

令和元年6月25日現在

機関番号：82632

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26282187

研究課題名(和文)炭素磁気共鳴分光法を活用した筋グリコーゲン枯渇運動モデルの構築と応用

研究課題名(英文) Construction of muscle glycogen depletion model using carbon magnetic resonance spectroscopy

研究代表者

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・スポーツ研究部・主任研究員

研究者番号：00292540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,400,000円

研究成果の概要(和文)：炭素磁気共鳴分光法による非侵襲的な筋グリコーゲン(Gly)測定法を用いて、異なる運動条件(運動強度、持続時間)により筋Gly減少率がどのように変化するかを明らかにして、特定の筋Gly枯渇レベルを作り出すモデルを構築した。次に、運動特性の異なる競技種目の競技者を対象として、実際の練習時や試合時の筋Glyの測定を経時的に行い、運動による筋Gly減少と回復の競技種目特異性に関する基礎的知見を得た。さらに、筋の有酸素性能力が高い者ほど筋Gly回復速度が速い傾向を示すことが示された。これらの知見は、筋Gly代謝に関する将来の研究、競技者の効果的な栄養摂取戦略立案のために役立つことが期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で明らかにした、特定の運動条件と筋Gly減少の程度の間関係は、特定の筋Glyレベルを作り出すことのできる運動モデルの構築に繋がり、そのモデルは、筋Gly枯渇と運動パフォーマンスとの関係や筋Gly回復動態メカニズムの解明、そして、より速い筋Gly回復方策創出のために必要となる学術的研究において有用になると考えられる。さらに、実際の競技者を対象とした筋Gly動態に関する知見は、特定の競技種目の競技者、あるいは、異なる能力を有する個人のための効果的な筋Gly回復戦略を立案する上で大きく貢献すると期待できる。

研究成果の概要(英文)：Using carbon magnetic resonance spectroscopy to non-invasively measure muscle glycogen (Gly), we investigated the changes in muscle Gly during different exercise conditions (exercise intensity and duration) and constructed a model which can achieve specific levels of muscle Gly depletion. Furthermore, we measured muscle Gly content in athletes, who played different sporting events, during actual training sessions or competitive events and obtained the basic sport-specific knowledge about the kinetics involved in muscle Gly decrease and subsequent recovery. We observed that the rate of muscle Gly recovery tended to be faster when the aerobic capacity of the muscles was greater. These findings would potentially assist further research on muscle Gly metabolism and help develop effective nutritional strategies for athletes.

研究分野：運動生理学

キーワード：筋グリコーゲン 骨格筋 磁気共鳴分光法 短時間・高強度運動 持久性運動 競技者

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

競技者が最高の運動パフォーマンスを発揮するためにはコンディショニングが重要となり、特に、運動を引き起こす源である骨格筋のコンディショニングは、運動パフォーマンスに直接的に影響するため、全ての競技において重要となる。筋エネルギー代謝の観点から、筋グリコーゲン(Gly)は、短時間・高強度運動から長時間運動までの幅広い運動における主要なエネルギー源となり、筋 Gly 含有量の多い方が高い運動パフォーマンスを発揮でき、その枯渇が筋疲労と関係する。したがって、高強度運動により低下した筋 Gly を素早く回復させることが、次に続く運動で高いパフォーマンスを発揮するために重要となる。

さまざまな運動により筋 Gly が減少することは多数報告されてきているが、研究により運動タイプや継続時間が異なり、特定のタイプの運動や運動条件により、筋 Gly 濃度がどの程度減少するのかを系統立てて研究した研究は少ない。また、持久性運動よりも、短時間・高強度運動で筋 Gly が減少した場合の方が、筋 Gly の回復が速い傾向にあることが示されているが、同一の実験内で、個人の代謝能力との関係も含めてそのメカニズムを検証した研究はみられない。このように、十分な知見が得られていない背景要因として、ヒト骨格筋の Gly 濃度を調べるためには筋生検により筋を摘出しなければならず、実施できる対象者や測定回数が限定されるといふ、方法論上の制限が挙げられる。ましてや、現役の競技者を対象として筋生検を実施することは困難であり、競技者における実際のトレーニングや食事による筋 Gly の経時的変化に関する情報は皆無に等しい。

磁気共鳴(magnetic resonance: MR)装置を用いた磁気共鳴分光法(magnetic resonance spectroscopy: MRS)により、生体内化合物含有量の非侵襲的評価が可能である。リンの MRS(³¹P-MRS)ではクレアチンリン酸やアデノシン三リン酸などのリン酸化合物、プロトンの MRS では筋細胞内・外脂肪濃度を定量することができる。さらに、炭素の MRS(¹³C-MRS)を用いることにより、筋 Gly 濃度を非侵襲的に定量できる方法が提案されてきている。しかしながら、¹³C-MRS を実施するためには、広周波数帯域に対応した複数の電磁波パルス発生装置や専用コイルが必要となるため、一般的な臨床用 MR 装置で実施することは困難である。最近、我々は、これらの測定環境を整備し、¹³C-MRS を用いて、筋 Gly 濃度の変化を非侵襲的に評価できる測定系を国内で初めて確立させた。これまでの研究において、高強度の運動による筋 Gly 濃度の低下とその後の回復過程を、15 分の時間分解能で描出できることを実証した。

2. 研究の目的

本研究では、我々が確立させた、¹³C-MRS を用いた非侵襲的な筋 Gly 濃度評価法を用いて、タイプの異なる運動によりどのように筋 Gly が減少するのかを系統立てて調べることを目的とした。さらに、運動後の筋 Gly 回復速度に影響を及ぼす要因を検討するとともに、実際の競技者を対象とした調査を通して、異なる運動特性を有する競技種目における最適な筋 Gly 回復方策を策定するための基礎的知見を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

1) 運動タイプの違いによる筋 Gly 減少の検証

異なるタイプの運動により筋 Gly 濃度がどの程度減少するのかを検証するために、自転車エルゴメータを用いた以下の 6 種類の自転車運動を実施し、運動前後で ¹³C-MRS を用いて筋 Gly 濃度を測定した(図 1)。

実験 運動習慣のある健康成人男性 8 名を対象として、運動間に 40 秒の休息を挟みながら、140%最大酸素摂取量(VO_{2max})強度での 5 秒間の自転車運動(60 回転/分)を 36 回繰り返す運動を実施し、運動前後で大腿部の筋を対象として筋 Gly の測定を行った。

実験 運動習慣のある健康成人男性 8 名を対象として、運動間に 240 秒の休息を挟みながら、140% VO_{2max} 強度での 30 秒間の自転車運動(60 回転/分)を 6 回繰り返す運動を実施し、運動前後で大腿部の筋を対象として筋 Gly の測定を行った。

実験 運動習慣のある健康成人男性 10 名を対象として、運動間に 8 分の休息を挟みながら、7.5%体重強度(kp)での 30 秒間の最大自転車運動を 3 回実施し、運動前後で大腿部の筋を対象として筋 Gly の測定を行った。

実験 運動習慣のある健康成人男性 6 名を対象として、70% VO_{2max} 強度の自転車運動(60 回転/分)を疲労困憊まで継続する運動を実施させた。運動の 20 分後、40 分後、疲労困憊後に大腿部の筋を対象として筋 Gly 濃度の測定を行った。

実験 運動習慣のある健康成人男性 21 名を対象として、70%最大仕事量(W_{max})強度で 60 分間の運動を行う場合の仕事量を達成するまでの自転車運動でのタイムトライアルを実施し、運動前後で大腿部の筋を対象として筋 Gly の測定を行った。

実験 運動習慣のある健康成人男性 24 名を対象として、70% VO_{2max} 強度での 60 分間の自転車運動(60 回転/分)後に 4 分間の休憩を挟み、1 分間の 100% VO_{2max} 強度の運動(60 回転/分)と 4



図 1. 大腿部を対象とした ¹³C-MRS 測定風景

分間の回復運動(35%VO₂max、60回転/分)を1セットとして5セット行い、その後、100%VO₂max強度の運動(60回転/分)を疲労困憊まで継続する運動を実施し、運動前後で大腿部の筋を対象として筋Glyの測定を行った。

2) 筋Gly回復と筋の有酸素性能力との関係

筋Gly回復速度に影響を及ぼす要因の検討として、筋の有酸素性能力と筋Gly回復速度との関係を調査した。運動習慣のある健康成人男性6名を対象として、上記1)の疲労困憊に至る自転車運動を行わせ、運動前、運動直後、4時間後、12時間後、24時間後に大腿部を対象とした¹³C-MRSを用いた筋Glyの測定を行った。さらに、筋の有酸素性能力を評価するために、MR装置内で、大腿部のクレアチンリン酸が~50%低下する仰臥位での右脚膝伸展運動を実施し、³¹P-MRSを用いて6秒ごとに、連続的に大腿筋のクレアチンリン酸、無機リン酸、アデノシン三リン酸、細胞内pHの測定を行った。その測定データから、クレアチンリン酸回復の時定数を算出し、筋の有酸素性能力の指標とした。

3) スポーツ競技者を対象とした練習・試合時の筋Gly動態の調査

実際のスポーツ競技者における栄養摂取戦略を構築するための基礎的知見を得るために、競技種目の異なる競技者を対象として、実際の練習、試合、試合をシミュレートした運動による筋Gly動態の調査を行った。対象種目は、フェンシング、体操競技、陸上競技長距離、サッカー、スキー・コンバインドであった。

フェンシングの男性競技者6名、体操競技の男性競技者4名を対象とした研究では、通常練習の午前練習前、午前練習後、午後練習後、翌朝練習前に大腿部の筋Gly濃度測定と糖質摂取量の調査を、陸上競技長距離の女性競技者4名を対象とした研究では、同様のタイミングで下腿三頭筋のGly濃度の測定と糖質摂取量の調査を行った。

サッカーの男性競技者4名を対象とした研究では、試合当日の朝食後、試合直後、24時間後、48時間後に大腿部の筋Gly濃度測定と食事摂取量の調査を行うとともに、GPSを用いて試合中の活動量を評価した。

スキー・コンバインドの男性競技者6名を対象とした研究では、大型トレッドミルを用いた、クロスカントリースキーの試合を想定した24分間の滑走運動の前後に大腿部の筋Gly濃度の測定を行った。

4. 研究成果

1) 運動タイプの違いによる筋Gly減少の検証

実験 および : 運動間に40秒の休息を挟みながら、140%最大酸素摂取量(VO₂max)強度での5秒間の自転車運動(60回転/分)を36回繰り返す運動では、運動前の筋Gly濃度は94.0±43.0mM、運動後は89.5±44.5mMと5.4±8.8%低下した。運動間に240秒の休息を挟みながら、140%VO₂max強度での30秒間の自転車運動(60回転/分)を6回繰り返す運動では、運動前の筋Gly濃度は95.2±40.2mM、運動後は79.1±38.5mMと16.8±14.7%低下した。以上のように、140%VO₂maxという比較的高強度の運動を1回30秒以内で反復し、総運動時間が180秒となる場合は、筋Glyの減少は多くても20%程度であることが示された。また、これら2つの運動は、運動強度、総運動時間および総運動量を同一にして運動持続時間と休息時間を変えたものであるが、運動持続時間が長い方が筋Gly濃度の低下率は大きくなることが示された。この結果は、総運動時間が180秒という条件の下で、同じ総運動量となる高強度運動を遂行する場合は、運動持続時間が筋Gly減少率に影響を及ぼすことを示唆している。

実験 : 7.5%体重負荷(kp)での30秒間の全力自転車運動を3回実施する運動では、運動前の筋Gly濃度は105.5±28.7mM、運動後は70.6±23.9mMと34.0±9.0%低下した。本運動では、**実験 および** より総運動時間は半分だったものの(90秒 vs. 180秒)、筋Gly濃度の減少の割合は2倍以上であった。この結果は、最大努力という大きな運動強度が解糖系の動員をより促進し、筋Glyの使用量を増加させたことによるものであると考えられる。

実験 ~ : 70%VO₂max強度の自転車運動中の測定を疲労困憊まで行った運動では、20分後に13.5±11.7%、40分後に28.4±21.4%、そして、疲労困憊時に39.4±13.2%減少した。70%VO₂max強度で60分間運動を行う場合の仕事を達成するまでのタイムトライアルを行った運動(運動時間64.1±4.1分)では、運動前の筋Gly濃度は117.5±32.5mM、運動後は59.6±22.7mMと49.2±13.0%低下した。60分間の持久性運動と高強度間欠的運動を組み合わせる疲労困憊まで行った運動では、運動前の筋Gly濃度は76.9±18.3mM、運動後は24.6±19.0mMと70.1±15.9%低下した。これらの運動は、長時間運動あるいは高強度・長時間運動に分類され、**実験 ~** のような短時間の高強度運動よりも筋Glyの減少が大きくなることが実証された。このことは、先行研究で示されている、より長時間の運動パフォーマンスに対して、筋Gly含有量がより大きく影響を及ぼすという考えを支持する結果であるとも言える。また、同じ長時間運動でも、自発的努力のタイムトライアルを行った**実験** よりも、最後に強制的に疲労困憊まで追い込んだ**実験** の方が、より大きな筋Gly減少がみられた。このことは、最後に限界まで最大努力を行う、あるいは、疲労困憊まで追い込むことがより大きな筋Gly減少をもたらす可能性を示している。さらにこのことは、マラソンのラストスパートのように、長時間運動の最後に高いパフォーマンスを発揮するためには、最後のスパートまで筋Gly含有量をより高いレベルに維持す

る必要があることを提起している。

実験 ~ の筋 Gly 測定結果を表 1 にまとめた。本研究におけるこれらの一連の実験データは、筋 Gly 含有量の視点から運動負荷を考える場合、あるいは、実際の競技スポーツを想定した実験的運動を負荷してその後の栄養摂取の効果を検証するような場合に参考となる貴重なデータになると考えられる。

表 1. 異なるタイプの運動における筋 Gly の減少率

運動種類	140%VO ₂ max 強度 5 秒×36 回	140%VO ₂ max 強度 30 秒×6 回	7.5%BW 強度 (kp) 30 秒×3 回	70%VO ₂ max 強度 疲労困憊まで 20 分毎	70%Wmax × 60 分の仕事量を達成するまでのタイムトライアル	70%VO ₂ max 強度×60 分 + 100%VO ₂ max 強度×1 分×5 回 + 100%VO ₂ max 強度で疲労困憊まで
筋 Gly 減少率 (%)	5.4 ± 8.8	16.8 ± 14.7	34.0 ± 9.0	20 分 13.5 ± 11.7 40 分 28.4 ± 21.4 疲労困憊時 39.4 ± 13.2	49.2 ± 13.0	70.1 ± 15.9

2) 筋 Gly 回復と筋の有酸素性能力との関係

疲労困憊に至る長時間・高強度自転車運動後の大腿部の筋 Gly 回復とクレアチンリン酸回復の時定数の関係を調べた結果、時定数が短いほど運動 4 時間後までの筋 Gly 回復速度が高値を示す傾向が認められた (P>0.05)。一方、VO₂max と筋 Gly 回復速度との間には一定の関係は認められなかった。本研究の結果だけからでは十分な結論を出すことはできないが、本研究で認められた関係は、骨格筋自体の有酸素性能力が、筋 Gly が大きく減少するような長時間運動後の筋 Gly 回復速度に影響を及ぼす可能性を示唆するものである。この背景には、高い有酸素性能力の要因となる高い糖輸送担体濃度、インスリンシグナル活性、酸化系酵素活性、血液量が関係していると考えられる。

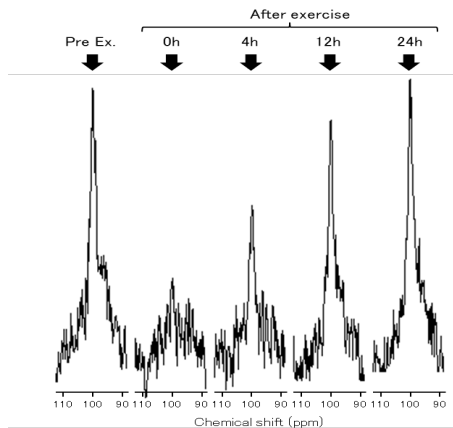


図 2. 疲労困憊に至る自転車運動前後の大腿筋 Gly ピークの変化

3) 実際のスポーツにおける練習時の筋 Gly 動態の調査

フェンシング競技者を対象とした研究では、通常練習の午後練習後までに大腿筋 Gly は 19.9 ± 10.2% 減少し、翌朝までに 96.1 ± 6.4% まで回復することが示された。その際の 1 日の糖質摂取量は 7.7 ± 1.4g/kg BW であり、糖質摂取量の少ない者ほど筋 Gly 回復率が低い傾向が認められた。体操競技者を対象とした研究では、午後練習後までの大腿筋 Gly の減少率は 7.8 ± 11.8% にとどまった。陸上競技長距離競技者を対象とした研究では、午前中に実施した約 1 時間のジョギングでは筋 Gly の減少は 5% 前後であったが、午後の高強度トレーニングでは 27.2 ± 5.2% 減少し、翌日までの筋 Gly 回復量は、糖質摂取量が多い者ほど大きいことが示された。以上の結果は、連日続く通常の練習では、極端に大きな筋 Gly の減少は認められないこと、そして、十分な筋 Gly の回復を導くためには、十分な量の糖質を摂取する必要があることを示している。また、体操競技などでは、下肢よりも上肢の方が貢献の大きいことが推測されるため、より多くの競技種目で筋 Gly の視点から運動負荷を調査するためには、下肢以外の筋 Gly を測定可能とすることが今後の課題であると考えられる。

試合にフル出場した男子サッカー競技者を対象とした研究では、試合の総移動距離は 10.8 ± 0.3km、試合による大腿筋 Gly の減少率は 30.5 ± 7.7% であったが、総移動距離と筋 Gly 減少率との間には相関は認められなかった。この減少率は、筋生検を用いてサッカーの試合前後に外側広筋の筋 Gly を調べた先行研究 (43 ~ 53%) よりも低値であった。これには、対戦形式である試合の運動負荷 (試合中のスプリントや高強度ランニングの割合) の違いが関係している可能性が考えられる。

スキー・ノルディック競技者を対象として、クロスカントリースキーの試合を想定した滑走運動前後で測定を行った研究では、大腿筋 Gly 濃度は、運動前の 105.7 ± 18.4mM から運動後の 87.9 ± 15.9mM へと約 16% 減少した。また、筋 Gly の減少率には大きな個人差が認められた。この個人差には、上肢と下肢の貢献度が個人により異なることが関係していると推察される。

以上のように、異なる競技種目において、それぞれの特異的な運動様式により筋 Gly がどの程度変化するかを基礎的な知見を得ることができた。このような知見の蓄積は、各競技種目の特性に応じた最適な栄養摂取戦略を立案する上で有用になると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 8 件)

Keisuke Shiose et al. Circadian variation of extracellular and intracellular resistance of the leg, arm, and trunk in healthy humans: A segmental bioimpedance spectroscopy study. Biomed. Phys. Eng. Express, In Press, 2019.

石橋彩, 高橋英幸ら. スキー・コンバインドナショナルチーム選手のレースを想定した滑走運動が上腕三頭筋および大腿筋のグリコーゲン含有量に及ぼす影響. トレーニング科学, 31: 53-60, 2019.

Keisuke Shiose et al. Muscle glycogen depletion does not alter segmental extracellular and intracellular water distribution measured using bioimpedance spectroscopy. J. Appl. Physiol., 124: 1420-1425, 2018.

Takuya Osawa et al. Delayed onset of reoxygenation in inactive muscles after high-intensity exercise. Adv. Exp. Med. Biol., 977: 255-260, 2017.

Takuya Osawa et al. Tissue blood volume parameters measured by continuous-wave and spatially resolved NIRS show different changes during prolonged cycling exercise. Adv. Exp. Med. Biol., 977: 249-254, 2017.

Takuya Osawa et al. Do two tissue blood volume parameters measured by different near-infrared spectroscopy methods show the same dynamics during incremental running? Adv. Exp. Med. Biol., 876: 27-33, 2016.

Keisuke Shiose et al. Segmental extra- and intracellular water distribution and muscle glycogen after 72-h carbohydrate loading using spectroscopic techniques. J. Appl. Physiol., 121: 205-211, 2016.

Hideyuki Takahashi et al. ¹³C MRS reveals a small diurnal variation of glycogen content in human thigh muscle. NMR in Biomed., 28: 650-655, 2015.

[学会発表](計 21 件)

高橋英幸, 塩瀬圭佑, 岩山海渡, 下山寛之, 元永恵子, 丸山克也. 運動後の筋グリコーゲン回復速度に筋の有酸素性能力が影響を及ぼす. 第 74 回日本体力医学会大会. 2019.

Hideyuki Takahashi. Proton, phosphorous, and carbon magnetic resonance spectroscopy technique (MRS) for monitoring of training and performance in athletes. 24th Annual Congress of the European College of Sport Science. 2019.

亀井明子ら. 女子陸上中長距離選手の通常練習時における筋グリコーゲン動態と炭水化物摂取量. 第 28 回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 2017.

Kaito Iwayama et al. Diurnal variation in the glycogen content of human liver and muscle using ¹³C MRS. 4th International Recent Advances and Controversies in Measurement of Energy Metabolism Conference, 2017.

高橋英幸. 国際競技力向上支援のための MRI/MRS を用いた筋コンディション評価. シンポジウム : オリンピックとトレーニング科学, 第 30 回日本トレーニング科学学会大会, 2017.

高橋英幸. 最先端 MRS を用いた栄養・コンディショニング: ヒト筋グリコーゲンのモニタリング法. ヒューマン・ハイ・パフォーマンスフォーラム 2017, 2017.

高橋英幸. 筋グリコーゲンの視点からの疲労予防と回復. 第 13 回疲労研究会, 2017.

Keisuke Shiose et al. Body water assessment using bioimpedance spectroscopy during rapid weight loss and recovery in Japanese wrestlers. International Sport and Exercise Nutrition Conference 2016, 2016.

塩瀬圭佑. 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. 第 71 回日本体力医学会大会. 2016.

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? 第 71 回日本体力医学会大会. 2016.

高橋英幸ら. ¹³C MRS を用いた急速減量と回復による筋グリコーゲン動態の描出. 第 44 回日本磁気共鳴医学会大会, 2016.

Takuya Osawa, Keisuke Shiose, and Hideyuki Takahashi. Delayed reoxygenation in inactive muscles after supra-maximal cycling exercise. 44th Annual Meeting of the International Society on Oxygen Transport to Tissue. 2016.

Keisuke Shiose et al. Changes in muscle glycogen, body composition, and endurance performance during 72-hour carbohydrate loading with excess energy intake. 21st Annual Congress of the European College of Sport Science. 2016.

大澤拓也, 近藤衣美, 高橋英幸. 運動時の糖質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. 第 70 回日本体力医学会大会. 2015.

塩瀬圭佑ら. 筋グリコーゲン貯蔵量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法による検討. 第 70 回日本体力医学会大会. 2015.

高橋英幸. 運動および栄養摂取による筋グリコーゲンの変化と疲労回復: ヒトを対象として. シンポジウム 22: 運動後に疲労を軽減させるメカニズムを考える, 第 70 回日本体力医学会大会, 2015.

Takuya Osawa et al. Repeatability of the depletion of muscle glycogen after prolonged and high intensity exercise. 20th Annual Congress of the European College of Sport Science. 2015.

Keisuke Shiose et al. Body water status and muscle glycogen recovery: effect of different amounts of carbohydrate intake. 62th Annual Meeting of the American College

of Sports Medicine. 2015.

Keiko Motonaga et al. Influence of carbohydrate intake on muscle glycogen recovery after exercise in endurance-trained subjects. 62th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine. 2015.

高橋英幸. 新たな視点からの筋コンディショニングの可能性. シンポジウム: トップアスリートにおけるコンディショニング JISS の取り組みを中心に, 第 69 回日本体力医学会大会, 2014.

⑳高橋英幸ら. ^{13}C -MRS を用いた高強度運動後の筋グリコーゲン回復動態の評価. 第 42 回日本磁気共鳴医学会大会, 2014.

[図書](計3件)

高橋英幸, 元永恵子. 炭素磁気共鳴分光法(^{13}C MRS)を用いた筋グリコーゲンの評価. スポーツ栄養の最近の動向. 臨床スポーツ医学, 33: 1132-1137, 2016.

高橋英幸. 筋の代謝化合物濃度を測る: 定量的 MRS, 最先端技術で測るヒューマンパフォーマンス, 体育の科学, 66: 249-251, 2016.

高橋英幸, 山中亮. スポーツと疲労. 村岡功(編), 新・スポーツ生理学, 東京. 市村出版. 2015. p.176-186.

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 亀井 明子

ローマ字氏名: KAMEI, Akiko

所属研究機関名: 国立スポーツ科学センター

部局名: スポーツメディカルセンター

職名: 前任研究員

研究者番号(8桁): 10276636

研究分担者氏名: 大澤 拓也

ローマ字氏名: OSAWA, Takuya

所属研究機関名: 日本女子体育大学

部局名: 体育学部

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 70613496

研究分担者氏名: 塩瀬 圭佑

ローマ字氏名: SHIOSE, Keisuke

所属研究機関名: 福岡大学

部局名: スポーツ科学部

職名: 助教

研究者番号(8桁): 70708106

研究分担者氏名: 岩山 海渡

ローマ字氏名: IWAYAMA, Kaito

所属研究機関名: 天理大学

部局名: 体育学部

職名: 講師

研究者番号(8桁): 30781249

研究分担者氏名: 川原 貴

ローマ字氏名: KAWAHARA, Takashi

所属研究機関名: 国立スポーツ科学センター

部局名: メディカルセンター

職名: 主任研究員

研究者番号(8桁): 60169753

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 丸山 克也

ローマ字氏名: MARUYAMA, Katsuya

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。