

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03162

研究課題名(和文) 体重移動による姿勢制御メカニズムに基づく機能的バランストレーニングの開発

研究課題名(英文) Underlying mechanisms of interlimb weight transfer for effective protective stepping against falls

研究代表者

藤本 雅大 (Fujimoto, Masahiro)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：10732919

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：身体側方への素早いステップは転倒に対する重要な防御反応であり、その遅れは転倒リスクを高める。素早くステップを踏み出す上で重要となるステップ前の体重移動に着目し、転倒リスクに影響する要因を認知・筋機能の側面から明らかにすることを目的とした。転倒リスクの高い高齢者と股関節内転筋力の低下した高齢者において、それぞれ反応時間と体重移動時間の延長が、素早いステップを阻害する要因であることが示唆された。ステップ前に効果的に体重を移動し、素早くステップを踏み出すことを可能にするには、反応時間と股関節内転筋力を向上させるトレーニングが有効である可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

転倒を回避するために重要となる、ステップ前の効果的な体重移動を阻害する要因を明らかにした。高齢者では歩行動作や方向転換動作のように、適切な体重移動が要求される動作において、特に転倒の頻度が高い。なかでも、身体左右方向の転倒は、寝たきりや要介護状態を招く主要因である大腿部頸部骨折に繋がる。本研究で得られた研究成果は、高齢者の身体左右方向の姿勢制御能力を向上し、効果的に左右方向の転倒リスクを低減するトレーニングの確立に繋がる。

研究成果の概要(英文)：Rapid sidestepping is a crucial protective action against falls where timing delays are risk factors for falls among older adults. Age-associated delays in lateral step timing may involve deficits in reactive response and/or limited AB-AD muscle capacity. This study investigated the underlying mechanisms of interlimb weight transfer for rapid sidestepping in older adults in relation to fall history and hip AB-AD muscle strength. Older adults with greater fall risk or lower hip adductor strength demonstrated a longer step lift-off time when initiated during the step-limb loading phase. Slower step lift-off was attributable to a longer reaction time for older fallers and a longer weight transfer time for those with lower hip adductor strength. Targeting enhancement of reaction time and hip adductor strength may promote faster protective stepping and reduce fall risk.

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 姿勢制御 体重移動 動作分析 ステップ動作

### 1. 研究開始当初の背景

日常生活の中で生じる転倒とそれに伴う深刻な外傷は、高齢者にとって要介護状態を招く主たる要因の一つであり(Rubenstein and Josephson, 2002), 今の超高齢社会における大きな社会問題である。バランスを崩した際に転倒を回避するには、素早くステップを踏み出しバランスを回復することが重要となるが、高齢者、特に転倒ハイリスク者ではそれが困難となる。転倒経験者ではステップ動作の遂行時間が長く(Ejupi et al.,2014), その延長は将来の転倒リスクにも関連する(Pijnappels et al., 2010)。高齢者の転倒予防に効果的なトレーニングの確立には、素早いステップを阻害する要因の特定が必要と言える。

素早くステップを踏み出すには、支持脚へ効果的に体重を移動する必要がある。高齢者では、ステップ脚を踏み出す際の体重移動に遅れが見られ、それは「体重移動開始の遅延」と「体重移動時間の延長」とに分けられる(Patla et al., 1993)。転倒ハイリスク者では、刺激に対する反応に遅れが見られ、それは複数課題条件など認知的負荷の高い条件下において顕著となる(Lord and Fitzpatrick, 2001)。また、身体左右方向の重心/体重移動には、股関節の内・外転筋が関与しており(Rietdyk et al., 1999), 特に転倒経験者ではそれら筋の機能が低下している(Inacio et al., 2014)。つまり、認知機能に関わる中枢神経系の機能低下が「体重移動開始(反応時間)の遅延」を生み、股関節内外転筋の機能低下が「支持脚への体重移動(体重移動時間)の延長」につながる事で、高齢者は転倒回避に効果的な体重移動が困難となると考えられる。しかしながら、これら機能低下と転倒リスクとの関係性は明らかでない。

### 2. 研究の目的

そこで本研究では、効果的に高齢者のバランス機能を向上させるトレーニングの確立を目指して、素早くステップを踏み出すために必要な体重移動に着目し、転倒リスクに影響する要因を認知・筋機能の側面から明らかにすることを目的とした。転倒経験の有無を含めた機能レベルの異なる個人を対象として、股関節の内・外転筋の活動を要求する側方へのステップ動作を、下肢の荷重状態を動的に変化させる運動課題を付加した複数課題条件下で計測した。

### 3. 研究の方法

認知機能・筋機能の異なる個人における転倒リスクの要因を感度よく検出するために、認知的・力学的負荷の異なる条件間での結果の比較を可能にする実験系を構築し、転倒経験の有無を含めた機能レベルの異なる個人を対象として、視覚刺激に対する素早いステップを要求する実験を実施した。

日常生活は多くの課題に包囲された複数課題環境下であり、単一課題での検査よりも、注意を分散しなければならない複数課題下での検査の方が、より実生活場面での課題遂行能力を反映する(山田, 2013)。そして、複数課題遂行能力の低下した個人において転倒リスクが高い(Lundin-Olsson et al, 1997)。また、高齢者では歩行動作や方向転換動作のように、適切な体重移動が要求される動作において、特に転倒の頻度が高い(Robinovitch et al., 2013)。そのような身体左右方向の重心/体重移動には股関節の内・外転筋が関与しており(Rietdyk et al., 1999), バランスを崩した際の防御反応である身体側方へのステップの遅れは、転倒リスクを高める。しかし、具体的どのような動作局面(下肢の荷重状態)での体重移動および素早いステップが特に困難となるかは明らかでない。以上の観点から、視覚刺激に応じて側方へステップを踏み出すことを要求する選択反応ステップ課題を、下肢の荷重状態を動的に変化させる運動課題(体重移動課題)を追加した複数課題条件下で実施する実験系を新たに構築し(図1), 側方への素早いステップを阻害する要因を、認知機能および筋機能の側面から検討した。

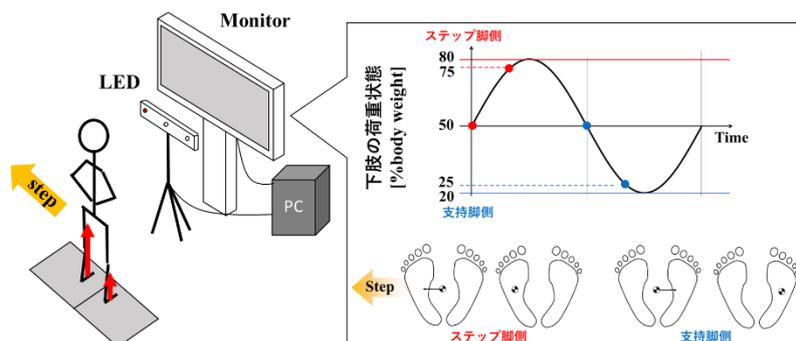


図1 選択反応ステップ課題と体重移動課題とを組み合わせた実験系

#### 4. 研究成果

(1) 従来の「選択反応課題」に「体重移動課題」を加えることで、認知的・力学的負荷の異なる条件間での結果の比較が可能となり、機能レベルの異なる個人の転倒リスクの要因を感度よく検出することに成功した。体重移動課題において、実験協力者個々人の視覚刺激に対する反応時間に応じて体重移動の周期を調整することで、実験協力者間の実験結果のバラツキを低減し、実験条件間の差を検出する事に成功した。構築した実験系により、下記(2)、(3)の成果に示す通り、認知機能・筋機能の異なる個人における転倒リスクの要因を、従来の転倒リスクの評価に用いられる選択反応ステップ課題よりも感度よく検出・評価できる可能性を示した。

(2) 下肢の荷重状態が左右脚で異なる場合の側方への素早いステップ動作を、若年者、転倒経験のある高齢者(転倒経験者)と転倒経験のない高齢者(転倒非経験者)とで比較した。左右の脚に交互に体重をかける課題により左右脚の荷重状態を変化させ、異なるタイミングで提示される視覚刺激に対する素早いステップ応答を比較した。その結果、いずれの実験協力者群においても、ステップ脚が加重状態にある時のステップ応答は、支持脚が加重状態にある時よりも遅延していた。実験協力者群間で比較すると、ステップ脚が加重状態にある時に、転倒経験者が転倒非経験者に比べてステップ応答が遅延する傾向にあった(図2)。そのような遅延は、体重移動課題を付加しない静止立位条件においては見られなかった。転倒リスクの高い高齢者では、体重移動課題を付与した複数課題条件下、特にステップ脚から支持脚に体重移動が要求される条件下において、素早いステップが困難となる事が示唆された。

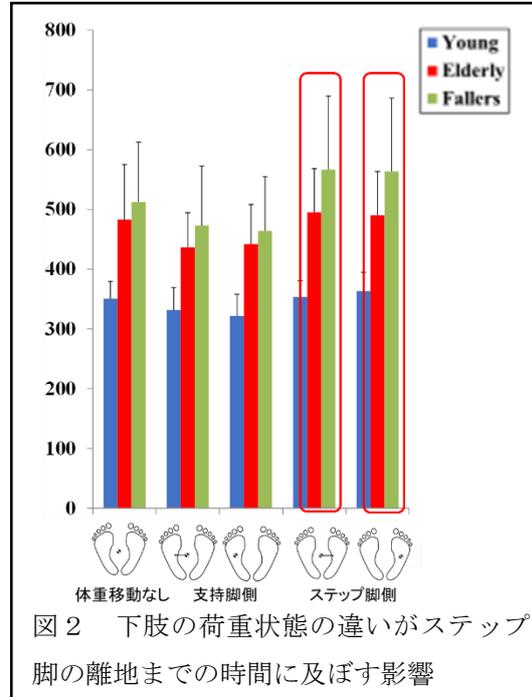


図2 下肢の荷重状態の違いがステップ脚の離地までの時間に及ぼす影響

(3) 高齢者に見られる側方へのステップ動作の遅延の要因を、認知機能および筋機能の側面から明らかにするために、反応時間(認知機能)と股関節内外転筋力(筋機能)が側方への素早いステップ動作に及ぼす影響を調べた。機能レベルの異なる高齢者を対象として、体重移動課題により左右脚の荷重状態を変化させ、異なるタイミングで提示される視覚刺激に対するステップ応答を分析した。転倒経験の有無と股関節内転/外転筋力の高低により高齢者を分類し、視覚刺激に対してステップ脚を踏み出すまでの時間を群間で比較した。その結果、ステップ脚が加重状態にある局面に動き出した際に群間の差は顕著となり、転倒経験のある高齢者と股関節内転筋力の低い高齢者において、ステップ脚を踏み出すまでの時間に遅れが見られた。そのような踏み出しの遅延は、転倒経験のある高齢者では反応時間の遅れに起因していた一方で(図3)、股関節内転筋力の低い高齢者においてはステップ脚を踏み出す際の体重移動の遅れに起因していた(図4)。なお、股関節外転筋力の低い高齢者においては、反応時間、体重移動時間のいずれにおいてもそのような遅れは認められなかった(図5)。側方への素早い動き出しを可能にし、転倒リスクを低減するには、反応時間と股関節内転筋力を向上させるトレーニングが有効である可能性が示唆された。

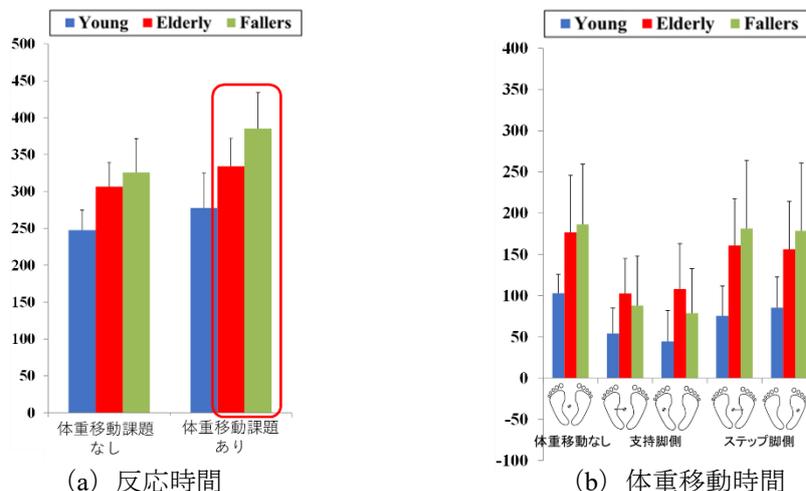


図3 転倒経験の有無が(a)反応時間と(b)体重移動時間に及ぼす影響

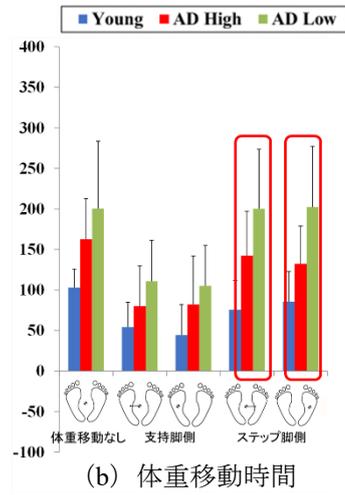
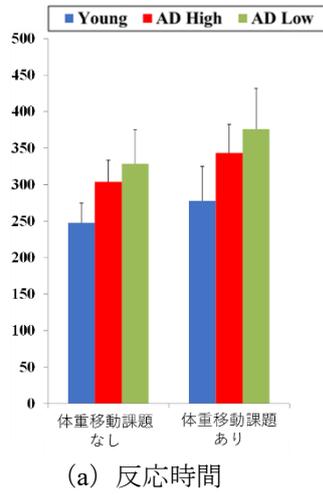


図4 股関節内転筋力の違いが(a)反応時間と(b)体重移動時間に及ぼす影響

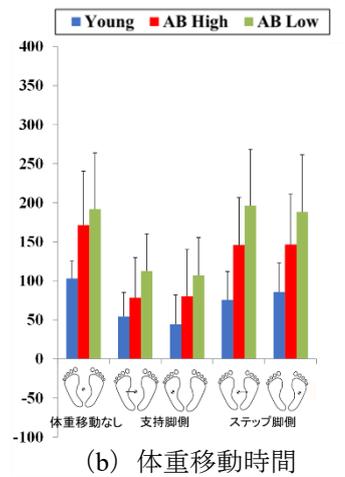
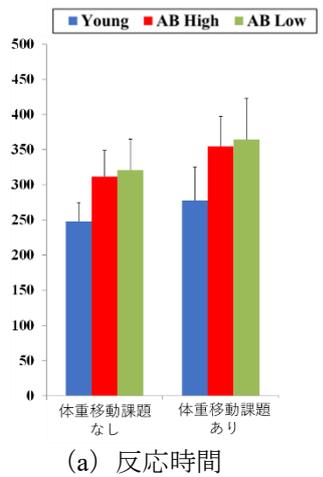


図5 股関節外転筋力の違いが(a)反応時間と(b)体重移動時間に及ぼす影響

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Fujimoto Masahiro, Uchida Eri, Nagano Akinori, Rogers Mark W., Isaka Tadao	4. 巻 3
2. 論文標題 Preparatory Knee Flexion-Extension Movements Enhance Rapid Sidestepping Performance in Collegiate Basketball Players	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Sports and Active Living	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fspor.2021.670649	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 該当する
1. 著者名 Gray Vicki L, Fujimoto Masahiro, Rogers Mark W	4. 巻 100
2. 論文標題 Lateral Perturbation-Induced and Voluntary Stepping in Fallers and Nonfallers After Stroke	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Therapy	6. 最初と最後の頁 1557 ~ 1567
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptj/pzaa109	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Gray Vicki L., Yang Chieh-ling, Fujimoto Masahiro, McCombe Waller Sandy, Rogers Mark W.	4. 巻 71
2. 論文標題 Stepping characteristics during externally induced lateral reactive and voluntary steps in chronic stroke	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 198 ~ 204
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.gaitpost.2019.05.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nishimura T, Imai A, Fujimoto M, Kurihara T, Kagawa K, Nagata T, Sanada K	4. 巻 32
2. 論文標題 Adverse effects of the coexistence of locomotive syndrome and sarcopenia on the walking ability and performance of activities of daily living in Japanese elderly females: a cross-sectional study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physical Therapy Science	6. 最初と最後の頁 227-232
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1589/jpts.32.227	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 -

1. 著者名 Hamaguchi K, Kurihara T, Fujimoto M, Sato K, Iemitsu M, Hamaoka T, Sanada K	4. 巻 17
2. 論文標題 Associations among Bone Mineral Density, Physical Activity and Nutritional Intake in Middle-Aged Women with High Levels of Arterial Stiffness: A Pilot Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijerph17051620	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10件(うち招待講演 2件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 藤本雅大
2. 発表標題 立位時の外乱に対するステップ動作の加齢変化
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム2021 (SICE LE2021) (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 朱天意, 尾形邦裕, 藤本雅大, 松本吉央
2. 発表標題 左右方向のアシストを行う歩行支援ロボットの提案と単一IMUに基づく歩行イベントの検出と予測
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲井卓真, 藤本雅大, 高林和也, 小林吉之
2. 発表標題 転倒経験の有無が歩行中の前額面上の下肢関節モーメントに与える影響
3. 学会等名 第42回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masahiro Fujimoto, Shoma Kudo, and Mark W Rogers
2. 発表標題 Age-associated effect of pre-step interlimb weight shifting on rapid sidestepping is related to fall history and hip strength
3. 学会等名 ISPGR World Congress 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Fujimoto M, Sato M, Nagano A, and Isaka T
2. 発表標題 Effect of preparatory knee flexion-extension movements on subsequent sideways jump-to-reach performance in collegiate soccer goalkeepers
3. 学会等名 第2回 慧ひろば (バイオメカニクス研究会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤本雅大
2. 発表標題 外乱に対する姿勢制御の加齢変化メカニズム
3. 学会等名 姿勢歩行シンポジウム2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Gray VL, Fujimoto M, Rogers MW
2. 発表標題 Lateral perturbation-induced and voluntary stepping in fallers and non-fallers after stroke
3. 学会等名 American Physical Therapy Association Combined Sections Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fujimoto M, Sato M, Nagano A, and Isaka T
2. 発表標題 Effect of preparatory knee flexion-extension movements on subsequent sideways jump-to-reach performance
3. 学会等名 The 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤本雅大, 佐藤将臣, 長野明紀, 伊坂忠夫
2. 発表標題 膝関節の屈曲伸展による予備動作がサイドジャンプによる到達把持動作に及ぼす影響
3. 学会等名 第25回日本バイオメカニクス学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sato T, Fukuhara Y, Fujimoto M, and Isaka T
2. 発表標題 Forward and false step techniques used for sprint start in a sideways direction: Which is superior?
3. 学会等名 The 36th International Conference on Biomechanics in Sports 2018
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	伊坂 忠夫  (Isaka Tadao)  (30247811)	立命館大学・スポーツ健康科学部・教授    (34315)	

6. 研究組織（つづき）

	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	長野 明紀  (Nagano Akinori)  (30392054)	立命館大学・スポーツ健康科学部・教授    (34315)	
研究分担者	真田 樹義  (Sanada Kiyoshi)  (50421227)	立命館大学・スポーツ健康科学部・教授    (34315)	

	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
研究協力者	ロジャース マーク  (Rogers Mark)		
研究協力者	周 立善  (Chou Li-Shan)		

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		
米国	University of Oregon	University of Maryland, Baltimore	