

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04017

研究課題名(和文) 運動後の筋グリコーゲン回復に影響を及ぼす要因の解明：効果的な栄養戦略立案に向けて

研究課題名(英文) Investigation of factors influencing the recovery of muscle glycogen after exercise for the development of effective nutritional strategies

研究代表者

高橋 英幸 (Takahashi, Hideyuki)

筑波大学・体育系・教授

研究者番号：00292540

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：上腕・前腕部の筋Gly測定を可能とする磁気共鳴分光法用検出コイルを新たに作製した。高強度運動後の筋Gly回復速度に及ぼす生理学的要因として、筋の有酸素性能力が関係することが示された。3日間のGlyローディングによる筋Gly濃度変化を調べた結果、平均値では上腕部と大腿部で筋Gly濃度が同程度増加したが、同一被験者内での各部位の増加量は必ずしも同じではない可能性が示された。複数競技種目における異なる部位の筋Gly変化を測定した実験では、運動や減量による筋Gly変化の程度は競技種目や身体部位により異なることが実証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動による筋グリコーゲン(Gly)の減少はパフォーマンス低下や筋疲労に繋がるため、良いパフォーマンスを發揮・維持するためには、減少した筋Glyを素早く回復させる必要がある。また、同じ量の炭水化物を摂取したとしても、筋Gly濃度の変化には比較的大きな個人差がある。本研究の成果は、競技種目特性や個人特性に応じて、試合に向けたグリコーゲンローディングやトレーニングの計画立案、運動により減少した筋Gly濃度を素早く回復させるための栄養摂取・リカバリー戦略立案のため、そして、今後の基礎的および実践的Gly代謝研究・分野のさらなる発展のために役立つ、重要な基礎的知見になると考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have newly developed detection coils for magnetic resonance spectroscopy, which enable the measurement of muscle glycogen in the upper arm and forearm regions. It has been shown that the aerobic capacity of muscles is a physiological factor that affects the rate of muscle glycogen recovery after high-intensity exercise. Examining the changes in muscle glycogen concentration through a three-day glycogen loading period, it has been found that the average increase in glycogen concentration is similar in the upper arm and thigh regions. However, the increase in each region within the same subject may not necessarily be equivalent. In experiments measuring muscle glycogen changes in different regions across various sport events, it has been demonstrated that the extent of muscle glycogen changes due to exercise or weight reduction varies depending on the sport event and body region.

研究分野：運動生理学、スポーツ医学

キーワード：筋グリコーゲン 磁気共鳴分光法 骨格筋 炭水化物 グリコーゲンローディング

1. 研究開始当初の背景

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重要なエネルギー基質となり、筋 Gly 含有量が多いほど高い運動パフォーマンスを発揮すること、そして、その枯渇が筋疲労をもたらす要因となることが示されている。したがって、高い運動パフォーマンスを発揮・維持するためには、運動により減少した筋 Gly を素早く回復させる効果的な栄養摂取・リカバリーが重要となる。

そのような栄養摂取戦略の立案は実際の筋 Gly データに基づくことが理想であるが、生化学的測定には筋生検法を用いた筋摘出が必要なため、実際の競技者を対象とするような筋 Gly 濃度測定は困難である。近年、我々は、国内で唯一、筋 Gly 濃度を非侵襲的に定量可能な炭素磁気共鳴分光法(carbon magnetic resonance spectroscopy: ^{13}C MRS)測定システムを確立させた(Takahashi ら, 2015)。これにより、競技者、女性等を含めた、より広い範囲の被検者を対象とした筋 Gly 濃度評価が可能になる。

運動により減少した筋 Gly を素早く回復させるためには、運動後できるだけ早期に十分な量の炭水化物を摂取することが重要であるが、同じ量の炭水化物を摂取したとしても、筋 Gly 回復速度には比較的大きな個人差が認められる。筋 Gly 回復速度に影響を及ぼす可能性のある生理学的要因として、筋代謝能力の違いや筋損傷の有無などが提起されているが十分な検証は行われていない。競技種目特性や個人特性に応じた、素早い筋 Gly 回復のための効果的な栄養摂取戦略を立案するために、筋 Gly 回復速度に影響を及ぼす要因の解明は必要不可欠である。

また、実際のスポーツでの筋 Gly 変化に関する研究は、筋生検を用いてマラソンやサッカー、クロスカントリースキー等の限定した種目での変化を調べた研究のみであり、 ^{13}C MRS を応用した研究は皆無である。我々も、競技者への ^{13}C MRS 応用を開始しているが、測定可能対象部位が大腿・下腿部のみであるため、上肢の貢献度の大きい体操競技や競泳、レスリングなどの競技者における上肢を対象とした評価ができない。さらに、同時に複数部位の筋を対象とする筋生検実施が困難なこと、複数部位を対象として ^{13}C MRS を実施可能な施設が限られていることから、異なる筋での筋 Gly 濃度変化を調べた研究も 1 例のみである。異なる運動特性を有する競技種目におけるより多くの競技者を対象として、当該競技に適した筋 Gly 動態の評価、そして、それに基づく栄養摂取戦略を立案するための基礎として、筋 Gly 動態の種目特異性、部位特異性に関する知見を蓄積することは重要である。

2. 研究の目的

本研究では、(1) 上腕・前腕用 ^{13}C MRS 検出コイルを新たに作製して上腕・前腕の筋 Gly 測定を可能にすること、(2) 運動を伴わないグリコーゲンローディングにより、異なる筋における筋 Gly 濃度の変化にどのような違いが生じるかを明らかにすること、(3) 筋 Gly 回復速度の個人差に影響を及ぼす要因の検討として、筋 Gly 回復速度と有酸素的能力との関係を明らかにすること、そして、(4) 異なる競技種目において、異なる部位のグリコーゲン動態がどのように変化するかを明らかにすること、を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 上腕・前腕用 ^{13}C MRS コイルの作製

上腕および前腕部の筋における ^{13}C MRS データ収集を可能とするために、外部の専門業者と連携して、上腕・前腕部に適した形状、大きさで、既存の 2 台の 3T-MRI 装置(Magnetom Verio および Skyra、シーメンス)で使用できる ^{13}C MRS 用コイル、コイル固定装置を設計し、作製した。その後、グリコーゲン基準溶液およびヒトの上腕・前腕を対象として、グリコーゲンを検出するために最適な ^{13}C MRS 測定条件の検討を行った。

(2) 運動を伴わないグリコーゲンローディングによる上肢・下肢の筋 Gly 動態の検討

健康成人男女 11 名を対象とした。通常食(炭水化物 6g/kg/日)を 3 日間摂取した後、3 日間の高炭水化物食(10g/kg/日)摂取を行った。実験の 6 日間は高強度の運動等を行わないようにし、加速度計を用いて活動量を測定した。高炭水化物摂取前、摂取 1 日後、3 日後に ^{13}C MRS を用いて上腕部(上腕三頭筋)及び大腿部(外側広筋+中間広筋)の筋 Gly 濃度を測定するとともに、インピーダンス体成分分析装置を用いて身体組成を測定した。

(3) 筋 Gly 回復速度と有酸素性能力との関係に関する検討

健康成人男性 12 名を対象として、全身性有酸素性能力(最大酸素摂取量: $\dot{V}O_{2\max}$)、大腿部の筋有酸素性能力、および、筋 Gly 回復動態の測定を実施した。全身性有酸素性能力の指標として、疲労困憊に至る自転車エルゴメータによる漸増負荷テスト中の呼気ガス分析を行い、 $\dot{V}O_{2\max}$ を算出した。大腿の筋有酸素性能力の測定のために、3T-MRI 装置内で、仰臥位での右脚膝伸展運動を実施した。等尺性最大膝伸展筋力の 10%強度の負荷で、40 回/分の頻度で繰り返し膝伸展運動を実施し、無機リン酸(Pi)ピーク高がクレアチンリン酸(PCr)ピーク高の 2/3~1/1 になった時点で運動を終了させた。安静時、運動中、運動後回復中に、リン磁気共鳴分光法(^{31}P MRS)を用いて大腿部(外側広筋+中間広筋)から 6 秒毎に ^{31}P MRS データを収集した。運動後回復中で得

られたデータから PCr 回復の時定数を算出して筋の有酸素性能力の指標とした。筋 Gly 回復速度の測定として、自転車エルゴメータを用いた疲労困憊に至る運動後の漸増負荷テストを実施した。運動プロトコールは、70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度、60rpm での運動を 60 分実施した後、4 分間休憩し、その後、100% $\dot{V}O_{2max}$ 強度×1 分、35% $\dot{V}O_{2max}$ 強度×4 分の運動を 1 セットとして 5 セット実施し、最後に、100% $\dot{V}O_{2max}$ 強度で疲労困憊まで自転車運動を行うものであった。その後、運動直後、4 時間後、12 時間後、24 時間後に ^{13}C MRS を用いて大腿部(外側広筋+中間広筋)の筋 Gly 測定を行った。

(4) 異なる競技種目の選手における筋グリコーゲン動態に関する検討

ここでは、陸上競技競歩選手を対象として、試合前の食事を想定した 2 日間の高炭水化物食とテーピングを組み合わせたグリコーゲンローディングが筋 Gly 濃度に及ぼす影響(実験①)、スキーコンバインド選手を対象として、クロスカントリースキーをシミュレートした運動が上腕部と大腿部の筋 Gly 濃度に及ぼす影響(実験②)、そして、レスリング選手を対象として、試合前日の高炭水化物食摂取が試合当日の筋 Gly 濃度に及ぼす影響(実験③)を明らかにする実験を行った。

①陸上競技競歩選手を対象とした検討

男性エリート競歩選手 1 名を対象に、2 日間のグリコーゲンローディングを 3 試行実施した。1 試行目 (T1) と 2 試行目 (T2) では高炭水化物 (それぞれ 13.7g/kg/日、13.9g/kg/日)、3 試行目 (T3) に超高炭水化物 (15.9 g/kg/日) を摂取させるとともに、T2 では T1 よりも朝食の食事を減少させて補食への配分を多くした。ローディング前後の右脚の大腿前面 (外側広筋+中間広筋) および大腿後面(ハムストリングス+内転筋)の筋 Gly(それぞれ fGly、rGly)濃度を ^{13}C MRS を用いて測定した。ローディング中の 1 日の総エネルギー消費量は加速度計を用いて推定し、身体活動強度別の活動時間を算出した。

②スキーコンバインド選手を対象とした検討

ナショナルチームに所属している男性スキーコンバインド選手 6 名を対象とした。運動として、大型トレッドミルとローラースキーを用いた滑走運動を実施した。滑走運動は 24 分間のレース(10km)を想定し、1 セット 6 分間のプロトコールを 4 セット連続で行うものであった。運動前後に、 ^{13}C MRS を用いて右上腕部(上腕三頭筋)および右大腿部(外側広筋+中間広筋)の筋 Gly 濃度を評価した。

③レスリング選手を対象とした検討

大学生の男性レスリング選手 7 名を対象とし、7 日間で体重の 5%+1kg を減量し、その後、計量 11 時間前に高炭水化物食(炭水化物 6g/kg)を摂取した。減量前、7 日目夕(減量後)、および、8 日目朝(計量時)に ^{13}C MRS を用いて大腿部(外側広筋+中間広筋)と上腕部(上腕二頭筋)の筋 Gly を測定した。

4. 研究成果

(1) 上腕・前腕用 ^{13}C MRS コイルの作製

本研究で作製した上腕・前腕用 ^{13}C MRS コイルはコンパクトな設計であり、被験者への負担を最小限にして、上腕二頭筋や上腕三頭筋、前腕筋群を対象とした ^{13}C MRS 測定を可能とした(図 1)。測定条件検討の結果、繰り返し時間 200ms、積算回数 4,500 回、データ収集時間 15 分で、定量評価に十分なスペクトルを得ることが可能であることが示された。



図 1. 本研究で作製した ^{13}C MRS 用コイル

(2) 運動を伴わないグリコーゲンローディングによる上肢・下肢の筋 Gly 動態の検討

3 日間の高炭水化物摂取により、体重は 70.8 ± 8.9 kg から 72.3 ± 9.4 kg に、除脂肪体重は 58.0 ± 59.2 kg から 59.2 ± 7.6 kg に、体水分量は 42.5 ± 5.3 L から 43.4 ± 5.6 L に有意に増加した。上腕部、大腿部の筋 Gly 濃度は摂取 1 日後には変化がみられなかったが、3 日後に有意に増加し(摂取前と比較して上腕部で $+22.8 \pm 29.2$ kg、大腿部で $+22.5 \pm 24.0$ %)、部位間で増加の割合に有意差はなかった。しかしながら、3 日間の高炭水化物摂取による上腕部と大腿部の筋 Gly 増加量の間には有意な相関は認められなかった。以上の結果から、運動を伴わない 3 日間のグリコーゲンローディングにより、上腕部と大腿部で同程度(約 23%)の筋 Gly が増加することが示された。さらに、同一被験者内での上腕部と大腿部の変化は必ずしも同程度でない可能性が示され、その原因としては、筋線維組成や代謝能力、血管応答の違いが関係していると考えられる。

(3) 筋 Gly 回復速度と有酸素性能力との関係に関する検討

筋の有酸素性能力の指標である PCr 回復時定数と $\dot{V}O_{2max}$ の間には、有意な負の相関関係が認められた。運動後 0~4 時間、0~12 時間、0~24 時間の筋 Gly 回復速度と PCr 回復時定数、 $\dot{V}O_{2max}$ との関係調べた結果、いずれの時間帯の筋 Gly 回復速度も $\dot{V}O_{2max}$ との間には有意な関係はみられなかった。一方、PCr 回復時定数との関係では、運動後 0~4 時間の筋 Gly 回復時間との間に有意な負の相関関係が認められた。以上の結果から、運動後の筋 Gly 回復、特に、最も速い回復を示す運動後初期の筋 Gly 回復には、筋の有酸素性能力が関係することが示された。このメカニズムとしては、これまで報告されている、有酸素性能力の高い筋におけるより大きなグルコー

ス輸送担体 (GLUT)-4、より高いグリコーゲンシンターゼ活性やインスリンシグナル活性、そして、より多い血流量が関係するとともに、脱リン酸化の促進が関係している可能性が考えられる。

(4) 異なる競技種目における筋グリコーゲン動態に関する検討

①陸上競技競歩選手を対象とした検討

T1 の fGly 増加量は 17.6 mM、rGly 増加量は 29.5 mM、T2 の fGly 増加量は 42.6 mM、rGly 増加量は 40.2 mM であり、T2 の方が多く筋 Gly を蓄積した。T3 の fGly 増加量は 18.1 mM、rGly 増加量は 99.1 mM であり、部位により蓄積量の差がみられた。ローディング期間中の 1 日の総エネルギー消費量は、T1 で 2829 kcal、T2 で 3000 kcal、T3 で 2824 kcal だった。グリコーゲンローディング期間中、事前調査よりも高強度の活動が減少し、1.5 Mets 以下の低強度の活動が増加したが、T1、T2 および T3 の活動強度に大きな違いはみられなかった。本研究の結果、日常的に炭水化物摂取量が多いエリート競歩競技者でも、身体活動量を減少させ、日常よりも多い炭水化物を摂取することでより多くの筋 Gly を貯蔵可能なこと、そして、その程度は部位により異なる可能性が示された。大腿後面の筋は股関節伸展に関与しており、競歩競技の主働筋である一方、大腿前面は膝伸展に関与しており、これらの競歩の歩行動作における役割の違いが筋 Gly 増加量の違いを生み出す一つの要因である可能性が考えられる。また、T1 と T2 で筋グリコーゲン増加量に違いがみられたことから、1 日のエネルギー及び炭水化物摂取量の配分も筋グリコーゲン蓄積に関係している可能性が示唆された。

②スキーコンバインド選手を対象とした検討

上腕、大腿両部位の筋 Gly 濃度は、運動前と比較して有意に減少した (上腕部: 運動前 146.0 ± 20.1 mM、運動後 105.2 ± 26.5 mM、 $P < 0.001$ 、 $ES=0.77$ 、大腿部: 運動前 105.7 ± 18.4 mM、運動後 87.9 ± 15.9 mM、 $P=0.033$ 、 $ES=0.38$)。また、運動前後での筋 Gly 濃度の変化量は、上腕部では 40.8 ± 15.5 mM、大腿部では 17.7 ± 12.8 mM であり、上腕部の方が有意に高値を示した ($P=0.03$ 、 $ES=1.50$)。このような筋 Gly 低下の部位差をもたらす要因の一つとしては、クロスカントリースキー運動中の上肢と下肢の貢献度の違いが関係していると考えられる。

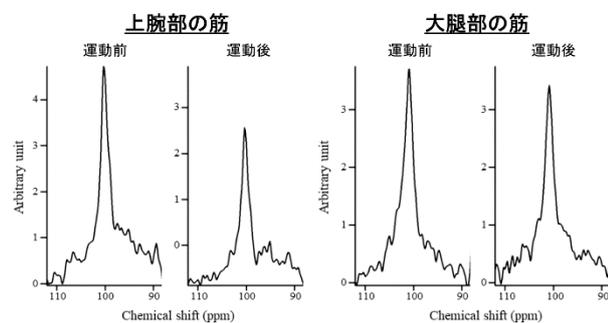


図 2. 上腕部と大腿部における運動前後の ^{13}C MRS スペクトルの例

クロスカントリースキーの推進力には、上肢の貢献度が高いと報告している研究が多い。部位差をもたらすもう一つの要因としては、筋線維組成の違いが考えられる。エリートクロスカントリースキー選手における筋線維組成は、上腕三頭筋では速筋 (タイプ II) 線維が約 60 %、外側広筋では遅筋 (タイプ I) 線維が約 58 % を占め、特にスプリント能力が高値を示した選手の上腕三頭筋のタイプ II 線維の割合は 70 % であったことが報告されている。

③レスリング選手を対象とした検討

減量により、大腿部と上腕部の筋 Gly 濃度はそれぞれ 36 ± 24 %、 50 ± 22 % 低下した。その後の 11 時間の高炭水化物摂取により、大腿部の筋 Gly 濃度は 96 ± 26 % まで回復したが、上腕部では 74 ± 29 % までしか回復しなかった。これらの部位間の回復速度の違いには、レスリング動作におけるより大きな上肢の貢献度が関係するとともに、上腕部と大腿部の筋の筋線維組成や代謝特性の違いが影響していると考えられる。

(5) まとめ

本研究の結果、運動後の筋 Gly 回復、特に、最も大きな回復速度を示す回復初期の筋 Gly 回復速度には筋自体の有酸素性能力が関係することが示された。また、運動を伴わない 3 日間のグリコーゲンローディングにより筋 Gly 濃度は大腿部、上腕部ともに約 23% 増加するが、個人内での変化は、大腿部と上腕部の筋で異なる可能性が示された。さらに、実際の競技者を対象とした実験では、筋 Gly 濃度の動態は競技種目により、そして、部位・筋により異なることが見出された。本研究で得られた知見は、競技種目特性や個人特性に応じて、試合に向けたグリコーゲンローディングやトレーニングの計画立案、運動により減少した筋 Gly 濃度を素早く回復させるための栄養摂取・リカバリー戦略立案のため、そして、今後の基礎的および実践的 Gly 代謝分野のさらなる発展のために役立つ、重要な基礎的知見になると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Keiko Namma-Motonaga, Emi Kondo, Takuya Osawa, Keisuke Shiose, Akiko Kamei, Motoko Taguchi, Hideyuki Takahashi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of different carbohydrate intakes within 24 hours after glycogen depletion on muscle glycogen recovery in Japanese endurance athletes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 1320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nu14071320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke Shiose, Hideyuki Takahashi, Yosuke Yamada	4. 巻 15
2. 論文標題 Muscle glycogen assessment and relationship with body hydration status: a narrative review	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nu15010155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kaito Iwayama, Yoko Tanabe, Katsuhiko Yajima, Fumiya Tanji, Takahiro Onishi, Hideyuki Takahashi	4. 巻 37
2. 論文標題 Preexercise high-fat meal following carbohydrate loading attenuates glycogen utilization during endurance exercise in male recreational runners	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Strength Cond. Res.	6. 最初と最後の頁 661-668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1519/JSC.0000000000004311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Emi Kondo, Eri Takai, Hiroyuki Sagayama, Hideyuki Takahashi	4. 巻 27
2. 論文標題 Comparison of three type of muscle glycogen loading interventions using a very-high-carbohydrate diet in an elite male racewalker: a case report	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Phys. Act. Nutr.	6. 最初と最後の頁 47-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20463/pan.2023.0006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石橋彩, 寺田新, 高橋英幸	4. 巻 5
2. 論文標題 筋グリコーゲンの新たな評価手法とその活用法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Precision Medicine	6. 最初と最後の頁 30-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keiko Namma-Motonaga, Emi Kondo, Takuya Osawa, Keisuke Shiose, Akiko Kamei, Motoko Taguchi, Hideyuki Takahashi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of different carbohydrate intakes within 24 hours after glycogen depletion on muscle glycogen recovery in Japanese endurance athletes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 1320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nu14071320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke Shiose, Hideyuki Takahashi, Yosuke Yamad	4. 巻 15
2. 論文標題 Muscle glycogen assessment and relationship with body hydration status: a narrative review	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 155
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nu15010155	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kaito Iwayama, Yoko Tanabe, Katsuhiko Yajima, Fumiya Tanji, Takahiro Onishi, Hideyuki Takahashi	4. 巻 37
2. 論文標題 Preexercise high-fat meal following carbohydrate loading attenuates glycogen utilization during endurance exercise in male recreational runners	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 J. Strength Cond. Res.	6. 最初と最後の頁 661-668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1519/JSC.0000000000004311	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Emi Kondo, Eri Takai, Hiroyuki Sagayama, Hideyuki Takahashi	4. 巻 27
2. 論文標題 Comparison of three type of muscle glycogen loading interventions using a very-high-carbohydrate diet in an elite male racewalker: a case report	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Phys. Act. Nutr.	6. 最初と最後の頁 47-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20463/pan.2023.0006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 石橋彩, 寺田新, 高橋英幸	4. 巻 5
2. 論文標題 筋グリコーゲンの新たな評価手法とその活用法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Precision Medicine	6. 最初と最後の頁 30-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kondo Emi, Shiose Keisuke, Osawa Takuya, Motonaga Keiko, Kamei Akiko, Nakajima Kohei, Sagayama Hiroyuki, Wada Takahiro, Nishiguchi Shigeki, Takahashi Hideyuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Effects of an overnight high-carbohydrate meal on muscle glycogen after rapid weight loss in male collegiate wrestlers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 BMC Sports Sci. Med. Rehabil.	6. 最初と最後の頁 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s13102-021-00325-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Daisuke Nakamura, Mariko Nakamura, Yoko Tanabe, Keisuke Shiose, Aya Ishibashi, Hideyuki Takahashi	4. 巻 18
2. 論文標題 Muscle glycogen consumption and recovery kinetics using 13C magnetic resonance spectroscopy in semi-professional soccer players: A case study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Football Sci.	6. 最初と最後の頁 43-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kasai Nobukazu, Tanji Fumiya, Ishibashi Aya, Ohnuma Hayato, Takahashi Hideyuki, Goto Kazushige, Suzuki Yasuhiro	4. 巻 121
2. 論文標題 Augmented muscle glycogen utilization following a single session of sprint training in hypoxia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Eur. J. Appl. Physiol.	6. 最初と最後の頁 2981-2991
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00421-021-04748-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Iwayama Kaito, Tanabe Yoko, Tanji Fumiya, Ohnishi Takahiro, Takahashi Hideyuki	4. 巻 71
2. 論文標題 Diurnal variations in muscle and liver glycogen differ depending on the timing of exercise	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Physiol. Sci.	6. 最初と最後の頁 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s12576-021-00821-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keiko Namma-Motonaga, Emi Kondo, Takuya Osawa, Keisuke Shiose, Akiko Kamei, Motoko Taguchi, Hideyuki Takahashi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of Different Carbohydrate Intakes within 24 Hours after Glycogen Depletion on Muscle Glycogen Recovery in Japanese Endurance Athletes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nutrients	6. 最初と最後の頁 1430
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/nu14071320	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Aya Ishibashi, Chihiro Kojima, Yoko Tanabe, Kaito Iwayama, Tsutomu Hiroyama, Toshiki Tsuji, Akiko Kamei, Kazushige Goto, Hideyuki Takahashi	4. 巻 8
2. 論文標題 Effect of low energy availability during three consecutive days of endurance training on iron metabolism in male long distance runners	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physiol. Rep.	6. 最初と最後の頁 e14494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14814/phy2.14494	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keisuke Shiose, Emi Kondo, Rie Takae, Hiroyuki Sagayama, Keiko Motonaga, Yosuke Yamada, Yoshinari Uehara, Yasuki Higaki, Hideyuki Takahashi, Hiroaki Tanaka	4. 巻 17
2. 論文標題 Validity of bioimpedance spectroscopy in the assessment of total body water and body composition in wrestlers and untrained subjects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int. J. Environ. Res. Public Health	6. 最初と最後の頁 9433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph17249433	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoko Tanabe, Kazuhiro Shimizu, Emi Kondo, Mikinobu Yasumatsu, Daisuke Nakamura, Hiroyuki Sagayama, Hideyuki Takahashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Urinary N-terminal fragment of titin reflects muscle damage after a soccer match in male collegiate soccer players	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 J. Strength Cond. Res.	6. 最初と最後の頁 360-365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1519/JSC.0000000000003923	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Emi Kondo, Keisuke Shiose, Yosuke Yamada, Takuya Osawa, Hiroyuki Sagayama, Keiko Motonaga, Shiori Ouchi, Akiko Kamei, Kohei Nakajima, Hideyuki Takahashi, Koji Okamura	4. 巻 7
2. 論文標題 Effect of thoracic gas volume changes on body composition assessed by air displacement plethysmography after rapid weight loss and regain in elite collegiate wrestlers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sports	6. 最初と最後の頁 E48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/sports7020048	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chihiro Kojima, Aya Ishibashi, Yoko Tanabe, Kaito Iwayama, Akiko Kamei, Hideyuki Takahashi, Kazushige Goto	4. 巻 52
2. 論文標題 Muscle glycogen content during endurance training under low energy availability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Med. Sci. Sports Exerc.	6. 最初と最後の頁 187-195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/MSS.0000000000002098	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kaito Iwayama, Takahiro Onishi, Katsuya Maruyama, Hideyuki Takahashi	4. 巻 33
2. 論文標題 Diurnal variation in the glycogen content of the human liver using 13C MRS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 NMR Biomed.	6. 最初と最後の頁 e4289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/nbm.4289	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 小島千尋, 元永恵子, 亀井明子, 高橋祐美子, 石橋彩, 高橋英幸
2. 発表標題 運動を伴わないグリコーゲンローディング効果の部位差に関する研究
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩山海渡, 田名辺陽子, 矢島克彦, 丹治史弥, 大西貴弘, 高橋英幸
2. 発表標題 運動前の多価不飽和脂肪酸摂取がグリコーゲン利用に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井恵理, 石井美子, 近藤衣美, 中村真理子, 高橋英幸, 能瀬さやか, 亀井明子
2. 発表標題 女子陸上中長距離選手の月経有無及び栄養状態の実態把握
3. 学会等名 第33回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akiko Kamei, Eri Takai, Yoshiko Ishii, Emi Kondo, Mariko Nakamura, Hideyuki Takahashi, Sayaka Nose-Ogura
2. 発表標題 Effect of carbohydrate supplementation on endocrine and muscle glycogen contents in amenorrheic runners
3. 学会等名 International Sport + Exercise Nutrition Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島千尋, 元永恵子, 亀井明子, 高橋祐美子, 石橋彩, 高橋英幸
2. 発表標題 運動を伴わないグリコーゲンローディング効果の部位差に関する研究
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩山海渡, 田名辺陽子, 矢島克彦, 丹治史弥, 大西貴弘, 高橋英幸
2. 発表標題 運動前の多価不飽和脂肪酸摂取がグリコーゲン利用に及ぼす影響
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高井恵理, 石井美子, 近藤衣美, 中村真理子, 高橋英幸, 能瀬さやか, 亀井明子
2. 発表標題 女子陸上中長距離選手の月経有無及び栄養状態の実態把握
3. 学会等名 第33回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Akiko Kamei, Eri Takai, Yoshiko Ishii, Emi Kondo, Mariko Nakamura, Hideyuki Takahashi, Sayaka Nose-Ogura
2. 発表標題 Effect of carbohydrate supplementation on endocrine and muscle glycogen contents in amenorrheic runners
3. 学会等名 International Sport + Exercise Nutrition Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 近藤衣美, 高井恵里, 高橋英幸
2. 発表標題 男性エリート競歩選手におけるグリコーゲンローディングのための糖質摂取量の事例検討
3. 学会等名 日本スポーツ栄養学会第7回大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoka Matsuda, Hideyuki Takahashi, Mariko Nakamura, Moe Kanno, Hazuki Ogata, Akira Ishikawa, Mizuki Yamada, Akiko Funaki, Hyunjun Gam, Nodoka Ikegami, Mikako Sakamaki-Sunaga
2. 発表標題 Influence of the menstrual cycle on muscle glycogen utilization with high-intensity intermittent exercise until exhaustion in eumenorrheic women
3. 学会等名 26th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田知華, 緒方はづき, 菅野萌, 石川明良, 山田満月, 亀本佳世子, 甘賢俊, 小泉和史, 中村真理子, 高橋英幸, 須永美歌子
2. 発表標題 月経周期が長時間の高強度間欠的運動時の筋グリコーゲン濃度に及ぼす影響
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井泰光, 山口大貴, 黒川剛, 高橋英幸
2. 発表標題 大学生自転車選手における自転車スプリントパフォーマンスと殿筋の筋量の関係
3. 学会等名 第75回日本体力医学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoko Tanabe, Kazuhiro Shimizu, Emi Kondo, Mikinobu Yasumatsu, Daisuke Nakamura, Hiroyuki Sagayama, Hideyuki Takahashi
2. 発表標題 Evaluation of muscle damage by urinary N-terminal fragment of titin after a soccer match in male collegiate soccer players
3. 学会等名 ARIHHP Human High Performance Forum 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideyuki Takahashi
2. 発表標題 Proton, phosphorous, and carbon magnetic resonance spectroscopy technique (MRS) for monitoring of training and performance in athletes
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daisuke Nakamura, Mikinori Yasumatsu, Akinori Tobita, Mariko Nakamura, Yoko Tanabe, Kaito Iwayama, Keisuke Shiose, Aya Ishibashi, Hideyuki Takahashi
2. 発表標題 Pre-match muscle glycogen levels of three matches in 1 week based on high carbohydrate intake
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Emi Kondo, Keisuke Shiose, Hiroyuki Sagayama, Keiko Motonaga, Mio Nishimaki, Daichi Yamashita, Akiko Kamei, Kohei Nakajima, Shigeki Nishiguchi, Hideyuki Takahashi
2. 発表標題 Effects of high-carbohydrate meal on muscle glycogen and physical performance after rapid weight loss in elite collegiate wrestlers
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takuya Osawa, Emi Kondo, Hideyuki Takahashi
2. 発表標題 Effects of hypoxia on power outputs and muscle glycogen utilization during repeated sprints
3. 学会等名 24th Annual Congress of the European College of Sport Science (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石橋彩, 谷中拓哉, 山辺芳, 久保貴寛, 河野孝典, 亀井明子, 石毛勇介, 高橋英幸
2. 発表標題 スキー・コンバインドナショナルチーム選手における運動後の異なる炭水化物の摂取量が翌朝の骨格筋グリコーゲンの回復に及ぼす影響
3. 学会等名 日本スポーツ栄養学会第6回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋英幸, 塩瀬圭佑, 岩山海渡, 下山寛之, 元永恵子, 丸山克也
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩山海渡, 田名辺陽子, 丹治史弥, 大西貴弘, 丸山克也, 高橋英幸
2. 発表標題 運動するタイミングの違いが骨格筋および肝臓グリコーゲン濃度の変動に及ぼす影響
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤衣美, 下山寛之, 石井泰光, 山下大地, 西牧未央, 岩山海渡, 元永恵子, 亀井明子, 和田貴広, 朝倉利夫, 富山英明, 西口茂樹, 中嶋耕平, 高橋英幸
2. 発表標題 レスリング選手の試合前日の高糖質食摂取が試合当日の筋グリコーゲン濃度に及ぼす影響
3. 学会等名 第74回日本体力医学会大会
4. 発表年 2019年

〔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	亀井 明子 (Kamei Akiko) (10276636)	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・スポーツメディカルセンター・先任研究員 (82632)	
研究分担者	元永 恵子 (Motonaga Keiko) (20330516)	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・研究員 (82632)	
研究分担者	小島 千尋 (Kojima Chihiro) (00845878)	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・契約研究員 (82632)	

6. 研究組織（つづき）

	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	石橋 彩 (Ishibashi Aya) (40756524)	東京大学・大学院総合文化研究科・特別研究員 (12601)	
研究分担者	下山 寛之 (Sagayama Hiroyuki) (80760652)	筑波大学・体育系・助教 (12102)	
研究分担者	近藤 衣美 (Kondo Emi) (50515707)	筑波大学・体育系・特別研究員（PD） (12102)	
研究分担者	赤澤 暢彦 (Akazawa Nobuhiko) (30713250)	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・契約研究員 (82632)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関