

令和 4 年 4 月 29 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K22803

研究課題名(和文) 運動時の呼吸をシミュレートした新しい呼吸筋トレーニングの開発

研究課題名(英文) Developing a new respiratory muscle training: mimicking exercise-induced hyperpnoea

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) 4,700,000円

研究成果の概要(和文)：呼吸の漸増負荷テストにより評価した呼吸筋持久力と、高強度運動時の呼吸困難感の間に有意な負の相関関係が認められた。すなわち、呼吸筋持久力が高い選手ほど、高強度運動時の呼吸困難感が低いことが示された。運動時の呼吸困難感や呼吸筋の疲労を軽減するために、呼吸筋のトレーニングが行われることがある。呼吸の漸増負荷テストを用いて呼吸筋の最高酸素摂取量を測定した。これを基準として、インターバルプロトコルを作成し、随意過換気を行うことで、呼吸筋疲労が誘発されることを確認した。この新しいプロトコルを用いたトレーニングは、呼吸筋持久力をより向上させる可能性がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

持久系アスリートは運動時の換気量や呼吸筋活動が大きく、呼吸困難感の増大や呼吸筋疲労がパフォーマンスを制限する要因となる。これらの呼吸困難感や呼吸筋疲労を軽減するために、呼吸筋トレーニングが行われることがある。本研究では、呼吸漸増負荷テストにより得た呼吸筋の最高酸素摂取量に基づき、新しいインターバルプロトコルを開発した。パフォーマンス向上のための新しいトレーニング法の開発はスポーツ科学が担う重要課題である。さらに、新しい呼吸筋トレーニング法による呼吸筋の適応や運動時の呼吸困難感への効果検証は、学術的意義も大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：The time to endpoint during the incremental respiratory test, an index of respiratory muscle endurance, was significantly negatively correlated with dyspnea during high-intensity exercise. These results suggest that dyspneic sensations during high-intensity running are related to respiratory muscle endurance in trained distance runners. Respiratory muscle training has been performed to reduce exertional dyspnea ratings during exercise. However, the efficacy of this intervention remains controversial. Oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) was recorded during the incremental respiratory test and highest $\dot{V}O_2$ value obtained was reported as peak respiratory muscle oxygen uptake ($\dot{V}O_{2peakRM}$). Based on this, we developed respiratory muscle interval training protocol (RMIT) protocol, and PI_{max} , as an index of respiratory muscle strength, decreased after RMIT protocol. These results suggest that RMIT protocol could be an ergogenic method that improves respiratory muscle endurance.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：呼吸筋 トレーニング インターバル 酸素摂取量 最大吸気口腔内圧

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般健常者の場合には、運動時における酸素の供給と二酸化炭素の排出(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、全身持久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、持久系アスリートでは、活動筋の大きい代謝要求に対応するため多くの換気量が必要となり、呼吸筋活動が大きいことによる呼吸困難感の増大や、呼吸筋が疲労することによる呼吸筋由来の代謝受容器反射を介した循環系への影響が全身持久性パフォーマンスを制限する。これらの呼吸困難感および呼吸筋疲労の軽減を目的として、呼吸筋トレーニングが行われることがある。この呼吸筋トレーニングは「抵抗負荷型」および「過換気型(換気増加型)」の大きく2つに分けられ、抵抗負荷型では呼吸筋力、過換気型では呼吸筋持久力の向上が報告されている。しかしながら、それぞれの型を用いたトレーニングプロトコルは理論的根拠が確立されているとはいえない。そこで、運動時の呼吸困難感および呼吸筋の疲労に係る要因を明らかにし、それを基盤に呼吸筋トレーニングプロトコルを作成する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、(1) 運動時の呼吸困難感に係る呼吸機能(呼吸筋力・呼吸筋持久力)を明らかにすること、(2) (1)の結果を基に、新しい呼吸筋トレーニングプロトコルを開発すること、を目的とする。

3. 研究の方法

(1) 大学陸上部に所属する21名の長距離選手を対象とした(20±1歳、平均値±標準偏差)。肺機能検査、呼吸筋力測定、呼吸持久力テスト、運動テストを実施した。呼吸筋力は最大吸気胸腔内圧にて評価した。呼吸持久力テストは、再呼吸装置を用いて isocapnic (等炭酸ガス) hyperpnea (過換気) 法により行った。テスト開始時の毎分換気量は最大随意換気量の30%に設定し、3分ごとに10%ずつ増加させた。1回換気量は肺活量の60%に固定し、呼吸数の増加にて毎分換気量を調整した。呼気終末二酸化炭素分圧は安静時の±5torr になるように調整した。設定された1回換気量あるいは呼吸数が維持できなくなった時点でテスト終了とし、終了までの時間を呼吸筋持久力の指標とした。運動テストにはトレッドミルを用いた。最大下運動では、スピードを16 km/h および18 km/h に設定し、運動時間はそれぞれ4分間とした。運動中の心拍数および酸素摂取量を測定し、呼吸困難感を運動終了時に記録した(0~10スケール)。運動中の呼吸困難感と最大吸気胸腔内圧および呼吸筋持久力との関係を単純相関で検定した。最大下運動後に漸増負荷運動を行った。トレッドミルの初期速度は18.6km/h とし、1分ごとに0.6km/h ずつ疲労困憊に至るまで増加させた。酸素摂取量の最高値を最高酸素摂取量(V02peak)とした。

(2) (1)において、呼吸筋持久力の向上が運動時の呼吸困難感を軽減させることが示唆された。呼吸筋持久力を向上させるのは「過換気型(換気増加型)」の呼吸筋トレーニングと報告されている。そこで、過換気型用のインターバルプロトコルを作成する。若年健常者7名を対象とした。肺機能検査、呼吸筋力測定、呼吸漸増負荷テスト、呼吸最大負荷テスト、呼吸インターバル負荷テストを実施した。呼吸漸増負荷・最大負荷・インターバル負荷テストには、再呼吸装置を用いて isocapnic (等炭酸ガス) hyperpnea (過換気) 法にて実施した。1回換気量は肺活量の60%に固定し、呼吸数にて毎分換気量を調整した。呼吸漸増負荷テスト開始時の毎分換気量は最大随意換気量の30%に設定し、1分ごとに5%ずつ増加させた。呼気終末二酸化炭素分圧は安静時の±5torr になるように調整した。設定された1回換気量あるいは呼吸数が維持できなくなった時点でテスト終了とした。テスト中の酸素摂取量を連続的に測定し、最高値を呼吸筋の最高酸素摂取量(V02peakRM: peak oxygen uptake of respiratory muscle)とした。呼吸最大負荷テストは、100%V02peakRM 時の毎分換気量で随意過換気することで行った。1回換気量あるいは呼吸数が維持できなくなった時点でテスト終了とした。呼吸インターバル負荷テストは、換気量と酸素摂取量との関係から、40%V02peakRM および100%V02peakRM 時の毎分換気量を算出し、40%V02peakRM にて2分、100%V02peakRM にて3分の随意過換気を5セット(合計25分)行った。酸素摂取量を連続的に測定した。テスト前後に吸息筋疲労の指標として、最大吸気胸腔内圧を測定した。

4. 研究成果

(1) 最大吸気胸腔内圧は105.6±16.3 cmH2O (範囲: 74.1~137.0cmH2O) であった。呼吸漸増負荷テストの終了時間は14.4±2.7分(範囲: 9.4~18.8分)であった。運動テスト時の呼吸困難感は、16km/h でのトレッドミル運動時の呼吸困難感3.1±1.0(範囲: 1~6)、18km/h では5.0±1.3(範囲: 4~8)であった。運動時の心拍・呼吸パラメータを表1に示す。漸増負荷運動で得られた毎分換気量は146.9±13.7L/分(範囲: 127.9~171.8L/分)、V02peak は3.9±0.4L/分(範囲: 3.1~4.8L/分)、66.8±3.1mL/kg/分(範囲: 61.4~72.9mL/kg/分)、最高心拍数は190.7±7.1拍/分(範囲: 182~210拍/分)であった。V02peak から算出した最大下運動の相対運動強度は、16km/h で79.4±5.6%V02peak、18km/h で90.3±5.1%V02peak であった。

表 1. 運動テスト時の心拍・呼吸パラメータ

	トレッドミル速度	
	16km/h	18km/h
毎分換気量 (L/分)	83.9±11.0	109.8±13.1
酸素摂取量 (L/分)	3.1±0.3	3.5±0.3
酸素摂取量 (mL/kg/分)	53.9±3.4	61.4±3.7
心拍数 (拍/分)	173.2±8.7	184.0±6.4

平均値±標準偏差

最大吸気口腔内圧とトレッドミル運動時の呼吸困難感には有意な相関関係が認められなかった (図 1). 呼吸漸増負荷テストの終了時間と 16km/h でのトレッドミル運動時の呼吸困難感との間には有意な関係は見られなかったが, 18km/h での運動時の呼吸困難感には有意な負の相関関係が認められた (図 2).

これらの結果から, 持久的アスリートにおいて, 高い呼吸筋持久力が運動時の呼吸困難感の低下に関係し全身持久性パフォーマンスに影響することが示唆される.

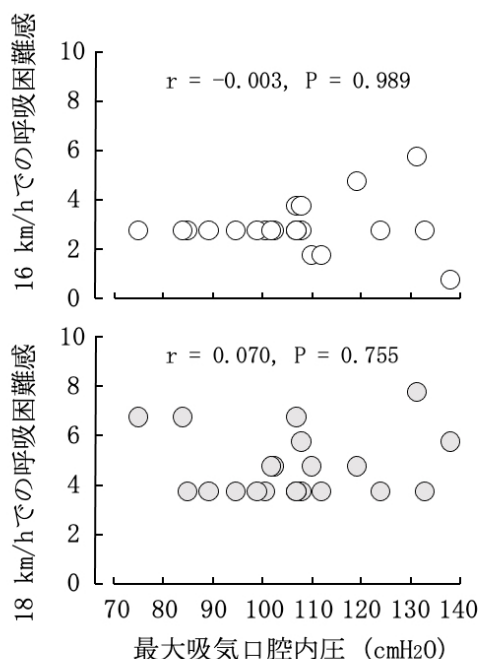


図1. 最大吸気口腔内圧とトレッドミル運動時の呼吸困難感の関係

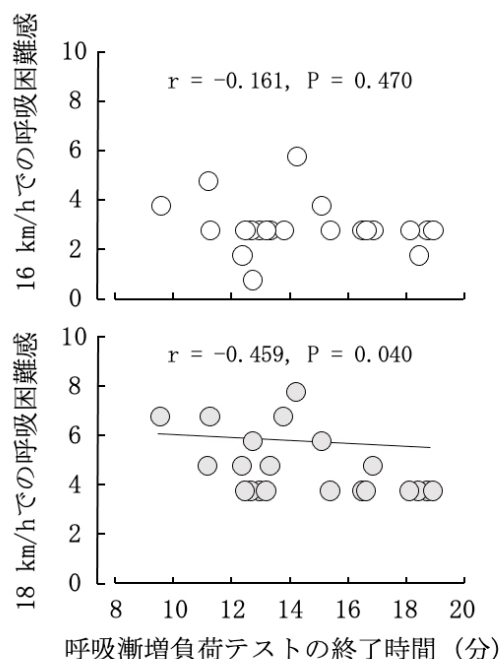


図2. 呼吸漸増負荷テストの終了時間とトレッドミル運動時の呼吸困難感の関係

(2) 呼吸漸増負荷テスト: 呼吸漸増負荷テストに得られた代表的な酸素摂取量の変化を図 3 に示す. テスト中の酸素摂取量は, 最大随意換気量のおおよそ 55%以降で急峻な増加が認められた. $\dot{V}O_{2peakRM}$ は 865 ± 159 mL/分であった.

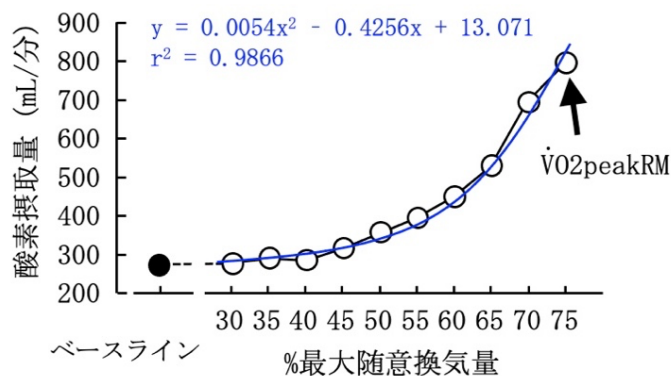


図3. 呼吸漸増負荷テストにおける酸素摂取量の変化

呼吸最大負荷テスト：呼吸漸増負荷テストで得られた $100\% \dot{V}O_{2peakRM}$ での毎分換気量 139 ± 13 L/分にて、呼吸最大負荷テストを行った。呼吸最大負荷テストの終了時間は 7.5 ± 3.1 分であった。テスト中の酸素摂取量の変化を図4に示す。酸素摂取量は随意過換気中に徐々に増加し、テスト終了時点では $\dot{V}O_{2peakRM}$ 値と同様となった。

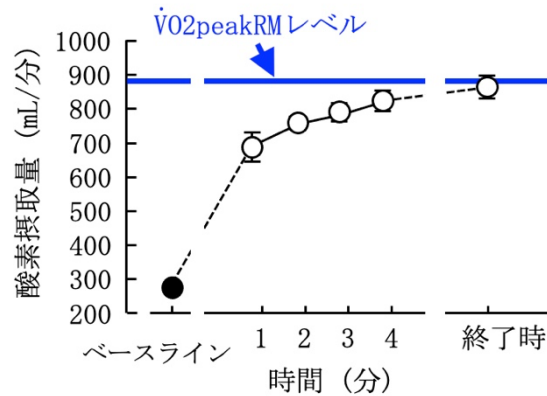


図4. 呼吸最大負荷テストにおける酸素摂取量の変化

呼吸インターバル負荷テスト：呼吸漸増負荷テストで得られた $40\% \dot{V}O_{2peakRM}$ の毎分換気量 65 ± 23 L/分にて2分、 $100\% \dot{V}O_{2peakRM}$ での毎分換気量 139 ± 13 L/分にて3分のセットの随意過換気を5セット（合計25分）行った。すべての対象者で設定された換気量を維持することができた。テスト中の酸素摂取量の変化を図5に示す。 $100\% \dot{V}O_{2peakRM}$ における酸素摂取量はセットごとに徐々に増加し、4セット目以降で $\dot{V}O_{2peakRM}$ レベルに達した。テスト前後に測定した最大吸気口腔内圧は、 133 ± 30 cmH₂O から 118 ± 29 cmH₂O と有意に低下し、吸息筋の疲労が認められた。

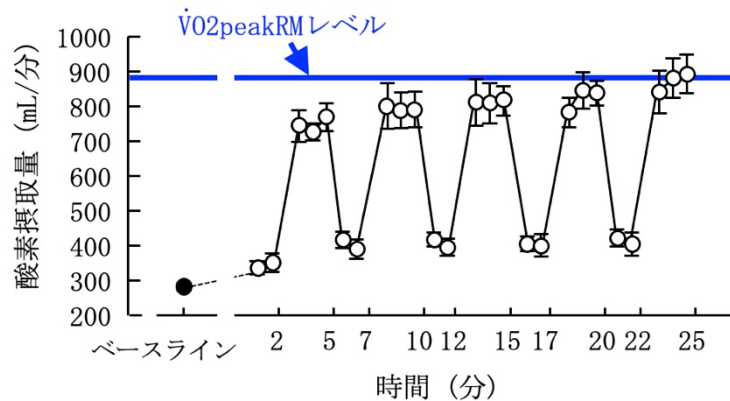


図5. 呼吸インターバル負荷テストにおける酸素摂取量の変化

これらの結果から、 $\dot{V}O_{2peakRM}$ に基づいたインターバルプロトコールは、呼吸筋の最高酸素摂取量に近い負荷を長時間かけることができ、呼吸筋の疲労を誘発できることが明らかとなった。このプロトコールを呼吸筋トレーニングにて用いることで呼吸筋持久力が向上し、運動時の呼吸困難感および呼吸筋疲労が軽減され、全身持久性パフォーマンスが改善する可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1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 Mizuno Sahiro, Suzuki Yasuhiro, Goto Kazushige, Takao Kenji, Sumi Daichi, Ishida Koji, Mizuno Fumihiro, Katayama Keisho	4. 巻 296
2. 論文標題 Relationship between respiratory muscle endurance and dyspnea during high-intensity exercise in trained distance runners	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Respiratory Physiology & Neurobiology	6. 最初と最後の頁 103812 ~ 103812
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.resp.2021.103812	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 片山敬章	4. 巻 71 (5)
2. 論文標題 呼吸筋活動と運動時の循環調節 - 持久系アスリート -	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 体育の科学	6. 最初と最後の頁 361-365
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 無
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 片山敬章, 岩本えりか	4. 巻 71 (6)
2. 論文標題 呼吸筋トレーニング	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 体育の科学	6. 最初と最後の頁 437-442
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 無
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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Sato Suzuna, Koji Ishida, Noriko Tanaka, Keisho Katayama
2. 発表標題 High-intensity respiratory muscle interval training protocol develops inspiratory muscle fatigue
3. 学会等名 American College of Sports Medicine Annual Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022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 分担者	鈴木 康弘 (Suzuki Yasuhiro) (00392697)	東京経済大学・全学共通教育センター・教授 (32649)	
研究 分担者	石田 浩司 (Ishida Koji) (50193321)	名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授 (13901)	

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
---------	---------