

令和元年6月12日現在

機関番号：17702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2016～2018

課題番号：16K13016

研究課題名（和文）各距離種目の代謝特性に基づいた高強度間欠的トレーニングの開発と効果の検証

研究課題名（英文）Development of high-intensity intermittent training based on metabolic profile of each sprint- and middle-distance track race and examination of the effects of the developed training protocol

研究代表者

荻田 太 (OGITA, Futoshi)

鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・教授

研究者番号：50224134

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、各距離種目の代謝特性に基づいた高強度間欠的運動トレーニング（HIIT）を開発し、その効果を検証することであった。陸上200m、400mを模擬した強度を用い、様々な間欠的運動プロトコールと持続的運動（CE）の代謝特性を検討した。HIITとCEが同じ強度で行われたとき、総酸素摂取量はHIITの方がCEよりも高かったが、酸素借は両運動間で差は認められなかった。また、HIITとCEにおいてトレーニングを実施した結果、最大酸素借の増大は両群間に差はなく、最大酸素摂取量の増大はHIITにおいて有意に大きかった。さらに高強度運動パフォーマンスの増大もHIITの方が高い傾向を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、各距離種目を模擬した全力運動時の代謝特性を定量し、より高い代謝的トレーニング刺激を与え得る高強度間欠的運動トレーニングプロトコールを開発した。さらに、そのトレーニング効果までを常酸素、低酸素環境下で検証した。これによって、各距離種目のパフォーマンス向上に特化したトレーニングプロトコールを構築できたことは、新たな学術的意義と考えられる。また、我々の研究室で公表されたトレーニングプロトコールは、実際に某競技連盟のオリンピック候補選手などにも応用され、一定の成果を得てきた。この点については、本研究の成果における極めて高い社会的意義と言える。

研究成果の概要（英文）：The present study aimed 1) to develop protocols of high-intensity interval training (HIIT) based on metabolic profile of each sprint-distance track race, and 2) to examine the effects of the developed protocol of HIIT on metabolic capacity and intense exercise performance. In the comparison of metabolic profile between HIIT and continuous exercise (CE) which was done at the same intensity, the accumulated and the peak O₂ uptake were significantly higher in HIIT than those in CE, however, the net accumulated O₂ deficit did not differ significantly between HIIT and CE. When the training effects were compared between HIIT and CE training, no significant difference was observed in the increase in maximal accumulated O₂ deficit between the protocols, but the increase in maximal O₂ uptake were significantly greater in HIIT. Furthermore, the improvement of intense exercise performance tended to be greater in HIIT compared to CE training.

研究分野：運動生理学

キーワード：高強度間欠的運動トレーニング 有酸素性エネルギー 無酸素性エネルギー パフォーマンス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

競泳競技や陸上競技の短・中距離種目などでは、多くの種目が数十秒程度から4~5分程度にわたって競われる。運動持続時間に対する有酸素性、無酸素性エネルギー代謝の割合をみると、20秒~30秒程度の運動で25:75、50秒~1分程度の運動で45:55、そして2~3分程度の運動で70:30の比となっており、競泳競技で50m~200m、陸上競技ならば200m~800mの距離種目間ですら、各エネルギー代謝の重要性が大きく異なる。このことは、代謝特性から考えた場合、単に短距離種目とひとくくりにしたようなトレーニングでは、各距離種目のパフォーマンスを効果的に向上させられるわけではないことを示唆している。

近年、無酸素性、有酸素性両エネルギー供給能力を効果的に向上させるトレーニングとして、短時間の高強度間欠的運動トレーニングが注目されている。さらに、低酸素環境では無酸素性エネルギーが動員されやすいことから、無酸素性エネルギー供給能力の指標である最大酸素借と高強度運動のパフォーマンスの双方ともに、改善されることが示されている。したがって、各距離種目の代謝特性を考慮し、さらに高強度トレーニングと低酸素条件をうまく組み合わせることにより、各距離種目のパフォーマンス向上に特化した有効なトレーニング法を見出せることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、様々な高強度間欠的運動時のエネルギー代謝特性について定量し、各距離種目の有酸素性・無酸素性エネルギー供給動態に合致させた最適なトレーニング条件を見出すとともに、実際にそのトレーニング効果までを検証するために、以下の4つの点について明らかにすることを目的とした。

- (1) 各距離種目のエネルギー動態に合致した至適なトレーニングプロトコルを見出すために、異なる高強度間欠的運動におけるエネルギー供給動態を定量。
- (2) 実験1で得られたプロトコルに対する低酸素条件の影響について検討。
- (3) 実験2で得られたプロトコルを再考し、さらに高強度を用いたプロトコルにおけるエネルギー供給動態を検討した追加検証。
- (4) 常酸素環境下と低酸素環境下において、実験1、2、および追加検証で得られたデータを参考に間欠的運動トレーニングを実施し、エネルギー供給能力、および高強度運動パフォーマンスに及ぼす効果について検証。

3. 研究の方法

- (1) 「異なる高強度間欠的運動におけるエネルギー供給動態の定量」に関する検討
被検者は、体育学専攻の男子大学生17名(21±1歳)であった。被検者は、30秒程度で疲労困憊に至る強度で10秒の運動を10秒の休息を挟んで反復する運動(10-10)および40秒程度で疲労困憊に至る強度で15秒の運動を10秒の休息を挟んで反復する運動(15-10)を、疲労困憊まで実施した。本実験では、それぞれの強度における持続的運動時、間欠的運動時の有酸素性・無酸素性エネルギー供給量を定量し、比較した。
- (2) 「至適プロトコルに基づく低酸素条件の影響」に関する検討
被検者は、体育学専攻の男子大学生17名(21±1歳)であった。被検者は、30秒程度で疲労困憊に至る強度で10秒の運動を10秒の休息を挟んで反復する運動(10-10)を疲労困憊まで実施した。尚、運動は海拔2500m相当の低圧低酸素環境下で実施された。実験では、それぞれの強度における持続的運動時、間欠的運動時の有酸素性・無酸素性エネルギー供給量を定量し、比較した。
- (3) 追加検証「より高強度短時間のプロトコルにおける間欠的運動時のエネルギー供給動態の定量」に関する検討
被検者は、男子大学陸上競技短距離選手10名(21±2歳)であった。運動様式は自転車エルゴメータ運動とし、ペダルの回転数は毎分90回転とした。運動強度は20秒程度で疲労困憊に至る強度とし、持続的運動、および間欠的運動(5秒の運動を5秒の休息を挟んで反復)を疲労困憊まで実施した。本実験では、それぞれの運動時の有酸素性・無酸素性エネルギー供給量を定量し、比較した。
- (4) 「常酸素環境下と低酸素環境下における至適間欠的運動トレーニングがエネルギー供給能力、および高強度運動パフォーマンスに及ぼす効果」に関する検討
体育学専攻の男子学生16名(21±2歳)を、ベースラインが同等となるように、常酸素群と低酸素群の2群(各8名)に分けた。トレーニングは、さらに検討を重ね、新たなトレーニングプロトコルを見出し、175%VO₂max強度における15秒の運動を10秒の休息をはさんで6回繰り返す間欠的運動トレーニングとした。この運動を20分の休息を挟んで1日2回、週4日の頻度で4週間行った。尚、低酸素群は海拔2500m相当の低圧低酸素環境下でトレーニングを実施した。トレーニング前後に、最大酸素摂取量、最大酸素借、60秒ウインゲートテスト、最大無酸素性パワーを測定した。

4. 研究成果

- (1) 30秒および40秒程度の持続的運動における実際の運動時間は30.2±1.3秒、38.1±2.1秒であり、そのときの運動強度はそれぞれ222±26%VO₂max、184±29%VO₂maxであった。ま

た、10-10、15-10における運動時間は、それぞれ 53.0 ± 8.4 秒、 56.1 ± 2.7 秒であり、両運動時間に有意な差はなかった。同じ強度における持続的運動と間欠的運動時の代謝特性を比較すると、運動時総酸素摂取量、総酸素借間は、いずれも間欠的運動の方が有意に高かった。一方、運動時の総酸素借から休息時過剰酸素摂取量を引いた間欠的運動時の真の酸素借は、持続的運動時の総酸素借と有意な差は認められず、最大酸素借の75%程度であった。

- (2) 常酸素環境、低酸素環境における絶対的運動強度は両環境において同じであり、 $511 \pm 72W$ であった。また、この強度をそれぞれの環境で得られた最大酸素摂取量に対する相対値で表すと、それぞれ $222 \pm 26\%V_{O_2max}$ 、 $266 \pm 33\%V_{O_2max}$ であった。このときの実際の運動時間は、 53.0 ± 8.4 秒、 48.9 ± 7.6 秒であり、低酸素環境で短い傾向にあったが、統計上有意な差ではなかった。両環境間における間欠的運動時の代謝特性を比較すると、運動時総酸素摂取量は低酸素環境において有意に低かったが、総酸素借においては、環境条件間に有意な差は認められなかった。
- (3) 持続的運動における実際の運動時間は 20.7 ± 1.3 秒であり、そのときの運動強度は $643 \pm 81W$ であり、 $279 \pm 42\%V_{O_2max}$ に相当した。また、間欠的運動における実運動時間は 32.5 ± 4.3 秒であり、持続的運動のそれより1.5倍ほど長かった。両運動における代謝特性を比較すると、運動時の総酸素摂取量、総酸素借間は、運動時間の長さの影響を受け、いずれも間欠的運動の方が有意に高かった。一方、運動時の総酸素借から休息時過剰酸素摂取量を引いた間欠的運動時の真の酸素借は、持続的運動時の総酸素借と有意な差は認められず、最大酸素借の70%程度であった。
- (4) トレーニング後、最大酸素摂取量および最大酸素借は、両群ともに有意に増加した。60秒ウインゲートテストにおける総仕事量についても、両群ともに有意に増加した。しかしながら、最大無酸素性パワーについては、低圧群のみ有意に増加した。

以上、本研究における成果の考察と結論を記す。

28年度は、水泳競泳の50m、100m、陸上競技の200、400mに類似した運動時間をシミュレートした際の運動強度を用い、1分程度で疲労困憊に至る2つの間欠的運動時の代謝特性を定量した。結果としては、どちらのプロトコルにおいても、間欠的運動時の総酸素摂取量、最高酸素摂取量は大きかったものの、無酸素性エネルギー供給系への刺激といえる真の酸素借は、持続的運動と差は認められなかった。このことから、本研究で用いた運動強度、運動時間、休息時間で疲労困憊まで実施した間欠的運動は、持続的運動よりも仕事量は大きくなるものの、仮説に反し、必ずしも両エネルギー供給系により大きな刺激を与え得る訳ではないことが明らかとなった。

29年度は、前年度の結果を踏まえ、代謝的により高い刺激が確認された30秒程度で疲労困憊に至る強度で10秒の運動を10秒の休息を挟んで反復する間欠的運動を低酸素環境で実施し、代謝特性を常酸素環境におけるそれと比較した。実験前には、低酸素環境では運動時総酸素摂取量が低下する分、無酸素性エネルギーを増大させて代償されると仮説を立てていたが、結果は仮説支持しなかった。

そこで追加実験として、より高い強度における代謝特性を検討するために、20秒程度で疲労困憊に至る運動強度で、5秒の運動を5秒の休息を挟んで反復する(30秒程度で疲労困憊に至る)間欠的運動時の代謝特性の定量を試みた。しかしながら、結果は仮説を支持せず、前の実験と同様であった。したがって、本実験で用いた運動強度、運動プロトコルでは、低酸素環境で実施しても、無酸素性エネルギー供給系により大きな刺激を与えることはできないという結論に至った。

30年度は、前々年度、前年度の結果を踏まえ、新たな強度、運動時間、休息時間、反復回数との組合せ(175% V_{O_2max} 強度における15秒の運動を10秒の休息をはさんで6回反復)によるプロトコルを用い、トレーニング実験を行った。その結果、今回のトレーニングプロトコルは酸素分圧条件の違いに関係なく、有酸素性および無酸素性エネルギー供給能力、および60秒ウインゲートテストのような1分程度で終了する高運動パフォーマンスの向上に対して効果的であることが明らかとなった。さらに、低酸素群では最大無酸素性パワーにおいても有意な向上が認められたことから、ハイパワーの向上に対しては、低酸素環境下での高強度インターバルトレーニングの方が、より効果的である可能性を示すことができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 2件)

Ogita, F., D. Yamanaka, K. Yotani, H. Tamaki. Effects of specific resistance swimming on drag, propulsive power and propelling efficiency. XIIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in swimming Proceedings; 305-309, 2018. (査読有)

荻田太. 水抵抗を測る, 体育の科学, 66: 276-279, 2016. (査読無)

〔学会発表〕(計 20 件)

Ogita, F. Training principle for Olympic swimmers before competition, TaiSP0 2019 Sports Nutrition Trends Forum, 2019 年

Ogita, F. Physiological adaptations to high-intensity exercise training, TaiSP0 2018 Fitness Trend Seminar, 2018 年

Ogita, F. Physiological adaptations to high-intensity interval training. Abstracts and full papers, International Conference for adaptations and Nutrition in Sports, (招待講演), 2018 年

荻田 太, 與谷謙吾. 20 秒程度で疲労困憊にいたる持続的運動と同一強度における間欠的スプリント運動時の代謝特性の比較. 日本体育学会第 69 回大会, 2018 年

Ogita, F., D.Yamanaka, K.Yotani, H.Tamaki. Effects of specific resistance swimming on drag, propulsive power and propelling efficiency. XIIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, 2018 年

大和谷健太, 荻田太, 與谷謙吾, 小原侑己, 柏木涼吾. 高強度持続的および間欠的運動トレーニングが 1 分程度で終了する運動パフォーマンスに与える効果. 第 31 回日本トレーニング科学会大会, 2018 年

荻田太. 高強度トレーニングのトライアスロンへの応用. 第 6 回 JTU トライアスロン研究会, (招待講演), 2017 年

荻田太, 與谷謙吾, 田巻弘之. 低圧低酸素環境下における短期間の高強度間欠的運動が血圧と動脈ステイフネスに及ぼす影響. 第 25 回日本運動生理学会大会, 2017 年

荻田太, 塩川勝行, 與谷謙吾. 間欠的運動時の運動強度漸増・漸減が代謝特性に及ぼす影響. 日本体育学会第 68 回体育学会, 2017 年

荻田太. 低酸素環境下での運動トレーニングがもたらす効果. 第 21 回酸素ダイナミクス研究会, (招待講演), 2017 年

大和谷健太, 荻田太, 與谷謙吾. 1 分程度の競技種目のパフォーマンス向上を目指したトレーニングプロトコルの開発, 第 30 回日本トレーニング科学会大会, 2017 年

荻田太. 低酸素における生理学的メカニズムについて. 第 20 回高所トレーニング国際シンポジウム, (招待講演), 2017 年

Ogita, F., K.Yotani, K.Shiokawa, N.Taguchi, H.Tamaki. Effects of sprint interval training under hypobaric hypoxic conditions on metabolic capacity and high-intensity exercise performance. 21th Annual Congress of European College of Sport Science, 2016 年

荻田太. 短時間高強度運動がもたらす生理学的効果. 第 24 回日本運動生理学会大会, (招待講演), 2016 年

荻田太, 塩川勝行, 與谷謙吾, 田巻弘之. 低酸素環境が休息時間の異なる間欠的運動時の代謝特性に及ぼす影響. 第 24 回日本運動生理学会大会, 2016 年

荻田太, 塩川勝行, 與谷謙吾, 田口信教. 30 秒程度で疲労困憊に至る持続的運動と同一強度における間欠的スプリント運動時の代謝特性の比較. 日本体育学会第 67 回大会, 2016 年

Ogita, F. High intensity intermittent training: Benefits on physical performance and obesity-related metabolic health. Joint Conference of Taiwan Society for Sports Nutrition and Chinese Taipei Association for the Study of Obesity, (招待講演), 2016 年

Ogita, F. Effects of high-intensity training on physiological adaptations and exercise performance -Additional effects of hypoxia-, 2016 Sport Science Seminar, (招待講演), 2016 年

荻田太. 競泳競技における高地トレーニングの実践と効果. 第 27 臨床スポーツ医学会学術集会, (招待講演), 2016 年

荻田太. 低酸素環境における水泳トレーニング, 第 19 回高所トレーニング国際シンポジウム 2016 in Gifu, (招待講演), 2016 年

〔図書〕(計 2 件)

荻田太: 持久的運動とインターバル運動は, どちらが効果的?, もっとなっとくつかえるスポーツサイエンス, 征矢英昭, 本山貢, 石井好二郎編, 講談社, 東京, pp8-9, 2017 年.

荻田太: 高地トレーニングは短距離選手には効果はないの?, もっとなっとくつかえるスポーツサイエンス, 征矢英昭, 本山貢, 石井好二郎編, 講談社, 東京, pp45-47, 2017 年.

〔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 0 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

研究分担者氏名：萬久 博敏
ローマ字氏名：MANKYU, Hirotoishi
所属研究機関名：鹿屋体育大学
部局名：スポーツ・武道実践科学系
職名：准教授
研究者番号（8桁）：50239167

研究分担者氏名：與谷 謙吾
ローマ字氏名：YOTANI, Kengo
所属研究機関名：鹿屋体育大学
部局名：スポーツ生命科学系
職名：講師
研究者番号（8桁）：10581142

(2)研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

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。