高齢者の歩行周期時間変動に影響を及ぼす要因の検討

A Study of Factors Affecting the Stride Interval Variability of the Community-dwelling Elderly

千鳥 司浩^{1,2)} 山本 裕二^{2,3)}

KAZUHIRO CHIDORI, RPT^{1,2)}, YUJI YAMAMOTO, PhD^{2,3)}

¹⁾ Faculty of Nursing and Rehabilitation Department, Physical Therapy, Chubu Gakuin University: 2-1 Kirigaoka, Seki-shi, Gifu 501-3993, Japan TEL+81 575-24-2211 E-mail: chidori@chubu-gu.ac.jp

²⁾ Graduate School of Education and Human Development, Nagoya University

³⁾ Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

Rigakuryoho Kagaku 31(2): 213-219, 2016. Submitted Sep. 16, 2015. Accepted Nov. 2, 2015.

ABSTRACT: [Purpose] To clarify the factors affecting the stride variability of the elderly at different gait speeds. [Subjects] The subjects were 12 healthy young persons and 10 community-dwelling elderly persons. [Methods] At three different gait speeds, the stride, step, and single- and double-leg support times were determined, and their coefficients of variance (CV), and the ratios of each variable relative to stride were calculated. Then, regression analysis was performed with the CVs of stride and step as the dependent variables. [Results] At all of the gait speeds, the time variance of elderly subjects was greater than that of the young subjects, and under the fast gait speed condition, due to a change in gait strategy, the ratio of the double-leg support time was reduced. Independent of gait speed, the CV of single-leg support time affected the gait cycle time variation. [Conclusion] The results suggest the CV of single-leg support time makes a large contribution to the CV of stride.

Key words: community-dwelling elderly, stride interval variability, single-support time

要旨:〔目的〕歩行速度を変化させ、高齢者のストライド変動性に及ぼす要因を明らかにする。〔対象〕健康若年者12名および地域在住高齢者10名を対象とした。〔方法〕3つの速度条件で歩行し、ストライド、ステップ、単脚支持期、両脚支持期の時間を抽出し変動係数およびストライドにおける各期の割合を算出し、ストライド、ステップの変動係数(CV)を従属変数とした重回帰分析を行った。高齢者ではどの歩行速度でも若年者に比べ時間変動が大きく、速い条件では歩行方略の違いにより両脚支持期割合が短縮していた。歩行速度に関わらず単脚支持時間CVが歩行周期時間変動に影響を及ぼしていた。〔結語〕ストライドCVには単脚支持時間CVの寄与が大きいことが示唆された。

キーワード: 地域在住高齢者、歩行周期時間変動、単脚支持時間

¹⁾ 中部学院大学 看護リハビリテーション学部 理学療法学科: 岐阜県関市桐ヶ丘二丁目1番地 (〒501-3993) TEL 0575-24-2211

²⁾ 名古屋大学大学院 教育発達科学研究科

³⁾ 名古屋大学総合保健体育科学センター

I. はじめに

世界のどの国も経験したことのないスピードで高齢社会を迎えた我が国において、要介護のリスクとなる老年症候群が大きな問題となっている¹⁾。代表的な老年症候群に衰弱、認知症、関節疾患、転倒などがあげられるが、特に転倒は骨折などの重篤な外傷を引き起こし、生活機能を低下させる可能性が非常に高いため、高齢者に対する転倒予防への取り組みは重要かつ緊急の課題であるといえる。高齢者の歩行の特徴は、歩行速度の低下および歩行における1歩行周期時間、両脚支持時間などの時間的因子、歩幅、歩隔などの距離的因子の変動が増大することの二つに集約するとされている²⁾。Krebsら³⁾が、日常生活の移動活動において高齢者が自立するために歩行速度は重要であるが、安全かつ安定した歩行の方がより重要であるとしているように、高齢者の歩行能力を歩行速度だけで判断することは不十分であり、歩行の安定性という質的側面についての検討が行われている。Maki⁴⁾は、転倒した高齢者の歩幅、歩隔、歩行周期時間の標準偏差が転倒していない高齢者に比べ、有意に増加していることを報告している。Hausdorffら⁵⁾は、高齢者を対象にした1年間にわたる前向きコホート研究を行い、転倒した高齢者の歩行周期時間の変動係数（以下、ストライドCV）が転倒していない高齢者に比べ有意に大きく、最大歩行速度やTimed Up and Go Testなどの身体機能指標に比べ転倒を予測することができる指標であると報告している。

高齢者の転倒リスクを予測する運動機能評価は数多く存在するが、歩行の安定性を表すストライドCVは、転倒を予測できる良い指標となっている。また、ストライドCVの評価は10 mと比較的短い計測距離であってもストライドCVが大きい対象者ほど転倒発生の危険性が高まることが確認されており、虚弱高齢者を含めた多くの高齢者の転倒予防のための有用な評価指標となることが報告されている⁶⁾。このように加齢による身体機能の低下により歩行リズムが乱れることが指摘されているものの、その原因について詳細に検討した報告は少ない。この歩行リズムの乱れについて、糖尿病性ニューロパチーなど足部の感覚障害⁷⁾を有していても、部屋の照明を暗くし視覚情報を減少させる⁸⁾などの身体に対する感覚入力制限によりストライドCVは変化しないことが報告されており、ストライドCVは主に運動出力系全体の働きを反映する指標であると考えられている⁹⁾。

高齢者におけるストライドCVの増大には、いくつかの要因が影響していると考えられる。まず一つにストライドCVは、歩行速度の影響を受けることが考えられる。先行研究において高齢者は若年者に比べ、あるいは転倒経験者は非転倒経験者に比べ、ストライドCVが高値であることが報告されているが、いずれも快適歩行速度条

件のみで計測されているため、比較している両者の歩行速度に差が生じていることが考えられる。しかし先行研究において、若年者と高齢者の歩行速度を統制し同程度、歩行速度を変化させた際の時間的変動について検討している報告はない。高齢者のストライドCVが高いことが単に遅い歩行速度に起因しているかを明らかにするために、両群の速度を統制した上で高齢者に存在する特異的な変動の原因を探ることが必要である。

二つ目に、高齢者では若年者に比べ両脚支持期の割合が大きくなり^{10,11)}若年者とは歩容が異なっていることが知られているため、両群の歩行における両脚支持と単脚支持という局面の割合、すなわち時間構造の違いがストライドCVの大きさに影響している可能性がある。また、ストライド時間は左右のステップ時間で構成され、各ステップ時間は両脚支持時間と単脚支持時間に区分することができ、それぞれの局面で機能的な役割が異なっている。そのため、各局面における変動の大きさがストライドCVにどのような影響を及ぼしているかについて把握するために、歩行周期を両脚支持期と単脚支持期に細分化し、両群における時間構造の違いについても調査する必要がある。以上のことから、本研究では若年者と高齢者を対象に歩行速度を変化させた際の時間的変動性と各局面における時間構造について解析し、高齢者においてストライドCVが増大する要因を明らかにすることで、転倒の原因となる歩行リズムの変動性の原因についての基礎的データを得ることを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

65歳以上の介護認定を受けていない地域在住健常高齢者（以下、高齢群）10名（平均年齢78.5 ± 5.2歳、70～85歳、男性2名、女性8名）と健常若年者（以下、若年群）12名（平均年齢21.0 ± 0.6歳、20～21歳、男性9名、女性3名）が本研究に参加した。すべての参加者の組入基準は、日常生活が自立しており、独歩にて30 mの連続歩行が可能なものとした。除外基準は歩行時に疼痛を有するもの、下肢に明らかな整形外科既往および神経学的異常を認めるものとした。なお実験に参加した高齢群における身体能力の指標であるShort Physical Performance Battery (SPPB) 得点¹²⁾は、10.9 ± 1.6（平均 ± 標準偏差）点であった。対象者全員には、本研究の趣旨と個人情報守秘義務について説明し、口頭かつ紙面にて実験参加への同意を得た。なお、本研究は中部学院大学倫理委員会の承認（承認番号E14-0007）を得て実施した。

2. 方法

実験に用いた歩行路は加速・減速路を2.5 mずつ含む

25 m の直線歩行路とし、中間 20 m における連続した 10 ストライドの時間データを解析の対象とした。またストップウォッチを用いて歩行路中間 10 m の歩行時間を計測し、各条件における平均歩行速度を算出した。歩行速度の条件は快適歩行速度（以下、快適）および快適よりも 20% 速い歩行速度（以下、速い）と 20% 遅い歩行速度（以下、遅い）の計 3 条件を設定し、裸足にて計測を行った。規定速度となる速い、遅い条件に関しては、快適条件の測定後、十分な練習を行ったうえでデータ計測を行った。なお高齢者に関する測定では、理学療法士が必ず補助につき、実験を妨げないように斜め後方に位置し、対象者の安全面の配慮を行った。

計測の対象とした歩行時間因子について両脚支持期と単脚支持期を算出するための歩行解析機器として、ロジカルプロダクト社製ワイヤレス型フットセンサーモジュールを用いた。左右の歩行周期を区分するために、両側の拇趾、踵部に圧力センサー（FSR402）を歩行動作に影響を与えないように配慮し取り付け、サンプリング周波数 200 Hz にてデータ収集を行った。測定データは、センサーモジュール内のデータロガーに保存され、後に有線接続により PC に転送し処理を行った。得られたフットセンサーのデータは、カットオフ周波数 20 Hz のローパスフィルタにて処理後、数値解析ソフト MATLAB（The Math Works 社製）を用いて踵接地、つま先離地のタイミングを判別し、上記の歩行速度 3 条件における左右それぞれの立脚時間、遊脚時間を計測し歩行周期時間（ストライド時間）を抽出した。次に、歩行周期ごとに対側との関係性から歩行周期における左右のステップ時間、単脚支持時間、両脚支持時間を算出し、歩行周期における単脚支持および両脚支持時間の割合については角変換処理を行った値を用いた。また各歩行区分（ストライド、ステップ、単脚支持、両脚支持時間）における左右 20 試行分の平均値と標準偏差を各個人の代表値とし、標準偏差と平均値の比である変動係数（Coefficient of variation value : CV 値）も算出した（以下、ストライド CV、ステップ CV、単脚支持 CV、両脚支持 CV）。CV 値は、値が大きいほど歩行周期時間のばらつきが大きいことを示しており、歩行の安定性を示す歩容指標^{5,13)}として知られている。

$$CV (\%) = \text{標準偏差} / \text{平均} \times 100$$

両群における歩行速度、歩行速度の変化が時間構造に

与える影響を調べるために、単脚支持および両脚支持時間と歩行周期におけるそれぞれの割合、各歩行周期の時間変動（CV 値）の比較には年齢と速度条件の 2 要因を被験者内変数とした反復測定による二元配置分散分析を用いて検討を行った。分散分析の際は Greenhouse-Geisser による epsilon 修正を行い調整後の p 値を算出した。交互作用が認められた場合には、Shaffer の多重比較法を用いて補正後の p 値を求めた。さらにストライド CV、ステップ CV を従属変数、それぞれの歩行周期を構成する単脚支持時間、両脚支持時間の CV 値を独立変数とした Stepwise 重回帰分析（変数増減法）でそれぞれの決定要因を抽出した。すべての統計学的解析には統計ソフト R（version2.8.1）を使用し、いずれの統計処理も有意水準は 5% とした。

III. 結 果

両群における歩行特性（歩行速度と快適歩行速度に対する割合）を表 1 に示す。歩行速度に関しては、年齢と速度条件の 2 要因を被験者内変数とした反復測定による二元配置分散分析の結果、群間および速度条件間の主効果が認められたが、群と歩行速度における交互作用が有意でなかった。快適歩行速度に対する速度変化の割合については、反復測定による二元配置分散分析の結果、群間に差がなく速度間のみ主効果が認められ交互作用が有意ではなかった。このことから両群ともに快適歩行速度に対する速い・遅い速度条件の変化の割合に差はなく、本研究においては両群ともに同等の速度変化を達成したことが確認できたため、以下の分析を行った。

表 2 にストライド、ステップおよび両脚、単脚支持期における時間変動の結果を示す。歩行周期の時間変動については群間のみ有意な主効果を示し、交互作用は認められなかった。単脚支持時間の変動では交互作用は認められず、群間および速度要因に主効果が認められ、両群とも遅い条件において有意に時間変動が増加していた。両脚支持時間変動については交互作用が認められ、群間および速度条件間で有意な主効果が認められた。多重比較検定では高齢群は若年群に比べ快適、速い速度条件において有意に時間変動が高いことが認められ、速度条件間の比較では高齢群のみで速い速度条件で有意に時間変動が増加した。

表 1 参加者の歩行特性

歩行速度 (m/s)	若年群 (n=12)	高齢群 (n=10)
遅い	1.02 ± 0.10 (76%)	0.98 ± 0.07 (80%)
快適	1.35 ± 0.15	1.22 ± 0.10
速い	1.70 ± 0.08 (126%)	1.54 ± 0.13 (126%)

mean ± SD. 括弧内は快適歩行速度に対する割合。

表2 歩行周期および各期の時間変動

		若年群 (n=12)	高齢群 (n=10)
ストライド CV	遅い	1.9 ± 0.6	2.5 ± 0.6
	快適	1.4 ± 0.4	2.3 ± 0.6
	速い	1.5 ± 0.4	2.6 ± 0.8
ステップ CV	遅い	3.1 ± 1.4	4.3 ± 1.1
	快適	2.3 ± 0.5	4.0 ± 1.6
	速い	2.3 ± 0.4	4.1 ± 1.4
単脚支持 CV	遅い	3.9 ± 1.7	4.9 ± 1.5
	快適	2.7 ± 0.6	4.3 ± 1.7
	速い	2.4 ± 0.6	4.0 ± 1.3
両脚支持 CV	遅い	9.6 ± 2.9	12.1 ± 4.0
	快適	7.9 ± 1.6	12.3 ± 2.8 ^{††}
	速い	8.5 ± 2.2	18.1 ± 5.5 ^{††}

mean ± SD. 速度条件間の比較において *: $p < 0.05$ で有意差あり, 年齢間の比較において^{††}: $p < 0.01$ で有意差あり.

表3 歩行周期における各期の時間と割合

歩行周期における各期の時間 (秒)

		若年群 (n=12)	高齢群 (n=10)
単脚支持	遅い	0.94 ± 0.06	0.82 ± 0.06 ^{††}
	快適	0.82 ± 0.02	0.76 ± 0.05 ^{††}
	速い	0.82 ± 0.02	0.68 ± 0.05 ^{††}
両脚支持	遅い	0.29 ± 0.04	0.23 ± 0.04
	快適	0.22 ± 0.04	0.17 ± 0.03
	速い	0.17 ± 0.02	0.12 ± 0.04

歩行周期における各期の割合 (%)

		若年群 (n=12)	高齢群 (n=10)
単脚支持	遅い	60.9 ± 1.7	62.0 ± 2.6
	快適	63.0 ± 1.7	64.5 ± 2.3
	速い	65.1 ± 1.1	67.9 ± 3.3 [†]
両脚支持	遅い	29.1 ± 1.7	28.1 ± 2.6
	快適	27.0 ± 1.7	25.5 ± 2.3
	速い	24.9 ± 1.1	22.1 ± 3.3 [†]

mean ± SD. 歩行周期における各期の割合については角変換を行った, 速度条件間の比較において **: $p < 0.01$ で有意差あり, 群間の比較において[†]: $p < 0.05$, ^{††}: $p < 0.01$ で有意差あり.

歩行周期における各期の時間および割合の比較では, 単脚支持時間, 単脚支持割合, 両脚支持割合の間で有意な交互作用が認められた (表3). 単脚支持時間は群間, 速度間に主効果を示し, どの速度条件においても若年群で有意に高値を示した. 各期の割合において速度条件間の比較では, 両群とも単脚支持割合は速度が早くなるほど有意に高値を示し, 逆に両脚支持割合は遅くなるにしたがい有意に低値を示した. 年齢間の比較では高齢群は若年群に比べ, 速い条件で単脚支持期の割合が有意に増

大し, 逆に両脚支持期の割合は有意な減少を示した.

Stepwise 重回帰分析の結果を表4に示す. ストライド CV を従属変数とした場合, 若年群では単脚支持 CV ($\beta=0.389$), 高齢群では単脚支持 CV ($\beta=0.699$) がストライド CV の決定要因として抽出され, 決定係数はそれぞれ 0.127, 0.471 であった. 一方, ステップ CV を従属変数とした場合, 若年群では単脚支持 CV ($\beta=0.748$), 高齢群では単脚支持 CV ($\beta=0.839$) がステップ CV の決定要因に抽出され, 決定係数はそれぞれ 0.546, 0.695

表 4 単脚時間 CV がストライド、ステップ時間変動に及ぼす影響

従属変数	群	偏回帰係数	標準誤差	標準偏回帰係数	R ²
ストライド CV	若年群 (n=12)	0.313	0.127	0.389	0.127 *
	高齢群 (n=10)	0.446	0.083	0.699	0.471 **
ステップ CV	若年群 (n=12)	0.538	0.082	0.748	0.546 **
	高齢群 (n=10)	0.740	0.087	0.839	0.695 **

*: p<0.05, **: p<0.01.

であった。両群ともに単脚支持 CV のみが説明変数として抽出され、高齢群では若年群よりも決定係数が高かった。なお括弧内の数値は標準偏回帰係数であり、従属変数に与える影響の大きさを反映する。

IV. 考 察

加齢による身体機能の低下は、移動手段である歩行動作に最も顕著に表れる。その歩行能力の低下は転倒を引き起こす原因となり、高齢者の生活機能や QOL を著しく低下させる要因となる。自由歩行における高齢者の歩容の特徴として、歩幅、歩隔、歩行周期時間などの変動が増大し、この歩行時間の変動の大きさと転倒には密接な関係性があることが報告されている。したがって、高齢者におけるストライド CV を減少させるためには、ストライド CV が増大する要因について検討することは重要である。ストライド CV は、歩行速度が遅くなればなるほど変動が増大する¹⁴⁾ため、ストライド CV が増大する要因を明らかにするためにはいくつかの歩行速度において検討する必要がある。またストライドは2つのステップからなり、さらに単脚支持期および両脚支持期に区分できるが、それぞれの局面において時間構造が異なっている可能性が考えられる。そこで本研究では、異なる歩行速度条件における若年者と高齢者の時間的変動性と各局面の時間構造について検討することによってストライド CV が増大する要因を明らかにした。

まず両群の時間的変動をみるために、歩行速度を変化させた際のストライド CV の影響について、比較検討した。その結果、多くの先行研究^{6,15)}で報告されているように、どの歩行速度においても高齢者は若年者に比べ有意に時間変動が大きいことが確認できた。また、ステップ CV もストライド CV と同様に群間の主効果が認められた。次に、ステップを細分し、単脚支持期、両脚支持期における CV について比較すると、両期ともに高齢群は若年群に比べ変動が高値であり、両脚支持期 CV では若年者は速度の影響を受けないが、高齢者では若年者に比べ早く歩くほど両脚支持期 CV が有意に増加した。このことより高齢群では速い速度での歩行において両脚支持期の時間変動が増加し、ストライド CV を増加

させる原因の一つとなっていると考えられた。一方、ストライド CV を従属変数とした重回帰分析によって、両群とも単脚支持時間 CV が有意な独立変数として選択され、その寄与の程度はストライド CV よりもステップ CV で大きく、若年群よりも高齢群において決定係数の値が大きかった。このことから、速度に関わらずステップ CV、ストライド CV にとって単脚支持時間 CV が重要な因子であることが示唆された。両脚支持時間 CV ではなく単脚支持時間 CV が有意な独立変数として抽出されたことは、単脚支持期が歩行周期中において時間的な割合が大きいことが関与していると考えられるが、歩行周期において占める割合が少ない両脚支持期の時間変動が速い速度条件下で大きくなることも、高齢群のストライド CV を増加させていることが示唆された。

歩行の時間構造について先行研究では若年者に比べ高齢者では歩行周期中の両脚支持期の割合が大きいとされており、加齢の要因が影響すると考えられている¹⁰⁾。一方、西澤ら¹⁶⁾は、歩行速度が増加するに従い、歩行周期に占める両脚支持期の割合が短縮することを報告しており、歩行周期に対する両脚支持期の割合は歩行速度や年齢の影響を受けることが考えられる。今回、両群の時間構造の違いを見るために、歩行周期に占める各支持期の割合について検討した結果、両群とも歩行速度が早くなるに従い単脚支持期の割合が増加し、両脚支持期の割合は減少を示した。本研究においても西澤らと同様の結果が得られたことから、歩行周期における両脚支持期の割合は歩行速度と密接な関係にあることが推測できる。しかし、今回の実験での速い速度条件において、高齢者は若年者に比べ両脚支持期の割合が有意に低値を示し、先行研究の知見とは異なっていた。この理由として、先行研究における自由歩行の条件下では高齢群は若年群よりも遅い歩行速度となるために、結果として歩行速度の遅い高齢群の両脚支持期の割合が若年群よりも高い値を示していたことが考えられる。しかし、本研究では歩行速度の影響を除くために両群の歩行速度変化を統制した実験条件であったため、両群では時間構造が異なり、速い速度条件での両群における歩行パターンの違いとして表れていたと考えられる。さらに、歩行速度を変化させた際の単脚支持期時間、両脚支持期時間の変化につい

て見ると、高齢者では歩行速度が早くなると、両脚支持時間は単脚支持時間を上回る顕著な減少を示していた。つまり、このことを歩行周期時間に対する割合に換算すると、高齢者は若年者に比べ、早くなると単脚支持期の割合が有意に増加する現象となつて表れたと考えられる。このことは、高齢者の歩行特徴からも説明することができる。歩行速度は、歩幅とケイデンスによって規定されるが、高齢者の歩行速度の低下は、ケイデンスの低下よりも歩幅の減少によるところが大きいとされ^{17,18)}、若年群と高齢群が歩行速度を増加させる場合、若年群が歩幅を延長することで速度を増加させるのとは異なり、高齢群では歩幅の増大が乏しく、ケイデンスの増加によって補っている。つまり、高齢群が歩行速度を増加させるためには、歩行周期時間内の単脚支持期時間以外の要素である両脚支持期時間を短縮することを優先的に選択することで達成していることが考えられる。このように両群における歩行周期時間に対する割合の違いは、歩行速度を変化させる際の両群における歩行方略の違いが表れた結果であると考えられる。

以上のことから、若年者および高齢者ともにストライド CV の大きさの原因には、単脚支持時間 CV が歩行速度に関わらず大きな影響を与えている因子であり、速い歩行速度条件下では歩行方略の違いにより、高齢者の両脚支持期割合が短縮していたという点が、本研究で得られた最も重要な知見である。高齢群においては、両脚支持時間 CV は歩行速度の増加により有意に増加し、単脚支持時間 CV は変化が認められなかった。しかしながら、両脚支持期の割合が若年群よりも歩行速度の増加に伴いより短縮することと考え合わせると、高齢群の単脚支持時間 CV がストライド CV に及ぼす影響は小さくないと考えられる。したがって、高齢群においては歩行速度の増加による単脚支持時間 CV の増加ではなく、歩容の違いによって単脚支持時間 CV の相対的な影響が大きくなり、結果的にストライド CV が増加し、転倒の危険性が高まることが考えられる。本研究の結果より、単脚支持時間 CV がストライド、ステップ CV に大きく影響していることから、この単脚支持時間 CV を減少させていくことは歩行の規則性を向上させることに繋がる事が示唆される。そのため高齢者の転倒予防に繋げるためにも単脚支持時間中の身体運動の変動性を減少させる介入について考えていくことが、今後の臨床において重要になってくることが考えられる。

本研究では、高齢者のストライド CV に影響を及ぼす歩行時間因子を、歩行速度を変化させ、また歩行周期を細分化することにより検討した。その結果、異なる歩行速度条件下で時間構造を観察すること、さらに歩行周期を両脚支持期と単脚支持期に細分化することの重要性が示唆された。しかしながら、本研究にはいくつかの限界がある。第一に、高齢者が若年者に比べ単脚支持期 CV

が大きいことが何に起因して生じるのかは不明であり、本研究から明らかにすることは困難である。Murray¹¹⁾は、高齢者における特徴的歩容の1つに側方バランスの低下による歩隔の拡大をあげており、側方への姿勢制御能力の低下は転倒の危険性と強く関係していることが報告されている^{19,20)}。このことから高齢者では側方への安定性を確保するための適応として歩行中の不安定な期間である単脚支持期の割合を減少し、短い歩幅となっている可能性が高いと考えられる。今回の結果より、高齢群では遅い歩行速度条件であっても、両脚支持期の割合が若年群に比べて短縮しているため相対的に単脚支持期が長くなり、それがさらなる変動を生み出す原因となっていると推察できる。今後、単脚支持期時間における身体運動の安定性と時間変動との関係性についての検討が必要である。

第二に、今回対象とした若年者、高齢者の人数が少ないこと、男女比に偏りがあることなどが挙げられ、さらに高齢群の参加者は身体機能が比較的保たれている高齢者であったが、身体機能が低いものほど転倒の危険性が高いことがわかっているため、今後は対象者数を増やすことに加え身体機能が低い高齢者についても調査していく必要がある。

引用文献

- 1) 櫻井 孝, 鳥羽研二: 人口構成の変化と高齢者の身体疾患. 老年精神医学雑誌, 2015, 26(2): 124-130.
- 2) Ferrandez AM, Pailhous J, Durup M: Slowness in elderly gait. *Exp Aging Res*, 1990, 16(1-2): 79-89.
- 3) Krebs DE, Jette AM, Assmann SF: Moderate exercise improves gait stability in disabled elders. *Arch Phys Med Rehabil*, 1998, 79(12): 1489-1495.
- 4) Maki BE: Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc*, 1997, 45(3): 313-320.
- 5) Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK: Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2001, 82(8): 1050-1056.
- 6) 新井智之, 柴 喜崇, 渡辺修一郎・他: 10 m 歩行における歩行周期変動と運動機能, 転倒との関連—小型加速度計を用いた測定—. 理学療法科学, 2011, 38(3): 165-172.
- 7) Dingwell JB, Ulbrecht JS, Boch J, et al.: Neuropathic gait shows only trends towards increased variability of sagittal plane kinematics during treadmill locomotion. *Gait Posture*, 1999, 10(1): 21-29.
- 8) Thies SB, Richardson JK, Ashton-Miller JA: Effects of surface irregularity and lighting on step variability during gait: a study in healthy young and older women. *Gait Posture*, 2005, 22(1): 26-31.
- 9) Hausdorff JM: Gait variability: methods, modeling and meaning. *J Neuroeng Rehabil*, 2005, 2: 1-9.
- 10) Kaneko M, Morimoto Y, Kimura M, et al.: A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. *Can J Sport Sci*, 1991, 16(3): 223-228.

- 11) Murray MP, Kory RC, Clarkson BH: Walking patterns in health old men. *J Gerontol*, 1969, 24(2): 169-178.
- 12) Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, et al.: A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol*, 1994, 49(2): M85-94.
- 13) Herman T, Giladi N, Gurevich T, et al.: Gait instability and fractal dynamics of older adults with a "cautious" gait: why do certain older adults walk fearfully? *Gait Posture*, 2005, 21(2): 178-185.
- 14) Schniepp R, Wuehr M, Neuhaeuser M, et al. Locomotion speed determines gait variability in cerebellar ataxia and vestibular failure. *Mov Disord*, 2012, 27(1): 125-131.
- 15) Gabell A, Nayak US: The effect of age on variability in gait. *J Gerontol*, 1984, 39(6): 662-666.
- 16) 西澤 哲, 古名丈人, 杉浦美穂: 動作から見た高齢者歩行の特徴—両足支持期時間の加齢効果—. 東京都老年学会誌, 1999, 5: 106-110.
- 17) Winter DA, Patla AE, Frank JS, et al.: Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys Ther*, 1990, 70(6): 340-347.
- 18) Kerrigan DC, Todd MK, Della Croce U, et al.: Biomechanical gait alteration independent of speed in the healthy elderly: evidence for specific limiting impairments. *Arch Phys Med Rehabil*, 1998, 79(3): 317-322.
- 19) Maki BE, Holliday PJ, Topper AK: A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *J Gerontol*, 1994, 49(2): M72-84.
- 20) Skurvidas A, Cesnaitiene VJ, Mickeviciene D, et al.: Age-related changes in force and power associated with balance of women in quiet bilateral stance on firm surface. *Homo*, 2012, 63(2): 114-125.