

[研究助成 (B)]

慢性重度片麻痺上肢の回復に有効なサイバネティック機能的
電気刺激装置の開発CYBERNETIC ELECTRICAL STIMULATOR DEVELOPMENT FOR CHRONIC
UPPER-EXTREMITY HEMIPARESIS TREATMENT

2201903



研究代表者

群馬パース大学
大学院保健科学研究科

教授 南 征 吾

共同研究者

岡山医療専門職大学
作業療法学科

教授 小 林 隆 司

[研究の目的]

慢性脳卒中の重度片麻痺上肢は、難治性を伴い実用的な上肢までの回復は困難とされる。また、それは痛みや筋の萎縮の原因になるだけでなく、姿勢バランスを崩し転倒の危険性を高め、寝たきりになる二次的要因ともなっている。

重度片麻痺上肢の人に対して、運動療法と随意運動介助型の電気療法を併用すると運動療法単独の介入よりも治療効果が高いとされている(Hara, et al., 2008)。電気刺激療法は、抹消神経を刺激し、筋収縮や随意性を促通するとして生理学的にも効果が示されている(Japanese Guidelines for the Management of Stroke 2015. 3rd ed.)。一方、電気刺激療法だけでは生活行為に上肢を汎用するまでに至らないとの指摘もある(Granz et al., 1996)。慢性脳卒中の重度片麻痺上肢を患った人の殆どは、在宅で生活されており自宅で出来る実践と電気刺激療法の組み合わせは重要な課題であると考えられる。

我々は、慢性重度麻痺側上肢に対するリハビリテーションの在宅支援プログラム開発を進め、本人の関心のある合目的的活動と、現存する先端機器の介助型電気刺激装置(NESSH200)と随意介助型電気刺激装置(WILMO)を段階的に実施した。このプログラムを合目的的電気刺激療法(purposeful activity-based elec-



図1 合目的的電気刺激療法の実践過程と事例
(脳卒中発症5年以上) ※文献 [4] にて作成

trical stimulation therapy: PA-EST) とした(Minami et al., 2020, 2021)。このプログラムにより、廃用的上肢から補助的上肢までの改善を認めた(図1)。このプログラムは、その人の合目的的活動に焦点を当て、筋電気刺激装置を併用することで、慢性重度麻痺側上肢をもつその人の生活を豊かにすることができた。

筋電気刺激装置は、筋電気刺激によって筋を刺激し関節を動かし、手の運動を促すものである。慢性重度麻痺側上肢に対する筋電気刺激装置の役割を目的活動と生活適応から分類すると図2となる。図2は、①運動ができない人に筋電気刺激装置によって廃用性筋萎縮を予防や筋力トレーニングを実施する装置、②運動ができない人に、筋電気刺激装置によって目的活動を促し運動を引き出す装置、③環境にしたがって生活適応力を引き出す装置、である。③は、機器を主体にするのではなく、人が主体となる機器を考えている。

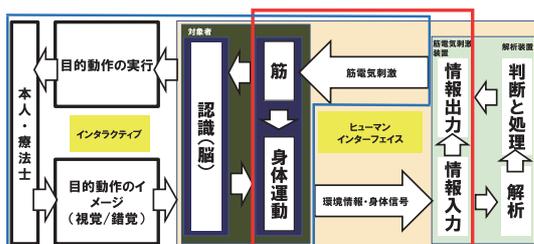


図2 慢性脳卒中の重度片麻痺上肢に対する目的活動と生活適応の筋電気刺激装置の分類

③の装置は、対象物（環境）と身体反応の関係を捉え人の予測制御を促し、生活適応力を高められるもので、まだ世界に於いて見当たらない。これをサイバネティック機能的電気刺激装置とした。この装置の開発は、神経系機能の情報と機械の自動制御を統合し、人と機械の相互関係を促進する。本研究では、身体反応と外部環境を取り込み、人の動きを促進する研究機器の開発に取り組んだ。

【研究の内容】

これまで実施してきたプログラムと本研究の位置づけを図3に示す。本人と療法士とで確認した目的活動に必要な動作を促せる筋電気刺激の最低強度を設定する方法の開発（インタラクティブ）。ヒューマンインターフェイスは、人の認知・行動によって目的動作を予測し、筋電気刺激装置の筋電気刺激の強さをさらに制御する



青枠：合目的電気刺激療法のこれまでの実践内容
赤枠：環境情報と身体信号を捉えて筋電気刺激を出力する（本研究）

図3 本研究の位置づけ

システムである。なお、図3の筋電気刺激装置の青の枠組みは、これまで実施してきたPA-ESTのプログラムである。赤枠は、環境情報と身体信号から筋電気刺激装置に情報入力と出力する本研究の取り組むべき課題である。

本研究では、手の作動する環境（物体）の距離や高さをデータ処理できるよう画像センサを用いて測定する。手の動くシステムは、指導モードと実施モードによって調整する（図4）。指導モードは、測定側の手から出力される筋の電圧を対象物からの距離と同期して測定する。測定対象は、手の動きを把握するために、手関節の背屈運動、手指の伸展運動、手指の屈曲運動を主たる筋の筋電計の電気信号とする（図5）。このデータを動かす側の筋電気刺激の基準とする。実施モードでは、指導モードによって測定された手の筋の電圧が設定基準となる。基準とした各電気信号の強度と距離に合わせて、筋電気刺激の出力で手を動かす。なお、筋電気刺激の最大強度は、健康機器に相当する10mAまでとした。なお、強度は周波数やデューティ比によって調整する。指導モードを非麻痺側と想定、実施モードを麻痺側として想定して

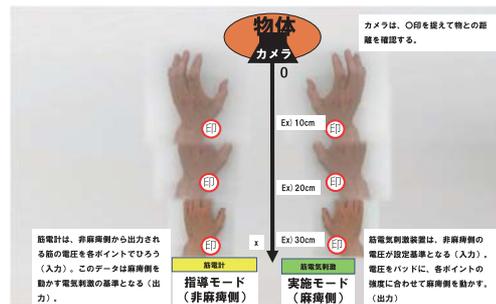


図4 環境情報と身体反応の捉え方（指導モード、実施モード）

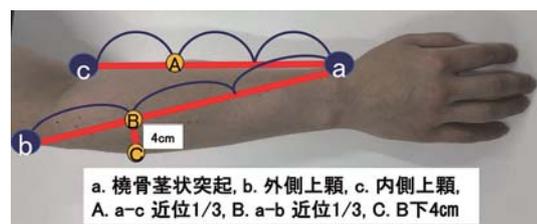


図5 電極パッドの貼る位置

いる。本研究は、システムが作動するかどうかを確認するもので、患者には実施していない。

[研究の成果]

研究成果の概要は、①画像センサによって物体と身体の動きを観測する、②筋電位測定を基盤に、③筋電気刺激が出力される、④強度をデューティ比と周波数で調整する、⑤電気刺激装置の安全機能の確認、である。

1. 画像センサ (図6)

物体と手の位置を広視野で捉えることができる解像度の高い画像センサを用いて、物体と手に表示したポイントマーカーの高さと距離を捉えた。なお、ポイントマーカーが距離に合わせて追従するかを確認し、画面上に示した位置との一致を確認した。物体の大きさは100mmに設定した。なお、画像センサは部屋の明暗によって影響をうけることを防ぐために明暗を自動調整し、ポイントマーカーを捉えやすくした。動作の確認の結果、画像センサで捉えた位置と物体との距離において相違なく確認できた。



図6 筋電気刺激出力と距離

2. 指導モード (筋電位測定)

画像センサで得られた物体との距離のデータと、その距離に応じて表面筋電位を測定した。測定時は、物体から400mm離れたところから物体に触って戻すまでを5回実施した。また、1往復に約10秒間かけるように指示をした。筋電計のセンサのチャンネルは3つ受信できる

ようにした (図7)。筋電位測定の結果は、画像センサで捉えた位置と物体との距離において相違なく観測することができた。

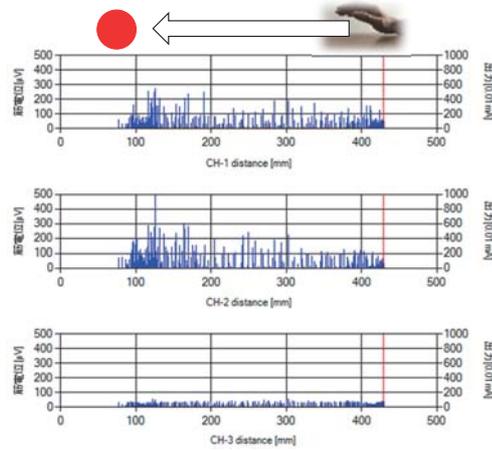


図7 3つのチャンネルで受信される

3. 実施モード (筋電気刺激出力)

画像センサと表面筋電位から得られたデータに基づいて出力値を電気刺激装置に入力する。距離と出力値は、目標物と手の間の距離に対する筋電気刺激の強さの出力値を設定する。距離と距離の間は線形な傾きにより出力値を補完し表示される。例えば、距離0mm時に出力値8mA、150mm時に出力値4mA、300mm時に出力値2mA、450mm時に出力値1mA、に設定した(図8)。筋電気刺激量は実質の関節運動までは及ばなかったが、出力の強弱は距離によって確認できた。

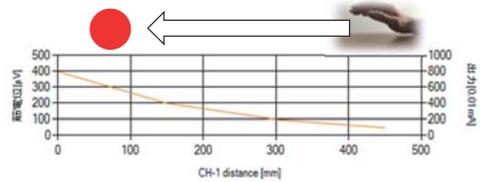


図8 筋電気刺激の線形

4. 強度設定

電気刺激の周波数とそのデューティ比を以下のように設定した。周波数出力は矩形波で行われ、1周期のデューティ比[%]の間出力ON(出力値の値を出力)、100-デューティ比[%]

の間出力 OFF を繰り返す。なお強度設定により実施モードで行った関節運動は実質値には至らなかった。

5. 安全機能の確認

筋電気刺激出力の開始ボタンを押すと、電気刺激の出力を開始される。対象物に手を近づけたり遠ざけたりすると、電気刺激出力の設定に従い筋電気刺激出力を与えられる。筋電気刺激出力の停止ボタンを押すと、電気刺激の出力を停止する。なお、安全のため3秒間手の位置が検出されなかった場合やソフトから基板ボックスへの制御がなかった場合は電気刺激出力が強制的に OFF される。この機能は問題なく実施できた。

[今後の課題]

本研究は、環境情報と身体反応を捉えて、電気刺激の出力を調整するシステムである。本研究によって、以下に3つの課題があげられ、そのまとめを記載した。

1. 筋電気刺激の設定

本研究では、環境と手の動きをモニターし、それに従って筋電気刺激の出力を調整し、一部反対側の手の動きが再現された。しかしながら、筋電気刺激の設定は、人によって異なり、電気刺激の強度やパルス幅、周期、デューティ比の設定が同じでも、人によって異なる反応を示す。それだけでなく、日々の状態によっても異なる反応を示す場合がある。リハビリテーションを実施するセラピスト、電気刺激装置を使用するエンドユーザーにとっては、一定の基準を示す必要がある。

課題は、電気刺激の出力値をエンドユーザーにわかりやすく、視覚的に表現できることである。表現は、「強い」「快適」「弱い」などである。本研究機器による情報と新たな情報を組み合わせ、筋電気刺激の設定を提案できる簡単

な AI の導入が求められる。

2. アプリケーションの開発

本研究では、環境情報と身体信号で得られた情報を入力し、この情報に基づいて筋電気刺激装置によって刺激が出力された。出力値は一部に手入力で実施した。したがって、情報を解析、判断と処理から自動的に情報を出力するには至っていない。本研究によって得られたデータからある一定の出力アウトラインが見出せつつある。今後明確な主力アウトラインが明らかになれば、それによって予測制御できるシステムの開発が可能である。本研究機器によって、さらに分析を進め予測制御できるデータを増やしアプリケーションとして稼働できるよう進めていきたい。ただし、最終的な判断はセラピストとエンドユーザーによって決定するシステムが求められると推察される。

3. 電気刺激装置の簡易に装着可能なデザイン

本研究では、指導モードと実施モードに従って、筋電計や筋電気刺激のパッドの位置や張替えながら実施された。しかしながら、生活適応を高めるためには、合目的的動作のプログラムを阻害せず、またパッドをかえずにデータを取得でき、且つ片手で簡易に着脱可能な電気刺激装置のデザインの検討が必要である。デザインの課題は、容易に脱着可能であること、電気刺激装置と合目的的動作を阻害しないことである。本研究機器は、さらに生体工学に合わせたデザインによって生活適応力を高めるアイデアを考案することである。

4. 本研究のまとめ

本研究機器を基盤に、対象物（環境）と身体反応によって人の動きを予測制御し、人と機械の調和をはかり、人の生活、思考、行動をさらに高めることを検討した。環境に合わせて合目的的活動を実施するための筋電気刺激の設定を試み、目的活動と生活適応に特化する電気刺激装

置の開発に取り組んだ。今後は、身体情報や信号を解析し判断/処理される予測制御システムを開発し、人の生活適応力を支援するリハビリテーション機器（試作版）の製作を目指していきたい。

[成果の発表, 論文等]

- 1) Seigo MINAMI, Ryuji KOBAYASHI, Tomoki AOYAMA. Occupational Therapy: Connecting people and technology, 60th Japanese society for medical and biological engineering, 36th Japan biomagnetism and bioelectromagnetics society. 発表, 2021. 5月
- 2) 南征吾: 人と環境をつなぐテクノロジー, 第2回ロボットと作業療法研究会大会. 発表, 2021. 7月
- 3) 小林隆司: AIとロボットの使用に向けて, 第56回日本作業療法学科, 発表, 2022. 9月
- 4) 南征吾: 合目的的活動と電気刺激療法の実践, 第3回ロボットと作業療法研究会大会. 発表, 2022. 11月 (予定)

[参考文献]

- [1] Hara et al.: A home-based rehabilitation program for the hemiplegic upper extremity by power-assisted functional electrical stimulation. *Disabil Rehabil.* 30: 296-304. 2008.
- [2] The Japan Stroke Society. Japanese Guidelines for the Management of Stroke 2015. 3rd ed. 286-294. Tokyo, Kyowa Kikaku, 2019.
- [3] Glanz et al.: Functional electrostimulation in post-stroke rehabilitation: A meta-analysis of the randomized controlled trials. *Arch Phys Med Rehabil.* 77: 549-553. 1996.
- [4] Minami et al.: Program for rehabilitation of the chronic severe hemiparesis upper extremity of cerebral stroke survivors: application of purposeful activities and an electrical stimulation therapy program. *Cognition & Rehabilitation*, 1-1: 74-82. 2020.
- [5] Minami et al.: Effect of home-based rehabilitation of purposeful activity-based electrical stimulation therapy for chronic stroke survivors: a crossover randomized controlled trial. *Restorative Neurology and Neuroscience.* 39: 173-180. 2021.