

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：37409

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K19407

研究課題名(和文)脳卒中片麻痺患者の不整地歩行時の安定性制御様式と転倒リスク及び身体活動量の関係

研究課題名(英文)Relationship between dynamic stability control and risk of falling and physical activity during uneven terrain walking in patients with hemiparesis

研究代表者

本田 啓太(Honda, Keita)

熊本保健科学大学・保健科学部・講師

研究者番号：30823314

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000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患者の不整地歩行時の特徴を調べた。研究1では、芝生路面の歩行時において、転倒歴のある脳卒中片麻痺患者は、つま先離地時の骨盤後傾角速度を増大することでつま先クリアランスを高くする特徴があることを明らかにした。研究2では、年齢が高い健康者ほど、柔らかい路面の歩行時に前後方向の動的安定性を高め、これは胸郭前傾角度と初期接地時の足関節底屈角度の増大によることを示した。研究3では、脳卒中片麻痺患者が柔らかい路面の歩行時に健康者と同様に前後方向の動的安定性を高めることがなく、麻痺側立脚期の膝関節最大伸展角度及び非麻痺側初期接地時の足関節角度の調整に問題があることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本課題は、高い転倒リスクが問題となる脳卒中片麻痺患者の不整地歩行時の動的安定性について調べた初の試みである。本課題では、転倒の主な原因である躓きとバランス損失の視点から芝生及び柔らかい路面の歩行時の特徴を調べた。芝丈が30mmの路面では転倒リスクが高い脳卒中患者の骨盤に特徴的な動きがあることや身体動揺を誘発するような柔らかい路面では脳卒中患者が適切に前後方向の動的安定性を制御できないことを明らかにした。これらのことは転倒を予防しながら、屋外活動の範囲を拡大していくために、脳卒中患者の歩行リハビリテーションにおいて注目すべき点を整理することに繋がった。

研究成果の概要(英文)：We investigated the characteristics of gait on uneven terrain for patients with hemiparesis who have high risk of falling. Study 1) revealed that during gait on grass surfaces, patients with a history of falls showed higher toe clearance caused by increasing the angular velocity of posterior pelvic tilt at paretic toe-off. Study 2) showed that older healthy subjects had greater dynamic stability in the anterior-posterior direction during gait on soft surfaces, which was attributed to an increase in thoracic flexion angle and ankle plantar flexion angle at initial contact. Study 3) showed that patients with hemiparesis did not increase dynamic stability in the anterior-posterior direction during gait on soft surfaces, whereas healthy subjects did. In addition, we showed that the lower limb joint kinematics during gait on the soft surface were different between healthy subjects and patients with hemiparesis.

研究分野：リハビリテーション

キーワード：脳卒中片麻痺患者 歩行 転倒 身体活動量 全身角運動量 Margin of stability バイオメカニクス
3次元動作解析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地域在住の脳卒中片麻痺患者の転倒リスクは健常高齢者の約2倍であり(文献) 1年間の転倒発生率は40から58%である(文献)。転倒事故の多くは歩行時に発生する(文献)。身体活動量の低下も脳卒中片麻痺患者の深刻な問題である。脳卒中片麻痺患者群の約7割は1日の平均歩数が5,000歩未満であり、身体活動量の低下は著しい(文献)。

転倒リスクの増大及び身体活動量の低下に影響する因子を調べたメタアナリシスでは、その両方に歩行能力及びバランス能力の低下が関与することが報告された(文献)。脳卒中片麻痺患者の歩行時の動的安定性は、実験室での平地歩行を中心に明らかにされてきた(文献)。一方で、脳卒中片麻痺患者の31.7%は屋外歩行が困難であるにもかかわらず(文献) 砂利道や芝生道などの実際の屋外環境での歩行安定性が脳卒中発症後にどのように変容するのかは不明である。

2. 研究の目的

本研究では、脳卒中片麻痺患者における歩行中の路面変化に伴う動的安定性制御の変容について明らかにすることを目的として、以下の研究課題について調べた。

- 脳卒中片麻痺患者における芝生路面への歩行適応と転倒歴及び身体活動量の関係の解明
- 砂地を想定した柔らかい路面への歩行適応と加齢の関係の解明
- 脳卒中片麻痺患者における柔らかい路面への歩行適応の特徴の解明

3. 研究の方法

脳卒中片麻痺患者における芝生路面への歩行適応と転倒歴及び身体活動量の関係

地域在住脳卒中片麻痺患者20名を対象とした。電話質問による転倒の前向き調査を行ったが1年間での転倒発生が確認されなかったため、歩行計測時点で聞き取りした過去一年間の転倒歴に基づいて、転倒経験群9名と非経験群11名に分類した。

歩行評価は光学式3次元動作解析システム(Motion analysis社製)を用いて実施し、7m直線路を快適速度で歩行するように指示した。路面は典型的な実験室の平地路面(タイル製)と芝丈30mmの芝生路面の2条件とした。動的安定性の評価には、Margin of stability (MoS)(文献)と全身角運動量(文献)を使用し、先行研究に準じて算出した(図1、2)。つま先クリアランスは躓きの危険性を定量化するために算出し、股関節を通る垂線をつま先が通過した時点の床面からつま先までの高さとした。加えて、体幹及び下肢各関節の運動学的変数を算出した。

身体活動量の計測にはActiGraph GT9X Link (ActiGraph LLC製)を使用し、腸骨稜の高さで非麻痺側の前方に装着した。歩行計測実施日の翌日から5日間を計測期間とし、起床時から入浴前までの日中の装着を被験者に依頼した。20名中15名が活動量の計測に参加した。計測歩数の妥当性を確認するために、片道30mの歩行路を1分間歩行した際の歩数を、理学療法士の実測値とActiGraph GT9X Linkの計測値によって評価した。15名中3名は実測値よりも計測値が1/2未満であったため、計測困難例として活動量の分析から除外した。他の参加者の計測値は実測値の98 ± 16%であった。

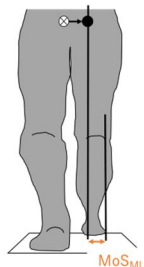
a) Margin of Stability (MoS) の公式

$$XCoM = CoM + \frac{CoMv}{\sqrt{g/l}} \quad g = \text{重力加速度}$$

$$MoS = XCoM - BoS \quad l = \text{下肢長}$$

b) 内外側方向MoS (MoS_{ML})

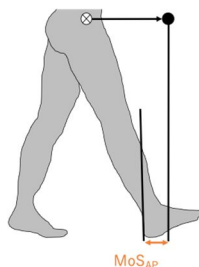
$$\otimes CoM \rightarrow \frac{CoMv}{\sqrt{g/l}} \bullet XCoM$$



安定した歩行では MoS_{ML} が小さい

c) 前後方向MoS (MoS_{AP})

$$\otimes CoM \rightarrow \frac{CoMv}{\sqrt{g/l}} \bullet XCoM$$



安定した歩行では MoS_{AP} が大きい

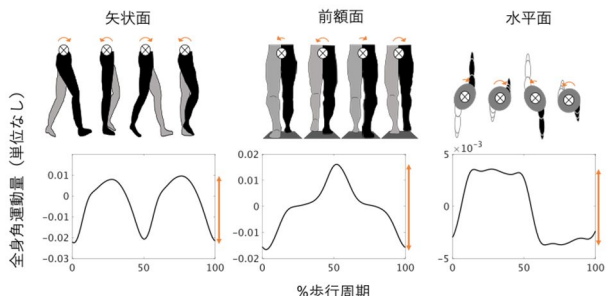
図1. Margin of stability の定義

a) 全身角運動量の公式

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

\vec{r}_i : i番目セグメントの質点中心位置
 \vec{r}_{CM} : 質点中心位置
 m_i : i番目セグメントの質量
 \vec{v}_i : i番目セグメントの質点中心速度
 \vec{v}_{CM} : 身体重心速度
 \vec{I}_i : i番目セグメントの慣性テンソル
 $\vec{\omega}_i$: i番目セグメントの角速度

b) 矢状面、前額面及び水平面の全身角運動量



安定した歩行では全身角運動量の1歩行周期における変化量が小さい

図2. 全身角運動量の定義

柔らかい路面への歩行適応と加齢の関係

地域在住の20歳から80歳までの健常者を対象とした。歩行評価は方法と同様に行い、床面は平地路面と柔らかい床面を想定したマット路面(AIREX mat、酒井医療株式会社製)とした。

脳卒中片麻痺患者における柔らかい路面への歩行適応の特徴

Functional ambulation categoryにて歩行自立と判断された脳卒中片麻痺患者 11 名と健常対照群 11 名を対象とした。歩行評価は方法と同様の手順で行い、床面は平地路面と柔らかい床面を想定したマット路面 (AIREX mat、酒井医療株式会社製) とした。

4. 研究成果

脳卒中片麻痺患者における芝生路面への歩行適応と転倒歴の関係

矢状面、前額面及び水平面における WBAM と前後及び側方方向における MoS について、群間及び条件間での有意な相違点は観察されなかった ($p > 0.05$)。また、身体活動量と動的安定性指標の間に有意な相関関係はなかった ($r = 0.00 \sim 0.42$, $p = 0.201 \sim 0.999$)。なお、本研究の参加者の 1 日あたりの歩数は $4,997 \pm 3,747$ 歩であった。

麻痺側の足部クリアランスには有意な条件の主効果を認め ($p = 0.001$; 図 3)、芝生条件では平地条件よりも股関節直下を通過する足部クリアランスが有意に高値を示した。加えて、麻痺側つま先離地時における下肢運動学的特徴にも有意な条件の主効果を認めた。平地条件と比べて、芝生条件では、骨盤前傾角度 ($p = 0.048$)、股関節外転角度 ($p = 0.013$)、膝関節屈曲角速度 ($p = 0.046$) 及び股関節屈曲角速度 ($p = 0.010$) が有意に高値を示した。

本研究の結果は、脳卒中片麻痺患者が芝丈 30 mm 程度の芝生路面を歩行する際には、麻痺側つま先離地時の股関節及び膝関節屈曲角速度を増大することで、高い足部クリアランスを確保することを示唆した。加えて、転倒歴のある脳卒中片麻痺患者は、芝生路面の歩行時における足部クリアランスを確保するために、骨盤後傾角速度も増大していた。歩行時における麻痺側前遊脚期から遊脚期の骨盤後傾運動は、脳卒中片麻痺患者の異常な運動学的パターンの一つと報告されている(文献)。先行研究において、転倒歴のある脳卒中患者は歩行時に保守的戦略をとることが報告されており、10cm 障害物跨ぎ動作時には身体重心と足圧中心の前後距離が短く(文献)、Timed Up and Go test 中では方向転換時間が長く、ステップ数が多い(文献)。転倒歴のある脳卒中片麻痺患者で観察された骨盤の運動学的変化は、転倒歴のない脳卒中片麻痺患者で観察される麻痺側前遊脚期の運動学的変化に加えて観察されるものである。転倒リスクが高い脳卒中片麻痺患者は、足部クリアランスを確保するために保守的な戦略をとる可能性があり、芝生路面の歩行時における骨盤後傾角速度の増大は転倒リスクの高い脳卒中片麻痺患者の歩行路特徴の一つであることを示した。

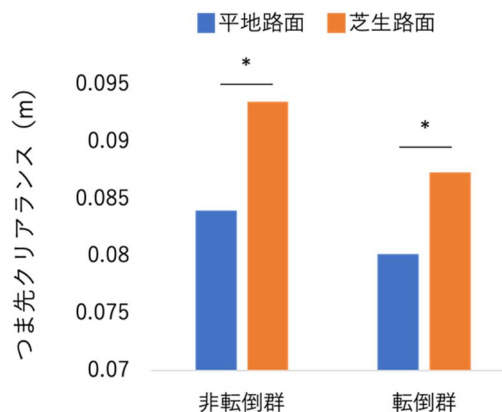


図 3. 平地及び芝生路面における麻痺側つま先クリアランスの比較

柔らかい路面への歩行適応と加齢の関係

内外側方向における MoS について有意な条件間の相違を認め、平地路面歩行時と比べて、柔らかい路面歩行時における内外側方向の MoS は有意に高値を示した (右踵接地時 $p = 0.036$ 、左踵接地時 $p = 0.016$ 、図 4)。内外側方向の MoS に関する平地路面と柔らかい路面での変化量と年齢の間に有意な相関は見られなかった (右踵接地時 $r = 0.22$, $p = 0.324$ 、左踵接地時 $r = 0.19$, $p = 0.387$)。歩隔についても、平地路面歩行時と比べて、柔らかい路面歩行時において有意に高値を示した ($p < 0.001$)。不安定な路面の歩行時に、健常者は内外側方向の MoS の平均値と標準偏差を大きくすることが知られている(文献)。また、健常者と比べて、片側の膝上切断者は、

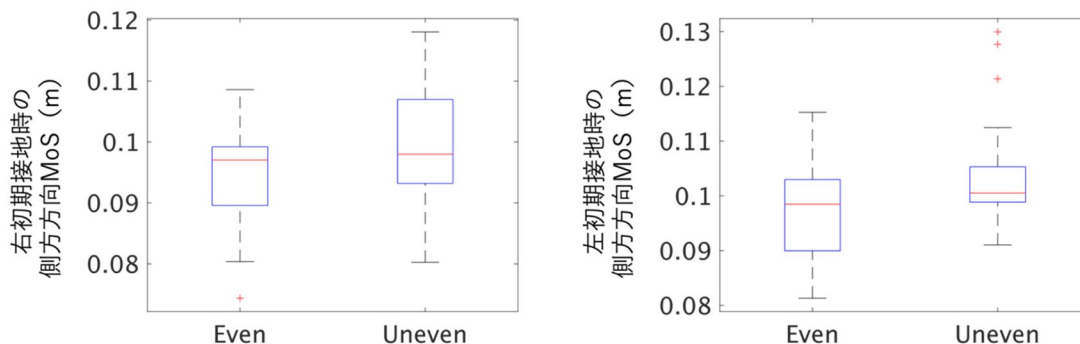


図 4. 側方方向の動的安定性に関する条件間での比較

歩行時に歩隔を広げ、内外側方向の MoS を大きくすることで歩行を遂行している(文献)。本研究の結果は、年齢に関わらず健常者は不安定な路面での歩行を遂行するために、先行研究で報

告されたものと同様の運動学的変化を示した。

前後方向における MoS については有意な条件間の相違を認めなかったが ($p > 0.05$) 前後方向の MoS に関する平地路面と柔らかい路面での変化量と年齢の間に有意な正の相関関係を示した (右踵接地時 $r = 0.62$, $p = 0.002$ 、左踵接地時 $r = 0.60$, $p = 0.003$ 、図 5)。言い換えると、年齢が高い健常者ほど、柔らかい路面の歩行時における前後方向の MoS の増加量が大きかったことを意味する。加えて、下肢及び体幹の運動学的変数に関する条件間での変化量と年齢の間にも有意な相関関係を認め、年齢は胸郭後傾角度の変化量と有意な負の相関を示し ($r = -0.42$, $p = 0.049$)、初期接地時の足関節底屈角度の変化量と有意な正の相関を示した ($r = 0.59$, $p = 0.004$)。すなわち、年齢が高い健常者ほど、柔らかい路面の歩行時における胸郭前傾角度と初期接地時の足関節底屈角度の増加量が大きかったことを意味する。本研究の結果は、不安定な柔らかい路面を歩行する際に、高齢な健常者ほど体幹を前傾させて、前後方向の安定性限界を広げる戦略を選択することを示唆した。

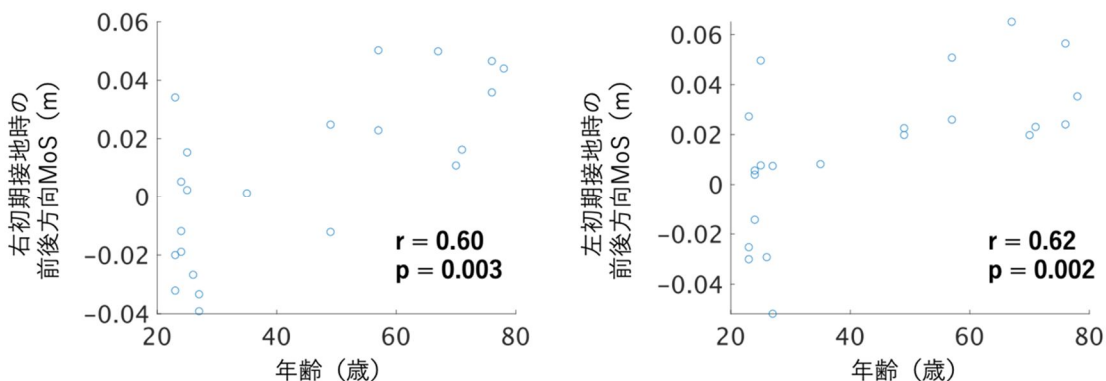


図 5. 前後方向の動的安定性に関する条件間差分 (Uneven 条件 - Even 条件) と年齢の関係

脳卒中片麻痺患者における柔らかい路面への歩行適応の特徴

すべての平面における WBAM 変化量について有意な群の主効果を認め、脳卒中片麻痺患者群は対照群よりもすべての値が高値であった (矢状面 $p < 0.001$ 、前額面 $p = 0.001$ 、水平面 $p < 0.001$ 、表 1)。路面に関する主効果は水平面のみで認め、両群ともに水平面の WBAM は平地より柔らかい路面において有意に高値を示した ($p = 0.001$ 、表 1)。加えて、内外側方向の MoS についても、同様に路面に関する主効果を認めた (麻痺側接地時 $p = 0.013$ 、非麻痺側接地時 $p = 0.025$ 、表 1)。研究成果 や先行研究と同様に、脳卒中片麻痺患者は、健常者と同じく、歩隔と内外側方向の MoS を大きくすることで、不安定な路面での歩行を遂行していた。本研究の結果は、柔らかい路面の歩行時には、障害の有無に関わらず、水平面における WBAM と内外側方向の MoS を増大することが求められる可能性を示した。

前後方向の MoS については有意な交互作用を認め (麻痺側接地時 $p = 0.009$ 、非麻痺側接地時 $p = 0.009$ 、表 1) 健常者と脳卒中患者では路面に応じた運動学的変化が異なることを示した。健常者は前後方向の MoS を柔らかい路面の歩行時に有意に増大したが (左側接地時 $p < 0.001$ 、右側接地時 $p < 0.001$)、脳卒中片麻痺患者では路面に応じた変化が観察されなかった (麻痺側接地時 $p = 0.497$ 、非麻痺側接地時 $p = 0.663$)。胸郭前傾角度については両群ともに柔らかい路面の歩行時に有意な増加を示したが ($p < 0.001$)、下肢については路面に応じた運動学的変化が異なっていた。

麻痺側下肢では立脚期における膝関節最大伸展角度に有意な交互作用を認めた ($p = 0.047$)。柔らかい路面の歩行時に、健常者は立脚期における膝関節最大伸展角度を小さくしたが ($p = 0.004$)、脳卒中片麻痺患者の麻痺側立脚期では膝関節角度の路面状況に応じた変化が観察されなかった ($p = 0.795$)。健常者は柔らかい路面の歩行時に立脚期の膝関節屈曲角度を増大することで、BoS に対する XCoM 位置を前方に変位することによって、前後方向の安定性限界を広げていた可能性がある。麻痺側立脚期における前後方向 MoS を健常者と同様に路面に応じて拡大することが出来なかった一つの要因として、麻痺側立脚期の膝関節伸展角度を適切な姿勢に調整できなかったことが挙げられる。

非麻痺側下肢では初期接地時の足関節角度に有意な交互作用を認めた ($p = 0.008$)。柔らかい路面の歩行時に、健常者は初期接地時の足関節底屈角度を増大したが ($p < 0.001$)、脳卒中片麻痺患者の非麻痺側接地時には足関節底屈角度の増大が見られなかった ($p = 0.679$)。健常者は砂利やレンガのような不整地路面の歩行時に初期接地時の足関節底屈角度を増大することで路面環境に適応することが知られている (文献)。脳卒中片麻痺患者が柔らかい路面の歩行時に非麻痺側接地時における前後方向 MoS を増大できない原因の一つとして、非麻痺側の足部接地パターンが環境に応じて変化しないことが予想される。

表1.平地及び柔らかい路面の歩行時における動的安定性指標に関する各群の平均値(標準偏差)

	脳卒中片麻痺患者		健常者	
	平地路面	柔らかい路面	平地路面	柔らかい路面
1歩行周期あたりの全身角運動量の変化量(単位なし)				
矢状面 ^a	0.069 (0.019)	0.073 (0.021)	0.037 (0.004)	0.036 (0.004)
前額面 ^a	0.066 (0.028)	0.071 (0.029)	0.034 (0.004)	0.036 (0.005)
水平面 ^{a,b}	0.016 (0.007)	0.021 (0.010)	0.009 (0.003)	0.011 (0.004)
Margin of stability (m)				
内外側方向				
麻痺側初期接地 ^{a,b}	0.12 (0.02)	0.13 (0.03)	0.10 (0.01)	0.11 (0.01)
非麻痺側初期接地 ^a	0.10 (0.02)	0.11 (0.02)	0.10 (0.01)	0.10 (0.01)
前後方向				
麻痺側初期接地 ^{a,c}	0.14 (0.05)	0.14 (0.06)	0.16 (0.03)	0.19 (0.04)
非麻痺側初期接地 ^{a,c}	0.14 (0.06)	0.14 (0.06)	0.17 (0.04)	0.20 (0.04)

^a条件の主効果 (p < 0.05), ^b群の主効果 (p < 0.05), ^c条件と群の交互作用 (p < 0.05)

引用文献

- Jorgensen, L., et al. (2002). "Higher incidence of falls in long-term stroke survivors than in population controls: depressive symptoms predict falls after stroke." *Stroke* **33**(2): 542-547.
- Xu, T., et al. (2018). "Risk Factors for Falls in Community Stroke Survivors: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Arch Phys Med Rehabil* **99**(3): 563-573 e565.
- Mackintosh, S. F., et al. (2005). "Falls and injury prevention should be part of every stroke rehabilitation plan." *Clin Rehabil* **19**(4): 441-451.
- Fulk, G. D., et al. (2017). "Predicting Home and Community Walking Activity Poststroke." *Stroke* **48**(2): 406-411.
- Thilarajah, S., et al. (2018). "Factors Associated With Post-Stroke Physical Activity: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Arch Phys Med Rehabil* **99**(9): 1876-1889.
- Nott, C. R., et al. (2014). "Relationships between frontal-plane angular momentum and clinical balance measures during post-stroke hemiparetic walking." *Gait Posture* **39**(1): 129-134.
- Honda, K., et al. (2019). "The differences in sagittal plane whole-body angular momentum during gait between patients with hemiparesis and healthy people." *J Biomech* **86**: 204-209.
- Lord, S. E., et al. (2004). "Community ambulation after stroke: how important and obtainable is it and what measures appear predictive?" *Arch Phys Med Rehabil* **85**(2): 234-239.
- Hak, L., et al. (2013). "Stepping strategies used by post-stroke individuals to maintain margins of stability during walking." *Clin Biomech (Bristol, Avon)* **28**(9-10): 1041-1048.
- DeQuervain, I. A. K., et al. (1996). "Gait pattern in the early recovery period after stroke." *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* **78a**(10): 1506-1514.
- Said, C. M., et al. (2013). "People with stroke who fail an obstacle crossing task have a higher incidence of falls and utilize different gait patterns compared with people who pass the task." *Phys Ther* **93**(3): 334-344.
- Hollands, K. L., et al. (2010). "Kinematics of turning 180 degrees during the timed up and go in stroke survivors with and without falls history." *Neurorehabil Neural Repair* **24**(4): 358-367.
- Barrois, R. P., et al. (2017). "Observational Study of 180° Turning Strategies Using Inertial Measurement Units and Fall Risk in Poststroke Hemiparetic Patients." *Front Neurol* **8**: 194.
- McAndrew Young, P. M., et al. (2012). "Dynamic margins of stability during human walking in destabilizing environments." *J Biomech* **45**(6): 1053-1059.
- Hof, A. L., et al. (2007). "Control of lateral balance in walking. Experimental findings in normal subjects and above-knee amputees." *Gait Posture* **25**(2): 250-258.
- Dixon, P. C., et al. (2018). "Gait adaptations of older adults on an uneven brick surface can be predicted by age-related physiological changes in strength." *Gait Posture* **61**: 257-262.
- Gates, D. H., et al. (2012). "Kinematic strategies for walking across a destabilizing rock surface." *Gait Posture* **35**(1): 36-42.

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 Honda Keita, Sekiguchi Yusuke, Izumi Shin-Ichi	4. 巻 3
2. 論文標題 Effect of Aging on the Trunk and Lower Limb Kinematics during Gait on a Compliant Surface in Healthy Individuals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Biomechanics	6. 最初と最後の頁 103 ~ 114
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/biomechanics3010010	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 本田啓太、関口雄介、出江紳一
2. 発表標題 下肢運動麻痺と至適歩行速度に基づく脳卒中片麻痺患者の歩行安定性の分類
3. 学会等名 第19回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本田啓太、関口雄介、出江紳一
2. 発表標題 転倒経験のある脳卒中片麻痺患者の歩行時の動的安定性と体幹及び骨盤運動の特徴
3. 学会等名 第18回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本田啓太、関口雄介、出江紳一
2. 発表標題 転倒歴のある脳卒中患者の歩行時における路面変化がつま先クリアランスと動的安定性制御に及ぼす影響
3. 学会等名 第20回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------