

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：17702

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350767

研究課題名(和文)低酸素トレーニングに対する循環代謝機能の経時変化とその効果の持続性に関する研究

研究課題名(英文)Time course of improvements in cardiovascular and metabolic risk makers to exercise training with various conditions under hypoxic conditions and detraining

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、異なる条件の低酸素トレーニングに対する循環・代謝諸指標の経時的変化とその効果の持続性について明らかにすることであった。その結果、低酸素環境下での運動は、短期間のうちに血圧、動脈ステイフネスの低下といった心血管応答の改善、ならびに耐糖能の改善を誘発し、その効果は脱トレーニング8週後にも維持されることが明らかとなった。また、運動強度は50%VO₂maxで十分効果があること、海拔2000mよりも2500m相当の環境の方がより短期間のトレーニングで効果が得られ、さらに2週間の脱トレーニングを挟んで反復しても、その効果は維持、あるいはさらに増大されることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to clarify time course of improvements in cardiovascular and metabolic risk makers to exercise training with various conditions under hypoxic conditions and detraining. The results indicated that exercise training under hypoxic conditions induce more effectively improvements in cardiovascular and metabolic risk factors compared to the exercise under normal conditions, and that the improved risk factors are maintained for 8 weeks following cessation of the training. Also, the improvements after the training did not differ in the range of intensities from 50% to 60% of VO₂max, and obtained within shorter period under hypoxic conditions corresponding to 2500m above sea level when compared to the exercise under 2000m above sea level. Furthermore, the repetitive short-term (i.e. 4 days) hypoxic training with 2 weeks of detraining could improve cardiovascular and metabolic risk factors.

研究分野：運動生理学

キーワード：トレーニング科学 低圧低酸素環境 メタボリックシンドローム 心血管応答 耐糖能 身体組成 経時的変化

1. 研究開始当初の背景

国や地方自治体が医療費削減を目指して久しいが、その効果も薄く、現在も「生活習慣病」疾患患者、あるいは「メタボリックシンドローム」該当者は減少の傾向を見せない。このような社会問題を解決すべく、「無理なく手軽に行え、かつ短期間で生活習慣病を予防・改善させ得る運動処方を開発すること」は、スポーツ医学が担う急務課題といえる。

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、中強度での低酸素トレーニングを4-8週間ほど行うと、常酸素環境で行う同様のトレーニングより、動脈ステイフネスや血圧がより効果的に低下すること、血管内皮機能の向上による血管拡張能の増大、および心拍出機能が向上することを見出してきた^{6,7)}。また、低酸素トレーニングでは糖輸送体が増大することも明らかにされており、我々もインスリン感受性の有意な向上、一過性の運動に対する糖利用の亢進を確認している^{1,2,3)}。これらの適応は、酸素運搬能を高め、筋内の炭水化物蓄積に有利に作用することから、従来の低酸素トレーニングの目的である持久的運動能力の向上にとって有益な知見である。同時に、高血圧、心筋梗塞などの心血管疾患、ならびに糖尿病に対する予防・改善への有効性を示唆するものでもあり、近年では新たな運動処方の手段としての低酸素トレーニングの応用研究が国内外で広がりつつある^{4,5,8)}。

2. 研究の目的

本研究は、対象とするメタボリックシンドロームの危険因子改善に対して至適なトレーニングプログラムを確立することを目的とし、以下に示すような種々の条件下で行った「低酸素トレーニングに対する循環・代謝機能の経時的変化とその効果の持続性」について明らかにすることを目的とした。

- (1) 「異なる強度での運動トレーニング」を実施し、循環・代謝指標の経時的変化、および脱トレーニング後の効果の持続性について明らかにする。(25年度)
- (2) 実験1でより効果の高かった強度を用い、「異なる低酸素環境下でトレーニング」を実施し、各指標の経時的変化、および効果の持続性について比較検討する。(26年度)
- (3) 実験1、2で得られた至適条件において、「脱トレーニング期間を挟みながら短期間のトレーニングを反復実施」し、各指標の経時的変化、および効果の持続性について検討する。(27年度)

3. 研究の方法

(1) 目的1に対する検討(実験1)

被検者は健康な成人男性12名(27±7歳)とし、50%VO₂max強度(50%群)、または

60%VO₂max強度(60%群)でトレーニングを行う2群に分けた。トレーニングは、両群ともに海拔2000m相当の低圧低酸素環境下において1回30分、週4日の頻度で、4週間行われ、強度間における効果の程度が比較された。

(2) 目的2に対する検討(実験2)

被検者は健康な成人男性24名(23±1歳)とし、常圧環境(常圧群)、海拔2000m相当(低圧1群)、2500m相当(低圧2群)の低圧低酸素環境でトレーニングを行う3群に分けた。トレーニング強度は、実験1の結果より、50%VO₂max強度と60%VO₂max強度の間に効果の差が認められなかったので、実験2ではそれぞれの環境における50%VO₂max相当の強度を用い、1回30分、週3日の頻度で、8週間行われた。トレーニング前後の測定値により、低圧低酸素条件間のトレーニング効果の比較が行われた。

(3) 目的3に対する検討(実験3)

被検者は健康な成人男性14名(24±3歳)とし、無作為に2群に分けた。被検者は、常圧環境(常圧群)、または実験2の結果よりよりよい環境と選択された海拔2500m相当の低圧低酸素環境(低圧群)において、それぞれの環境で測定された50%VO₂max強度30分間の水中運動を4日間連続で実施した。さらに2週間の脱トレーニングを挟んで、同様の4日間連続のトレーニングを2期反復した。測定は、トレーニング2期の前後に行われ、短期間のトレーニングを反復した際の、各危険因子の経時的変化を評価した。

すべての実験において、安静時および同一最大下強度運動(トレーニング前の50%VO₂max強度)時の循環系応答、血中脂質、耐糖能(経口糖負荷試験)、身体組成を測定した。

4. 研究成果

(1) 実験1の成果

4週間のトレーニング後、最大酸素摂取量は60%群のみ有意に増加した(P<0.05)。また、最大下運動時の循環系応答については、両群ともにトレーニング開始2週間後には、1回拍出量、心拍出量の有意な増大、および最低血圧、平均血圧、総末梢抵抗(血圧/心拍出量)の有意な低下(P<0.05)が観察され、これらの変化は、トレーニング終了まで維持された。また、脱トレーニング8週間においても、トレーニング後の値は維持された。これら心血管系応答の変化は、血管内皮機能の向上に伴う末梢血管抵抗、血圧の低下が、心臓ポンプへの負担を軽減させたことに起因すると考えられる。一方、血中脂質、関しては、もともと標準範囲であったためか、実験期間を通じて有意な変化は認められなかった。耐糖能に関しては、経口糖負荷試験後3時間の血糖値のアンダーカーブ面積には有意な変化は認められなかったが、インスリン濃度のアンダーカーブ面積は低下傾向を示し、安静時血糖値が標準範囲

内にある対象者に対しても、改善傾向が示された。

実験1の結果より、低圧低酸素環境下での運動は、短期間のうちに末梢血管抵抗、血圧の低下、それに伴う1回拍出量、心拍出量の増大といった心血管応答の変化を誘発し、その変化は脱トレーニング8週後も維持されることが明らかとなった。また、運動強度に関しては、50%VO₂max で十分な効果が得られることも明らかとなった。

(2)実験2の成果

8週間のトレーニング後、常圧群においてはすべての指標において有意な変化は認められなかった。低圧1群においても、トレーニング開始4週後までは有意な変化は認められなかったが、8週後には最大下運動時の1回拍出量、心拍出量の有意な増大、および最低血圧、平均血圧、総末梢抵抗（血圧/心拍出量）の有意な低下（P<0.05）が観察された。しかしながら、血中脂質、耐糖能に関しては有意な変化は認められなかった。腹部内臓脂肪量の指標である腹膜前脂肪厚に関しては、8週後に有意に低下した（P<0.01）。一方、低圧2群では、トレーニング4週間後で低圧1群と同様の循環系応答の有意な変化が認められ、さらに耐糖能についても有意な改善が認められたが、血中脂質には有意な変化は認められなかった。腹部内臓脂肪は、トレーニング開始4週後には有意な低下が認められた（P<0.05）。また、低圧1群、2群ともに、脱トレーニング8週後においても心血管系応答に関してはトレーニング後の値が維持されたが、腹部内臓脂肪厚はトレーニング前より低い傾向は示したものの、有意な差は消失していた。

実験2の結果より、低圧低酸素環境下での運動は、常圧環境下のそれより短期間のうちに末梢血管抵抗、血圧の低下、それに伴う1回拍出量、心拍出量の増大といった心血管応答の変化、および耐糖能、身体組成の改善を誘発し、その変化は概ね脱トレーニング8週後までは維持されることが示された。また、その経時的変化も低圧低酸素のレベルによって影響され、海拔2000mよりも2500m相当の環境の方がより早期から効果が得られることも明らかとなった。

(3)実験3の成果

2期のトレーニング後、常圧群には、運動時1回拍出量の有意な増大（P<0.05）を除き、他の指標に有意な変化は認められなかった。低圧群では、第1期トレーニング後に、運動時の1回拍出量、心拍出量の有意な増大、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（P<0.05）。さらに、上腕-足首間脈波伝播速度も有意な低下が認められ（P<0.05）、それらの値は2週間の脱トレーニングを挟んでも、トレーニング終了まで変わらなかった。代謝指標への影響としては、第1期トレーニング後に経口糖負荷試験によって評価されたインスリンアンダーカーブ面積が

有意に低下し（P<0.05）、第1期トレーニング後には血糖値アンダーカーブ面積の有意な低下も認められた（P<0.05）。身体組成に関しては、第1期トレーニング後に体重、体脂肪率、腹膜前脂肪厚も有意に低下し（P<0.05）、その効果はトレーニング後まで維持、あるいは増大傾向にあった。血中脂質は、トレーニング期間を通じて有意な変化は認められなかった。

実験3の結果より、海拔2500m相当の低圧低酸素環境ならば、比較的短期間のトレーニングにおいても動脈ステイフネス、運動時末梢抵抗を有意に低下させ、耐糖能、身体組成の改善に対しても効果が得られること、また2週間の脱トレーニングを挟んで反復しても、その効果は維持、あるいはさらに増大されることが示唆された。

以上まとめると、メタボリックシンドロームの危険因子改善に対して、より効果的な低圧低酸素環境下におけるトレーニング条件としては、以下のことが明らかとなった。

- ① より効果的に心血管系応答、身体組成、耐糖能などの改善を促し、週4日の運動頻度であれば、運動強度は50%VO₂max で十分な効果が得られる。
- ② 各危険因子の改善には低圧低酸素環境のレベルも影響し、海拔2000mよりは海拔2500mの方が、より短期間で効果が得られる。
- ③ 海拔2500m相当の低圧低酸素環境では、比較的短期間のトレーニング（1週間以内）においても各危険因子の改善が認められ、また2週間の脱トレーニングを挟んでそれを反復しても、その効果は維持、あるいはさらに増大される。

これらの研究成果は、毎年国内外で発表し、近年では国際シンポジウムのテーマにも取り入れられるようになってきた。今後の展望としては、これらの現象を引き起こす危険因子毎の改善メカニズムについて、生化学、遺伝子生物学的研究を含めて解明していく必要があるだろう。

<引用文献>

- ① Fujimoto-Takai, E., S.Yonetsu, Nagira,A. Kurobe,K., Z.Huang, H.Takekura, F.Ogita. Effects of hypobaric hypoxic exercise on insulin sensitivity in spontaneously diabetic Torii rats, Proceedings of International Symposium in NIFS 2012 “Hypoxic Training and Metabolic Syndrome”:116-125, 2012
- ② Katayama,K., K.Goto, K.Ishida, F.Ogita. Substrate utilization during exercise and recovery at moderate altitude. Metabolism, 59:959-966, 2009
- ③ Kawakami,R., M.Nishiwaki, H.Tamaki, K.Saito, F.Ogita. Effects of exercise training under hypobaric hypoxic conditions on insulin sensitivity in postmenopausal women, Proceedings of International Symposium in NIFS 2012 “Hypoxic Training and Metabolic

- Syndrome”: 93-104, 2012
- ④ Lee ,W.C., J.J.Chen, D.D.Hunt, C.W.Hou, Y.C.Lai, F.C.Lin, C.Y.Chen, C.H.Lin, Y.H.Liao, C.H.Kuo. Effects of hiking at altitude on body composition and insulin sensitivity. *Preventive Medicine*, 39: 681–688, 2004
 - ⑤ Mair,J., A.Hammerer-Lercher, M.Mittermayr, A.Klingler, E.Humpeler, O.Pachinger, W.Schobersberger. 3-week hiking holidays at moderate altitude do not impair cardiac function in individuals with metabolic syndrome. *In.J.Cardiol.*, 123: 186-188, 2008.
 - ⑥ Nishiwaki,M., F.Ogita, Effects of low-intensity exercise in acute and chronic mild hypoxia on arterial stiffness, *Proceedings of International Symposium in NIFS 2012 “Hypoxic Training and Metabolic Syndrome”*:24-34, 2012
 - ⑦ Ogita,F. Effects of hypobaric hypoxic training on the adaptation for cardiovascular function. *The 12th International Symposium on Altitude training 2008 Tokyo Proceedings*: 35-41, 2009
 - ⑧ Schobersberger,W., P.Schmid, M.P.Lechleitner, S.P.von Duvillard, H.Hörtnagl, H.C.Gunga, A.Klingler, D.Fries, K.Kirsch, R.Spiesberger, R.Pokan, P.Hofmann, F.Hoppichler, G.Riedmann, H.Baumgartner, E.Humpeler. *Austrian Moderate Altitude Study 2000 (AMAS 2000)*. The effects of moderate altitude (1,700 m) on cardiovascular and metabolic variables in patients with metabolic syndrome, *Eur. J.Appl.Physiol.*, 88: 506-514, 2003

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 13 件)

- ① 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*, 査読有, in press
- ② Tamaki,H., K.Yotani, F.Ogita, K.Sugawara, H.Kirimoto, H.Onishi, N.Kasuga, N.Yamamoto. Effect of electrical stimulation-induced muscle force and streptomycin treatment on muscle and trabecular bone mass in early-stage disuse musculoskeletal atrophy. *J.Musculoskelet.Neuronal Interact.*, 査読有, 15(3):270-278, 2015.
- ③ Goto, K., T.Morishima, K.Kurobe, Z.Huang, F.Ogita. Augmented carbohydrate oxidation under moderate hypobaric hypoxia equivalent to simulated altitude of 2500 m. *Tohoku J.Exp.Med.*, 査読有, 236(3):163-168, 2015
- ④ Kurobe,K., Z.Huang, M.Nishiwaki, M.Yamamoto, H.Kanehisa, F.Ogita. Effects of

resistance training under hypoxic conditions on muscle hypertrophy and strength. *Clin.Physiol. Funct.Imaging*, 査読有, 35(3):197-202, 2015.

- ⑤ Ogita,F., New insight into exercising under hypoxia to improve and prevent cardiovascular and metabolic risk factors, *Adv.Exerc.Sports Physiol.*, 査読無, 21(1):25-26, 2015
- ⑥ Tamaki,H., K.Tomori, K.Yotani, F.Ogita, K.Sugawara, H.Kirimto, H.Onishi, N.Yamamoto, N.Kasuga. Electrical stimulation of denervated rat skeletal muscle retards trabecular bone loss in early stages of disuse musculoskeletal atrophy. *J.Musculoskelet. Neuronal.Interact.*, 査読有, 14(2):220-228, 2014.
- ⑦ 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(2): 124-130,2014.
- ⑧ Ogita,F. Effects of intermittent hypobaric hypoxic exercise on cardiovascular adaptations. *J.Phys.Fitness Sports Med.*, 査読無, 2(3):341-345, 2013.
- ⑨ H.Tamaki, K.Yotani, F.Ogita, H.Takahashi, H.Kirimoto, H.Onishi, N.Yamamoto. Changes over time in structural plasticity of trabecular bone in rat tibiae immobilized by reversible sciatic denervation. *J.Musculoskelet.Neuronal. Interact.*, 査読有, 13(3):251-258, 2013

〔学会発表〕(計 32 件)

- ① 荻田太, 與谷謙吾, 齊藤和人, 田巻弘之. 低圧環境下における短期間運動トレーニングの間欠的反復実施が心血管応答および動脈スティフネスに及ぼす影響. 第70回日本体力医学会大会、2015年9月18日～20日、和歌山県民文化会館(和歌山県・和歌山市)
- ② 荻田太. 低酸素環境下での水中運動がメタボリックシンドロームの危険因子改善に与える効果. 第70回日本体力医学会大会、2015年9月18日～20日、和歌山県民文化会館(和歌山県・和歌山市)
- ③ 田巻弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 中川弘毅, 桐本光, 大西秀明, 春日規克. 下肢不動ラットにおける脛骨骨幹部の力学的特徴と筋電気刺激の効果. 第70回日本体力医学会大会 2015年9月18日～20日、和歌山県民文化会館(和歌山県・和歌山市)
- ④ 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運動トレーニングの間欠的反復実施が血圧と動脈スティフネスに及ぼす影響. 第23回日本運動生理学会大会、2015年7月25日～26日、日本体育大学(東京都・世田谷区).
- ⑤ Ogita,F., K.Yotani, N.Taguchi, H.Tamaki. The relationship between changes in brachial-ankle pulse wave velocity and blood pressure after short-term hypobaric hypoxic training.

- 20th Annual Congress of European College of Sport Science 2015年6月24日～27日, Malmö (Sweden) 2015.
- ⑥ Kurobe,K., A.Kousaka, F.Ogita, N.Matsumoto. Comparison of carbohydrate metabolism between land and aquatic exercise following glucose ingestion. 62nd Annual meeting of American college of Sports Medicine, San Diego (USA) ,2015年5月25日～30日
- ⑦ 荻田太, 與谷謙吾, 黒部一道, 黄忠, 柳楽晃, 西脇雅人, 田卷弘之. 低圧低酸素トレーニングによる動脈スティフネスの運動時血圧の変化との関係. 第69回日本体力医学会大会、2014年9月19日～21日、長崎大学 (長崎県長崎市)
- ⑧ 黒部一道, 甲阪絢佳, 荻田太, 松本直幸. 様式の異なる有酸素性運動がグルコース摂取後の代謝応答に及ぼす影響. 第69回日本体力医学会大会、2014年9月19日～21日、長崎大学 (長崎県長崎市)
- ⑨ 柳楽晃, 與谷謙吾, 高山史徳, 鷺野壮平, 田卷弘之, 荻田太. 低圧環境下における短期間の運動トレーニングの間欠的反复実施が若齢ラットのインスリン感受性に及ぼす影響. 第69回日本体力医学会大会、2014年9月19日～21日、長崎大学 (長崎県長崎市)
- ⑩ 田卷弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 桐本光, 大西秀明, 山本智章, 春日規克. 高齢ラットの廃用性骨量低下を軽減する筋電気刺激の効果. 第69回日本体力医学会大会、2014年9月19日～21日、長崎大学 (長崎県長崎市)
- ⑪ Ogita,F. Endurance and specific swimming training, and swimming suits. 2014 International Forum on Sports Science Industry, 2014年9月12日、台北市 (台湾)
- ⑫ 荻田太, 與谷謙吾, 柳楽晃, 黒部一道, 黄忠, 西脇雅人, 田卷弘之. 短期間の低圧低酸素トレーニングによる脈波速度と血圧変化との関係. 第22回運動生理学会、2014年7月19日～20日、川崎医療福祉大学 (岡山県倉敷市)
- ⑬ 田卷弘之, 與谷謙吾, 荻田太, 春日規克. 電気刺激による筋収縮が不動性骨量低下の軽減に及ぼす影響と機械的伸展活性化チャンネルの関与. 第22回運動生理学会、2014年7月19日～20日、川崎医療福祉大学 (岡山県倉敷市)
- ⑭ 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2日～5日, Amsterdam (The Netherlands)
- ⑮ 荻田太, 與谷謙吾, 柳楽晃, 山中大祐, 黒部一道, 西脇雅人, 田卷弘之. 低圧環境下における短期間運動トレーニングの間欠的反复実施が耐糖能、血中脂質、体脂肪に与える影響. 第68回日本体力医学会大会、2013年9月21～23日、日本教育会館、学術総合センター (東京都千代田区)
- ⑯ 柳楽晃, 與谷謙吾, 山中大祐, 田卷弘之, 荻田太. 同一酸素分圧で異なる気圧環境下における運動が若齢ラットのインスリン感受性に及ぼす影響. 第68回日本体力医学会大会、2013年9月21～23日、日本教育会館、学術総合センター (東京都千代田区)
- ⑰ 田卷弘之, 友利幸之介, 與谷謙吾, 高橋英明, 菅原和広, 桐本光, 大西秀明, 荻田太, 山本智章, 春日規克. 除神経後の電気刺激誘発性筋収縮張力が脛骨骨梁構造維持に及ぼす影響. 第68回日本体力医学会大会、2013年9月21～23日、日本教育会館、学術総合センター (東京都千代田区)
- ⑱ 荻田太. 新たな低酸素トレーニング -心血管・代謝性危険因子の予防改善を目指して-. 日本体育学会第64回大会、2013年8月28～30日、立命館大学 びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市)
- ⑲ 黒部一道, 黄忠, 柳楽晃, 山本正嘉, 荻田太. 運動時のみの低酸素吸入が運動後代謝に及ぼす影響. 日本体育学会第64回大会、2013年8月28～30日、立命館大学 びわこ・くさつキャンパス (滋賀県草津市)
- ⑳ H.Tamaki, K.Tomori, K.Yotani, F.Ogita, H.Takahashi, H.Kirimoto, H.Onishi, N.Yamamoto, N.Kasuga. Electrical stimulation of denervated rat skeletal muscle slows trabecular bone loss in early stages of disuse atrophy. Book of Abstracts, 2nd Joint Meeting of the International Bone Mineral Society and The Japanese Society for Bone and Mineral Research, 2013年5月28～6月1日、神戸コンベンションセンター、神戸ポートピアホテル (兵庫県神戸市)
- ㉑ 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26～29日, 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：
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

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

(2) 研究分担者

齊藤 和人 (SAITO Kazuto)
鹿屋体育大学・スポーツ生命科学系・教授
研究者番号：50170494

(3) 連携研究者

()

研究者番号：