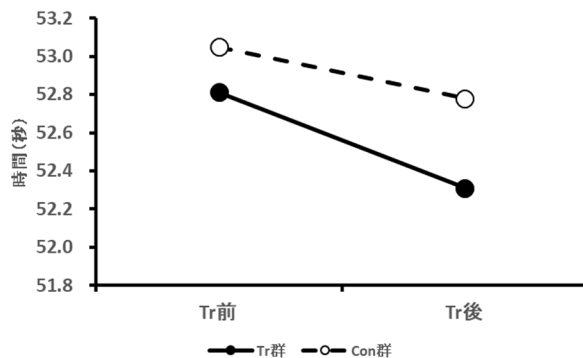


図3：呼吸筋持久力トレーニングによる呼吸筋持久力テストの継続時間の変化

A



B

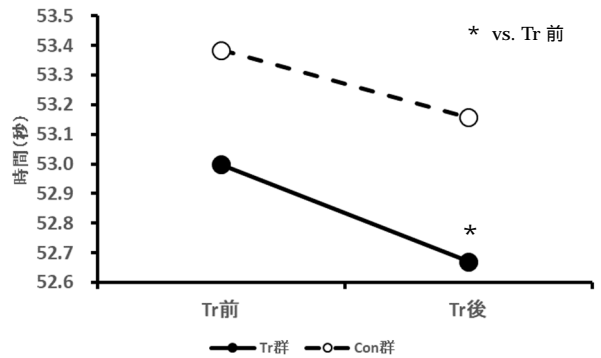


図4：呼吸筋持久力トレーニングによる100m自由形泳パフォーマンス（A：自由呼吸、B：制限呼吸）の変化

6週間の呼吸筋持久力トレーニングは、エリート競泳選手の呼吸筋持久力を向上させる。また、制限呼吸を伴った泳パフォーマンスを改善する。

< 引用文献 >

Dempsey JA, Harms CA, Ainsworth DM. Respiratory muscle perfusion and energetics during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28: 1123-8.

Illi SK, Held U, Frank I, Spengler CM. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2012; 42: 707-24.

Katayama K, Iwamoto E, Ishida K, Koike T, Saito M. Inspiratory muscle fatigue increases sympathetic vasomotor outflow and blood pressure during submaximal exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2012; 302: R1167-75.

Lomax M, Iggle C, Tourell A, Castle S, Honey J. Inspiratory muscle fatigue after race-paced swimming is not restricted to the front crawl stroke. *J Strength Cond Res.* 2012; 26: 2729-33.

Ohya T, Hagiwara M, Suzuki Y. Inspiratory muscle warm-up has no impact on performance or locomotor muscle oxygenation during high-intensity intermittent sprint cycling exercise. *Springerplus.* 2015; 4:556.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 小泉潤 荒牧勇 大家利之	4. 巻 60
2. 論文標題 呼吸抵抗が有酸素運動中のエネルギー消費量に及ぼす影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 中京大学体育学論叢	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Katayama K, Goto K, Ohya T, Iwamoto E, Takao K, Kasai N, Sumi D, Mori H, Ishida K, Shimizu K, Shiozawa K, Suzuki Y	4. 巻 51
2. 論文標題 Effects of Respiratory Muscle Endurance Training in Hypoxia on Running Performance	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Med Sci Sports Exerc	6. 最初と最後の頁 1477-1486
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1249/MSS.0000000000001929	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 Ando R, Ohya T, Kusanagi K, Koizumi J, Ohnuma H, Katayama K, Suzuki Y.	4. 巻 45
2. 論文標題 Effect of inspiratory resistive training on diaphragm shear modulus and accessory inspiratory muscle activation.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Appl Physiol Nutr Metab.	6. 最初と最後の頁 851-856
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1139/apnm-2019-0906.	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0件

〔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	鈴木 康弘  (Suzuki Yasuhiro)	東京経済大学・教授	

6. 研究組織（つづき）

	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	草薙 健太  (Kusanagi Kenta)	中京大学・准教授	
研究協力者	安藤 良介  (Ando Ryosuke)	国立スポーツ科学センター・研究員	
研究協力者	片山 敬章  (Katayama Keisho)	名古屋大学・教授	

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