

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：34448

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16488

研究課題名(和文) 上肢筋力のCross-educationに関わる神経基盤の解明

研究課題名(英文) Neural correlates for cross-education of muscle strength in upper extremities

研究代表者

木内 隆裕 (Kinai, Takahiro)

森ノ宮医療大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：80711986

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)：四肢の筋力トレーニングでは、トレーニング対象でない左右反対側の上肢・下肢でも筋力が増強する現象(Cross-education)が知られている。本研究はこの現象の神経基盤を部分的に明らかにすることを目的としていたが、結果的に、その前段階にあたる筋力計測と筋力増強プロトコルの再現性について問題を指摘するものとなった。つまり、よく用いられている計測方法でも計測姿勢が変わると再現性が危うくなること、先行研究に基づいたプロトコルでもトレーニング部位によっては処方量が不足する可能性があることが示唆された。その一方で、自作の装置によって高い再現性を備えた手指筋力計測方法を確立できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの研究成果は、Cross-educationの神経基盤にまつわる議論を解決するための素地を整えた点で学術的意義がある。また、確立された筋力計測法をアレンジする場合の再現性や、あまりトレーニング対象とされない筋を鍛える場合の処方量についての注意喚起となる点で社会的意義がある。今後、当初計画していた神経科学研究まで発展させることにより、片側上肢に問題を抱えた者に対する運動療法プロトコルの開発につながる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In limb muscle training, the phenomenon in which unilateral training increases the strength of the untrained contralateral limb is commonly observed and called as "cross-education." The purpose of this study was to partially clarify the neural basis of this phenomenon. However, as a result, we pointed out problems with the reproducibility of a strength measurement and strength enhancement protocol, which is the preceding stage of neural measurement. That is, it was suggested that the reproducibility would be compromised if the measurement posture is changed even with the commonly used measurement method and that the prescription dose might be insufficient depending on the training muscle even with the protocol based on previous studies. On the other hand, we were able to establish a finger muscle strength measurement method with high reproducibility.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：上肢筋力 手指筋力 筋力増強 運動学習 Cross-education 再現性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 片側上肢・下肢の運動トレーニングを行ったときに左右反対側の上肢・下肢でも運動機能が高まる現象 (cross-education) は古くから報告されてきた。この現象は最大筋力だけでなく運動の巧みさのトレーニングでも観察されることが報告されており、筋力増強と運動学習に共通の神経基盤が存在する可能性を示す知見として重要な位置を占めている (Ruddy et al., 2013)。しかし、筋力を増強するためには効果判定に長期追跡が必要なことから、神経科学的な研究が十分に進んでいなかった。例えば、比較的よく検討されている大脳皮質一次運動野についても、その関与を肯定する報告 (Farthing et al., 2007; Lee et al., 2010; Hortobágyi et al., 2011) と否定する報告 (Palmer et al., 2013) があり、見解が一致していなかった。

(2) Carrollらのグループ (cf. Lee et al., 2010) は、最大筋力を発揮する点で共通している瞬発運動を用いて研究を展開している。彼らは運動加速度の cross-education が即時的に起こることを利用し、経頭蓋磁気刺激法によって一次運動野の関与を示した。しかし、運動加速度はトレーニングを反復するほど即時的に増大する性質があるが、最大筋力はトレーニングの反復によって疲労が蓄積し、即時的にはアウトカムが低下していく。つまり、アウトカムの増減と経過時間の関係が異なる。したがって、cross-education の性質も異なる可能性があり、瞬発運動を用いた研究だけでは筋力の cross-education の神経基盤を探究するには不十分であると考えられた。また、運動実行中の神経活動の変化をより詳細に、かつ、自然な運動を阻害せずに捉えるためには、時間分解能の高い脳波や筋電図などによる計測がより優れていると考えた。

2. 研究の目的

本研究は、最大筋力をアウトカムとして cross-education の神経基盤を部分的に明らかにすることを当初の目的とした。この目的を達成するために、脳内活動計測との親和性の高い示指の伸展運動を実験課題とし、以下の下位目標を当初に設定した。(ただし、研究の進捗が著しく遅れたことから、(1)及び(3)の一部にしか十分に取り組みなかった。)

(1) 筋力トレーニングは効果発現までに長期間を要するため、1週間以上の間隔を空けても再現性が保証される示指最大伸展筋力の計測方法を開発する。この計測方法を用い、示指伸展筋力の cross-education を誘導するための筋力増強プロトコルを確立する。

(2) (1)と同様、効果発現までに長期間を要する問題を克服するため、1週間以上の間隔を空けても再現性が保証される脳波・筋電図計測法を確立する。計測方法は、一次運動野・脊髄運動神経系の機能的連結性を測定できる方法を選択する。

(3) 上記(1)(2)で確立した計測方法と筋力増強プロトコルを用い、筋力と神経活動の変化を縦断的に追跡する小規模ランダム化比較試験 (RCT) を行うことで、上肢筋力の cross-education に関わる神経基盤を部分的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 示指伸展筋力計測法の開発と再現性の検証：

我々は、より細かな筋力測定が可能で、かつ、波形グラフでリアルタイムフィードバックできる手指筋力計測装置を作製した。この装置は、リング状ヘッド付きボルトを結合したロードセルと、工業用ポータブルデジタル指示計 (TEAC社製 TD-01) を接続して作製した (図1)。参加者の計測姿勢は端座位とし、装置のリング部に参加者の示指をくぐらせ、コルクブロックなどで台の高さを調節して示指 MP 関節が 35~45度の屈曲位となるように設定した。

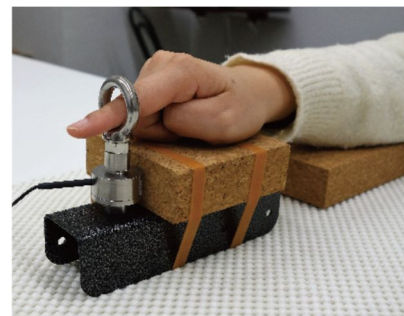


図1 示指伸展筋力計測装置

この計測方法の再現性を検証するため、右利きの健常者 18名 (平均年齢 21歳) を対象とした検証実験を行った。計測する筋力は示指最大伸展筋力とし、全参加者について左右両側での測定を行った。測定は、約7日間の間隔を空けて合計3回実施した。1回の測定では、休憩を伴いながら左右交互に3秒間の最大等尺性収縮を3回行わせ、各々の平均値を解析に用いた。測定者は2名 (A・B) として測定者の順序などをランダム化し、検者内信頼性や検者間信頼性などを検証した。

(2) 足背屈筋力計測法の再現性の検討：

研究目的(3)で述べた小規模RCTでは、足背屈筋力運動をコントロール課題とする予定であった。足背屈筋力計測は国内外の研究で再現性が検証されているが (cf. Bohannon et al., 1997)、端座位で足趾の屈伸に配慮した場合の再現性については報告がなかったため、予備的に検討した。対象は健常者 10名 (平均年齢 20歳) として、利き足の背屈筋力測定を2日以上の間隔を空けて合計2回実施した。測定者は1名として、検者内信頼性を検証した。

(3) 示指伸展筋力増強プロトコルの検証（進行中）:

筋力増強プロトコルについては多くの研究があるが、手指を対象とした報告は少なかった。そこで、American College of Sports Medicine の推奨などを参照して作成したプロトコルを、小規模 RCT で検討している。対象は右利きの健常者とし、介入群とコントロール群の 2 群にランダムに割付けて 4 週間の介入試験を行った（各群 20 名ずつ割付ける予定であったが、現時点では合計 16 名の参加にとどまっている）。介入群は右示指の最大等尺性伸展トレーニングを週 3 回の頻度で 1 セット 5 回、3 セット実施し、コントロール群は週 1 回の筋力計測のみ参加した。筋力トレーニングと筋力計測は全て実験室内で実施し、全て図 1 の装置を用いて実施した。アウトカムは示指の最大等尺性伸展筋力とし、介入期間前・期間中・期間後に測定して、右示指で通常の筋力増強効果を、左示指で cross-education 効果を確認することとした。

4. 研究成果

(1) 示指伸展筋力計測法の開発と再現性の検証:

測定者 A の測定値から級内相関係数(1,1)を算出した結果、右示指の計測・左示指の計測はともに 0.90 以上の数値となり、高い検者内信頼性を備えていることが示された。さらに、Bland-Altman 分析(B-A 分析)を適用して固定誤差や比例誤差を調べたが、特に偏りはみられなかった(図 2)。

測定者 A・B の測定値から級内相関係数(2,1)を算出した結果、右示指の計測・左示指の計測ともに 0.88 となり、高い検者間信頼性を備えていることが示された。さらに、B-A 分析を適用して固定誤差や比例誤差を調べたが、特に偏りはみられなかった(図 3)。

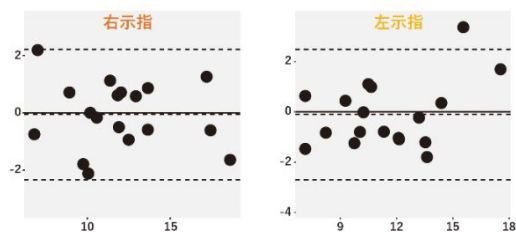


図 2 測定者 A の測定に関する B-A 分析

横軸は測定値 2 つの平均、縦軸は差を表す。

中段の破線は平均、上下の破線は誤差許容範囲を表す。

(単位は両軸とも N)

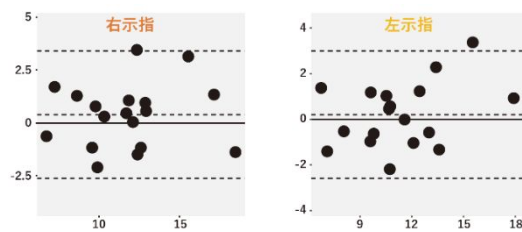


図 3 測定者 A 及び B の測定に関する B-A 分析

横軸は測定値 2 つの平均、縦軸は差を表す。

中段の破線は平均、上下の破線は誤差許容範囲を表す。

(単位は両軸とも N)

(2) 足背屈筋力計測法の再現性の検討:

参加者を端座位にして測定した数値から級内相関係数(1,1)を算出した結果、足趾が屈曲しているか伸展しているかによらず 0.75~0.77 の値にとどまり、あまり高い検者内信頼性を備えていないことが示された。

個人間比較に必要な数値は 0.90 以上と考えられており (Schrama et al., 2014) この研究で用いた計測方法には固定性を高める工夫や、計測者の習熟度を高める取り組みが必要である。ただし、実験継続のためには、計測者が変わっても実験が成り立つ検者間信頼性の確保が必要であるが、検者間信頼性を高めるよりも難しい。また、コントロール群に対しても実験室でのトレーニングを課す方法は、本研究代表者の状況変化のため継続が難しくなった。以上のことから、多くの先行研究と同様に、コントロール群に対してはトレーニングを課さないこととした。

(3) 示指伸展筋力増強プロトコルの検証:

この研究は現在進行中であり、介入期間前・期間中・期間後に筋力計測を実施しているほか、介入群に対する週 3 回、4 週間の筋力トレーニングも実験室で実施している。拘束頻度の多さが影響して参加者募集がうまく進まず、合計 16 名の参加にとどまっている。現時点での解析対象は右利きの健常者 14 名(平均年齢 21 歳)、各群 7 名ずつとなっているが、今のところ介入群の右示指伸展筋力もあまり増強されておらず、プロトコル再考の可能性が出てきている。

プロトコルは先行研究を吟味して作成していたことから、今回の経過は当初予期していなかったことである。日常生活で示指単独の強い伸展運動が求められる機会はあまりないはずだが、把握運動で手を背屈位に保つときなどによく使われているのかもしれない。あるいは、手指筋力を増強するためには、四肢の大きい筋群と比べて多くの処方量が必要なかもしれない。いずれにせよ、当初予定していた人数分のデータを収集し、その解析結果をみて判断する方針である。

(4) 今後の展望:

本研究では、筋力に加えて一次運動野・脊髄運動神経系の機能的連結性を長期追跡する RCT までを計画していたが、エフォートの確保が困難な状況が続き、その前段階となる筋力増強プロトコルの検証段階で終了となった。再現性の高い手指筋力計測方法は確立できたことから、今後はより効果的な筋力増強プロトコルを確立し、脳波・筋電図計測法の検討を進める予定である。

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 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 稲垣 優, 木内隆裕	4. 巻 13
2. 論文標題 徒手筋力計を用いた座位足関節背屈筋力測定 of 検者内信頼性	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 森ノ宮医療大学紀要	6. 最初と最後の頁 15-22
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 木内隆裕, 竹村真実
2. 発表標題 介入効果を追跡評価するための手指筋力測定法の信頼性検証
3. 学会等名 第58回近畿理学療法学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Schenkman ML, Bowman JP, Gisbert RL, Butler RB (原著). 水野 昇, 野村 巖, 三谷 章 (監訳). 荒木 稔史, 石井光昭, 木内隆裕, 清水朋子, 塚越千尋, 富永 涉, 華井明子, 古谷禎子, 松林 潤, 門馬更夢 (共訳)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 西村書店	5. 総ページ数 704
3. 書名 臨床神経科学とリハビリテーション	

〔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
---------------------------	-----------------------	----