

令和元年6月30日現在

機関番号：33401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01585

研究課題名(和文) 高地・低酸素環境下での運動トレーニングによる身体の適応過程の性差を探る

研究課題名(英文) Sex-based differences in adaptation process by exercise training under high altitude hypoxic environment

研究代表者

前川 剛輝 (Maegawa, Taketeru)

福井工業大学・スポーツ健康科学部・講師

研究者番号：50336351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000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運動パフォーマンス改善の性差を明らかにすることを目的とした。

高地に滞在して運動トレーニングを行うこと(高地トレーニング)は、男女ともパフォーマンスの改善に寄与するトレーニング方法であることが示唆された。しかし、高地トレーニングに対する運動時の呼吸・循環適応は、男女で異なる適応をたどり、男性は高地に対する換気適応の過程で、換気と血流のミスマッチが増大する可能性が示唆された。また、女性では運動時における糖代謝の改善が顕著に現れた。高地での造血過程でも男女で違いが認められ、量的改善においては女性の方が多くの時間を要する可能性が考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高地・低酸素トレーニングによりもたらされた効果のリスクに目が向けられることは思いの外少ない。正に高地・低酸素トレーニングの健康・安全管理における盲点といっても過言ではない。本研究では性差を考慮した新たなエビデンスによる高地・低酸素トレーニング構築の為に、系統的な基礎資料を得ることに成功した。“成功率は半々”といわれている高地・低酸素トレーニングの成功率を高めるだけでなく、健康・安全対策の盲点を埋める取り組みと言える。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to clarify the sex-based differences in exercise performance improvement under high altitude hypoxic training.

It was suggested that staying perform exercise training in a high-altitude environment contributes to performance improvements in men and women. However, respiratory and circulatory adaptations during high-altitude exercise training followed different adaptations for men and women. It was suggested that the mismatch between ventilation and blood flow may increase the process of ventilation adaptation for high-altitude boys. In addition, in women, prominent improvement in glucose metabolism occurred during exercise. The difference was also seen between men and women in the high-altitude hematopoietic process, suggesting that quantitative improvement may take longer in women.

研究分野：運動生理学

キーワード：高地適応 性差 ヘモグロビン濃度 運動パフォーマンス

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

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地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。これまでに示された高地・低酸素トレーニングの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の高地・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。これらガイドラインでは性差に関して一切触れられていないが、造血に至る過程において、多くの生理学的指標において性差が生じることが近年報告された。生理的脱水による相対的多血の期間、その後の一過性の血液希釈の程度、造血の為に消費される貯蔵鉄の動態、血液量や総ヘモグロビン量の有意な増大(二次性多血)に至るまでの期間などがあげられる。そのため性差を考慮した新たなガイドラインの作成が望まれている。

また、実際の競技現場で用いられる高地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地トレーニングプログラムにおいても、血液量の増大や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、高地・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、高地・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、高地・低酸素トレーニングによる「運動パフォーマンス改善の性差」に関して、換気・循環応答の側面と血液学の側面から明らかにすることを目的とした。研究では、高地滞在型の高地トレーニングが最大運動時の換気・循環応答に与える効果を検証し、その効果の性差について比較検討を行った。そして研究では、高地滞在が赤血球性状に与える影響の性差を、高地適応の過程も踏まえて検討した。

3. 研究の方法

<研究> エリートジュニアスピードスケート選手男性7名(年齢:17.4±0.8歳,身長:174.1±5.9cm,体重:71.3±4.9kg)と女性13名(年齢:17.2±0.9歳,身長:160.4±2.4cm,体重:56.5±5.3kg)を対象に、標高1300~2400m(アメリカ合衆国・ユタ州)の自然の高地を利用した16泊17日の高地トレーニングを行った。対象者は高地トレーニングの前後で、自転車エルゴメーターによる多段階運動負荷試験を行い、最大酸素摂取量(VO_{2max})、最大換気量(VE_{max})、最大心拍数(HR_{max})、最大血中乳酸濃度(LA_{max})、最大作業負荷(W_{max})の測定を行った。またヘモグロビン(Hb)濃度の測定も行った。

<研究> エリートジュニアスピードスケート選手男性7名(年齢:17.0±0.8歳,身長:175.4±4.1cm,体重:71.0±8.1kg)と女性8名(年齢:17.4±0.5歳,身長:161.2±3.8cm,体重:61.5±8.9kg)を対象に、標高1300~2400m(アメリカ合衆国・ユタ州)の自然の高地を利用した14泊15日の高地トレーニングを行った。高地滞在の前後に海面レベルにて、ヘマトクリット値(Hct値)とヘモグロビン濃度(Hb濃度)を測定し、これら測定結果から平均赤血球ヘモグロビン濃度(MCHC)と血漿量の変化(PV)を算出した。また、高地滞在中は、3日目、8日目、12日目にHb濃度を測定した。

4. 研究成果

<研究> 高地トレーニングによって W_{max} は男女とも有意に増大した(図1)。 VO_{2max} の改善は個人差が大きく、平均値で比べると男女とも有意な変化は見られなかった。 VE_{max} は男女とも増大したが、有意な変化を示したのは女性のみであった(図2)。 HR_{max} は男性は変わらなかったが、女性は有意な低下を示した(図3)。Hb濃度は男性は変わらなかったが、女性は有意な低下を示した。 LA_{max} は男性は変わらなかったが、女性は有意な増加を示した(図4)。

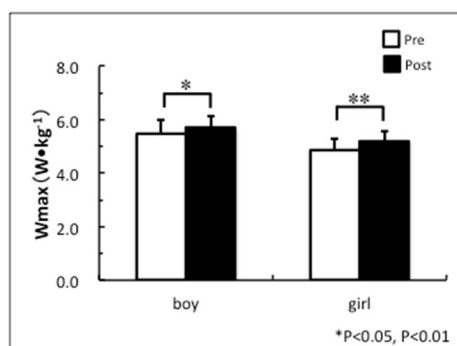


図1. 最大作業負荷の変化

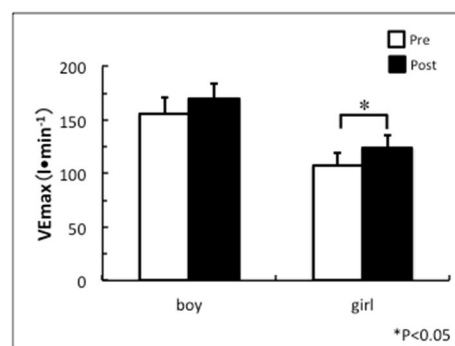


図2. 最大換気量の変化

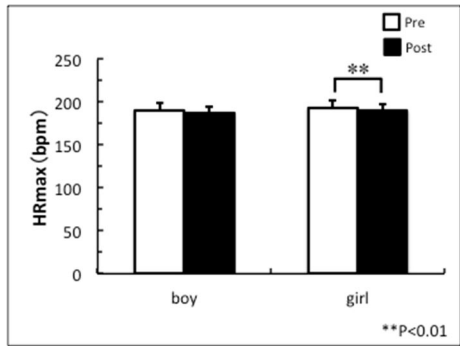


図 3 . 最大心拍数の変化

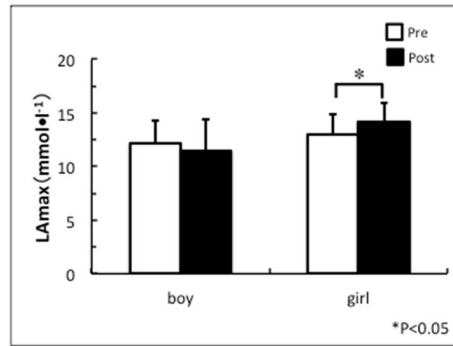


図 4 . 最大血中乳酸濃度の変化

高地トレーニング後の VEmax の変化と VO₂max の変化との間に、男性で有意な相関が認められた (図 5)。高地トレーニング後の Hb の変化との間に、女性で有意ではないが関連する傾向がみられた (図 6)。

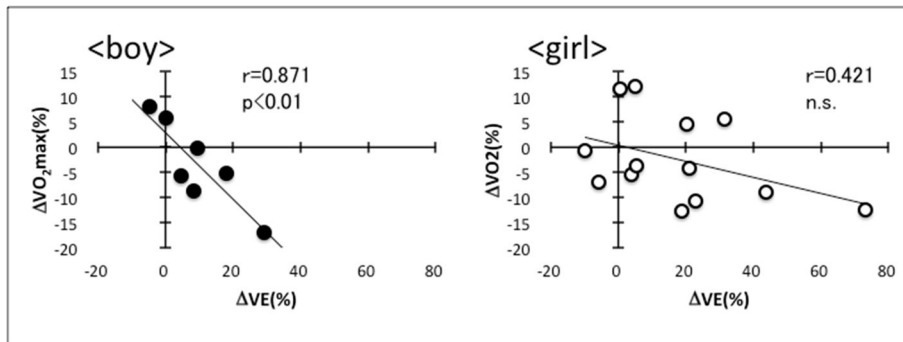


図 5 . 最大換気量の変化と最大酸素摂取量の変化との関係

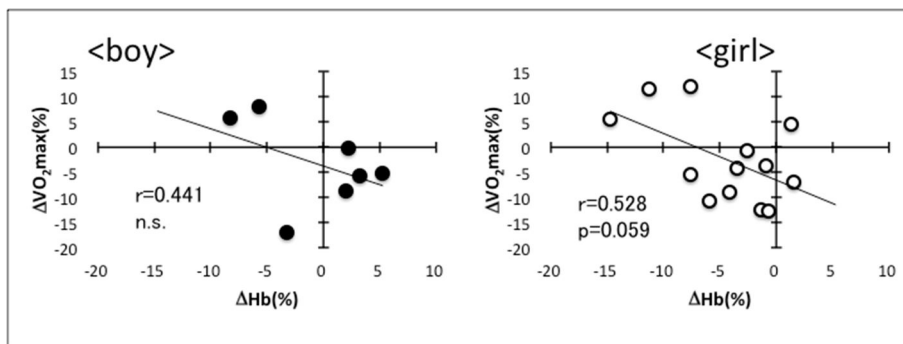


図 6 . ヘモグロビン濃度の変化と最大酸素摂取量の変化との関係

高地滞在型の高地トレーニングは、男女ともパフォーマンスの改善に寄与するトレーニング方法であったと考えられる。しかし、高地トレーニングに対する最大運動時の呼吸・循環適応は、男女で異なる適応をたどる可能性が示唆された。VEmax の増大が VO₂max の低下に影響を与えている可能性が示された。急激な換気能力の改善により、換気と血流の不均衡 (換気血流ミスマッチ) が生じた可能性があり、特に男性の方がその影響を強く受けると考えられる。Hb の低下も VO₂max の低下に影響を与えている可能性が示され、特に女性はその影響を強く受けている。男性は換気血流不均衡により Hb 濃度増大の影響が相殺されているかもしれない。また、女性では最大運動時における糖代謝の改善が顕著に生じる可能性が考えられる。

< 研究 > 高地滞在中、男性の Hb 濃度は 3 日目に有意に高い値を示し (14.8±1.5g/dl 16.1±1.6g/dl、p<0.05)、8 日目は 3 日目と比べて低下 (15.5±1.6g/dl)、12 日目は再び有意に高い値を示した (15.8±1.4g/dl、p<0.05) (図 7)。高地環境への急性適応として血液濃縮が生じ、その後、血液濃縮の緩和を経て造血が亢進していたことが推察される。女性の Hb 濃度は、男性と同様に 3 日目に有意に高い値を示したが (13.5±0.7g/dl 14.2±1.0g/dl、p<0.05)、8 日目、12 日目は高地滞在前の水準と同程度であった (3 日目:13.4±0.7g/dl、12 日目:13.8±1.0g/dl)。女性においては、血液濃縮が緩和された後の造血応答の個人差が大きいことが推察される。

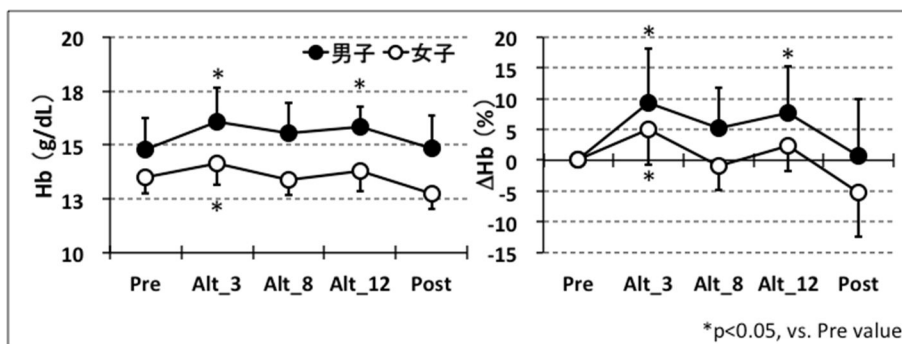


図7. ヘモグロビン濃度の変化

高地トレーニング前後で比較すると、男性はHct値、Hb濃度、MCHCは有意な変化は示さなかったが、PVは $2.5 \pm 14.1\%$ 増加した。赤血球の質的变化を伴わない血液の量的増加がもたらされた可能性が考えられる。一方、女性のHb濃度は低下する傾向を示し、MCHCにおいては有意な低下を示した($34.1 \pm 1.2\%$ $32.8 \pm 1.3\%$, $p < 0.05$)。Hct値は有意な変化を示さなかったが、PVは $7.9 \pm 13.0\%$ 増加した。男性と同様に、血液の量的増大がもたらされた可能性が考えられるが、女性においては赤血球の質的变化が生じていたかもしれない。

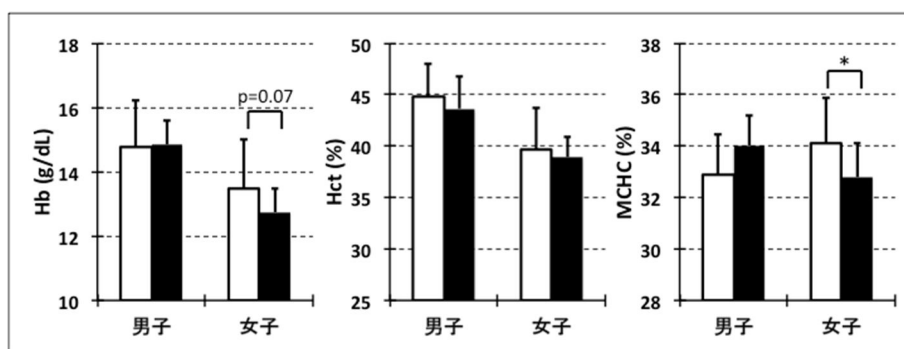


図8. 赤血球性状の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計4件)

Taketeru Maegawa, Takanori Noguchi. Effects of Hypoxic Ventilatory Response and Pulmonary Artery Response to Arterial Oxygen Saturation under hypobaric hypoxia. The 21st International Hypoxia Symposium, 2019.

前川剛輝, 鈴木なつ未, 熊川大介, 紅椋英信, 横澤俊治: 女性スピードスケート選手のヘモグロビン濃度及びヘマトクリット値: ジュニア選手とシニア選手との比較. 第32回女性スポーツ医学研究会, 2018.

前川剛輝, 紅椋英信, 横澤俊治: 標高1,000mでの睡眠中に繰り返し生じる動脈血酸素飽和度低下がアスリートの睡眠の質と疲労感に与える影響. 第31回日本トレーニング科学会大会, 2018.

前川剛輝, 紅椋英信: エリートスピードスケート選手の高地トレーニング: 選手招集型チームにおけるジュニア期からの継続的な実践事例. 日本コーチング学会, 2018.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

なし

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

(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。