

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700665

研究課題名(和文) 高所・低酸素トレーニングによる赤血球膜タンパクの変化と運動パフォーマンスの関連性

研究課題名(英文) Relevance of erythrocyte membrane transport protein changes by altitude / hypoxic training and exercise performance

研究代表者

前川 剛輝 (Maegawa, Taketeru)

東京大学・新領域創成科学研究科・附属施設協力研究員

研究者番号：50336351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高地・低酸素トレーニングによる造血を伴わない運動パフォーマンスの改善に関する血液学的背景を明らかにすることを目的とした。

鍛練された競技者を対象に標高1,200～2,400mの自然の高地環境を利用した約2週間の高地滞在型の高地トレーニングを行わせ、その前後で血液学的検討と運動パフォーマンスの検討を行った。2週間程度の高地トレーニングにより運動パフォーマンスは向上するが、造血が確認されなかったことから、血液の量的改善を伴わない運動パフォーマンスの向上であったと考えられる。残念ながら赤血球膜タンパクの検出に至らず、運動パフォーマンスと血液の質的变化との関連性を検証するには至らなかった。

研究成果の概要(英文)：The present study investigated the relevance of erythrocyte membrane transport protein changes by altitude / hypoxic training and exercise performance.

Well-trained athletes lived and trained for about 2 weeks between 1,200 and 2,400m of altitude.

Incremental pedaling exercise test was performed before and after altitude training, and was also

determined erythrocyte transport protein. Exercise performance improved without hematopoiesis.

Unfortunately, erythrocyte membrane protein could not be detected, in this study, it was not possible to verify the relevance of the qualitative changes in erythrocyte and exercise performance.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：高地トレーニング 低酸素トレーニング 赤血球 パフォーマンス

1. 研究開始当初の背景

多くのスポーツ選手や指導者は、質の高いトレーニングを行うため、また競技パフォーマンスを向上させるために、年間のトレーニングプログラムの中で高所トレーニングを重要なプログラムの一つとして考えている。有酸素性パフォーマンスを改善させる手段として高所トレーニングを用いることの科学的根拠は、高所誘発性の PIO_2 および PaO_2 の低下が腎臓からの Erythropoietin の放出を刺激し、その結果として血液量や総ヘモグロビン量の増加をもたらすという事実に基づいている。多くの選手や指導者はこれらの血液学的な変化、つまり血液の量的変化が活動筋への酸素運搬能力を向上させることによって、競技パフォーマンスが改善すると信じている。

先行研究により示されたガイドラインによると、血液の量的な変化を得るには少なくとも1日12~16時間、標高2,000~2,500mの高所・低酸素環境に少なくとも4週間以上滞在することが必要であるとされている。しかし実際の競技現場で用いられる高所トレーニングのプログラムでは、様々な制約(時間や金銭など)によりこれら条件を満たしながらプログラムが遂行されることは稀である。ただしこのような条件を満たさない経験則による高所トレーニングプログラムにおいても、運動パフォーマンスの改善が認められる事も少なくない。さらに最近では、高所・低酸素トレーニングによって運動パフォーマンスが改善された場合でも、血液の量的改善が認められていないことも報告され始めている。血液の量的改善がもたらされないままに有酸素的なパフォーマンスが改善するその科学的な根拠について未だ統一した見解は得られておらず、高所・低酸素トレーニングの成功率を高めるためにもその根拠が待たれている。

2. 研究の目的

本研究では、高所・低酸素トレーニングによる「増血を伴わない運動パフォーマンス改善」に関する血液学的背景を明らかにすることを目的とした。先ず、高所・低酸素トレーニングによって血液のpH調節に関わる赤血球膜タンパク(Erythrocyte lactate transporter、Erythrocyte anion exchange protein 1)が、どのような影響を受けるのかを検討することを第一の目的とした。そしてそれら変化が運動パフォーマンスに与える影響を検討することを第二の目的とした。

3. 研究の方法

(1)2013年度に実施したトレーニング実験

鍛練された競技者を対象に、自然の高地環境を利用した高地トレーニングを行わせ、その前後で血液学的検討と運動パフォーマンス(多段階運動負荷試験)の検討を行った。

対象者

非常に鍛練されたスピードスケート選手(20名)を対象とした。

高地トレーニング

対象者はアメリカ合衆国ユタ州のソルトレイクシティとパークシティで、15泊16日の高地トレーニングを実施した。氷上でのトレーニングは標高1,425mに位置するユタ・オリンピックオーバルで、陸上トレーニング(サイクリング、ランニングなど)は標高2,400mに位置するパークシティで行われた。なお、氷上でのトレーニング以外の時間はパークシティに滞在した。

多段階運動負荷試験

自転車エルゴメーター(パワーマックスVII、コンピウエルネス社製)を用いて多段階運動負荷試験を行い、酸素摂取量(VO_2)、心拍数(HR)、血中乳酸濃度(Lac)、血中グルコース濃度(Glu)の測定を行った。1ステージ3分、初期負荷を78.4Wとし、7ステージ目までは3分ごとに39.2W、7ステージ目以降は23.5もしくは15.7Wずつ、疲労困ぱいに至るまで負荷を漸増させた。ペダルの回転数は80rpmとした。

(2)2014年度に実施したトレーニング実験

2013年度に実施したトレーニング実験において十分な検証に至らなかった為、再度、同様のトレーニング実験を行った。

2013年度と同様に、鍛練された競技者を対象に、自然の高地環境を利用した高地トレーニングを行わせ、その前後で血液学的検討と運動パフォーマンス(多段階運動負荷試験)の検討を行った。

対象者

非常に鍛練されたスピードスケート選手(13名)を対象とした。

高地トレーニング

対象者は先ず岐阜県の飛騨御嶽高原高地トレーニングエリアで、6泊7日の高地トレーニングを実施した。トレーニングは標高1,200m~1,800mのエリアで行い、滞在は1,700mとした。続いてアメリカ合衆国ユタ州のソルトレイクシティとパークシティで、9泊7日の高地トレーニングを実施した。氷上でのトレーニングは標高1,425mに位置するユタ・オリンピックオーバルで、陸上トレーニング(サイクリング、ランニングなど)は標高2,400mに位置するパークシティで行われた。なお、氷上でのトレーニング以外の時間はパークシティに滞在した。

多段階運動負荷試験

2013年度と同様に行った。

4. 研究成果

(1)2013年度に実施したトレーニング実験

高地トレーニングの前後でパフォーマンスを検証した結果、運動持続時間は有意に延長した(トレ前:19.4±3.5min,トレ後:20.7±3.7min, $p<0.001$)(図1)。一方、最大酸

素摂取量は有意な変化を示さなかった(トレ前: 57.0 ± 5.7 ml/kg/min, トレ後: 58.8 ± 6.0 ml/kg/min)(図2). 酸素運搬能力の指標でもあるヘモグロビン濃度もトレーニング前後で有意な変化は示さなかった(トレ前: 14.7 ± 1.3 g/dL, トレ後: 14.5 ± 1.3 g/dL)(図3). 血液のpH調節に関わる赤血球膜タンパクの定量を試みたが検出が上手くいかず, 検証はできなかった.

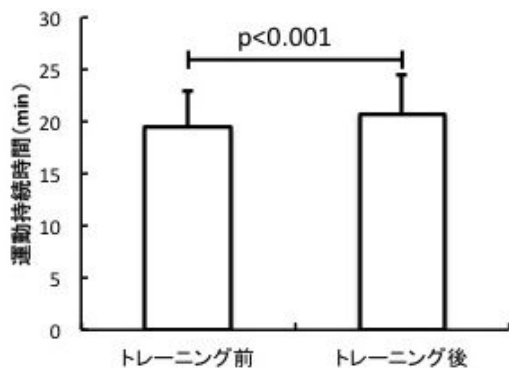


図1. 運動持続時間の変化

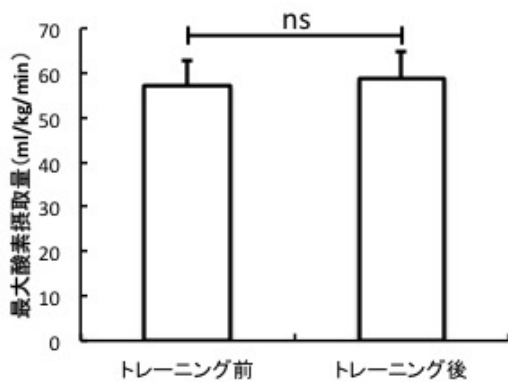


図2. 最大酸素摂取量の変化

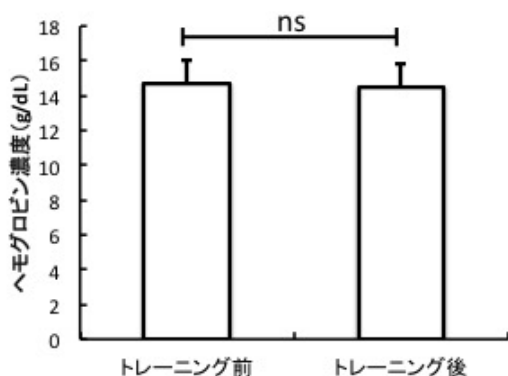


図3. ヘモグロビン濃度の変化

(2) 2014年度に実施したトレーニング実験
高地トレーニングの前後でパフォーマンスを検証した結果, 運動持続時間は有意な変化を示さなかった(トレ前: 18.2 ± 2.0 min,

トレ後: 18.6 ± 2.2 min). 最大酸素摂取量も有意な変化を示さなかった(トレ前: 59.8 ± 6.2 ml/kg/min, トレ後: 58.0 ± 6.3 ml/kg/min). ヘモグロビン濃度もトレーニング前後で有意な変化は示さなかった(トレ前: 14.2 ± 1.6 g/dL, トレ後: 14.1 ± 1.7 g/dL). 高地トレーニング後に体調を崩した選手が多く, 対象者の都合により体調の回復を待たずに測定を行わざるをえなかった. また, 血液のpH調節に関わる赤血球膜タンパクの定量を再度試みたが検出が上手くいかず, 2014年度も検証はできなかった.

(3) まとめ

2週間程度の高地滞在型の高地トレーニングによって, 運動パフォーマンスが向上する可能性が示唆された. 本研究では造血が認められなかったことから, 血液の量的改善を伴わない運動パフォーマンスの向上であったと考えられる. また残念ながら, 赤血球膜タンパクの定量が失敗に終わり, 本研究においては, 運動パフォーマンスと血液の質的变化との関連性を検証するには至らなかった.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計1件)

前川剛輝, 鈴木なつ未, 紅椋英信, 本間俊行, 横澤俊治: 高地での滞りおよび運動トレーニングが女性競技者の運動中の糖代謝に与える影響. 登山医学, 33(1): 114-120, 2013. (査読有)

[学会発表](計10件)

Taketeru Maegawa, Natsumi Suzuki, Hidenobu Kobai, Toshiyuki Homma, Daisuke Kumagawa, Toshiharu Yokozawa. The influence of altitude training on blood glucose and lactate fluctuation during an incremental exercise test in junior elite speed skaters. The 19th International Hypoxia Symposium, 2015年3月6日, Alberta (Canada)

前川剛輝, 鈴木なつ未, 白幡圭史, 紅椋英信, 熊川大介, 横澤俊治: 高地トレーニング合宿中の血液性状の変化 ~ジュニアアスリートにおける男女差の事例報告~, 第28回女性スポーツ医学研究会学術集会, 2014年12月13日, 慈恵会医科大学(東京都, 港区).

前川剛輝, 鈴木なつ未, 白幡圭史, 紅椋英信, 熊川大介, 横澤俊治: ジュニア期における高地・低酸素トレーニング ~スピードスケートジュニアナショナルチームの実践事例~, 第27回日本トレーニング科学会大会, 2014年11月22日, 産業技術総合研究所(東京都, 江東区).

前川剛輝, 鈴木なつ未, 紅椋英信, 熊川大介, 横澤俊治: スピードスケート選手の高地・低酸素トレーニングの実践的研

究, JISS スポーツ科学会議, 2014 年 11 月 21 日, 国立スポーツ科学センター(東京都, 北区).(招聘講演)

前川剛輝, 鈴木なつ未, 熊川大介, 横澤俊治: 最大運動時の生理応答に及ぼす高地トレーニングの効果の性差, 第 27 回女性スポーツ医学研究会学術集会, 2013 年 12 月 7 日, 慈恵会医科大学(東京都, 江東区).

前川剛輝, 鈴木なつ未, 熊川大介, 横澤俊治: 準高地における睡眠中の酸素飽和度低下とコンディショニング - 女子スピードスケート選手の事例報告 - , 日本トレーニング科学会第 26 回大会, 2013 年 11 月 7 日, 蔵王坊平アスリートヴィレッジ(山形県, 上市市).

前川剛輝, 鈴木なつ未, 紅椋英信, 本間俊行, 横澤俊治: 高地滞在が女性競技者の運動中の糖代謝に与える影, 第 33 回日本登山医学会学術集会, 2013 年 6 月 15 日, 京都大学(京都府, 京都市).

Taketeru MAEGAWA, Hidenobu KOBAL, Natsumi SUZUKI, Toshiyuki HOMMA, Toshiharu YOKOZAWA. Effects of moderate altitude training on the 1,500-m race performance of elite junior speed skaters. 18th International Hypoxia Symposium. 2013 年 3 月 1 日, Alberta (Canada).

前川剛輝, 紅椋英信, 本間俊行, 鈴木なつ未: エリートジュニアスピードスケート選手における運動中のエネルギー代謝の性差, 第 26 回女性スポーツ医学研究会学術集会, 2012 年 12 月 8 日, 慈恵会医科大学(東京都, 江東区).

前川剛輝, 紅椋英信: エリートジュニアスピードスケート選手における高地・低酸素トレーニングの試み, The 16th International Symposium on Altitude Training 2012 Tokyo, 2012 年 10 月 21 日, 国立スポーツ科学センター(東京都, 北区).(招聘講演)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前川 剛輝 (MAEGAWA, Taketeru)
東京大学大学院・新領域創成科学研究科・
附属施設協力研究員
研究者番号: 50336351