

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：32620

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25750340

研究課題名（和文）低酸素環境が運動・回復時における筋グリコーゲン代謝に及ぼす影響

研究課題名（英文）Effects of hypoxia on muscle glycogen metabolism during exercise and recovery

研究代表者

大澤 拓也（OSAWA, TAKUYA）

順天堂大学・COIプロジェクト室・博士研究員

研究者番号：70613496

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では、低酸素環境が運動時や回復時の筋グリコーゲンの変化にどのような影響を及ぼすのか明らかにすることを目的とした。研究 1 では、低酸素環境下において繰返しスプリント運動を実施した結果、通常酸素と比較して、筋グリコーゲンの低下率が下がる傾向が認められた。研究 2 では、運動後、低酸素環境下にて睡眠を行った結果、筋グリコーゲンの回復が抑制されたことが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The aim of this KAKEN studies was to examine how hypoxia influenced the change of muscle glycogen during exercise and recovery. The study 1 elucidated that during the repeated-sprint exercise tests, the decrement rate of muscle glycogen tended to be lower under hypoxic than normoxic conditions. The study 2 revealed that the recovery rate of muscle glycogen during sleep after exercise was lower under hypoxic than normoxic conditions.

研究分野：スポーツ生理学

キーワード：グリコーゲン 磁気共鳴分光法 MRI MRS スプリント運動 睡眠 高所環境 自転車運動

## 1. 研究開始当初の背景

筋グリコーゲンの研究は古くより行われてきたが、近年、磁気共鳴分光法により非侵襲的かつ連続的に測定することが可能となった。

低酸素環境下では、全身の糖質代謝が亢進するが、それは何(血液・肝臓・筋など)に由来するのか、また活動筋内のグリコーゲン利用は低酸素環境下で変化するのか明らかでない。さらに、運動時だけでなく、運動後の回復時において、筋グリコーゲン合成に影響するかについても不明である。

本研究では、通常・低酸素環境下において、持久性運動および高強度間欠運動を行い、低酸素環境が筋グリコーゲン代謝に及ぼす影響について明らかにすることを第一の目的とする。さらに吸気酸素濃度が筋グリコーゲン合成に及ぼす影響を明らかにすることを第二の目的とする。

## 2. 研究の目的

### (1)【研究】

低酸素環境下での最大下運動時、脂質代謝が抑制され、糖質代謝が亢進する。従って、筋グリコーゲンの低下が大きくなる。しかしながら、球技のように超最大強度での全力運動と休息を繰り返す運動では、通常酸素環境下であっても解糖系代謝が大きく亢進していることから、低酸素環境下であっても、筋グリコーゲンの低下率はほとんど変わらない可能性が考えられる。

本研究では、低酸素環境が繰返し全カスプリント運動時における筋グリコーゲン低下に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

### (2)【研究】

筋グリコーゲンは持久性のみならず、瞬発性パフォーマンスに影響する。そのため、筋グリコーゲンをいかに回復させるのか、またその回復に何が影響するのかを明らかにすることは重要である。

これまでの研究において、様々な観点より筋グリコーゲンの回復に関する研究が行われているが、酸素環境がどのような影響を及ぼすのか明らかではない。実際のトレーニング現場において、生活を高所、トレーニングを低所で行う Living-High, Training-Low 法などの高所トレーニングが行われており、酸素環境が筋グリコーゲン回復に及ぼす影響を明らかにすることは選手やコーチにとっても有益である。

本研究では、低酸素環境下における覚醒時・睡眠時の休息が筋グリコーゲンの回復にどのような影響を及ぼすのか明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1)【研究】

被験者

被験者は瞬発的または間欠的運動を含むスポーツ(アメリカンフットボール、フットサル、陸上競技短距離種目)を専門としている7名であった。年齢、身長、体重はそれぞれ  $24 \pm 3$  歳、 $176 \pm 6$ cm、 $72.9 \pm 7.1$ kg (平均  $\pm$  標準偏差)であった。

### 実験デザイン

実験は非連続した3日間からなり、すべて午前中に実施された。

1日目、炭素磁気共鳴分光( $^{13}\text{C}$ -MRS)法のファントムを決定するため、3テスラの超電導磁気共鳴画像(MRI)装置(Magnetom Verio, Siemens 社製、ドイツ)を用いて、右大腿部の断面画像を撮影した。その後、実験の環境や機器、運動プロトコルに慣れるため、練習試技(下記に示す本実験に慣れるため、本実験と同様の運動を5~10回)を実施した。

2日目および3日目、通常酸素環境下、または低酸素環境下(吸気酸素濃度 15.0%)において、自転車エルゴメータ(Excalibur Sport, ロード社製、オランダ)を用いて、繰返し全カペダリング運動を実施した。また、運動前後において、 $^{13}\text{C}$ -MRS法による筋グリコーゲン測定を行った。実験中、連続して呼気ガスと心拍数の測定を行った。また、運動前、休息時、終了時に指尖より採血を行い、血糖値および血中乳酸濃度を測定した。

被験者には、前日の激しい運動は控えること、前日の食事は2条件で類似した通常通りの食事を摂取することを指示した。また、起床は6:00ごろ、運動開始は10:50とし、前日夕食後から実験開始まで水以外の摂取を制限した。実験環境は21に設定された室内において実施した。

### 運動プロトコル

被験者は実験室移動後、30分以上の安静を保った後、運動を実施した。

ウォーミングアップ運動(仕事量:2W/kg体重、ペダル回転数:80回転/分)5分間、安静3分間の後、繰返し全カペダリング運動を実施した。運動は空こぎ(0Wペダリング、ペダル回転数:80回転/分)50秒間、安静5秒間、全カペダリング5秒間(負荷:0.075kp/kg体重)で構成され(1分間)、その10回の繰返しを1セットとし(10分間)、4セット実施した(合計40回の全カペダリング)。セット間の休息は2分間、10分間、2分間とした。

被験者は空こぎ時、自転車エルゴメータのサドル上に座りペダリングを行った。全カペダリング運動5秒前より、右ペダルを前方に固定した立位安静姿勢を保ち、測定者のカウントダウンに合わせて、ペダリングを開始し、測定者の合図まで立位姿勢で全力運動を5秒間実施した。

自転車エルゴメータのハンドル・サドル位置は実験を通して被験者ごとに固定し、3条件とも同一姿勢で行われた。

## 測定項目

### 1) 運動パフォーマンス

自転車エルゴメータより外部出力されたデータより、全力ペダリング運動時の最高パワーおよび 5 秒間の平均パワーを算出した。本稿では、それらを 1 セット毎、および全 40 回の平均を被験者毎に算出した。

### 2) 呼気ガス・心拍数

呼気代謝モニタシステム(エアロモニタ AE-310s, ミナト医科学株式会社, 日本)を用いて、呼気ガスを breath-by-breath 法により測定し、酸素摂取量と呼吸交換比を算出した。各実験の前、呼気代謝モニタシステムのフローセンサおよびガスメータの校正を行った。携帯型心拍計(RS800CX, ポラル社製, フィンランド)を用いて、心拍数を 5 秒ごとに計測した。

### 3) 血糖値・血中乳酸濃度

指尖からの微量採血により、簡易型測定器を用いて、血糖値(メディセーフフィット, テルモ株式会社, 日本)および血中乳酸濃度(BIOSEN 5040, EKF, ドイツ)を測定した。血糖値・血中乳酸濃度の測定は運動前、ウォーミングアップ運動後、1 セット後、2 セット後、3 セット後、4 セット後に実施した。

### 4) 筋グリコーゲン

運動前および運動終了時に、<sup>13</sup>C-MRS 法を用いて、右外側広筋中央部よりグリコーゲン濃度を測定した。被験者は MRI 装置内で仰臥位になり、直径 10cm の <sup>13</sup>C-<sup>1</sup>H 表面コイルを右外側広筋中央部に装着し、<sup>13</sup>C-MRS スペクトルを収集した(繰り返し時間: 200 ミリ秒, データポイント: 2048, スペクトル幅: 20000Hz, 積算回数: 4500 回, WALTZ4 プロトンデカップリング, 核オーバーハウザー増強(NOE)). 1 回の測定は 15 分であった。収集したデータは 120mmol/L のファントムデータとの比較を行い、筋グリコーゲン濃度を算出した。なお、ファントムサイズは実験初日に撮影された大腿部断面画像より被験者毎に決定した。

## (2) 【研究】

### 被験者

被験者は持久性能力を要するスポーツ(自転車競技, トライアスロン, サッカーなど)を専門としている 10 名であった。年齢, 身長, 体重はそれぞれ  $22 \pm 2$  歳,  $170 \pm 5$ cm,  $65.0 \pm 11.2$ kg (平均  $\pm$  標準偏差)であった。

### 実験デザイン

実験は非連続した 3 日間であった。2 日目, 3 日目は夕刻から翌朝まで実施した。また, 前日の夕食から実験時間までのすべての食事は規定された。

1 日目, 【研究】と同様に, MRI 法により, 右大腿部の断面画像を撮影した。

2 日目および 3 日目, 通常酸素環境下にて, 筋グリコーゲンが約 60% 低下する自転車ペ

ダリング運動を実施した。その後, 通常酸素環境または低酸素環境下にて, 覚醒休息 3 時間, 睡眠 7.5 時間を実施した。また, 運動 1 時間後に夕食(糖質  $2.4 \pm 0.4$ g/kg 体重), 就寝直前に軽食(糖質  $0.7 \pm 0.1$ g/kg 体重)を摂取した。

## 測定項目

### 1) 筋グリコーゲン

運動前および運動終了時, 就寝直前(覚醒休息 3 時間後), 起床時(睡眠 7.5 時間後)に, <sup>13</sup>C-MRS 法を用いて, 右外側広筋中央部よりグリコーゲン濃度を測定した。測定方法や測定条件は【研究】と同様とした。

### 2) 血糖値

簡易型測定器(メディセーフフィット, テルモ株式会社, 日本)を用いて, 指尖からの微量採血により血糖値を測定した。測定タイミングは夕食前, 夕食後 15 分, 30 分, 45 分, 60 分, 90 分, 120 分とした。

### 3) 動脈血酸素飽和度(SpO<sub>2</sub>), 脈拍数

覚醒休息時および睡眠時にパルスオキシメータ(PULSOX-300, コニカミノルタ, 日本)を用いて, 指先より非侵襲的に SpO<sub>2</sub> および脈拍数が測定された。

### 4) 睡眠時呼吸数

睡眠マット(SL-504, タニタ, 日本)を用いて, 睡眠時の呼吸数が測定された。

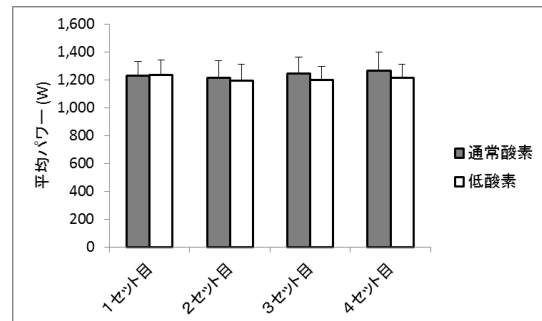
### 5) 主観的疲労感・不眠感

起床時, 10cm スケールを用いた Visual analog scale 法を用いて, 主観的疲労感・不眠感が測定された。

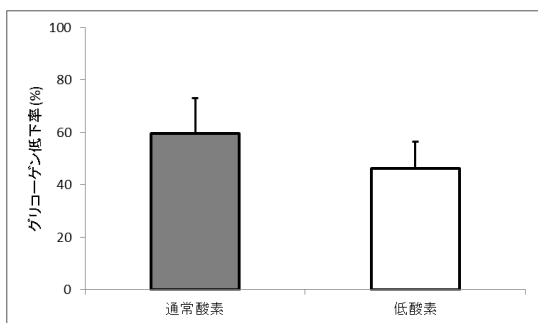
## 4. 研究成果

### (1) 【研究】

各セットの運動パフォーマンス(平均仕事量)の比較において, セット数が増加するに従い, 通常酸素条件と低酸素条件との差は小さくなったが, 酸素条件間に統計学的な差は認められなかった。また, 全試技の平均値の比較では, 通常酸素条件は  $1239 \pm 116$ W, 低酸素条件は  $1209 \pm 104$ W であり, 両酸素条件間で有意差は認められなかった。



運動前の筋グリコーゲン濃度は両酸素条件間で有意差は認められなかった。運動後の筋グリコーゲン濃度の低下率は通常酸素条件と比較し, 低酸素条件のほうが低い傾向を示した( $p=0.05$ )。

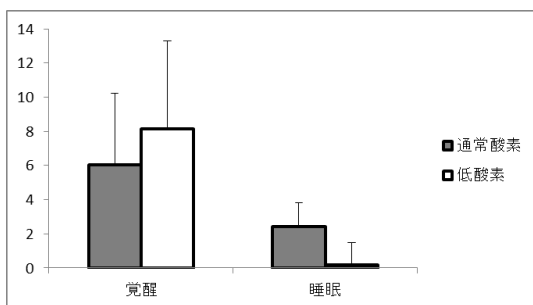


運動時における換気量，酸素摂取量，心拍数，血糖値，血中乳酸濃度は条件間で有意差は認められなかった。

以上より，繰返し全カスプリント運動では，酸素条件間で運動パフォーマンスの統計学的な差が認められないにもかかわらず，筋グリコーゲンの低下率は低酸素条件の方が低い傾向を示した．最大下運動時では，低酸素環境の方が糖質代謝が高まることから，本研究の結果は今後，より詳細な検討が必要であると考えられる．

## (2)【研究】

安静時の筋グリコーゲン濃度を 100%とした相対値で表したとき，運動終了時は  $45.1 \pm 10.0\%$  および  $39.2 \pm 14.8\%$ ，就寝直前は  $62.6 \pm 13.7\%$  および  $63.3 \pm 18.0\%$ ，起床時は  $82.0 \pm 22.4\%$  および  $65.8 \pm 15.5\%$ （いずれも通常酸素条件および低酸素環境条件）であり，酸素条件間で有意差は認められなかった．しかしながら，単位時間当たりの変化率の比較において，覚醒休息時では酸素条件間で有意差は認められなかったが，睡眠時では低酸素条件で有意に低い値を示した．



覚醒休息時において，血糖値の推移や血糖値の曲線下面積は酸素条件間で有意差は認められなかった．また低酸素環境下では， $SpO_2$  は有意に低く，脈拍数は有意に高い値を示した．

睡眠時において，低酸素環境下では， $SpO_2$  は有意に低く，脈拍数や呼吸数は有意に高い値を示した．また，起床時の不眠感に酸素条件間で有意差はなかったが，疲労感は低酸素条件で有意に高値を示した．

以上の結果より，低酸素環境下への滞在は筋グリコーゲンの回復に大きな影響を及ぼさないことが示唆された．しかしながら，睡眠時には，低酸素曝露によりその回復率が遅延する可能性が示唆された．

## 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）

〔学会発表〕(計 3 件)

大澤拓也，近藤衣美，高橋英幸，運動時のエネルギー摂取量の違いが長時間・間欠的運動パフォーマンスおよび筋グリコーゲンに及ぼす影響，日本体力医学会，2015

大澤拓也，高橋英幸，低酸素環境は筋グリコーゲンの回復を遅延させるか？，日本体力医学会，2016

ISOTT

## 6．研究組織

### (1)研究代表者

大澤 拓也(OSAWA, Takuya)

順天堂大学・COI プロジェクト室・博士研究員

研究者番号：70613496

### (2)研究協力者

高橋 英幸 (TAKAHASHI, Hideyuki)

国立スポーツ科学センター・スポーツ研究部・主任研究員

研究者番号：00292540