

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：33111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K01516

研究課題名（和文）脳内、身体表現マーカの融合による装具評価法の開発

研究課題名（英文）Development of orthosis evaluation method by fusion of brain and body expression markers

研究代表者

勝平 純司（Katsuhira, Junji）

新潟医療福祉大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：00383117

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：脳卒中片麻痺者の歩行パフォーマンスの変化は運動学、運動力学的なパラメータの評価により行われているが、脳活動の変化も併せて分析することで最適なりハビリテーションプログラムの選択や使用する装具の選択につながる可能性がある。

本研究の目的は三次元動作分析装置から得られるパラメータ（身体表現マーカ）とfNIRSから得られる脳神経学的パラメータ（脳内表現マーカ）を融合させた新しい脳卒中片麻痺者の評価手法を確立し、装具の使用が身体と脳機能に与える影響を明らかにすることである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において特定の領域の脳活動を歩行時に低く抑えられる脳卒中片麻痺者は歩行パフォーマンスの向上や維持に重要な足関節底屈モーメントを大きく発揮できることが分かった。足関節底屈モーメントの発揮を促すようなリハビリテーションプログラムを実施するとき、特定の領域の脳活動をモニタリングすることができれば、効果的なリハビリテーションを提供できるようになる可能性がある。また、特定の脳活動の領域を低く抑えつつ、足関節の底屈モーメントの発揮を促すことができるような新しい短下肢装具の開発や評価にも本指標を用いることができる。本評価方法については権利化することを予定している。

研究成果の概要（英文）：Changes in gait performance of stroke hemiplegic patients are often evaluated by using kinematic and kinematic parameters. However, additional analyses of changes in brain activity might be beneficial to select the optimal rehabilitation program and to choose an orthosis to be used.

The purposes of this study are to establish a new evaluation method for stroke hemiplegic patients by fusing parameters obtained from a 3D motion analysis system (body expression markers) and neurological parameters obtained from fNIRS (in-brain expression markers) and to clarify the effects of using orthosis on body and brain function using the new evaluation method.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：バイオメカニクス 脳卒中片麻痺 脳活動 装具

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

脳卒中片麻痺者(以下片麻痺者)の多くは麻痺側の上下肢の障害のみならず、体幹機能障害を有し、体幹姿勢調節の異常がみられる。リハビリテーションにおいて片麻痺者の体幹機能改善を目指して様々な介入が行われているが、その多くが運動療法によるものであり、片麻痺者の体幹姿勢改善を目的とした体幹装具療法はほとんど行われていない。

我々は、前かがみ姿勢の矯正、腹筋活動の維持などに効果を発揮する抗力を具備した継手付き体幹装具 Trunk Solution (以下 TS) を開発し、2014 年に Good Design 賞を(図 1)、2013 年には特許を取得した(登録番号: 5413891 号)。TS は継手の発揮する力が胸部を後方に回転させ、骨盤を前傾させる抗力を与え、かつ腹筋の活動を高めて歩行パフォーマンスの向上に寄与する。

TS を片麻痺者に装着することで体幹が伸展位となり、外した後に前遊脚期の麻痺側ステップ長が増加した<sup>2)</sup>。また、Gait Solution (以下 GS) は底屈制動モーメントを与えて主に立脚期前半に効果を発揮するが、TS を併用することで前遊脚期の麻痺側足関節底屈モーメントが増加するという相乗効果が得られることも確認した(図 2)。

Miyai らは脳卒中片麻痺者の歩行時の脳活動を機能的近赤外線分光法(fNIRS)を用いて測定し、リハビリテーション前後における脳機能の回復過程を明らかにしている<sup>3)</sup>。Miyai らの研究ではトレッドミル上での歩行時の脳活動のみを評価しており、運動学、運動力学的なパラメータと脳活動を組み合わせた評価は行っていない。

我々の先行研究では主に三次元動作分析装置や筋電図といった身体表現マーカのみを利用して片麻痺者の詳細な歩行分析を行ってきたが、GS 使用時や TS を外した後に残存する歩行パフォーマンスの変化はバイオメカニクス的な要因だけではなく、脳機能の変化による影響も受けられていると考えられる。飯田らは脳卒中片麻痺者におけるプラスチック製短下肢装具使用の効果を fNIRS により明らかにしているが、詳細な運動学、運動力学的なパラメータを用いた歩行分析は行っていない<sup>4)</sup>。

### 2. 研究の目的

本研究は我々が独自に開発した抗力を具備した継手を有する体幹装具 TS と短下肢装具を片麻痺者に使用させ、三次元動作分析装置から得られるパラメータ(身体表現マーカ)と fNIRS から得られる脳神経学的パラメータ(脳内表現マーカ)を融合させた新しい評価手法を確立し、TS と短下肢装具の使用が身体のみならず脳機能に与える影響を明らかにすることである。



図 1 Trunk Solution<sup>1)</sup>



図 2 短下肢装具 GS との併用

### 3. 研究の方法

健常者を対象としたプロトコルや解析方法を決定するための計測を十分に実施した後、以下のような方法を構築し、実験を行った。

#### 3.1 対象

脳卒中片麻痺者 8 名とした。脳卒中片麻痺者の情報について表 1 に示す。

表 1 被験者の特性

ID	年齢	性別	身長(cm)	体重(kg)	疾患名	麻痺側	下肢Br-stage	発症後期間(年)
A	78	女性	156	53.4	左放線冠梗塞	Rt		0.96
B	55	女性	158	48.7	左放線冠梗塞	Rt		1.48
C	46	男性	170	79.0	左被殻出血	Rt		1.16
D	71	男性	160	54.0	左被殻出血	Rt		>10
E	65	男性	170	68.0	右被殻出血	Lt		>10
F	38	男性	170	61.5	右放線冠梗塞	Lt		2.64
G	49	男性	163	68.4	右被殻出血	Lt		1.61
H	47	女性	164	61.0	右被殻出血	Lt		2.78

### 3.2 計測方法

脳神経学的パラメータの計測には fNIRS 装置 (Spectratech OEG-17APD) を用いた。脳波電極配置は国際 10-20 基準点に従い、Cz を基準に 24 個のプロープを配置した。ホルダーは 3×8 のものを用いた。Cz は左右の耳垂上、鼻根部から後頭隆起の交点に設定した。プロープからデータが得られるように、前もって頭部にネットを被せ、ホルダーの設定後に毛髪をかき分けた。頭部の形状を測定するために、頭部座標位置計測システム (Patriot) を用いた。Patriot では顎を原点として、ペン型の磁気センサーの位置を記録していくことで各チャンネルの座標位置を測定することができる。

運動学、運動力学的パラメータの計測について 2 名の被験者は三次元動作分析装置 (VICON mx, VICON 社)、6 名の被験者は三次元動作分析装置 (VICON621, VICON 社) を用いた。サンプリング周波数はそれぞれ 100Hz と 120Hz とした。またいずれの計測においても床反力計 6 枚 (AMTI 社) を用いた。被験者の身体には Helen Hayes のマーカーセットを参考にして 39 か所の赤外線反射マーカーを貼付した。歩行を実施する際に転倒のリスクが考えられたため、理学療法士が直接介添えはしない状態で被験者の麻痺側後方を追従した。理学療法士は被験者が歩行する床反力計の上に載らないように十分注意した。

### 3.3 計測条件

まず、被験者は約 8m の歩行路を TS の有無で快適歩行速度にて 5 試行歩行した。7 名は短下肢装具装着で 1 名のみ裸足にて歩行した。その際に三次元動作分析装置と床反力計を用いて、床反力計上とその前後 1.5m を含む範囲で各被験者の歩行パフォーマンスと運動学、運動力学的なパラメータを計測した。

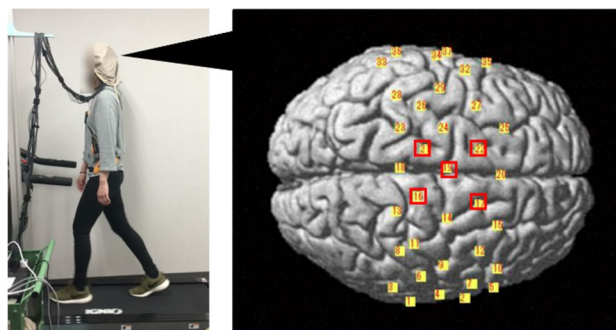
次に被験者は fNIRS 装置のプロープを装着した後にトレッドミル上に移動し、50 秒の静止立位の後で 40 秒間の歩行と 40 秒間の静止立位を 5 セット行った (図 3)。TS の有無の条件によってこれを 1 回ずつ実施した。歩行時は安全ため、トレッドミルの両側のバーを握ることを許したが、極力バーには触れないように指示をした。転倒防止の配慮のために理学療法士が被験者の後方に立ち、両手を触れない状態で骨盤付近に配置することでバランスを崩した際のリスク管理を実施した。

### 3.4 解析方法

運動学、運動力学的パラメータの分析には Visual3D version6 (C-motion 社) を用いた。マーカーの座標値と床反力計の計測値にそれぞれ 6Hz と 18Hz のローパスフィルターをかけた。マーカーの座標値を用いて足関節、膝関節、股関節、骨盤および体幹の角度をオイラー角を用いて算出した。また、マーカーの座標値と床反力データを組み合わせた逆動力学分析を実施し、足関節、膝関節、股関節の関節モーメントを算出した。歩行周期中立脚期を立脚初期：ローディングレスポンス、立脚中期：ミッドスタンスとターミナルスタンス、立脚後期：プレスウィングの 3 相の三相に分けて各層の最大値と最小値を抽出した。

fNIRS 装置による測定後、頭部座標位置計測システムにて測定されたチャンネル位置 24 点の 3 次元座標を作成した計算プログラム用の入力データに変換した。その後、各被験者の脳座標を標準脳にセンサー位置をマッピングし、各チャンネルの解剖学的な領域への寄与確率を算出した。安定的に計測ができた補足運動野 (Supplementary Motor Area, SMA) の活動について中心的に解析を実施した。脳活動の測定にかかわる計算プログラムについてはすべて Matlab (MathWorks 社) を用いて作成した。

身体表現マーカーと脳内表現マーカーの関係を調べるために、TS の有無で得られた運動学、運動力学的パラメータと SMA 領域の脳活動パラメータを対象として Spearman の順位相関分析を実施した。有意水準は 5% とした。



□ SMA のチャンネルとして採用

図 3 脳活動の計測方法とプロトコール

#### 4. 研究成果

まず、本研究結果について表2および表3に示す。身体表現パラメータとして計測した体幹と骨盤の角度、麻痺側の下肢関節モーメントと脳内表現パラメータとして計測した SMA の活動の相関関係を調べた結果、TS の装着の有無にかかわらず、立脚中期の麻痺側の足関節底屈モーメントと SMA の活動の間に強い負の相関関係が認められた。これらは、SMA の活動が低い者ほど足関節底屈モーメントが大きいという結果になっていた。また、TS なしでは立脚後期においても麻痺側の足関節底屈モーメントと SMA の活動の間に強い負の相関関係が認められた。TS ありでは骨盤角度と SMA の間に強い相関関係が認められた。SMA の活動が低い者ほど骨盤の前傾角度が大きいという結果になっていた。

片麻痺者の麻痺側足関節底屈モーメントの低下は歩行パフォーマンスの低下につながるため<sup>5)</sup>、リハビリテーションにおいて片麻痺者の歩行時に麻痺側足関節底屈モーメントを増加させることは重要である。先行研究では足関節以外の関節に着目し、股関節を伸展させることが足関節底屈モーメントの発揮に重要であることが報告されているが<sup>6)</sup>、身体表現パラメータである運動学、運動力学的なパラメータのみの分析にとどまっていた。本研究では SMA の活動が低い者ほど、足関節の底屈モーメントを大きく発揮できることを示すことができた。SMA は姿勢調節に重要な役割を果たす部位として知られる。SMA の活動が低い状態で歩行できる片麻痺者は姿勢調整に対する要求が少ないため、片麻痺歩行で重要な役割を果たす麻痺側の足関節底屈モーメントが発揮しやすいと解釈することができる。TS 装着時には骨盤の前傾角度が大きいものほど SMA の活動が低くなるという結果も得られた。片麻痺者は骨盤後傾を伴う不良姿勢を呈することが多い。TS 装着によって歩行時の骨盤のアライメントが修正できるようになると、姿勢調整に重要な役割を果たす SMA の活動が低下すると解釈することができる。

脳活動を測定しつつ足関節底屈モーメントの発揮や骨盤の前傾を促すようリハビリテーションプログラムを実施するとき、SMA の活動をモニタリングすることができれば、効果的なリハビリテーションを提供できるようになる可能性がある。本内容が本研究における最も大きな成果であると考えられる。

今回は短下肢装具装着、TS の有無で身体表現パラメータと脳内表現パラメータの関係について分析したが、今後は被験者数を増やし、短下肢装具の種類の違い、有無、他の体幹装具との組み合わせで関係性がどのように変化するか明らかにする必要がある。

表2 骨盤・体幹角度前傾角度と SMA の活動の関係

	TS なし	TS あり
骨盤角度と SMA の活動	0.261	<b>0.857*</b>
体幹角度と SMA の活動	0.261	0.666

\*p<0.05

表3 下肢関節モーメントと SMA の活動の関係

		TS なし	TS あり
股関節モーメントと SMA の活動	立脚初期	-0.547	-0.285
	立脚中期	-0.023	-0.666
	立脚後期	0.071	0.119
膝関節モーメントと SMA の活動	立脚初期	-0.119	0.000
	立脚中期	0.047	0.000
	立脚後期	-0.285	-0.238
足関節モーメントと SMA の活動	立脚初期	-0.642	-0.38
	立脚中期	<b>-0.880*</b>	<b>-0.833*</b>
	立脚後期	<b>-0.833*</b>	-0.714

\*p<0.05

## 参考文献

- 1) <https://www.g-mark.org/award/describe/40748?token=j9ild1ZNu9>
- 2) KATSUHIRA, Junji, et al. Efficacy of a newly designed trunk orthosis with joints providing resistive force in adults with post-stroke hemiparesis. *Prosthetics and orthotics international*, 2016, 40.1: 129-136.
- 3) MIYAI, Ichiro, et al. Longitudinal optical imaging study for locomotor recovery after stroke. *Stroke*, 2003, 34.12: 2866-2870.
- 4) 飯田修平, 青木主税, 池田喜久子, 石田健太, 宮坂稜平, 井上正雄. 短下肢装具の有無による大脳皮質表層血流動態の比較. *日本義肢装具学会誌*, 2015, 31.2: 120-125.
- 5) KIM, C. Maria; ENG, Janice J. The relationship of lower-extremity muscle torque to locomotor performance in people with stroke. *Physical therapy*, 2003, 83.1: 49-57.
- 6) PETERSON, Carrie L., et al. Leg extension is an important predictor of paretic leg propulsion in hemiparetic walking. *Gait & posture*, 2010, 32.4: 451-456.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 KATSUHIRA, Junji, et al.	4. 巻 13
2. 論文標題 Immediate synergistic effect of a trunk orthosis with joints providing resistive force and an ankle foot orthosis on hemiplegic gait.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Clinical interventions in aging	6. 最初と最後の頁 211-220
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Makoto Watanabe, Junji Katsuhira
2. 発表標題 Effect of a newly designed wearable device on hemiparetic gait at having different levels of paralysis severity
3. 学会等名 Prosthetics and Orthotics Empowering Asia 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
研究分担者	松平 浩  (Masudaira Ko)  (10302697)	東京大学・医学部附属病院・特任教授    (12601)	
研究分担者	山本 澄子  (Yamamoto Sumiko)  (30302102)	国際医療福祉大学・医療福祉学研究所・教授    (32206)	
研究分担者	四津 有人  (Yozu Arito)  (30647368)	東京大学・医学部附属病院・特任研究員    (12601)	

## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	大村 優慈  (Omura Yuji)  (40709094)	国際医療福祉大学・小田原保健医療学部・助教    (32206)	
研究 分 担 者	岡 敬之  (Oka Hiroyuki)  (60401064)	東京大学・医学部附属病院・特任准教授    (12601)	