

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06434・19K21508

研究課題名（和文）脳卒中片麻痺患者の地域社会における歩行時の転倒発生メカニズムの解明

研究課題名（英文）Dynamic stability control during gait in community-dwelling post-stroke fallers

研究代表者

本田 啓太（Honda, Keita）

東北大学・大学病院・理学療法士

研究者番号：30823314

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：本課題では転倒リスクの高い脳卒中片麻痺患者の歩行時の動的安定性の制御様式と身体活動量を調べた。過去6ヶ月間に転倒歴のある脳卒中片麻痺患者（転倒群7名）、転倒歴のない患者（非転倒群9名）、及び健常高齢者（12名）を対象として、1日あたりの歩数の計測と歩行の3次元動作解析を実施した。身体活動量は群間での相違がなかった。角運動量（身長、体重、及び歩行速度で正規化）は転倒群及び非転倒群の両方で健常高齢者より大きかった。さらに、健常高齢者と比較した場合、転倒群においてのみ、矢状面の角運動量に対する頭部の貢献度が大きく、前額面の角運動量に対する体幹の貢献度が大きかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題は転倒リスクの高い脳卒中片麻痺患者の歩行時の動的安定制御に対する身体各部位の貢献度を分析した初の試みである。本課題では歩行時の動的安定性の指標として近年注目されている歩行時の角運動量を使用した。さらに、実社会での歩行能力（転倒歴の有無）と実験室内での詳細な歩行データ（角運動量）を同時に計測及び分析した点は学術的意義が大きい。本課題の社会的意義は、転倒リスクが高い脳卒中片麻痺患者が、角運動量を制御する際に上半身の貢献度を大きくしていることを明らかにした点である。転倒リスク軽減を目的に開発した装具療法や運動療法の効果を検証する際に注目すべき点を示唆した。

研究成果の概要（英文）：We investigated the control of dynamic stability during walking and physical activity in post-stroke patients with a high risk of falls. Seven post-stroke fallers (experienced fall in past 6-months), nine post-stroke non-fallers (did not experience fall in past 6-months), and twelve age- and gender-matched healthy controls were participated. Steps per day were measured as an indicator of physical activity. Furthermore, gait data were recorded with an eight-camera motion analysis system. There were no significant differences in steps per day among groups. Angular momentum, which was normalized by height, weight, and walking speed, were significantly greater in both post-stroke fallers and non-fallers than that in controls. Furthermore, the contribution of the head to the sagittal plane angular momentum and that of the trunk to the frontal plane angular momentum were significantly larger compared with controls.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：脳卒中片麻痺 歩行 角運動量 転倒 身体活動量

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地域社会における脳卒中片麻痺患者にとって、転倒と歩行自立度低下は重要な問題である。転倒リスクは質問紙を用いて、歩行自立度は身体活動量計によって定量化される 1 日あたりの歩数に置き換えて評価されることが多い。脳卒中片麻痺患者を対象とした先行研究では、転倒リスクと身体活動量の両方に、バランス能力が強く関連したことが報告されている(文献)。しかしながら、脳卒中片麻痺患者の転倒は歩行時に好発するにもかかわらず(文献)、歩行時の動的安定性が低下するメカニズムは未だ不明な点が多い。

歩行障害のメカニズムを明らかにするためには 3 次元動作解析システムが用いられる。従来の方法では、身体質量中心と支持基底面の関係から動的安定性が表現されてきたが、この指標だけでは健常高齢者と脳卒中片麻痺患者の歩行時における動的安定性の相違点を十分に明らかにできなかった(文献)。そこで、本研究構想では、歩行時の動的安定性を評価するために、全身の角運動量に着目した。この物理量は、歩行時の身体重心周りの回転する勢いを表し、健常者の安定した歩行ではゼロに近似するように制御される。脳卒中片麻痺患者の歩行では、麻痺側単脚支持期において、前額面上の角運動量が健常者より大きいことが報告されている(文献)。矢状面に関する我々の先行研究でも同様に健常者より脳卒中片麻痺患者の方が角運動量は大きく、特にそれは非麻痺側単脚支持期に観られた(文献)。以上のように、歩行時における全身の角運動量の評価は、矢状面及び前額面における脳卒中片麻痺患者特有の動的不安定性を定量化できる。

しかしながら、現在のところ、実験室内での動的安定性に関する研究結果と地域社会での歩行能力(転倒歴や 1 日あたりの歩数)との関係は不明である。実験室内での歩行データと地域社会における実際の歩行能力の関係に着目して、転倒歴がある脳卒中片麻痺患者の歩行中の角運動量制御の障害を明らかにすることは、脳卒中片麻痺患者の歩行自立度低下のメカニズムの解明の一助となり得る。

2. 研究の目的

本研究では、転倒歴のある脳卒中片麻痺患者、転倒歴のない患者、及び健常高齢者の中で歩行時の角運動量制御及び身体活動量に相違があるのかを調べることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 対象

地域在住の脳卒中片麻痺患者 16 名と年齢及び性別の対応した健常高齢者 12 名が本研究に参加した。脳卒中片麻痺患者の取り込み基準は、発症後 6 ヶ月以上経過した初発の片側テント上領域の脳出血または脳梗塞、地域在住、7m 以上の歩行が自力で可能、及び口頭指示に従うことができることとした。健常高齢者の取り込み基準は脳卒中片麻痺患者の取り込み基準の ~ を満たすこととした。

本研究課題は東北大学大学院医学系研究科倫理委員会の承認を受けて実施した。研究参加の前に参加者に対して本研究の内容を紙面及び口頭にて十分説明し、同意と署名を得た。

(2) 測定手順

転倒は「予期せず床へ横たわること」と定義し、過去 6 ヶ月の転倒歴を質問紙によって確認した。身体活動量の定義は 1 日あたりの歩数とした。参加者は夜間及び入浴時を除く連続 5 日間にわたり加速度計 (Actigraph GT9X Link, Pensacola, FL) を腰部に装着し、着脱の時間を紙面に記録した。

動作解析の計測では、まず、反射マーカ 40 点を被験者の身体ランドマークに貼付した。被験者は 7m 歩行路を快適速度で歩行するように指示され、その様子を光学式 3 次元動作解析装置 (MAC 3D, Motion Analysis Corporation, Santa Rosa, CA) で計測した。計測区間は 7m 歩行路の中央 2m とした。脳卒中片麻痺患者は普段使用している装具を使用して計測した。

(3) データ解析

1 日あたりの歩数は、計測した歩数データを各被験者で平均して算出した。

収集した 3 次元座標値と日本人の身体部分慣性係数をもとに、両側の足部、下腿、大腿、上腕、前腕、手部、骨盤、体幹、及び頭部から構成される 15 セグメントモデルを定義した。

矢状面、前額面、及び水平面における全身の角運動量を以下の通り算出した。

$$\overline{WBAM} = \sum_{i=1}^n [(\vec{r}_i^{CoM} - \vec{r}^{CoM}) \times m_i(\vec{v}_i^{CoM} - \vec{v}^{CoM}) + \vec{I}_i \vec{\omega}_i]$$

この式において、 \overline{WBAM} は全身の角運動量、 n はセグメントの数、 \vec{r}^{CoM} と \vec{v}^{CoM} はそれぞれ全身の質量中心位置と速度ベクトル、 \vec{r}_i^{CoM} と \vec{v}_i^{CoM} はそれぞれ i 番目のセグメントの質量中心位置及び速度、 m_i は i 番目のセグメントの質量、 \vec{I}_i 及び $\vec{\omega}_i$ はそれぞれ i 番目のセグメントにおける質量中心周りの慣性テンソル及び角速度を表す。全身の角運動量は身長、体重、及び歩行速度で正規化し、その変化量(最大値と最小値の差)を 1 歩行周期毎に各平面で算出した。

さらに、全身の角運動量に対する身体各セグメントの貢献度を以下の通り算出した。

$$Percent_i = \frac{|SAM_i|}{\sum_{k=1}^n |SAM_k|}$$

この式において、 $Percent_i$ は全身の角運動量に対する*i*番目のセグメントの割合、 SAM_i は*i*番目のセグメントの角運動量、 n はセグメントの数を表す。全身の角運動量に対する各セグメントの割合を1歩行周期毎に平均して代表値とした。全身の角運動量に対する身体各部位が占める割合は上肢(両側の上腕、前腕、及び手部)、下肢(両側の大腿、下腿、及び足部)、体幹、骨盤、及び頭部に分けた。

(4) 統計解析

参加者を転倒歴に基づいて分類し、過去6ヶ月間に1度でも転倒を経験した脳卒中片麻痺患者を転倒群、転倒を経験していない患者を非転倒群とした。健常高齢者の中には転倒経験を有するものは含まれなかったため全ての参加者をコントロール群とした。各変数に関する群間(3水準)の相違点を調べるために、1元配置分散分析を用いて比較した。事後検定にはBonferroni法による多重比較検定を行った。有意水準は5%未満とした。

4. 研究成果

(1) 転倒歴に基づく分類と各群の被験者特性

脳卒中片麻痺患者のうち転倒群は7名(43.75%)、非転倒群は9名であった。年齢(転倒群: 62 ± 8 歳、非転倒群: 59 ± 12 歳、コントロール群: 59 ± 14 歳; $p = 0.843$)、身長(転倒群: 1.68 ± 0.03 m、非転倒群: 1.67 ± 0.10 m、コントロール群: 1.63 ± 0.09 m; $p = 0.497$)、体重(転倒群: 69 ± 11 kg、非転倒群: 71 ± 21 kg、コントロール群: 63 ± 11 kg; $p = 0.441$)及びMini-Mental State Examinationにて評価した認知機能(転倒群: 28 ± 2 点、非転倒群: 29 ± 1 点、コントロール群: 29 ± 2 点; $p = 0.653$)において転倒群、非転倒群、及びコントロール群の相違はなかった。さらに、転倒群と非転倒群の間に麻痺側(転倒群: 右麻痺4例、左麻痺3例、非転倒群: 右麻痺5例、左麻痺4例)及び下肢のBrunnstrom recovery stage(/ / / ; 転倒群: 0/3/2/2例、非転倒群: 1/4/1/3例; $p = 0.694$)に相違はなかった。さらに、1日あたりの歩数(転倒群: $3,552 \pm 3,180$ 歩、非転倒群: $4,867 \pm 4,048$ 歩、コントロール群: $6,554 \pm 2,338$ 歩; $p = 0.146$)は群間で相違がなかった。

(2) 歩行解析

転倒群 ($p = 0.002$) 及び非転倒群 ($p = 0.001$) はコントロール群より歩行速度が有意に遅かった(転倒群: 0.89 ± 0.28 m/s、非転倒群: 0.89 ± 0.28 m/s、コントロール群: 1.35 ± 0.20 m/s)。麻痺側ステップ長は転倒群においてコントロール群より有意に短かった($p = 0.033$)。非麻痺側ステップ長は転倒群 ($p = 0.004$) 及び非転倒群 ($p = 0.002$) においてコントロール群より有意に短かった。ストライド長は転倒群 ($p = 0.015$) 及び非転倒群 ($p = 0.002$) においてコントロール群より有意に短かった。歩行率は転倒群 ($p = 0.015$) 及び非転倒群 ($p = 0.002$) におい

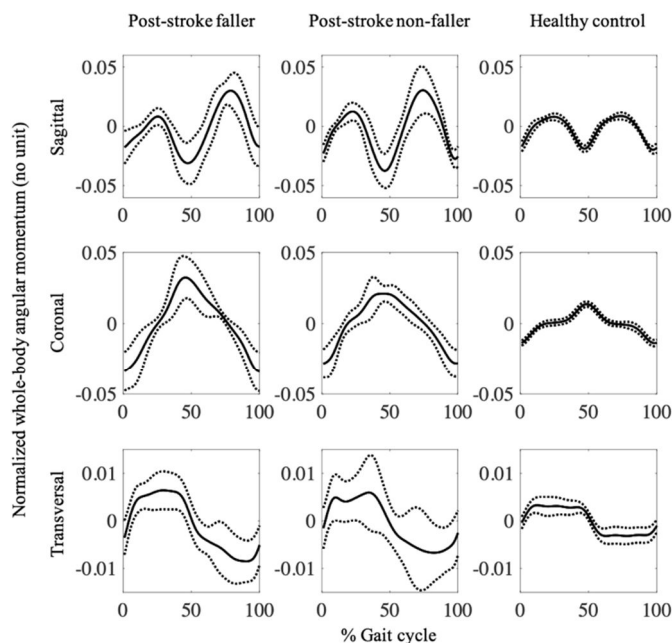


図1. 転倒群(左側)、非転倒群(中央)、及びコントロール群(右側)における全身の角運動量の各群の平均値(実線)と標準偏差(点線)。上段は矢状面、中段は前額面、下段は水平面。横軸は正規化した歩行周期。

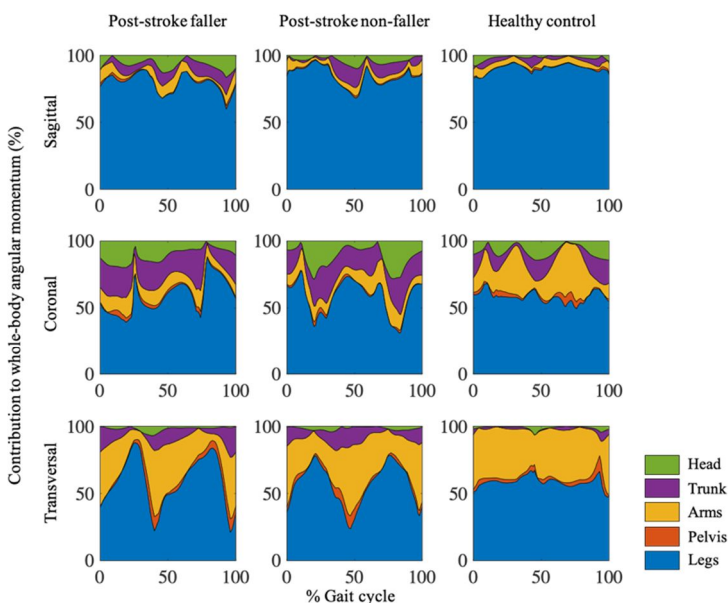


図2. 転倒群(左側)、非転倒群(中央)、及びコントロール群(右側)における全身の角運動量に対する身体各部位の貢献度の典型例。上段は矢状面、中段は前額面、下段は水平面。横軸は正規化した歩行周期。

て有意に短かった。歩行率は転倒群 ($p = 0.015$) 及び非転倒群 ($p = 0.002$) におい

てコントロール群より有意に低値であった。歩隔は群間で相違がなかった ($p = 0.291$)。

1 歩行周期における矢状面、前額面、及び水平面の全身の角運動量の変化パターンは脳卒中片麻痺患者と健常者で相違がなかったが、その変化量に相違を認めた (図 1)。矢状面における全身の角運動量は転倒群 ($p = 0.010$) 及び非転倒群 ($p = 0.003$) においてコントロール群より有意に大きかった (転倒群: 0.72 ± 0.29 no unit、非転倒群: 0.75 ± 0.36 no unit、コントロール群: 0.33 ± 0.01 no unit)。前額面における全身の角運動量も同様に転倒群 ($p < 0.001$) 及び非転倒群 ($p = 0.006$) においてコントロール群より有意に大きかった (転倒群: 0.71 ± 0.30 no unit、非転倒群: 0.59 ± 0.02 no unit、コントロール群: 0.29 ± 0.003 no unit)。コントロール群と比較すると、水平面における全身の角運動量は転倒群 ($p = 0.089$) において大きな傾向があり、非転倒群 ($p = 0.025$) において有意に大きかった (転倒群: 0.02 ± 0.01 no unit、非転倒群: 0.02 ± 0.01 no unit、コントロール群: 0.008 ± 0.003 no unit)。

1 歩行周期における全身の角運動量に対する身体各部位の貢献度の変化パターンに関して、各群の典型例を示した (図 2)。矢状面における全身の角運動量に対する貢献度は下肢 ($p = 0.001$)、体幹 ($p = 0.001$)、及び頭部 ($p = 0.001$) で群間の相違を認めた (表 1)。転倒群 ($p = 0.001$) 及び非転倒群 ($p = 0.022$) における下肢の貢献度はコントロール群より有意に低値であった。体幹の貢献度は転倒群 ($p = 0.002$) 及び非転倒群 ($p = 0.011$) において有意に高値であった。頭部の貢献度は転倒群においてのみコントロール群より有意に高値であった ($p = 0.001$)。

前額面における全身の角運動量に対する貢献度は上肢 ($p = 0.014$) 及び体幹 ($p = 0.010$) で群間の相違を認めた (表 1)。転倒群 ($p = 0.034$) 及び非転倒群 ($p = 0.047$) における上肢の貢献度はコントロール群より有意に低値であった。体幹の貢献度は転倒群においてのみコントロール群より有意に高値であった ($p = 0.015$)。

水平面における全身の角運動量に対する貢献度は体幹においてのみ群間の相違を認めた ($p < 0.001$; 表 1)。転倒群 ($p = 0.004$) 及び非転倒群 ($p < 0.001$) における体幹の貢献度はコントロール群より有意に高値であった。

(3) 本研究の成果と今後の展望

本研究の結果、転倒歴のある脳卒中片麻痺患者と転倒歴のない患者の間に、歩行時の全身の角運動量の大きさに相違はないが、その制御様式に相違があることを示した。特に、前額面の全身の角運動量に対する体幹の貢献度が大きくなることは、転倒リスクが高い脳卒中片麻痺患者の歩行制御の特徴であった。したがって、脳卒中片麻痺患者の転倒リスクを評価する場合には歩行中の全身の角運動量の大きさだけでなく、全身の角運動の制御様式に着目することも重要であることが示唆された。

脳卒中片麻痺患者の歩行時における前額面上の体幹運動は麻痺側下肢推進力の低下や麻痺側下肢クリアランス低下を補うための代償動作と考えられている (文献)。前額面における過度な体幹運動の改善が転倒リスク軽減に寄与するかどうかを調べることは今後の課題の一つである。さらに、本研究では転倒発生の前向き調査も実施し、各参加者の実験開始日から 6 ヶ月間観察した。しかしながら、転倒事故が発生したのは 16 例中 2 例のみであったため、実験開始日に収集した過去 6 ヶ月間の転倒歴に基づき分類を行った。今後は本研究に参加した対象者より転倒リスクが高い歩行障害の重度なケースを含めた場合に同様の結果が得られるかどうかを調べる必要がある。

引用文献

T. Xu, L. Clemson, K. O'Loughlin, N.A. Lannin, C. Dean, G. Koh, Risk Factors for Falls in Community Stroke Survivors: A Systematic Review and Meta-Analysis, Archives of physical medicine and rehabilitation, 99(3), 2018, 563–573.

S. Thilarajah, B.F. Mentiplay, K.J. Bower, D. Tan, Y.H. Pua, G. Williams, et al.,

表1. 全身の角運動量に対する身体各部位の貢献度

	転倒群	非転倒群	コントロール群
矢状面 (%)			
頭部	4.6 ± 1.6*	3.4 ± 1.6	2.2 ± 0.5
体幹	5.2 ± 2.2*	4.6 ± 2.1*	2.3 ± 0.3
上肢	4.9 ± 1.2	4.5 ± 1.8	4.2 ± 1.0
骨盤	0.6 ± 0.3	0.6 ± 0.2	0.4 ± 0.1
下肢	84.6 ± 3.8*	86.9 ± 3.9*	90.8 ± 1.4
前額面 (%)			
頭部	12.2 ± 3.1	11.8 ± 2.9	10.3 ± 2.0
体幹	15.0 ± 4.1*	14.0 ± 2.6	10.9 ± 1.8
上肢	12.6 ± 2.5*	13.4 ± 7.0*	19.5 ± 5.0
骨盤	1.5 ± 0.7	1.8 ± 0.9	2.4 ± 1.1
下肢	58.7 ± 5.3	59.1 ± 5.1	56.9 ± 4.0
水平面 (%)			
頭部	2.5 ± 1.6	2.7 ± 2.2	1.2 ± 0.6
体幹	6.0 ± 1.7*	6.6 ± 2.5*	3.1 ± 0.7
上肢	32.3 ± 4.7	31.4 ± 9.8	35.2 ± 4.5
骨盤	2.5 ± 1.0	3.6 ± 2.6	2.2 ± 0.8
下肢	56.6 ± 3.8	55.8 ± 7.8	58.3 ± 4.3

*: コントロール群と比較して有意差あり ($p = 0.05$)

Factors Associated With Post-Stroke Physical Activity: A Systematic Review and Meta-Analysis, *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 99(9), 2018, 1876–1889.

L. Jorgensen, T. Engstad, B.K. Jacobsen, Higher incidence of falls in long-term stroke survivors than in population controls: depressive symptoms predict falls after stroke, *Stroke* 33(2), 2002, 542–547.

P.C. Kao, J.B. Dingwell, J.S. Higginson, S. Binder-Macleod, Dynamic instability during post-stroke hemiparetic walking, *Gait & posture*, 40(3), 2014, 457–463.

C.R. Nott, R.R. Neptune, S.A. Kautz, Relationships between frontal-plane angular momentum and clinical balance measures during post-stroke hemiparetic walking, *Gait & posture*, 39(1), 2014, 129–134.

K. Honda, Y. Sekiguchi, T. Muraki, S.I. Izumi, The differences in sagittal plane whole-body angular momentum during gait between patients with hemiparesis and healthy people, *Journal of biomechanics*, 86, 2019, 204–209.

G. Chen, C. Patten, D.H. Kothari, F.E. Zajac, Gait differences between individuals with post-stroke hemiparesis and non-disabled controls at matched speeds. *Gait & Posture*, 22, 2005, 51–56.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Keita Honda
2. 発表標題 The differences in sagittal plane whole-body angular momentum during gait between patients with hemiparesis and healthy people
3. 学会等名 International Society of Posture & Gait Research (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田啓太
2. 発表標題 歩行速度が低下した脳卒中片麻痺患者の角運動量制御
3. 学会等名 第17回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 本田啓太
2. 発表標題 歩行時の角運動量制御に対する加齢の影響
3. 学会等名 第46回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----