

補助事業番号 2017M-151

補助事業名 平成29年度セルフリハビリテーションを支援するリハビリロボット補助事業

補助事業者名 大分大学理工学部 教授・菊池武士

1 研究の概要

本研究では、特に脳卒中片麻痺患者の上肢運動訓練を、患者自身もしくは家族のみの助けによってセルフリハビリテーションを実施することを目的に、卓上型上肢リハビリテーションロボット D-SEMULを開発した。また、これを3つの医療機関に導入することによって、社会実験的にその社会導入への課題を抽出した。現在も医療研究との共同研究は継続している。

2 研究の目的と背景

近年の脳神経科学の成果は、脳卒中後も脳神経細胞が成長する可能性を示唆している。しかし現在の医療制度において、脳卒中後の十分なリハビリ時間は確保されていない。保険期間（現在180日）を過ぎれば自費でのリハビリが可能であるが、質の高いリハを受けられる機会は劇的に少なくなる。このようリハビリ難民は現在200万人もいるとされており、超高齢社会の最重要課題の一つである。そこで本研究では、セルフリハビリテーションを支援するリハビリロボットを開発し、地域導入するための課題を社会実験的に取得する。

3 研究内容

(1)卓上型上肢リハビリテーションロボット開発

(<http://www2.hwe.oita-u.ac.jp/kikuchilab/index.html>)

我々はこれまでの研究で、機能性流体の一種であるER流体を応用した高精度トルク制御可能なER流体ブレーキを開発してきた。また、このブレーキを応用した安全性の高い上肢リハビリテーションロボットSEMULを開発し、脳卒中片麻痺者に対する運動機能訓練において、定量評価装置として有用であること、また訓練モチベーションを維持するためのアミューズメント性の高いリハビリテーション機器として有用であることを示してきた。しかしながら、装置サイズが大きく持ち運びが困難であることから遠隔地への移動が困難であった。また、専用の制御器を用いていたためにコストも肥大化していた。これらの課題を解決するために、まず、SEMULの力発生源であるER流体ブレーキの小型化を行った。次に、新規な開発を行った。本ブレーキは、回転する二つの多重円筒を内部に持ち、その外表にER流体が充填されている。多重円筒は金属性であり、電場印加のための陽極としても利用している。陰極はケース側でありグラウンドに接続する。陽極への電圧供給はスリップリングとブラシを用いた。ER効果によって発生する降伏せん断応力を円筒表面で発生させ、これをトルクに変換する。1.2 kVの入力に対して、最大で4 Nmのトルクを発揮することができる。その応答



図1.卓上型上肢リハビリテーションロボット (D-SEMUL)

速度は時定数で10 ms程度であった。ブレーキ軸は二重軸となっており、内軸、外軸を独立に制御できる。これにより、力制御部の小型軽量化を達成した。制御回路も小型化し、卓上型上肢リハビリテーションロボット（以下、D-SEMUL）を完成させた（図1）。

(2)運動機能定量評価法の確立

(<http://www2.hwe.oita-u.ac.jp/kikuchilab/index.html>)

上肢麻痺に対し、適応学習や代償的な動作獲得のための課題指向型訓練とならび、日常生活活動（ADL）の拡大を目標とした課題特異型訓練が推奨されている。そこで課題特異型訓練の一例として雑巾がけをテーマとしたソフトウェアWIPEを開発した。訓練画面にはあらかじめプログラムで設定された位置に汚れ（Dirt）が表示される。使用者は上記WIPEPADを操作し、この汚れをこすることで取り除く。

WIPEソフトの訓練対象者を広げるため5段階のGame levelを設定した。各Levelの内容を以下に示す。これらの訓練レベルは患者の回復度に合わせた位置・力の調整であるが、それ自体が患者の上肢機能の回復度を表す指標になるものと考えた。

- Level 1: 汚れの抵抗なし。汚れ内に雑巾アイコンが入ったら汚れが消える。出現範囲は狭い(図3中 $\alpha=0.5$)。
- Level 2: 汚れの抵抗なし。汚れ内に雑巾アイコンが入ったら汚れが消える。出現範囲は広い(図3中 $\alpha=1.0$ 、以下共通)。
- Level 3: 汚れの抵抗一定(8 N)。ふき取りに消費したエネルギー(WIPEパワー[7]の時間積分)が汚れの耐久エネルギー(1 J)に達した時に汚れが消える(以下、共通)。ふき取り可能な方向の制限なし。
- Level 4: 押し付け力に比例した抵抗力(摩擦係数0.2、以下共通)を出力する。ふき取り可能な方向の制限なし。
- Level 5: ふき取り可能な方向を前後方向のみに制限する。

脳卒中片麻痺患者4名(73±7才)を選出した。方法はABAデザインを用いて、SEMUL介入I期をA期、非介入期をB期、SEMUL介入II期をA'期とし各期、1週間の計21日間とした。A期、A'期はSEMULを用いた訓練を20分、B期は、SEMULに代わる上肢リハビリ動作や物品操作訓練を20分実施した(図2)。評価については、1、7、14、および21日目と各期前後に実施した。

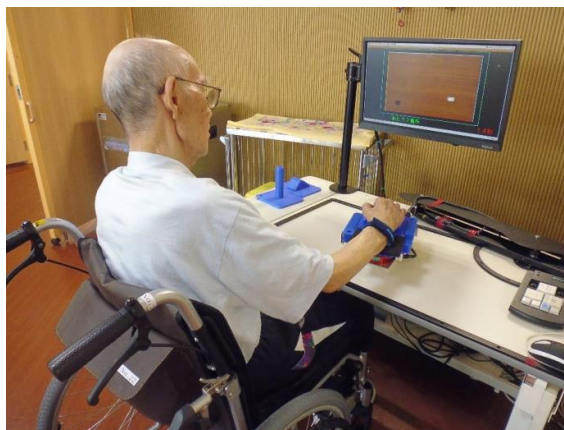


図2. 臨床評価風景

Game level と上肢機能評価の関係
を調べるためスピアマンの順位相関係数を使った。結果として、GAME level とFMA および STEF に正の相関(相関係数0.7以上)が見られた。STEFは、机上での上肢運動、主に物品操作を行う際の運動であるため、解剖学的な運動方向としては、肩関節屈曲・伸展運動、肩関節内外転運動、肩関節内外旋運動、肘関節屈伸運動の協調運動が必要である。WIPEは、STEFで必要とされる運動形態と類似する点があることから正の相関の結果が得られたことが考えられる。またFMAは、上肢の随意運動、分離運動、協調運動など上肢機能全般的な運動評価を行うものであり、WIPEにより随意性・筋力・協調性

が改善され Game level の向上に伴い機能改善が図れていることが考えられる。

この Game level を、それ自体が患者の上肢機能の回復度を表す指標になるものと考え、臨床評価によってリハビリテーションの現場で用いられる上肢機能評価との関係性を調査した。スピアマンの順位相関係数を使った解析により、Game level が上肢機能評価の FMA、STEF と関係性があることを示した。

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究では、ロボット技術と力触覚提示技術を応用した上肢リハビリテーションロボットを開発し、これを地域病院・診療所に導入することで社会実装への課題を抽出した。まず、上肢リハビリテーションロボットの必要性について、今回、導入した3つの医療機関のすべてで「必要性が高い」との回答であった。実際に、大分リハビリテーション病院、別府リハビリテーションセンターにおいては、すでに上市されている上肢用ロボット型運動訓練装置 ReoGo®-J が導入され、使い始めている。ReoGo においては、運動の基礎能力を評価することを主眼に置いているため、訓練モチベーションを向上するための訓練アプリケーションが少なく、モータを用いた装置であることから、安易にソフトウェアを変更することができず、ユーザの要望を反映することは難しいだろう。我々が開発した装置は、ブレーキのみによるパッシブな力覚提示を採用していることから、装置の本質安全性が高く、ソフトウェアの変更への障害が少ない。すなわち、病院ごとに異なる要望に短期で対応・アレンジすることができる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

我々は、これまでもロボット技術を用いたリハビリテーションシステムの開発を行ってきた。しかし、サイズとコストの両面で実用に耐える装置ではなかった。本研究助成のおかげで、これまで実施が難しかった装置の小型化と社会導入実験を実施することができた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- [1] Takehito Kikuchi, Isao Abe, Takaya Kumagae, Junichi Noma, Torque-Controllable Device Using a Magnetorheological Fluid with Nano-sized Iron Particles for a Haptic Device, Proc. of IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp.1154-1159, 2017
- [2] 向井勇人, 山辺一輝, 阿部功, 菊池武士, 大野哲也, 脳卒中片麻痺患者のための手指リハビリテーションロボット ReRoH の開発, 日本機械学会 2017 年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集, 2A2-H05, 2017
- [3] 長田朋也, 佐藤地洋, 阿部功, 菊池武士, 井上昭夫, 卓上型上肢リハビリテーションロボット D-SEMUL の開発, 第 38 回 バイオメカニズム学術講演会, pp.115-116, 2017
- [4] Takehito Kikuchi, Chihiro Sato, Kazuki Yamabe, Isao Abe, Tetsuya Ohno, Shintaro Kugimiya and Akio Inoue, Upper Limb Training/Assessment Program Using Passive Force Controllable Rehabilitation System, Proc. of IEEE Conference on Rehabilitation Robotics, pp.505-510, 2017
- [5] Hayato Mukai, Chihiro Sato, Isao Abe, Takehito Kikuchi, Development of Rehabilitation Robot

for hand “ReRoH”, 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp.2063–2068, 2017

- [6] 佐藤地洋, 長田朋也, 阿部功, 菊池武士, 井上昭夫, 釘宮慎太郎, 大野哲也, 畑辺真之介, 卓上型上肢リハビリテーションロボットD-SEMULの感性評価, 第27回ライフサポート学会フロンティア講演会, p.70, 2018
- [7] ライフサポート学会奨励賞, 佐藤 地洋, 卓上型上肢リハビリテーションロボットD-SEMULの開発と評価, 2018
- [8] 長田朋也, 佐藤地洋, 阿部功, 菊池武士, 井上昭夫, 釘宮慎太郎, 大野哲也, 畑辺真之介, 卓上型上肢リハビリテーションロボットの受け入れやすさに関する評価, 日本機械学会2018年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集, 2A2-G02, 2018
- [9] 向井勇人, 長田朋也, 阿部功, 菊池武士, 手指リハビリテーションロボットReRoHにおける電気刺激位置の検討と訓練プログラムの開発, 日本機械学会2018年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集, 2P1-G01, 2018
- [10] Takehito Kikuchi, Tomoya Nagata, et al., Sensibility Assessment for User Interface and Training Program of Upper-Limb Rehabilitation Robot, D-SEMUL, Proc. of Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.3028–3031, 2018
- [11] 末永征士郎, 菊池武士, 長田朋也, 浅海靖恵, 上肢リハビリテーションロボットD-SEMULの意欲向上を目指した訓練アプリ開発のための脳波計測および感性評価, 日本機械学会2019年ロボティクス/メカトロニクス講演会講演論文集, in press, 2019

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名:大分大学理工学部(オオイタダイガクリコウガクブ)

住 所: 〒870-1192

大分県大分市旦野原700

担 当 者: 教授・菊池武士(キクチタケヒト)

担 当 部 署: 大分大学理工学部(オオイタダイガクリコウガクブ)

E - m a i l: t-kikuchi@oita-u.ac.jp

U R L: <http://www2.hwe.oita-u.ac.jp/kikuchilab/index.html>