

令和 3 年 5 月 31 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K19886

研究課題名（和文）運動麻痺回復を促進する適切な筋出力導出を行うロボットリハビリテーションの構築

研究課題名（英文）Construction of Robotic Rehabilitation to Derive Appropriate Muscle Output to Promote Recovery from Motor Paralysis

研究代表者

川上 途行（KAWAKAMI, Michiyuki）

慶應義塾大学・医学部（信濃町）・講師

研究者番号：80424133

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）：脳卒中片麻痺患者において、肩関節屈曲の主導筋である三角筋前部線維の活動の強弱と脳卒中患者の異常な筋シナジーに関連する上腕二頭筋、大胸筋等の活動の強弱が独立した要素として存在することがわかった。また、脳卒中患者の運動時に最適な介助をすると、三角筋の筋活動を落とさない、もしくは向上させることが証明された。

続いて、肩機能障害に対するロボットリハビリテーションの効果の検証介入を行った。脳卒中慢性期患者の肩掌上機能障害に対し、ロボットにより重力をアシストした肩掌上訓練を行い、運動機能の改善を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、1、「筋力」ではなく「筋協調（筋シナジー）」に着目しており、2、1に基づく「適切な量の介助」を行うことで運動学習を促進を行っている、さらに3、難易度が高い肩関節屈曲運動をターゲットにしている、ということで革新的でありながら、理論的に汎用性が高い。また、脳卒中による運動麻痺患者の対象者の多さからも、それらの方々の運動機能改善、社会復帰に寄与することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In hemiplegic stroke patients, the strength of activity of the anterior deltoid fibers, which are the leading muscles of shoulder flexion, and the strength of activity of the biceps brachii, pectoralis major, and other muscles associated with abnormal muscle synergy in stroke patients were found to be independent factors.

It was also proved that optimal assistance during exercise in stroke patients did not reduce the muscle activity of the deltoid muscle.

Next, we conducted an intervention to verify the effect of robotic rehabilitation on shoulder dysfunction. For shoulder elevation dysfunction in chronic stroke patients, we performed gravity-assisted shoulder elevation training with a robot and showed improvement in motor function.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：ロボティクス 片麻痺 肩関節

1. 研究開始当初の背景

脳卒中は患者数が 350 万人と推計され国民の健康福祉及び医療経済への影響が大きい。2018 年には臨床アウトカム志向の診療・介護報酬の同時改定が行われ、質の高いリハビリ医療が必要とされる中、患者の社会復帰は未だ十分に達成できていない。

近年、運動神経系の発達・学習過程を、筋シナジー（筋協調）により再定義する学術的な動きが広がっている。脳性麻痺の小児早期での発見(Adde et al. 2017)や脳卒中の疾患の程度予測（Cheung VC, et al. 2012）など、脳神経疾患が筋協調の異常として報告されるようになってきた。この筋シナジー異常は中枢性運動麻痺を有するほとんどの症例で見られるため、介入が確立することにより、治療可能患者数の飛躍的な増加と治療効果の拡大が期待される。

本研究課題においては、筋シナジーの運動学習が日常生活動作に大きく影響する肩関節屈曲（挙上）運動に着目する。肩関節運動は異常な筋シナジーを起こしやすく、異常パターン下で麻痺肢の運動を繰り返すため、異常な筋活動パターンが学習され、さらに異常パターンからの脱却が困難となり、治療に難渋することが知られている。本提案内でその詳細が検証されることは、脳卒中後のリハビリテーション全般に应用が可能となると見込まれる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、まず、これまで主観的・半定量的にしか評価できなかった筋協調を客観的かつ定量的な数値で表すことができる。この情報は「テイラーメイド型医療」の基礎となり、各患者の状態に合ったリハビリテーションを立案する一助となる。

次に、肩屈曲用外骨格ロボットを用いた定量的な運動介助により、正しい筋シナジーを実現する「最小介助」を定義する。異常な筋シナジーは患者にとってその動作の難易度が高い場合に出現するため、介助が大きければ「シナジーパターン」は健常に近づき、不要な筋活動のない状態で動作ができるが、介助が大きすぎればただの他動運動になるため、学習にならない。すなわち、運動学習のための最適な負荷量を定義する。

最後に、「脳卒中片麻痺者の肩機能障害に対するロボットリハビリテーションの効果の検証」を行う。このロボットリハビリテーションは、

1. 「筋力」ではなく「筋協調（筋シナジー）」に着目している
2. 1 に基づく「適切な量の介助」を行うことで運動学習を促進
3. 難易度が高い肩関節屈曲運動をターゲットにしている

1 と 2 の要素は、機能回復のための運動学習理論のエビデンスとして幅広い応用が利き、中枢性運動麻痺の治療戦略のコアとなる知見を、ロボットを通じることで定量的なデータとして提唱できる。

3. 研究の方法

本研究は、筋シナジーを切り口とした「中枢性運動麻痺の治療に関する運動学習理論のエビデンス構築」と「革新的かつ実用的なロボットリハビリテーション手法の開発」を目的とし、以下の 3 つのパートから構成される。

- 1) 脳卒中片麻痺者の肩運動時の筋活動パターンの分類化（2019 年度課題）
- 2) 脳卒中片麻痺者の適切な筋活動を引き出す最適な介助量の同定（2019, 2020 年度課題）
- 3) 脳卒中片麻痺者の肩機能障害に対するロボットリハビリテーションの効果の検証（2020 年度課題）

2019 年度は、脳卒中片麻痺者対象に、肩屈曲運動時の筋活動を測定する。肩関節運動に関連する筋の筋活動を表面筋電図を用いて測定し、脳卒中片麻痺患者の麻痺重症度毎の筋シナジーの特性を分類する。筋シナジーの解析には negative matrix factorization (NMF) アルゴリズムが用いられ、「シナジーパターン」を算出する。肩屈曲運動時にロボットより段階的に運動介助を行い、前述の「シナジーパターン」がより健常に近づく介助量を同定する。

2020 年度は、脳卒中片麻痺者の肩機能障害に対するロボットリハビリテーションの効果の検証」を行う。本研究は 2019 年度の研究結果を踏まえて、脳卒中患者の肩屈曲時に外骨格ロボットより適切な量の介助を行った状態で 1 日 60 分間の運動を行い、その効果と安全性を検証するものである。

4. 研究成果

本研究内で、2019 年に脳卒中片麻痺患者における肩屈曲運動時の関連筋における筋電パターンの測定を行った。肩関節屈曲の主導筋である三角筋前部線維の活動の強弱が一つの要素と

して確かめられた。また、脳卒中患者の異常な筋シナジーに関連する上腕二頭筋、大胸筋等の活動の強弱が独立した要素としてわかった。この二軸での分類が可能であることが確かめられた。

次に、治療ターゲットの同定、すなわち最適な介助量にて運動をすることで筋活動パターンが変化しうるのかが確認された。最適な介助量は、筋シナジーパターンに関連する筋活動を抑制しながら、三角筋の筋活動を落とさない、もしくは向上させるものであり、最も効果が期待できる治療ターゲット層は、肩関節屈曲時に三角筋の筋活動が消失しておらず、異常な筋シナジーパターンを強く呈している患者であることがわかった。

これらの実績により、治療対象のターゲットが明確になったため、2020 年度には肩機能障害に対するロボットリハビリテーションの効果の検証介入を行った。脳卒中慢性期患者 1 名において肩挙上機能障害に対し、ロボットにより重力をアシストした肩挙上訓練が行われ、運動機能の改善、および患者自身の自覚的な動きやすさを示した。

これらにより、肩関節挙上に対する新たな治療方法の feasibility, POC を達成した。今後、多症例での長期介入を行うための知見が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Koshiro Haruyama, Yosuke Yamaha, Miyuki Ito, Tomoyoshi Otsuka, Michiyuki Kawakami	4. 巻 52(9)
2. 論文標題 STRATEGIES FOR LEARNING GLOSSOPHARYNGEAL BREATHING IN BOYS WITH DUCHENNE MUSCULAR DYSTROPHY: A FEASIBILITY CASE SERIES	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Rehabil Med	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） 10.2340/16501977-2729.	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 -

1. 著者名 Hijikata N, Kawakami M, Ishii R, Tsuzuki K, Nakamura T, Okuyama K, Liu M.	4. 巻 -
2. 論文標題 Item difficulty of Fugl-Meyer Assessment for Upper Extremity in persons with chronic stroke with moderate-to-severe upper limb impairment.	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Front Neurol.	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） 10.3389/fneur.2020.577855	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
---------	---------