

日常生活動作を取り入れた電動グローブによる上肢機能回復訓練に関する研究

A study on upper-limb function recovery training based on finger exercises of daily living by using an electric-powered glove system

電気電子情報通信工学専攻 宮永 祐介

Yusuke MIYANAGA

1. 緒言

近年、日本の生活習慣病患者数の増加に伴い、脳卒中患者も増加傾向にある。脳卒中発症後、手足の麻痺などの後遺症を生ずるケースが多く、症状改善のためにリハビリ訓練が必要となる。脳卒中の上肢リハビリ訓練において、特に手指の機能回復は重要性が高いとされるが、現在の手指リハビリ手法は未だ十分でなく、より効果的な方法が求められている。また、経験豊富な療法士の不足により、多くの患者は十分な訓練を受けることができないため失った機能を十分に回復するに至っていない。そのため、手指の機能回復を目的としたリハビリ機器の開発が必要になっている。

現在、実用化されている手指の機能回復を目的とした多くの機器は、リハビリ訓練において効果的とされる本人の運動意図に沿った訓練や指の巧緻性回復に必要な多自由度の指運動、各手指の分離運動ができない。

そこで、本研究では次の特徴を有する効果的な手指リハビリ装置の開発をし、その性能を評価する。

- 利用者の運動努力に基づく訓練
- 日常生活動作を含めた多自由度な指運動
- 各指の分離運動

2. パワードグローブシステム

本装置は次の3つの要素で構成されている。第1に利用者の運動意図を読み取るセンサ、第2に装具部を制御するコントローラ、第3に利用者が着用する装具部である。センサで利用者の筋活動を検知し、それに基づいて制御部のマイクロコンピュータとPCが通信を行い、駆動部の10個のDCモータを制御する。DCモータの回転は直動機構で直線運動に変換され、これにより駆動部から装具部に巡らされた駆動力伝達用の糸(駆動糸)の張力がそれぞれ制御され、独立で駆動することで患者の運動努力に基づいた指運動を実現している。本装置のシステム構成を図1に示す。

2.1 センサ

本装置で使用するセンサは、本研究室で開発された筋収縮センサ、伸長することで抵抗値が変化する伸長センサ、表面筋電位を検出する筋電位センサの3種類である。これらのセンサを被験者の状態に応じて選択して、使用する。図2に筋収縮センサを図3に伸長センサを図4に筋電位センサを示す。

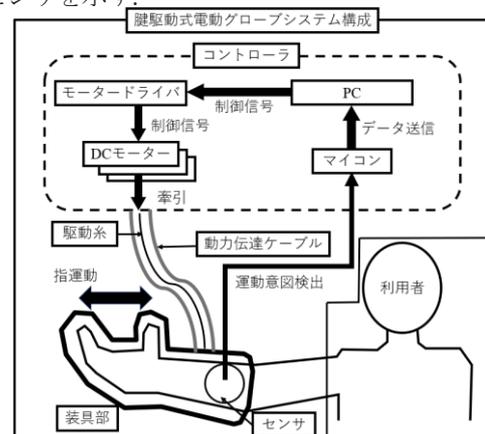


図1 システム構成



図2 筋収縮センサ



図3 伸長センサ

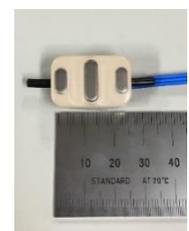


図4 筋電位センサ

2.2 コントローラ

コントローラは制御用PC1台とAD変換用回路及び駆動糸牽引ユニット10台から構成される。

コントローラではまず、AD変換用回路のマイクロコンピュータがセンサからの出力をPCに送信する。次に、PCが入力信号に応じてモータードライバに制御指令を送ることでDCモータの制御を行ない、各駆動糸を牽引している。駆動糸牽引ユニットを図5に示す。また、10台連結した駆動部を図6に示す。

各駆動糸牽引ユニットは、DC モータとボールネジを用いて直動機構を構成し、その他モータドライバ、牽引力センサ、増幅回路を内蔵している。駆動糸牽引ユニットは Can 通信で制御が行われる。

駆動糸牽引ユニット内部の牽引力センサには圧力センサが組み込まれており、部材の一部に接続された駆動糸が牽引されると圧力センサが押されるため、駆動糸の張力に応じた出力信号が得られる。出力信号をフィードバックして牽引力を制御することで、対象物把持を伴う作業療法時の力制御が可能となり、また利用者の手に与える力を制限するなど、安全性の確保にも繋がる。図 7 に牽引力センサを示す。

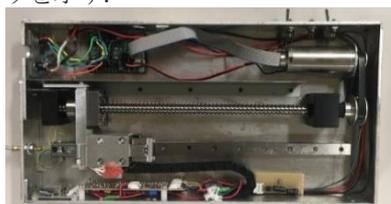


図 5 駆動糸牽引ユニット



図 6 駆動部

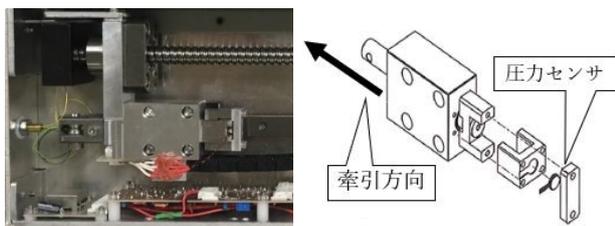


図 7 牽引力センサ

2.3 装具部

装具部には「リハビリに効果的な動作」が求められる。よって単純な屈曲・伸展動作だけではなく、各指の分離運動、多自由度運動、日常生活動作の実現が求められる。

医師との相談の結果、手のつまみ動作などの効果的なリハビリ訓練に必要な拇指と示指の分離運動を可能とする設計をした。図 8 に設計した装具部を示す。本装置で実現できる指運動は、拇指の屈伸、内外転、対立位およびその復位の 3 自由度、示指の屈伸の 1 自由度、中指、薬指、小指の屈伸の 1 自由度の計 5 自由度である。

また、本装置で実現される日常生活動作は、ボールやコップ等の大きめの対象物の把持を想定した「5 指による握り開き」、ペンなど小さめの対象物の把持を想定した「対立母指と示指によるピンチ動作」、タッチパネル操作、PC のキーボード操作を想定した「示指のみの伸展姿勢」、薄型な物の把持等を想定した「母指内転によるピンチ動作」である。



図 8 装具部

3. 性能評価試験

3.1 指運動範囲測定実験

本装置で実現される指の可動範囲を確認するために、最大屈曲時の各指の全ての関節角を測定した。

示指から小指までの 4 指については、全指を伸展させ手の掌側を平面に押し当てた姿勢を基準姿勢とし、このときの関節角を全て 0°]と定めた。拇指の屈曲角の測定は、全指を伸展させ、拇指を最も外転させた姿勢を基準姿勢とし、外転角の測定では、全指を伸展の上、指を揃えて手の掌側を平面上に押し当てた姿勢を基準姿勢とし、このときの関節角を全て 0°]と定めた。

関節角の測定には手指用ゴニオメーターを使用した。図 9 に測定の様子を示す。なお、今回の可動域測定においては、基準姿勢から伸展方向への運動については考慮しないこととした。

表 1 に拇指の屈曲角および外転角、表 2 に示指から小指までの 4 指の屈曲角の測定結果をそれぞれ示す。本実験機の用いての拇指の屈曲、外転について、それぞれ健常被験者の 75,73[%]程度の可動範囲が得られることが確認された。また示指、中指、薬指、小指の屈曲運動については、それぞれ健常者の 76,77,79,69[%]の可動範囲が確認された。上肢機能訓練において、目的としている日常生活動作が実現できるため、十分な動作性能を有すると考えられる。

3.2 把持力評価実験

指先にどれほどの力を与えることができるのか評価するために把持力評価実験を行った。電子天秤において

対立母指と示指によるピンチ動作の最大値を計測値とした。測定を各5回行いその平均値を最大把持力とした。

結果、対立母指と示指によるピンチ動作時の最大把持力は約13.2[N]となり、本装置は、指を可動させるに十分な牽引力を持ち、かつ、安全性に問題がないことが示された。



図9 測定の様子

表1 各関節の最大屈曲角(拇指)及び外転角

		示指	中指	薬指	小指
DIP 関節	(a) [°]	52	62	64	50
	(b) [°]	80	80	80	80
	(c) [%]	65	76	80	63
PIP 関節	(a) [°]	72	66	72	64
	(b) [°]	100	100	100	100
	(c) [%]	72	66	72	64
MP 関節	(a) [°]	80	80	76	72
	(b) [°]	90	90	90	90
	(c) [%]	89	89	79	80
合計	(a) [°]	204	208	212	186
	(b) [°]	270	270	270	270
	(c) [%]	76	77	79	69

(a) グローブによる動作角度

(b) 参考可動域角度

(c) 基準データに対するグローブの動作角度の割合

$((a) / (b) \times 100)$

表2 各関節の最大屈曲角(4指)

屈曲	IP 関節	(a) [°]	56
		(b) [°]	80
		(c) [%]	70
	MP 関節	(a) [°]	46
		(b) [°]	60
		(c) [%]	77
	CM 関節	(a) [°]	15
		(b) [°]	15
		(c) [%]	100
	合計	(a) [°]	117
		(b) [°]	155
		(c) [%]	75
外転	(a) [°]	44	
	(b) [°]	60	
	(c) [%]	73	

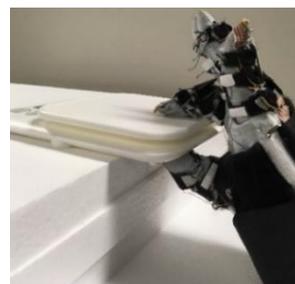


図10 計測の様子

4. 臨床評価試験

本装置によるリハビリの効果を検証する臨床試験を実施した。被験者は60代男性で、14ヶ月前に脳梗塞を発症、以来左片麻痺を負っている。病院での毎日の上肢リハビリ訓練に加えて、2週間装置による介入を行った。介入期間において、対象者は毎日、全指伸展動作10分間、ピンチ動作10分間の合計20分間のリハビリ訓練を行った。全指伸展動作は示指の伸展筋を筋電位センサで、ピンチ動作は拇指の屈曲時の微量な動きを伸長センサで計測することで、運動意図を検知した。今回の臨床試験において本装置で行うリハビリ訓練の指動作を図11、図12に示す。



図11 全指伸展動作



図12 ピンチ動作

本実験はシングルケーススタディのABデザインを採用し、介入前の15日間と介入期間の15日間、計30日間に渡り、5日おきに上肢機能評価を行う。介入前3回をベースラインとし、介入時の3回と比較した。データの解析には2-standard deviation (SD) band分析に基づいて行った。この分析手法では、統計的方法ではなくグラフの読み取りによって解釈を行うもので、リハビリ介入前のスコアの平均にその期間の標準偏差の2倍を加えた値より介入後のスコアが高ければ、リハビリ効果があると見なすことができる。図13にリハビリ訓練の様子を示す。



図 13 リハビリ訓練の様子

また、本臨床試験では、日常生活動作改善評価として下記の代表的な上肢機能評価テストを用いた。

- Box & Block TEST (BBT)

均等に二つに分けられた箱の中のブロックを 1 分間に他方へ何個移動出来るのかを計測。

- Action Research Arm Test (ARAT)

道具を用いた上肢機能評価で、19 項目の動作に対する完遂度と時間に基づいて評価。

- 脳卒中片麻痺 10 秒テスト

10 秒間で決められた動作を早く行い、その回数を計測。

- Finger Individual Movement Test (FIMT)

拇指から小指の順に屈曲、小指から母指の順に伸展し、各指の屈曲または伸展を 1 回とカウントする。

- Hand Pronation and Supination Test (HPST)

座位で手掌を上に向け、膝の上に置き、他方の手の平と手の甲を交互に叩いた回数をカウントする。

- Finger Tapping Test (FTT)

座位で手掌を上に向け、膝の上に置き、他方の手を軽く曲げ、手の平を叩いた回数をカウントする。

本臨床試験において日常生活動作改善評価として行った検査の結果を図 14 に示す。HPST 以外のテストから本装置によるリハビリ効果が確認できた。これは、HPST は手の回内外運動を評価するもので、手指の機能改善の影響は少ないためだと考えられる。しかし、指に関する評価にのみ有意なリハビリ効果が見受けられたことから、本装置の上肢機能回復に対する一定の効果が確認できた。

5. 結言

本研究は、脳卒中患者のリハビリ装置の開発として、利用者の運動努力に基づく他動運動、日常生活動作を含めた多自由度な指運動、各指の分離運動を可能とする電動式手袋の開発及び臨床試験による効果検証を目的とした。

性能評価試験を通して、開発した装置は想定する機能を満たしていることが確認できた。また、上肢機能テスト

を評価に用いた臨床試験を実施した結果、開発した装置を用いたリハビリプログラムが、効果的であることが定量的に示された。

6. 謝辞

本研究の実施にあたっては、東京女子医科大学和田太教授、長崎大学医学部保健学科東登志夫教授、同工学研究科教育研究支援部高嶋恵佑氏、久留米工業大学田中基大准教授、三原台病院磯直樹先生、株式会社ブレースオンアール石原正博氏をはじめ、多くの方に多大なご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表する。



図 14 臨床評価試験の結果