

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11306

研究課題名(和文)床外乱刺激バランス応答に着眼した脳卒中片麻痺者の歩行再建に必要な身体機能の解明

研究課題名(英文)Physical functions required for gait reconstruction in hemiplegic stroke patients focusing on balance responses to floor lateral disturbance

研究代表者

加茂野 有徳(Kamono, Arinori)

昭和大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：70551232

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、脳卒中片麻痺者が歩行能力を再獲得するために必要な身体能力として、歩行時の左右脚間の体重移動と床反力に対する応答に係る側方バランス機能に着目し、左右方向への床外乱刺激に対するバランス応答を明らかにすることを目的とした。COVID-19感染拡大に伴う研究環境の制約により、脳卒中片麻痺者を対象とした実験実施が困難であったため、健常成人を対象に、高齢者や障害者を想定した視覚条件を設定する実験を行った。床が側方へ移動する外乱に対する筋活動開始時刻では、左右の前脛骨筋・左脊柱起立筋・右下腿三頭筋で、筋活動開始時刻と視覚条件により変化することを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、健常者の視覚条件を変化させ、側方外乱に対する動的立位バランスの筋活動量、筋活動開始時刻を調べた。その結果、右外乱に対する筋活動開始時刻では、左右の前脛骨筋・左脊柱起立筋・右下腿三頭筋で、開眼条件より閉眼条件で有意に早くなったため、側方外乱での筋活動開始時刻と視覚条件に関連があることが示された。

本研究で得られた知見を元に、改めて側方への床外乱刺激による足部への外力応答を力学的に解析する実験環境を構築し、片麻痺者や高齢者の外乱応答の特性と、視覚入力に及ぼす影響を明らかにしたい。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on the lateral balance function, which is related to the weight transfer between the left and right legs during walking and the response to the ground reaction force, as a physical ability necessary for hemiplegic stroke patients to restore walking ability. The purpose of this study was to clarify the balance response to directional floor disturbance stimuli. Due to the restrictions in the research environment due to the spread of COVID-19, it was difficult to conduct experiments on hemiplegic stroke patients. It was confirmed that the start time of muscle activity in response to the lateral disturbance that floor moves to the right changes depending on visual conditions in the left and right tibialis anterior muscle, left erector spinae muscle, and right triceps muscle.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：姿勢制御 視覚入力 床側方移動 運動障害 リハビリテーション

### 1. 研究開始当初の背景

年間 20 万人以上が発症する脳卒中患者において、片麻痺は代表的な後遺症であり、その中でも運動麻痺による歩行障害は、脳卒中片麻痺者（以下、片麻痺者）が日常生活を送る上で大きな妨げとなる。したがって、片麻痺者のリハビリテーション（以下、リハ）において、歩行再建と歩行能力向上は、片麻痺者が再び日常生活に戻るための重要なゴールの一つであり、効率的な歩行練習プロトコルの構築が求められている。

片麻痺者の歩行速度が遅くなる要因として、歩幅（ステップ長）の減少が挙げられる。さらに歩幅を左右で分けて考えると、麻痺側での体重支持が困難であるために、健側（非麻痺側）を振り出すのが困難となる片麻痺者が多い。そこで、私たちは最近、回復期リハを行っている片麻痺者の体重移動能力と歩行を経時的に計測、解析し（図 1）、立位における麻痺側への体重移動能力が、歩行能力の向上とともに増大することを明らかにした<sup>1)</sup>。このことより、片麻痺者の左右体重移動能力とバランス機能が歩行能力と関連していることが考えられる。

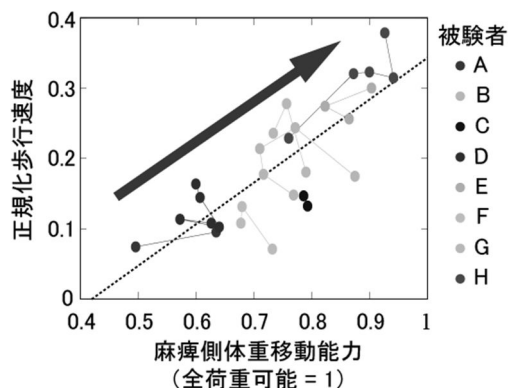


図 1 麻痺側体重移動能力と歩行速度の関係

### 2. 研究の目的

本研究では、側方への床外乱刺激による足部への外乱応答を力学的に解析し、片麻痺者の外乱応答と歩行メカニクスとの関係を示すこととした。

共同研究者の研究室において実施した、健常成人を対象とした予備的な実験結果をもとに、被験者や外乱条件を拡大して実験を行う予定であったが、新型コロナウイルス感染拡大に伴う研究環境の制約（病院施設への立ち入りならびに被験者募集の制限）により実験実施が困難であった。研究環境の大幅な回復は見込めないことから、実験実施環境の見直しと整備を行った。具体的には、研究代表者の所属する研究機関において被験者募集、実験実施が行えるよう、外乱装置駆動環境の整備と被験者募集の準備を行い、健常成人を対象に、高齢者や障害者を想定した視覚条件を設定する実験を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 被験者

被験者は若年健常男性 6 名（21-23 歳）とした。被験者はいずれも神経系の疾患がなく、下肢に整形外科的既往のない者とした。被験者に対しては、事前に書面を用いて実験の主旨、方法、プライバシー保護について十分な説明を行い、実験協力に関する承諾を文書で得た。本研究は、昭和大学における人を対象とする研究等に関する倫理委員会の承認を得て実施した（承認番号：22-039-A）。

#### (2) 使用機器および実施手順

##### 視覚条件

視覚条件は、「開眼」、アイマスク着用による「閉眼」、視野狭窄ゴーグル（疑似体験セットまなび体・高齢者用 ver.2 特殊眼鏡、特殊衣料）を用いた疑似的な「視野狭窄」の 3 条件とした。

##### 立位重心動揺

床反力計（Kistler, 900mm×600mm）を用いて測定した。被験者を、上半身裸で指定のスパッツを着用させ、床反力計上に足部を肩幅に開き、30 秒間、前方の一点を見つめ静止立位をとるよう指示した。各視覚条件における静止立位での重心動揺軌跡を分析した。

##### 床外乱刺激

本研究の床外乱刺激実験の外観を図 2 に示す。外乱提示装置（竹井機器工業, S-14177）上で被験者に立位をとるよう指示し、予告なしに側方床外乱刺激を与えた。本装置は、2 つのサーボモーターが同時に駆動し、スライドテーブルを移動させる。外乱装置は、制御ソフトをインストールした専用の PC で制御される。本研究では、左右各 6 試行の 300 mm/秒の外乱（変位量：200 mm）を発生させた。外乱終了後は 10 秒の一定時間待機し、その後 100 mm/秒で中央の基準位置にゆっくりと移動させた。外乱方向や提示タイミングはランダムに変更した。



図 2 床外乱刺激実験の様子

スライドテーブルの変位は、床反力計上に貼付した反射マーカで検出した。反射マーカの位置を、3次元モーションキャプチャー（VICON MX, VICON, 赤外線カメラ9台）を用いて、200 Hzで計測した。

被験者を、各視覚条件において上半身裸で指定のスパッツを着用させ、次項で述べる筋電計電極を貼付した状態で、スライドテーブル上に足部を肩幅に開いた立位をとるよう指示した。その際、外乱時の転倒を防ぐためのハーネスを着用した。

#### 筋活動

床側方外乱に対する筋活動応答を、表面筋電計（テレマイオ DTS, Noraxon）を用いて計測した。表面電極を、両側の腹直筋、脊柱起立筋、中殿筋、長内転筋、前脛骨筋、下腿三頭筋、長腓骨筋の7筋に貼付した。サンプリング周波数を1500 Hzとし、モーションキャプチャーと筋電計は、スイッチによるアナログ信号の入力によって同期させた。

#### (3) 処理

##### 立位重心動揺

床反力計により計測される COP 位置座標をとったとき、COP 軌跡の総移動距離を次式より算出した。

$$L = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \left\{ (x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2 \right\}} \quad (1)$$

また、左右（X軸）方向ならびに前後（Y軸）方向の COP 位置動揺の平均を算出するために、COP 軌跡の二乗平均平方根（Root Mean Square: RMS）値を、各成分について次式より算出した。

$$RMS_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad RMS_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (2)$$

ただし、

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (3)$$

##### 外乱に対する筋活動応答

外乱入力時刻を、スライドテーブルの変位が1 mmを越えた瞬間と定義した（図2）。外乱入力時刻を0秒とし、1秒前から3秒後までの期間を切り出し、以下のとおり解析した。筋電計より出力された筋電図信号は、帯域周波数20-350 Hzのバンドパスフィルタをかけた後、全波整流した。外乱に対する筋活動開始時刻は、外乱前500-400 m秒の平均値+3SDを25 m秒間超えていた時刻と定義した。外乱に対する筋活動量は、筋活動開始時刻後100 m秒間の積分値から、外乱前500-400 m秒間の積分値を差し引いた値とした。

以上の処理は、数値計算ソフトウェア（Matlab R2020b, Mathworks）を用いて行った。

#### (4) 統計学的処理

以下の統計学的処理を、JMP Pro16 (SAS Institute) を使用し、有意水準を5%として行った。

##### 立位重心動揺

COP 軌跡の総移動距離、各成分の RMS 値について、Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性の検定を行った後、1元配置分散分析を用いて、視覚条件で比較した。

##### 外乱に対する筋活動応答

筋活動開始時刻、筋活動量について Shapiro-Wilk 検定を用いて正規性の検定を行った後、Wilcoxon 検定を用いて、視覚条件で比較した。

## 4. 研究成果

### 立位重心動揺

静止立位での重心動揺について、30秒間の COP 軌跡の総移動距離は、閉眼、視野狭窄、開眼の順に大きくなったが、3条件間で有意差はなかった。

X軸方向およびY軸方向における COP 軌跡の RMS 値について、3条件間で比較を行った結果、X軸方向の RMS 値は開眼、閉眼、視野狭窄の順に大きくなったが、Y軸方向の RMS 値は視野狭窄、閉眼、開眼の順に大きくなった。いずれも、3条件間で有意差はなかった。

### 外乱に対する筋活動応答

の立位重心動揺の結果において、視覚条件間に有意差がなかったことから、外乱に対する筋活動応答の解析を、開眼と閉眼の2条件間で行った。また、左右各6試行の外乱刺激のうち、各被験者につき右方向への外乱の代表1試行について解析を行った。

外乱刺激に対する筋活動開始時刻の平均値を開眼と閉眼の2条件間で比較した結果、筋活動開始時刻は、左右下腿三頭筋、左右前脛骨筋、左脊柱起立筋において開眼条件に対して閉眼条件で有意に早かった。それ以外の筋では2条件間に有意差はなかったが、開眼より閉眼で筋活動開始時刻が早い傾向にあった。

図3に、外乱に対する筋活動量を、開眼と閉眼の2条件間で比較した結果を示す。全て筋活動量で2条件間に有意差はなかった。しかし、開眼条件に対する閉眼条件の筋活動の増加率は、右脊柱起立筋：127%、左脊柱起立筋：172%、右中殿筋：168%、左中殿筋：231%、右前脛骨筋：200%、左前脛骨筋：197%と、増加傾向にあった。

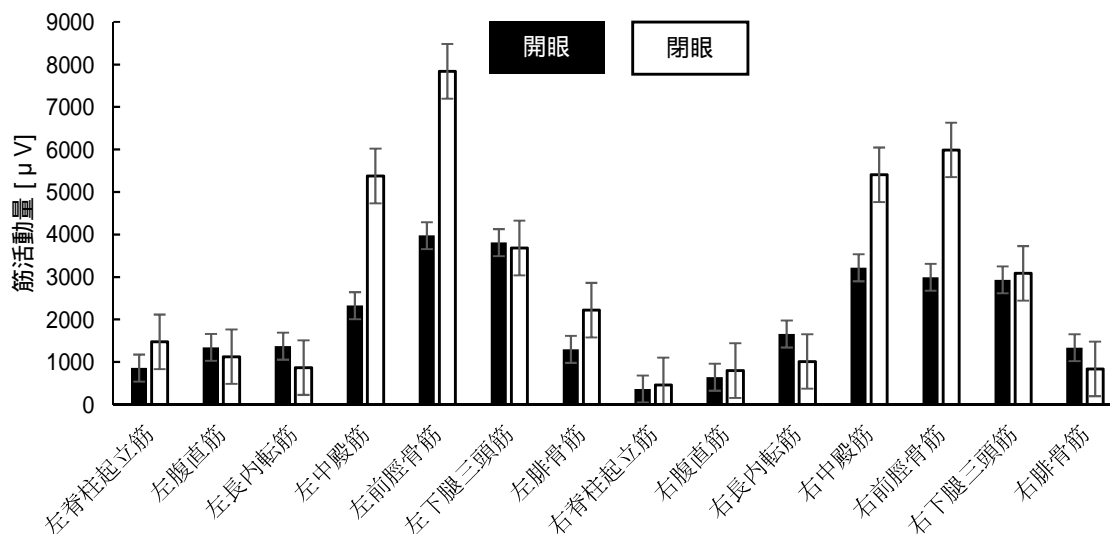


図3 外乱刺激に対する筋活動量の比較

立位重心動揺の各パラメーターに有意差が見られなかった点について、田中ら<sup>2)</sup>は、健常若年者は視覚や体性感覚条件に攪乱があった場合でも著明に立位バランスの動揺量が増加することではなく、対照的に前庭神経もしくは体性感覚障害患者は、正常な感覚情報が入力されない場合に著明に動揺すると報告している。本研究においても、対象が若年健常成人であることから、視覚条件を変化させても動揺量が変化しなかったと考えられる。

筋活動開始時刻が、閉眼で早い傾向にあった点について、和田ら<sup>3)</sup>は、直立姿勢の安定化に中心視野が関与することを報告しており、閉眼で不安定になった立位姿勢制御において筋活動開始時刻が早くなったと考えられる。また、開眼・閉眼ともに外乱に対する中殿筋の筋活動開始時刻が最も速かった点と、荷重側の脊柱起立筋の筋活動開始時刻で有意差が見られた点について、Henryら<sup>4)</sup>は、足関節および膝関節周囲筋の筋条件は前額面のモーメントアームが非常に小さいため、大腿筋膜張筋の活動が、腹直筋および脊柱起立筋の役割と同様に、COGを正中位にすばやく戻す役割をもつと報告している。本研究より、大腿筋膜張筋と同様に股関節外転の作用を持つ中殿筋が先行して活動したと考えられる。また、左脊柱起立筋条件は閉眼により増加した姿勢動揺に対応するために、開眼と比較して閉眼で、筋活動開始時刻が早くなったと考える。

すべての筋活動量に有意差が見られなかった点について、Henryらの先行研究<sup>4)</sup>より、外乱開始後50-100m秒間は、慣性によって身体が外乱と逆方向に動き、外乱開始100-300m秒間は、慣性によって動揺した身体を開始位置に修正するため身体が動くことが分かっている。本研究では、活動開始時刻後100m秒までの筋活動で考えているため、慣性によって身体が動揺した時間での筋活動であると考えられる。よって、視覚入力の影響が関与しないと推察する。よって、本研究では、開眼と閉眼では筋活動量に有意差が見られなかったと考える。

本研究では、健常者の視覚条件を変化させ、静的立位バランスの重心動揺量と側方外乱に対する動的立位バランスの筋活動量、筋活動開始時刻を調べ視覚条件による各パラメーターの変化を検討した。その結果、右外乱に対する筋活動開始時刻では、左右の前脛骨筋・左脊柱起立筋・右下腿三頭筋で開眼条件より閉眼条件で有意に早くなったため、側方外乱での筋活動開始時刻と視覚条件に関連があることが示された。

本研究で得られた知見を元に、改めて側方への床外乱刺激による足部への外力応答を力学的に解析する実験環境を構築し、片麻痺者や高齢者の外乱応答の特性と、視覚入力に及ぼす影響を明らかにしたい。

< 引用文献 >

- 1) Kamono A, Ogihara N. Weight-shift ability significantly correlates with walking velocity in post-acute stroke patients. Proc Inst Mech Eng H. 2018; 232(4): 361-370.
- 2) 田中敏明, 前田佑輔. 高齢者の感覚攪乱時に伴う動的立位バランス能力. バイオメカニズム学会誌. 2015; 39(4): 205-210.
- 3) 和田清, 佐々木修. 直立姿勢制御における視野の影響-身体の動揺の研究 第32報. 耳鼻咽喉科臨床 補冊. 1990; 1990(Supplement38): 37-46.
- 4) Henry SM, Fung J, et al. Control of stance during lateral and anterior/posterior surface translations. IEEE Trans Rehabil Eng. 1998; 6(1): 32-42.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

〔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	荻原 直道  (Ogihara Naomichi)  (70324605)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・教授    (12601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関