

令和 5 年 5 月 21 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11155

研究課題名（和文）手指に体性感覚情報を付加した歩行の動的安定化機序の解明と高齢者の転倒予防への応用

研究課題名（英文）Investigation of dynamic stability of gait through additional somatosensory feedback from fingers and its application in fall prevention for the elderly

研究代表者

高橋 真 (Takahashi, Makoto)

広島大学・医系科学研究科（保）・教授

研究者番号：50435690

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）：歩行中の動的安定化を図る方法として、指先で平行棒などに触れる（Light touch: LT）、あるいは手で紐の先の重りを引きずる（Haptic anchors: HA）ことによって体性感覚情報を付加する試みがなされている。若年者において、下方視野を制限した場合、トレッドミル歩行中の単脚支持期における身体重心と支持基底面との距離（安定性限界）の変動は増大したが、LTによって抑制できることが示された。また、その場足踏み中の身体位置の変位は頸部振動によって増大したが、HAによって抑制された。したがって、手指からの体性感覚情報を付加することで、歩行中の動的安定性や空間認知が向上することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者の転倒は骨折や寝たきりに繋がり、超高齢社会を迎えた我が国において、転倒予防は喫緊の課題である。特に歩行中の動的安定性を確保することが重要であり、本研究では指先で平行棒などに触れる（Light touch: LT）、あるいは手で紐の先の重りを引きずる（Haptic anchors: HA）によって、歩行中の下方視野を制限した場合の安定性限界の変動やその場足踏み中の頸部振動による身体位置の変位が抑制されることを明らかにした。本研究の一連の研究成果より、手指からの体性感覚情報を付加することで、歩行中の動的安定性や空間認知が向上し、有効な転倒予防策の提案に繋がることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：Additional somatosensory information through light touch (LT) with a fingertip to a stable object or holding haptic anchor system (HA) which consist of a flexible cable with a small load would induce dynamic stability of gait. In this study, an increased variability in the margin of stability (MOS) observed during treadmill walking under restricted lower visual field conditions was attenuated by LT. In addition, an increased displacement of body position during stationary marching due to neck vibration was attenuated by HA. These findings suggest that the addition of somatosensory feedback from the fingers improves dynamic stability and spatial perception during walking.

研究分野：リハビリテーション科学，神経生理学，バイオメカニクス

キーワード：歩行 動的安定性 Light touch

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高齢者の転倒は骨折や寝たきりに繋がり、超高齢社会を迎えた我が国において、転倒予防は喫緊の課題である。転倒の主な身体的要因は、加齢に伴う歩行機能とバランス機能の低下である。近年、歩行中の動的安定化を図る方法として、指先で平行棒などに触れる (Light touch: LT)、あるいは手で紐の先の重り (125g 程度) を引きずる (Haptic anchors: HA) ことによって体性感覚情報を付加する試みがなされている。若年者を対象に直進歩行中の単脚支持期における身体重心の状態と支持基底面との関係 (安定性限界, Margin of stability: MOS) に関する報告がなされたが、一致した見解が得られていない (Oates et al. 2017; Awdhan et al. 2019)。さらに、この理由として、MOS は単脚支持期などのある瞬間のみの安定性を評価するものであり、支持基底面すなわち前額面状の足部位置 (歩隔) が MOS を一定にするように調整された可能性がある。事実、若年者は身体重心の状態に応じて前額面状の足の位置を 1 歩毎に調整している。しかしながら、指先からの体性感覚情報を付加することで、歩行中の身体重心と足隔の 1 歩毎の関係性については未だ明らかではないのが現状である。

また、立位保持中に腱振動刺激により生じる運動錯覚に伴う姿勢変化を LT は抑制することが報告されている。このことは静止立位の安定化に手指からの体性感覚情報がその他の部位からの体性感覚情報を修正できることが示唆される。しかしながら、歩行などの動的状況下においても同様の効果が得られるかはこれまで検討がなされていない。

2. 研究の目的

(1) トレッドミル上での歩行において、LT によって体性感覚情報を付加した場合の単脚支持期における速度を加味した推定身体重心位置と支持基底面の辺縁との水平面上距離である MOS と、さらに、身体重心と足部の位置関係について明らかにすることを目的とした (研究 1)。

(2) 頸部筋に振動刺激を付加し、その場足踏みを行った際の変位が、HA によって抑制できるかについて検討することを目的とした (研究 2)。

3. 研究の方法

(1) 研究 1 では健常若年者 15 名を対象とした。課題動作は快適歩行速度でのトレッドミル上での 3 分間の歩行とした。条件は通常歩行 (NT 条件)、LT を行いながらの歩行 (LT 条件) と下方視野を制限するゴーグル (HG) を着用しての歩行 (HGNT 条件)、HG を着用し LT を行いながらの歩行 (HGLT 条件) の 4 条件とし、ランダムな順で実施した。LT は両側第 2 指で固定点を軽く触れるよう指示し、1N 以下であることを歩行中にモニタリングした。

運動学データは全身の 35 箇所に貼付した赤外線反射マーカの空間座標を 3 次元動作システム Vicon MX (Vicon Motion System 社) を用いて取得した。得られた座標データから右脚片脚支持期の身体重心 (Center of mass: COM) 位置・速度と支持基底面との距離の最小値 (MOS) を算出した (図 1)。MOS は平均値と変動係数を求めた。また、右側つま先離地から左つま先立地までの区間 10% 毎に COM 位置と速度を説明変数、その後の右足接地位置を目的変数とした重回帰分析を行い、決定係数 (R^2 値) を算出した。

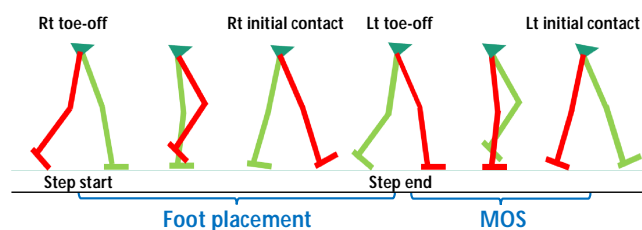


図 1. 解析区間

(2) 研究 2 では健常若年者 8 名を対象とした。課題動作は耳栓と目隠しを装着した状態での 35 秒間のその場足踏みとした。条件は通常条件 (N 条件)、頸部振動刺激条件 (V 条件)、HA 条件、HA+振動刺激条件 (HAV 条件) の 4 条件とした。振動刺激は振動スピーカを用いて左側頸部後面に与えた。HA は 125g の鉛玉を入れた布製の小袋と紐で構成され、両手で紐を持ち、小袋を地面に置き、紐を張った状態を保たせた。3 次元動作システム Vicon MX (Vicon Motion System 社) を用いて頭部マーカ一座標を記録した。0 秒時点と 30 秒時点の頭部位置から、総移動距離、前後方向距離、左右方向距離を算出した。

4. 研究成果

(1) MOS の平均値は 4 条件間で有意な差は認められなかった (図 2A)。MOS の標準偏差は HGNT 条件でその他の 3 条件と比較し、有意に高値を示し、LT 条件は NT 条件と比較して低値を示した (図 2B)。決定係数は 4 条件では有意な差は認められなかった (図 2C)。左右方向の MOS は歩隔

を調整し、支持基底面を変化させることで保たれる。前額面状の足の接地位置の1歩毎の調整を反映する決定係数は4条件間で有意な差は認められなかったことから、身体重心に対応した足部配置が維持できていたため、MOS 平均値に差が認められなかったと考えられる。一方、MOS の標準偏差は HGNT 条件で増加した。MOS の変動は課題動作や環境に対する足部配置の調整や修正応答の頻度の増加を反映する。HGNT 条件では下方視野からの視覚情報が制限されたことで足部配置とトレッドミル上の歩行面との位置関係に関する視覚的フィードバックが制限されたため、足部配置の調整や修正の頻度が増加したことが考えられる。また、MOS 標準偏差は HGNT 条件と比較して HGLT 条件で有意に低値を示した。このことより下方視野制限による動的安定性の低下を LT によって補えることが示唆された。

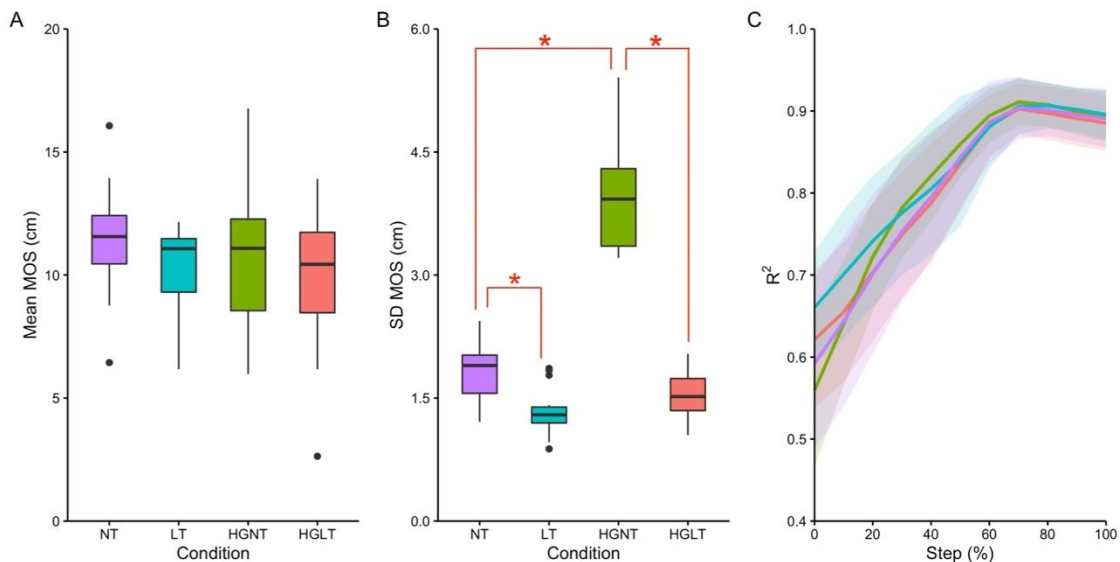


図 2. MOS 平均値, MOS 標準偏差, 足部配置決定係数

(2) その場足踏み中の前後移動距離と総移動距離は、頸部後面に振動刺激を付加した V 条件において他の 3 条件より有意に増加した (図 3A, C)。一方、左右方向の移動距離は 4 条件間で有意な差を認めなかった (図 3B)。頸部筋への振動刺激は固有受容器への感覚入力となり、姿勢定位や空間認知を変調させる。本研究においても頸部後面の振動刺激 (V 条件) によって、頭部に対する体幹の背側への動きを錯覚することで、その場足踏み中の身体の前方変位が増加した。頸部振動刺激中に HA による手指からの体性感覚情報を付加することで、この前方変位が抑制された。四肢や体幹と比較して、頸部からの求心性入力の影響は大きいとされているが、HA による手指からの体性感覚情報は頸部からの体性感覚情報を修正し、その場足踏み中の空間認知を代償できることが示された。

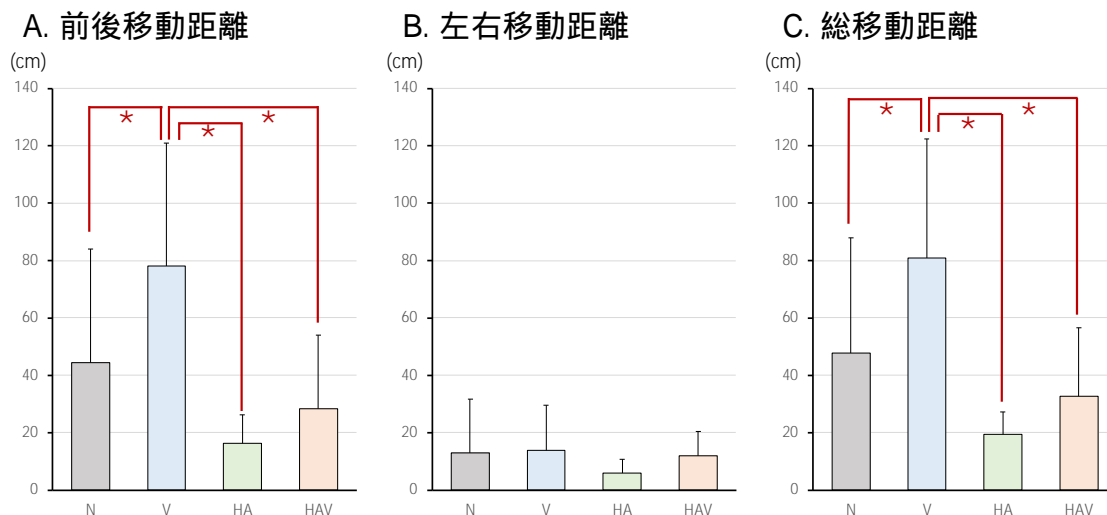


図 3. その場足踏み中の頭部変位

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 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kawakami W, Iwamoto Y, Takeuchi Y, Takeuchi R, Sekiya J, Ishii Y, Takahashi M	4. 巻 94
2. 論文標題 Young females with hallux valgus show lower foot joint movement stability compared to controls: an investigation of coordination patterns and variability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Clin Biomech	6. 最初と最後の頁 105624
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.clinbiomech.2022.105624	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 -
1. 著者名 Ibara T, Takahashi M, Shinkoda K, Kawashima M, Anan M	4. 巻 -
2. 論文標題 Hip sway in patients with hip osteoarthritis during one-leg standing with a focus on time-series data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Motor Control	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -
1. 著者名 Iwamoto Y, Kawakami W, Miyoshi F, Takeuchi R, Takeuchi Y, Motohiro Y, Wen L, Takahashi M	4. 巻 -
2. 論文標題 Muscle co-contraction of ankle joint in young adults in functional reach test at different distances	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Acta Bioeng Biomech	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 -
1. 著者名 Sunaga Y, Takahashi M, Anan M, Shinkoda K	4. 巻 80
2. 論文標題 Changes in motion patterns among pregnant women turning while carrying an object after rising from a chair	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Int J Ind Ergon	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ergon.2020.103057	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 Ibara T, Anan M, Karashima R, Hada K, Shinkoda K, Kawashima M, Takahashi M	4. 巻 -
2. 論文標題 Coordination pattern of the thigh, pelvic, and lumbar movements during the gait of patients with hip osteoarthritis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J Healthc Eng	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/9545825. eCollection 2020	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2件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 三次史也, 白石佳奈子, 岩本義隆, 石井陽介, 高橋真
2. 発表標題 視覚制限下での歩行中の身体重心と足部配置の関係
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 Takahashi M, Miyoshi F, Shiraishi K, Iwaki D, Ishii Y, Iwamoto Y
2. 発表標題 Effects of simulated lower visual field loss and light touch on gait stability
3. 学会等名 17th International Symposium of 3-D Analysis of Human Movement (国際学会)
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
研究分担者	梁 楠 (Liang Nan) (70512515)	京都大学・医学研究科・准教授 (14301)	

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