

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32309

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K14070

研究課題名（和文）脳性まひ児における筋シナジーを利用した運動の複雑性を示す評価指標の開発

研究課題名（英文）Development of assessment for the complexity on muscle activity in children with cerebral palsy.

研究代表者

橋口 優（Hashiguchi, Yu）

群馬パース大学・リハビリテーション学部・講師

研究者番号：60779908

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：筋シナジーとは、人が動作を行うために必要な筋活動間の協調性を表す概念である。本研究では、筋シナジーに関連する指標（Dynamic Motor Control index: DMC）を利用して筋活動の複雑性の変化を検討した。健康者を対象に装具による変化について検討した結果、DMCを含む筋シナジーに関連する指標は有意な変化を示さず、各指標の頑強性が明らかとなった。脳卒中後片麻痺者を対象に、反復練習前後の変化を検討した結果、課題の成績や動作の円滑性の改善に伴いDMCが有意な変化を示した。反復練習後の動作の改善には筋活動の複雑性が関係しており、DMCによって定量的な評価が可能であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中枢神経障害を有する患者において、動作の円滑性の向上は重要な課題である。その背景にある筋活動の複雑性を定量的に示すDMCは、新たな側面からの病態理解を可能とする点において有用である。本研究の結果からDMCを含む筋シナジーに関連する指標の頑強性と妥当性が示されたことは、臨床場面において定量化が困難であった運動の複雑性や習熟度に関連する、神経学的評価の開発につながる点において、学術的かつ社会的意義が高いと考える。

研究成果の概要（英文）：Muscle synergy is a theory that represents the coordination among muscle activities necessary for people to perform movements. In this study, we examined changes in the complexity of muscle activity using an index related to muscle synergy referred to as Dynamic Motor Control index (DMC). First, we investigated the effects of orthosis on the indices in healthy subjects, and found that the indices related to muscle synergy, including DMC, showed no significant changes, indicating the robustness of these indices. Second, we investigated changes before and after repetitive practice in hemiplegic patients after stroke, and found that DMC showed significant changes with improvement in task performance and movement smoothness. The results suggest that changes in the complexity of muscle activities underlie the improvement in movement after practice and can be quantitatively assessed by DMC.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：筋シナジー 筋活動 装具 反復練習

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

筋シナジーとは、人が動作を行うために必要な複数の筋活動間の協調性を表す概念である。筋シナジーは表面筋電図によって測定されたデータから活動パターンと重みづけと呼ばれる指標によって定量的に明示することが可能となっており、神経学や動作分析に関わる分野において広く利用されている。さらに、活動パターンと重みづけを算出する過程において、各動作における筋活動の複雑性・分離性を表す、Dynamic Motor Control index (DMC)と呼ばれる指標が近年用いられている。脳性まひ児をはじめとする中枢神経障害患者では、中枢神経障害に伴い、動作中の筋活動が同期する単一な活動パターンを示し、円滑な動作が困難となることが重要な問題として報告されている。しかし、臨床場面において、筋活動の複雑性や分離性を定量的に評価する指標は確立されていない。

2. 研究の目的

本研究は、環境条件や反復練習課題などの条件の違いによって DMC がどのように変化するかについて検討し、DMC の妥当性と有用性を明示することで、DMC の臨床応用の可能性について明らかにすることを目的として行った。

3. 研究の方法

(1) 健常若年成人 15 名 (年齢: 20.6 ± 0.6 歳、身長: 172.3 ± 3.3 cm、体重 66.0 ± 10.1 kg) を対象として下肢装具を装着した際の筋シナジーと DMC の即時的な変化について検討した。歩行はトレッドミル上にて行い、装具を装着しない Normal 条件、足関節のみを固定する短下肢装具 (AFO) を装着して行う AFO 条件、足関節と膝関節を固定する長下肢装具 (KAFO) を装着して行う KAFO 条件を設定し、表面筋電図を利用して歩行中の筋活動を測定した。得られたデータに対して、Non-Negative Matrix Factorization (NNMF) を利用して筋シナジーの活動パターンと重みづけを算出した。算出された活動パターンと重みづけによって再構築されたデータと測定された実測値との一致度を検討するために、Variability accounted for (VAF) と呼ばれる説明変数を算出し、先行研究と同様の基準によって筋シナジーのパターン数を決定した。また VAF を利用して筋活動の複雑性や分離性を表す DMC を算出した。さらに、筋活動の大きさを示す指標として平均筋活動量と最大筋活動量を算出した。統計解析は、フリードマン検定を用いて比較検討を行った後、Bonferroni 補正を用いて条件間の比較を行った。

(2) 脳卒中後片麻痺者 13 名 (年齢: 76.0 ± 9.4 歳、身長 160.7 ± 7.2 cm、体重 62.9 ± 9.0 kg) を対象として上肢課題の反復練習前後における DMC の変化について検討した。上肢課題は iPad 上にて 8 の字を見本に沿って描写する書字動作とし、20 回の反復練習の前後において上肢 8 筋 (三角筋前部・中部・後部、上腕二頭筋、上腕三頭筋、橈側手根伸筋、尺側手根屈筋、大胸筋) の筋活動を表面筋電図によって測定した。得られたデータに対して、NNMF を利用して筋シナジーの活動パターンと重みづけを算出し、(1) と同様に筋活動の複雑性を示す DMC を算出した。DMC については、高値を示す程、筋活動の複雑性・分離性が高いことを示している。課題の成績については、見本との一致度及び描写された線の曲率を円滑性の指標として算出した。一致度については高値である程課題の成績が良いことを示し、曲率については低値を示す程描写された線が滑らかであることを示す。統計解析については、各指標に対して Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性の検定を行った後、対応のある t 検定もしくは Wilcoxon の符号付順位検定を用いて反復練習前後 (Pre/Post) の比較を行った。

4. 研究成果

(1) 健常者を対象とした検討の結果、平均筋活動量及び最大筋活動量については有意な変化が見られた一方で、筋シナジーに関連する指標である、筋シナジーのパターン数や DMC については有意な変化が見られなかった (表 1)。

表 1 : 各条件間における筋活動量及び筋シナジー関連指標の比較の結果

	Friedman test		Normal-AFO	Normal-KAFO	AFO-KAFO
	2	<i>p</i>		<i>p</i>	
平均筋活動量					
大腿直筋	12.67	<0.01*	<0.01*	0.01*	1.00
内側広筋	8.17	0.02*	0.01*	0.46	0.46
中殿筋	6.50	0.04*	1.00	0.04*	0.20
大腿二頭筋	2.67	0.26	-	-	-
半腱様筋	0.00	1.00	-	-	-
前脛骨筋	15.17	<0.01*	1.00	<0.01*	<0.01*
腓腹筋	0.50	0.78	-	-	-
ヒラメ筋	2.67	0.26	-	-	-
最大筋活動量					
大腿直筋	10.50	0.01*	0.01*	1.00	0.04*
内側広筋	6.17	0.05*	0.07	1.00	0.12
中殿筋	14.00	<0.01*	0.66	<0.01*	0.04*
大腿二頭筋	2.00	0.37	-	-	-
半腱様筋	1.17	0.56	-	-	-
前脛骨筋	15.17	<0.01*	1.00	<0.01*	<0.01*
腓腹筋	1.17	0.56	-	-	-
ヒラメ筋	13.17	<0.01*	0.02*	<0.01*	1.00
筋シナジー指標					
シナジー数	5.00	0.08	-	-	-
DMC	1.17	0.56	-	-	-

* : $p < 0.05$

本研究の結果から、筋活動量は装具による力学的制限に関連して増減を示していた一方で、筋シナジー指標が表す筋間の協調性については変化が生じていないことが示唆された。筋シナジーは脊髄内にある神経細胞群の活動が背景にあると考えられている。この神経構造が即時的に変化することは考えにくいことから、筋シナジーの組み合わせや構成は即時的に変化しなかったと考えられる。本研究の結果から、筋シナジーに関連した指標は即時的な変化には影響を受けにくい頑強性の高い指標であると考えられる。筋活動量の増加については、筋シナジーの組み合わせや構成を維持した状態で、各筋の重みづけを微調整することで生じたものと考えられる。この結果から、DMCを含む筋シナジーに関連する指標は動作様式の変化を伴うような長期的な変化に伴って変化する可能性が考えられ、運動学習等に伴う動作の円滑性の向上や習熟度と関連する指標である可能性が示唆された。

(2) 脳卒中後片麻痺者を対象とした検討の結果として、反復練習前後において DMC は有意に増加しており (図 1)、中枢神経障害患者に対するトレーニングの効果として筋活動の複雑性の増加が背景にある可能性が示唆された。課題の成績については、一致度及び曲率において有意な改善がみられており、20 回の反復練習によって、有意に課題の成績が向上していることが示されている (図 2)。

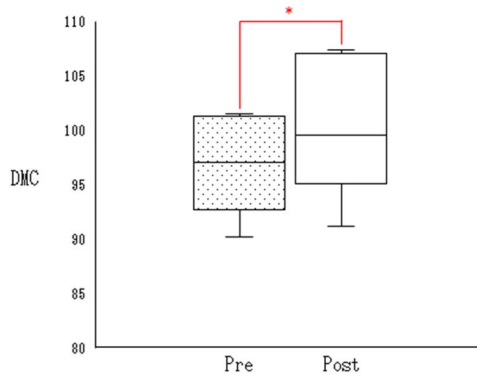


図 1：反復練習前後（Pre/Post）における DMC の変化（*： $p < 0.05$ ）

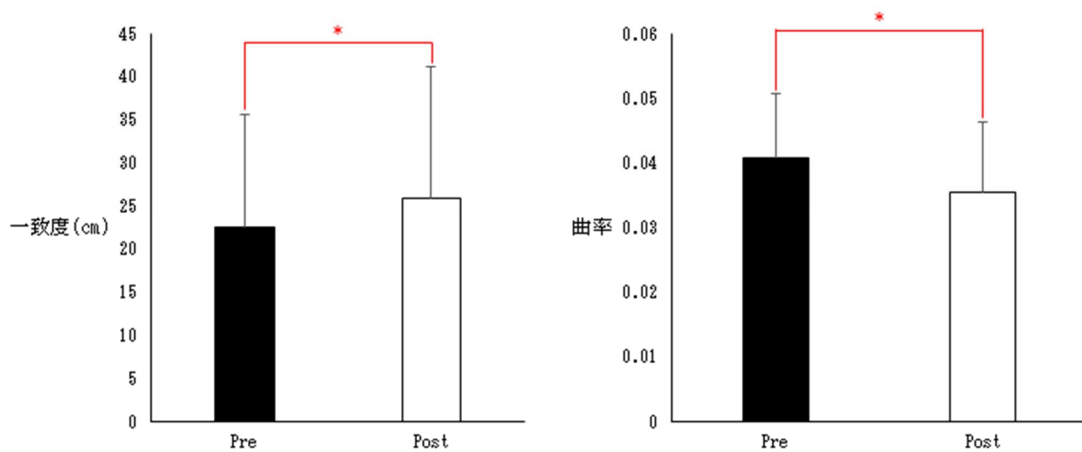


図 2：反復練習前後（Pre/Post）における課題の成績（一致度、曲率）の変化（*： $p < 0.05$ ）

この結果から、動作練習による改善の背景には、筋活動の複雑性の変化が関与している可能性が示唆された。また筋シナジーの組み合わせや構成については、(1)の結果から即時的には変化せず、(2)の結果からリハビリテーションなどの長期的な動作練習や運動学習によって変化することが示唆された。筋シナジーに関連する指標と運動機能との相関関係については先行研究において多く報告されているが、動作練習を含む課題前後の変化については多くが明らかとなっていない。本研究の結果から、トレーニングによる効果を明示する際に、筋シナジーに関連する指標が有用となる可能性が示唆された。また、脳性まひ児をはじめとする中枢神経障害患者の特徴である複数筋が同期して活動する単一な筋活動パターンからの変化を DMC の変化が反映している可能性が考えられるため、本研究の結果を基礎資料としてさらなる検討が必要である。臨床場面において様々な動作を練習する際に、動作の円滑性、習熟度は重要な側面として考えられるが、その評価は定性的な方法に限られており、定量的な効果判定は困難となっている。本研究で得た結果から、DMC を活用することで脳性まひ児や脳卒中後片麻痺者における運動機能やトレーニング効果を新たな側面から定量的に評価することが可能となると考える。当初、対象として設定していた脳性まひ児については、新型コロナウイルス感染症の蔓延と上肢課題の難易度の高さから、十分なデータ数を確保するだけのリクルートメントが困難であった。今後は、本研究の結果を基礎資料として新たな動作課題を設定し、脳性まひ児を対象として筋シナジーに関連する指標の有用性について検討する。

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 Hashiguchi Yu, Goto Ryosuke, Naka Toru	4. 巻 18
2. 論文標題 Effects of orthoses on muscle activity and synergy during gait	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0281541
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0281541	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 橋口 優
2. 発表標題 装具による歩行時筋活動及び筋シナジーへの影響について
3. 学会等名 第30回 群馬県理学療法士学会
4. 発表年 2023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
---------	---------