

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H03335

研究課題名（和文）筋力トレーニングに伴う中枢神経系および骨格筋の適応

研究課題名（英文）Adaptations of the central nervous system and skeletal muscle following resistance training

研究代表者

前大 純朗（Maeo, Sumiaki）

立命館大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：60774586

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では主に、長期的にレジスタンストレーニングを実施している鍛錬者と運動習慣のない非鍛錬者を比較することにより、トレーニングに伴う中枢神経系および骨格筋の適応について横断研究を進めた。中枢神経系については、高密度筋電図法を用いて、力発揮中における運動単位の識別の数に影響を与える解剖学的因子や、低強度から中強度の力発揮中ならびに素早い力発揮中の運動単位の振る舞いについて、研究成果を報告した。骨格筋については、MRI法とバイオプシー法を用いて、全筋、筋線維、および筋原線維の構造特性について検証した。また、高密度筋電図法とバイオプシー法を用いて、非侵襲的に筋線維サイズを推定する方法を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筋に抵抗をかけるレジスタンストレーニングは、筋量や筋力を高め、日常生活における生活の質やアスリートの運動パフォーマンスの向上に貢献する。本研究により、長期的にトレーニングを実施している鍛錬者と非鍛錬者の中枢神経系および骨格筋の特性の違いや、研究遂行上の方法論について、新たな知見が得られた。本研究の成果は、今後より直接的な縦断研究（トレーニング介入実験）を実施するうえで重要な情報となり、さらに、トレーニングやリハビリテーションの現場においても活用されるものとなると期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study examined potential adaptations of the central nervous system and skeletal muscle following resistance training by comparing long-term resistance trained and untrained individuals.

For the central nervous system, we used high-density surface electromyography (HD-sEMG) to investigate the influence of anatomical and neural factors on the quality of HD-sEMG signals, as well as motor unit behaviour during low/moderate muscle contractions and also during rapid contractions. For the skeletal muscle, we used MRI and muscle biopsy techniques to identify characteristics of whole muscle, muscle fibre, and myofibrils of resistance trained and untrained individuals. By combining the HD-sEMG and biopsy techniques, we also validated non-invasive estimation of muscle fibre size from HD-sEMG signals, more specifically from motor unit conduction velocity.

研究分野：神経筋生理学

キーワード：レジスタンストレーニング 運動単位 高密度筋電図 筋力 筋量 筋線維 筋原線維

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

筋力は、身体運動機能を規定する最重要因子の一つであると同時に、トレーニングによる大きな可塑性を有する。トレーニングに伴う筋力の増加は、主に中枢神経系および骨格筋の適応に起因するが、これらの部位でどのような変化が生じているのかについては不明な点が多い。

2. 研究の目的

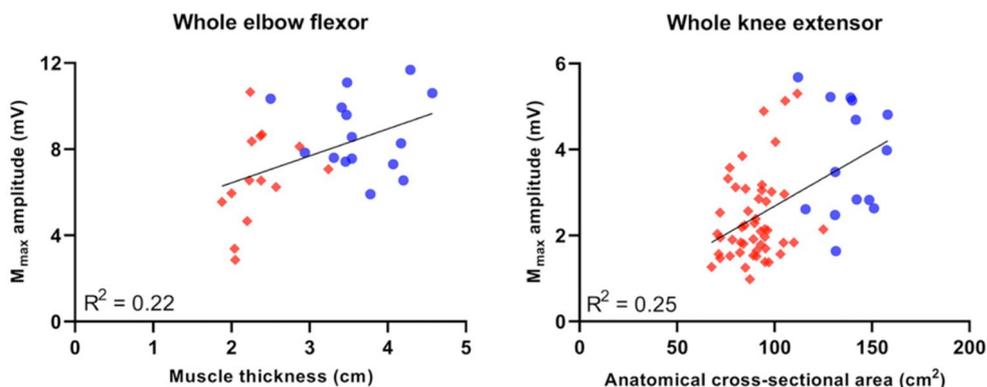
本研究では、神経・筋生理学分野における種々の研究手法、主に電気刺激、高密度表面筋電図、MRI、筋バイオプシー法を用い、筋力トレーニングに伴う中枢神経系および骨格筋の適応を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、本研究では主に、筋力トレーニングを長期的に(3年間以上)実施している鍛錬者と、トレーニングを実施していない非鍛錬者を対象とした横断(比較)研究をおこなった。対象とした部位や目的は複数あるため、研究成果ごとに以下に記す。

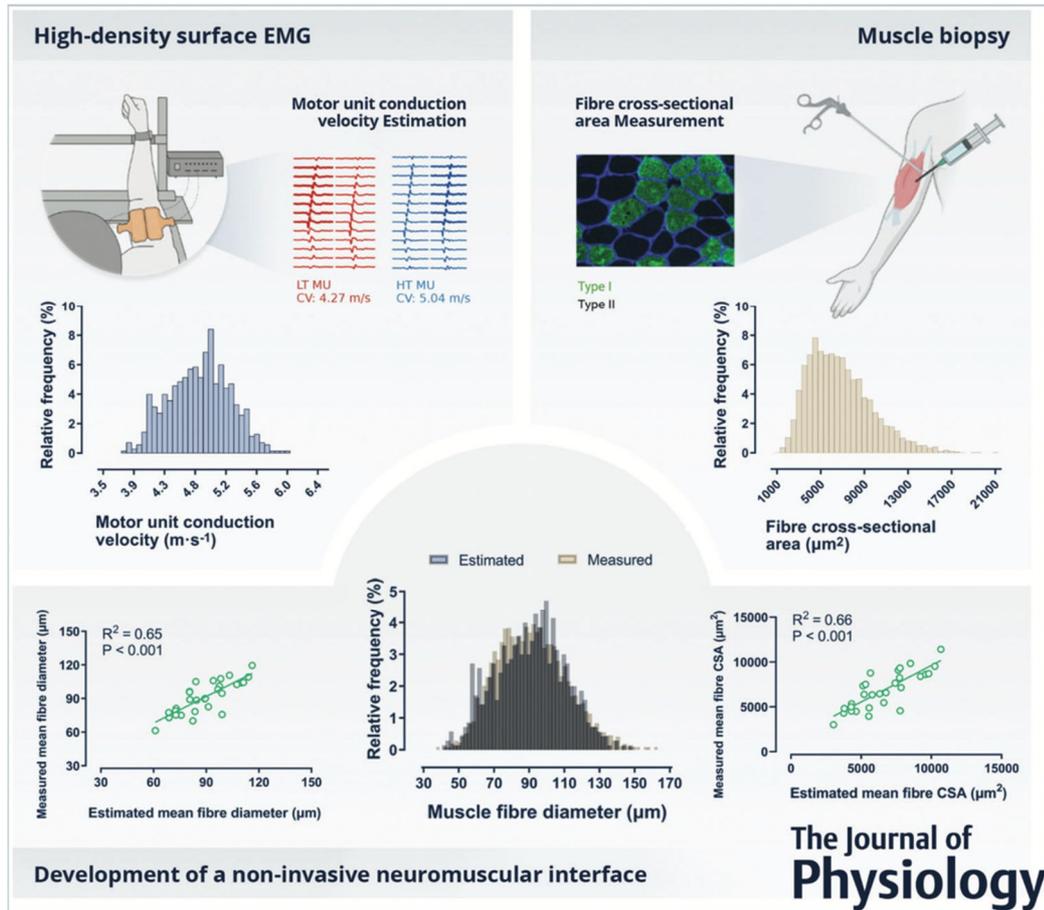
4. 研究成果

- I. 上腕二頭筋を対象に、最大下での様々なレベルの力発揮中における運動単位の発火頻度と筋力の関係(神経入力に対する筋出力の傾き)を測定した(Casolo, Maeo et al. *J Appl Physiol*, 2021)。その結果、筋力を絶対値で評価した場合には鍛錬者が非鍛錬者より大きいことが明らかとなった。この結果は、鍛錬者が非鍛錬者よりも大きな力発揮が可能であることは、主に筋サイズの差(鍛錬者 > 非鍛錬者)に起因すること、および長期的なトレーニングによる神経系の適応(等しい神経入力に対する筋出力の増大)は限定的であることを示唆する。
- II. 肘関節屈曲筋(上腕二頭筋)および膝関節伸展筋(大腿四頭筋)を対象に、最大筋力発揮中における主動筋の筋電図振幅値(EMGmax)および電気刺激により誘発した最大複合活動電位(Mmax)と筋サイズとの関係を定量した(Scarabot, Maeo et al. *J Appl Physiol*, 2021)。その結果、EMGmax および Mmax はともに、筋サイズと正の相関関係があった(下図)。また、EMGmax の絶対値は鍛錬者が非鍛錬者より大きいものの、これを Mmax で正規化した場合には群間に差がないことを報告した。従来、EMGmax 単体またはそれを Mmax で正規化した値のトレーニングによる増加は、トレーニングによる神経系の適応のひとつ(主動筋活動の増加)として考えられてきた。しかし、本研究の結果は、EMGmax および Mmax とともに筋サイズの影響を強く受けることを示すものであり、上記の研究 I と同様に、長期的なトレーニングによる神経系の適応は限定的であることを示唆する。

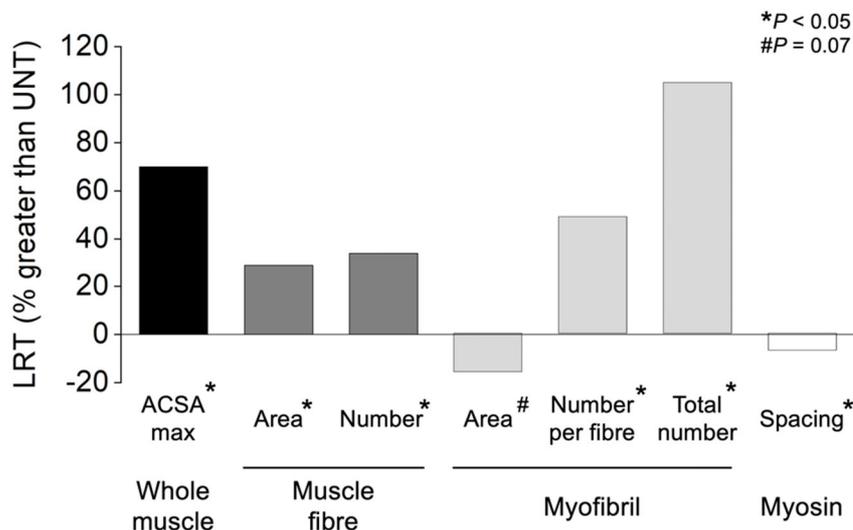


- III. 筋電図の振幅値は、筋電図電極と筋の間に位置しフィルターとして働く皮下脂肪厚の影響を受ける。本研究において、皮下脂肪厚が小さい鍛錬者の方が、皮下脂肪厚が大きい非鍛錬者よりも、高密度筋電図データから識別できた運動単位の数は有意に多かった(Oliveira, Maeo et al. *J Neural Eng*, 2022)。また、筋の横断面積も運動単位の識別数に影響を与え、これらの解剖学的因子の組み合わせにより、高密度筋電図により識別可能な運動単位の数を推定できることが明らかとなった。

IV. 筋線維の横断面積は、運動単位の伝導速度に影響を与える（大きいほど速い）。本研究では、高密度筋電図と筋バイオプシーのデータを用いて、運動単位伝導速度から筋線維の横断面積を 66%の精度で非侵襲的に推定できることを明らかにした（Casolo, Maao et al. *J Physiol*, 2023：下図）。



V. MRI 法とバイオプシー法を用いて、鍛錬者（LRT）と非鍛錬者（UNT）の筋、筋線維、および筋原線維の構造特性を調査した（Maao et al. *Med Sci Sports Exerc* 2024：下図）。その結果、上腕二頭筋の全筋レベルの筋横断面積は、鍛錬者が非鍛錬者よりも約 70%大きかった。筋線維横断面積は鍛錬者が非鍛錬者よりも約 30%大きかったが、筋原線維横断面積は鍛錬者と非鍛錬者で同程度であった。推定した筋線維の数は約 30%、筋原線維の数は約 100%、鍛錬者が非鍛錬者よりも多かった。ミオシンフィラメント間の距離は、鍛錬者が非鍛錬者よりも 7%短かった。これらの結果から、長期的な筋力トレーニングにより、筋線維の増大に加え、筋線維および筋原線維の数の増加、ならびにミオシンフィラメントの密度の増加が生じることが示唆された。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Skarabot Jakob, Balshaw Thomas G., Maeo Sumiaki, Massey Garry J., Lanza Marcel B., Maden-Wilkinson Thomas M., Folland Jonathan P. | 4. 巻 131 |
| 2. 論文標題 Neural adaptations to long-term resistance training: evidence for the confounding effect of muscle size on the interpretation of surface electromyography | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Physiology | 6. 最初と最後の頁 702 ~ 715 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jappphysiol.00094.2021 | 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 該当する |
| 1. 著者名 Casolo Andrea, Del Vecchio Alessandro, Balshaw Thomas G., Maeo Sumiaki, Lanza Marcel Bahia, Felici Francesco, Folland Jonathan P., Farina Dario | 4. 巻 131 |
| 2. 論文標題 Behavior of motor units during submaximal isometric contractions in chronically strength-trained individuals | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Applied Physiology | 6. 最初と最後の頁 1584 ~ 1598 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jappphysiol.00192.2021 | 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 該当する |
| 1. 著者名 Oliveira Daniela Souza de, Casolo Andrea, Balshaw Thomas G, Maeo Sumiaki, Lanza Marcel Bahia, Martin Neil R W, Maffulli Nicola, Kinfe Thomas Mehari, Eskofier Bjoern M, Folland Jonathan P, Farina Dario, Del Vecchio Alessandro | 4. 巻 19 |
| 2. 論文標題 Neural decoding from surface high-density EMG signals: influence of anatomy and synchronization on the number of identified motor units | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Neural Engineering | 6. 最初と最後の頁 046029 ~ 046029 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-2552/ac823d | 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 該当する |
| 1. 著者名 Casolo Andrea, Maeo Sumiaki, Balshaw Thomas G., Lanza Marcel B., Martin Neil R. W., Nuccio Stefano, Moro Tatiana, Paoli Antonio, Felici Francesco, Maffulli Nicola, Eskofier Bjoern, Kinfe Thomas M., Folland Jonathan P., Farina Dario, Vecchio Alessandro Del | 4. 巻 601 |
| 2. 論文標題 Non invasive estimation of muscle fibre size from high density electromyography | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physiology | 6. 最初と最後の頁 1831 ~ 1850 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1113/JP284170 | 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 該当する |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 Maeo Sumiaki, Balshaw Thomas G., Marz Benjamin, Zhou Zhaoxia, Haug Bill, Martin Neil R. W., Maffulli Nicola, Folland Jonathan P. | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 Long-term resistance trained human muscles have more fibres, more myofibrils and tighter myofilament packing than untrained | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Medicine & Science in Sports & Exercise | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1249/mss.0000000000003495 | 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 該当する |

〔学会発表〕 計0件

〔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 | 金久 博昭 (Kanehisa Hiroaki) (50161188) | 鹿屋体育大学・学長・学長 (17702) | |

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 | | | |
|---------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------|--|
| 英国 | Loughborough University | Imperial College London | Queen Mary University of London | |
| イタリア | University of Padua | | | |
| 米国 | University of Maryland | Louisiana State University | | |
| ドイツ | Friedrich-Alexander University | | | |
| スロベニア | University of Maribor | | | |