

歩行中における体幹角度の解析

柳 川 和 優*

Analysis of trunk angle during walking

Kazumasa YANAGAWA

Summary

The purpose of this study was to clarify the characteristics of trunk angle for the elderly and issues concerning analysis of trunk angle compared with young adults during free walking and similar walking speeds. Ten healthy young men (21 to 24 years of age) and ten healthy elderly men (66 to 73 years of age) participated as the subjects in this study. This study analyzed the image data of bare foot movements during free, slow, and fast walking. The following results were obtained:

1. The angle of trunk at toe off were significantly larger and angular displacement of trunk were significantly smaller for the elderly during both free walking and walking within similar range of speeds. In other words, it was shown that the elderly had a smaller movement of trunk during walking.
2. It was shown that the trunk angle was different even in the same posture, depending on the definition of the trunk angle.
3. It was thought that the pertinence of trunk angle constituted the angle in “horizontal plane or vertical plane” and the “trochanter major to the middle point of the interzonal acromion and the tragus.”

Key words: trunk angle, elderly, young adults

* 広島経済大学経済学部教授

I. 緒 言

人口の高齢化が急速に進みつつある我が国において、高齢者が歩行機能を維持することは非常に重要な課題である。高齢者の歩容の特徴として、ステップ長、歩調、速度の減少^{19,15,14,4,5,6)}、両脚支持時間の増大^{19,15,14,2,5,6)}、歩隔の増大^{14,5)}、爪先開き角の増大¹⁰⁾、足指の遊脚期における挙上の減少⁶⁾、股関節開脚角度の減少¹²⁾、スウィング期の膝関節屈曲角度の減少¹²⁾、踵着地時における足関節背屈程度の減少¹⁶⁾、上体の上下動の減少¹²⁾、上体の左右動の増加¹²⁾、骨盤の回転の減少¹²⁾、肩の前方への揺れと肘の後方への伸びの減少¹²⁾、上肢の運動範囲の減少¹⁵⁾などが若年者との比較において報告されている。また、歩行中における高齢者の体幹角度は、加齢にともない前傾の傾向が認められる⁹⁾ことが知られている。しかしながら、体幹角度の定義は研究者により異なり、必ずしも同一ではない。たとえば、体幹角度の定義には、水平面もしくは鉛直面と大転子-肩峰の成す角度^{17,18)}や水平面もしくは鉛直面と大転子-耳珠の成す角度⁹⁾などが存在する。したがって、同じ姿勢であっても、定義の仕方により体幹角度が異なることになる。

ところで、Ferrandez et al (1990)²⁾は、ストライド長が短く両脚支持時間が長いという高齢者の歩行特性は若年者における遅歩行においても観察されるので、歩行速度を考慮に入れるならば若年者と同じであると報告している。このことは、若年者と高齢者の歩行動作の差異は、歩行速度の違いのみに起因する可能性があることを示している。したがって、歩行速度に因らない高齢者における歩行動作の特徴を明らかにするためには、自由歩行での比較のみならず同一速度歩行における比較も検討する必要がある。

そこで本研究では、若年者と高齢者の体幹角度を自由歩行と同一速度歩行で比較することにより、歩行中における高齢者の体幹角度の特徴と体幹角度解析の問題点を明らかにすることを目的とした。

II. 方 法

A. 被検者

被検者は、健常な若年者(21~24歳)および高齢者(66~73歳)男子各10名であった。若年者および高齢者の身体的特徴は、それぞれ年齢; 21.9 ± 0.8 歳 (mean \pm SD, 以下同様), 68.8 ± 2.1 歳, 身長; 174.5 ± 6.4 cm, 163.0 ± 5.5 cm, 下肢長; 86.7 ± 3.9 cm, 82.4 ± 4.4 cm, 体重; 66.9 ± 8.4 kg, 62.5 ± 7.3 kg であった。なお下肢長は、直立姿勢時の大転子から床面までの鉛直距離とした。

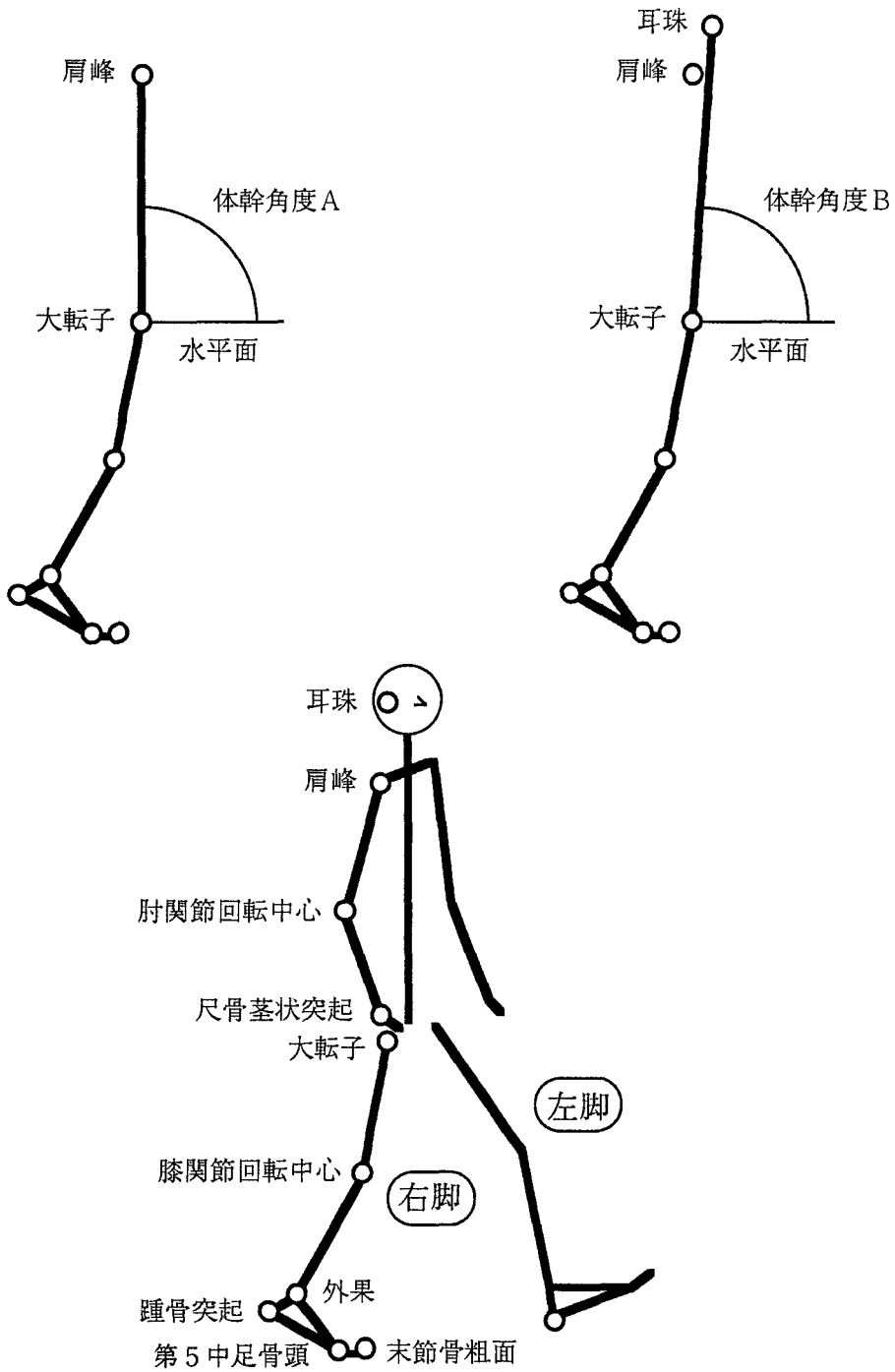


図1 マーカー貼付位置と体幹角度

B. 実験手順

実験室内に幅 0.9 m, 長さ 11 m の木製の歩行路を設置した。被検者は歩行練習を数回行い、歩行路上での歩行に十分慣れた後に自由歩行、遅歩行、速歩行の順に各 5 回行った。なお、被検者への速度の指示は、自由歩行は「速くも遅くもない普通の速度で」、遅歩行は「やや遅く」、速歩行は「やや速く」とした。すべての歩行は裸足で行った。

ビデオ撮影（日本ビクター社製：TK-1070）は、被検者の11部位（図1）に反射マーカーを貼り付け、右側方より毎秒60フィールド、シャッター速度1/250秒で行い、2フィールドごとに各部位をデジタイズした。

ビデオ画像データにより、ストライド長、ストライド時間を測定し、これらの値から歩行速度を算出した。さらに、踵着地時と爪先離地時の体幹角度、体幹動揺角度（踵着地時の体幹角度と爪先離地時の体幹角度の差の絶対値）を算出した。なお、体幹角度は、水平面と大転子－肩峰の成す角度、水平面と大転子－耳珠の成す角度（図1）とし、それぞれ算出した。

C. 統計処理

若年者と高齢者の差の検定は、繰り返しのある一元配置分散分析により各被検者間の差が有意であることを確認した後に、若年者と高齢者の2群に分けて Scheffe の線型比較を行った。

Ⅲ. 結 果

A. 歩行速度の比較

若年者および高齢者の遅、自由、速歩行の速度は、それぞれ次のとおりであった。若年者は、 60.6 ± 9.6 m/min (mean \pm SD, 以下同様), 76.0 ± 7.5 m/min, 90.5 ± 10.3 m/min, 高齢者は、 50.3 ± 10.4 m/min, 64.2 ± 9.7 m/min, 74.9 ± 7.7 m/min であった。高齢者の歩行速度は、遅、自由、速歩行ともに若年者よりも有意に遅かった。

表1は、若年者および高齢者の自由、遅、速歩行のすべての試行を対象とした歩行速度の度数分布を示したものである。若年者と高齢者の体幹角度を同一速度の歩行で比較するために、歩行速度の範囲を限定した。範囲を区切った同一速度歩行としては、両群に多くのデータが含まれる歩行速度が 55～85 m/min の歩行を採用した。同一速度歩行中の速度は、若年者 71.3 ± 8.7 m/min, 高齢者 69.5 ± 8.2 m/min であり、両群間に有意差は認められなかった。

表1 歩行速度の度数分布

歩行速度 (m/min)	度数 (若年者)		度数 (高齢者)		度 数 (合計)
		遅, 自由, 速		遅, 自由, 速	
25～	0		1	(1, 0, 0)	1
35～	1	(1, 0, 0)	16	(15, 1, 0)	17
45～	11	(11, 0, 0)	25	(20, 5, 0)	36
55～	28	(28, 0, 0)	37	(7, 20, 10)	65
65～	36	(5, 30, 1)	35	(7, 16, 12)	71
75～	35	(5, 15, 15)	32	(0, 8, 24)	67
85～	24	(0, 2, 22)	4	(0, 0, 4)	28
95～	10	(0, 3, 7)	0		10
105～	3	(0, 0, 3)	0		3
115～	2	(0, 0, 2)	0		2
total	150		150		300

B. 体幹角度の比較

図2は、加齢に伴う体幹角度の変化を模式図で示したものである。A, B, Cともに左図より若年者, 身体機能がやや低下した高齢者, 身体機能がかなり低下した高齢者を示している。この図は、体幹角度を表す前提としての3種類の体幹を示したものである。Aは「大転子-肩峰」, Bは「大転子-耳珠」, Cは「大転子-肩峰・耳珠の中間点」と水平面の成す角度を体幹角度としたものであり、体幹部を太線で示している。体幹部の定義により、体幹角度が異なることが視覚的に理解できる。

表2は、2種類の方法で算出した体幹角度の比較を示したものである。水平面と大転子-肩峰の成す角度を体幹角度とした場合、若年者と比較して高齢者は、自由歩行、同一速度歩行ともに爪先離地時の体幹角度が有意に大きく、体幹動揺角度が有意に小さかった。一方、水平面と大転子-耳珠の成す角度を体幹角度とした場合、高齢者は、自由歩行、同一速度歩行ともに体幹動揺角度が有意に大きかった。体幹角度を両者の方法で比較すると、水平面と大転子-肩峰の成す角度とした場合と水平面と大転子-耳珠の成す角度とした場合では、両群間の体幹動揺角度の大小が逆の結果となった。

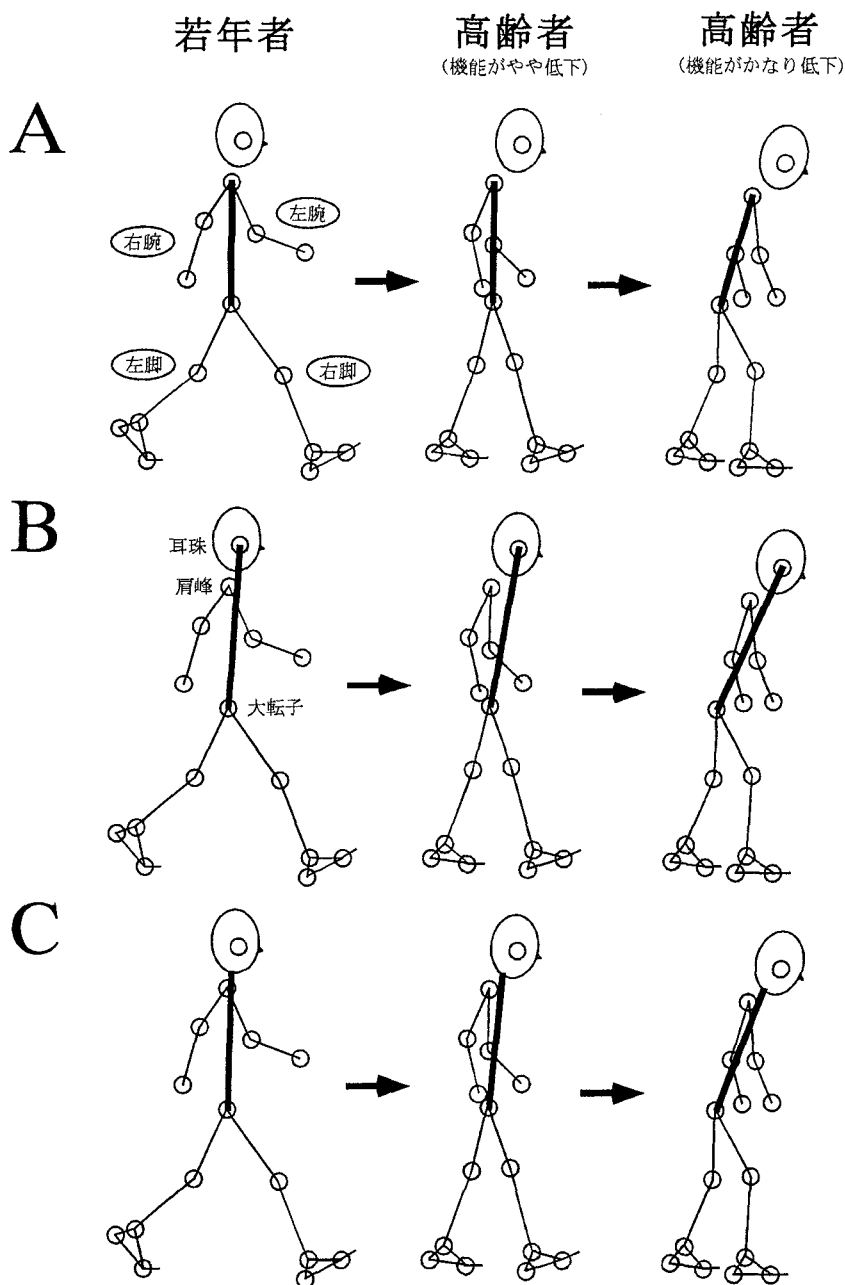


図2 加齢に伴う体幹角度の変化

A, B, Cともに左図より若年者, 身体機能がやや低下した高齢者, 身体機能がかなり低下した高齢者を示している。Aは「大転子-肩峰」, Bは「大転子-耳珠」, Cは「大転子-肩峰・耳珠の中間点」と水平面の成す角度を体幹角度としたものであり, 体幹部を太線で示している。

表2 2種類の方法で算出した体幹角度の比較

	若年者 (n = 50)	高齢者 (n = 50)	有意水準
自由歩行			
大転子－肩峰（体幹角度A）			
踵着地時の角度（deg）	92.9（±2.58）	93.4（±3.49）	NS
爪先離地時の角度（deg）	86.6（±2.40）	89.2（±2.62）	p<0.01
動揺角度（deg）	6.32（±2.08）	4.45（±2.30）	p<0.01 若>高
大転子－耳珠（体幹角度B）			
踵着地時の角度（deg）	86.6（±3.04）	86.5（±2.50）	NS
爪先離地時の角度（deg）	86.7（±2.45）	87.4（±1.94）	NS
動揺角度（deg）	1.14（±0.75）	2.09（±1.21）	p<0.01 若<高
同一速度歩行	(n = 99)	(n = 104)	
大転子－肩峰（体幹角度A）			
踵着地時の角度（deg）	93.5（±2.74）	93.3（±3.59）	NS
爪先離地時の角度（deg）	87.1（±2.77）	88.9（±2.47）	p<0.01
動揺角度（deg）	6.46（±2.41）	4.65（±2.97）	p<0.01 若>高
大転子－耳珠（体幹角度B）			
踵着地時の角度（deg）	86.8（±2.99）	86.7（±2.54）	NS
爪先離地時の角度（deg）	86.9（±2.26）	87.5（±2.19）	NS
動揺角度（deg）	1.27（±0.95）	2.00（±1.34）	p<0.01 若<高

大転子－肩峰：水平面と大転子－肩峰の成す角度を体幹角度とした。

mean（±SD）

大転子－耳珠：水平面と大転子－耳珠の成す角度を体幹角度とした。

IV. 考 察

歩行動作の解析において、体幹角度に言及している報告は数多い。その中で、体幹角度の定義を明示していない報告^{3,8)}が見受けられる。論文中の図から推察すると、水平面と大転子－肩峰、もしくは水平面と大転子－耳珠の成す角度を体幹角度としているようである。体幹角度の定義により結果が変わる可能性があるため、論文中に定義を明示すべきであると考え。一方、ほとんどの報告では体幹角度の定義を明示しているが、複数の定義が存在する。たとえば、鉛直面と大転子－耳珠の成す角度⁹⁾、鉛直面と大転子－肩峰の成す角度^{17,18)}、鉛直面と大転子－胸郭上端の成す角度¹³⁾、などである。ここで注意が必要なのは、同じ姿勢であっても、定義の仕方により体幹角度が異なることである。以下、代表的な体幹角度の定義における問題点について考察する。

まず、水平面もしくは鉛直面と大転子－肩峰の成す角度を体幹角度とした場合（図2のA）の問題点について述べる。一般に、歩行速度が速くなると骨盤や胸郭を回旋させる^{10,11)}ため、結果として肩峰点を回旋させる。したがって、極端に歩行速度が速いと、1歩行周期内の肩峰点の変動が明らかに大きくなり、2次元の画像解析において肩峰点をデジタイズするのには問題がある。つまり、肩峰点が実際の体幹よりも前後に位置する時期が存在するということである。しかしながら、高齢者や若年者の自由歩行など、速度が極端に速くない場合には骨盤や胸郭の回旋はわずかであり、この定義で問題はないものと考えられる。

次に、水平面もしくは鉛直面と大転子－耳珠の成す角度を体幹角度とした場合（図2のB）の問題点について述べる。歩行中の高齢者は、肩関節が過伸展し、肘の曲がった姿勢になる傾向があることが報告¹²⁾されている。本研究の高齢者の中にも、首を縮め、顔をやや前方に出し、一見やや肩を引き上げたような姿勢で歩行する被検者が見受けられた。このような被検者の場合、耳珠点が肩関節よりかなり前に位置し、2次元の画像解析において耳珠点をデジタイズすると、実際の体幹角度よりもより前傾した値となる。しかしながら、身体機能が低下した高齢者以外にはその様な傾向は認められず、若年者や中年者の体幹角度を論ずる場合にはこの定義で問題はないものと考えられる。

以上、2つの代表的な体幹角度の定義における問題点を指摘したが、より妥当な体幹角度の定義はないものであろうか。本研究においては、「水平面もしくは鉛直面」と「大転子－肩峰・耳珠の中間点」の成す角度を体幹角度とする（図2のC）ことを提案する。この定義を採用すれば、上記2つの方法の欠点を解消することができる。すなわち、歩行速度が極端に速く肩峰点を回旋させた場合において、この定義ならば影響を受けることはない。また、体幹とは、頭、頸、胸、腹を含めたもの⁷⁾であり、首を縮め、顔をやや前方に出し、一見やや肩を引き上げたような姿勢で歩行する被検者において、まさに妥当な定義だと考えられる。

しかしながら、本研究では標準的な標点²⁰⁾にマーカーを貼付しており、肩峰と耳珠の中間点にマーカーを貼付していない。したがって、水平面と大転子－肩峰・耳珠の中間点を用いて体幹角度を算出することが困難であった。また、本研究においては、歩行速度が極端に速くなく、肩峰点を回旋させて歩く被検者がほとんど見られなかった。さらに、高齢者の一部に、首を縮め、顔をやや前方に出した姿勢で歩行する被検者がいた。以上のことにより、本研究では、水平面と大転子－肩峰の成す角度を体幹角度とした。

これまでに報告された高齢者の歩行動作に関する研究は数多く、若年者との比較

からさまざまな特徴が報告されており、速度の異なる歩行に関して比較検討した研究^{12,14,16)}が多い。しかしながら、Ferrandez et al (1990)²⁾は歩行速度が同じならば、高齢者の歩行動作は若年者と変わらないと報告している。つまり、若年者と高齢者の歩行動作の差異は、歩行速度の違いのみに起因する可能性があることを示唆している。そこで本研究では、若年者と高齢者の比較において、自由歩行で差が認められ、かつ同一速度歩行においても体幹角度に差が認められた場合が真の差であると考えて分析を行った。

水平面と大転子－肩峰の成す角度を体幹角度とした場合、若年者と比較して高齢者は、自由歩行、同一速度歩行ともに爪先離地時の体幹角度が有意に大きく体幹動揺角度が有意に小さかった。したがって高齢者は、体幹をあまり動かさずに歩いていることが示された。

V. 要 約

本研究では、若年者と高齢者の体幹角度を自由歩行と同一速度歩行で比較することにより、歩行中における高齢者の体幹角度の特徴と体幹角度解析の問題点を明らかにすることを目的とした。健常な若年者および高齢者男子各10名を対象とし、側方から撮影した映像データにより、裸足による歩行動作を分析した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 若年者と比較して高齢者は、自由歩行、同一速度歩行ともに爪先離地時の体幹角度が有意に大きく、体幹動揺角度が有意に小さかった。すなわち高齢者は、体幹をあまり動かさずに歩いていることが示された。
- 2) 同じ姿勢でも、定義の仕方により体幹角度が異なることが示された。
- 3) 体幹角度は、「水平面もしくは鉛直面」と「大転子－肩峰・耳珠の中間点」の成す角度とすることが妥当であると考えられた。

文 献

- 1) Ferrandez A M, Pailhous J, Serratrice G (1988): Locomotion in the elderly. In Posture and Gait, Development, adaptation and modulation, eds. Amblard et al: 115-124
- 2) Ferrandez AM, Pailhous J, Durup M (1990): Slowness in elderly gait. Exp Aging Res 16: 79-89
- 3) 深代千之, 沢井史穂, 船渡和男, 芝山明, 若山章信, 福永哲夫 (1997): 中高年者のレジスタンストレーニングによる歩行動作の変化. 体育科学 25: 136-140
- 4) 伊東元, 長崎浩, 丸山仁司, 橋詰謙, 中村隆一 (1989): 健常男子の最大速度歩行時における歩行周期の加齢変化. 日本老年医学会雑誌 26(4): 347-352

- 5) Kaneko M, Fuchimoto K, Fuchimoto T, Morimoto Y, Kimura M, Kitamura T, Tsutsui Y, Arita T (1990): Biomechanical analysis of walking and fitness testing in elderly woman. In *Fitness for the Aged, Disabled, and Industrial Worker*, eds. M. Kanako: 84-89
- 6) Kaneko M, Morimoto Y, Kimura M, Fuchimoto K, Fuchimoto T (1991): A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly woman. *Can J Sports Sci* 16(3): 223-228
- 7) 金子公有 (1994): 改訂スポーツ・バイオメカニクス入門. 杏林書院: 東京, pp. 19
- 8) 金子公有, 淵本隆文, 山本明美, 田中ひかる (1998): 高齢者の歩行運動に及ぼす意識的歩幅変化の影響. *体育科学* 26: 124-132
- 9) 金俊東, 久野譜也, 相馬りか, 増田和実, 足立和隆, 西嶋尚彦, 石津正雄, 岡田守彦 (2000): 加齢による下肢筋量の低下が歩行能力に及ぼす影響. *体力科学* 49(5): 589-596
- 10) Murrey MP, Drought AB, Kory RC (1964): Walking patterns of normal men. *J Bone Joint Surg* 46A(2): 335-360
- 11) Murray MP, Kory RC, Clarkson BH, Sepic SB (1966): Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *Am J Phys Med* 45(1): 8-24
- 12) Murrey MP, Kory RC, Clarkson BH (1969): Walking patterns in healthy old men. *J Gerontol* 24: 169-178
- 13) 岡田英孝, 阿江通良 (1999): 高齢者の歩行動作特性—歩行速度の影響を考慮した Kinematics の検討—. *バイオメカニクス研究概論* 121-126
- 14) 高見政利, 福井紈彦 (1987): 床反力計による健常者歩行の研究—特に年齢および性別の違いについて—. *リハビリテーション医学* 24: 93-101
- 15) 徳田哲男 (1977): 老人の歩行. *人間工学* 13(5): 219-222
- 16) 渡部和彦, 塩川満久, 宮川健 (1992): 高齢者の歩行調整機能に関する研究 I—トレッドミル上での着地局面における足部の姿勢に着目—. *体育科学* 20: 104-09
- 17) 渡部和彦, 宮川健 (1993): 高齢者の歩行調節機能に関する研究 II—障害物を越える際の歩行動作に着目して—. *体育科学* 21: 239-247
- 18) 渡部和彦, 塩川満久 (1996): 高齢者の階段降り歩行の3次元動作解析およびその特徴. *体育科学* 24: 130-136
- 19) 山岸豪, 徳田哲男 (1975): 老人歩行—光学的分析による—. *リハビリテーション医学* 12(2): 97-104
- 20) 山崎信寿 (1989): 運動学的因子の分析. 土屋和夫監修 臨床歩行分析懇談会編, 臨床歩行分析入門. 医歯薬出版: 東京, pp.26