

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K17837

研究課題名(和文) トレーニングにより筋力が向上するメカニズムの解明

研究課題名(英文) Clarification of mechanisms of strength gains induced by resistance training

研究代表者

前大 純朗 (Maeo, Sumiaki)

立命館大学・総合科学技術研究機構・研究員

研究者番号：60774586

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)：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。本研究では、長期的なトレーニングを実施している鍛錬者は、非鍛錬者と比較して、最大下での力発揮中における皮質脊髄路の興奮性は低い(伝達効率が高い)が、大脳運動野の活動領域には群間差がないことを報告した。また、鍛錬者は非鍛錬者よりも大きな骨格筋横断面積を有し、それは筋線維や筋原線維の大きさや数、および筋フィラメントの密度と関連することを示唆する結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

トレーニングによる筋力の増加には、骨格筋の変化だけではなく、大脳運動野をはじめとする中枢神経系の機能的変化も寄与していると考えられてきた。本研究により、長期的なトレーニングを実施している鍛錬者は非鍛錬者と比較して、より多くの筋線維および筋原線維を有することや、最大下の力発揮中では皮質脊髄路の興奮性が低い(伝達効率が高い)ことが示唆された。本研究で用いた手法や得られた結果は、今後、より直接的な縦断的研究(トレーニング介入実験)や、最大筋力発揮中における測定を行ううえで重要な知見となるため、学術的意義は大きいと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Training-induced strength gains are often attributed to adaptations in the central nervous system and skeletal muscles, but it is poorly understood what modifications specifically occur in these sites. In this study, we reported that cortico-spinal excitability is lower (transmission is higher) in long-term resistance trained males than untrained males, but there is no difference in motor cortical representation, during submaximal contractions. In addition, we found that long-term resistance trained males had larger muscle cross-sectional area than untrained males, and it was associated with size and number of muscle fibres and myofibrils, as well as myofilament packing density.

研究分野：トレーニング科学、神経筋生理学

キーワード：筋力トレーニング 中枢神経系 骨格筋

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

筋力は、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変化は、主に中枢神経系および骨格筋の適応(例: 大脳運動野の活動水準の増加や筋肥大)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 (Folland & Williams 2007)。

2. 研究の目的

本研究の主な目的は、長期的なトレーニングの実施が 1) 大脳運動野の活動領域および皮質脊髄路の興奮性に及ぼす影響、および 2) 筋線維および筋原線維の構造特性に及ぼす影響を明らかにすることとした。

3. 研究の方法

(1) 長期的なトレーニングの実施が大脳運動野の活動領域および皮質脊髄路の興奮性に及ぼす影響 (Maeo et al. 2021)

肘関節屈曲筋群のレジスタンストレーニングを週 2 回・3 年以上実施している鍛錬者 (Long-term resistance trained: LRT) 15 名と運動習慣のない非鍛錬者 (Untrained: UNT) 15 名を対象に、低強度 (最大筋力の 10%) の等尺性肘関節屈曲を実施している際、大脳運動野の複数位置 (15 mm 間隔の 7×7 の格子: 最大 49 点) に経頭蓋磁気刺激 (TMS) を与え、運動誘発電位 (MEP: 200 μ V 以上) が生じるマッピング領域を定量した (図 1)。TMS の強度は、刺激位置のうち最も大きな MEP 振幅値を示す位置 (hotspot) において、MEP の最大振幅値 (MEPmax) の 20% になるよう各被検者で調整した (刺激強度は位置間で統一、被検者間では異なる)。

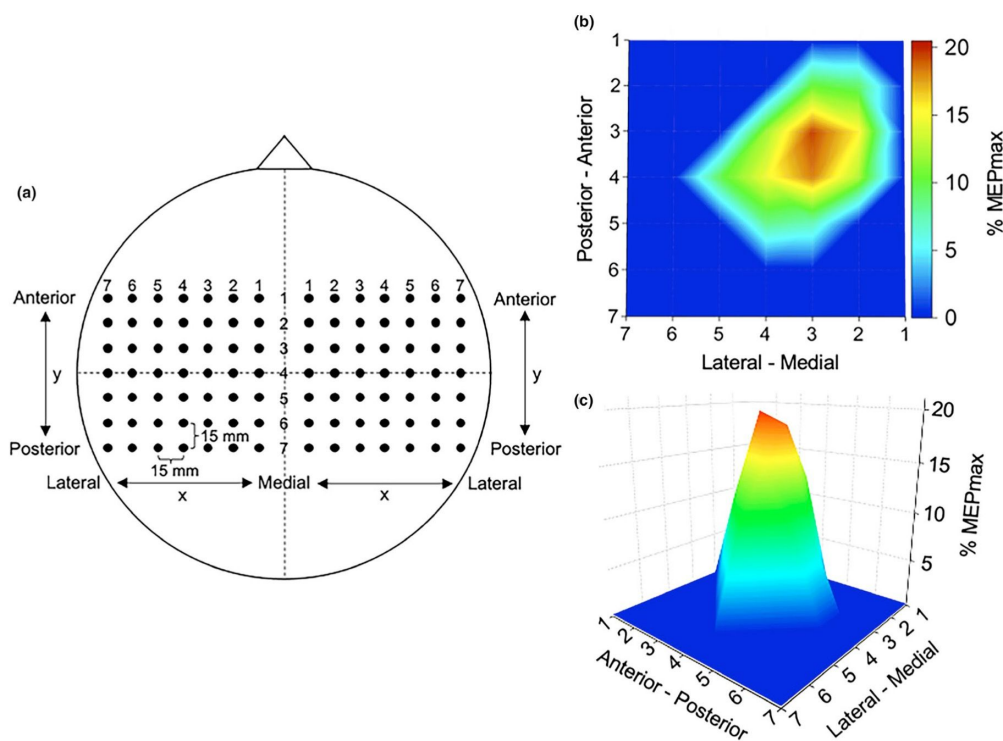


図1: TMSの刺激位置 (a) とMEPマッピングの2・3次元データの例 (b・c)
Maeo et al.2021

(2) 長期的なトレーニングの実施が筋線維および筋原線維の構造特性に及ぼす影響

(論文投稿準備中)

上記の研究 1 と同等の運動習慣を有する LRT 16 名および UNT 13 名を対象に、上腕二頭筋からバイオプシー (コンコトーム法) により筋組織を採取し、筋線維および筋原線維 (200 個/人) の平均横断面積を測定した。また、磁気共鳴画像 (MRI) 法により全筋レベル (上腕二頭筋) の筋横断面積を測定し、筋横断面積を筋線維および筋原線維の横断面積で除すことにより、全筋レベルの筋線維数および筋原線維数を推定した。また、ミオシンフィラメント間の平均距離 (300 個/人) を測定した。

4. 研究成果

(1) 長期的なトレーニングの実施が脳運動野の活動領域および皮質脊髄路の興奮性に及ぼす影響 (Maeo et al. 2021)

TMS の刺激強度-MEP 反応曲線の勾配 (皮質脊髄路の興奮性を反映) は、LRT が UNT よりも有意に小さかった (図 2)。そのため、マッピングで用いられた刺激強度 (各被検者で 20% MEPmax を誘発する強度) は、LRT が UNT よりも有意に大きかった [筋収縮時運動閾値 (AMT) の $+48.2 \pm 27.8\%$ vs. $26.3 \pm 12.8\%$, $P < 0.05$]。マッピング領域 (MEP が生じた刺激位置の数) は、LRT が UNT よりも有意に大きかったが (図 3a)、これをマッピングで用いた TMS の刺激強度で正規化した場合、群間に有意な差は認められなかった (図 3b)。なお、TMS の刺激強度-MEP 反応曲線の勾配 (皮質脊髄路の興奮性) とマッピング領域には有意な相関関係 ($r = -0.548$, $P < 0.001$) があったが、マッピングで用いた TMS の刺激強度とマッピング領域にはそれよりも有意に強い ($P < 0.05$) 相関関係 ($r = 0.776$, $P < 0.001$) があった。

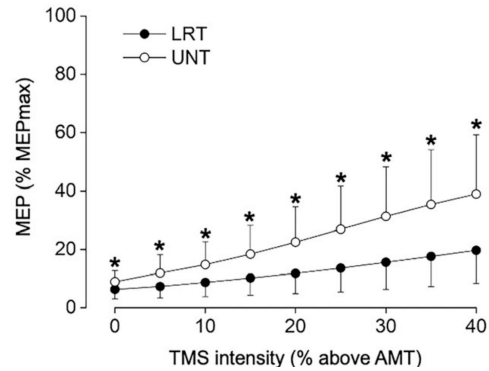


図2: TMSの刺激強度とMEP振幅値の関係 Maeo et al. 2021

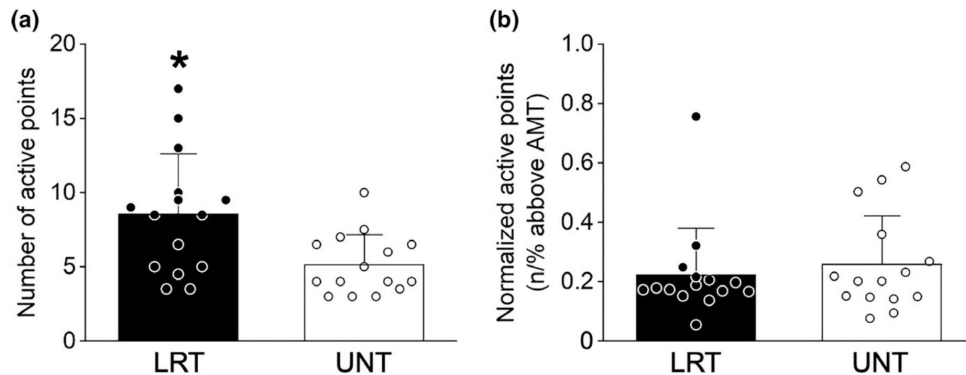


図3: マッピングでMEPが生じた位置の数 (a) とそれを刺激強度で正規化した値 (b) Maeo et al. 2021

(2) 長期的なトレーニングの実施が筋線維および筋原線維の構造特性に及ぼす影響 (論文投稿準備中)

上腕二頭筋の全筋レベルの筋横断面積は、LRT が UNT よりも 70% 大きく、その差は筋横断面積を身長や上腕骨長で正規化した場合でも同程度 (63%) であった ($P < 0.001$)。筋線維横断面積は LRT が UNT よりも 29% 大きかったが ($P < 0.05$)、筋原線維横断面積は逆に LRT が UNT よりも小さい傾向にあった (-16% , $P = 0.074$)。筋線維の数は 34%、筋原線維の数は 105%、LRT が UNT よりもそれぞれ大きかった ($P < 0.05$)。ミオシンフィラメント間距離は、LRT が UNT よりも -7% 小さかった ($P < 0.05$)。上腕骨長で正規化した筋横断面積は、筋線維横断面積および筋線維数、ならびに筋原線維数と正の相関関係があり ($r = 0.412-0.703$, $P < 0.05$)、筋原線維横断面積およびミオシンフィラメント間距離とは負の相関関係がある傾向があった ($r = -0.345--0.353$, $P = 0.065-0.085$)。

<引用文献>

1. Folland JP & Williams AG. The adaptations to strength training : morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Medicine* 37, 2007, 145-168.
2. Maeo S, Balshaw TG, Lanza MB, Hannah R & Folland JP. Corticospinal excitability and motor representation after long-term resistance training. *The European Journal of Neuroscience* 53, 2021, 3416-3432.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Maeo Sumiaki, Balshaw Thomas G., Lanza Marcel B., Hannah Ricci, Folland Jonathan P.	4. 巻 53
2. 論文標題 Corticospinal excitability and motor representation after long term resistance training	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 European Journal of Neuroscience	6. 最初と最後の頁 3416 ~ 3432
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/ejn.15197	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
---------------------------	-----------------------	----

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	
米国	University of California San Diego	University of Maryland		