

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：31105

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K14810

研究課題名（和文）身体活動欲向上のための生理-心理的応答面からのアプローチ

研究課題名（英文）The effect of physiological factor -muscle fatigue, energy, motivation- on for active performance

研究代表者

有光 琢磨 (Arimitsu, Takuma)

八戸学院大学・健康医療学部・講師

研究者番号：00616021

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、運動の継続に対して生理因子やそれに伴う情動（感情）がどのように関連しているかを検証する事であった。エネルギー枯渇を狙った運動を実施し、運動の継続意欲を減少させた実験結果は、足の疲れに見られる身体の疲労感は $66.8 \pm 2.3\%$ と大きく増大していたにもかかわらず、運動継続に対する情動（感情）は $25.7 \pm 1.0\%$ の負の感情の増大に留まっていた。さらに、回復介入後に実施した疲労困憊運動の継続時間は、コントロール条件で約 55.4 ± 16.5 、スポーツドリンク条件で約 54.8 ± 15.5 、オリジナル条件で約 53.7 ± 14.4 分であり、負の情動の高さと運動継続時間の関係性は小さい可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の目的は、運動の継続に対して、生理的因子やそれに伴う情動（感情）がどのように関連しているかを検証することであった。運動を継続する際、身体的痛みや精神的な苦痛を伴う場合がある。そこで、本研究は実験的に疲労感が最大となるような運動を実施し、情動とパフォーマンスの関係を検証した。本研究結果は、疲労感が最大となるような運動においても負の情動の高まりは小さく、連続した最大運動時のパフォーマンスには影響が小さい事、これらの結果より、外因的な状況が、運動の継続に直結することが示された。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to examine the relationship between physiological factors and associated emotions with regard to the continuation of exercise. As a result, despite a significant increase in physical fatigue sensations such as fatigue in the legs, reaching $66.8 \pm 2.3\%$, after exercise aimed at energy depletion, the emotional response to exercise remained limited to a $25.7 \pm 1.0\%$ increase in negative emotions. Furthermore, the duration of exercise continuation following a recovery intervention after energy depletion exercise was approximately 55.4 ± 16.5 minutes in the water condition, approximately 54.8 ± 15.5 minutes with a sports drink, and approximately 53.7 ± 14.4 minutes in the original condition. These findings suggest that, even with heightened negative emotions, there is a little potential impact on the implementation of exercise.

研究分野：運動生理学

キーワード：運動の継続 エネルギーの枯渇 情動 疲労感 グリコーゲン

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

【運動時のエネルギー】

運動の継続や発揮張力の継続には、絶え間ないエネルギーの供給の下で行われる。従って、体内には、運動に必要なエネルギーを供給するメカニズムが存在する。運動に必要なエネルギーは、アデノシン三リン酸が加水分解されると同時に放出されるエネルギーが使用され、このエネルギーが仕事量として現れる。骨格筋内の酸素消費とエネルギー供給指標であるクレアチンリン酸濃度は、ATP 再合成のバランスによって決定されるが、近年、末梢組織での筋内酸素供給は時間的・空間的に不均一性を示すことが報告される。酸素濃度が低い条件における運動では、同一負荷運動でもクレアチンリン酸濃度の減少とその代謝反応によって生じる無機リン酸濃度の増大が認められ、骨格筋内の酸素化状態がエネルギー代謝に多大な影響を及ぼすことが指摘され、これもまた運動の継続に影響を及ぼす一因となり得る。

【骨格筋エネルギー代謝の検出方法】

近年、骨格筋エネルギー代謝を検出する方法として、MR 装置を用いる手法が報告されている。その中でも、³¹C-核磁気共鳴スペクトル法を用いる手法は、運動前後の骨格筋グリコーゲン量の分析・評価方法として非侵襲的技法として確立され、実際に評価のために利用されている。そこで、本研究では、この³¹C-MRS法を用いることで運動後のエネルギー代謝の動態、回復介入における評価、を経時的に測定することで運動直前におけるエネルギー量、及びエネルギーの回復動態の評価と運動を実施する意思の関係を検討する事が可能である。

【運動の継続】

身体活動を継続することは、肉体的・精神的“痛み”を伴う。身体運動によって引き起こされる運動誘発性筋損傷(損傷・痛みの体験)は、不快感・恐怖・怒り・不安といった負の情動を伴う性質がある。負の情動は無気力感を生じさせ運動継続を低下させる。身体的損傷から回復過程に着目しパフォーマンスとの関係に着目した研究は数多く散見されるが、負の情動によるパフォーマンス行動への影響を検討した報告はない。

2. 研究の目的

本研究は、ヒトの心理 身体・生理的応答と運動欲求の関係性から、運動継続に対する痛みなど負の情動がいかに行動の発現に対して影響を及ぼすかを探索することを目的とし、身体的疲労の軽減、運動実施欲に対して関係のあるものを明らかにすることである。ヒトの心理 身体・生理的応答と運動欲求の関係性から健康増進を目指す行動変容因子を探索することを主目的とし、対象者の参加意欲の向上に繋がるのか、その因子やメカニズムが明らかにする。

3. 研究の方法

本研究の目的を達成するために、以下に示す実験を実施した。計画していた一部実験において、2020年度から継続している新型コロナウイルス感染症のため実施が延期・実施の断念となっている。

1, 2) 骨格筋内代謝産物濃度の変動を追跡・定量化するためのシーケンス及びコイルの調整

本実験 1 及び 2 において、本実験の多核種信号検出で用いる MR 装置自体のプログラムにエラーが発見された事から修正パッチを入手する必要性が生じた。その後、¹³C 物質の信号を検出する実験を実施した。まず、ファントム(1-¹³C)グルコースを用いて、Decouple 法を使用し、4 本として検出されるグルコースのピーク波形がどのように変化するかを確認した。次に、照射ピークが単独であれば連続波の方が信号を強く検出すると仮定して、従来の Walth 法と比較した。さらに、¹³C 信号を励起する前に 1H を照射する NOE 法と ¹³C 信号を受信時に 1H を照射する DEC 法の比較検討を行った。それに加えて、DEC 法のパルス幅とコイルからの深さ方向の効果を検討した。

MR シーケンスの調整と共に、共同研究者による国内用コイルにおいて初となる 1H-¹³C-MR 装置用クアドラチャコイルの制作に取り掛かった。予備検証として、上記 1)と同様に、グリコーゲンファントム(1-¹³C)を用いて調整し、上記 MR シーケンスを用いて、シーケンスと制作したコイルによって検出された波形から、グリコーゲン信号強度が強くなるようにパラメータ調整を実施した。

3) 高強度負荷運動後における各回復条件の運動欲への影響

被験者は、6 人の健常男性とした。まず、入室後、身体能力・身体組成を測定し、本実験において利用する運動負荷強度を決定するため、多段階式漸増負荷運動を実施した。各被験者の最大酸素摂取量及び最大酸素摂取量が確認される負荷強度を確認し、その 60%強度を計算して、本実験で用いる強度とした。最初に被験者は、30 秒間の高強度間欠的運動 4 セット(30 秒×2 本×2 セット)を実施した。本実験において、被験者は、2 セット終了後に 30 分間の 40%最大酸素摂取量強度の運動を実施した後、2 セットの高強度間欠的運動を実施した。測定項目は、運動開始前

-運動途中-運動後のポイントにおいて、各被験者には、Visual Analog Scale を用いて運動に対する参加意欲（痛み指標も含む）を、また、磁気共鳴装置（MRI）を用いて、骨格筋内エネルギー基質（筋グリコーゲン量）を測定した。高強度間欠的運動によるグリコーゲン枯渇運動後に、複数の回復法を導入し、2時間の安静後のエネルギー源の回復度の変化度合、運動に対する参加意欲の変化、疲労困憊運動（タイムトライアル）の運動継続時間等を測定した。エネルギー基質（グリコーゲン）の測定は、MR装置を用いて、MR装置とサーフェイスコイルを用いて大腿四頭筋から測定した。各被験者のエネルギー基質を測定した後、既知濃度のファントムを用いて測定し、各測定信号を補正した。

4) 身体活動欲の基盤となる行動変容調査

本調査は、行動変容に関するステージには、無関心期-関心期-準備期-実行期-維持期と5区分とした準備期までに至る3期に関連する評価指標として、日常的に身体活動に従事する健康被験者のコンピテンシー能力及びリテラシー能力を調査した。調査対象者は61人とした。

4. 研究成果

本研究では、以下の成果が得られた。

- 1) 既知濃度ファントム（1-13C）グルコースを用いて測定を実施した結果、Decouple法を用いる事で4本として検出されたグルコースのピークは、2本となる事が確認された。次に、照射ピークが単独であれば連続波による信号強度が強くなることを想定し、従来のWalth法と比較した結果、Walth法の方が安定した結果を得られることが認められた。さらに、13C信号を励起する前に1Hを照射するNOE法と13C信号を受信時に1Hを照射するDEC法の比較検討を行い、それに加えて、DEC法のパルス幅とコイルからの深さ方向の効果を検討した結果、NOE法でもDEC法でも短いパルス幅において効果が認められるようであるが、それに対して、MRからの照射圧が上昇することが明らかとなった。
- 2) 自作したサーフェイスコイルを用いて、予備的測定として、ファントム撮影を実施、さらに、ボランティアスキャンを実施した。ボランティアスキャンは、安静状態、及び、各ボランティアの最大酸素摂取量の60%強度負荷でのエルゴメータ運動を60分間、その前後にウィングテストを実施させ、運動後、回復期に異なる介入を行った後、MR信号を測定した。その結果、安静時と比べて運動直後では約30%減のデータが観られ、筋生検の先行値と類似するデータが確認された。本コイル及びシーケンスは、本実験で有用な手法であることが確認された。
- 3) 被験者の身体特性（年齢・身長・体重）は、 22.2 ± 0.9 歳、 172.4 ± 8.1 cm、 65.5 ± 5.1 kgであった。漸増負荷運動における最高負荷強度は、 289.1 ± 33.6 w、最高酸素摂取量は 60.3 ± 10.7 ml/min/kgであった。運動意欲、身体全体の疲労感、脚の疲労感、運動に対する集中力の有無、に関する結果は、安静時を基準として、高強度間欠的運動後でそれぞれ38.6%、21.1%、13.3%、47.6%への低下が観られた。3種類の回復条件後の2時間での安静後において、運動意欲、身体全体の疲労感、脚の疲労感、運動に対する集中力は、水・スポーツドリンク・オリジナル条件それぞれで、64.8/60.3/57.1%、51.2/43.7/47.6%、41.7/42.1/52.7%、69.3/71.9/67.8%への回復が認められた。その後実施した60%最大酸素摂取量負荷強度でのタイムトライアルの継続時間は、水・スポーツドリンク・オリジナル条件それぞれで、 3321.2 ± 902.0 、 3286.0 ± 848.6 、 3221.3 ± 790.4 秒であり、有意な変化は認められなかった。グリコーゲン濃度は、安静時を基準として、高強度間欠的運動後で $77.2 \pm 11.2\%$ へ低下しており、その後の回復は、水・スポーツドリンク・オリジナル条件において、 $77.1 \pm 11.6\%$ 、 $90.3 \pm 22.7\%$ 、 $89.3 \pm 22.6\%$ への回復が認められたが、運動継続時間との間には有意な関係は認められなかった。
- 4) 本調査対象者は、46人（男子：29名、女子：17名）の健康な成人であった。行動変容と共に身体能力の関連性調査も実施した結果、身体運動能力として実施した、全力運動時のピークパワーは $11.6/10.8$ W/kgであった。運動前に比べて運動後の疲労感は、男性と女性のそれぞれで $62.7 \pm 10.4/76.7 \pm 10.3$ と高くなった。しかし、唾液アミラーゼ反応は、 2.5 ± 8.3 、 0.7 ± 2.4 と大きな変化を示していなかった。対人/対自己/対課題能力の結果は、それぞれ3.66/4.03/3.41と平均的な数値を示していた。リテラシー項目より、情報分析能力/課題発見力に関して、2.86/2.72と低い数値を示していた。身体活動への意欲感の向上に関わる介入として、対象者の対行動能力・対課題発見力、対自己基礎力への教育を含めた介入を実施することで回復への外的介入以外の可能性を示すものである。

本研究は、新型コロナウイルス感染症拡大によって一部遂行出来ていない実験もある。しかし、本研究結果は、運動後に最適な回復法を実施させることは、その後の身体活動に対する参加意欲の低下

を抑制させ、運動に対するネガティブな影響を小さくすることを示す。しかし、エネルギー基質の回復度合いと運動継続時間の関係には、有意な相関を示していない。身体活動への参加意欲に対する感情の向上に関わる介入として、回復行動への外的介入以外として、参加者自身の対行動能力・対課題発見力、対自己基礎力といったリテラシー教育の実施が、運動の根本に対する参加意欲の向上につながる可能性を示唆する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に下線)

1. Yasuda J, Asako M, Arimitsu T, Fujita S. Skipping breakfast is associated with lower fat free mass in healthy young subjects: A cross-sectional study. 査読有. Nutrition Research 60:26-32, 2018
2. 村上泰一, 中村由紀, 古嶋大詩, 家光素行, 栗原俊之, 藤本雅大, 有光琢磨, 石井好二郎, 浅原哲子, 真田樹義. サルコペニア肥満における低強度レジスタンストレーニングがメタボリックシンドロームリスク因子に及ぼす影響. 査読有. 肥満研究 24(1):30-39, 2018
3. Onitsuka S, Nakamura D, Onishi T, Arimitsu T, Takahashi H, Hasegawa H. Ice slurry ingestion reduces human brain temperature measured using non-invasive magnetic resonance spectroscopy. Sci Rep 8:2757, 2018
4. Ikedo A, Arimitsu T, Kurihara T, Ebi K, Fujita S. The effect of ongoing vitamin D and low-fat milk intake on bone metabolism in female high-school endurance runners. 査読有. J Clin Med Res 10(1):13-21, 2018
5. Yano T, Afroundeh R, Arimitsu T, Yunoki T. Relationship between tissue oxygen index in skeletal muscle and oxygen intake at pulmonary level. 北海道大学大学院教育学研究紀要 135:27-41, 2019
6. Yano T, Afroundeh R, Arimitsu T, Yunoki T. Difference between low and high intensity exercises in the amplitude of oscillation of tissue oxygen index in human. 北海道大学大学院教育学研究紀要 135:43-55, 2019
7. Yasuda J, Asako M, Arimitsu T, Fujita S. Association of Protein Intake in Three Meals with Muscle Mass in Healthy Young Subjects: A Cross-Sectional Study. 査読有. Nutrients 11(3):E612, 2019
8. Nakamura D, Tanabe Y, Arimitsu T, Hasegawa H, Takahashi H. Low-Dose Caffeine Improves Intermittent Sprint Performance in Hot and Humid Environments. 査読有. Journal of Thermal Biology 93:102698, 2020
9. Yasuda J, Tomita T, Arimitsu T, Fujita S. Evenly distributed protein intake over 3 meals augments resistance exercise-induced muscle hypertrophy in healthy young men. 査読有. Journal of Nutrition 150(7):1845-1851, 2020
10. Arakawa H, Yamashita D, Arimitsu T, Kawano T, Wada T, Shimizu S. Body composition and physical fitness profiles of elite female Japanese wrestlers aged <12 years until >20 years. 査読有. Sports 8(6):81, 2020
11. Maeda A, Yamagishi M, Otsuka Y, Izumo T, Rogi T, Shibata H, Fukuda M, Arimitsu T, Yamada Y, Miyamoto N, Hashimoto T. Characteristics of the Passive Muscle Stiffness of the Vastus Lateralis: A Feasibility Study to Assess Muscle Fibrosis. Int J Environ Res Public Health 18(17):8947, 2021
12. Otsuka M, Isaka T, Terada M, Arimitsu T, Kurihara T, Shinohara Y. Rehabilitation progression of running performance, physical function, and hamstring morphology following acute posterior thigh injuries in collegiate sprinters. 査読有. Clinical Biomechanics 100:105789, 2022
13. Nakamura D, Asada K, Arimitsu T, Yasumatsu M, Ishiwata T. Trends in ambulance dispatches related to heat illness from 2010 to 2019: Anecological study. 査読有. PlosOne 17(11):e0275641, 2022
14. Nishimura Y, Jensen M, Bülow J, Thomsen TT, Arimitsu T, van Hall G, Fujita S, Holm L. Co-ingestion of cluster dextrin carbohydrate does not increase exogenous protein-derived amino acid release or myofibrillar protein synthesis following a whole-body resistance exercise in moderately trained younger males: a double-blinded randomized controlled crossover trial. European Journal of Nutrition (Eur J Nutr) 61(5):2475-2491, 2022
15. Otsuka Y, Miyamoto N, Nagai A, Izumo T, Nakai M, Fukuda M, Arimitsu T, Yamada Y, Hashimoto T. Effects of quercetin glycoside supplementation combined with low-intensity resistance training on muscle quantity and stiffness: A randomized, controlled trial. Front Nutr (Frontiers in Nutrition, section Sport and Exercise Nutrition) 9:912217, 2022

16. Kishigami K, Kanehisa H, Qi S, Arimitsu T, Miyachi M, Iemitsu M, Sanada K. Relationship between thigh muscle cross-sectional areas and single leg stand-up test in Japanese older women. Plos One 17(6):e0269103, 2022
17. Yasuda J, Murata K, Hasegawa T, Yamamura M, Maeo S, Takegaki J, Sase K, Tottori N, Yokokawa T, Mori R, Arimitsu T, Nishikori S, Fujita S. Relation between protein intake and resistance training-induced muscle hypertrophy in middle-aged women: a pilot study. Nutrition 97:111607, 2022
18. Otsuka Y, Yamada Y, Maeda A, Izumo T, Rogi T, Shibata H, Fukuda M, Arimitsu T, Miyamoto N, Hashimoto T. Effects of resistance training intensity on muscle quantity/quality in middle-aged and older people: a randomized controlled trial. J Cachexia Sarcopenia Muscle 13(2):894-908, 2022
19. Arimitsu T, Yamanaka R, Yunoki T, Yano T. Effects of exercise-induced muscle fatigue on V02 slow component during heavy constant load exercise. 査読有. Gazzetta Medica Italiana - Archivio per le Scienze Mediche (Gazz Med Ital - Arch Sci Med) 181(4):225-233, 2022
20. Yamanaka R, Yunoki T, Arimitsu T, Yano T. Effect of manipulation of fatigue sense on ventilatory response during recovery after intense exercise. 査読有. Gazzetta Medica Italiana - Archivio per le Scienze Mediche 181(3):160-166, 2022

6 . 研究組織

(1)研究代表者

有光 琢磨 (ARIMITSU Takuma)

八戸学院大学・健康医療学部・講師

研究者番号：00616021

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hideto Kuribayashi, Takuma Arimitsu, Atsushi Yuhaku, Yoshihiko Kawabata, Toshiro Inubushi
2. 発表標題 Improvement of multinuclei MRS sensitivity with pulse sequence modification and RF coil development
3. 学会等名 ISMRM JPC 2019 第4回 国際磁気共鳴医学会・日本チャプター学術集会（国際学会）
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------