

令和元年6月12日現在

機関番号：17702

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03234

研究課題名(和文)メタボリック症候群の改善をねらいとした高強度間欠的低酸素トレーニングの試み

研究課題名(英文) Developments of high-intensity intermittent training under hypoxic conditions for improving cardiovascular and metabolic risk maker

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) 12,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、様々な条件の高強度間欠的低酸素トレーニングがメタボリック症候群の危険因子改善に与える効果について検証することであった。トレーニングは、海拔2000m～2500m相当の低酸素環境において、100%～220%VO<sub>2</sub>maxの相当の高強度で実施された。その結果、疲労困憊に至らないトレーニングでは、ほぼ全ての指標において有意な改善は認められなかったが、疲労困憊まで実施するトレーニングでは、心血管系指標、身体組成の有意な改善が認められた。以上の結果より、高強度間欠的低酸素トレーニングは、疲労困憊まで実施すると、メタボリック症候群の危険因子を効果的に改善させることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、メタボリック症候群の危険因子改善をねらいとして、高強度間欠的低酸素トレーニングの効果を検証した。その結果、低酸素環境下における高強度運動であっても、疲労困憊に至らないプロトコルでは効果が乏しいということが示唆された。ネガティブデータであり、そのメカニズムについても明らかではないが、この点は学術的意義が深い。また、疲労困憊に至る運動に限れば、酸素レベルに関係なく効果が得られやすいこと、さらに循環応答、身体組成の改善には低酸素刺激がより効果的であることが示され、時間効率の良い運動処方新たに例示できたことは社会的に意義が大きいと思われる。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to clarify the effects of various high-intensity intermittent training (HIIT) under hypoxic conditions on cardiovascular and metabolic risk makers. In this study, 4 types of HIIT were done under 2500m above sea level. Those protocols were as follows; 1) six 10s-bout at 220%VO<sub>2</sub>max with 10s rest, 2) ten 20s-bout at 150%VO<sub>2</sub>max with 40s rest, 3) ten 1min-bout at 100%VO<sub>2</sub>max x 10 with 1min rest, 4) six or exhaustive 15s-bout at 175%VO<sub>2</sub>max with 10s rest. Each training was done 4 days a week for 4 weeks. As the results, HIIT (Tr.1 to 3) that the subjects did not reach exhaustion did not improve any factors, but that exhaustive HIIT (Tr.4) improved significantly cardiovascular function and body composition. Our results suggest that it is very beneficial and effective to perform exhaustive HIIT to improve effectively cardiovascular and metabolic risk factors. In other words, inexhaustive HIIT would be less effective even though it is done under hypoxic conditions.

研究分野：運動生理学

キーワード：トレーニング科学 高強度間欠の運動トレーニング 低酸素環境 メタボリック症候群

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

### 1. 研究開始当初の背景

有酸素性運動が、体力増進、メタボリック症候群の予防・改善に効果的であることは既知の事実である。我々の研究室では、『低酸素環境下における中強度の持続的運動』の実施が、同様の常酸素トレーニングと比較して、より短期間で動脈スティフネス・血圧の低下、血管内皮機能の向上をとともなう血管拡張能の増大、腹部内臓脂肪低下による身体組成の改善、耐糖能の向上など、メタボリック症候群の危険因子を効果的に改善させることを報告してきた。

一方、近年、中強度持続的運動とは対極に位置する高強度間欠的運動においても、心肺機能、血管内皮機能、骨格筋における糖・脂質代謝能、耐糖能の向上といった、メタボリック症候群の危険因子改善に関するエビデンスが、次々と報告されてきている。しかも、これらの高強度間欠的運動におけるエネルギー消費量や運動に費やす時間は、持続的運動と比較すると非常に少ないことから、時間効率の良いトレーニング法として注目を浴びている。

しかしながら、高強度間欠的運動といっても、未だ標準化されたプロトコールはないため、至適な強度、運動時間、反復回数、休息时间などのプロトコールを見出すことは、直近の重要課題といえる。また、我々が効果を報告してきた低酸素条件と適切に組合すことによって、より高い効果も期待できるが、この領域に関する報告はみあたらない。仮に、高強度間欠的低酸素運動がより早期の適応を促し、効果を増幅させるならば、多忙な日常生活人にとっても、時間的効率のよい、極めて実用的となることが期待される。

### 2. 研究の目的

本研究では、メタボリック症候群の危険因子改善に効果的な高強度間欠的低酸素トレーニングプログラムを確立することを目的とし、さまざまな高強度間欠的運動、低酸素環境でトレーニング実験を実施し、その効果について検証した。

- (1) 低圧低酸素環境下における低強度持続的運動と高強度間欠的運動が、メタボリックシンドロームの諸危険因子に及ぼす影響について比較検討。
- (2) 前年度の結果を踏まえ、さらに高い運動強度、短時間で終了する高強度間欠的運動トレーニングを加えた3つのプロトコールにおけるトレーニングが、メタボリックシンドロームの諸危険因子に及ぼす影響について比較検討。
- (3) 過去2年間の結果を踏まえ、常酸素環境下と低酸素環境下においてさらに工夫を施した高強度間欠的運動トレーニングが、メタボリックシンドロームの諸危険因子に及ぼす影響について検証。

### 3. 研究の方法

- (1) 「低強度持続的運動と高強度間欠的運動がメタボリックシンドロームの諸危険因子に及ぼす影響」に関する検討

被検者は健康な成人男性 16 名 (22 ± 2 歳) とし、無作為に 2 群に分けた。被検者は、50%VO<sub>2</sub>max 強度で 30 分間の低強度持続的運動 (低強度群) あるいは 30 秒程度で疲労困憊に至る強度で 10 秒の運動を 10 秒の休息を挟みながら 6 回繰り返す高強度間欠的運動 (1 日 2 回: 高強度群) のいずれかを、海拔 2500m 相当の低圧環境において実施した。運動はいずれも自転車エルゴメータ運動とし、週に 5 日、2 週間実施した。トレーニング前後に、最大下強度運動時の循環系応答、動脈スティフネス、身体組成、耐糖能について評価した。

- (2) 「3つの異なるプロトコールにおける高強度間欠的運動トレーニングが、メタボリックシンドロームの諸危険因子に及ぼす影響」に関する検討

健康な成人男性 25 名 (22 ± 2 歳) を無作為に 3 群に分け、各群は以下のいずれかのトレーニングを行った; 1) 220%VO<sub>2</sub>max 強度で 10 秒の運動を 10 秒の休息を挟みながら 6 回繰り返す運動 (1 日 2 回: Tr1)、2) 150%VO<sub>2</sub>max 強度で 20 秒の運動を 40 秒の休息を挟みながら 10 回繰り返す運動 (Tr2)、3) 100%VO<sub>2</sub>max 強度で 1 分の運動を 1 分の休息を挟みながら 10 回繰り返す運動 (Tr3)。運動は自転車エルゴメータ運動とし、週に 4 日、4 週間実施した。トレーニング前後に、血圧、動脈スティフネス、身体組成、血中脂質、耐糖能について評価した。

- (3) 「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、メタボリックシンドロームの諸危険因子に及ぼす影響」に関する検討

被検者は健康な成人男性 20 名 (21 ± 2 歳) とし、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 10 名) に分けた。トレーニングは、175%VO<sub>2</sub>max 強度における 15 秒の運動を 50%VO<sub>2</sub>max 強度における 10 秒の動的休息をはさんで 6 回繰り返すインターバル運動トレーニングとし、これを 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、血圧、動脈スティフネス、身体組成、血中脂質、耐糖能について評価した。

### 4. 研究成果

- (1) トレーニング後、低強度群では、運動時の 1 回拍出量、心拍出量の有意な増大、血圧、総末梢抵抗 (平均血圧 / 心拍出量) の有意な低下が認められた。さらに、動脈スティフネスも有意に低下した。さらに、糖負荷試験によって評価されたインスリン感受性の有意な改

善が認められ、体重、体脂肪率、腹膜前脂肪厚も有意に低下した。一方、高強度群では、運動時の1回拍出量の有意な増加、末梢抵抗の低下傾向、および腹膜前脂肪厚の有意な低下が認められたが、インスリン感受性、体重等には有意な変化は認められなかった。

- (2) トレーニング後、Tr1 群では、腹膜前脂肪厚以外、すべての指標において有意な変化は認められなかった。Tr2 群では、体重、腹膜前脂肪厚に有意な低下が認められ、さらに安静時血圧、インスリン感受性においても群内 1、2 名を除き、改善傾向が示された。Tr3 群においても、Tr2 群と類似した傾向が示されたが、必ずしも統計上有意な変化には至らなかった。
- (3) 低酸素群では安静時、最大強度運動時における拡張期血圧、平均血圧、および動脈スティフネスの有意な低下が認められた。身体組成(体重、体脂肪率、腹壁皮下脂肪厚、腹膜前脂肪厚)、中性脂肪は両群とも有意に低下した。耐糖能については、常酸素群においてのみ有意な改善が認められた。

以上、3 年間の本研究の成果に関する考察および結論を記す。

従来の我々の研究成果と同様、海拔 2500m 相当の低圧低酸素環境における低強度持続的運動では心血管、代謝諸指標に関する有意な改善が認められた。しかしながら、28 年度から 29 年度にかけて、100%~220%VO<sub>2</sub>max に至るまで様々な強度を用い、さらに主運動時間、休息时间、反復回数を変えた 4 つの異なるプロトコルで短時間高強度間欠的運動トレーニングを行ったが、顕著な改善は認められなかった。本結果には、被検者のトレーニング前の身体状況(全員が健康で正常範囲内)が影響していたことも考えられ、対象者、運動強度、運動時間、トレーニング期間、低酸素のレベルなどを変えるなど、さらなる多角的な検討課題が残った。

そこで、30 年度には過去 2 年間の結果を踏まえ、間欠的運動時の休息を完全休息から動的休息に変え、より高い運動刺激を負荷することを試みた。さらに、前年度までのプロトコルは安全性を考慮し、疲労困憊まで運動を実施することはなかったが、30 年度は毎回の疲労困憊に至るに至らしめた。その結果、低酸素環境下における高強度間欠的運動トレーニングにおいて、血圧や動脈スティフネスを低下させるなど、心血管系指標の改善が認められた。このことは、血管内皮機能の改善に低酸素刺激の貢献が大きかったものと考えられる。一方、常酸素環境下におけるトレーニングでは耐糖能の改善が観察された。このことは、低酸素条件よりもより高い絶対的強度で実施できたこと、あるいは総仕事量が大きかったことに起因しているかもしれない。身体組成や血中脂質においては両群で同程度の改善がみられたことから、環境刺激よりも、高強度トレーニングそのものの効果を反映する可能性が示唆された。

## 5. 主な発表論文等

### 〔雑誌論文〕(計 3 件)

Kurobe, K., A. Kousaka, F. Ogita, N. Matsumoto. Comparison of carbohydrate metabolism between land and aquatic exercise following glucose ingestion. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*. 38(2):227-232, 2018. Mar;38(2)doi: 10.1111/cpf.12404. Epub 2016 Dec 26. (査読有)

Ogita, F., Beneficial effects of hypoxic exercise on cardiovascular and metabolic risk markers. *Adapt. Med.* 9:114-118, 2017. DOI: 10.4247/AM.2017.ABH184. (査読有)

Nishiwaki, M., R. Kakami, K. Saito, H. Tamaki, F. Ogita. The effects of exercise training under mild hypoxic conditions on body composition and circulating adiponectin in postmenopausal women. *Clin. Physiol. Funct. Imaging*, 36:468-475, 2016. doi: 10.1111/cpf.12252. Epub 2015 May 27. (査読有)

### 〔学会発表〕(計 15 件)

荻田太, 大和谷健太, 與谷謙吾, 田巻弘之. 低圧低酸素環境下での 100%VO<sub>2</sub>max 強度における間欠的運動が耐糖能、血中脂質、身体組成に及ぼす影響. 第 73 回日本体力医学会大会, 2018 年

Ogita, F. Physiological adaptations to high-intensity exercise training, TaiSP0 2018 Fitness Trend Seminar, (招待講演), 2018 年

Ogita, F., K. Yotani, H. Tamaki. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity interval training under hypoxic conditions on metabolic risk markers. 23th Annual Congress of European College of Sport Science, 2018 年

荻田太. 水中運動と陸上運動の違いから考える水泳選手の栄養戦略-エネルギー代謝を中心として-, 日本スポーツ栄養学会第 5 回大会, (招待講演), 2018 年

荻田太, 與谷謙吾, 田巻弘之. 低圧低酸素環境下での 100%VO<sub>2</sub>max 強度における間欠的運動が血圧と動脈スティフネスに及ぼす影響. 第 26 回日本運動生理学会大会, 2018 年

Ogita, F., K. Yotani, K. Goto, K. Katayama, H. Tamaki. Effects of cycling exercise and aquatic exercise in hypobaric hypoxia on vascular adaptations and glucose tolerance. 22th Annual Congress of European College of Sport Science, 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, 與谷謙吾, 田巻弘之. 低圧低酸素環境下における短時間高強度間欠的運動が耐糖能、血中脂質、身体組成に及ぼす影響. 第 72 回日本体力医学会大会, 2017 年

Ogita, F. Beneficial effects of hypoxic exercise on cardiovascular and metabolic risk markers. Eighth Cross-Strait Symposium on Hypoxia and Dietetics, (招待講演), 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

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

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, 黒部一道, 黄忠, 與谷謙吾, 田巻弘之. 低圧環境下で行う運動のタイプが糖処理能、血中脂質、身体組成に与える影響. 第 71 回日本体力医学会大会, 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

#### 〔図書〕(計 1 件)

荻田太: 低酸素でのトレーニングは、健康を害すことはないの? , 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, pp144-145, 2017 .

#### 〔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: 片山 敬章

ローマ字氏名: KATAYAMA, Keisho

所属研究機関名: 名古屋大学

部局名: 総合保健体育科学センター

職名: 教授

研究者番号 (8 桁): 40343214

研究分担者氏名：後藤 一成  
ローマ字氏名：GOTO, Kazushige  
所属研究機関名：立命館大学  
部局名：スポーツ健康科学部  
職名：教授  
研究者番号（8桁）：60508258

研究分担者氏名：添嶋 裕嗣  
ローマ字氏名：SOEJIMA, Yuji  
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：教授  
研究者番号（8桁）：00295239

(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。