

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：32671

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01750

研究課題名(和文) 運動・回復時における筋グリコーゲン動態の不均一性

研究課題名(英文) Heterogeneity of muscle glycogen changes during exercise and recovery

研究代表者

大澤 拓也 (OSAWA, TAKUYA)

日本女子体育大学・体育学部・准教授

研究者番号：70613496

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)：本研究の目的は非侵襲的かつ短時間で筋グリコーゲン測定ができる超音波法を用いて、運動及び食事による筋グリコーゲンの変化の筋ごとの違いを明らかにすることであった。長距離種目を専門とする若年対象者は90分間ランニングを行い、その直後に食事を摂取した。運動前、直後、食後2時間、4時間に、超音波法により計10の筋(左右脚、各5つの筋)を測定した。運動前と比べて、運動直後にすべての筋でグリコーゲンが低下する傾向が観察されたが、その低下は個人差が大きく、筋ごとの差は認められなかった。また、食後4時間に筋グリコーゲンが回復する傾向が見られたが、運動後と同様、筋ごとの差は認められなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の本来の目的は超音波法を用いて、これまで現実的に実施不可能であった、筋グリコーゲンの筋ごとの違い、不均一性を明らかにすることであった。筋グリコーゲンは今なおスポーツ科学分野において重要なテーマであり、超音波法による筋グリコーゲン測定のメリット(非侵襲的かつ短時間測定)を活かすことにより、身体の新たな理解やスポーツにおける戦術等につながり、学術的にも社会的にも意義のある研究と考えていたが、妥当性の問題が解決されないままとなってしまった。ただ、学術的なヒントとして実験条件等をさらに検討し、制限した中では今後の研究につながる可能性が見られた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to compare the glycogen values of various working muscles using the ultrasound methods before and after 90-min running and after recovery. The young long-distance runners performed 90-min running and took a meal immediately after the running. The glycogen values of ten working leg muscles (five muscles each legs) were measured using the ultrasound methods before and after the running and at the 2nd and the 4th hours after the meal. The glycogen values of all muscles tended to be decreased after the running and recovered after the meals, but there was no significant difference of the change rates among the muscles.

研究分野：運動生理学

キーワード：筋グリコーゲン 超音波法 不均一性

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

筋グリコーゲンは運動時の重要なエネルギー源であり、マラソンなどの持久性競技では運動パフォーマンスの制限因子のひとつと考えられている。生体内の糖質は筋グリコーゲンと血糖であり、脂質に比べて糖質の貯蔵量は顕著に少ない。そのため、運動前の筋グリコーゲン貯蔵量の増加や運動時の筋グリコーゲン利用の節約は持久性パフォーマンス向上に繋がると考えられている。

一方、瞬発系競技においても、筋グリコーゲンは重要である。近年、筋グリコーゲンは単にエネルギー源としての役割だけでなく、筋内のカルシウムイオン放出や筋出力に影響することが明らかとなった(Geji et al. 2014)。つまり、間欠的運動(サッカーなど)時、運動後半のパフォーマンスの低下はエネルギー源の減少だけでなく、筋グリコーゲン量の減少に伴う筋出力の低下も要因と考えられる。また、1日に2試合以上行う高強度間欠運動種目(バドミントンなど)では、試合と試合の間での筋グリコーゲンの回復が次の試合のパフォーマンスに影響すると考えられる。そのため、いかに筋グリコーゲンを回復させるかが、持久性・瞬発性の双方の運動パフォーマンスにおいて重要である。

筋グリコーゲンの評価法のスタンダードは「筋生検法(バイオプシー)」である。筋生検は筋を採取・解析し、筋内のグリコーゲンを直接測定する方法であり、妥当性は高いというメリットがあるが、身体の負担が大きく、回復にも時間を要するデメリットが存在する。そのため、研究倫理を考慮すると高頻度や複数個所の測定は現実的に不可能である。

一方、近年、我々はMRI装置を用いて、非侵襲的に筋グリコーゲンを評価する「炭素磁気共鳴分光法( $^{13}\text{C}$ -MRS)」を確立させた(Takahashi et al. 2015)。これにより、一部位の測定に10-15分を要するが、身体の負担がほとんどなく、繰返し測定が容易となった。

さらに最近、「超音波法」による筋グリコーゲン評価法が開発された(Hill et al. 2014)。 $^{13}\text{C}$ -MRSと同様、超音波法は非侵襲的であり、繰返し測定が容易である。また、最大の特徴として、測定時間が短く、ほぼ同時(数秒ごと)に複数個所を測定できる。評価は絶対値でなく、0~100の独自スケールであるが、他の方法との併用により、そのデメリットを補完できる。

運動時、さまざまな筋が同時に活動する。例えば、ランニングでは、足・膝関節筋に加えて、股関節筋や体幹などの筋も活動する。また、大腿部でもそれぞれの筋で活動や代謝が異なり、さらに運動強度によりその関係が変化する。これまでに、運動・回復時の筋放電量、筋脱酸素化、筋内血流量などの筋間の違い(不均一性)は明らかになっているが、筋グリコーゲンの不均一性はいまだ不明である。

運動の種類により、筋グリコーゲンの利用は異なる。高強度運動では、速筋がより大きく利用され、速筋の多い筋のグリコーゲンが大きく低下する。一方、低強度・長時間運動では、遅筋の多い筋のグリコーゲンが大きく低下する。さらに、マラソンでは大腿部よりも下腿部の筋グリコーゲン低下が大きく、クロスカントリースキーでは下肢よりも上肢の筋グリコーゲン低下が大きい。

このように、運動強度や運動様式により、筋グリコーゲン利用は各筋で大きく異なる。これらの理解はトレーニングやコンディショニングの一助となり、競技成績の向上に貢献すると考えられる。しかし、これまでは評価法の問題もあり、これに関する研究はいまだにほとんど行われていなかった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は「長時間ランニング運動および回復時における各活動筋の筋グリコーゲン変化を明らかにすること」であった。

### 3. 研究の方法

陸上競技・長距離種目を専門としている健康的な若年成人男性6名(年齢:  $22 \pm 1$  歳、身長:  $170 \pm 4$  cm、体重:  $56.8 \pm 3.6$  kg)が本研究に参加した。実験に際して、対象者は本研究の内容及び危険性について文書および口頭にて説明を受け、同意書に署名した。本研究はヘルシンキ宣言に則り、所属先の倫理委員会の承諾を得たうえで実施された。

実験は各対象者1日間で実施された。対象者は起床後、軽食を取った後、90分間のランニングを実施した。ランニングのペースは自身がちょうど90分間走れる程度とした。運動後、昼食をとり、その後4時間観察した。運動前、直後、2時間後、4時間後に超音波法による筋グリコーゲン、および体重の測定を実施した。また、運動中、胸部センサを用いて心拍数、および身体活動量計を用いて身体活動量を測定した。(図1)

超音波装置(LOGIQe, GE)を用いて筋グリコーゲン測定を実施した。測定部位は左右の外側広筋、内側広筋、大腿直筋、腓腹筋外側頭、および腓腹筋内側頭であった。対象者は仰臥位または伏臥位姿勢にて、各対象筋の横断画像が撮影され、そのデータはMuscleSound社によるクラウドコンピューティング上にアップロードされ解析された。

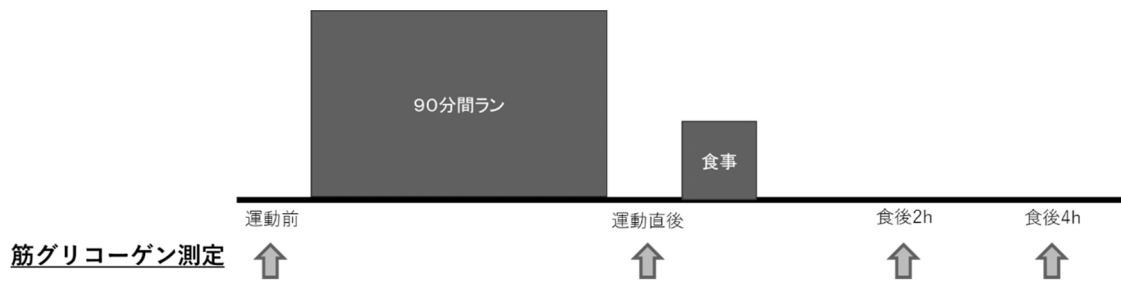


図 1. 実験プロトコル

#### 4. 研究成果

筋グリコーゲンの変化は図 2 のようになった。運動前と比べて、運動直後(運動後 0 時間)はいずれの筋も低下したが、個人差も大きく、統計学的に優位な差は得られなかった。その後運動後の食事(昼食)の 2 時間後、4 時間後に筋グリコーゲンは増加したが、優位な変化は認められなかった。このような結果が得られた理由として、被験者数が少なかったことのほか、この測定法の限界が考えられる。この実験以前に、プレ実験として  $^{13}\text{C}$ -MRS を用いて外側広筋のグリコーゲン変化の妥当性の検証を行ったが、運動により減少するもののその変化に疑問が残った。Routledge et al. (2019) の報告では、筋生検法と超音波法の比較を行うため、運動や食事による筋グリコーゲン変化を調べているが、その妥当性が認められなかったとしている。一方、Hill et al. (2014) の研究では同様に筋生検法を用いて、超音波法の妥当性を検証している。本研究の結果は、Routledge et al. の報告とは異なり、運動による筋グリコーゲンの減少傾向は認められたことから、実験条件などにより、この超音波法の妥当性が異なる可能性が考えられる。

本研究の結果、本来の目的である各筋のグリコーゲンの変化、不均一性を明らかにすることができなかった。しかしながら、非侵襲的かつ短時間での筋グリコーゲン測定が可能である超音波法を確立することは今後のスポーツ科学の発展につながることを期待されることから、妥当性の検証を進めるとともに、測定条件の検証も必要であることが示唆された。

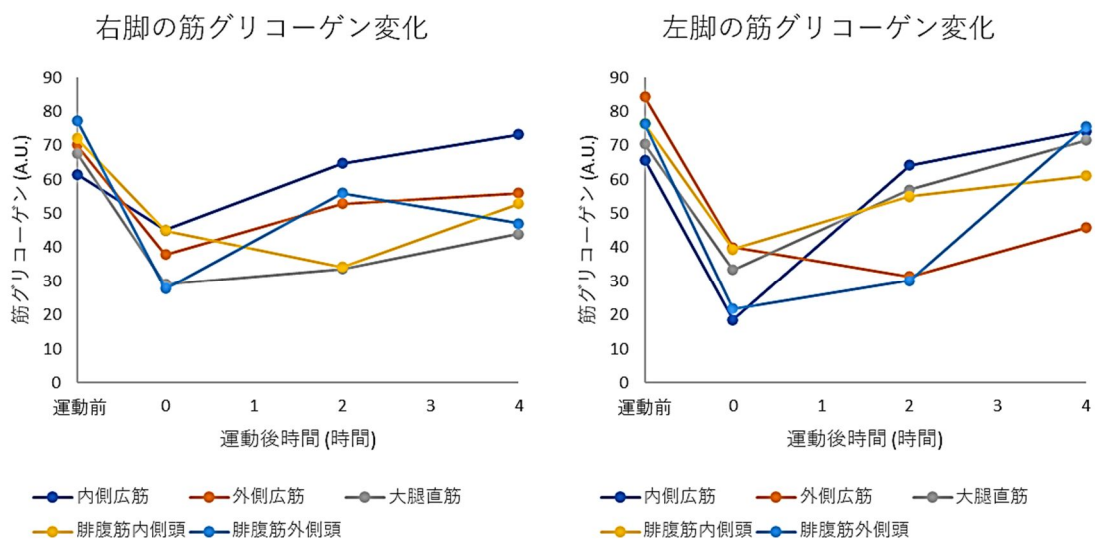


図 2. 実験時における左右脚の各筋グリコーゲンの変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高橋 英幸  (TAKAHASHI HIDEYUKI)  (00292540)	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・スポーツ研究部・主任研究員    (82632)	