

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：30108

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2023

課題番号：19K19876

研究課題名（和文）高齢者における片脚立位時の体節間協調性の解明に基づいた転倒予防プログラムの構築

研究課題名（英文）Construction of fall prevention programs in elderly based on elucidation of inter-limb coordination during one-leg standing

研究代表者

佐藤 洋一郎 (Yoichiro, Sato)

北海道科学大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：20433518

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）：バランス能力の指標である片脚立位保持中での足趾運動の身体の揺れに対する協調性と足趾と股関節運動との協調関係において、高齢者と若年者に違いがあるかどうかを明らかにすることを目的とした。健康な若年者と高齢者の片脚立位保持中の足趾による床を押し出す圧力と体幹の運動を記録した。足趾の協調性では、身体の左右方向の揺れに対して母趾の対応が高齢者で若年者よりも低かった。体幹の運動では、若年者は骨盤の傾斜角と肩甲帯の傾斜角が逆位相であったのに対して、高齢者ではそれらの角度変化が同位相であった。つまり、高齢者では体幹の側屈運動が生じず体幹を1つの剛体として制御しているため、片脚立位保持時間が短くなると考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高齢者の転倒によって介護が必要になり、本人の生活の質（QOL）は著しく低下してしまいます。本研究では、転倒を予防するための運動プログラム立案を目標として、足趾の機能と体幹（上半身）機能に注目して、バランス能力の指標の一つである片脚立ちでのそれらの役割について検討しました。結果として、足趾は、特に母趾の機能の低下が高齢者でみられました。また、上半身ではバランスを取る時に若年者でみられるような柔軟な動きが高齢者ではみられませんでした。これらのことから、バランスをよくして転倒を未然に防ぐためには、親指を鍛えることと上半身を柔らかく使えるようになることが重要だとわかりました。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to clarify differences between young adults and older adults concerning the following two points: (1) to examine coordination of foot movement against body sway during one-legged standing, and (2) to examine coordinate relationship between foot and trunk movements during one-legged standing (OLS). We recorded pressures of foot toes and trunk movements during the OLS in healthy young and older adults. In foot coordination, the responses of hallux against body sway in the medial-lateral direction in the older adults were lower than those in the younger adults. In trunk movements, whereas the pelvis movement in the younger adults was anti-phase to the shoulder girdle movement, that in the older adults was in-phase. This finding suggests that the trunk movement may be attributed to OLS duration.

研究分野：身体教育学

キーワード：転倒 予防 高齢者 転倒予防 足趾 協調性 体節間協調性 プログラム

## 1. 研究開始当初の背景

片脚立位を保持する能力は、高齢者の転倒の有無との関連 (Vellas, 1997) や運動器症候群の判定基準 (日本臨床整形外科学会, 2010) として報告されている。それゆえ、片脚立位の保持能力を明らかにすることは、転倒予防や介護予防を目的とした運動プログラム立案のために重要である。片脚立位保持には、さまざまな身体機能が関与しているが、我々は、足趾機能に注目して、身体の揺れに対する足趾の機能、特に母趾の機能低下が、高齢者などのバランス保持能力が低いヒトで観察していた。一方で、足趾機能が健常若年者と大きく変わらないにも関わらず、片脚立位の保持能力が低い高齢者が一定数いることも観察した。バランスの保持には、足部以外には、主に股関節周囲の運動が影響していることはわかっている。高齢になると、足部によるバランス戦略 (アングルストラテジー、ankle strategy) の機能が低下して、股関節によるバランス戦略 (ヒップストラテジー、hip strategy) の割合が大きくなると報告されている (Shamway-Cook, 2013)。

そこで、本研究の核心となる学術的な問いを、「高齢者などのバランスの悪いヒトは、股関節と足趾の協調運動関係が低下しているのではないか？」と設定し、片脚立位保持中の股関節運動に着目し、若年者と高齢者の特徴を比較した。

## 2. 研究の目的

健常な若年者と高齢者において、バランス能力の指標である片脚立位保持中での足趾運動の身体の揺れに対する協調性と足趾と股関節運動との協調関係において違いがあるかどうかを明らかにすることとした。

## 3. 研究の方法

健常な若年者と高齢者に、片脚立位の保持をしてもらうよう指示した。支持脚は、非利き足とした。片脚立位は足圧分布計 (アニマ株式会社) 上で行ってもらった。この足圧分布計は、1 cm 間隔で足裏が床面を押す圧力を測定することができるものである。若年者と高齢者ともに、上肢は胸の前で組んでもらった。さらに、背後よりデジタルビデオカメラで対象者の片脚立位保持中の身体の動きを記録した。股関節の運動を観察するために、両側の腸骨稜後方端に反射テープを貼付した。体幹の動きを観察するために両側の肩峰の後方端にも反射テープを貼付した。転倒を予防するために、対象者の近くにサポート役に立ってもらった。

解析はオフラインで行った。足圧分布計データは、機器内で算出された足圧中心データと各足裏の経時的な圧力変化データを使用した。圧力データでは、母趾、第 1 中足指節関節部 (MP 部)、小趾、第 5MP 部の 4 か所の圧力変化データを算出した。さらに、足圧中心データと各 4 部位の協調関係の度合いを、相互相関関数を使用して解析した。

ビデオカメラの映像は、FrameDias V (DKH) を使用して、両骨盤と両肩甲骨の動きをデジタイズした (30 frames per second)。デジタイズされた両骨盤のランドマークの座標から骨盤の傾斜角を、両肩峰の座標から肩甲帯の傾斜角を算出した。

#### 4. 研究の成果

##### 1) 足趾協調性における若年者と高齢者の違い

若年者と高齢者における片脚立位保持中の母趾と小趾の床を押しす力の経時的な変化を図1に示す。この図からわかるように、高齢者(B)の方が、力変化の周期が早く、細かなサイクルで力を変化させていることがわかった。加齢に伴って、早い動きは稚拙になってくるものであるが、この知見から、高齢者では、足趾ではかえって速い動きをすることが示された。これは、大きくゆっくりとした動きでは、重心の変位が大きくなるため、姿勢を戻すためのトルクが大きくなる。早く細かい動きをすることで、重心の変位が小さくなるために、高齢者ではその大きくなるトルクの発生を回避していると考えられる。

足圧中心データの中の左右成分と足裏各部位との相互相関係数 (zero lag) の結果を図2に示す。小趾側では、第5MP部に比べて小趾の相関係数が低かった(\*1)。つまり、第5MP部の方が、小趾よりも身体の揺れに対して密接に応答していることを示唆している。同じような傾向は、母趾側でも観察され、母趾の方が第1MP部よりも相関係数が低かった(\*3)。さらに、母趾側では交互作用が有意であり(\*\*5)母趾にて、高齢者の相関係数が若年者よりも低かった(\*4)。本研究においても、これまでの報告と同様に、高齢者では、若年者よりも片脚立位の保持時間が短かった。したがって、母趾の相関係数が高齢者で特に低かったことは、片脚立位を保持する能力が低い原因の一つに、母趾が関与していることを示唆している。一方で、小趾の相関係数が高齢者よりも若年者で高かったことは、その母趾の片脚立位保持への関与の低さを代償していることを示唆している。今後は、若年者を対象として、母趾を疲労させた場合に、小趾側による代償が現れるかどうか検討していく。

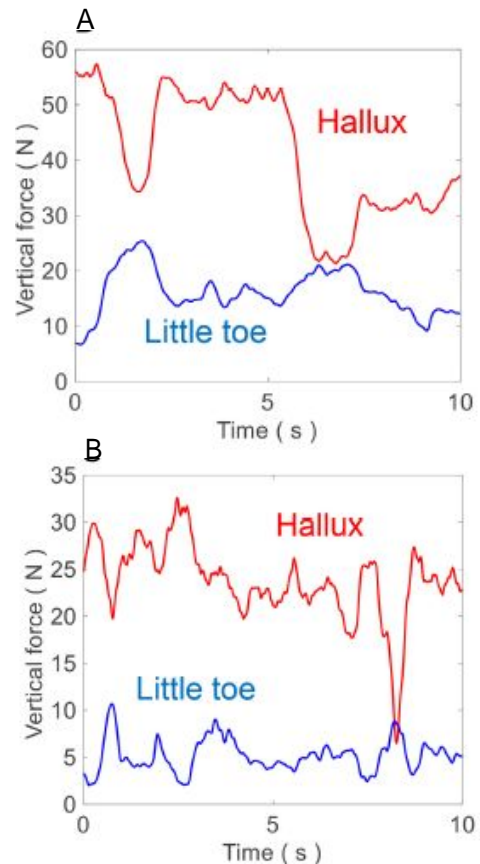


図1 代表例における片脚立位保持中の母趾 (Hallux) と小趾 (Little toe) の床を押しす力の経時的変化。A: 若年者、B: 高齢者。

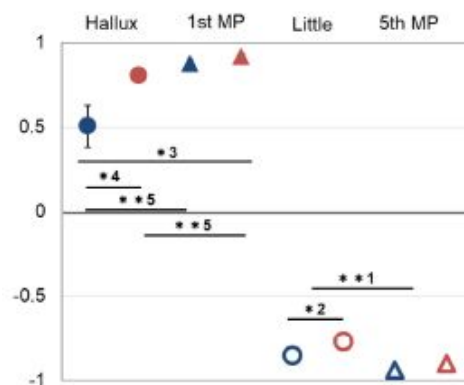


図2 足圧中心の左右成分と足裏各部位 (母趾 (Hallux) 第1MP関節部 (1<sup>st</sup> MP) 小趾 (Little) 第5MP関節部 (5<sup>th</sup> MP)) との相互相関係数。青: 高齢者、赤: 若年者。

## 2) 体節間の協調性における若年者と高齢者の違い

研究開始当初は、足趾と股関節（本研究の骨盤傾斜角）との協調関係が高齢者では若年者と比較して衰えていると考えていた。しかし、実際のデータでは、母趾と小趾による床を押す力の変動と骨盤傾斜角の経時的な変化の間には、顕著な高齢者と若年者の違いを認めなかった。そのため、改めて記録した映像を確認したところ、ヒップストラテジーに加えて、体幹全体による側屈運動に若年者と高齢者による違いがあるとの仮説に至った。そこで、骨盤の傾斜角と肩甲帯の傾斜角の協調関係について、高齢者と若年者のデータを比較し違いを検討した。図3に、代表例における若年者(A)と高齢者(B)のそれぞれの傾斜角の経時的な変化を示す。高齢者では若年者と比較して全対象(n = 5)で保持時間が短かった。若年者では肩甲帯の傾斜角の変動が骨盤の傾斜角よりも大きく、一方で、高齢者では肩甲帯と骨盤の変動の大きさはほとんど変わらなかった。つまり、足趾による姿勢制御では高齢者の方が、若年者と比較して周期の早い運動によって姿勢を調整している(前述)のに対して、体幹による姿勢制御では高齢者の方が、若年者よりもゆっくりとした運動であることが示唆された。さらに、骨盤傾斜角と肩甲帯傾斜角の位相関係をもとにみると、若年者では逆位相(つまり、骨盤が左傾斜するときに肩甲帯は右傾斜する)になっていることが多い(例えば、赤く囲んだ部分)。一方、高齢者では、ほとんど同位相(つまり、骨盤が左傾斜するときに肩甲帯も左へ傾斜する)になっている(例えば、緑で囲んだ部分)。この2つの傾斜角の相関係数を算出すると、若年者では負の弱い相関( $r = -0.148$ 、つまり、逆位相)であるのに対して、高齢者では強い正の相関( $r = 0.736$ 、つまり、同位相)を示した。

これらの骨盤と肩甲帯(つまり、体幹)の運動と前述した足趾運動の知見とを総合すると、高齢者における片脚立位保持中の姿勢制御の特徴は、体幹の運動が稚拙になるために、早い周期で足趾を運動させて足圧中心を移動させてバランスを保持している、といえる。今後は対象者数を増やして同じような傾向が観察されるかと、体幹の運動性を高めることで、足趾運動の周期が若年者と同じような速さに変化するかを検討する必要がある。

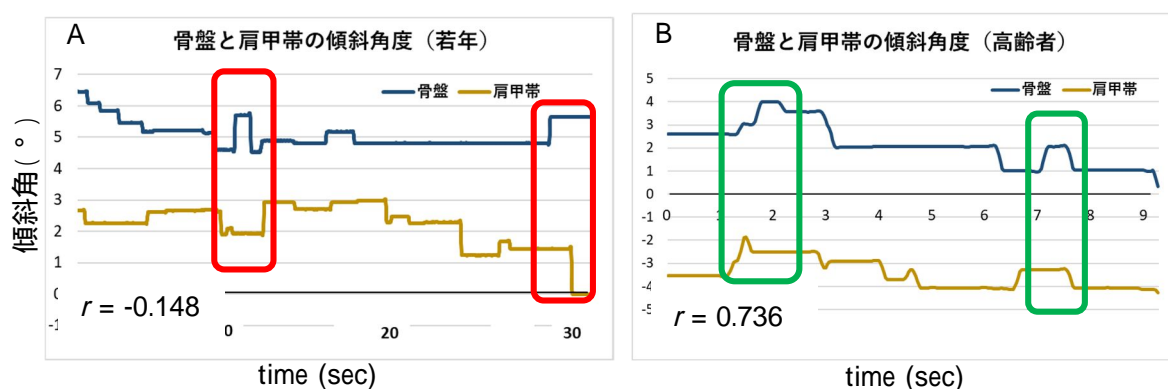


図3 代表例における片脚立位保持中の骨盤傾斜角と肩甲帯傾斜角の経時的変化。角度変化は反時計回りが正。A: 若年者、B: 高齢者。青線: 骨盤傾斜角、黄線: 肩甲帯傾斜角。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Sato Yoichiro, Kawaguchi Akito	4. 巻 11
2. 論文標題 Age-Related Differences in Coupling of Toe and Center of Pressure during the One-Legged Stance	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Aging Research	6. 最初と最後の頁 117 ~ 134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/aar.2022.115009	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 Sato Y, Kageyama K	4. 巻 10
2. 論文標題 Autism-spectrum quotient is associated with observational skill acquisition in healthy young adults	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Behavioral and Brain Science	6. 最初と最後の頁 179 ~ 190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/jbbs.2020.104011	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 佐藤 洋一郎, 大内 潤子, 林 裕子, 松原 三智子, 山本 道代, 真田 博文, 和田 直史	4. 巻 35
2. 論文標題 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 流行初期における地域高齢者の健康関連QOL	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 理学療法科学	6. 最初と最後の頁 813 ~ 818
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1589/rika.35.813	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4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中村洋平、佐藤洋一郎、宮坂智哉
2. 発表標題 健常成人における立脚肢下腿外側傾斜の制約条件が歩行開始時の姿勢制御に与える影響
3. 学会等名 第9回日本運動器理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村洋平、佐藤洋一郎、宮坂智哉
2. 発表標題 健康成人における一側下腿外側傾斜条件と振り出し脚の違いが歩行開始時の姿勢制御に与える影響
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤洋一郎、佐藤ひろこ
2. 発表標題 足圧分布測定機器を活用して転倒予防社会を実現
3. 学会等名 NoMaps Dream Pitch 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤洋一郎、佐藤ひろこ
2. 発表標題 転倒予防を目的とした足指機能改善機器の開発
3. 学会等名 NEDO研究開発型スタートアップ支援事業 NEPピッチコンテスト
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 吉田一也（編）佐藤洋一郎、他	4. 発行年 2022年
2. 出版社 ヒューマン・プレス	5. 総ページ数 250
3. 書名 症例動画から学ぶ臨床歩行分析～観察に基づく正常と異常の評価法	

1. 著者名 藤澤宏幸、鈴木博人（編）佐藤洋一郎、他	4. 発行年 2023年
2. 出版社 メディカルプレス	5. 総ページ数 179
3. 書名 運動学習	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 転倒予防支援プログラム、転倒予防支援装置、転倒予防支援システムおよび転倒予防支援方法	発明者 佐藤洋一郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、205243	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
---------	---------