

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K16496

研究課題名(和文) 視覚刺激に誘発される反射的な応答を用いた新たな転倒予防トレーニング手法の確立

研究課題名(英文) Visually triggered protective responses to improve balance function for fall prevention

研究代表者

藤本 雅大 (Fujimoto, Masahiro)

立命館大学・スポーツ健康科学部・助教

研究者番号：10732919

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：転倒予防に効果的なトレーニングの確立を目的として、予期せぬ外乱に対する上肢・下肢の軌道修正動作の加齢変化を調べた。外乱に対する反応は高齢者において遅れており、上肢・下肢の軌道修正にも長い時間を要した。一方で、その時間に上肢・下肢の間で顕著な差は見られず、手すりの使用により身体の安定性が担保された条件でも、下肢の軌道修正に要する時間は短縮しなかった。高齢者に見られる軌道修正の遅れは、姿勢の不安定性の回避のために反射的応答を抑制した結果ではなく、主に反応の遅れに起因しており、外乱に対する反応能力の向上が転倒予防に有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The ability to effectively adjust limb movements in response to unexpected visual feedback is an important skill that may help prevent falls. This study investigated age-related changes in the ability to perform online corrective adjustments in response to an unexpected visual target shift during upper limb reaching and lower limb stepping. Impaired reactive performance was observed in older adults with delayed corrective adjustments in both tasks. The latency for corrective adjustments was comparable between the tasks, and the use of handrails to minimize balance constraints during stepping did not shorten it. These results imply that the delay in corrective adjustments is not due to suppression of reactive response to minimize destabilizing effects on upright stability but rather is attributed to impaired reactive performance. Training intervention aimed at improving the reactive performance to unexpected perturbations would be effective for fall prevention.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：視覚運動制御 姿勢制御 高齢者 動作分析

1. 研究開始当初の背景

日常生活において、予期せぬ外乱に対応し身体のバランスを維持するためには、反射的な反応機構による制御が重要となる(Patla, 1997, 2003). このような反応制御に必要な感覚フィードバックが「視覚」である. 姿勢を安定に保つためには、視覚による外乱の認識と、それに応じた四肢の運動計画の反射的かつ適切な調整が必要となる(図1-1). 予期せぬ外乱に対して素早くかつ的確に動作を修正する能力は、バランス維持および転倒予防の観点から極めて重要な能力である. 高齢者では、このような外乱に対する「反応能力」と「姿勢制御能力」が低下する事で、転倒に至ると推測される.

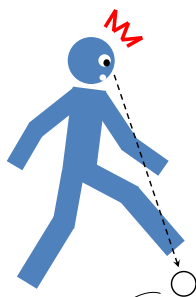


図1-1 予期せぬ外乱に対して動作を修正しなければならない例

バランスを崩した時の反射的な防御反応の代表的なものは、上肢により近くのものをつかむ「到達把持動作」と、下肢による「ステップ動作」である(図1-2). 予期せぬ外乱に対する、上肢・下肢の軌道修正メカニズムを明らかにすることは、高齢者のバランス機能の向上と転倒予防を目的とした効果的なトレーニングの確立につながる.

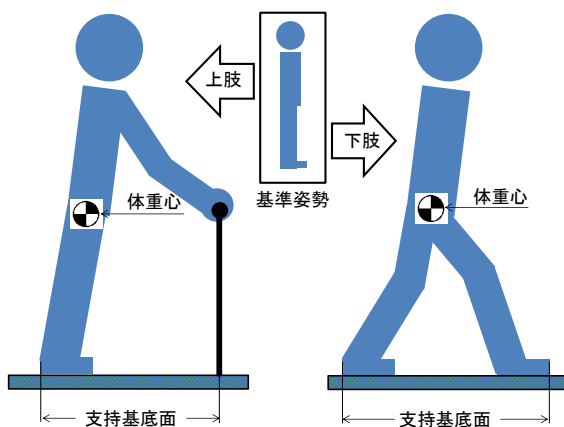


図1-2 上肢による到達把持動作と下肢によるステップ動作

2. 研究の目的

予期せぬ外乱に対する上肢・下肢の軌道修正動作を調べることで、転倒予防に効果的なトレーニングを確立するための知見を得ることを研究全体の目的として、①外乱に対する下肢の応答動作時の姿勢の安定性を定量的に評価すること、②バランス制約が下肢の

応答動作に及ぼす影響を明らかにすること、③上肢と下肢における視覚運動制御の違いを明らかにすること、を各年度の目的とした.

(1) 2015年度

高齢者では、外乱に対する反応能力に低下が見られ(Tseng et al., 2009), 姿勢を安定に制御する能力も低下している(Rogers and Mille, 2003). これら「反応能力」と「姿勢制御能力」の低下が、予期せぬ外乱に対する「下肢の軌道修正の遅れ」と、着地時の「姿勢の不安定性」を招き、高齢者は転倒に至ると推測される. しかし、これらの機能低下と転倒とを結びつける研究はなく、とりわけ直接転倒につながる要因である「姿勢の安定性」を定量的に評価した報告はない. そこで2015年度は、若年者と高齢者、そして転倒経験のある高齢者において、ステップ動作中の予期せぬ視覚ターゲットの移動(外乱)に対する反応能力と姿勢制御能力を定量的に評価することを目的とした.

(2) 2016年度

視覚ターゲットに対する下肢によるステップ動作中に予期せずターゲットが移動した際に、高齢者では下肢の軌道を修正するのに時間がかかる. ステップ動作では、姿勢が不安定な単脚支持中に身体動作をコントロールする必要があるため、動作中に下肢の軌道を修正するとバランスを崩す可能性がある. したがって、高齢者に見られる軌道修正の遅れは、①単純に反応の遅れによるものなのか、あるいは②姿勢の不安定性の回避のために反射的応答を抑制した結果によるものなのか、明らかではない. そこで2016年度は、視覚ターゲットに対する下肢によるステップ動作を、手すりあり・なしの条件で比較する事で、ステップ動作時のバランス制約が、予期せぬ外乱に対する下肢の応答動作に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした.

(3) 2017年度

若年者においては、視覚刺激に応じて上肢・下肢の軌道修正が要求される際に、上肢と下肢のどちらを用いた場合であっても非常に短時間で反射的な応答が可能であることが報告されている(Raynolds and Day, 2005). しかし、姿勢制御能力が低下した高齢者においても同様の事が言えるのかは明らかでない. 姿勢制御能力が低下した高齢者では、着地後に安定した姿勢を保つために、下肢によるステップ動作時には反射的な応答を抑制している可能性がある. そこで2017年度は、上肢による到達把持と下肢によるステップ動作中に視覚ターゲットが予期せず移動した際の応答を比較する事で、上肢と下肢における視覚運動制御の違いを明らかにすることを目的とした.

3. 研究の方法

(1) 2015年度

健康な若年者、高齢者および転倒経験のある高齢者を対象とし、視覚ターゲットに対するステップ動作を要求した。ステップ動作開始時に、ランダムで左右方向にターゲットが移動し、ターゲットに対して素早く正確にステップを行う事を被験者に要求した。視覚ターゲットは被験者前方に設置した超短焦点プロジェクタを用いて床面に投影し(図2-1)、3次元モーションキャプチャ装置により身体動作の運動学データを、足元のフォースプレートにより動作中の床反力を計測した。



図2-1 短焦点プロジェクタにより投影された視覚ターゲットに対するステップ動作

(2) 2016年度

健康な若年者と高齢者とを対象とし、視覚ターゲットに対するステップ動作を手すりあり・なしの条件で計測した(図2-2)。ステップ動作開始時に、ランダムで左右方向にターゲットが移動し、ターゲットに対して素早く下肢の軌道を修正する事を被験者に要求した。2015年度に採用した、超短焦点プロジェクタを用いた投影方法では、視覚ターゲットの投影に時間遅れが生じていることが判明したため、2016年度はLEDレーザーモジュールを組み込んだ視覚ターゲット投影機器を作成し、時間に確定的なコントロールを可能にするFPGAモジュールが搭載された計測用ハードウェアを導入した。

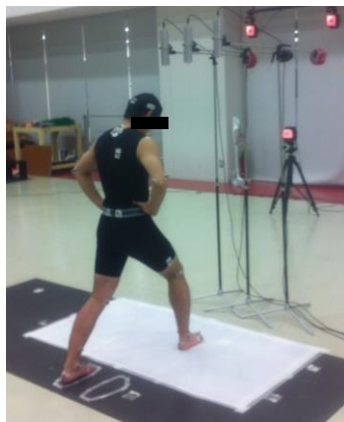


図2-2 LEDレーザーモジュールを組み込んだ機器により投影された視覚ターゲットに対するステップ動作

(3) 2017年度

健康な若年者と高齢者とを対象とし、視覚

ターゲットに対する到達把持動作とステップ動作を計測した(図2-3)。上肢・下肢の動作に合わせて、ランダムで左右方向にターゲットが移動し、それに対して素早く上肢・下肢の軌道を修正する事を被験者に要求した。視覚ターゲットは被験者前方に設置したLEDレーザーモジュールを用いて、それぞれ水平棒上および床面に投影した。

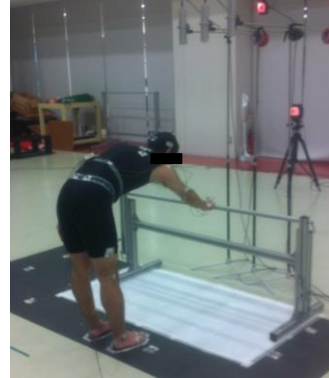


図2-3 LEDレーザーモジュールを組み込んだ機器により投影された視覚ターゲットに対する到達把持動作

4. 研究成果

(1) 2015年度

健康な若年者および高齢者においては、視覚ターゲットの移動に対する下肢の軌道修正の開始時間に大きな差は見られないのに対し、転倒経験のある高齢者では遅れが見られ、ステップに要する時間も長かった。重心の安定性は、ステップ動作開始時において若年者、高齢者、高齢転倒者の順に高かった。下肢の軌道修正の開始時に、若年者は重心が不安定であるのに対し、高齢者および高齢転倒者は安定していた(図3-1)。とりわけ、高齢転倒者が最も安定した姿勢で動作を行っていた。視覚ターゲットに対するステップの正確性においても、高齢者および高齢転倒者が若年者に比べて高い結果となった。以上の結果より、若年者は動作の安定性と正確性を犠牲にした素早い動作を実行するのにに対し、バランス機能の低下した高齢者では動作の安定性および正確性を重視した、より保守的な動作方略をとる事が示唆された。

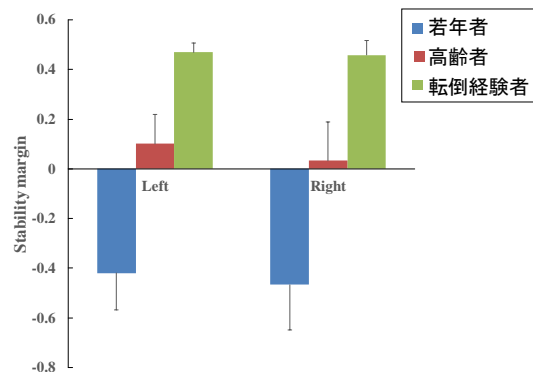


図3-1 下肢の軌道修正時の重心の安定性

(2) 2016年度

LED レーザーモジュールを組み込んだ視覚ターゲット投影機器を作成し、FPGA モジュールが搭載された計測用ハードウェアを使用する事で視覚ターゲットのマイクロ秒オーダーでのリアルタイム制御が可能となった。実験の結果、高齢者の方が視覚刺激に対する反応は遅れており、手すりの使用・不使用によらず、下肢の軌道修正にも長い時間を要した。また、いずれの被験者群においても、手すりの使用によりステップの開始時間は早くなったものの、下肢の軌道修正に要する時間に大きな変化は見られなかった(図 3-2)。手すりの使用により身体が安定した条件でも下肢の軌道修正に要する時間は短縮しなかったことから、高齢者に見られる軌道修正の遅れは、姿勢の不安定性の回避のために反射的応答を抑制した結果ではなく、主に反応の遅れに起因している事が示唆された。

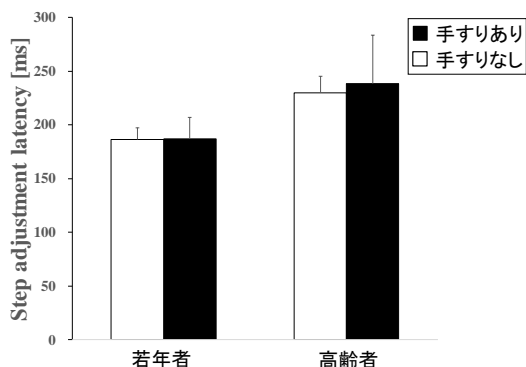


図 3-2 手すりあり・なしの条件下で下肢の軌道修正時間に及ぼす影響

(3) 2017年度

若年者・高齢者のいずれにおいても、ステップ動作よりも到達把持動作の方が動作開始に要する時間は短く、単純反応時間に近接した。単純反応時間は高齢者の方が長く、上肢・下肢の軌道修正にも長い時間を要する傾向にあったものの、上肢・下肢による応答の間でその時間に顕著な差は見られなかった(図 3-3)。高齢者においても、上肢と下肢のどちらを用いた場合でも比較的短い時間で反射的な軌道修正が可能であった。動作開始後の「バランス維持の必要性」は、動作を開始する時間には影響するものの、軌道修正に要する時間には大きく影響しないことが示唆された。

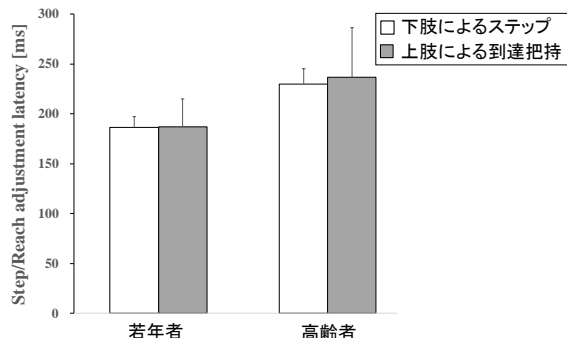


図 3-3 上肢による到達把持動作と下肢によるステップ動作の軌道修正時間の違い

(4) まとめ

視覚ターゲットに対する反応は高齢者において遅れており、上肢・下肢の軌道修正にも長い時間を要する傾向にあったが、その時間に上肢・下肢の間で顕著な差は見られなかった。その一方で、動作開始に要する時間は、到達把持動作、ステップ動作(手すりあり)、ステップ動作(手すりなし)、の順で早かった。とりわけ、高齢者が手すりの使用により身体の安定性を担保した条件では、下肢の軌道修正に要する時間は短縮しない代わりに、足部離地までの時間(ステップまでの時間)は大幅に短縮した。動作開始後の「バランス維持の必要性」は、動作を開始する時間には影響するものの、軌道修正に要する時間には大きく影響しないことが示唆された。高齢者に見られる軌道修正の遅れは、姿勢の不安定性の回避のために反射的応答を抑制した結果ではなく、主に反応の遅れに起因しており、外乱に対する反応能力の向上が転倒予防に有効であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Fujimoto M, Bair W-N, and Rogers MW. Single and multiple step balance recovery responses can be different at first step lift-off following lateral waist-pull perturbations in older adults. *Journal of Biomechanics*. 2017. 55:41-47. 査読有. doi: 10.1016/j.jbiomech.2017.02.014
- ② 藤本雅大. 転倒に関連する日常生活動作における動的バランスコントロール. *バイオメカニクス研究*. 2016. 20, 124-135. 査読なし.
- ③ Nagano A, Fujimoto M, Kudo S, and Akaguma R. An image-processing based technique to obtain instantaneous horizontal walking and running speed. *Gait & Posture*. 2017. 51, 7-9. 査読有. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.09.015
- ④ Fujimoto M, and Chou L-S. Sagittal plane momentum control during walking in elderly fallers. *Gait & Posture*. 2016. 45, 121-126. 査読有. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.01.009
- ⑤ Lugade V, Chen T, Erickson C, Fujimoto M, San Juan JG, Karduna AR, and Chou L-S. Comparison of an Electromagnetic and Optical System during Dynamic Motion. *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*. 2015. 27(05), 1550041. 査読有. doi: 10.4015/S1016237215500416
- ⑥ Fujimoto M, Bair W-N, and Rogers MW. Center of pressure control for balance maintenance during lateral wait-pull

perturbations in older adults. Journal of Biomechanics. 2015. 48(6), 963-968. 査読有. doi: 10.1016/j.jbiomech.2015.02.012

[学会発表] (計 13 件)

① Fujimoto M, Nagano A, and Chou L-S. Gait balance classification of young adults, elderly non-fallers and fallers using center of mass velocity and acceleration. ISPGR World Congress 2017. 2017.

② Fujimoto M, Uchida E, Nagano A, and Isaka T. Effect of dynamic loading and unloading preceding step initiation on subsequent side-stepping performance. The XXVI Congress of the International Society of Biomechanics 2017. 2017.

③ 佐藤将臣, 藤本雅大, 伊坂忠夫. 膝関節の屈曲伸展による予備動作がサイドジャンプパフォーマンスに及ぼす影響. 第 30 回日本トレーニング科学会大会. 2017.

④ Fujimoto M, Bair W-N, and Rogers MW. Lateral stability and first step characteristics during single and multiple step recovery responses to balance perturbations in older adults. The 40th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics. 2016.

⑤ 藤本雅大, 長野明紀, Chou Li-Shan. 歩行速度と加速度に基づく若年者、高齢者、転倒経験者の歩容の判別. LIFE 2016. 2016.

⑥ 内田絵梨, 藤本雅大, 伊坂忠夫. 身体重心を上下動させる予備動作がサイドステップのクイックネスに及ぼす影響. 第 24 回日本バイオメカニクス学会. 2016.

⑦ 佐保賢志, 藤本雅大, 馬杉正男. マイクロドップラーレーダを用いた歩行人体の遠隔計測及び歩容分類. 第 37 回バイオメカニクス学術講演会. 2016.

⑧ 佐保賢志, 藤本雅大, 馬杉正男. マイクロドップラーレーダを用いたバランス能力の差異に基づく歩行者認識 ~ 若年者/高齢者/高齢転倒経験者の歩容分類 ~. 電子情報通信学会 WBS・ITS・RCC 研究会. 2016.

⑨ Yang C-L, Gray VL, Fujimoto M, McCombe Waller S, and Rogers MW. Reactive and voluntary stepping in individuals with stroke: a comparison between paretic and nonparetic leg responses. Society for Neuroscience Annual meeting 2015. 2015.

⑩ Fujimoto M, Bair W-N, and Rogers MW. Reduced functional limits of stability during lateral balance perturbations in older adult non-fallers and fallers. ISPGR World Congress 2015. 2015.

⑪ Fujitani R, Jiroumaru T, Fujimoto M, and Isaka T. Effect of postural deviations on trunk and hip muscle activity during walking. ISPGR World Congress 2015. 2015.

⑫ Tanaka T, Honjo T, Fujimoto M, and Isaka T. i-walk: a novel form of walking exercise

to improve lower limb muscle strength. ISPGR World Congress 2015. 2015.

⑬ Honjo T, Tanaka T, Fujimoto M, and Isaka T. Effect of step length on upper body dynamics: A bipedal walking simulation using an inverted double pendulum model. ISPGR World Congress 2015. 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 雅大 (FUJIMOTO, Masahiro)
立命館大学・スポーツ健康科学部・助教
研究者番号: 10732919

(2) 研究協力者

伊坂 忠夫 (ISAKA, Tadao)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

長野 明紀 (NAGANO, Akinori)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

真田 樹義 (SANADA, Kiyoshi)
立命館大学・スポーツ健康科学部・教授

ロジャース マーク (ROGERS, Mark)
メリーランド大学医学部・理学療法&リハビリテーション研究科・教授

チョウ リーシャン (CHOU, Li-Shan)
オレゴン大学・生理学科・教授