

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：32687

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350787

研究課題名(和文) ランニングの疲労困憊を決定する最終要因とそれを改善するトレーニング方法の究明

研究課題名(英文) The investigation of the end factor which fixes the exhaustion of the running and the way of training to improve it

研究代表者

山地 啓司(Keiji, Yamaji)

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：1,500-mのタイムトライアルを行う際、1人で走るよりは2人走(head-to-head competition)がより精神的モチベーションを高め、記録を5.9秒(2.1%)短縮した( $p<0.05$ )。しかし、室内のトレッドミルを用いた2人での並列(next to the subject)走では1人走に比べ持続時間が12秒(3.9%)延長したものの、生理的・要素や心理的要素に有意な差が認められなかった。1,500-m走で2人走が1人走よりもパフォーマンスが高くなる原因は、トライアル前の心理的な活性度の高まりによる。

研究成果の概要(英文)：A summary of the research findings

In 1,500-meter trials, the time was 5.9 seconds faster (2.1%) when the runner had been accompanied by another student ( $p<0.05$ ) because he had been more motivated. However, when the runner had run side by side with another student on a treadmill in a room, there were no significant differences in the physiological and psychological factors, although the subjects were able to run 12 seconds (3.9%) longer than when they ran alone. In 1,500-meter trials, the performance of students was more favorable when they had been accompanied by another runner due to an increase in the level of psychological activity prior to the trials. As a result of the increase, the output of aerobic energy increased immediately after the runners had started to run and that of anaerobic energy was reduced. The runners were presumably able to utilize the amount of energy saved in the process during the trials including their final phases.

研究分野：運動生理学

キーワード：1500mタイムトライアル パフォーマンス 持久性の制限因子 モチベーション エネルギーの出力  
酸素負債能力

1. 研究開始当初の背景

(1) Wilmore (1968) は全身持久性の自転車駆動を行う際、競争(2人走)という外因性のモチベーションを与えると、持久性の仕事が高まることを明らかにした。もしそれが事実ならば、その生理的メカニズムは何か？

(2) Dempsey (1999) の研究グループは、これまでの考えを覆して持久性の限界因子が呼吸器系にあるとみなした。それ以降呼吸筋のトレーニングが実践されてきたがその効果が実感できないでいる。なぜ実感できないのか？

2. 研究の目的

(1) ランニングを行う際、1人で走るより複数のランナーと走るとモチベーションが高まり、疾走タイムに好影響を与える。そこで、2人走(head-to-head competition)と1人走(alone)のパフォーマンス、ペース配分、生理的・心理的応答の違いを検証する。

(2) ランニングのスピードを漸増していくと酸素摂取量には定常状態が現れるが、肺換気量( $V_E$ )は逆に指数関数的に高まる。その時呼吸筋で使われる酸素( $O_2$ )には本来活動筋へ供給される酸素が使われ、そのため活動筋の疲労を早める。そこで、呼吸筋のトレーニングを行うことによって呼吸効率を高め、活動筋への酸素供給量の減少をできるだけ少なくすることによって、パフォーマンスを高めることができるか否かを検証する。

3. 研究の方法

(1) 1人走と2人走

実験 : 6名のランニング愛好家を対象に400-mトラックを用いて、1,500-mタイムトライアルを1人走と2人走で各7回ずつ実施した。その他、w-up前に心理テスト(二次元気分尺度: TDMS) タイムトライアルの記録と400-mごと(最終回は300-m)の走速度、トライアル直後に生理的応答(最高心拍数: HRmax、ピーク血中乳酸量: peakLa、末梢動脈血酸素飽和度: SpO<sub>2</sub>、主観的運動強度: RPE(脚と胸部))を測定した。

実験 : 8名のランニング愛好家を対象に研究室のトレッドミルを用いて1人走と2人走(accompanied by another runner)の最大漸増負荷テストを実施し、パフォーマンス、生理的応答やTDMSを測定した。

(2) ノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニング

ランニング習慣を有する大学生及び院生8名(男子3名、女子5名)を対象に、普段のランニング中にノーズクリップを

装着する4週間のクロスオーバー・トレーニング実験を行った。その間のパフォーマンスと生理的応答をトレッドミルの多段階漸増負荷テスト(ランニング)で測定した。

4. 研究成果

(1) 1人走と2人走(実験と)

実験 : 1,500-m タイムトライアルでは2人走が1人走に比べ約5.9秒(2.1%)有意に速くなった( $p < 0.05$ ) (図1)。さらに、2人走の平均走速度には1人走に比べ400~1,200-m間において有意な差が認められた( $p < 0.05$ ) (図2)。また、TDMS(活性度)に有意な差が認められた( $p < 0.05$ )。しかし、2人走と1人走のゴール直後の生理的応答に有意な差が認められなかった。

全被験者の単独走と複数走の平均の比較

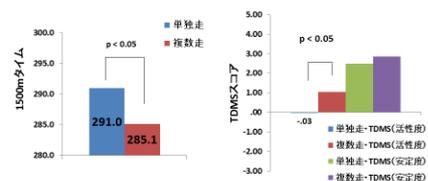


図1. 1人走(単独走)と2人走(複数走)の1,500-mタイムトライアルの記録とTDMSスコア

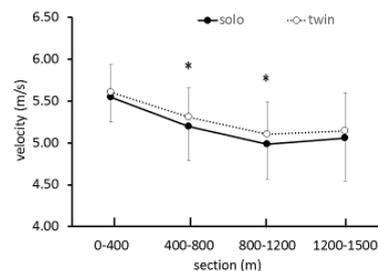


図2. 単独走と複数走それぞれの7試技の平均の区間速度の推移  
Significant difference between solo and twin \* ( $p < 0.05$ )

実験 : 室内のトレッドミルを用いた2人での並列走は1人走に比べ最大酸素摂取量が出現したランニング速度での持続時間(Tlim at  $vVO_{2max}$ )が12秒(3.9%)延長したものの、有意な改善が認められなかった。さらに、心理テスト(TDMS)及び生理的応答のすべての項目に有意な差が認められなかった。

実験との結果、競争意識が高いと考えられる直列(head-to-head competition)の2人走が1人走よりもパフォーマンスが高くなるが、トレッドミルを用いた2人の並列(next to the subject)走では、1人走に比べ記録や心理的・生理的応答の変化に大きな違いが認められなかった。

(2) ノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニング

トレーニング前・後のノーズクリップ群とコントロール群のパフォーマンスを比較した。その結果、実験群のみに  $V_{max}$  (最終到達速度) が 6 m/min (2.4%)、 $T_{lim}$  (at  $v\dot{V}O_{2max}$ ) が 0.6 分 (4.8%)、 $v\dot{V}T$  が 13 m/min (7.6%) それぞれ有意な高まりを示した。しかし、両群とも呼吸筋の機能を示す  $V_{Epeak}$ 、 $P_{Imax}$  及び  $P_{Emax}$  に有意な差が認められなかった。しかし、ノーズクリップ群の低ランニングスピード (120~160-m) の呼吸効率 (換気当量:  $V_E/\dot{V}O_2$ ) に向上傾向が認められた (図 3)。

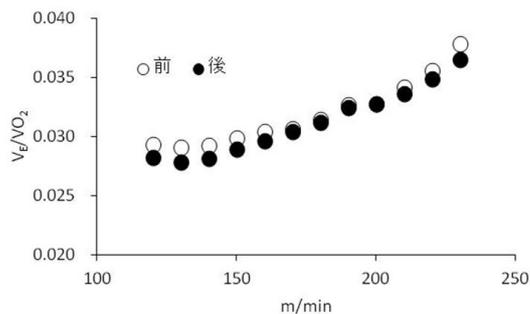


図 3 ノーズクリップ群のトレーニング前・後の走速度に対する換気当量の変化

(3) ランニングのタイムトライアルに関する研究でパートナーが存在する研究には、Bath et al (2012) が 5-km 走を、Tomazini et al (2015) が 3-km 走を、実施している。Bath et al (2012) はパートナーがいるといないで記録が左右されないことを、一方、Tomazini et al (2015) はパートナーの存在がパフォーマンスに有意な好影響を及ぼすことを、それぞれ明らかにしている。本研究では、屋外の陸上競技場で 1,500-m のタイムトライアルを、1 人走と 2 人走で行い、後者のタイムが前者に比べ約 5.9 秒 (2.1%) 有意に速い結果を得た。この結果は Tomazini et al の結果を支持するものである。これらの異なった結果の要因には、Bath et al の実験では Tomazini et al に比べ疾走距離が長いこと、パートナーとの持久能力やペース戦術の違いあるいはその日の心身の調子によって、相互のランニングのペースパターンがネガティブあるいはポジティブに影響し、安定した結果が得

られなかったことが考えられる。本研究の実験との相違の原因は、タイムトライアル前の心理テスト (TDMS) の活性化 (やる気度) に差があることである。実験では 2 人走の時は 1 人走に比べライバル心をもって w-up を行い、その日の体調や温度など環境条件に合わせて、最高の記録が出るよう準備した (体調を整えた) ことが考えられる。それに対して実験の 2 人走では、相互をライバルとみなして勝ちを意識し頑張る (head-to-head competition) というよりは、むしろ、トレッドミル上を並列に並び一緒に走るパートナー (仲間) としてみていたのではないかと、換言すれば、同じ 2 人走でも、最初から相手よりも早く走りたいと強く願う強い動機づけではなく、それよりも弱い動機づけの、一緒に走るのだ (next to the subject) という "together with" の感覚をより強く持たせたのではないかと考えられる。

(4) 1,500-m のタイムトライアルの 2 人走では中間局面 (400~1200-m) において 1 人走よりも有意に速いペースを維持した。この結果は、Tomazini et al (2015) の 3-km のタイムトライアルでは、2 人走の走速度が 1 人走より上回るのはスタート局面 (~500-m) であるという報告と、対照的であった。この原因は明らかではないが、その日の心身の調子や 3-km 走という距離とそれに対する馴れ (経験度) などが影響したのかもしれない。

(5) 生理的にみると、2 人走の勝ちたいという強い意欲が w-up をおこなうことによって半ば意識的に、半ば無意識的により戦闘的な心身し、そのことがスタート局面におけるエアロビックのエネルギー発生を高め、結果的にアナロビックのエネルギーをセーブし、中間あるいは最終局面でこのセーブされたアナロビックのエネルギーを有効に利用 (消費) したと考えられる (Bishop, 2003)。一方、

1人走では、Ulmer (1996) の安全推定理論 (theory of teleoanticipation) に従って、w-up の段階から不十分な走速度・走距離を遂行し、スタート前に想定した安全でかつ安定したペースでスタート局面を走り、途中で破局的なペースダウンやドロップアウトをしないようにペースを調節しながら走り、結果的に余裕を残してゴールしたものと思われる。

(6) 猪飼 (1968) は母指内転筋の最大筋力は発揮する際、前腕の尺骨神経上へ電気刺激を与えると、自発的最大筋力よりも 20~50% 余分に筋力が高まることを明らかにした。この実験では、自発的に発揮した最大筋力と潜在的な生理的最大筋力との間に個人差 (20~50%) が如何に大きいかを示している。Noakes (2000) の研究では、精神的な頑張り力 (耐性) が最終局面のペースを決定するが、それは主にアネロビッ的なエネルギーの出力の大きさに負うことを示唆している。1,500-m タイムトライアルでは各被験者が all-out に近づいてきた時、どれだけアネロビッ的なエネルギーを残しているか、あるいは、残されたアネロビッ的なエネルギーの出力をどこまで出し切ることができるかは、前者がスタート前の w-up の実施の仕方に関係し (Bishop, 2003) 後者は意欲や苦しみに耐える力 (耐性) 等の精神力に負う (Morgan, 1985)。すなわち、スタート局面でどれだけ多くのエアロビッ的なエネルギーを出し、中間及び最終局面に備えてアネロビッ的なエネルギーをセーブできるか、さらに、最終局面では精神的にどこまで生理的限界に近づけられるかにかかっている。

(7) 精神的がんばりの程度を客観的に測定する指標に動脈血酸素飽和度 ( $SaO_2$ ) あるいは末梢動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) がある。Dempsey et al (1999) は疲労困憊 (all-out)

に近づくにつれ心拍出量 ( $\dot{Q}$ ) や  $\dot{V}O_2$  が定常状態になった後にも肺換気量 ( $\dot{V}_E$ ) は指数関数的に増加する。その時呼吸筋で使われる  $O_2$  は本来活動筋で使われる  $O_2$  が使われるため、活動筋で使われる相対的な酸素が少なくなり、疲労を早める。従って、呼吸筋のトレーニングによって効率の良い呼吸を可能にすることによって、活動筋の疲労を遅延するのではないかとみなした。そこで、我々は引き続き呼吸筋トレーニングの実験を行った。

(8) これまで多くの研究者が呼吸トレーニングによるパフォーマンスの向上やそのメカニズムを追究している。例えば、Illi et al (2012) が行ったこれまでの呼吸筋トレーニングに関する 236 篇の報告から 49 編を厳選したメタ解析によるレビューでは、呼吸筋のトレーニングによって呼吸筋の筋力や持久性能を高める可能性が高いと結論付けている。本研究では山地 (2015) のレビューで明らかにした、呼吸筋トレーニングの運動強度として 70~100%  $\dot{V}O_{2max}$  が望ましいことから、その条件をクリアする換気性作業閾値 (VT) 以上の強度 (60 分/週をノルマとする) のランニング中にノーズクリップを鼻部に装着することによって、口呼吸だけを用いて呼吸するトレーニングを 4 週間実施した。その結果、持続時間が 4.6% 延長し ( $p < 0.05$ ) した。そのメカニズムとして呼吸効率の改善が示唆された。今後は長時間・期間の呼吸筋トレーニングによってパフォーマンスの改善のメカニズムを追究しなければならない。

#### < 引用文献 >

- Bath, D., et al. (2012) Int. J. Sports Physiol. Perform. 7:26-32.  
Bishop, D. (2003) Sports Med. 33:436-454.  
Dempsey JA, et al. (1999) J Appl Physiol. 87:1997-2006.  
Illi SK, et al. (2012) Sports Med. 42: 707-724.

猪飼道夫 .1968 .『教育生理学』pp.183-189 .

第一法規 .

Morgan WP. (1985) Med.Sci.Sports Exerc.  
17:309-316.

Noakes,TD. (2000) Scan.J.Med. Sci.Sports.  
10:123-145.

Tomazini,F. et al. (2015) Physiol. Behav.  
149:39-44.

Ulmer,HV. (1996) Experientia. 52:416  
-420.

Willmore,JH. (1968) J.Appl.Physiol. 24:  
459-463.

山地啓司ら (2000) 体育学研究 .45:15-23 .  
山地啓司 (2015) 日本運動性学雑誌 .  
22:25-40.

#### 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4件)

(1) 山地啓司、呼吸筋の疲労とトレーニングが生理的機能と持久性運動のパフォーマンスへ与える影響、日本運動生理学雑誌、査読有、22巻、2015、25-40.

(2) 山地啓司、呼吸筋疲労とトレーニングが持久性のパフォーマンスへ与える影響、ランニング学研究、査読有、26巻、2015、1-20.

(3) 山地啓司、井口文雄、橋爪和夫、日本超エリート競歩選手のサロマ湖100kmレース前・後にみられる生理応答、査読有、スポーツパフォーマンス研究、7巻、2015.

(4) 高山史徳、山地啓司、24時完走ウルトラマラソンのペース特性、スポーツパフォーマンス研究、査読有、6巻、2014、134-142.

〔学会発表〕(計3件)

(1) 山地啓司、第27回ランニング学会(キーノートレクチャー)(日本女子体育大学)、ランニングの科学の温故知新～基礎から応用へ～、仮説から実用化へ、2015.

(2) 山地啓司、第26回ランニング学会大会(大阪体育大学)、東アフリカのランナーの強さの秘密を再考する、2014.

(3) 河合謙一、山地啓司、鍋倉賢治、第25回ランニング学会(東京学芸大学)、単独走と複数走にみられる1500mタイムトライアルへの影響、2013.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

#### 6 . 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

鍋倉賢治 (NABEKURA Kenji)

筑波大学体育科学系・教授

研究者番号: 60237584