

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350606

研究課題名(和文) 身体装着型脳卒中片麻痺患者歩行訓練支援システムの開発

研究課題名(英文) Development of wearable gait training support system for hemiplegic patients

研究代表者

末吉 靖宏 (SUEYOSHI, Yasuhiro)

鹿児島大学・法文教育学域教育学系・教授

研究者番号：30196688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：この研究は、下肢腱振動の筋電図活動への影響を吟味するために設定された。我々は、振動刺激を利用し、無線の小型端末で操作が可能な脳卒中片麻痺歩行訓練支援システムを開発した。このシステムを利用して、健常被験者の下肢筋の腱に振動刺激を与えたときの筋に与える効果を筋電位で計測する試みを行った。被験者の膝蓋腱に振動モーターを弾性バンドで固定し、8mの歩行路を振動刺激あり/なしの条件で歩行させ、大腿四頭筋、大腿二頭筋、前頸骨筋、腓腹筋の4つの筋の筋電位を計測した。振動なしに比べて振動を加えて歩行させた場合、大腿四頭筋の筋電位は立脚/遊脚の両方の期で有意な増大を示した。

研究成果の概要(英文)：The present study was set up to examine the contribution of tendon vibration applied to the lower limb in the generation of electromyographic (EMG) activity. We developed a gait training support system using vibratory stimulation to the lower limb, and this system was designed to be controlled by a mobile terminal. Utilizing this system, we examined the relationship between the vibratory stimulation which applied to the tendon of the quadriceps of the healthy university students during gait and the myoelectric potential. The vibration induced motor was attached to beneath of the patellar tendon of the subjects by using elastic bandage. And subjects walked along 8m walk-way with measuring electromyograms at 4 muscles(rectus femoris, biceps femoris, tibialis anterior, and gastrocnemius) under the conditions of the vibratory stimulation or no-stimulation. Vibratory tendon stimulating gait showed significant increase of the muscular activity by comparing non-stimulating gait.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：脳卒中 片麻痺 歩行訓練 振動刺激 身体装着型 ウェアラブル リハビリテーション モーション センサ

## 1. 研究開始当初の背景

近年、脳卒中の死亡率は減少しているが、未だに死亡率は高く、悪性新生物・心疾患・肺炎に次ぐ死因の第4位にある。また、脳卒中患者の多くは片麻痺等の歩行障害が後遺症として残り、脳卒中は介護が必要になる要介護の原因疾患第1位である。

従来脳卒中による片麻痺は機能回復は困難とされてきたが、近年の脳科学の進歩により、脳の一部が破壊されても、損傷を免れた他の部位が損傷した部位の役割を代行する能力(脳の可塑性)があることがわかってきた。その能力を利用したリハビリテーションの技法の1つに促通反復療法というものがある。促通反復療法とは、促通手技によって随意運動を実現し、それを反復することによって随意運動を回復するために必要な神経路を再建/強化することを目的とした、神経路強化的促通法である<sup>1)</sup>。

この促通反復療法のように、機能局在や中枢プログラム、ニューラルネットを基盤として、シナプス形成や伝達効率の向上による神経路形成を重視した科学的な治療法が編み出され、リハビリテーションの質は高まっている。一方、脳卒中により片麻痺が生じた患者の歩行機能を回復するためにはリハビリテーションの質だけでなく、十分な訓練量を確保する必要がある。しかし、リハビリテーションを行う場合、介助する医師や理学療法士の身体的負担は大きく、人的及び時間的な制約があり患者の訓練量にも限界がある。高齢化が進行していることから、リハビリテーションを必要とする患者が増加することで、医師や理学療法士の身体的負担増加だけでなく、患者に必要とされるリハビリテーションの時間も十分とれなくなる可能性がある。そのため、脳卒中片麻痺患者に対しての、歩行リハビリテーションの促進と、医師や理学療法士の負担を軽減するために、従来行われている脳卒中片麻痺に対するリハビリテー

ションを患者が自立して行うことを可能とする歩行支援装置の開発が望まれている。

我々は、片麻痺患者に対し、歩行タイミングに合わせ下肢の筋肉に振動刺激を加えることにより歩行の改善を図る促通手技を代替する脳卒中片麻痺患者歩行改善支援システムの実用化を目指している<sup>2)</sup>。

## 2. 研究の目的

筋肉や腱に振動刺激を与えて、筋肉の活動の変化を見る実験はいくつか行われている<sup>3),4)</sup>が、運動中、筋肉の動作中に振動刺激を与えて筋活動の変化を見た実験は、ほとんど見られなかった。Verschueren<sup>5)</sup>らは、筋活動にIa群線維がどのような影響を与えるか確認するため、健常者の歩行動作中に腱に振動刺激を与える実験を行った。彼らは、腱を振動させることにより他の求心性神経よりもIa群線維を活性化させる<sup>6)</sup>ことから、膝蓋腱に振動刺激を与えることにより、主に大腿直筋と大腿二頭筋の筋電図に影響を与えていることを示した。しかし、実験の条件において目隠し状態で歩行させ振動刺激を与えていた。目隠しは視覚情報を遮断し、振動刺激がより影響を及ぼすためだと考えられるが、リハビリテーションに応用することを考えると目隠し状態の歩行のデータは実用的ではない。そこで本研究では目隠しなしの条件下において、健常者を対象に歩行中に膝蓋腱に振動刺激を与え、筋活動にどのような影響があるか、また歩行動作にどのような影響があるか明らかにすることを目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) 被験者

被験者は、健常な男子大学生3名であった。被験者には予め本研究の主旨と内容を説明の上、実験協力の同意を得て参加してもらった。

### (2) 振動刺激

自作の振動式片麻痺患者歩行訓練システ

ムの機能を用いて、被験者に振動刺激を加えるときの筋電位発揮に与える効果を検証する実験を行った。

被験者には、実験に先立って歩行訓練支援システムを装着した。このシステムは、足底につけた加重センサーにより、各足の接地/離地を判別し、この接地状況に合わせて、振動刺激を装着者に加えることができる。今回は、連続振動刺激の被験者筋発揮に与える効果を見るため、接地の有無に関わらず、歩行試技の振動刺激の有り無しの条件に従って連続振動の On/Off を行った。振動モーターは、被験者の大腿四頭筋に連なる膝蓋腱に弾性帯を用いて固定して歩行させた。

### (3) 下肢筋電位の計測

歩行の身体活動をできるだけ制限がかからない状態で行えるように小型軽量の無線型筋電計(KM-104Mediarea-Sipport 社製)を用いて筋電図の測定を行った。本器は4チャンネルの生体信号と1チャンネルの圧電スイッチ(荷重センサー)入力を持ち、その電位信号は送信機を内蔵した筋電計から受信機を介してパーソナルコンピュータ(PC)に転送し、テキストファイル(CSV形式)の形で保存した。

筋電図の測定には表面筋電図法を用い、電極には直径8mmの一对の表面電極を、電極の中心間が3.0cmになるように被験者の筋線維の方向に沿ってサージカルテープで貼り付け、表面筋電位を双極誘導した。各試技および最大等尺性筋力の測定は被検筋測定部位にそれぞれ電極を貼り付けたままの状態、電極を外すことなく全ての計測を行った。

被検筋の決定に関しては、筋電図電極が4チャンネルであることとVerschuerenらの実験を参考に、大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋、腓腹筋の4箇所とした。

### (4) 歩行条件の設定

下肢に荷重センサ、ジャイロセンサ、振動モータ、筋電測定器を装着した状態で、設定した直線8mの歩行路を被験者各々の普段歩く速度で歩行をさせた。

計測に当たり次の4つの条件でそれぞれ4回ずつ試技を行った。

- ① モータ振動なし・目隠しなし
- ② モータ振動なし・目隠しあり
- ③ モータ振動あり・目隠しなし
- ④ モータ振動あり・目隠しあり

### (5) 分析方法

#### ① 筋電図の処理

荷重センサ信号はプラス方向への出力時に荷重が加わったことを示している。踵の荷重センサが反応すると1.0V、拇指球の荷重センサが反応すると0.5Vになるように設定した。これを基に筋電図波形において、実線から破線までで示す時期を立脚期、破線から実線までで示す時期を遊脚期とした。

筋電図の処理方法は、以下のように行った。筋電図信号は、サンプリング周波数1kHzで計測し、A/D変換後、ローパスフィルタリングを行い、筋電波形の低周波成分をカットオフ周波数20Hzにて抽出した。この筋電図の低周波成分信号を原信号から差引したものを筋電図信号とした。これらの筋電図のデータを全波整流(絶対値化)した後、次式のように前後50点毎101点の移動平均を取って平滑化した。

$$aveEMG(t) = \frac{1}{101} \sum_{n=-50}^{50} EMG(t+i)$$

%MVC (Maximal Voluntary Contraction)は、ある対象動作が等尺性最大随意筋力(全力で力発揮時)を行った際のどれ程の力に相当するのかを相対的に評価するものである。本研究では測定方法は徒手で行った。すなわち、実験者が徒手で被験者の姿勢を固定し、力発揮方向に対して、抵抗力(レ

ジスタンス)を加え、それに抗って被験者が等尺性の最大筋力発揮を行う方法で計測した。その結果から得られた筋電位の PeakEMG を各被検筋の最大筋力発揮の値とし、各試技の一步ごとの筋電位を次式のように換算し、相対的に評価した。

$$\%MVC = \frac{PeakEMG}{MVC(最大等尺性随意筋力)} \times 100$$

筋電図波形及び荷重センサ波形は、それぞれの波形が安定している歩行周期分の波形を選択し、数式処理ソフト Mathematica9 (Wolfram Research 社製)により行った。

## ② 統計的解析

各筋における試技別の活動水準の差は t 検定を用いた。統計的データ処理には IBM SPSS Statistics 22 を用いた。

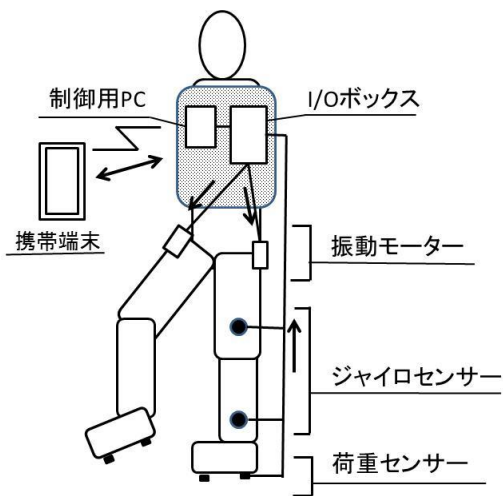


図1 振動刺激歩行回復訓練支援システムの概要図

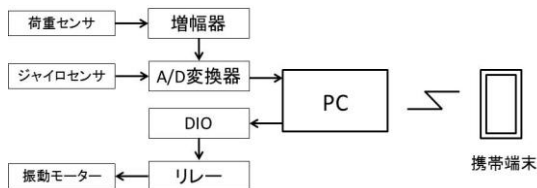


図2 歩行訓練支援システムの信号図

## 4. 研究成果

### (1) 無線振動式歩行訓練支援システムの作成

振動刺激を用いた脳卒中片麻痺患者歩行訓練支援システムの作成を行った。装置の概略図を図1に、信号図を図2に示す。システムでは、足底の踵部とつま先部に1つずつの荷重センサをつけ、接地に伴う荷重変化ならびに下肢に装着したジャイロセンサにより角速度を計測し、この電気信号を増幅ならびにA/D変換後、bluetoothで無線通信することで小型計算機(タブレット端末)に取り込む仕組みとなっている。歩行中の各足の接地・離地信号から各足の立脚・遊脚期を判別し、その状態に応じて身体に取り付けた振動モータで歩行中に振動刺激を与えることが可能である。

振動モータは、直流モータの回転軸に、真鍮製の分銅を偏心させて取り付け、プラスチック樹脂の容器に内蔵されているものである。振動モータの振動周波数は142.5Hzであった。被験者の右脚の膝蓋骨腱に1個バンドで固定した。振動を与える試技の歩行中、常に振動を与えた。

### (2) 歩行計測の結果

このシステムを用いて、健常者の下肢への振動刺激が、下肢筋の筋電位へ与える影響について検討した。

図3は、膝蓋腱への振動刺激の有無による大腿直筋筋電位の差異の例である。この図の実線が振動刺激を加えない場合、破線が加えた場合である。この比較は、一人の被験者の一步についてみたものであるが、この被験者の他の各一步や他の被験者にもこのような差が見られた。

被験者全体の立脚期について、計測した他の3筋も含めた振動刺激の有無によるピーク値の比較を示したものを表1に示す。目隠しなしの条件において、立脚期は振動刺激ありで25.73% MVC、振動刺激なしで

16.11%MVC と振動刺激ありで%MVC が有意に増加していた( $p<.01$ )。遊脚期は振動刺激ありで約 14.88%MVC、振動刺激なしで 12.02%MVC と振動刺激ありで%MVC が有意に増加していた( $p<.05$ )。

目隠しありの条件においては、立脚期は振動刺激ありで 22.08%MVC、振動刺激なしで 24.06%MVC と振動刺激ありで僅かに低下したが有意差は見られなかった。遊脚期は振動刺激ありで 13.71%MVC、振動刺激なしで 17.36%MVC であり振動刺激ありで%MVC が有意に増加していた( $p<.01$ )。

本研究では膝蓋腱に振動刺激を与えた結果、目隠しなしの条件下において大腿直筋の筋活動が立脚期・遊脚期ともに有意に増加する結果を得られた。これは振動刺激により、連続的に伸張反射を誘発させる緊張性振動反射(TVR)が起こったと考えられる。緊張性振動反射(TVR)とは、固有感覚受容器を通して筋紡錘を刺激し、運動ニューロンの活性化を引き起こすという現象である。特に大腿四頭筋は立脚初期の踵接地から立脚中期の膝折れの予防に関与することから、振動刺激を与えることでより立脚中期の膝折れの予防により貢献できるのではと考えられる。遊脚期においては、下肢の振り子運動を減速する働きがありハムストリングスと同時に活動することで股関節と膝関節の安定性を保つ働きがあるため、振動刺激により遊脚期においても大腿直筋の働きを高めることができると考えられる。

また、今回の研究では1つの箇所振動刺激を与えて筋活動の影響を調べたが、膝蓋腱とアキレス腱など複数の箇所を振動させた場合など振動箇所に様々な条件を加えて研究する必要性やリハビリテーションへの応用を考え、麻痺患者の方の歩行もデータの採取が必要となる。

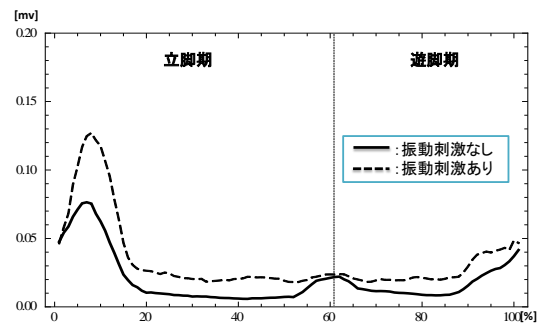


図3 被験者Aの1ステップにおける振動刺激の有無による大腿直筋筋電位の比較

表1 目隠しなし歩行立脚期における各筋の筋電位ピーク値の%MVCの平均値の比較

	振動なし	振動あり	p 値
大腿直筋	16.11	25.73	<0.01
大腿二頭筋	12.84	12.73	n. s.
前頸骨筋	37.64	35.04	n. s.
腓腹筋	59.19	54.55	n. s.

<引用文献>

- 1) 川平和美、片麻痺回復のための運動療法、医学書院、2010、pp.4-13
- 2) 末吉靖宏、下肢装着センサ情報を用いた脳卒中片麻痺患者歩行機能回復支援システムの開発、研究成果報告書、2005
- 3) 戸田香、戸田秀彦、小栗和子、振動刺激が筋活動におよぼす影響について、日本物理療法学会会誌、第17巻、2010、pp.61-64.
- 4) 内藤裕子、熊川大介、松本高明ら、振動刺激下での筋力トレーニングの効果について、国士館大学体育研究所報、30、2011、pp.53-56.
- 5) Verschueren, S., Swinnen, S., Desloovere, K., Duysens, J., Vibration-Induced changes in EMG during human locomotion, J. Neurophysiol., 89, 2003, pp.1299-1307.
- 6) Roll JP, Vedel JP, Kinaesthetic role of muscle afferents in man, studied

by tendon vibration and microneurography. *Exp. Brain. Res.* 47, 1982, pp.177-190.

- 7) 岩月宏泰、室賀辰夫、金井章ら、振動刺激が拮抗筋の運動ニューロン興奮性に与える影響—運動周波数による比較—、*理学療法学* 第18巻第1号, 1991, pp.41-44.

5. 主な発表論文等

該当なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

末吉 靖宏 (SUEYOSHI YASUHIRO)  
鹿児島大学・法文教育学域教育学系・教授  
研究者番号：30196688

(2) 研究分担者

下堂 蘭 恵 (SHIMODOUZONO MEGUMI)  
鹿児島大学・医歯学域医学系・教授  
研究者番号：30325782