

高齢者の転倒予防に関する基礎的研究 - 女性の自然歩行における爪先高に着目して -

田中ひかる¹⁾ 佐川和則¹⁾ 淵本隆文²⁾

Basic Research Regarding Fall Prevention in the Elderly - Research Focusing on the Toe-Height in the Natural Walking of Women -

Hikaru Tanaka¹⁾, Kazunori Sagawa¹⁾ and Takafumi Fuchimoto²⁾

Abstract

In this study, to obtain basic data on the prevention of fall-related accidents in the elderly, 43 healthy elderly women and 43 healthy female university students were asked to walk naturally. Their walking motion was filmed using a video camera, and the toe-height of the swing leg was analyzed. No significant difference was observed in the walking speed between the young and elderly groups. The step length was significantly shorter, and the step frequency was significantly greater in the elderly group. The first peak value of the toe-height of the swing leg (h1) was significantly lower in the elderly group. No significant change was observed in the lowest toe-height of the swing leg (h2) and the second peak value of the toe-height of the swing leg (h3). Concerning the 'walking speed index' and 'step length index', in which the influences of a difference in leg length were eliminated, the values were significantly greater in the elderly group. There were no significant differences in the 'step frequency index', 'indexes of h1, h2, and h3' between the groups. We concluded that the elderly are not at higher risk of stumbling and falling, compared to young people.

Key words: fall prevention, walking, elderly, toe-height, female

[The Research Bulletin of Health and Sports Sciences Vol.8, 55-62, 2009]

I 緒言

転倒とは、一般的に直立歩行からバランスを崩して転んでしまい、足底以外の体の一部が地面についた状況をいう（鈴木ほか, 2006, pp.4-6）。歩行もしくは歩行以外の運動において若いころの感覚で体を動かそうとしても、実際に自分の思っているように身体が動かないで、バランスを崩して

も立て直すことが出来ないので転倒する（鈴木, 2006, p.1）と考えられる。

高齢者は転倒を起こす危険性が高い。その為、平衡歩行評価法などを用いて転倒リスクの高い人を同定する試みが行われている（ガロほか, 1998; Mose et al., 1989）。また、病院における高齢な入院患者は Mose (1989) の転倒スケールを用いて、転倒の予測をしている。高橋ほか

1) 近畿大学健康スポーツ教育センター

Institute of Health and Sports Science, Kinki University, 3-4-1 Kowakae, Higashiosaka, Osaka 577-8502, Japan

2) 大阪体育大学体育学部

Osaka University of Health and Sports Sciences, 1-1 Asashirodai, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-0496, Japan

(2006) は加齢に伴い下肢の筋力低下は、転倒予防には筋力の維持が必要であると示唆している。古名ほか (2006) は転倒の原因として、感覚障害、反応時間の遅延、筋力低下、バランス機能低下、歩行機能低下などをあげているが、高齢者の10% から25% は加齢に伴うバランスや歩行機能の低下により転倒を引き起こしており、さらに高齢者におけるほとんどの転倒は歩行中につまづいたり、滑ったりすることによって発生すると述べている。他にも高齢者の転倒に関する研究が多く行われている (藤澤ほか, 2006; 樋口, 2008; 木藤ほか, 2003; 串間ほか, 2006)。

歩行中の転倒は爪先が地面や障害物に接触することで発生するケースが多いと考えられるが、歩行中の爪先の動きについて Murray et al. (1969) は、男性高齢者の爪先が遊脚期前半は若年者より高く、後半は低いことを報告し、Kaneko (1991) は女性の遊脚期における爪先の輸送レベル、すなわち爪先のスイング脚前半の高さの平均値が高齢になるほど低く、踵着地時の足背屈も少ないことから、高齢者の方が「つまづきやすい」ことを警告している。しかしながら長谷川ほか (1999) は、高齢者の遊脚期中間における爪先最下点の高さが、男女ともに若年者より有意に高いことを報告しており、さらに相場ほか (2004) は爪先最下点の高さは、中高年と若年群に有意な差がなかったことを、西澤ほか (1998) は65歳以上の高齢者と若年者を対象にフットクリアランスすなわちスイング期中間における最も低い爪先の高さにおいて年齢差がなかったことを報告している。このように、スイング期における最も爪先が低くなる局面での爪先高については、高齢者は若者より高い、差がない、低いと異なる結果が報告がされている。

そこで、本研究はできるだけ自然に近い歩行条件を工夫し、若年者と高齢者について、スイング脚における爪先の高さ、およびそれらに影響すると思われる因子を分析することによって、高齢者の転倒予防に役立つ基礎的知見を得ようとした。

II 方法

1. 被験者と実験方法

被験者は全員、週に1回以上運動している女性であり、大学生47名 (若年群) と60歳から80歳の高齢者45名 (高齢群) であった。しかし、後述のとおり分析対象とならない試技があったため、分析した被験者は若年群と高齢群ともに43名であった。高齢群は市立体育館で行われている健康体操、太極拳、ソフトバレーボール、パドミントンなどに通っている。被験者の平均年齢は表1に示した。被験者には研究目的を十分説明し、同意を得た上で実験を行った。

被験者には「歩行の様子をビデオカメラで撮影するので、いつものように歩行してください」と説明して体育館内の長さ21mの廊下を、運動シューズを履いた状態で1回ずつ歩かせた。歩行開始地点から進行方向へ約2m進んだ地点の右側方に、被験者からよく見えるようにダミーのビデオカメラを設置し、そこから10m先の右側方5.7m地点に撮影用ビデオカメラ (GZ-MG575 ビクター社製) を被験者から見えないように設置した (図1)。撮影速度は60fps、露出時間は1/500sであった。カメラは、光軸が床から0.73mの高さで水平かつ廊下に垂直になるよう設置し、動かないように固定した。

キャリブレーション用のマークをカメラの光軸から左右1.25m地点に図1のように、2.5m × 2mの長方形になるよう床上に置き、フォーカスは長方形の中心で合わせ、画角はマークがぎりぎり入るよう設定した。4つのキャリブレーションマークはあらかじめ撮影しておき、被験者が歩く時には撤去した。

2. データ処理

歩行における右足爪先離地から次の右足爪先離地までの1サイクル (連続する2歩) が完全に2.5m × 2mの長方形内で完了している歩行のみを分析対象とした。

ビデオ映像をパソコンに取り組み Frame Dias II V3.1 (ディーケーエイチ社製) を用いて、頭

高齢者の転倒予防に関する基礎的研究

表 1 被験者の人数と年齢、脚長、歩行速度、歩幅、歩調および h1、h2、h3 における平均値±標準偏差

	高齢群	若年群	有意差
人数 (人)	43	43	
年齢 (歳)	68.5 ± 6.0	18-21	
脚長 (m)	0.62 ± 0.07	0.72 ± 0.06	***
歩行速度 (m/s)	1.38 ± 0.14	1.38 ± 0.16	ns
歩幅 (m)	0.63 ± 0.05	0.67 ± 0.07	**
歩調 (歩/s)	2.19 ± 0.10	2.04 ± 0.10	***
h1 (m)	0.035 ± 0.007	0.042 ± 0.012	**
h2 (m)	0.012 ± 0.006	0.012 ± 0.006	ns
h3 (m)	0.090 ± 0.018	0.099 ± 0.025	ns

h1: スウィング脚における爪先高の最初のピーク値、h2: 中間の最下点、h3: 第 2 のピーク値である(図 3)。 ns: 有意差なし、*: $p < 0.05$ 、**: $p < 0.01$ 、***: $p < 0.001$ を示す。

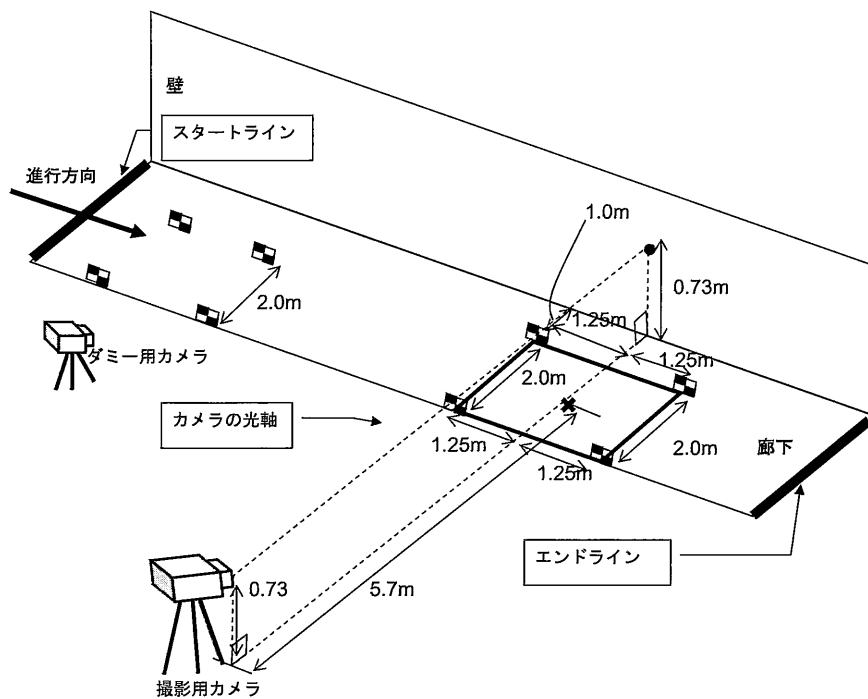


図 1 歩行路および撮影用カメラとキャリブレーションマークの設置方法

頂、右耳、右腰、右膝、右足首、右踵、右母指球、右爪先の8点をデジタル化し、Hay(1988)の方法を参考にして、デジタル座標を実長換算し、3点加重移動平均(カット周波数は9.8Hz)で平滑した。実座標への換算方法は図2に示したように、キャリブレーションマークの4点をC1、C2、C3、C4とし、右足の爪先離地直前の2局面(図2における破線と実線のスティックピクチャー)における爪先の接地点の midpoint をPとし、

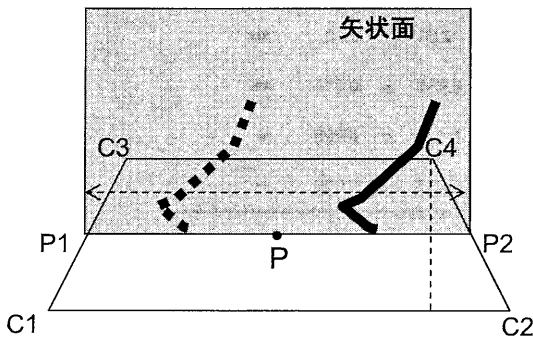


図2 矢状面上における爪先高の算出方法
C1、C2、C3、C4はキャリブレーションマーク、点Pは右足の離地直前の2局面(波線と実線のスティックピクチャー)における爪先の接地点の midpoint、P1とP2は、Pを通り線C1C2に平行な直線がC1C3および線C2C4と交わる点。

Pを通り、線C1C2に平行な直線が線C1C3および線C2C4と交わる点をそれぞれP1、P2とする。今回行った2次元分析は図2のグレーの四角、すなわち線P1P2上に作られた矢状面で行うので、P1とP2のデジタル座標が分かれば、その距離は2.5mであることが分かっているので、実長に換算することが出来る。P1およびP2の座標は、あらかじめ、線C1C2をX軸に平行に回転させておくと、点C4から線C1C2におろした垂線の長さや点C4から線P1P2におろした垂線の長さの比などから容易に求めることができる。

得られた座標から歩幅は右爪先接地位置から次の爪先接地位置までの距離の半分として求め、歩行速度は右爪先離地から次の爪先離地までに右耳が移動した距離をそれに要した時間で除すことによって求めた。そして、歩調は歩行速度を歩幅で除すことによって求めた。爪先高はスイング脚における矢状面上で求め(図2)、最初のピークを h_1 、スイング期中間の最下点を h_2 、前方振り出しに伴う第2のピークを h_3 とした(図3)。

そして、スイング期の中間(h_2 計測時点)における右大腿角 θ_1 、右膝関節角 θ_2 、右足首関節角 θ_3 を計測した(図3)。スイング期後半に下

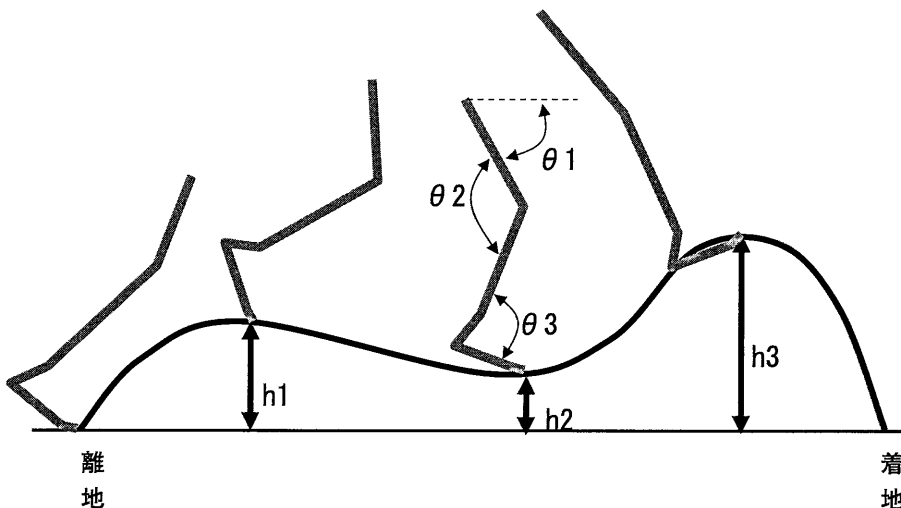


図3 矢状面のスイング脚における爪先高 h_1 、 h_2 、 h_3 と右大腿角 θ_1 、右膝関節角 θ_2 、右足関節角 θ_3 の定義

高齢者の転倒予防に関する基礎的研究

腿を前に振り出す膝伸展の瞬間における大腿長と下腿長の合計を脚長 (H) とし、脚長差の影響を消去する補正計算を行った。歩幅、h1、h2、h3 を H で除し、それぞれ「歩幅指数」「h1 指数」「h2 指数」「h3 指数」とした。「歩行速度指数」は Alexander(1977) の次式を用いて計算した。

$$\text{速度指数} = \text{歩行速度} / \sqrt{H \cdot g}$$

ただし、g は重力加速度

「歩調指数」は速度指数を歩幅指数で除して算出した。

3. 統計処理

平均値の差の検定については、F 検定を用いて 2 つの群が等分散と仮定できるかどうかを検定してから、t 検定 (群の比較) を行い、5% 水準未満をもって有意と判定した。

Ⅲ 結果

1. 歩行速度、歩幅、歩調

高齢群と若年群における自然歩行の速度、歩幅、歩調の結果を表 1 に示した。歩行速度は高齢群と若年群と同じ値を示し、有意差が認められなかった。しかし、歩幅については、高齢群が若年

群より有意に短かった ($p < 0.01$)。歩調は高齢群が若年群より有意に速かった ($p < 0.001$)。

2. スイング脚における爪先高 h1, h2, h3

スイング前半の爪先高のピーク値 (h1) は、高齢群の方が若年群より有意に低い ($p < 0.01$) 値を示した (表 1)。スイング脚における最下点の爪先高 (h2) は、高齢群と若年群がともに 1.2cm であった。スイング脚後半における前方に振り出す第 2 のピーク値 (h3) は、高齢群と若年群との間に有意差は認められなかった。

3. 爪先最下点時のスイング脚関節角度

右大腿角 ($\theta 1$) は高齢群の方が若年群より有意に大きく ($p < 0.05$)、右膝関節角 ($\theta 2$) は高齢群と若年群の間に有意差がなかった (図 4)。右足関節角 ($\theta 3$) は高齢群の方が若年群より有意に小さかった ($p < 0.01$)。

4. 脚長差の補正

脚長差を消去した補正值を表 2 に示した。高齢群の方が若年群より「歩行速度指数」「歩幅指数」が有意に大きく、それ以外の指数については有意差が認められなかった。

表 2 脚長で補正した歩行速度指数、歩幅指数、歩調指数、h1 指数、h2 指数および、h3 指数における平均値±標準偏差

	高齢群	若年群	有意差
歩行速度指数	0.59 ± 0.06	0.54 ± 0.06	***
歩幅指数	1.12 ± 0.14	1.02 ± 0.13	**
歩調指数	0.53 ± 0.04	0.53 ± 0.04	ns
h1 指数	0.064 ± 0.018	0.064 ± 0.022	ns
h2 指数	0.022 ± 0.012	0.018 ± 0.010	ns
h3 指数	0.160 ± 0.038	0.151 ± 0.043	ns

ns : 有意差なし、* : $p < 0.05$ 、** : $p < 0.01$ 、*** : $p < 0.001$ を示す。

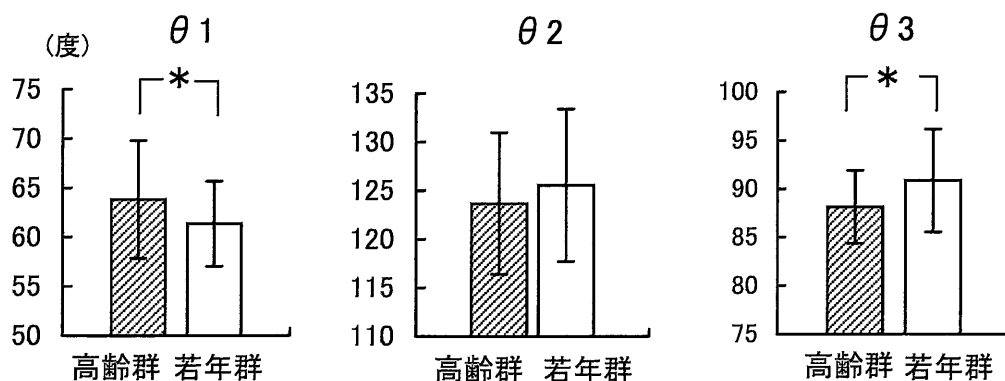


図4 高齢群と若年群のh2爪先高における角度の比較
 右大腿角： $\theta 1$ 、右膝関節角： $\theta 2$ 、右足関節角： $\theta 3$ 、
 *： $p < 0.05$ 、**： $P < 0.01$ を示す。

IV 考察

本研究は「爪先高」というわずかな距離を研究対象としているので、できるだけ「自然な歩行」を行わせるよう考慮した。すなわち、先行研究（長谷川, 1998; Kaneko et al., 1991; Murray, 1969, 西澤; 1998）では、被験者に自然に歩くよう指示してカメラで撮影しているが、この場合はカメラを意識して、歩行が不自然になる可能性が考えられる。そこで、本研究ではスタート直後にダミーのカメラとキャリブレーションマークを設置し、そこから10m先に被験者から見えないうに撮影用カメラを設置した。

本研究の歩行速度は高齢群と若年群とも1.38 m/sであり、長谷川ほか（1998）はそれぞれ1.37 m/sと1.49 m/sを示し、本研究と比較的近い値であった。しかし、西澤ほか（1998）は70歳群が1.11 m/s、Kanekoほか（1991）は70歳群が1.01 m/s、相場ほか（2004）の高齢群は0.84 m/s、若年群は0.92 m/sであり、本研究よりかなり小さかった。歩行速度は60歳以降、加齢とともに低下し（Kaneko et al., 1991; Murray, 1969, 西澤; 1998）、その歩行速度の低下要因の一つとして、膝伸展力や足底屈力の低下が報告されている（淵本ほか, 1999）。また、kaneko et al. (1991) は、歩行速度が握力、垂直跳びの跳躍高、開眼片

足立ち、ステップング、立位体前屈の体力測定値と有意な相関にあると報告している。したがって、本研究における高齢群の下肢筋力は長谷川ほか（1998）の高齢者と比較的近かったが、他の先行研究の高齢者よりは高かった可能性が示唆される。

古名ほか（2006）は加齢に伴う転倒の原因をいくつかあげているが、ほとんどの転倒は歩行中につまずいたり、滑ったりすることによって発生すると述べている。筆者らは、この歩行中の転倒がスイング脚における爪先最下点の高さ（h2）に関係するのではないかと考えて高齢群のh2を若年群と比較した。本研究のh2は高齢群、若年群とも0.012 mであった。この値は西澤ほか（1998）が報告している70歳群の0.013 m、若年群の0.011 mと近い。しかし、長谷川ほか（1998）は高齢群が0.024 m、若年群が0.018 m、相場ほか（2004）は70歳群が0.017 m、若年群が0.018 mと、本研究より高い値を報告している。h2におけるこれらの差は、実験条件や測定方法および被験者の特性などの影響が考えられるが、どの要因がどの程度影響しているかを知ることが出来ない。

鈴木（2006, pp.2-3）は、高齢者の転倒に関連する要因の一つに歩幅の短縮を挙げている。また、鈴木ら（2006, pp.5-7）は、前脚の足趾挙上

高齢者の転倒予防に関する基礎的研究

高が低下するので障害物に爪先が衝突してバランスが崩れやすいことも高齢者の転倒要因として挙げている。本研究において、歩行速度は両群間で有意差が認められなかったにも関わらず、歩幅は高齢群の方が若年群より有意に小さく、歩調は高齢群の方が有意に大きかった(表1)。本研究において、h2が歩行速度と関係しているかどうかを調べたところ、高齢群、若年群ともに有意な相関関係は認められなかった。淵本ら(1998)も本研究と同様に、異なる被験者の速度とh2の間には相関関係が見られないことを報告している。これらの事実は、本研究のように比較的体力の高い高齢者においては、速度の遅い(歩幅の短い)被験者ほどh2が小さいとは言えないことを示しているが、鈴木(2006, pp.2-3)が述べている転倒要因に挙げた歩幅の短縮は、もっと極端な歩幅の短縮ではないかと考えられる。少なくとも、本研究の高齢群は若年群よりもつまずいて転倒する危険性が高いとは言えないと考えられる。そこで、鈴木(2006)が言っているように、歩幅の短縮が転倒の一要因であるとするれば、歩幅の短縮がh2の低下を引き起こす可能性が考えられる。しかし、加齢による歩幅の短縮は体力低下が原因である可能性が高い(淵本ほか, 1999)ので、上述のh2低下が、歩幅短縮によるものか、あるいは、体力低下によるものか、あるいは両方の要因によるものかを判断することが困難である。そこで、今後は同一被験者において、歩行速度を極端に遅くしたり、歩幅を極端に短くすることによってh2がどのように変化するかを調べる必要があると思われる。

本研究における高齢群と若年群の身長あるいは脚長の差が、歩行速度、歩幅、爪先高などに影響していることが考えられるので、脚長差を消去した指数を算出した。その結果、有意差のなかった歩行速度が指数では高齢群が有意に大きな値を示した。そして、若年群の方が有意に大きかった歩幅が指数では逆に高齢群の方が大きかった。これらのことから、高齢群は若年群より体格の割に大きな速度と大きな歩幅で歩いていた、すなわち、大きな強度で歩いていたと考えられる。一方、

h2およびその指数はいずれも両群間で有意差が認められなかった。h2計測局面において高齢群が若年群より大腿角($\theta 1$)が大きかった(膝の挙上が小さい)が、足関節角($\theta 3$)が小さかった(背屈が大きい)ために、2つの角度が互いに相殺し、結果的にh2に差がみられなかったと考えられる。

V 要約

高齢者のスイング脚における爪先高を探るため、健康な女性高齢群43名(68.5 ± 6.0歳)と若年群43名(18-21歳)に自然歩行を行わせ、歩行開始地点から約2m離れた右側方に被験者によく見えるようにダミーのビデオカメラを設置し、その10m先の右側方に見えないように設置したビデオカメラで歩行動作を撮影して2次元分析を行い、以下の結果を得た。

1. 歩行速度は高齢群と若年群の間で有意差がみられず、歩幅は高齢群の方が有意に短かく、歩調は高齢群の方が若年群より有意に大きかった。
2. スイング脚前半の爪先高のピーク値(h1)は、高齢群の方が若年群より有意に低く、スイング脚における最下点の爪先高(h2)およびスイング脚後半で下腿を前方に振り出す際の第2のピーク値(h3)はともに高齢群と若年群に有意差が認められなかった。
3. 脚長差の影響を消去した「歩行速度指数」は高齢群の方が若年群より有意に速かった。「歩幅指数」は高齢群の方が有意に大きく、「歩調指数」は有意差がみられなかった。また、「h1指数」「h2指数」「h3指数」において高齢群と若年群の間に有意差が認められなかった。
4. h2時における右大腿角 $\theta 1$ は、高齢群の方が有意に大きく、右足首角 $\theta 3$ は高齢群の方が有意に小さく、その結果両者が相殺されてh2に有意差がみられなかったと考えられた。

以上の結果より、本研究の高齢群は若年群と比較して、歩幅は短かったが、h2は変わらなかったため、爪先でつまずいて転倒する危険性が高い

とは言えないと考えられた。

文献

- 相場 正之・吉村茂和・寺沢泉 (2004) 歩行時における最小拇趾・床間距離の加齢の影響について, 理学療法学, 31(2): 119-123.
- Alexander, R. MCN. (1977) Terrestrial locomotion. In: Alexander, R. MCN. and Gold-Spink, G (Eds) Mechanics and Energetics of animal Locomotion. Chapman Hall: London, 168-203.
- ガロ, レイチェル, アンダーセン: 岡本祐三ほか訳 (1998) 高齢者機能評価ハンドブック: 医療の看護・福祉の多面的アセスメント技法. 医学書院: 東京. pp212-215.
- 長谷川淳・淵本隆文・金子公宥 (1998) 高齢者の自由歩行における足先の上下動と左右動, 大阪体育大学紀要, 29:39-47.
- 樋口貴広 (2008) 高齢者の歩行と転倒 - 知覚の観点から -, 体力科学, 57(1):183.
- 淵本隆文・長谷川淳・金子公宥 (1998) 高齢者の歩行能力に関する体力的・動作学的研究 (第1報) - 自由歩行における足運びについて -, 体育科学, 27:109-118.
- 淵本隆文・加藤浩人・金子公宥 (1999) 高齢者の歩行能力に関する体力的・動作学的研究 (第2報) - 膝伸展、足底屈、足背屈の筋力と歩行能力の関係 -, 体育科学, 28:108-115.
- 藤澤宏幸・武田涼子・植木章三・河西敏幸・高戸仁郎・高貫秀樹・本田春彦・芳賀博 (2005) 地域在住高齢者におけるサイドステップ長と運動能力および転倒との関係, 理学療法学, 32(7) 391-399.
- James G. Hey and Timothy J. Koh (1988) Evaluating the Approach in the Horizontal Jumps. Int. J. Sport Biomechanics, 4: 372-392.
- Kaneko, M., Morimoto, Y., Kimura, M., Fuchimoto, K., and Fuchimoto, T. (1991) A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. Can. J. Spt. Sci. 16: 223-228.
- 木藤伸宏・島澤真一・弓削千文・奥村晃司・菅川祥枝・吉田聖加・井原秀俊・三輪恵・神谷秀樹 (2003) 高齢者の転倒予防としての動きの再教育を主眼においたトレーニングの有用性, 第18回健康科学研究助成論文集, pp34-44.
- 串間敦郎・川原瑞代・中村千穂子・瀬口チホ・野口陽子 (2006) 地域における高齢者の転倒予防をめざす健康づくりプログラム評価 (1)- 地域住民に与えた機能的効果と予防体操の開発 -, 宮崎県立看護大学研究紀要, 6(1):47-56.
- Mose, J. M., Mose, R. M and Tytko, S. J (1989) Development of a Scale to Identify the Fall-Prone Patient. Canadian Journal of Aging, 8(4) 366-377.
- Murray, M. P., Kory, R. C and Clarkson, B. h. (1969) Walking patterns of healthy old man. Journal of Gerontology 24: 169-178.
- 西澤哲・長崎浩・古名丈人・奥住秀之・杉浦美穂・伊東元・藤田祐樹 (1998) 地域高齢者を対象とした歩行時のフットクリアランスに関する研究, バイオメカニズム, 14:69-79.
- 鈴木みずえ (2006) 転倒予防 リスクアセスメントとケアプラン. 医学書院: 東京.
- 鈴木みずえ・浜砂貴美子・満尾恵美子 (2006) 高齢者の転倒ケア 予測・予防と自立支援のすすめ方. 医学書院: 東京.
- 高橋一栄・中平浩人・山本正治 (2006) 女性の大腿筋および大腿四頭筋横断面積の加齢による変化, 新潟医療福祉学会誌, 6(1):16-21.
- 古名常人・島田裕之 (2006) 高齢者の歩行と転倒 - 疫学的調査から -, バイオメカニズム学会誌, 30(3):132-137.