

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750300

研究課題名（和文）低酸素環境を利用した短期間トレーニング合宿デザインの開発

研究課題名（英文）Development of effective short-term training camp in normobaric hypoxia condition

研究代表者

鈴木 康弘（Suzuki, Yasuhiro）

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ科学部・前任研究員

研究者番号：00392697

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、競技者を対象とした7日間の低酸素トレーニング合宿を実施し、宿泊時に低酸素暴露した場合（LHTL）と、トレーニング時に低酸素暴露した場合（IHT）のトレーニング効果について検討することであった。その結果、常圧低酸素環境における7日間の高強度トレーニングは、同様のトレーニングを常酸素環境で行い低酸素環境で宿泊した場合と比較して競技者の最大無酸素性ランニングテスト（MART）の最大パワーを向上させることが示唆された。したがって、短期間で競技者のパフォーマンスを向上させるためには、低酸素環境での高強度トレーニングが有効であると考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the present study was to compare the physiological adaptations in well-trained 400m or 800m runners following either 7 days of Living high-Training Low (LHTL) or 7 days of intermittent hypoxic training (IHT). 7 days of IHT enhances maximal anaerobic capacity (MART) in well-trained female middle distance runners, which supports our earlier findings. However, there does not appear to be further enhancement of anaerobic running performance with the addition of overnight hypoxic exposure to LHTL.

研究分野：トレーニング科学

キーワード：低酸素トレーニング 低酸素宿泊

1. 研究開始当初の背景

近年、高地トレーニングおよび低酸素トレーニングは、競技パフォーマンス向上を目的として多くの競技者により実施されている。長期間の低酸素暴露は、ヘモグロビン量を増加させ、有酸素性パフォーマンス向上につながることを示されている。このことから、これまでの高地トレーニングおよび低酸素トレーニングに関する研究は、有酸素性パフォーマンスに対する効果について注目し、持久性種目の競技者を対象としたものがほとんどであった。しかし、実際にはより短い運動時間で行われる陸上 400m、800mなどの競技者も高地トレーニングを実施することも少なくない[14]。それにも関わらず、そのような競技者を対象とした研究は数少ない。

低酸素暴露による増血作用を得るためには、4週間以上の期間が必要と考えられているが、それ以外の変化 (economy, buffering capacity, hypoxic ventilator response or Na^+/K^+ -ATPase activity) に関しては、より短い期間で起こることが示唆されている[6]。また、高地トレーニングや低酸素トレーニングは特殊な環境でのトレーニングであるため、長期間実施することが困難な競技者は多い。したがって、短期間で効果を得ることができる方法について明らかにすることができれば、より多くの選手が低酸素トレーニングを取り入れることができ、パフォーマンスに対する効果を得ることが可能となる。低酸素環境でのトレーニング (Intermittent hypoxic training : IHT) の効果について、Hamilin らは自転車競技者を対象として、10日間連続で低酸素トレーニング (有酸素+無酸素トレーニング) を実施し、20km T.T.のタイムの短縮および、Wingate test の peak power が向上したことを示している[4]。また、低酸素環境での滞在 (Living-high Training-low : LHTL) の効果について、Nummela らは 400m ランナーを対象として、10日間の LHTL を実施し、400m 走パフォーマンスおよび Maximal anaerobic running test (MART) のパフォーマンスが向上したことを示している。

我々のグループの研究において、上記の先行研究より短期間である 6日間の低酸素宿泊およびトレーニングにより、陸上 400m、800m 競技者の無酸素性パワーが向上することが認められた。このことから、1週間程度の短期間であっても低酸素トレーニングによってパフォーマンスを向上させることが可能であると考えられるものの、宿泊、トレーニングそれぞれの低酸素暴露の効果については明らかになっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、競技者を対象とした 7日間の低酸素トレーニング合宿を実施し、宿泊時に低酸素暴露した場合 (LHTL) と、トレーニング時に低酸素暴露した場合 (IHT) の

トレーニング効果について検討することとした。

3. 研究の方法

400m および 800m を専門種目とする女子大学生陸上選手 17 名を対象として、7日間の低酸素トレーニングを実施し、トレーニング効果について IHT と LHTL で比較した。

被検者は 7日間のトレーニングを行い、その前後 (Pre, Post) にパフォーマンステストを行った。トレーニングは、午前中にスプリントトレーニングを、午後に持久性トレーニングを、期間中それぞれ 5 回実施した。4日目は疲労回復の目的でトレーニングを実施しなかった。

IHT は、これらのトレーニングを標高 3000m 相当 (酸素濃度 14.4%) に設定した低酸素トレーニング室内で実施した。LHTL は、夜間睡眠時、1日 10 時間以上、高度 2000m 相当 (酸素濃度 16.4%) に設定した室内で過ごした。スプリントトレーニングは、自転車エルゴメーター (PowerMaxV II, Combi 社製) を用いた 30 秒間全力ペダリング運動を 4 分間の休息をはさんで 5 セット行うものであった。負荷は、セットごとに体重の 7.5、6.5、5.5、4.5、3.5% とした。ウォーミングアップは、1.5kp、80rpm で 5 分間とし、開始 3 分および 4 分 30 秒の時点で約 5 秒間の全力ペダリングを行わせた。ウォーミングアップ終了後、約 10 分間の休息をはさんでトレーニングを開始した。運動中は、検者による口頭の励ましを行った。トレーニング終了後に 20 分間クーリングダウンを実施した。

持久性トレーニングには、自転車エルゴメーター (Aerobike 75XL III, Combi 社製) を用いた 30 分間の定常ペダリング (0.025 B.W.、80 rpm) と、トレッドミルを用いた 30 分間の漸増負荷ランニングを実施した。ランニングは予備実験において測定した血中乳酸濃度の 4mmol/L 相当の走速度 (V_{4mM}) を用いて、5 分間ごとに V_{4mM} の 75、80、85、90、95、100% の速度に漸増した。選手は 30 分間、任意のウォーミングアップを行った後、自転車とランニングのトレーニングを実施した。トレーニング終了後に 20 分間クーリングダウンを実施した。

トレーニング期間の前 (Pre) と 7 日後 (Post) に MART および VO_{2max} テストを実施した。

4. 研究成果

図 1 に、MART における最大パワーの変化を示した。IHT が LHTL と比較して、有意に向上した。一方、運動時間は、IHT で有意に向上したものの、群間に有意な差は認められなかった。Lamax は、両群ともに有意な変化は認められなかった。P6mM は、IHT が LHTL と比較して、有意に向上した。

図 2 に、 VO_{2max} の変化を示した。 VO_{2max} は両群ともに有意な変化は認められなかった。ま

た、運動時間は、IHT で有意に向上したものの、群間に有意な差は認められなかった。Lamax は、両群ともに有意な変化は認められなかった。V4mM は、IHT が LHTL と比較して、有意に向上した。

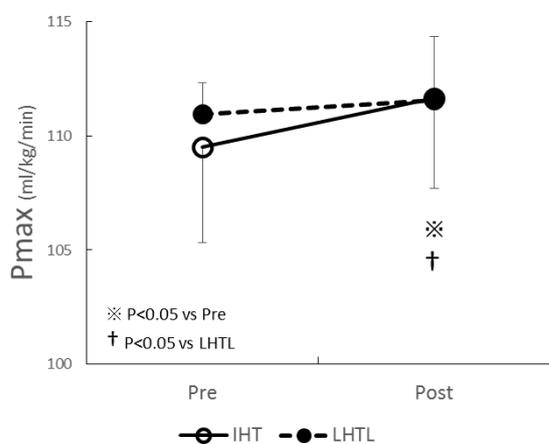


図1 MARTの最大パワーの変化

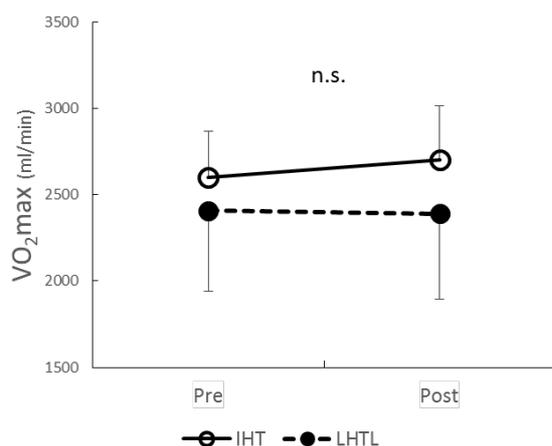


図2 最大酸素摂取量の変化

考察

本研究で得られた主な知見は、7日間のIHTにより、陸上競技400m、800m競技者のMARTの最大パワーがLHTLと比較して有意に向上したことである。

MARTのPmaxは100~5000mのランニングパフォーマンスと高い相関関係が認められている[9, 10, 11, 12]ことから、IHTで認められたPmaxの向上は被検者の専門種目である400mおよび800mのランニングパフォーマンスの向上を示唆している。また、あるLaに対する最大下強度はアスリートのスプリントエコノミーとして考えられており[7, 12]、IHTにおいて、PostのP6mMが有意に向上したことから、スプリントエコノミーが向上したと考えられる。

本研究において、スプリントトレーニングとして、30秒全力ペダリングを4分間の休息をはさんで5セット実施する高強度インターバルトレーニング(HIT)を用いた。HITは、短期間、短時間のトレーニングで有酸素性能力および無酸素性能力を向上させることができるトレーニング法として近年注目されている。Burgomasterら[2]は、30秒全力ペダリングを4分間の休息をはさんで5セット行うHITを2週間で6回実施した結果、筋酸化能が向上し、~80%VO2peakでの運動時間が約2倍に向上したことを示した。HITを低酸素環境で実施した場合の効果について、Faissら[3]は、低酸素環境において10秒全力ペダリング5回を5分間の休息をはさんで3セット行うHITを計8回実施し常酸素環境における同様のトレーニングと比較している。その結果、低酸素環境でトレーニングを実施した群のみでスプリントの繰り返し回数が向上したことを示し、その理由として血流量の増加によりFT線維での酸素利用が増加したことを上げている。そして、その適応に必要な条件としてFT線維が多く動員されるのに十分な運動強度の高さを上げている。本研究において実施したスプリントトレーニングもFaissらの研究と同じく全力ペダリングを用いていることから、FT線維が動員される強度であったと考えられる。Vogtら[15]は、低酸素環境での高強度と低強度のトレーニング効果を比較し、高強度運動を実施した後にのみHIF-1 α mRNAの発現が増加することを示している。これらを考慮すると、IHTにおいて、低酸素環境で高強度運動を実施したことが筋酸化能の向上につながった可能性が考えられる。VO2maxに有意な変化は認められなかったものの、IHTによりV4mMに有意な向上が認められたことは、有酸素性能力の向上を示唆するものである。また、Zagattoら[17]は、MARTのPmaxと有酸素性能力との間に有意な相関関係を認めており、IHT後に認められたMARTのパフォーマンス向上には、有酸素性能力が関係していると考えられる。

一方、LHTLではMARTおよびVO2maxテストの結果に、有意な向上が認められなかった。Nummelaらは400mランナーを対象として、10日間のLHTLを実施し、400m走パフォーマンスおよびMARTのパフォーマンスが向上したことを示している[8]。本研究において、パフォーマンス向上が認められなかった原因の一つとして、暴露時間の短さが考えられる。Nummelaら[8]は、1日約16.5時間、10日間の低酸素暴露を実施したのに対して、本研究のLHTLにおいては1日約10時間、7日間であった。また、トレーニング内容の違いについても原因の一つとして考えられるものの、Nummelaら[8]の研究において実施したトレーニング内容についての詳しい記述はない。本研究の限界は、IHTとLHTLをブラインドで行っていないことである。被検者は条件の違いについて分かっていた。しかしながら、被

検者は実験期間中、本研究で実施したトレーニング以外のトレーニングを実施しておらず、トレーニング量に差はない。また、被検者は MART の測定に十分慣れていた。これらのことを考慮すると、本研究はブラインドでないものの、Hypo と Norm の比較が可能と考える。

まとめ

常圧低酸素環境における7日間の高強度トレーニングは、同様のトレーニングを常酸素環境で行い低酸素環境で宿泊した場合と比較して競技者の MART の最大パワーを向上させることが示唆された。短期間で競技者のパフォーマンスを向上させるためには、低酸素環境での高強度トレーニングが有効であると考えられる。

参考文献

- 1) American College of Sports Medicine. Guidelines for graded exercise testing and exercise prescription, 3rd ed. Philadelphia: Lea & Febiger; 1986
- 2) Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* (1985) 2005; 98: 1985-1990
- 3) Faiss R, Pialoux V, Sartori C, Faes C, Deriaz O, Millet GP. Ventilation, oxidative stress, and nitric oxide in hypobaric versus normobaric hypoxia. *Med Sci Sports Exerc* 2013; 45: 253-260
- 4) Hamlin MJ, Marshall HC, Hellemans J, Ainslie PN, Anglem N. Effect of intermittent hypoxic training on 20 km time trial and 30 s anaerobic performance. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: 651-661
- 5) Levine BD, Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* (1985) 1997; 83: 102-112
- 6) Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Med* 2010; 40: 1-25
- 7) Nummela A, Mero A, Stray-Gundersen J, Rusko H. Important determinants of anaerobic running performance in male athletes and non-athletes. *Int J Sports Med* 1996; 17 Suppl 2: S91-96
- 8) Nummela A, Rusko H. Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci* 2000; 18: 411-419
- 9) Nummela AT, Paavolainen LM, Sharwood KA, Lambert MI, Noakes TD, Rusko HK. Neuromuscular factors determining 5 km

running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur J Appl Physiol* 2006; 97: 1-8

10) Paavolainen LM, Nummela AT, Rusko HK. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 124-130

11) Rusko H, Nummela A, Mero A. A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 1993; 66: 97-101

12) Rusko HK, Nummela A. Measurement of maximal and submaximal anaerobic performance capacity: concluding chapter. *Int J Sports Med* 1996; 17 Suppl 2: S125-129

13) Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD. "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* (1985) 2001; 91: 1113-1120

14) Svedenhag J, Saltin B, Johansson C, Kaijser L. Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 1991; 1: 205-214

15) Vogt M, Puntschart A, Geiser J, Zuleger C, Billeter R, Hoppeler H. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *J Appl Physiol* (1985) 2001; 91: 173-182

16) Wilber RL. Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 1610-1624

17) Zagatto A, Redkva P, Loures J, Kalva Filho C, Franco V, Kaminagakura E, Papoti M. Anaerobic contribution during maximal anaerobic running test: correlation with maximal accumulated oxygen deficit. *Scand J Med Sci Sports* 2011; 21: e222-230

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 1件)

Oriishi M, Matsubayashi T, Kawahara T, Suzuki Y. Short-term hypoxic exposure and training improve maximal anaerobic running test performance. *J Strength Cond Res.* (in press), 2017 (査読有り)

[学会発表] (計 1件)

Oriishi M, Hagiwara M, Asaba K, Kawahara

T, Suzuki Y. 7-day simulated intermittent hypoxic training improves maximal aerobic capacity in 400m or 800m runners. 62nd American College of Sports Medicine, San Diego (USA) 2015.5.

〔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

鈴木 康弘 (SUZUKI, Yasuhiro)

独立行政法人日本スポーツ振興センター
国立スポーツ科学センター・スポーツ科学
部・前任研究員

研究者番号：00392697

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()