

令和 5 年 5 月 17 日現在

機関番号：55503

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K19933

研究課題名（和文）高齢者の転倒増加要因の推定と転倒予防トレーニングの検討

研究課題名（英文）Estimation of Factors Increasing Falls in the Elderly and fall prevention training

研究代表者

橋爪 善光（Hashizume, Yoshimitsu）

徳山工業高等専門学校・機械電気工学科・准教授

研究者番号：20779847

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題において加齢によるつまずき増加の要因と考えられている、遊脚中期における足先高さのばらつき増加の要因が明らかになった。股関節に対する足先高さのばらつきを抑える関節間の相補的連携（関節間シナジー）は若年者群高齢者群に有意な差はなかったにもかかわらず、床に対する足先高さのばらつきは高齢者の方が有意に大きくなっていった。したがって、加齢によるつまずき増加の要因は関節間シナジーの衰えではなく、体幹部の安定性の低下にあることを示唆した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義については歩行において股関節に対する足先高さのばらつきを抑えることは重要なポイントであることが加齢によっても衰えないことから示唆される。また社会的意義としては、加齢によつてつまずきが増えるので足先高さの制御が衰えていると思われていたが、股関節に対する足先高さのばらつきを抑える制御については加齢によつて衰えていないことが明らかになった。したがって、転倒予防トレーニングについては下肢よりも体幹部の安定性を高めるトレーニングを行うことがより効果をもたらす可能性がある。

研究成果の概要（英文）：This research project identified factors that contribute to an increase in stumbling with age. In a previous study, it was reported that one of the factors was an increase in the variance of toe height during the middle of the swing phase. We analyzed the joint synergies that reduce the variance of toe height relative to the hip position and found no significant differences between young and elderly subjects. On the other hand, the variance of toe height relative to the floor was significantly greater in the elderly. Thus, the results suggest that the factor responsible for the increase in stumbling with age is not a decline in joint synergies, but rather a decrease in trunk stability.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：歩行 関節間シナジー 転倒予防 加齢

1. 研究開始当初の背景

高齢者の転倒はそれに伴う医療費の問題など高齢化社会において深刻な問題となる。また、転倒後治療の為に一度寝たきりになってしまった高齢者が再び元の社会生活に復帰するのは若年者に比べると難しく、高齢者の社会生活の維持という観点からも高齢者の転倒予防は現代の高齢化社会において重要な問題である。高齢者の転倒の多くが歩行中に生じており(Hill, et al., 1999), 転倒理由の多くはつまずきやスリップであるという報告がある(Berg, et al., 1997)。健常若年者の遊脚期における足部クリアランスは二峰性の軌道を取り、遊脚中期において極小値をとる。この極小値のことを Minimum Toe Clearance (MTC) などといい、歩行時におけるつまずきやすさを表す有用なパラメータの1つとして注目されている(Begg, et al., 2007)。例えば、MillsらはこのMTCの瞬間における足先高さの毎歩ごとのばらつきが若年者に比べて高齢者の方が大きく、この足先高さのばらつきの大きさには膝関節角度や足関節角度のばらつきと正の相関があると報告している(Mills, et al., 2008)。

我々は、若年者の歩行運動中の関節角軌道の一步ごとのばらつきの分布を Uncontrolled Manifold(UCM) 解析により分析した。その結果、安定な歩行を実現する上で重要と思われる両脚支持期やMTCのタイミングにおいて、股関節に対する足先の水平位置や高さのばらつきを抑える股、膝、踝の各関節間の相補的調整(関節間シナジー)が働くことを明らかにした(Nishii, et al, 2012, 垣内田他, 2015)。Millsらが報告するようなMTCにおける足先高さのばらつきの加齢による増加は、股関節に対する足先高さのばらつきを抑える関節間シナジーの形成機能の衰えに起因するのだろうか、それとも関節間シナジーの衰えではなく関節軌道のばらつきの増加に起因するのだろうか。もし関節間シナジーに変化がないのであれば、例えばつまずきの防止には筋力や筋感覚の回復を狙うトレーニングが有効であろうが、関節間シナジーに衰えがあるならば関節間の連携を形成する神経系の機能回復が必要である。すなわち、足先高さのばらつきの原因を探ることは高齢者の転倒防止の方法を探る上でも重要であるが、高齢者における足先高さのばらつきを抑える関節間シナジーについての知見はまだ報告されていない。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は、70歳前後の高齢者および20歳前後の若年者の歩行中の下肢関節軌道を計測し、各年齢群における歩行中の股関節に対する足先の水平位置および高さのばらつきを抑える関節間シナジーの時間推移を明らかにする。さらに、関節間シナジーの形成において下肢の各関節がいかに寄与しているかを明らかにし、転倒予防トレーニング方法の提案を行うことである。

3. 研究の方法

本研究課題では歩行に影響のある疾患のない6名の高齢者(72.2±5.3歳)の高齢者と6名の若年者(19.4±1.2歳)の歩行時の下肢関節軌道を解析した。それぞれ7.5mの歩行路を自然歩行している際の中央部3.5mの股関節、膝関節、足関節、足先位置の軌道を、高齢者はサンプリング周波数120 Hz、若年者は200 Hzで計測しており、それぞれ6次のバターワースフィルタでノイズ除去を行い、1名は22歩、それ以外の被験者は30歩分の解析を行った。

解析方法にはUCM解析を適用した。矢状面上の下肢軌道の解析を行い、股関節に対する足先の水平位置のばらつきを抑える関節間シナジーおよび股関節に対する足先高さのばらつきを抑える関節間シナジーについて歩行周期中の各瞬間について解析を行った。

背景でも述べたが、つまずきにおいてMTCの瞬間における足先高さのばらつきは重要なパラメータである。そこで本研究ではその瞬間における関節間シナジーの大きさを高齢者群若年者群において比較し、またその際の実際の足先高さのばらつきについても比較を行った。

4. 研究成果

図1に股関節に対する足先の水平位置(S_x)および高さ(S_y)のばらつきを抑える関節間シナジーの高齢者および若年者の全被験者の結果を示す。それぞれ点線はシナジーが働いている指標を表しており、点線より大きな値の場合にはシナジーが働いていると判断できる。遊脚中期に足先が地面に最も近づく瞬間には足先の水平位置のばらつきを抑える関節間シナジーはあまり働いていないが、高さのばらつきを抑える関節間シナジーが全被験者において働いていた。つまり、つまずきの生じやすい同瞬間において股関節に対する足先高さの一步ごとのばらつきを抑えるように関節間シナジーによって制御されており、それは加齢によって衰えていないことが明らかになった。Millsらが報告しているように、同瞬間における各関節のばらつきにつ

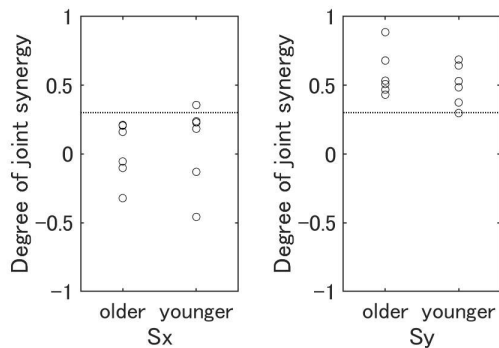


図 1 MTC における関節間シナジー.

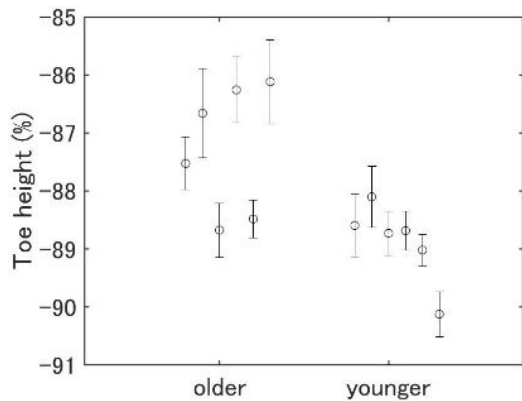


図 2 全被験者の股関節に対する足先高さ.

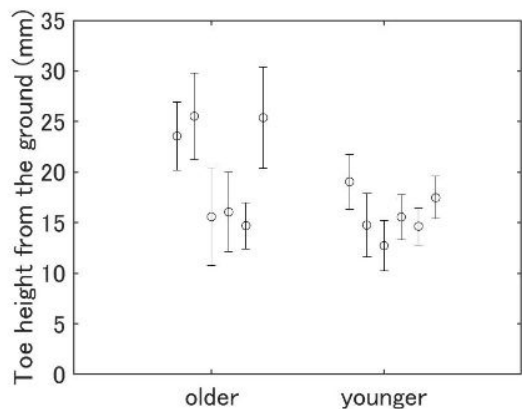


図 3 全被験者の床に対する足先高さ.

いては若年者に比べて高齢者の方が大きくなっていった。つまり加齢によって一歩ごとの姿勢のばらつきは増大するにもかかわらず足先高さに影響を及ぼさないように制御していることが示された。

図 2 に全被験者の股関節に対する足先高さを示す。それぞれ股関節、膝関節、足関節、足先のマーカー間距離の総和で規格化している。股関節に対する足先高さは若年者群よりも高齢者群の方が有意に高かったが、その一歩ごとのばらつきには有意な差はなかった。したがって、加齢によって股関節に対する足先高さの制御は衰えておらず、むしろ高齢者の方が股関節に足先を引き付ける度合いが大きかつまづきにくい歩行をしていることがあきらかになった。

図 3 に全被験者の床面に対する足先高さを示す。床面に対する足先高さについては高齢者群若年者群において有意な差はなかった。しかし、一歩ごとのばらつきについては高齢者群の方が若年者群より有意に大きいという結果を得た。つまり、Mills らの研究同様加齢によって床面に対する足先高さの一歩ごとのばらつきが増加していることが明らかになった。

これらの結果より、加齢によって一歩ごとの姿勢のばらつきは増大するが股関節に対する足先高さのばらつきを抑える関節間シナジーが働いており、股関節に対する足先高さのばらつきは増大していない。一方で床に対する足先高さについては一歩ごとのばらつきが加齢によって増加していた。したがって、下肢の運動機能は加齢によって衰えていないが、体幹部の安定性が加齢とともに減少したと考えられる。つまり加齢によるつまづきを防ぐためには下肢の筋力トレーニングではなく、体幹部の安定性を高めるトレーニングが効果的である可能性を示した。現在行われている多くの転倒予防トレーニングでは下肢の筋肉を鍛えるものが多く、本研究結果は下肢だけではなく体幹部の安定性を高めるトレーニングがより効果的である可能性を示した点で重要な結果であると考えられる。

本研究では新型コロナウイルスの影響で被験者を集めることが難しかった。今後は被験者数を増やして同様の結果を示す必要がある。また、つまづきが生じる MTC の瞬間のみに着目したが、体幹部の安定性には両脚指示期における重心移動も寄与していると考えられる。したがって MTC 以外の時期における加齢による関節間シナジーの変化や関節軌道の変化について詳しく調べる必要があると考えている。今後はより多くの高齢者での解析や、体幹

部の安定性を高める転倒予防トレーニングを実施し、その効果の検証も必要であると考えている。

参考文献

- [1] Hill K., Schwarz J., Flicher L., Carroll S., "Falls among healthy, community-dwelling, older women: A prospective study of frequency, circumstances, consequences and prediction accuracy", Australian and New Zealand Journal of Public Health, 23(1), 41-48, 1999.
- [2] Berg W., Alessio H., Mills E., Tong C., "Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults", Age and Ageing, 26(4), 261-268, 1997.
- [3] Begg R., Best R., Dell'Oro L., Taylor S., "Minimum foot clearance during walking: Strategies for the minimisation of trip-related falls", Gait & Posture, 25(2), 191-198, 2007.
- [4] Mills P., Barrett R., Morrison S., "Toe clearance variability during walking in young and elderly men", Gait & Posture, 28(1), 101-107, 2008.
- [5] Nishii J., Hashizume Y., Kaichida S., Suenaga H., Tanaka Y., "Constraint and

exploitation of redundant degrees of freedom during walking ”, Robotics and autonomous systems, 60(5), 679-684, 2012.

[6] 垣内田翔子, 橋爪善光, 西井淳, “ 関節間シナジーに着目した歩行のコツの発見 ”, 電子情報通信学会論文誌 D, J98-D(7), 1108-1117, 2015.

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 Yoshimitsu Hashizume, Shoko Kaichida, Kotaro Takeda and Jun Nishii	4. 巻 12
2. 論文標題 Age-Related Changes in Leg Control at Minimum Toe Clearance during Walking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ICIC Express Letters, Part B: Applications	6. 最初と最後の頁 595-601
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24507/icicelb.12.07.595	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1件（うち招待講演 1件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 橋爪善光
2. 発表標題 関節間の協調運動に着目した歩行動作解析
3. 学会等名 姿勢足部医科学会第2回大会（招待講演）
4. 発表年 2023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
研究協力者	西井 淳 (Nishii Jun)		
研究協力者	垣内田 翔子 (Kaichida Shoko)		
研究協力者	武田 湖太郎 (Takeda Kotaro)		

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