

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：22401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13059

研究課題名(和文)患者の病態運動を再現するアームロボットを用いたリハビリ臨床技能教育プログラム開発

研究課題名(英文) Development of a rehabilitation clinical skill education program using an arm robot that reproduces the pathological movement of a patient

研究代表者

小池 祐士 (Koike, Yuji)

埼玉県立大学・保健医療福祉学部・助教

研究者番号：10610694

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)：本研究は患者の上肢運動病態を再現できるアームロボットを用い、運動療法熟練者および初学者がロボットに与えた上肢運動療法を定量化し、運動療法技術の違いを明らかにし、それぞれの運動療法技術を判別できるシステムを開発し、初学者のリハビリ臨床技能教育に活用することを目的とした。改良したアームロボットの実証実験の結果、熟練者に比べ初学者の方が、運動療法技術が不十分であり、回数を重ねた際の再現性も低いことが明らかとなった。また、初学者と熟練者の上肢運動療法技術において、運動学的にロボットアームを動かす速さと関節角度が異なり、最大角速度と最大角度の組み合わせで初学者と熟練者の技量を弁別でき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

現在のリハビリテーション教育では、学生が校内で患者に触れて学習する機会はほとんどなく、運動療法技術が未熟のまま臨床実習で患者と接する。学生は自らの技術に自信がなく、患者に不安や緊張を与え、患者への不利益が生じることがある。そこで我々は、脳卒中患者の運動麻痺を再現したアームロボットを開発した。これを用いることで、学生は自分の運動療法技術と熟練者の運動療法技術とを視覚的に確認することができるため、今の自分に不足している技術を理解できるようになった。また、ロボットを用いた練習が可能のため、何度でも繰り返し練習が可能になった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was twofold. The first is to clarify the difference in exercise therapy technology by quantifying the upper limb exercise therapy given to the robot by exercise therapy experts and beginners using an arm robot that can reproduce the patient's upper limb movement pathology. The second was to develop a system that can discriminate each exercise therapy technique and utilize it for rehabilitation clinical skill education for beginners.

As a result of the verification, it was clarified that the exercise therapy technique was insufficient for the beginners compared to the skilled ones, and the reproducibility when the number of times was repeated was low. In addition, in the upper limb exercise therapy technique of beginners and experts, the speed and joint angle of moving the robot arm were kinematically different. This suggests that the combination of maximum angular velocity and maximum angle can discriminate between the skills of beginners and experts.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：リハビリテーション 運動療法 アームロボット 患者ロボット 教育

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) リハビリテーション教育手法の現状

我が国は世界でも類を見ない超高齢社会となり、4人に1人が高齢者である。国立社会保障・人口問題研究所によると、2035年には3人に1人が高齢者になると推測されている。それに伴い、その高齢者を支える医療従事者は急速に増加し、とりわけ運動障害に対応する理学療法士や作業療法士（以下、セラピスト）は年間2万人が輩出されている。リハビリテーションでは運動障害のある患者の運動を回復させるために、患者の筋、関節、靭帯、皮膚などのストレッチあるいはマッサージを行うなどの運動療法技術を有する。また、用手運動療法を実施するために必要となる患者評価技術が求められる。これらの技術は運動療法理論をもとに、運動の方向や回数、持続時間など、患者の状態に合わせて高度な医療技術を提供する必要がある。主に熟練したセラピストが行っている。セラピストの初学者らはこれらの技術を獲得するためにリハビリテーションの各種学校で教育を受ける。現在のリハビリテーション技術教育ではビデオ教材や教科書が用いられ、臨床実習前の実技演習では運動障害のある患者を健常者が模倣して患者役となり、学生同士で互いにシミュレーションして学習が進む。

(2) リハビリテーション教育の課題

現在のリハビリテーション技術教育手法のような学内技術講習のみでは実際の患者の筋や靭帯の硬さがどの程度であるか、骨関節の歪みはどの程度生じているか、皮膚の硬さや熱感などがあるのかなど、初学者が患者の運動病態を理解することに多大な困難がある。実際の患者に触れる体験学習として臨床実習が行われているものの、その期間は短期間であり、十分な体験学習機会は与えられない。つまり、現在のリハビリテーション教育には難点があり未だ解決していない。

現在の運動療法教育手法の課題には3点ある。①学内技術講習や短期間の臨床実習では初学者らが患者の運動病態を理解することに限界がある。②実際の患者を擁した学内技術講習はほとんど行われておらず初学者の技術の獲得度を学校の教員が把握することが困難である。③初学者の用手運動療法技術が不十分なまま臨床実習において実際の患者に触れることから、患者に不安や緊張を与えることや却って患者の治療効果を減弱させてしまう恐れがある。技術教育としては、臨床実習前の学内技術講習時から学習者には実際の患者の運動病態を体験学習させる必要がある。

(3) 現在の教育手法の課題に対する解決策

これらの課題を解決する方策として、近年開発が急速に進んだロボットを用いる方法がある。そのロボットの中には、治療効果を促進するために使用される訓練支援ロボットや介護負担を軽減するために使用される介護ロボット、学習・練習のために使用される患者ロボットなどがある。患者ロボットであれば、臨床実習前の学習者でも安全に繰り返し技術練習が可能になる。また、学習者がロボットに与えた運動を記録解析して運動療法技能を評価するアプリケーションがあれば、学習者の運動療法技能や、熟練者との違いも視覚化できるため、学習者が足りない技能を理解することが容易になる。そこで、患者の病態運動を再現できるアームロボットの開発を解決策として考えた。

研究に先立ち、我々は2015年度より埼玉県先端産業創造プロジェクトにより、患者の病態運動を再現できるアームロボットを開発してきた。アームロボットは、骨部をアルミ合金の中空管で構成し、関節部には小型モーターを連結した線状筋を取り付け、皮膚は人体の皮膚に近いポリウレタン合成樹脂を用いて作製した。関節部の駆動は連段プーリーを配置して、モーターの駆動力を鋼線ワイヤーで介達させ、モータードライバーを専用の制御プログラムで患者の病態運動を再現させる仕組みとした。制御プログラムはNational Instruments社製LabVIEWで記述した。アームロボット1号機は2016年に試作した（図1）。しかし、実際の患者の病態運動を想定して製作したロボットには、関節部の金属接触による摩擦があり、モーター制御のプログラムが完全ではなく、被動性の感触は実際の患者の病態運動を忠実に再現できるほどの精度はなく、改良が必要な状態であった。

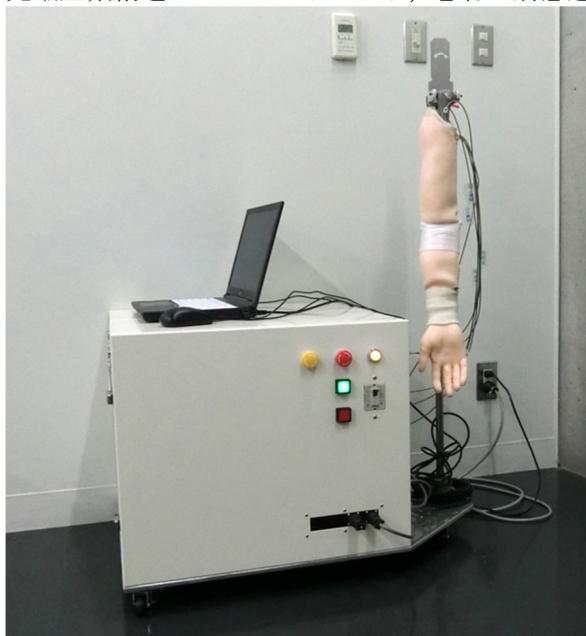


図1 試作したアームロボット

2. 研究の目的

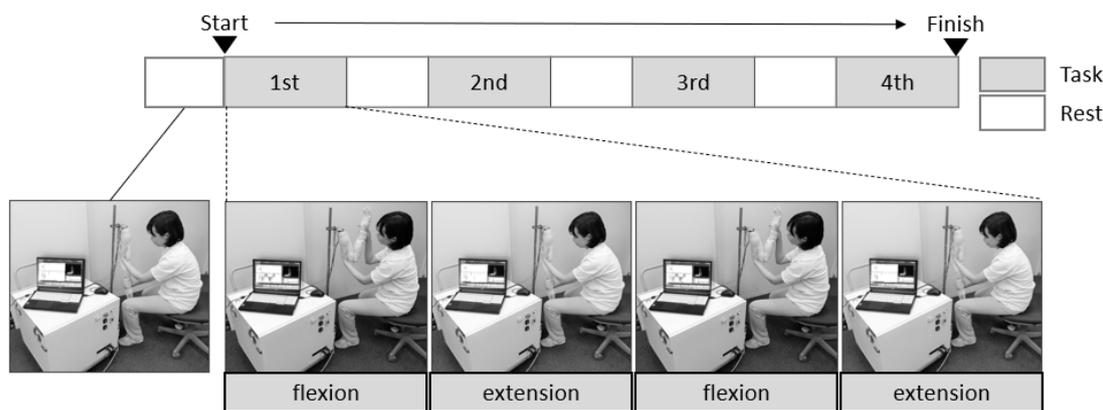


図2 実験手順

本研究はこれまでの研究結果を基に、①アームロボットの病態運動表現性を高めること、②ロボットに施術者が与えた運動療法を記録させて熟練者の技術から標準的な手技の指標を求めること、③運動療法の技術を試験して評価する仕組みを構築し、教育効果を検証することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) アームロボットの改良

試作したアームロボットは、実際の患者の病態運動を想定して制作したものの、関節部の金属接触による摩擦があり、モーター制御のプログラムが完全ではなく、被動性の感触は実際の患者の病態運動を忠実に再現できるほどの精度はなかった。そこで、関節部の金属接触による摩擦に対する解決策として、鋼線ワイヤーの装着場所を変更し、鋼線ワイヤーをカバーで保護することとした。また、患者の病態運動の再現する方法として、減速機を新たに追加することとした。さらには、持ち運びが容易になるよう、小型化することとした。

(2) 熟練者と初学者の運動療法技術を判別するためのアルゴリズムの作成

対象は、臨床経験5年以上の熟練者と作業療法士養成校で臨床実習を履修した4年次学生とした。運動療法課題および測定方法は、痙縮モードのアームロボットの肘関節に対して、最大伸展位から最大屈曲位まで屈曲させ、その後最大伸展位まで伸展させる課題を2往復×4回反復させることとし、100Hzで経時的に肘関節屈曲角度、運動時間を記録した。なお、課題動作中の姿勢、把持位置、運動療法の速さは自由とし、アームロボットの病態に合わせた運動療法を実施することを求めた(図2)。

分析方法は、熟練者と初学者の運動療法技術をSupport Vector Machine (SVM) で判別するために、最大角速度、最大角度、運動時間のデータをブートストラップ法により1,000個に増幅した。そのデータを用いて、熟練者と初学者の運動療法技術の違いを明らかにするために、熟練者と初学者から得られたデータをMann-WhitneyのU検定で比較した。その後、増幅したデータから、最大角速度、最大角度、運動時間を4つに組み合わせ(最大角速度-最大角度-運動時間、最大角速度-最大角度、最大角速度-運動時間、最大角度-運動時間)、教師データとして940サンプルをSVMに学習させて判別指標を作成した。その判別指標を使用し、残り60サンプルを熟練者と初学者に自動判別させ、最も判別成績の良い特徴の組み合わせを正診率から選び出すこととした。正診率の比較には、Friedman検定を用い、有意差があった場合は多重比較としてSteel-Dwass検定を用い比較した。統計解析にはRを用いた。

4. 研究成果

(1) アームロボットの改良

試作したアームロボットの課題を解決するために、鋼線ワイヤーの装着場所の変更、関節付近を走る鋼線ワイヤーをカバーで保護、患者の病態運動の再現のために減速機を新たに追加して改良した(図3)。また、持ち運びが容易に行えるよう、小型化した。

(2) 熟練者と初学者の運動療法技術をち外について

熟練者と初学者の運動療法技術データを比較した結果、熟練者に比べ初

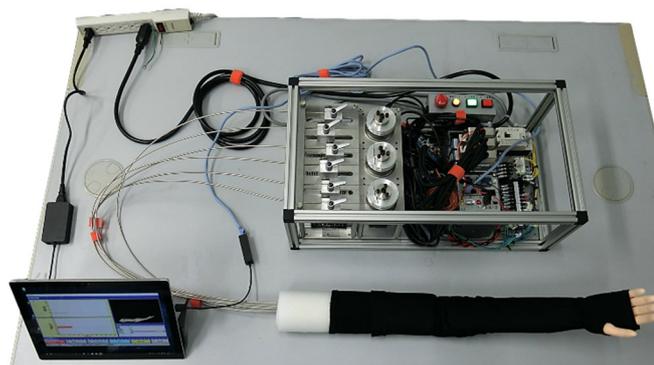


図3 改良したアームロボット

表 1 熟練者と初学者の運動療法技術データの比較

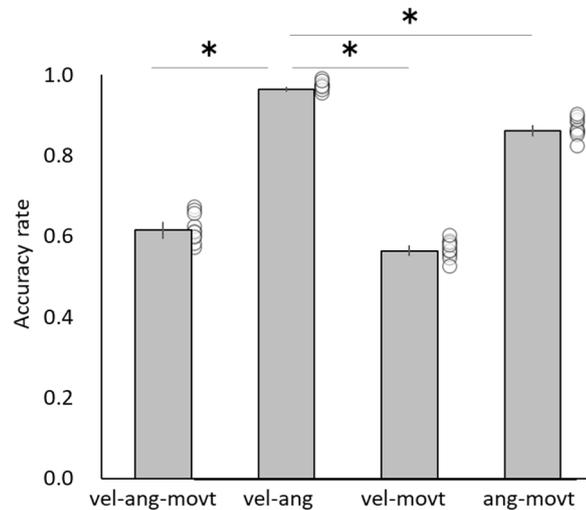
	熟練者(n = 11)	初学者(n = 11)	t value	p value	d
最大角速度(deg/sec)	125.1 ± 17.7	129.4 ± 18.3	-5.38	< .0001*	0.24
最大角度(deg)	122.5 ± 3.3	108.7 ± 4.7	76.57	< .0001*	3.40
運動時間(sec)	10.6 ± 2.5	8.5 ± 1.7	22.48	< .0001*	1.01

学者は、最大角速度が有意に速く ($p < .0001$, $d = 0.24$), 最大角度が有意に小さく ($p < .0001$, $d = 3.40$), 運動時間が有意に短かった ($p < .0001$, $d = 1.01$) (表 1). これより、熟練者と初学者の運動療法技術は異なっており、これまで学内や学外の臨床実習での学習方法での効果は不十分であることが考えられた.

(3) 熟練者と初学者の運動療法技術を判別するためのアルゴリズムの作成

1,000 サンプルに増幅したブートストラップデータを 4 つに組み合わせ、教師データとして 940 サンプルを SVM に学習させて判別指標を作成した. その判別指標を使用し、残り 60 サンプルを熟練者と初学者に自動判別させ、最も良い特徴の組を選び出した結果、最大角速度-最大角度は $96.4 \pm 0.0\%$, 最大角度-運動時間は $86.1 \pm 0.0\%$, 最大角速度-最大角度-運動時間は $61.5 \pm 0.0\%$, 最大角速度-運動時間は $56.4 \pm 0.0\%$ であり、4 組の正診率は有意に異なった ($chi\text{-squared} = 29.3$, $df = 9$, $p = .001$, $\eta^2 = .98$). 多重比較の結果、最大角速度-最大角度の組み合わせが最も高い正診率を示した ($t = 3.8$, $p = .001$, $d = 6.33 \sim 25.30$). これより、最大角速度と最大角度の組み合わせが熟練者と初学者の運動療法技術を判別する最適な指標であることが示唆された. そのため、初学者が運動療法技術を学習する際に、熟練者の最大角速度と最大角度を参考値として学習することが推奨される.

今後は、この指標を用いた学習効果を検証したい.



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 Koike Yuji, Suzuki Makoto, Okino Akihisa, Takeda Kazuhisa, Takanami Yasuhiro, Hamaguchi Toyohiro	4. 巻 19
2. 論文標題 Differences in Manual Exercise Therapy Skills between Students and Therapists	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Ergonomic Technology	6. 最初と最後の頁 35-44
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5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小池祐士, 鈴木誠, 沖野晃久, 高波泰裕, 濱口豊太
2. 発表標題 脳卒中片麻痺者の上肢運動病態を再現できる教育用アームロボットを用いた学生と作業療法士との運動療法技術の違い
3. 学会等名 第53回日本作業療法学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小池祐士, 鈴木誠, 沖野晃久, 武田和久, 高波泰裕, 濱口豊太
2. 発表標題 上肢運動病態を再現できる教育用アームロボットによる学生と作業療法士との運動療法技術の違い
3. 学会等名 第12回日本作業療法研究学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小池祐士, 鈴木誠, 高波泰裕, 沖野晃久, 濱口豊太
2. 発表標題 脳卒中片麻痺者の上肢運動病態を再現できるアームロボットを用いた用手運動療法の可視化
3. 学会等名 第52回日本作業療法学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小池祐士, 鈴木貴子, 高波泰裕, 沖野晃久, 濱口豊太
2. 発表標題 上肢運動障害を再現して用手運動療法手技を採点できる教育用アームロボットを用いた運動療法技術の可視化
3. 学会等名 第11回日本作業療法研究学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小池祐士, 鈴木貴子, 高波泰裕, 沖野晃久, 濱口豊太
2. 発表標題 身体障害者の病的運動を記憶・再現させて用手運動療法の 手技を採点できるシミュレーション教育用アームロボットの開発
3. 学会等名 第51回日本作業療法学会
4. 発表年 2017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