

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750320

研究課題名(和文) 生体電気インピーダンス測定による体水分量評価を利用した筋グリコーゲン測定法の確立

研究課題名(英文) Muscle glycogen level and body water status measured by bioimpedance spectroscopy

研究代表者

塩瀬 圭佑 (Shiose, Keisuke)

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・スポーツ科学部・契約研究員

研究者番号：70708106

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、筋グリコーゲン貯蔵量と生体電気インピーダンス法(BIS)から推定される体水分量変化の関連性を明らかにすることであった。本研究では、筋グリコーゲン貯蔵量が増加した場合に生じる体水分量の増加はBISを用いて検出できることが示された。また、BISを用いた解析から新たにグリコーゲン貯蔵量の増加時には部位特異的な細胞内液量の増加が生じることが明らかになった。このことは、局所的な細胞内液量の変化を観測することで間接的に筋グリコーゲン貯蔵量の増加を推定できる可能性を示す。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to investigate the relationship between change in muscle glycogen levels and body water status measured by bioimpedance spectroscopy (BIS). We suggested that increase in body water accompanied by muscle glycogen supercompensation can be detected using BIS, owing to segment specific increase in intracellular water. These results imply that monitoring the change in segmental intracellular water using BIS may contribute to an understanding of the muscle glycogen levels.

研究分野：運動生理学

キーワード：グリコーゲン 体水分量 生体インピーダンス 炭素磁気共鳴分光法

1. 研究開始当初の背景

筋グリコーゲンは骨格筋に存在する糖質の貯蔵体である。グリコーゲンはエネルギー産生のための基質であるが、近年の研究から代謝適応の調節因子としての役割を担うことも明らかとなった。そのため、より効果的に運動効果を楽しむためには状況に応じて貯蔵量を増減させることが重要であると考えられるようになった。筋グリコーゲン貯蔵量を把握するために、一般的に筋組織の生化学的分析と、炭素 (^{13}C) の磁気共鳴分光法 (^{13}C -MRS) が用いられる。一方、生化学分析は筋の組織採取を伴うため反復測定が難しく、 ^{13}C -MRS は超高磁場環境で測定を行うため実施環境が限定される。そのため、競技現場において筋グリコーゲン貯蔵量を把握するにはこれらの手法では限界がある。

グリコーゲンは構造的特性上、細胞内においていくらかの水分と結合して存在する(結合水)。安定同位体希釈法を用いた先行研究では、筋グリコーゲン減少時と増加時では体水分量に 1.5-3.0 L の差異が生じることが示されており、これらの結果から 1 g あたり 2.2-4.0 g の水分と結合すると推測されている(文献①)。

近年確立された生体電気インピーダンス分光法 (BIS) は、身体に微弱な電流を流すだけで簡便に体水分量を測定できる画期的な方法である。ゴールドスタンダードである重水希釈法と比較して、精度よく体水分量を推定できる。BIS は全身および局所的に 4-1000 kHz の多周波電流を印加し各周波電流の抵抗値を得ることで各身体部位における細胞内液量・外液量を個別に解析できる。この点で、BIS は安定同位体希釈法に比べ詳細に体水分量の変化を評価できるメリットがある。我々は筋グリコーゲン貯蔵量の増減によって生じる体水分量の変動は BIS を用いることで検出できると共に、体水分量評価により間接的に筋グリコーゲン貯蔵量の変化を推定できると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、BIS を用いて筋グリコーゲン減少時から増加時に生じる体水分量の変動を調査し、筋グリコーゲン貯蔵量の変化に対し縦断的な比較を行うことを目的とする。これを達成するため本研究では以下の課題に取り組んだ。

(1) 筋グリコーゲンを増加させた場合の細胞内液量・外液量・総水分量動態の特徴を明らかにし、筋グリコーゲン増加程度との関連性を検討する。

(2) 筋グリコーゲンを減少させた場合の細胞内液量・外液量・総水分量動態の特徴を明らかにし、筋グリコーゲン減少程度との関連性を検討する。

3. 研究の方法

(1) 筋グリコーゲン貯蔵量を増加させた場合の体水分動態

① 筋グリコーゲン貯蔵量を顕著に増加させた場合の体水分動態

成人男性 8 名を対象とし、筋グリコーゲン枯渇のための自転車運動を実施した。その後 72 時間にわたり体重 1kg あたり 12g/日の糖質を摂取した。運動前後と運動 72 時間後に筋グリコーゲン貯蔵量を測定した。筋グリコーゲンは大腿部を対象とし ^{13}C -MRS を用いて測定した。運動前、72 時間後に体重と体水分量を測定した。体水分量は、重水希釈法と BIS を用いて測定した。BIS では体水分量を細胞内液量 (ICW)、細胞外液量 (ECW)、総水分量 (TW) に分けて解析した。BIS の測定は全身、上肢、体幹、下肢部を対象とした。

② 筋グリコーゲン貯蔵量を段階的に増加させた場合の体水分動態

成人男性 6 名を対象とし、筋グリコーゲン枯渇のための自転車運動を実施した。その後、72 時間にわたり体重 1kg あたり 8 g/日、または 12 g/日の糖質を摂取した(それぞれ 8g、12g 条件)。2 つの食事条件はクロスオーバーデザインにて同一被験者で実施した。運動前後と運動 72 時間後に ^{13}C -MRS にて筋グリコーゲン貯蔵量を測定した。運動前、72 時間後に体重と体水分量を測定した。体水分量は、BIS を用いて上肢、体幹、下肢における ICW、ECW、TBW を測定した。

(2) 筋グリコーゲンを減少させた場合の体水分動態

8 名の成人男性を対象とし、筋グリコーゲン枯渇のための自転車運動を実施した。その後 24 時間にわたり、体重 1kg あたり 0.8 g、または 7.8 g の糖質を摂取した(それぞれ PLA、CHO 条件)。2 つの食事条件はクロスオーバーデザインにて同一被験者でランダムに実施した。運動前後と運動 24 時間後に ^{13}C -MRS を用いて筋グリコーゲン貯蔵量を測定した。運動前、24 時間後に体重、体水分量を測定した。体水分量は、BIS を用いて上肢、体幹、下肢における ICW、ECW、TBW を測定した。

4. 研究成果

(1) 筋グリコーゲンを増加させた場合の体水分動態

① 筋グリコーゲン貯蔵量は、運動後には運動の $31.9 \pm 18.1\%$ まで減少し、運動 72 時間後には $235 \pm 83\%$ まで増加した。体重は、運動前に比べ運動後で減少し、運動 72 時間後に増加が認められた。重水希釈法で測定された体水分量は運動前に比べ、運動 72 時間後に有意に増加した。BIS で測定された全身の体水分量について、運動前に比べ運動 72 時間後で ICW の有意な増加が認められた。BIS で測定された部位別の体水分量について、

運動前に比べ運動 72 時間後に下肢部の ICW で増加が認められた (図 1).

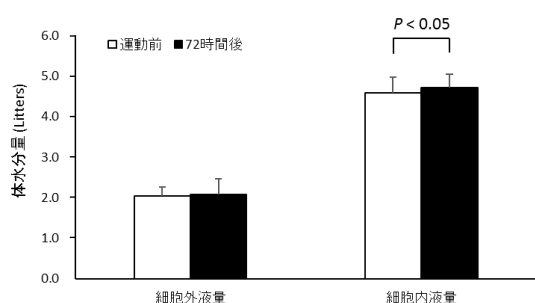


図 1. 72 時間高糖質食による下肢部の細胞内・外液量の変化
 平均値±標準偏差.

② 筋グリコーゲン貯蔵量は、両条件において運動前に比べ運動後に減少し、72 時間後に増加した。運動前に対する 72 時間後の筋グリコーゲン増加率は 8g 条件に比べ 12g 条件で有意に高かった (8g 条件 $140 \pm 11\%$, 12g 条件 $238 \pm 96\%$ of baseline value). 体重は、運動前に比べ、72 時間後に 12g 条件でのみ有意に増加した。12g 条件では、下肢細胞内・外液量は運動前に比べ運動 72 時間後に増加した。8g 条件では、下肢部の体水分量に有意な変化はなかった。上部、体幹部の体水分量は両条件で変化は認められなかった。

(2) 筋グリコーゲン貯蔵量は両条件で運動後に有意に減少した (PLA $38.3 \pm 12.2\%$, CHO $36.5 \pm 17.7\%$ of baseline value). 運動 24 時間後のグリコーゲン貯蔵量は CHO 条件で運動前と同程度まで回復したが、PLA 条件では回復は認められなかった (PLA $44.8 \pm 14.4\%$, CHO $98.1 \pm 13.6\%$ of baseline value, 図 2). 運動 24 時間後の体重は、PLA 条件で運動前と比べ有意な減少が認められた。一方、上腕、体幹、下肢における細胞内・外液量の変化パターンに条件間で違いは認められなかった。

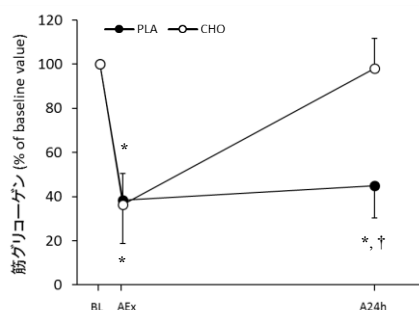


図 2. 筋グリコーゲン貯蔵量の変化
 平均値±標準偏差. BL, 運動前; AEx, 運動後; A24h, 運動 24 時間後.
 *運動前との差 ($P < 0.05$), †条件間の差 ($P < 0.05$).

本研究では、体水分量評価のゴールドスタンダードである重水希釈法を用い、筋グリコーゲン貯蔵量が通常時の 2 倍程度まで増加した場合に体水分量の増加が生じることを確認した。また、この変化は BIS を用いても検出できることを示した。BIS を用いた解析から、新たにグリコーゲン貯蔵量の増加時には部位特異的な ICW の増加が生じることが明らかになった。このことは、筋グリコーゲン貯蔵量増加時に誘発される体水分量の増加が、細胞内に存在するグリコーゲン結合水の増加に起因することを支持するものである。さらに、本研究のデータから部位ごとの ICW 変化を観測することで、筋グリコーゲン貯蔵量の増加を間接的に推定できる可能性が窺える。

一方で、筋グリコーゲン貯蔵量の増加程度が少ない場合や、減少した場合は BIS を用いて観測される全身・各身体部位の体水分量に変化が生じないことも明らかとなった。グリコーゲンは一定の割合で水分と結合し細胞内に貯蔵されると考えられているが、本研究のデータから貯蔵量の増減は常に体水分状態の変動を伴うわけでないと考えられる。この点で、本研究はグリコーゲンと体水分の関連性に対する理解を深めるための重要な基礎的知見となった。

<引用文献>

① Olsson and Saltin. Variation in total body water with muscle glycogen changes in man. Acta physiologica Scandinavica Vol. 80, No. 1, 1970, pp. 11-18.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

① 塩瀬 圭佑. 競技パフォーマンスに及ぼす糖質制限の影響. 体力科学, 査読有, 66 巻, 2 号, 2017, pp. 125-131.
 DOI:
<http://doi.org/10.7600/jspfsm.66.125>

② Keisuke Shiose, Yosuke Yamada, Keiko Motonaga, Hiroyuki Sagayama, Yasuki Higaki, Hiroaki Tanaka, Hideyuki Takahashi. Segmental extra- and intracellular water distribution and muscle glycogen after 72-h carbohydrate loading using spectroscopic techniques. Journal of Applied Physiology, 査読有, Vol. 121, No. 1, 2016, pp. 205-211.
 DOI: 10.1152/jappphysiol.00126.2016

[学会発表] (計 5 件)

① 塩瀬圭佑. パフォーマンス向上・健康増

進のための新たな栄養学的手法の可能性：パフォーマンス向上のための糖質摂取 -筋グリコーゲン貯蔵量に着目した手法とその応用性-, 第71回日本体力医学会大会, 2016年9月23日, 岩手県民情報交流センター (岩手・盛岡市)

- ② Keisuke Shiose, Yosuke Yamada, Keiko Motonaga, Hiroyuki Sagayama, Yasuki Higaki, Hiroaki Tanaka, Hideyuki Takahashi. Changes in muscle glycogen, body composition, and endurance performance during 72-hour carbohydrate loading with excess energy intake. 21th Annual Congress of the European College of Sports Science, 2016.6.6, Vienna (Austria).
- ③ 塩瀬圭佑, 元永恵子, 下山寛之, 山田陽介, 桧垣靖樹, 田中宏暁, 高橋英幸. 筋グリコーゲン濃度増加時の体水分動態 -重水希釈法および生体電気インピーダンス分光法による検討-, 第70回日本体力医学会大会, 2015年9月18日, 和歌山県民文化会館 (和歌山・和歌山市)
- ④ Keisuke Shiose, Takuya Osawa, Keiko Motonaga, Emi Kondo, Akiko Kamei, Takashi Kawahara, Motoko Taguchi, Yosuke Yamada, Hideyuki Takahashi. Body water status and muscle glycogen recovery: effect of different amounts of carbohydrate intake, American College of Sports Medicine's 62nd Annual Meeting, 2015.5.27, San Diego (USA).
- ⑤ 塩瀬圭佑, 元永恵子, 山田陽介, 高橋英幸. グリコーゲンローディング時における筋グリコーゲン濃度と体水分量の関連 -多周波生体電気インピーダンス法を用いた検討-, 第69回日本体力医学会大会, 2014年9月18日, 長崎大学 (長崎・長崎市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塩瀬 圭佑 (SHIOSE, Keisuke)

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・スポーツ科学部・契約研究員

研究者番号：70708106