

令和元年5月22日現在

機関番号：32687

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01678

研究課題名(和文)呼吸筋トレーニングが持久能力を高める生理的メカニズムの究明

研究課題名(英文) Mechanical Researches into the improvements of the endurance performance after respiratory muscle training.

研究代表者

山地 啓司(YAMAJI, Keiji)

立正大学・法制研究所・特別研究員

研究者番号：50012571

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：ランニングスピードを徐々に高めていくと酸素摂取量( $V_{O2}$ )は定常状態(SS)が現れるが、肺換気量(VE)は指数関数的に増加し続け、ついに運動を続けることができなくなる(オールアウト)。 $V_{O2}$ にSSが現れ始めた時呼吸筋で使われるエネルギー量は全体の約4%であるが、オールアウトに達する時は10-16%までに達する。呼吸筋で使われるエネルギー( $V_{O2}$ )は本来脚筋で使われるものであったため、脚筋の $V_{O2}$ が不足して脚が疲れる。あらかじめ、呼吸筋トレーニングをすることによって呼吸効率(VE /  $V_{O2}$ )を高めることによって脚筋の疲労を遅延させると、持久性のパフォーマンスが高まることを証明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで呼吸筋トレーニングがランニングのパフォーマンスを高めるのに概ね有効であることが明らかにされている。しかし、その報告のほとんどが一般ランナーを対象にしたものである。本研究は箱根駅伝を目指すハイレベルの競技者を対象に呼吸筋トレーニング(8週間)を行った結果、呼吸筋の機能的水準を高め持久性のパフォーマンスが向上した。この結果は競技水準に関係なく呼吸筋トレーニングが持久性トレーニングの中へ積極的に取り組むことが有効であることを示唆するものである。

研究成果の概要(英文)：As the running speed gradually becomes higher, increases in the oxygen uptake ( $V_{O2}$ ) start to level off, and it will enter a steady state. The pulmonary ventilation (VE), however, continues to increase in an exponential manner even after the  $V_{O2}$  becoming to level off. When the  $V_{O2}$  is starting level off, the  $V_{O2}$  consumed by the respiratory muscles is about 4% of the  $V_{O2}$  and further attain at 10 to 16% of the  $V_{O2max}$ . In this situation, the respiratory muscles use the oxygen that would have been allocated to the active muscles because the oxygen used for the entire body is already in a steady state. Therefore, the overusing of oxygen by respiratory muscles must become to decrease due to a shortage of oxygen and getting fatigue in the legs. Our studies in these days suggested that the respiratory muscle training (>8 weeks, three times/week, 30 min/time) not only improve in respiratory muscles strength and function, but also enhance the endurance performance even in high level athletes.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：呼吸筋トレーニング ノーズクリップ パワーブリーズ 自発的最大呼吸量 持久性パフォーマンス  
換気当量 競技者

## 1. 研究開始当初の背景

AV.Hill (1924) が持久性の制限因子は心臓 (心拍出量) にあると指摘し、その見解は研究者の間で長く信じられてきた。ところが、1990 年に入って Dempsey を中心としたウィスコンシン大学の研究グループは心臓よりむしろ肺臓に制限因子があることを証明した。Dempsey (2006) は次のように結論した。「最大作業の終盤にみられる過呼吸現象は呼吸筋へ多量の血液を供給し、その時の呼吸筋で消費される酸素量は全身の酸素量 ( $\dot{V}O_2\max$ ) の約 10~16% (活動筋へは約 77%) にも達する。すなわち、その時呼吸筋を流れる血液や使われる酸素は本来活動筋に供給されるべき血液や酸素を使うことから (盗血現象) 脚筋の酸素不足を招き早く all-out に導く」と。もし、呼吸筋を強化することによって効率的な呼吸筋の活動 (例えば、換気性作業閾値 (VT) の右傾化や換気当量の低下等) が維持できれば、活動筋 (脚筋) への酸素供給が増加するはずである。このような観点から、これまで多くの研究者によって呼吸筋トレーニングが実施されているが、パフォーマンスが「改善する」と「変化なし」の両論に分かれている。この原因は被験者の競技水準や年齢・性が異なることによると推測される。

## 2. 研究の目的

そこで、本研究は大学で専門的に持久性のトレーニングを行っている競歩と長距離の競技選手を対象に、トレーニング中にノーズクリップを鼻部に装着した呼吸筋トレーニングによる生理的機能 (呼吸筋、呼吸効率、呼吸性作業閾値等) やパフォーマンスへの影響を検証し、その改善のメカニズムを究明することを主目的とした。

## 3. 研究の方法

本研究は、普段のトレーニング中にノーズクリップを用いて呼吸筋トレーニングを行った時の生理的影響とパフォーマンス改善のメカニズムを追究する。まず、既存の呼吸筋トレーニング機器とノーズクリップを用いたトレーニングの生理的影響に関する比較を行うことによって、ノーズクリップ使用の有効性を明らかにする。ノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニングによるパフォーマンス改善のメカニズムを追究する。ランニングの競技種目の特性や競技水準とトレーニング強度と距離の視点から、呼吸筋トレーニングの生理的応答やパフォーマンスの改善の違いを検証する。呼吸筋トレーニングの至適な運動強度と距離の関係を追究する。競歩やランニング中に呼吸筋トレーニングを同期して行う際の至適なデバイスを検討する。

## 4. 研究成果

### 2016 年度の実験 :

大学競歩選手を対象に 4 週間のトレーニング群とコントロール群が交替するクロスオーバー式呼吸筋トレーニングを計画した。しかし、ノーズクリップを着用した  $80\% \dot{V}O_2\max$  以上の強度でのトレーニングは呼吸が苦しく途中でノーズクリップをとる被験者が続出した。そのためランニング強度を下げた呼吸筋トレーニングで実施せざるを得なかった。その結果、トレーニング群のみ吸気筋力 ( $PI_{\max}$ ) が 23.6%、競歩の最高歩速度 (MWV) が 1.96%、換気性閾値の歩行速度 ( $vVT$ ) が 4.07%それぞれ増加したが、いずれも有意な改善が認められなかった。

### 2017 年度の実験 :

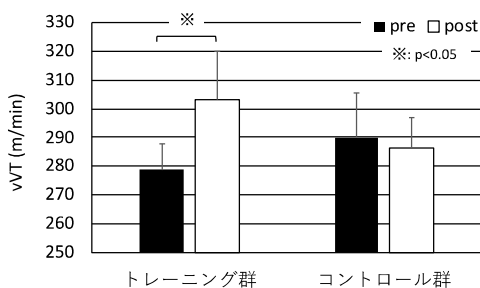
箱根駅伝の常連大学の長距離選手 (トレーニング群 10 名; コントロール群 10 名) を対

象に 8 週間、1 週間 3 回、1 回 80% $\dot{V}O_2\max$  以上のランニング強度を 30 分以上の条件でノーズクリップを着用した呼吸筋トレーニングを計画した。しかし、16 年度と同じく高強度のランニング中に呼吸筋トレーニングをするとコントロール群と同じスピードで走れないという指摘から、朝トレ時の任意（約 130~150 拍・分<sup>-1</sup>）のランニングスピードでトレーニングを行った。その結果、トレーニング群のみ、肺機能の最大呼気流量（PEFR）、中間呼気流量（MMF）がそれぞれ有意に増加した（ $p<0.05$ ）。また、最大呼気口腔圧（PE<sub>max</sub>）と最大吸気口腔内圧（PI<sub>max</sub>）、自発的最大換気量（MVV<sub>12</sub>）にそれぞれ有意な改善が認められた。しかし、パフォーマンスには改善が認められなかった。結論的には、ノーズクリップを用いた中等度の強度のランニングでの呼吸筋トレーニングでは呼吸機能に改善が認められるものの、パフォーマンスを改善するまでに至らないことが明らかになった。

2018 年度の実験：

2016 年度と 2017 年度の実験結果から、ノーズクリップを着用した高強度のランニングスピードでのトレーニングは困難と判断した。そのため、ノーズクリップに替わるランニング中に呼吸筋トレーニングが可能なデバイスを検討したが見当たらなかった。そこで、専門的トレーニング（ランニング）を実施する前に、パワーブリーズを用いて呼吸筋トレーニング（吸気口腔内圧の 70% 80%で 30 呼吸×5 セット）を週 3 回、8 週間実施した。被験者は箱根駅伝を目指すランナーでトレーニング群 10 名、コントロール群 10 名とした。（ただし、けがなどで最終テストが受けられなかった者がトレーニング群 5 名、コントロール群 2 名いた。）その結果、トレーニング群のみ、呼吸機能では最大自発的換気量（MVV<sub>12</sub>）、最大呼気口腔内圧（PE<sub>max</sub>）、最大吸気口腔内圧（PI<sub>max</sub>）に有意な改善が認められた。さらに、生理的機能では換気性閾値のランニングスピード（vVT）と（図 1）、パフォーマンスでは  $\dot{V}O_2\max$  が出た時のランニング速度での持続時間（ERT at v $\dot{V}O_2\max$ ）（図 2）に有意な改善が認められた。

図 1．呼吸筋トレーニング前後における VT 時走速度の変化



(ただし、vVT: 換気性閾値におけるランニング速度)

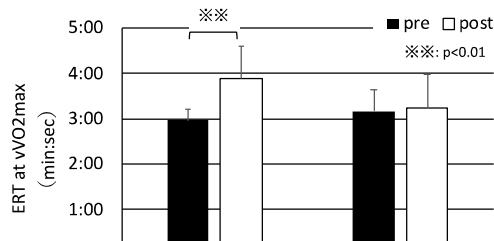


図 2．呼吸筋トレーニング前後における高強度走行テストの走行時間の変化 (ERT at v $\dot{V}O_2\max$ :  $\dot{V}O_2\max$  発現時のランニング速度の持続時間)

3 年間の実験の結論：

日ごろ激しいトレーニングを実施している持久性の競技者は、ノーズクリップを用いた高強度のトレーニング中に呼吸筋トレーニングを実験として行うことに拒否的な姿勢が顕著なため信頼のおける実験を行うことが困難だと分かった。しかし、軽・中等度の強度の運動中にノーズクリップを着用した呼吸筋トレーニングでも、8 週間のトレーニングで MVV<sub>12</sub>、PE<sub>max</sub> と PI<sub>max</sub> に有意な改善が期待できることが明らかになった。しかし、持久性の競技者が 8 週間の呼吸筋トレーニングでパフォーマンスの向上を期待するためには、静的あるいは動的な呼吸筋トレーニングに関係なく、高強度（80% $\dot{V}O_2\max$  以上）の

運動に相当する負荷を与えなければ改善するまでに至らないことが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

山地啓司, 呼吸筋トレーニングは呼吸機能やスポーツパフォーマンスを改善するか, 体力科学, 査読有, 66 巻, 2017, 71-184,

山地啓司, 橋爪和夫, 持久性競技者におけるコアトレーニングの必要性和有効性, ランニング学研究, 査読有, 30 巻, 2019, 1-19,

山本正彦, 山地啓司, 清水茂幸, 坂本静男, ノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニングが競歩選手の呼吸機能やパフォーマンスに及ぼす影響, ランニング学研究, 査読有, 30 巻, 2019, 29-39,

〔学会発表〕(計2件)

山本正彦, 山地啓司, 清水茂幸, 第 29 回ランニング学会(九州共立大学), 競歩選手におけるノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニング, 2017,

山本正彦, 山地啓司, 高山史徳, 中垣浩平, 上田誠仁, 坂本静男, 第 30 回ランニング学会(筑波大学), 鼻制限による高強度ランニングは呼吸筋を鍛えるか, 2018,

〔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:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

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

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### 1. 研究分担者

(1) 研究分担者氏名: 上田誠仁

ローマ字氏名(UEDA Seiji)

所属研究機関名: 山梨学院大学

部局名: スポーツ科学部

職名: 教授

研究者番号：30176599

(2) 研究分担者氏名：山本正彦

ローマ字氏名：YAMAMOTO Masahiko

所属研究機関名：東京工芸大学

部局名：工学部

職名：准教授

研究者番号：40339809

(3) 研究分担者氏名：鍋倉賢治

ローマ字氏名：NABEKURA Kenji

所属研究機関名：筑波大学

部局名：体育科学系

職名：教授

研究者番号：60237584

(4) 研究分担者氏名：清水茂幸

ローマ字氏名：SHIMIZU Shigeyuki

所属研究機関名：岩手大学

部局名：教育学部

職名：教授

研究者番号：70272185

(5) 研究分担者氏名：中垣浩平

ローマ字氏名：NAKAGAKI Kouhei

所属研究機関名：山梨学院大学

部局名：スポーツ科学部

職名：准教授

研究者番号：30549473

## 2. 研究協力者

研究協力者氏名：高山史徳

ローマ字氏名：TAKAYAMA fuminori

所属研究機関名：筑波大学

部局名:体育科学系

研究者番号：50836062

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。