

氏名・(本籍)	三田 基樹 (秋田県)
専攻分野の名称	博士(医学)
学位記番号	医博甲第 1069 号
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	医学系研究科医学専攻
学位論文題名	Utility of a wearable robot for the fingers that uses pneumatic artificial muscles for post-stroke spasticity (脳卒中後の手指痙縮に対する空気圧人工筋肉を用いた手指ウェアラブルロボットの有用性)
論文審査委員	(主査) 中永 士師明 教授 (副査) 橋本 学 教授      新山 幸俊 教授

## 学位論文内容要旨

### 論文題目

Utility of a wearable robot for the fingers that uses pneumatic artificial muscles for post-stroke spasticity

脳卒中後の手指痙縮に対する空気圧人工筋肉を用いた手指ウェアラブルロボットの有用性

申請者氏名 三田基樹

### 研究目的

痙縮は脳卒中の後遺症として知られている。痙縮のリハビリテーション治療について、関節可動域訓練に加えて、バクロフェンや A 型ボツリヌス毒素などを用いた薬物療法や電気刺激療法が推奨されている。関節可動域訓練について、continuous passive motion (CPM)を用いたリハビリテーションによる有意な痙縮の改善が報告されており、その有用性が示唆されている。過去の報告では、下肢及び上腕に関する報告は認めるが、手指の痙縮に CPM を用いた報告はない。そこで、われわれは空気圧で駆動する人工筋肉を用いて CPM として機能する手指ウェアラブルロボットを開発し、本装置を用いて脳卒中後の手指痙縮に対し関節可動域訓練を行うことで痙縮が改善する可能性があるかと仮説を立てた。

開発した機器は、東京工業大学で開発された細径の空気圧人工筋肉を使用している。各指に屈曲用と伸展用の人工筋肉が独立して装着されており、それぞれの人工筋肉が交互に収縮することで手指の屈曲伸展を可能にしている。本装置はサイズが小さく軽量という特徴があり、ベッドサイドや自宅でも使用可能となっている。

本研究の目的は、本装置を用いた手指痙縮に対する可動域訓練が、痙縮、手指関節可動域、浮腫に対して与える影響を検討することある。

### 研究方法

2020 年 11 月から 2021 年 11 月までの 1 年間に関連施設に入院していた脳卒中後の手指痙縮症例 3 例を対象に、われわれの開発した手指ウェアラブルロボットを用いて関節可動域訓練を行った。研究デザインとして前後比較試験を使用した。

適格基準は、脳卒中による手指痙縮、Modified Ashworth Scale(MAS)1 以上、同意の認知機能を有すること、循環呼吸動体が安定している症例とした。除外基準はバクロフェンや A 型ボツリヌス毒素などの痙縮に対する薬物療法を行っている症例、痙縮が強くウェアラブルロボット装着により疼痛を生じる症例、ウェアラブルロボットを使用した可動域訓練に対し、同意が得られなかった症例とした。基準を満たした症例は 3 例であり、内訳は以下の通りであった。症例 1 は 70 歳男性、左視床出血発症後 9 ヶ月経過しており、右母指から環指の屈筋に痙縮を認めた。麻

痺の程度は手指 Brunnstrome stage IVであり、右手指に知覚低下を認めた。症例 2 は 65 歳男性、左脳梗塞発症後 10 ヶ月経過しており、右全手指の屈筋に痙縮を認めた。麻痺の程度は手指 Brunnstrome stage IIであり、右手指及び前腕に知覚低下を認めた。症例 3 は 74 歳女性で右脳梗塞後 9 ヶ月経過しており、左全手指の屈筋に痙縮を認めた。麻痺の程度は手指 Brunnstrome stage IIであり、左母指～環指に知覚低下を認めた。

本装置を用いた可動域訓練は、1 日 20 分、週 5 日行い 3 週間継続した。評価項目は、他動的関節可動域、MAS、各指周径とした。当該関節の他動的関節可動域は最大屈曲～最大伸展の範囲とし、手指用角度計を用いて測定した。指周径は各指の最大径を計測した。計測時期は訓練開始前と終了時とし、各評価項目を前後で比較した。また、疼痛や皮膚障害などの有害事象の有無を調査した。データの測定は全て同一検者が行なった。

### 研究成績

他動的関節可動域について、全症例部分的に改善していたが、症例 2 の示指中手指節関節のみ 85 度から 80 度と軽度悪化した。しかしながら、リハビリテーション前後で屈曲 75 度伸展 10 度から屈曲 80 度伸展 0 度に変化しており、屈曲に関しては改善していた。

MAS に関して、症例 1 と症例 3 は示指のみ改善し、症例 2 は全指改善した。痙縮が増悪した手指は認めなかった。

手指周径について、症例 1 の母指以外全ての手指で改善しており、増悪した手指は認めなかった。

有害事象は全症例で認めなかった。

### 結論

われわれの開発した空気圧人工筋肉を使用した手指ウェアラブルロボットは、痙縮の改善を目的としたリハビリテーションに有用であり、手指関節可動域と痙縮の改善が得られた。また、手指周径を改善したことから静脈還流を改善する効果も得られる可能性が示唆された。

# 学位（博士一甲）論文審査結果の要旨

主査：中永 士師明

申請者：三田 基樹

論文題名：Utility of a wearable robot for the fingers that uses pneumatic artificial muscles for post-stroke spasticity

(脳卒中後の手指痙縮に対する空気圧人工筋肉を用いた手指ウェアラブルロボットの有用性)

## 要旨

著者の研究は論文内容要旨に示すように、脳卒中の後遺症の1つとして知られる手指痙縮に対する治療法として、新たに開発したウェアラブルロボットの有用性を検討したものである。今回開発したロボットは、東京工業大学と共に開発したものである。空気圧人工筋肉を使用しており、CPM (continuous passive motion) として機能する特徴がある。これまで、手指ウェアラブルロボットは脳卒中後の麻痺に使用された報告はあるが、痙縮のリハビリテーションとして使用された報告はない。著者らは、脳卒中後の手指痙縮症例3例に開発ウェアラブルロボットを用いたリハビリテーションを行い、その有用性を検討した。

本論文の斬新さ、重要性、実験方法の正確性、表現の明瞭さは以下の通りである。

### 1) 斬新さ

脳卒中は減少傾向にあるものの依然として患者数の多い疾患であり、その後遺症として知られる痙縮は **Quality of Life** を有意に低下させることが知られている。痙縮のリハビリテーションには薬物療法のほか、関節可動域訓練によるリハビリテーションが知られており、膝関節や肘関節に関して CPM による関節可動域訓練が有用であることが報告されている。しかしながら、手指痙縮に対し CPM を用いた報告はない。また、手指に装着するウェアラブルロボットの報告はいくつか認める

が全て脳卒中後の麻痺に対する使用であり、痙縮に対し使用した報告は認めない。本研究は、脳卒中後の手指痙縮に対し CPM として機能する開発ウェアラブルロボットを用いて可動域訓練を行い、その有用性を検討した初の報告である。

### 2) 重要性

現在本邦には約8万人の痙縮患者がいると言われており、薬物治療や通院によるリハビリテーションを行っている。しかしながら、通院リハビリテーションの場合は場所と時間に制約が生じる。一方で開発したウェアラブルロボットは小型かつ軽量であり、自宅やベッドサイドでも使用可能なため、場所と時間を選ばず使用可能というメリットがある。また、本研究では開発ロボットが安全に手指痙縮を改善するとともに、静脈還流も改善することを実証した。この結果により、従来の薬物療法や通院リハビリテーションに加えて開発ロボットを用いることで、より効果的な痙縮の改善が得られる可能性がある。すなわち、約8万人の痙縮患者の **Quality of Life** が改善することが期待されるため、臨床上非常に重要である。

### 3) 研究方法の正確性

本研究は臨床研究であり、症例数が3例であるため、統計学的手法による検討は行えなかった。取得データに関しては、全て同一施設で検者を統一し計測を行った。痙縮程度を評価する方法として、**Modified Ashworth Scale(MAS)**は検者の主観的な評価項目であるが、客観的に評価できる関節可動域位を評価項目に加えることで、より正確性のあるデータを収集した。関節可動域を計測する際は同一の手指用角度型を使用した。以上より実験方法は客観的で正確性がある。

### 4) 表現の明瞭さ

本研究の持つ意味、ウェアラブルロボットの開発工程、開発ロボットを用いた関節可動域訓練前後の評価項目、得られた結果、考察は簡潔かつ明瞭に記載されている。

以上述べたように、本論文は学位を授与するに十分値する研究と判定された。