

平成 27 年 6 月 28 日現在

機関番号：31105

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500795

研究課題名(和文)グリコーゲンローディングが筋疲労後の回復過程に及ぼす影響

研究課題名(英文)Effects of glycogen-loading on recovery process after muscle fatigue

研究代表者

三島 隆章 (MISHIMA, Takaaki)

八戸学院大学・公私立大学の部局等・准教授

研究者番号：00461707

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、グリコーゲンローディングに伴う運動時間の延長が、疲労からの回復過程に対して影響を及ぼすかについて検討することを目的とした。ラットに対してグリコーゲンローディングを行った結果、筋中グリコーゲン含有量および疲労耐性は向上したが、疲労からの回復過程における発揮張力および筋小胞体の機能に対する影響は認められなかった。したがって、グリコーゲンローディングは回復過程に対して影響を及ぼさないことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The aim of present study was to investigate whether extension of exercise time associated with glycogen-loading influence on recovery process after muscle fatigue. As the result of performing glycogen-loading to rat, both muscle glycogen content and fatigue resistance increases, but there were no effect on both tetanic tension and function of sarcoplasmic reticulum in recovery process from fatigue. Therefore, it was suggested that glycogen-loading has no effect on recovery process after muscle fatigue.

研究分野：運動生理学

キーワード：グリコーゲン 筋疲労 回復

1. 研究開始当初の背景

1960年代から1970年代前半に行われた一連の研究によって、最大酸素摂取量の60~85%の運動強度では、グリコーゲンが枯渇することによって運動を継続することができなくなることが明らかとなり、現在では筋グリコーゲンの枯渇が筋疲労の要因のひとつであることは周知の事実である。一方、予め筋グリコーゲンの含有量を高めておくと、疲労困憊に到るまでの運動継続時間が有意に増加することも認められていることから、持久性競技においては筋グリコーゲン量を予め増加させた状態で競技に望む、グリコーゲンローディングが広く用いられるようになった。骨格筋の収縮・弛緩は、細胞内カルシウムイオン (Ca^{2+}) 濃度によって調節されている。細胞内 Ca^{2+} 濃度は、細胞内小器官のひとつである筋小胞体 (sarcoplasmic reticulum: SR) による Ca^{2+} の放出・取り込みによって制御されていることから、SR は骨格筋の収縮・弛緩サイクルに対し重要な役割を果たしている器官である。近年、筋疲労時にSRの機能、とりわけ Ca^{2+} の取り込み能力が低下していることが確かめられている。筋疲労に伴いSRの機能が低下すると細胞内 Ca^{2+} 濃度が上昇した状態が継続することで、 Ca^{2+} 依存性中性プロテアーゼであるカルパインが活性化し、収縮タンパク質の立体構造を保持するタンパク質 (デスミン・ジストロフィン・タイチンなど) の変性を誘起することが示唆されている。収縮タンパク質に変性が生じると筋機能が低下することから、筋疲労後の回復期に大きな影響を及ぼすと考えられる。したがって、グリコーゲンローディングを行い運動の継続時間が延長した場合、SRの機能が低下する時間も延長することで細胞内 Ca^{2+} 濃度が高い状態が通常と比べ長時間維持されることになり、筋疲労からの回復に時間を要する可能性がある。

2. 研究の目的

持久性競技において、筋グリコーゲン含有量の初期値をあらかじめ高めた状態で競技に望む、グリコーゲンローディングによってパフォーマンスが向上することは周知の事実である。しかし、グリコーゲンローディングに伴う運動継続時間の延長が回復過程に及ぼす影響についてはほとんど検討されていない。そこで本研究では、ラットの骨格筋を対象に、グリコーゲンローディングが収縮活動後の回復過程に及ぼす影響、2) グリコーゲンローディングに伴う筋疲労からの回復の遅延を誘起するメカニズムの2点を検討することを目的とした。本研究の結果より、グリコーゲンローディングが、筋疲労後の回復過程に負の影響を及ぼす、すなわち回復の遅延を誘起することが明らかになれば、グリコーゲンローディングを行い疲労困憊に到るまで運動を継続した場合、回復の程度には細心の注意を払う必要があることを示すことができる。

3. 研究の方法

実験には、Wistar系雄性ラットを36匹用いた。走行練習を行わせたラットを1) 疲労困憊に到る走運動を行わない群 (Sedentary-Control; SE-CON)、2) 疲労困憊に到る走運動後に絶食させる群 (Exercise-Control; EX-CON)、3) 疲労困憊に到る走運動後にグリコーゲンローディングをさせる群 (Exercise-Glycogen-loading; EX-GLY) の3群に分けた (各群 $n = 12$)。疲労刺激後の回復過程において3群間に差があるかを検討するため、各群をさらに疲労刺激直後、30分後および60分後に張力-頻度特性の測定を行い解剖する群に分けた (各群 $n = 4$)。グリコーゲンローディングを行うため、EX-CON群およびEX-GLY群は疲労困憊に至るまでの低強度走運動 (21 m/min, 勾配10%) を行った。走運動終了後、EX-CON群は水だけ、EX-GLY群は通常の餌と5% sucrose 溶液を24時間与えた。SE-CON群

は走行運動を行わず，解剖の 24 時間前から水だけ与えた．疲労困憊に至る走運動の 24 時間後に in situ での疲労刺激を負荷し，3 群間における疲労回復過程に差異があるか否かを検討した．麻酔下でラットを仰臥位に置き，末端が張力計に取り付けられているフットホルダーに片脚を固定した．続いて皮膚を切開し，坐骨神経を露出してから，神経を傷つけないように電極を取り付けた．安静時の張力-頻度特性のデータを得るために，電極を介し電気刺激装置により 20 Hz および 100 Hz の強縮刺激（トレイン幅 1500 msec）を 1 秒間加え，張力を測定した．張力-頻度特性の測定後，疲労刺激として電気刺激（20 Hz，トレイン幅 333 msec）を 1 秒に 1 回の頻度で，発揮張力が初期値の 60%に低下するまで加えた．疲労からの回復の程度を検討するため，疲労刺激終了直後，30 分後および 60 分後のいずれかで再び 20 Hz および 100 Hz の強縮刺激を測定した．被検筋には，足関節底屈に主動的な役割を果たし，主に速筋線維から構成されている腓腹筋表層部（superficial regions of gastrocnemius: GS）を用いた．電気刺激終了直後に被検筋を摘出し，後の分析に供した．疲労刺激を加えていない反対脚（Cont）からも筋を摘出し，疲労刺激を加えた脚（Stim）と同様に処理を行った．分析項目は，筋中グリコーゲン含有量，SR の機能である SR Ca²⁺取り込み 放出速度および SR Ca²⁺-ATPase 活性であった．

4. 研究成果

疲労刺激を加えていない Con 脚の筋中グリコーゲンについて，EX-CON 群では 111.4 ± 22.3 μmol/glycosyl units/g dry wt，SE-CON 群では 117.5 ± 14.7 μmol/glycosyl units/g dry wt，EX-GLY 群では 215.1 ± 67.8 μmol/glycosyl units/g dry wt であり，EX-CON 群および SE-CON 群に対して EX-GLY 群が有意な高値を示した．電

気刺激を繰り返し課し初期張力に対して 60%にまで低下するのに要した時間は，SE-CON 群で 86.7 ± 29.6 秒，EX-CON 群で 80.0 ± 27.1 秒，EX-GLY 群は 151.5 ± 48.5 秒であり SE-CON 群および EX-CON 群と比較して EX-GLY 群が有意な高値を示した．以上の結果より，ラットに課したグリコーゲンローディングは，筋中グリコーゲン含有量の増加および筋活動の延長という結果を得たことから，グリコーゲンローディング自体は成功していたといえる．

疲労刺激後の回復過程における強縮張力について，20 Hz の結果は Fig. 1，100 Hz の結果は Fig. 2 に示す通りである．疲労刺激後の回復過程における 20 Hz での強縮張力は，EX-GLY 群で疲労刺激終了直後に対して 60 分後が有意な低値を示したが，疲労刺激終了直後，30 分後および 60 分後のいずれにおいても群間には有意な差異は認められなかった（Fig. 1）．100 Hz では，交互作用および群内・群間において，いずれにおいても有意な差異は認められなかった（Fig. 2）．

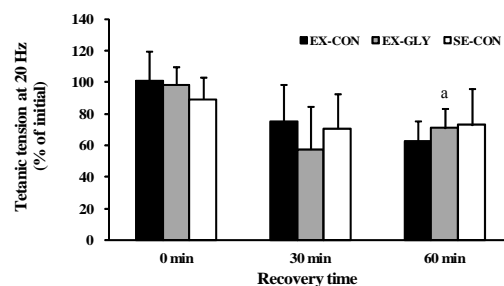


Fig.1 Relative value of tetanic tension at 20 Hz after stimulation during recovery time. Values are means ± SD (n=4). Exercise-Control, EX-GLY; Exercise-Glycogen-loading, SE-CON; Sedentary-Control *P < 0.05, vs 0 min.

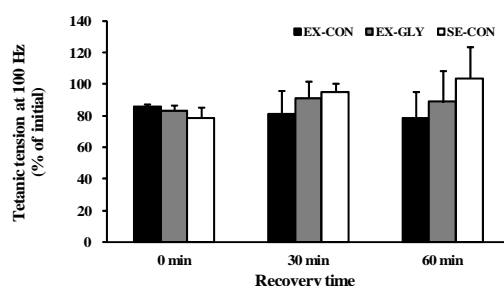


Fig.2 Relative value of tetanic tension at 100 Hz after stimulation during recovery time. Values are means ± SD (n=4). Exercise-Control, EX-GLY; Exercise-Glycogen-loading, SE-CON; Sedentary-Control.

また、回復過程における SR Ca^{2+} 取り込み、放出速度および SR Ca^{2+} -ATPase 活性のいずれにおいても、交互作用および群内・群間における有意な差異は認められなかった。したがって、グリコーゲンローディングに伴う筋活動時間の延長は、筋の収縮・弛緩において重要な役割を果たしている細胞内 Ca^{2+} 濃度を制御する SR の機能の回復過程にも影響を及ぼさないことが明らかにされた。以上の結果より、ラットに対してグリコーゲンローディングを施すと、筋中グリコーゲン含有量が増加し、疲労耐性は向上するが、疲労刺激終了後の回復過程には影響を及ぼさないことが示唆された。本研究では疲労の程度を厳密に定めるため坐骨神経を介し電気刺激を加えて筋疲労を誘起したが、今後は走運動等を用いて筋疲労を誘起することでグリコーゲンローディングによる活動時間の延長が回復過程に及ぼすか否かについて検討する予定である。

5．主な発表等

特になし

6．研究組織

(1)研究代表者

三島 隆章 (MISHIMA Taakaki)

八戸学院大学・人間健康学部・准教授

研究者番号：00461707

(2)研究分担者

和田 正信 (WADA Masanobu)

広島大学・総合科学研究科・教授

研究者番号：80220961