

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 3 年 4 月 12 日現在

機関番号：41309

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13099

研究課題名（和文）脳卒中片麻痺上肢に対するアームロボットを用いた反復運動練習の効果検証

研究課題名（英文）Reproducibility between robot and human movements: development of a robotic device reconstructing therapeutic motion

研究代表者

齋藤 佑樹 (Saito, Yuki)

仙台青葉学院短期大学・リハビリテーション学科・教授（移行）

研究者番号：30792048

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究は、上肢に運動麻痺を呈した脳卒中患者に対して、作業療法士・理学療法士等、セラピストが行う徒手的な運動療法手技を記憶して再現するロボット（Dicephalus:以下DiC,特願2016039661）の訓練効果の検証を行うものである。DiCの安全性および再現性の検証に取り組んだ。結果、全期間を通して、DiCの誤作動等は一度も見られず、緊急停止用に作成したスイッチは、複数回のテストにて正常に動作しているとともに、セラピスト・患者の両者が簡単に操作可能であるため安全性に問題はなかった。また、DiCの出力する運動についても高い再現性を認めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳卒中患者をはじめ、リハビリテーションを必要とする患者の数は増加傾向にあるものの、医療財源の圧迫等により単位数の上限等が設けられ、十分なリハビリテーションが受けられない患者も多い。今後、臨床データの集積が必要となるが、本研究の成果は、患者に対する十分な練習量の提供や訓練の効率化、医療費の削減等が期待できるものである。つまり、単純な反復運動を主体とした徒手的な練習はDiCを用いた自主トレーニングに移行し、セラピストが介入する時間は、より高度な技術を要する練習や、反復運動以外の要素が重要となる練習に時間を割くといった効果的なプログラムの立案・実施につながる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we investigated the reproducibility of robots (Dicephalus: Patent application 2016039661) that can memorize and reproduce manual exercise therapy techniques for stroke patients with upper limb paralysis. As a result, no DiC dysfunction was observed throughout the study period. The emergency stop switch was working properly. The therapist and the patient were able to operate the DiC easily, so there were no safety issues. The output motion of DiC was very reproducible.

研究分野：リハビリテーション科学

キーワード：ロボットリハビリテーション セラピストの用手運動の再現

1. 研究開始当初の背景

(1) 脳卒中片麻痺患者の運動麻痺と社会損失

脳卒中は世界中で年間 1500 万人が罹患し、500 万人に不可逆的な運動麻痺が残存する。脳卒中患者の約 85%に何らかの運動麻痺が生じ、そのうち 25%は ADL（日常生活活動）で麻痺手の使用が困難になるとの報告もある。超高齢社会を迎えた我が国でも年間 30 万人が脳卒中に罹患し、脳卒中患者に対する効率的・効果的なリハビリテーションは、患者の QOL および医療経済的視点からも意義がある。

脳卒中を発症し、運動麻痺を呈した場合、その運動障害を改善させるため、セラピスト（作業療法士・理学療法士）は患者の筋肉や関節、靱帯、皮膚等に対し、ストレッチあるいは機能的な運動を行わせる。上肢は下肢に比べて実用性の高い運動の再獲得が困難である。その理由は、①上肢の運動を司る大脳の支配領域が下肢の支配領域と比較して広く、同程度の脳損傷でも上肢は運動障害を呈しやすい、②麻痺側下肢は起立や歩行など両側下肢運動が必要で、結果、動作時に使用され易い一方、上肢を用いる ADL は片手でもほとんど可能であり、相対的に麻痺側上肢・手指は使用頻度が減少する「不使用の手」となりやすい。即ち、上肢運動麻痺患者は上肢運動量が著しく少ない状況に陥りやすく、その機能回復は困難な状況にあるといえる。

(2) 上肢運動麻痺を回復させるための反復運動支援

運動量を増加させることが上肢運動障害の改善に繋がることは、近年の **Constraint-Induced Movement Therapy: CI 療法**と**促通反復療法（川平法）**のように運動量を計画的に増加させる練習によって、従来は上肢運動の再獲得が困難であると考えられていた麻痺側上肢の運動障害が改善できることが明らかになってきた。しかし、現在のリハビリテーション医療は 1 人の患者に提供できる練習時間に上限が設けられ、入院期間は短縮化が推進され、患者は入院中に十分な練習時間が得られ難くなった。患者がリハビリテーション室以外で自主的に運動しようとしても、自分では運動療法を再現できず、結果として患者の上肢運動量は低い状態が続き、非麻痺側一肢での ADL を強いられる。運動麻痺により関節拘縮や疼痛などの副次的な障害は生じやすく、医療費の増大はもとより患者の QOL は低下する。

(3) 反復運動練習を支援するためのアームロボット開発

上肢運動療法の安全な「強度」「頻度」「期間」を決め、保険適用の制約の中で患者の運動回復に必要な練習量を提供することがリハビリテーションの課題の一つといえる。我々は、平成 27 年度より埼玉県先端産業開発研究費助成を受け、双腕ロボットに運動麻痺を呈した患者の上腕と前腕を把持させ、患者の上肢運動をセラピストが行う用手運動療法を記録して反復再現できる自動助運動練習支援システム（特許第 6598319 号、開発コード；DiC, 下図）を平成 28 年 3 月に製作した。DiC は患者の腕にアームをセットし、セラピストが患者の腕を介助した運動を逆運動解析によって保存して反復再現できる。DiC は人間が人間に与えた運動療法を機械学習して反復運動練習を可能にする点がユニークである。この介入方法は例えば食事動作の上肢運動を反復するようなプログラムを解析し、最適化できることに着想されていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は DiC による用手運動療法の再現性を検証することであった。

3. 研究の方法

被検者は健常成人 10 名。被検者の手をセラピストが他動的に口元へ 30 秒間に 10 回繰り返し運ぶ運動を DiC で記録するとともに、記録した運動を同じ被験者に DiC で 10 回出力する。その後、双腕アームの位置情報から被験者の肘関節角度と運動時間を算出する。セラピストと DiC が被験者にもたらした肘関節の最大屈曲角度とその時間は級内相関係数 (ICC) を用いて一致度を求める。また、測定値の系統誤差を Bland-Altman 分析で確認する。当研究は仙台青葉学院短期大学研究倫理審査委員会の承認を得た (No.2910)。

4. 研究成果

セラピストと DiC が被験者の肘関節を動かした時、運動開始から最大角度に達するまでの時間差は平均 29 ms, ICC (2,2) は 0.99 であった ($p < 0.0001$)。関節角度の平均差は 4 度, ICC は 0.87 であった ($p < 0.0001$)。Bland-Altman 分析により、最大角度までの時間差は 95%, 最大角度差は 93%がそれぞれ中央値の 2SD 以内であった。当研究結果は健常者において DiC がセラピストの用手運動療法を高い精度で再現できることを示唆した。

中枢神経障害による運動麻痺には、被伸張性の筋緊張亢進がみられるため、DiC が健常者と同様に運動療法を再現できるかについてはさらなる検証が必要である。本研究の結果を受けて、臨床試験へと進める予定であったが、DiC を構成するアクチュエーターが医療機器として承認されていないことを理由に、臨床試験を行うことが困難になった。したがって、上記の検証結果の論

文化をもって本研究を終了とした。また、現在の駆動パーツでは臨床試験を実施できないため、今後の改良に向け、健常者を対象としたデータ集積を重ね、再現性および安全性を高めていく計画とした。

A. 肘関節伸展位：スタートポジション



B. 肘関節屈曲位：モーション中



前腕保持リング 上腕保持リング

図 DiCによる上肢運動療法再現実験の様子

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 Yuki Saito, Makoto Suzuki, Yuji Koike, Kohei Koizumi, Naoki Nakaya, Masahiro Abo, Toyohiro Hamaguchi	4. 巻 Vol.20, No.1
2. 論文標題 Reproducibility between robot and human movements: preliminary development of a robotic device reconstructing therapeutic motion	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Ergonomic Technology	6. 最初と最後の頁 10-19
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 齋藤佑樹
2. 発表標題 健常者を対象とした双腕ロボットによる用手運動療法の再現性
3. 学会等名 日本作業療法研究学会
4. 発表年 2018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
研究協力者	濱口 豊太 (Hamaguchi Toyohiro)		

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
---------	---------