

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：17702

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560324

研究課題名(和文) 一流競泳選手の競技力向上を目指した低酸素環境下における高強度トレーニングの開発

研究課題名(英文) Development of high-intensity training under hypoxic conditions for improving sprint performance of elite swimmers

研究代表者

田口 信教 (Taguchi, Nobutaka)

鹿屋体育大学・スポーツ・武道実践科学系・教授

研究者番号：10171597

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、一流競泳選手のスプリントパフォーマンスを向上させるために至適なトレーニング環境、プロトコルを見出し、その効果を検証することであった。その結果、1分程度の持続的・間欠的運動の場合、有酸素性エネルギー供給機構への刺激は常酸素環境の方が、また無酸素性エネルギー供給機構への刺激は酸素分圧が低くなるほど大きいことが明らかとなった。そこで、海拔4000m相当の低酸素環境においてスプリントトレーニングを実施したところ、大幅な最大酸素借、最大推進パワー、それにとまなうスプリント運動パフォーマンスも、大きく向上することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：This study aimed 1) to develop optimal high-intensity interval training (HIT) under hypoxic conditions for improving sprint performance of elite swimmers, and 2) to confirm the effect of HIT under the hypoxic conditions. The results indicated that during both high-intensity continuous and intermittent exercise lasting ~1 minute, accumulated oxygen uptake was the largest in a normoxic condition, alternatively oxygen deficit became greater with decreasing oxygen partial pressure. In experiment 2, HIT under hypoxic conditions corresponding to 4000m above sea level was done, the greater improvement of sprint swimming performance associated with greater increases in maximal oxygen deficit and maximal propulsive power were observed, which suggests a beneficial effect of HIT under moderate hypoxic conditions.

研究分野：コーチ学

キーワード：低酸素環境 ー供給能力 スプリントトレーニング 低速-抵抗関係 代謝特性 一流競泳選手 最大推進パワー 無酸素性エネルギー

### 1. 研究開始当初の背景

ロンドンオリンピックで成功を収めた競泳選手をはじめ、多くのスポーツ競技選手が高地トレーニングを導入している。

従来、高地トレーニングは持久性運動能力の改善を目的として行われてきた。一方、近年の研究により、高地トレーニング後、耐乳酸能力の指標である筋の緩衝能が高まることが示され、これを裏付けるように、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が改善されたという結果も示されている。より近年の研究では、低酸素条件下では成長ホルモンが分泌されやすく、筋力トレーニング後の筋肥大も大きいことも明らかにされた。

これら直近の研究結果は、「高地トレーニングが持久的選手のみならず、スプリント選手へも応用可能である」ことを示唆するものである。仮に、それを科学的に実証できるならば、短時間高強度運動のレースを行う競泳選手に対して効果的トレーニング法となり、限界まで鍛錬されている一流選手にとっても、更なる向上を図る有効な手段になり得るであろう。しかしながら、現段階では、すおうりとトレーニングに対する至適な高地環境、プロトコルなどの検討例もなく、さらにはその効果の検証例も乏しいというのが現状である。

### 2. 研究の目的

本研究は、エネルギー供給系への至適なトレーニング条件の確立、およびその効果の検証を目指し、以下の2つの点について検討することを目的とした。

- (1) 「異なる低酸素環境下における持続的運動、間欠的運動時の有酸素性・無酸素性エネルギー代謝を定量し、各エネルギー供給系に対する至適トレーニング負荷条件を見出す」
- (2) 「実験1で得られた至適環境、トレーニング条件で実際にトレーニング効果を検証する」

### 3. 研究の方法

(1) 「異なる低酸素環境における高強度運動時のエネルギー供給動態」に関する検討

被検者は、日本選手権、あるいは日本学生選手権等に出場経験のある良く鍛錬された競泳選手とした。運動条件は以下の通りとし、各運動時の酸素摂取量および酸素借、休息時の過剰酸素摂取量、真の酸素借を定量した；①常酸素環境、海拔2000m、3000m相当の低圧低酸素環境下で、1分程度で疲労困憊に至る持続的運動と、10秒の休息を挟みながら10秒の運動を6回繰り返す高強度間欠的運動、②常酸素環境と海拔4000m相当の低圧低酸素環境下で、10秒の休息を挟みながら5秒の運動を5回程度繰り返すスプリント間欠的運動。

(2) 「至適条件の基づく低酸素環境下での高強度トレーニングの効果」に関する検討

被検者は、国際大会、日本選手権、日本学生選手権等に出場経験のある大学競泳選手14名とし、体力レベルが類似するように常酸素群と低酸素群に分けた。スプリントトレーニングは、週5日の頻度で4週間、加減圧調整可能流水プールにおいて行われた。トレーニングプロトコルは、25年度の結果を基に、10秒程度維持できる流速(250-300%VO<sub>2</sub>max)で、5秒間の運動を10秒の休息を挟みながら5回繰り返す間欠的運動とし、被検者は20分の休憩を挟んでこれを1日に2回行った。また、低酸素群は海拔4000m相当の低圧低酸素環境下で実施した。トレーニング前後に、エネルギー供給能力、力学的特性、スプリント泳パフォーマンス、およびそのときのストローク指標を測定した。

### 4. 研究成果

(1) 同一プロトコルの運動における運動強度、運動持続時間は、常酸素環境と低酸素環境の間に有意な差は認められなかった。しかしながら、最高酸素摂取量、総酸素摂取量は、高度の上昇に伴って低い値を示し、常酸素条件と3000m条件、4000m条件の間に有意な差が認められた。これに対し、総酸素借、酸素借形成速度、真の酸素借は、高度の上昇におもなると高くなる傾向を示し、4000m条件では、常酸素環境より有意に高い値となった。また、同一環境における持続的運動と間欠的運動を比較すると、最高酸素摂取量、総酸素摂取量は両者間に有意な差は認められなかったが、酸素借、および酸素借形成速度は、間欠的運動において高く、それは低酸素条件が厳しくなるほど顕著となった。

以上の結果より、1分程度で疲労困憊に至る運動条件を用いた場合、有酸素性エネルギー供給機構により大きな刺激を与えるには、持続的運動、間欠的運動ともに、常酸素環境が最も適した環境であること、一方、無酸素性エネルギー供給機構に対しては、量的にも速度的にも、低酸素条件が厳しくなるほど高い刺激を与え得ることが明らかとなった。したがって、どちらのエネルギー供給系を主として向上させるか、目的に応じて至適環境を変える必要があると考えられる。

(2) 4週間のトレーニング後、最大酸素摂取量は常酸素群のみ有意に増加した。一方、最大酸素借は両群ともに有意に増加したが、その増加は低酸素群の方が大きかった。各被検者の泳速-抵抗関係より得られた抵抗係数と抵抗指数は、両群ともに有意な変化は認められなかったが、最大推進パワーは低酸素群のみ有意に増加した。50m、100m泳記録に関しては、両群ともに有意に向上していたが、記録の向上は低酸素群の方が大きい傾向を示した。また、低酸素群の泳速の増大は、ス

トローク頻度の増加によってもたらされていた。

以上の結果より、本実験で用いられたスプリントトレーニングは、泳技術を反映するような抵抗指標については変化をもたらさないものの、特に低酸素環境下での実施は、無酸素性エネルギー供給能力および最大推進パワーの向上により効果的であり、常酸素環境下でのそれよりも、短距離泳パフォーマンス改善に有効であることが示唆された。

以上をまとめると、

- ①1分程度で終了する運動プロトコールの場合、絶対的運動強度、運動持続時間は、酸素分圧の影響を受けず、差はない。しかしながら、有酸素性エネルギー供給機構への刺激は、持続的運動、間欠的運動にかかわらず、常酸素環境の方が高く、無酸素性エネルギー供給機構への刺激は、酸素分圧の低い環境ほど大きいことが明らかとなった。
- ②非常に短時間で終了する高強度スプリントトレーニングは、常酸素環境下で行えば最大酸素摂取量の増大が期待でき、比較的厳しい低酸素環境下で行った場合、大幅な最大酸素借、最大推進パワーの増大が期待できる。また、スプリント運動パフォーマンスは両環境で向上するが、その伸びは低酸素環境下の方が大きく、それは無酸素性エネルギー供給能力、最大パワーの増大に起因していることが示唆された。

#### 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 6 件)

- ① 荻田太. 低酸素における高強度トレーニングの効果. 第 17 回高所トレーニング国際シンポジウム 2013 in Hida-Ontake, Gifu 総集編, 査読無, :25-28, 2014.
- ② Ogita,F., M.Nishiwaki, K.Kurobe, Z.Huang, H.Tamaki, K.Yotani, K.Saito. Effects of intermittent hypobaric hypoxic exercise for four weeks on cardiovascular responses. *Adaptive Med.*, 査読有, 6:124-130, 2014.
- ③ S.Moriyama, F.Ogita, Z.Huang, K.Kurobe, A.Nagira, T.Tanaka, H.Takahashi, Y.Hirano. Intra-abdominal pressure during swimming. *Int.J.Sports Med.*, 査読有, 35: 159-163, 2014.
- ④ Ogita,F., Z.Huang, K.Kurobe, G.Ozawa, A.Nagira, K.Yotani, N.Taguchi, H.Tamaki. Effects of sprint interval training on metabolic, mechanical characteristics and swimming performance. *Proceedings of the XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming*. 査読有, :453-457, 2014.
- ⑤ 荻田太. 水泳の低酸素トレーニング, 体育の科学, 査読無, 63: 393-398, 2013.

- ⑥ 荻田太. 低酸素トレーニングとアネロビックキャパシティ, 体育の科学, 査読無, 63: 313-318, 2013.

[学会発表] (計 9 件)

- ① 村中まいか, 鷲野壮平, 高山史徳, 萬久博敏, 與谷謙吾, 荻田太. 試合期における流水プールでのスプリントトレーニングの実践と効果の検証. 第 27 回日本トレーニング科学会大会. 2014 年 11 月. 産業技術総合研究所臨海副都心センター (東京都江東区)
- ② 荻田太, 與谷謙吾, 田口信教, 黒部一道, 黄忠, 柳楽晃. 球技選手の走パフォーマンス向上を目指したスプリント走トレーニングの効果. 日本体育学会第 65 回大会. 2014 年 8 月. 岩手大学 (岩手県盛岡市)
- ③ Ogita,F., A.Nagira, K.Yotani, K. N.Taguchi, H.Tamaki. Effects of repetitive short-term hypoxic training on metabolic risk factors. 19th Annual Congress of European College of Sport Science. 2014 年 7 月. Amsterdam RAI Convention Centre (Amsterdam, The Netherlands)
- ④ Ogita,F., Z.Huang, K.Kurobe, G.Ozawa, A.Nagira, K.Yotani, N.Taguchi, H.Tamaki. Effects of sprint interval training on metabolic, mechanical characteristics and swimming performance. XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming 2014 年 4 月. Australian Institute of Sport (Canberra, Australia)
- ⑤ Moriyama,S., S.Kanazawa, K.Yamagata, Y.Kitagawa, F.Ogita. Comparison of intra-abdominal pressure between trained and recreational swimmers during maximal front crawl swimming. XIIth International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming 2014 年 4 月. Australian Institute of Sport (Canberra, Australia)
- ⑥ 荻田太. 低酸素環境における高強度トレーニングの効果, 第 17 回高所トレーニング国際シンポジウム 2013 in Hida-Ontake, Gifu, 2013 年 10 月. 下呂市濁河温泉高原スポーツレクリエーションセンター (岐阜県下呂市)
- ⑦ 荻田太. 競泳競技における高地トレーニング効果. 第 68 回日本体力医学会大会, 2013 年 9 月. 日本教育会館、学術総合センター (東京都千代田区)
- ⑧ 荻田太, 與谷謙吾, 田中孝夫, 田口信教, 柳楽晃, 黒部一道, 西脇雅人, 田巻弘之. 低圧環境下における競泳スプリントトレーニングが力学的指標およびストローク指標に及ぼす影響. 日本体育学会第 64 回大会, 2013 年 8 月. 立命館大学びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市)

- ⑨ F.Ogita, K.Kurobe, Z.Huang, A.Nagira, M.Nishiwaki, K.Yotani, T.Tanaka, H.Tamaki. Effects of exercise type performed under hypobaric hypoxic conditions on blood pressure and vascular adaptations. 18th Annual Congress of European College of Sport Science, 2013年6月, Institute Nacional d'Educació Fisica de Catalunya (Barcelona, Spain).

[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：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

田口 信教 (TAGUCHI Nobutaka)  
鹿屋体育大学・スポーツ・武道実践科学系・教授  
研究者番号：10171597

### (2) 研究分担者

萩田 太 (OGITA Futoshi)  
鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系  
研究者番号：50224134

田中 孝夫 (TANAKA Takao)  
鹿屋体育大学・スポーツ・武道実践科学系・教授  
研究者番号：60274867  
削除：平成26年3月18日

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：