

機関番号：82632

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700533

研究課題名（和文）効果的な高地トレーニング実施のための筋エネルギー代謝からの検討

研究課題名（英文）Evaluation of muscle energy metabolism during exercise for effective altitude training

研究代表者

本間 俊行（HOMMA TOSHIYUKI）

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・スポーツ科学研究部・研究員

研究者番号：90392703

研究成果の概要（和文）：

常酸素環境と低酸素環境における膝伸展運動時の活動筋エネルギー代謝の違いを調べた。その結果、最大下の同一絶対強度での筋内のクレアチンリン酸（PCr）濃度、pH、酸素消費量、および疲労困憊時の筋内 pH と酸素消費量は、常酸素下よりも低酸素下のほうが低かった（ $p < 0.05$ ）。高強度運動での疲労困憊時の筋内 PCr は両条件ともほぼ枯渇し、条件間で差がなかった。以上のことから、同一絶対強度での運動時には、低酸素下では常酸素下よりも筋における有酸素的代謝が小さく、無酸素的代謝が大きいことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

We investigated the differences in muscle energy metabolism during a knee extension exercise of varying intensities under conditions of normoxia and hypoxia. The values of muscle phosphocreatine (PCr), pH, and oxygen consumption (VO_{2mus}) were significantly lower at submaximal identical workloads under hypoxic conditions than at normoxic conditions ($p < 0.05$). At exhaustion, in both the conditions, there was an almost complete depletion of the muscle PCr and no difference in the values of muscle PCr. However, the muscle pH and VO_{2mus} at exhaustion were significantly lower during hypoxic conditions than during normoxic conditions ($p < 0.05$). The results of this study suggest that as compared to normoxic conditions, hypoxic conditions cause a decrease in the aerobic energy supply and an increase in the anaerobic energy supply in muscles during exercise at identical workloads.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：運動生理学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：筋エネルギー代謝、低酸素、磁気共鳴分光法、近赤外分光法、無酸素的代謝、有酸素的代謝

1. 研究開始当初の背景

高地トレーニングに対する運動パフォーマンスへの効果に関する生理的適応について調べられた研究では、血液性状、運動時の血中乳酸値、最大酸素摂取量などの全身的な生理パラメータによる検討が多い。運動トレーニングに対する適応の生理的背景には骨格筋のエネルギー代謝能の適応も重要な要因であると考えられるが、低酸素環境での運動中における骨格筋のエネルギー代謝や、高地トレーニングに対する筋の代謝的適応について検討された研究はわずかであり、骨格筋のエネルギー代謝面での高地トレーニングに対する適応のメカニズムについては不明な点が多い。

骨格筋のエネルギー代謝を調べる方法として、従来から筋生検が用いられてきたが、本法は侵襲を伴うため適用範囲は限られ、特に現役のスポーツ選手を対象にすることは困難である。これに対して、リン 31-磁気共鳴分光法 (^{31}P -MRS) は、非侵襲的かつ高い時間分解能で筋エネルギー代謝の測定が可能である。また、近赤外分光法 (NIRS) も非侵襲的かつ連続的に筋内の酸素動態を評価することができる。したがって、 ^{31}P -MRS および NIRS は、運動時のような代謝動態が劇的に変化する際の骨格筋エネルギー代謝を測定する方法として有用な手段である。

そこで、これらの方法を用いることで、これまで十分に明らかにされてこなかった低酸素トレーニングに対する筋エネルギー代謝の適応について、その効果を検証することや、トレーニング時に筋にかけられている負荷を代謝面から評価することが可能になると考えられる。

2. 研究の目的

低酸素下での運動中の活動筋エネルギー代謝動態の特徴を明らかにし、効果的な高地(低酸素)トレーニングを行うための基礎資料を得ること。

3. 研究の方法

被験者は健康な成人男性のべ 14 名であった(年齢: 27~34 歳)。

運動は、磁気共鳴装置内に設置した運動負荷装置上において仰臥位での動的膝伸展運動を 50 回/分の頻度で行わせた。

運動プロトコルは、1 段階あたりの運動時間を 2 分間とし、疲労困憊に至るまで負荷を増加させる漸増負荷運動とした。

大腿四頭筋を被験筋とし、筋内のクレアチンリン酸 (PCr) 濃度、無機リン酸 (Pi) 濃度、pH をリン 31-磁気共鳴分光法 (^{31}P -MRS) で、筋内の酸素化ヘモグロビン (HbO_2)、脱酸素化ヘモグロビン (HHb)、総ヘモグロビン (Hb_{tot}) を近赤外分光法 (NIRS) で測定した。

NIRS を用いて、筋酸素消費量を求めるため、安静時および各強度での運動終了直後に一時的動脈血流遮断を行い、その時の HbO_2 の減少速度から筋酸素消費量を算出した。

安静時および各強度での運動終了直前の 30 秒間にダグラスバッグに呼気ガスを採取し、肺酸素摂取量 (VO_2) を測定した。

常酸素条件と低酸素条件の 2 条件を設定し、低酸素条件では低酸素ガス発生装置を用いて酸素濃度 13.0% の低酸素ガスを吸入させた。低酸素条件での実験時には、常酸素下での十分な安静をとり、その際の筋エネルギー代謝の測定および呼気ガス採取を行った後、低酸素ガスの吸入を開始し、低酸素下での安静時および運動時の測定を行った。

4. 研究成果

運動パフォーマンスは、低酸素条件では常酸素条件よりも有意に低かった ($p < 0.01$)。

最大下の同一絶対強度での筋内 PCr 濃度および pH は、常酸素条件よりも低酸素条件で有意に低い値を示した (図 1 および 2, いずれも $p < 0.05$)。

疲労困憊時の筋内 PCr はいずれの条件においてもほぼ枯渇し、条件間で差はみられなかった (図 1)。これに対して、筋内 pH は常酸素条件よりも低酸素条件で有意に低い値を示した (図 2, $p < 0.05$)。

最大下の同一絶対強度での筋酸素消費量、 VO_2 は常酸素下よりも低酸素下で有意に低い値を示した (図 3 および 4, いずれも $p < 0.05$)。

疲労困憊時の筋酸素消費量、 VO_2 は低酸素条件において常酸素条件と比較して有意に低い値を示した (図 3 および 4, いずれも $p < 0.05$)。

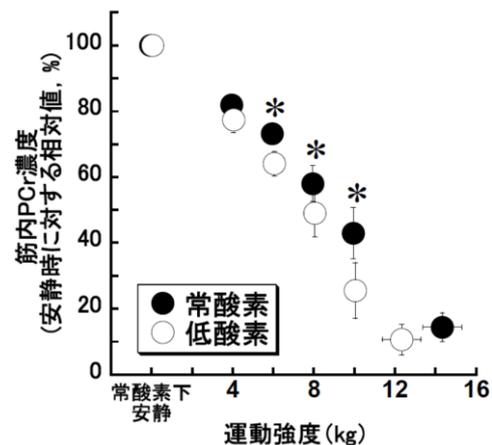


図 1. 常酸素条件と低酸素条件における運動強度の増加にともなう筋内クレアチンリン酸 (PCr) 濃度の変化 (* $p < 0.05$, 常酸素条件 vs. 低酸素条件)

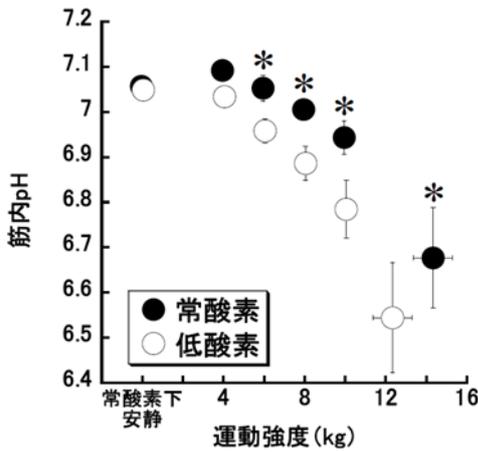


図 2. 常酸素条件と低酸素条件における運動強度の増加にともなう筋内 pH の変化 (* $p < 0.05$, 常酸素条件 vs. 低酸素条件)

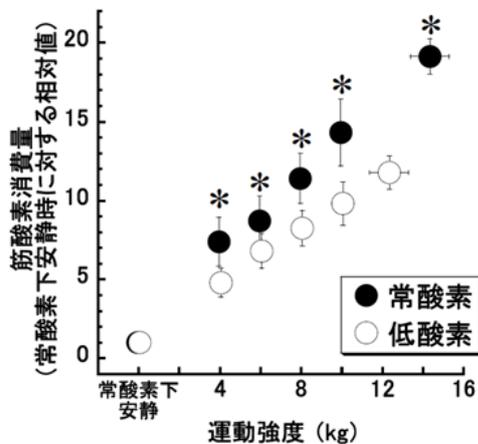


図 3. 常酸素条件と低酸素条件における運動強度の増加にともなう筋酸素消費量の変化 (* $p < 0.05$, 常酸素条件 vs. 低酸素条件)

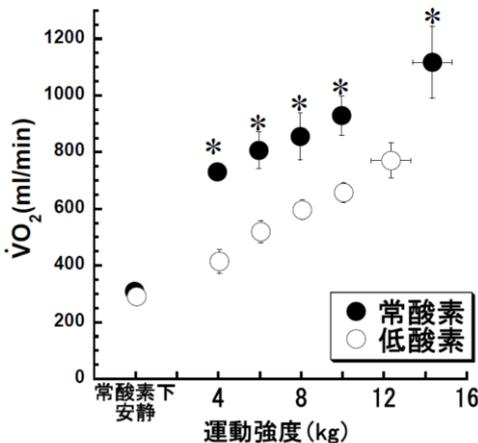


図 4. 常酸素条件と低酸素条件における運動強度の増加にともなう肺酸素摂取量 (VO_2) の変化 (* $p < 0.05$, 常酸素条件 vs. 低酸素条件)

最大下の同一絶対強度での運動時において、常酸素条件と比較して低酸素条件では、

筋酸素消費量、 VO_2 、筋内 PCr および pH がいずれも低値を示したことから、低酸素下では常酸素下と比較して、同一絶対強度での運動時においては活動筋における有酸素性エネルギー供給量が減少し、無酸素性エネルギー供給量が増加することが示唆された。

低酸素条件では常酸素条件と比較して同一絶対強度での筋内 pH が低かったことから、高地トレーニングにおいて、平地と同等のトレーニング強度を維持することは、運動中の筋内 pH 低下の抑制、あるいは pH が低下した状態で運動を持続する能力に対する刺激となるものと思われる。

疲労困憊時には常酸素、低酸素のいずれの条件においても筋内 PCr はほぼ枯渇したが、筋内 pH は低酸素条件のほうが有意に低かったことから、比較的短時間で疲労困憊に至るような高強度の運動時には、低酸素下では常酸素下よりも解糖系によるエネルギー供給の動員が大きいことが示唆された。このことから高強度の運動時に解糖系のエネルギー供給機構に高い刺激を与える目的としての高地トレーニングの有効性も考えられる。

本研究の結果から、低酸素下では常酸素下と比較して、同一絶対強度での運動時には活動筋における有酸素性エネルギー供給量が減少し、無酸素性エネルギー供給量が増加することが示唆された。また、高強度の運動時には、常酸素下よりも低酸素下のほうが解糖系のエネルギー供給機構に高い負荷がかけられることが示唆された。

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 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

1. 本間俊行, 鳥賀陽信央, 川原貴, 高橋英幸. 低酸素曝露が運動時の活動筋エネルギー代謝におよぼす影響. 第 63 回日本体力医学会大会. 平成 20 年 9 月 20 日. 大分.
2. 本間俊行. 急性低酸素曝露が運動時の活動筋エネルギー代謝に及ぼす影響. 第 12 回高所トレーニング国際シンポジウム. 平成 20 年 10 月 25 日. 東京.
3. Toshiyuki Homma, Nobuhisa Ugaya, Takashi Kawahara, Hideyuki Takahashi. Effects of hypoxia on muscle energy metabolism during exercise. 56th Annual Meeting of American college of Sports Medicine. 平成 21 年 5 月 28 日. アメリカ合衆国ワシントン州シアトル.