

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 4 月 12 日現在

機関番号：82632

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2011～2012

課題番号：23800075

研究課題名（和文） 低酸素環境下における持久性運動が筋細胞内脂質代謝に及ぼす影響

研究課題名（英文） Effects of hypoxia on the intracellular lipid oxidation during prolonged exercise

研究代表者

大澤 拓也 (OSAWA TAKUYA)

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・契約研究員

研究者番号：70613496

研究成果の概要（和文）：全身と筋内の脂質酸化は必ずしも一致した傾向を示さない。本研究の目的は、低酸素における全身脂質酸化の低下が筋細胞内脂肪酸化に関係するか明らかにすることとした。長距離走者は通常・低酸素下で 90 分間走を実施した。その結果、低酸素下では全身脂質酸化は低下したが、同様に筋細胞内脂肪酸化も低下した。本研究の結果、低酸素による全身脂質酸化の低下には少なくとも筋細胞内脂肪酸化の抑制が関係することが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：Whole-body fat oxidation was not always consistent with intramuscular fat oxidation. The aim of this study was to test whether hypoxia-decreased whole-body fat oxidation was intracellular lipid (IMCL) oxidation. Endurance runners performed 90-min running tests in normoxia and hypoxia. Compared with normoxia, hypoxia decreased not only whole-body fat oxidation, but also IMCL oxidation. These results suggest that decrease of whole-body fat oxidation in hypoxia is partly attributed to that of IMCL oxidation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2012 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

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：低酸素，プロトン核磁気共鳴分光法，筋細胞内脂肪，長時間運動

1. 研究開始当初の背景

(1) 低酸素環境下での脂質代謝

運動時のエネルギー基質は主に糖質と脂質

である。その割合は運動強度や時間により異なるが、運動環境によっても変化する。例えば、高所・低酸素環境下では糖質代謝が亢進

し、脂質代謝が抑制されることが知られている。

先行研究では、低酸素曝露により遊離脂肪酸の利用率が低下することが報告されているが、それ以外の脂質についてはほとんど明らかになっていない。

(2) 筋内脂肪の特性

運動時、エネルギーとして利用される主な脂質は遊離脂肪酸と筋内脂肪である。筋内脂肪は筋細胞内脂肪(IMCL)と筋細胞外脂肪(EMCL)に分類され、特にIMCLは運動に関与していることが報告されている。IMCLの特徴として、1) ミトコンドリアに隣接して存在し、直接エネルギー源として利用される 2) 長時間運動時、大きく低下する 3) インスリン感受性と負の相関を示すが、持久性アスリートにおいてもIMCL貯蔵量は多い、などがあげられる。一方、EMCはBMIとの相関が認められるものの、運動による急性的な変化は認められていない。

これまでは、筋内脂肪の評価には筋生検法が用いられてきたが、近年、プロトン磁気共鳴分光法が用いられている。その主な利点として、1) 非侵襲的である 2) 深層部(本研究ではヒラメ筋)の測定が可能である 3) IMCLとEMCLの分離が容易である、などがあげられる。

(3) IMCLの運動時変化

先述のように、IMCLは長時間運動時にエネルギー源として利用されるため、運動後には低下する。しかしながら、その変化は全身脂質代謝と必ずしも一致しない。

例えば、長時間運動時では、全身脂質代謝は徐々に増加するが、IMCL代謝は徐々に低下する。また、運動時の糖質摂取により、全身脂質代謝は抑制されるものの、IMCL酸化量は変化しなかった。さらに、薬理的的手法により、遊離脂肪酸酸化を抑制した場合、全身脂質代謝は低下するが、IMCL酸化はむしろ増加することが報告されている。

このようなことから、低酸素環境下において、例え全身脂質代謝が低下したとしても、同様にIMCLも低下するとは限らない。また、低酸素環境下では有酸素性能が低下することから、運動時代謝を評価する場合、絶対・相対運動強度で比較する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 低酸素吸気が持久性運動時におけるIMCL酸化に及ぼす影響について、同一絶対および相対運動強度の比較より検討することとした。それにより、低酸素環境下における全身脂質代謝の低下がIMCL酸化に関与しているのか明らかにすることとした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

持久性種目(長距離走者、トライアスリート)選手7名を対象とした。

(2) 実験デザイン

実験は全てで5日間とした。

1-2日、被験者は通常(N)・低(H:吸気酸素濃度14.8%)酸素環境下において、トレッドミル走行による漸増速度運動試験を行い、最高酸素摂取量(それぞれ $VO_{2peak-N}$ 、 $VO_{2peak-H}$)を算出した。

3-5日、被験者はトレッドミル上にて、長時間ランニング試験を90分間実施した。

それぞれの実験は72時間以上の間隔を空けて実施した。

(3) 運動プロトコル

① 漸増速度運動試験

N・H環境下において、30分以上曝露された後、トレッドミル上にてランニングによる漸増速度運動試験を疲労困憊まで実施した。

トレッドミル上にて1分間の立位安静後、毎分180mの速度で3分間の走行後、1分毎に毎分10m、漸増させた。

より正確な最大下運動速度を算出するため、十分な休息(約1時間)の後、それぞれの環境の最高酸素摂取量の60%、75%、90%の速度で6分間の固定速度走運動を実施した。

② 長時間ランニング試験

漸増速度運動で得られた $VO_{2peak-N}$ 、 $VO_{2peak-H}$ を基準として、以下の3条件のランニング試験を90分間実施した。

NN条件：N環境下で65% $VO_{2peak-N}$

HH条件：H環境下で65% $VO_{2peak-H}$

NH条件：N環境下で65% $VO_{2peak-H}$

つまり、NHとHHは同一絶対運動強度(同一速度)、NNとHHは同一相対運動強度(同一% VO_{2peak})とした。

運動時、トレッドミルの速度は設定値と異なることが少なくない。正確な速度を算出するため、常時、トレッドミルの実速度を測定した。①では実速度を記録し、実速度—酸素摂取量の関係を算出した。②ではその関係より、各速度を決定した。また、トレッドミルの傾斜は全ての実験において1%に固定した。

(4) 測定項目

① 漸増負荷運動試験

呼気ガスはブレスバイブレス法にて、運動中、連続して測定された。心拍数は携帯型心拍計を用いて評価された。また運動直後および3分後に指尖より採血され、血中乳酸濃度が測定された。

運動時の酸素摂取量の最高値であり、以下

の5条件のうち、3条件以上満たした場合のみ、 VO_{2peak_N} 、 VO_{2peak_H} と定義した：1) 酸素摂取量の停滞が見られる 2) 呼吸交換比が1.1以上を示す 3) 心拍数が年齢から予測される最高心拍数の±10%以内である 4) 血中乳酸濃度が8mM以上である 5) トレッドミル上にて、身体が1m以上後退する。

② 長時間ランニング試験

呼気ガスは運動開始30、60、90分後に測定された。心拍数は携帯型心拍計を用いて評価された。

血中乳酸濃度は指尖採血により測定された。血糖値、遊離脂肪酸、アドレナリン、成長ホルモン、インスリンは肘静脈採血により評価された。採血はいずれも運動前、直後であった。

IMCLおよびEMCLの測定は運動前後に磁場強度3.0テスラの磁気共鳴装置内にて、プロトン磁気共鳴分光法を用いて実施した。被験筋は前脛骨筋およびヒラメ筋とした。被験者は磁気共鳴装置内のベッド上にて、下腿部にボリュームコイルを装着し、仰臥位・安静状態にて測定した。同一部位で測定するため、膝蓋骨下縁からの距離を測定し、スライス位置を決定した。前脛骨筋およびヒラメ筋の測定領域は12mm×12mm×20mmであった。測定パラメータは以下に設定した；繰り返し時間=4,000ms、エコー時間=30ms、積算回数=64回。また、水抑制ありと水抑制なしの2条件でのデータを収集した。IMCLとEMCLの解析には、LCModel (Ver. 6. 2-4A)を用いた。

4. 研究成果

(1) 漸増速度運動試験

VO_{2peak_N} および VO_{2peak_H} はそれぞれ 60.0 ± 5.8 mL/kg/分、 54.2 ± 6.2 mL/kg/分であった。また、 $65\%VO_{2peak_N}$ および $65\%VO_{2peak_H}$ の速度はそれぞれ 192 ± 16 m/分、 167 ± 16 m/分となった。

① 呼気ガス

呼気ガス解析による全身脂質酸化量は NH、NN、HH の順で大きかった(図1)。また、NHはHHに対し、有意に高値を示した。

② 血液解析

血糖、血中乳酸、および遊離脂肪酸濃度の運動前後における変化量は条件間で有意差は認められなかった。一方、NHに対し、HHにおけるアドレナリンや成長ホルモンは有意に高値を示した。

③ プロトン磁気共鳴分光

プロトン磁気共鳴分光により算出されたEMCLは全ての条件とも、運動前後で有意な変化を示さなかった。一方、前脛骨筋のHHを

除き、IMCLは運動後に有意な低下を示した(図2)。また、その変化量は前脛骨筋、ヒラメ筋とも、NH、NN、HHの順で大きな値を示した。また、NHとHHの間に有意な差が認められた(図3)。これらの結果は呼気ガス解析による全身脂質酸化量と類似していた。

以上の結果より、低酸素環境下ではIMCL酸化が抑制されることが明らかとなった。また、先行研究では、全身脂質代謝とIMCL酸化は必ずしも一致するわけではないことが報告されていたが、低酸素による全身脂質代謝の抑制はIMCL酸化の低下と少なからず関係していることが示唆された。

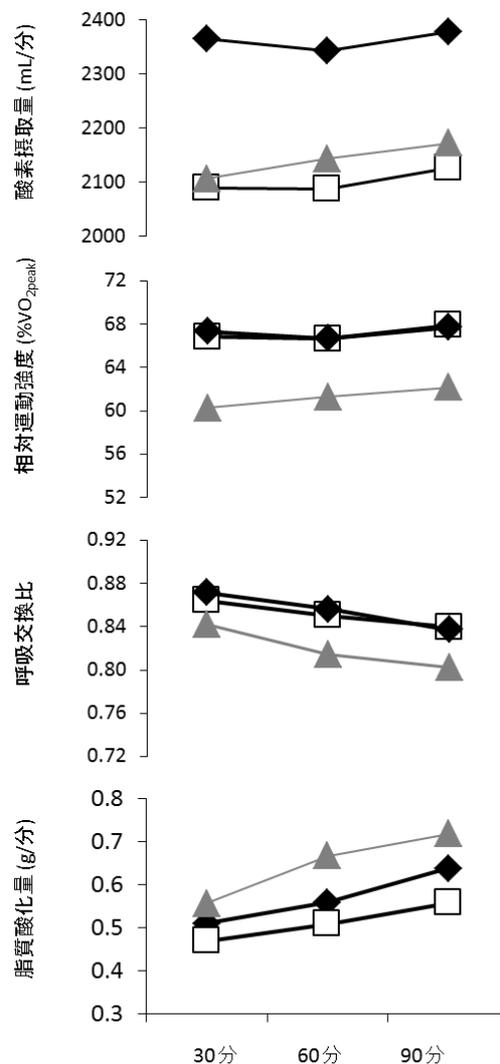


図1. 90分運動時における呼気ガス応答

- ◆ NN □ HH ▲ HN
- ▲-□ 同一絶対運動強度
- ◆-□ 同一相対運動強度

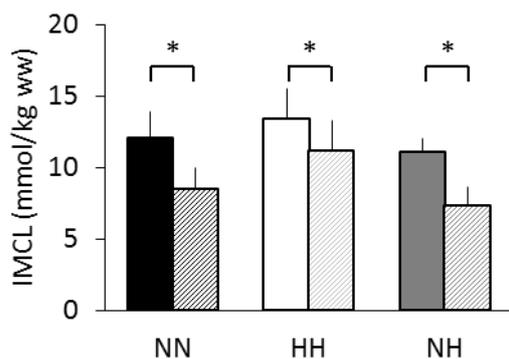


図2. ヒラメ筋のIMCL. 平均±標準誤差

* P<0.05. ■ 運動前 ▨ 運動後

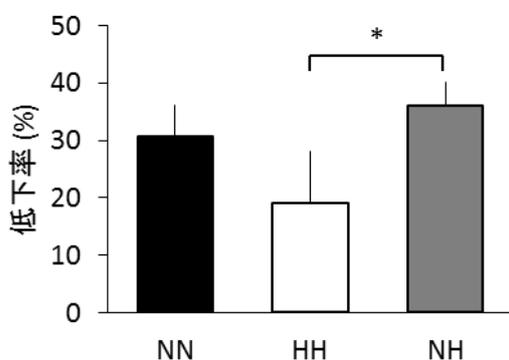


図3. 運動前後におけるヒラメ筋のIMCL

低下率. 平均±標準誤差 * P<0.05

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)

大澤拓也、低酸素環境と筋内脂肪代謝、体育の科学(杏林出版)、査読なし、第62巻、第11号、2012. 11、859-864

[学会発表] (計1件)

Takuya Osawa, Takuma Arimitsu, Hideyuki Takahashi. Is hypoxia-decreased fat oxidation attributed to the intramyocellular lipid oxidation? The European College of Sport Science、2013年6月29日、バルセロナ・スペイン

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大澤 拓也 (OSAWA TAKUYA)

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

究部・契約研究員

研究者番号：70613496

(2) 研究協力者

有光 琢磨 (ARIMITSU TAKUMA)

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・契約研究員

研究者番号：00616021

高橋 英幸 (TAKAHASHI HIDEYUKI)

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・副主任研究員

研究者番号：00292540