

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年12月21日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700571

研究課題名（和文） 中枢神経系再構成を目的とした下肢装具併用型電気刺激装置の開発

研究課題名（英文） Development of combined electrical stimulator with AFO for reorganizing central nervous system.

研究代表者

村岡 慶裕（MURAOKA YOSHIHIRO）

早稲田大学・人間科学学術院・准教授

研究者番号：10338254

研究成果の概要（和文）：中枢性下肢麻痺者が日常生活の中で中枢神経系の再構成による機能回復を図るための軽量小型電気刺激装置を開発することを目的とした。装置設計のために、脳卒中者2名において、下肢の動作と筋活動を計測した。機器配線による転倒を防止するために、無線の計測系を構築した。1ch筋電位信号により制御される1ch出力の小型電気刺激装置を4台試作し、短下肢装具を装着した健常者の下肢に配置した。各装置が相互干渉せずに動作可能であることを確認した。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to develop a light weight small size electrical stimulator for a lower limbs paralysis to recover their functions by reorganizing of central nervous system in daily living. The movement and EMG of the lower limb in two stroke subjects for a device design. Wireless measurement system was constructed to prevent falls by instrumental wires. Four prototype small electrical stimulators of 1ch output controlled by a 1ch EMG signal input were produced and were set at lower extremities of a healthy subject who wore Ankle Foot Orthosis. It was confirmed that each stimulators could be worked without interfering.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
23年度	1,200,000	360,000	1,560,000
22年度	700,000	210,000	910,000
21年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：脳神経疾患、機能的電気刺激、装具、可塑性、随意筋電計測

1. 研究開始当初の背景

我が国は少子高齢化社会に突入し、労働力不足や要介護者の増加などの課題に直面している。寝たきりを含む要介護者124万人のうち脳卒中が原因疾患であるものは約3割を

占め、脳卒中に費やされる医療費の年間1兆9千億円は、疾患別で悪性腫瘍に次いで第2位となっている。患者数は173万人と推定され、今後さらに急増し、2020年には300万人に達すると予想されている。このような社会

的背景より、脳卒中患者の社会復帰を促進する治療法の発展が望まれている。

多くの脳卒中患者が下肢麻痺を呈し、歩行障害を抱え、装具療法や歩行訓練など社会復帰に向けたリハビリテーションを行っている。

下肢装具は、有効な治療手段であり、下肢麻痺による歩行障害者 180 万人のうち 84 万人が使用している。脳卒中患者の多くは、足関節の内外反の矯正と底背屈の関節可動域を制限する短下肢装具を主に使用している。一方、最近の歩行訓練には、懸垂装置やトレッドミルが導入され、体重免荷トレッドミル訓練が取り入れられている。本手法は、身体を懸垂装置により部分免荷重しながら、トレッドミル上を歩行し、同時に療法士が患者の麻痺足などを持ちながら、他動的に適切な歩行パターンを誘導する。

著者らは、慢性期脳卒中患者において、背臥位にて使用する下肢他動運動装置（安川電機社製）を用いて、歩行様他動運動を施行し、同時に、歩行中の筋放電パターンを模した電気刺激を下肢の筋肉に与えた。その結果、歩行様他動運動中に電気刺激を与えた群において、有意な歩行能力の改善が認められた。

(Tanabe S, Muraoka Y, et. al, 2008) この効果は、歩行様他動運動や電気刺激による強制的な筋収縮を行うことにより、筋紡錘など感覚器への入力、中枢神経系に作用し、歩行能力の改善に結びついたものと考えられる。

これらの知見から、脳卒中患者の歩行において、下肢装具で関節運動を矯正するとともに、前脛骨筋などへの電気刺激で、踵接地時の底屈の制動をかけることや、動力源として、歩行時に下肢の筋肉を歩行周期に合わせて電気刺激により収縮を促すことが歩行機能の改善、さらには、中枢神経系の再構成において有効であると推察された。そこで、本研究においては、下肢装具と併用可能であり、かつ、大腿直筋、ハムストリングス、前脛骨筋、ヒラメ筋の 4 筋に対して、歩行周期に合わせて電気刺激を与える装置の開発を目指した。

空間的制約と人的負担、経済的コストの莫大なトレッドミル歩行訓練や訓練ロボットを用いなくても、脳卒中片麻痺者が、装置を常用することで、中枢神経系の再構築、つまり、治療効果も期待できる可能性があるものと予想した。

2. 研究の目的

本研究では、脳卒中や脊髄損傷などの中枢性麻痺による下肢麻痺者が常用している下肢装具に、電気刺激を併用して、末梢から適切な入力を加えることで、日常生活動作を阻害することなく、中枢神経系の再構成による機能回復を促す装具併用型電気刺激装置の

開発を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 歩行分析

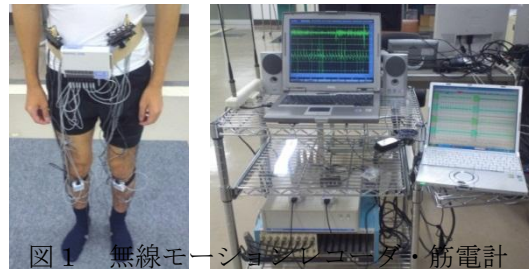


図1 無線モーションレコーダ・筋電計

装置設計のための基礎データを取得するために、脳卒中患者 2 名（被検者 A: 79 歳女性、脳梗塞右片麻痺、発症後 5 ヶ月、被検者 B: 49 歳女性右片麻痺、発症後約 7 年）において、下肢の動作と筋電位を計測した。低歩行能力者である下肢麻痺者の配線コードなどのひっかかりによる転倒リスクを低減するために、無線で構築した。

下肢動作は、3 軸角速度・3 軸加速度計付 8ch 小型無線モーションレコーダ

(MVP-RF8, MicroStone 社製) を両側脛骨粗面に配置し、さらに、踵接地、爪先離地は、足底（踵部と第一中足骨底）に貼付した圧力センサより、脛骨粗面の上記モーションレコーダに取り込み、加速度および角速度と共に、PC に記録した。

筋電の計測は、マルチテレメータシステム (WEB-5500, 日本光電社製) を中継して、前述モーションレコーダに入力し、他信号と同期して 200Hz の標本周波数にて PC に記録した。表面能動電極は、両側の前頸骨筋、ヒラメ筋、大腿四頭筋、ハムストリングスに貼付した。

30~190 (beats/min) の 7 種類のパルス音を発信し、10m の平地直線歩行路で各パルス音に同調した歩行を施行した。但し、被検者の可能な速度のみの実施とした。

動作および筋電発火パターンの解析には数値演算ソフト (Matlab2011b, Mathworks 社製) を用いた。各試行において、踵設置および爪先離地を目視で検出して 1 歩行周期毎に切り出した後、歩行周期、歩調、立脚期と遊脚期の比率、各歩行位相における筋電の RMS 値などを算出した。これらをパルス速度依存性、被検者間で比較検討した。

被験者に対し実験前に目的、方法、リスクなどについて文書および口頭により説明し、署名による同意を得て行った。また、国立病院機構村山医療センター設置の倫理委員会の承認を受けた。

(2) 電気刺激装置の製作

最大 4 つの筋肉の筋電制御の電気刺激を行うことができるように、4~12 時間連続駆動可能な 35x70x7mm, 27g~95x37x10mm, 43g のそ

れぞれ外形と連続駆動時間の異なる4台の随意筋電制御電気刺激装置を製作した。各電気刺激装置は、1chの筋電入力と1chの電気刺激出力端子を備え、筋電に比例させて電気刺激を出力することが可能である。

(3) 相反抑制評価システムの構築

中枢神経系の再構成を確認するための評価システムを構築した。本システムは、従来のシステムより多い最大3か所の別部位からの電気刺激などの条件刺激を条件—試験刺激間隔を変化させて出力することが可能である。各条件刺激パターンにより、試験刺激で誘発される誘発筋電位の振幅変動を調べることで、脊髄内の中枢神経系の特定のシナプスの伝達効率の変化を捉えることが可能である。

4. 研究成果

(1) 歩行分析

下肢の加速度・角速度データについては、両被検者間で異なる波形パターンを示した。また、両被検者共に、歩行テンポあるいは、左右で異なる波形パターン、さらには、歩行の不安定性から一歩ごとに変動が高く、一定した下腿の動作パターンは存在しなかった。

筋電発火パターンについても、両被検者共に、1歩毎に遊脚期あるいは立脚期の筋電量(RMS値)が変動し、また、左右差も存在した。つまり、一定した発火パターンは見られなかった。

したがって、電気刺激は、例えばフットスイッチをトリガーとして、一定パターンを各筋肉に出力する形式は、歩行周期等も変動するため、刺激タイミングのずれが生じることが予想され、困難と考えられた。そのため、各筋肉独立に、随意筋電量に応じた電気刺激を行うことが有効と考えられた。

(2) 電気刺激装置の製作

本装置は、筋電検出電極と刺激電極を同一のものを用いているため、電気刺激により筋電波形に巨大なアーチファクトが混入する。そのため、刺激によるアーチファクトの基線への復帰時間を早めるために、通常の筋電アンプの周波数帯域(20-500Hz)よりも高い、300-1kHzを用いた。

通常、電気刺激の出力部はトランス(従来試作機 25x25x20mm、図3左)を用いて昇圧および絶縁を行うため、装置全体が大きくなり、30mm以上の厚みを生じる。そこで、本回路では、装置を小型にするために、筋電アンプの電源から絶縁 DCDC コンバータ(21x12x6mm、図3右)を用いて、電気刺激回路用の5V電源を作成し、その電源から100Vに昇圧した後、フォトモスリレー4個を用いてHブリッジを構成し、電極に対して双極性の刺激パルスを生じた。フォトモスリレーの制御回路は、筋電アンプの電源を用いることにより、

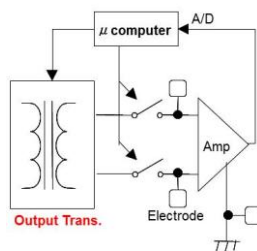


図2 トランスによる従回路



図3 トランス(左)とDCDCコンバータ

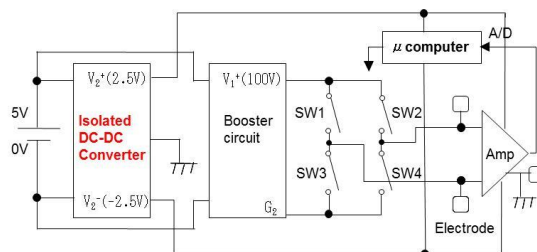


図4 絶縁型DCDCコンバータによる新回路

刺激出力端子から絶縁した。また、Hブリッジのスイッチングにより、電極に刺激パルスを出力直後、電極間を短絡し、電極に残存する電荷平衡を保持した。これにより、刺激後の基線への復帰時間を改善した。本装置の電気刺激出力部絶縁回路の見直しにより、刺激装置の基盤サイズは、従来の40x90x30mmから45x35x7mmとなり、大幅な小型化が図ることができた。

小型化した基盤を用いて、4~12時間連続駆動可能な35x70x7mm, 27g~95x37x10mm, 43gのそれぞれ外形と連続駆動時間の異なる4台の随意筋電制御電気刺激装置を製作した。



図5 試作した装置4台(コインは10円玉)

短下肢装具を装着した健常者の下肢への製作した電気刺激装置4台の配置の可能性を確認した。図6に示すとおり、電極を前頸骨筋、ヒラメ筋、大腿四頭筋、ハムストリングスにそれぞれ独立に、電気刺激装置についても装具部および大腿部サポータに配置可能であることが確認でき、さらに図6右に示すとおり、衣服も上から被せることができ、外観上、装着の有無が分からない程度に装着することが可能であった。

更に、4台の装置につき、随意筋電量対刺激強度の設定を行い、同時に駆動させたところ、各装置間で相互に干渉することなく動作

した。つまり、4筋それぞれに対し、独立に筋収縮を補助することが可能であった。

本結果より、装具と併用して、普段通りの衣服をまとい、外観を損なうこともなく、日常生活の中で、前頸骨筋、ヒラメ筋、大腿四頭筋、ハムストリングスの最大4筋に対して、随意運動介助型電気刺激装置を配置できることが確認された。



図6 装具および装置4台装着時の外観

(2) 相反抑制評価システムの構築

健常者において、製作した評価装置が動作することを確認した。最大3か所の別部位からの電気刺激などの条件刺激を条件一試験刺激間隔を変化させて出力することが可能であった。



図7 相反抑制評価装置の外観

当初の計画では、製作した本評価システムを用いて、製作した装具併用型電気刺激装置を脳卒中患者が日常的に1週間程度使用した前後の相反抑制の変化を測定し、中枢神経系の再構築が図られているかの検討を行う予定であったが、今回はそこまで研究が至らなかった。

お詫び

この度は、国民の貴重な財源により研究する機会を与えて頂いたにもかかわらず、震災、体調不良、転職、その他の諸事情により遅延し、当初の研究計画通りに研究を遂行することができませんでした。この場を借りてお詫び申し上げます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Tanabe S, Kubota S, Itoh N, Kimura T, Muraoka Y, Shimizu A, Kanada Y, Estimation of the kinetic-optimized stimulus intensity envelope for drop foot gait rehabilitation., J Med Eng Technol., Epub, 2012 Mar 20. Epub ahead of print, 有

Yamaguchi T Tanabe S Muraoka Y Masakado Y Kimura A Tsuji T Liu M, Immediate effects of electrical stimulation combined with passive locomotion-like movement on gait velocity and spasticity in persons with hemiparetic stroke, Clin Rehabil, Epub, 2011 Nov 16, Epub ahead of print, 有

村岡慶裕、【新しいインタフェース】 FES 制御システム 最新動向 運動学習を促す随意運動介助型電気刺激装置 IVES、福祉介護機器 Techno プラス、3、27-31、(2010)、無
山口智史、村岡慶裕、表面筋電図の臨床応用・3 物理療法における表面筋電図の臨床応用、理学療法ジャーナル、44、603-609、(2010)、無

〔学会発表〕(計1件)

Muraoka Y, Kurita M, Machida M, Matsuura D, Uemura O, Mizuno K, Yamaguchi T, Development of slim design Integrated Volitional control Electrical Stimulator, 29th International Congress of Clinical Neurophysiology, 2010.10.28, Kobe

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：電気刺激装置

発明者：村岡慶裕

権利者：財団法人ヒューマンサイエンス振興財団

種類：特許

番号：特願 2009-254973

出願年月日：平成 21 年 11 月 6 日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村岡 慶裕 (MURAOKA YOSHIHIRO)

早稲田大学・人間科学部・准教授

研究者番号：100338254