

原 著

## 高齢者の自由歩行に関する一考察；足向角と歩隔を中心に

A study on normal walking in elderly people with special reference to  
foot angle and step width

宮辻 和貴<sup>1)</sup> 川端 浩一<sup>1)</sup> 伊藤 章<sup>1)</sup> 金子 公宥<sup>2)</sup>  
Kazuki Miyatsuji<sup>1)</sup> Koichi Kawabata<sup>1)</sup> Akira Ito<sup>1)</sup> Masahiro Kaneko<sup>2)</sup>

### Abstract

The purpose of this study was to understand the characteristics of gait patterns in elderly people compared with those in young people. The foot angle and step width were measured using their footprints while elderly people were walking at their voluntary speeds. 356 elderly people including 170 men and 186 women aged  $75.0 \pm 6.2$ , and 206 young people including 88 men and 118 women aged  $20.4 \pm 1.3$ , participated this study. The mean foot angle, which was defined as the angle between the right and left foot, in the male elderly group was  $21.2 \pm 8.7^\circ$  and that in the female elderly group was  $9.6 \pm 9.2^\circ$ . There was a significant difference between the mean foot angle in the elderly and young group. The mean step width in the male and female elderly group was 0.072 m and 0.060 m, respectively. The mean step width in the elderly group was greater than that in the young group. In the elderly group, the foot angle showed no change with increasing age, while the step width increased significantly with increasing age. The elderly who walked with a wider foot angle and step width showed a tendency to walk at slower speed and to have the lower muscle strength, body balance and quickness. These findings would contribute to understand the changes of gait patterns with an increase in age in the elderly people.

キーワード 高齢者, 歩行, 足向角, 歩隔, 体力テスト

Elderly, Walking, Foot Angle, Step Width, Physical Fitness Test

### I. 緒言

歩行は人類学的な見地からみて最も基本的な動作の移動運動 (Locomotion) である。これまで人類学や生態学, 体力科学的アプローチ (木村ほか, 1989; 衣笠ほか, 1994), 臨床的リハビリテーション (ダクロケット, 1973), バイオメカニクス的研究 (Murry et al., 1964, 1966,

1969, 1970; Kaneko et al., 1991; 淵本ほか, 1998; 長谷川ほか, 1999; 柳川ほか, 2002, 2003; 宮辻ほか, 2007a) など, 幅広い分野から多岐にわたる取り組みがなされてきた。高齢者に限らず歩行能力はADL (Activities of Daily Living) やQOL (Quality of Life) を維持する上で必要不可欠な能力であるため, 自由歩行

<sup>1)</sup> 大阪体育大学大学院バイオメカニクス研究室

*Laboratory of Biomechanics Department of Sport Science  
Osaka University of Health and Sport Sciences*

<sup>2)</sup> NPO法人みんなのスポーツ協会

*Fitness for All Association Osaka*

(normal walking) の速度が運動能力 (体力) を知る指標としてしばしば用いられている (木村ほか, 1995)。

加齢 (aging) により歩行能力は退行すると言われているが, そのことを示す多くの報告がなされている。これまで歩行指標の変化については, 自由歩行速度が全力による歩行速度 (最大歩行速度) と密接に関係すること (Himann et al., 1988; 衣笠ほか, 1994), 歩行中における腰や四肢の運動範囲が減少すること (Murry et al., 1964, 1966, 1969, 1970), 各種体力要素の加齢に伴う変化と歩行指標の変化との関連 (Kaneko et al., 1991; 衣笠ほか, 1994; 木村ほか, 1998) などが報告されている。田井中・青木 (2002) は, 歩行能力の低下が筋力的要因より神経機能の低下に大きく依存するとしているが, 下肢筋量 (金ほか, 2000) や下肢筋力 (淵本ほか, 1999) が加齢に伴って低下する。また, 高齢者は片脚支持時間 (遊脚期) が短く, 両脚支持時間 (立脚期) が相対的に長くなる傾向が認められているが (Kaneko et al., 1991, Murry et al., 1969), それは平衡機能 (バランス能力) の低下が関係している (Winter et al., 1990)。実際に, 加齢の影響により高齢者は, つまずきやふらつき, すべり等による転倒者が多い (Tinetti et al., 1988)。その一つの要因とされる「つまずき」に関しては, 自由歩行中における遊脚期 (スイング中間期) の爪先挙上高 (foot clearance) が, 若年者よりむしろ高齢者の方でより高くなると報告されている (淵本ほか, 1998; 長谷川ほか, 1999; 柳川ほか, 2002, 2003)。さらに, 木村ほか (1996) や木村 (2000) は歩行能力と関連が深い平衡機能の低下が, 転倒につながる最も重要な危険因子であると考えている。

Bradford (1897) は, 医師や体育教師の “what is the correct position for the feet?” の質問に対し, 両足を広げた姿勢が不自然な姿勢 (artificial posture) であることを最初に指摘している。そして, 足の自然な位置がin-toeing (内股) からout-toeing (外股) まで様々であると述べた上で, 自然な姿勢 (normal posture)

は幾分足を開いて「やや外股 (moderate out-toeing)」であると説いた。しかし, アメリカでは両足を平行に進める「インディアン歩行が良い」とされていた。そのためDougan (1924) は男性, Patek (1926) は女性について調査した結果, それぞれ靴を履く習慣のあるアメリカ人学生は「軽度 (やや) の外股歩き」であったことを指摘した。アメリカのMorton (1932) は, 南アフリカに調査団を派遣して多数原住民の自由歩行における足跡を採取し, 接地足の方向を計測することにより裸足歩行のアフリカ原住民と靴歩行の白人との間には差がないことを報告した。この報告は, 先行研究であるHoffman (1905) やWells (1931) のアフリカ原住民の足に関する人類学的知見と一致するものであった。

海外においては, 高齢者と若年者を比較したMurray et al (1964, 1966, 1969, 1970) やRigas (1984) が歩行動作の各指標について詳細な分析を行っている。さらに, 歩行中における下肢 (足を含む) の障害について, 動的な状態も静的な状態も両方とも筋骨格系全体に重大な影響を与えるだろうと想定することは理にかなっているとSgarlato (1965) やCavanagh et al. (1997) が報告している。そのため, 下肢や足の異常を判断する静的な臨床方法としてMcpoil and Cornwall (1996) は, Static footprint法が理論的な解釈を得られると主張している。Sarah et al. (2005) は, Dynamic and Static footprint法の2種類の方法から足向角と歩隔の特徴を算出することにより, それぞれの有用性について比較検討している報告も見られる。

国内に関しては, 幼児 (広川, 1986) や成人 (片山・城, 1931; 福原, 1954; 植竹, 1988) を対象としたものが多い。特に, 高齢者に焦点をあてた報告では, 山崎 (1999) の足の事典で紹介された西澤たちの未発表資料や淵本ほか (1998), 長谷川ほか (1999) を見るにすぎなかった。しかしながら, 比較的最近になって澤山ほか (2006), 宮辻ほか (2007b) が高若男女を対象に比較した結果を示している。その中でも宮辻ほか (2007b) は, 自由歩行中における高齢男女の歩行動作の特徴と体力的な指標との関

連性を調べ、高齢者の足向角が基本的には「外股歩き」であり、年齢の高い人ほど筋力やバランス能力が低く、歩幅が広く、歩行速度も遅い傾向にあることを報告した。

しかし、上記の宮辻ほか(2007b)の研究では被験者が少なく、疫学的な研究としては被験者が不十分であると考えられた。そこで本研究では、被験者数の大幅な増員を図るとともに、対照群の若年群についても体力テストを実施した上で、歩行能力に加えて体力面の資料を強化することにより、前報(宮辻ほか, 2007b)の結果を再検討することを目的とした。

## II. 方法

### A. 被験者

被験者は、日常生活の外出に特別な支障を有しない65歳以上の高齢男性170名、女性186名の計356名(以下「高齢群」と略す)、対照群として若年男性88名、女性118名(以下「若年群」と略す)の総計562名である。

平均年齢は高齢群の男性が $75.6 \pm 6.2$ 歳、同女性が $74.5 \pm 6.2$ 歳、若年群の男性が $20.7 \pm 1.2$ 歳、同女性が $20.1 \pm 1.2$ 歳であった。また、被験者の身長は、高齢群の男性が $1.63 \pm 0.06$ m、同女性が $1.50 \pm 0.05$ m、若年群は男性が $1.71 \pm 0.06$ m、同女性が $1.58 \pm 0.05$ m、身体質量は高齢群の男性が $59.8 \pm 8.9$ kg、同女性が $50.8 \pm 6.5$ kg、若年群は男性が $62.7 \pm 7.6$ kg、同女性が $50.8 \pm 6.8$ kgであった。

なお本研究は、京都府立医科大学医学倫理審査委員会および兵庫県立大学倫理審査委員会の承認を受けて行った。

### B. 実験手順

#### 1. 足跡の採取

体育館内に仮設した全長約10m、全幅1.5mの油紙を敷いた歩行路のスタート付近に全長約5m、全幅0.8mの白色模造紙を敷き、この上にシューズを着用させて足元を気にせず歩行路の水平前方を見ながら「普段歩いているように気持ちの良い普通の速度で歩いて下さい」の指示で自由歩行を行わせた。シューズは足袋の感覚で履ける薄地のもの(月星化成株式会社, Moon Star)を用意し、被験者の足に合ったシューズ

を着用させた。靴底にポスターカラー(黒色)を付着させ、足跡(footprint)が模造紙に刻印されるようにした。

### 2. 足跡の定義と計測方法

「足向角」の用語については、主に「angle of gait」(Hoffman, 1905; Dougan, 1924; Patek, 1926; Morton, 1932; Sgarlato, 1965; Wilkinson et al., 1995; Wilkinson and Menz, 1997; Sarah, 2005), 「foot angle」(Murry et al., 1964, 1966, 1969, 1970; Rigas, 1984; Holden et al., 1985; ドナルド, 2007), 「angle of the step」(ダクロケット, 1973)があり、日本語では「足跡角」(片山・城, 1931; 福原, 1954), 「足角」(中村ほか, 2003), 「歩向角」(植竹, 1988), 「爪先開き角」(山崎, 1999)などが用いられてきた。これまで足向角の計測方法もさまざま見られるが、Holden et al. (1985)は例外的に「連続する左右足の着地点の midpoint を結ぶ曲線の接線方向」と定義している。その他の先行研究では「歩行者の正面直線方向に対する足跡の方向(角度)」で、足跡の方向が「長い足跡の先端と後端を結ぶ線の方向」を計測し、進行方向より外向きを外転(+), 内向きを内転(-)とする方法が一般的である。本研究では、いわゆる外股歩き(out-toeing)であるか内股歩き(in-toeing)であるのかを端的に知るため、単純に左右両足間の角度を「足向角foot angle」と定義した(Figure 1)。

「歩幅」については、「step width」(ドナルド, 2007), 「width of the step」(ダクロケット, 1973), 「stride width」(Murry, 1964, 1966, 1969, 1970; Rigas, 1984), 「base of gait」(Wilkinson, 1995, 1997; Sarah, 2005)があり、日本語では「足間巾」(福原, 1954)や「足隔」(中村ほか, 2003)などの用語が用いられてきた。しかしながら、「連続する左右両足間の2つの踵を結ぶ線に対側足の踵から引いた垂線の距離」とする計測法が一般的(山崎, 1999)であることから、本研究もこの方法に従って左右両足間の距離を「歩隔 step width」と定義した(Figure 1)。

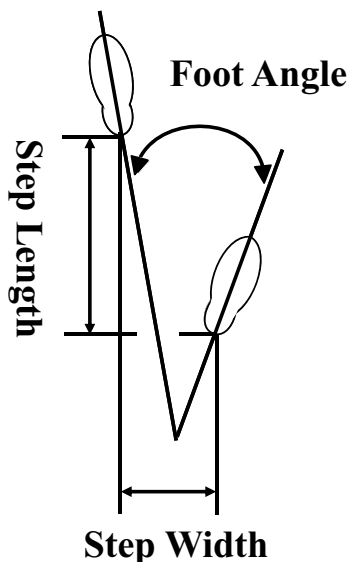


Figure 1. Schematic presentation of foot angle, step width and step length

そのため本研究では、淵本ほか（1998）、長谷川ほか（1999）、澤山ほか（2006）、宮辻ほか（2007b）の先行研究と同様に「足向角（foot angle）」、「歩隔（step width）」と称することとした。なお、「足向角」や「歩隔」の測定方法の信頼性や妥当性に関しては、Wilkinson et al（1995, 1997）により詳細に報告がなされている。

足跡の計測範囲は、歩行速度が最も安定する（木村・神谷, 1982）3歩目以降の歩行1周期（連続する2歩）が望ましいため、3歩目から5歩目（または4歩目から6歩目）の同側足の踵着地から次の踵着地までの足跡を分析対象とした。また、歩行速度および歩調は、ビデオ映像（60fps、シャッター速度1/1000秒）を分析することにより算出した。

### C. 体力測定テスト

本研究の高齢者と若年者を対象とした体力テストでは、(1) 静的なバランス能力を調べる開眼片足立ちと閉眼片足立ち時間、(2) 動的なバランス能力を知るFRテスト（Functional reach test）、(3) 静的筋力の指標として膝関節伸筋力（以下「膝伸筋力」と略す）、(4) 動的筋力の指標であるチェアスタンド、(5) 敏捷性の能力を

判定するステッピングテストの計6項目について測定を実施した。

(1) 開眼片足立ちテストと閉眼片足立ちテストでは、両手を腰に当てた開眼または閉眼の姿勢で片足を床上に接しないように挙げさせ、その支持時間を（120秒を上限にして）測定した（木村ほか, 1996）。

(2) FRテストでは、被験者が壁を側方にして立ち、足を動かさずに壁側の腕を水平に挙げてできるだけ前方に伸ばしたときの指先の到達点を計測した（Duncan et al., 1990；木村, 2000）。

(3) 膝伸筋力テストでは、被験者が椅子に座位の状態です関節に牽引用のベルトを装着し、膝関節が直角になるようにベルトに連結した鎖の長さを調整するとともに、張力計が水平に牽引される様に鎖の高さを固定した。膝を伸展させた時に腰が浮きあがるのを防止するため、腰をベルトでしっかりと椅子に固定し、全力で左右の膝関節を最大努力で伸展するときの等尺性最大筋力を測定した（淵本ほか, 1999）。

(4) チェアスタンドテストでは、被験者は両手を胸の前で交差させ背中を真っ直ぐ伸ばして椅子に腰かけ、スタートの合図で膝を伸展させて椅子から立ち上がり、再び腰かける動作を30秒間全力で繰り返す回数を数えた（Jones et al., 1999；中谷ほか, 2002）。

(5) ステッピングテストは、被験者が椅子に腰かけて両手で椅子を握り、座位姿勢のまま両足を2本線（30cm間隔）の内側に両脚を置き、合図と同時に全力で両足を開閉させ、20秒間の回数を測定した（木村ほか, 1989）。

### D. 統計処理

2変数間の関係にはピアソンの積率相関係数を用いて相関を計算し、危険率5%未満（ $p < 0.05$ ）をもって有意と判定した。2変数の差の検定では、先に等分散性の検定であるF検定を行った後、分散が等しい場合は等分散を仮定した2標本によるt検定（スチューデントのt検定）を、分散が等しくない場合は分散が等しくないと仮定した2標本によるt検定（ウェルチのt検定）をそれぞれ用い、有意水準を危険率5%未満（ $p <$

0.05) として判定した。

Ⅲ. 結果

A. 高齢群と若年群における自由歩行指標および体力指標の比較

1. 歩行速度, 歩幅, 歩調

高齢群と若年群における自由歩行指標の歩行速度, 歩幅, 歩調の有意差検定結果をTable 1に男女別に示した。

歩行速度は, 男女ともに若年群に比して高齢群の方が有意に遅く ( $p < 0.001$ ), 歩幅も高齢群が若年群より有意に短かった ( $p < 0.001$ ). また,

Table 1. Age differences in walking speed, step length and step rate.

Walking parameters	men ( n = 258 )			women ( n = 304 )		
	Elderly	Young	Si	Elderly	Young	Si
No. of subjects	170	88		186	118	
Walking speed ( m/s )	1.27±0.24	1.53±0.24	***	1.29±0.33	1.41±0.19	***
Step length ( m )	0.653±0.101	0.749±0.068	***	0.602±0.100	0.692±0.059	***
Step rate ( steps/s )	1.94±0.17	2.04±0.25	***	2.12±0.31	2.03±0.19	**

\*\* :  $p < 0.01$ , \*\*\* :  $p < 0.001$ .

歩調は男性では高齢群の方が遅く ( $p < 0.001$ ), 女性では逆に高齢群の方が速く ( $p < 0.01$ ), 男女で異なる結果となった。

2. 足向角, 歩隔

足向角と歩隔における高齢群と若年群 (男女別, 性差) の有意差検定結果をFigure 2に示した。足向角の平均値は, 高齢群の男性が $21.2 \pm 8.7$ 度, 同女性が $9.6 \pm 9.2$ 度で, 若年群では男性が $14.5 \pm 8.5$ 度, 同女性が $0.5 \pm 8.5$ 度であった。足向角は, 男女ともに高齢群の方が若年群に比して有意に大きかった (男性:  $p < 0.001$ , 女性:  $p < 0.001$ )。

歩隔の平均値は, 高齢群の男性が $0.072 \pm 0.031$ m, 同女性が $0.060 \pm 0.042$ mで, 若年群では男性が $0.067 \pm 0.040$ m, 同女性が $0.064 \pm 0.033$ mであった。歩隔は, 男性では高齢群, 女性では若年群の方が大きい傾向がみられたが有意差はなかった。

性差 (男女差) は, 足向角の場合, 高齢群と若年群において共に男性群の方が女性群より有意に大きく ( $p < 0.001$ ), 歩隔は, 高齢群におい

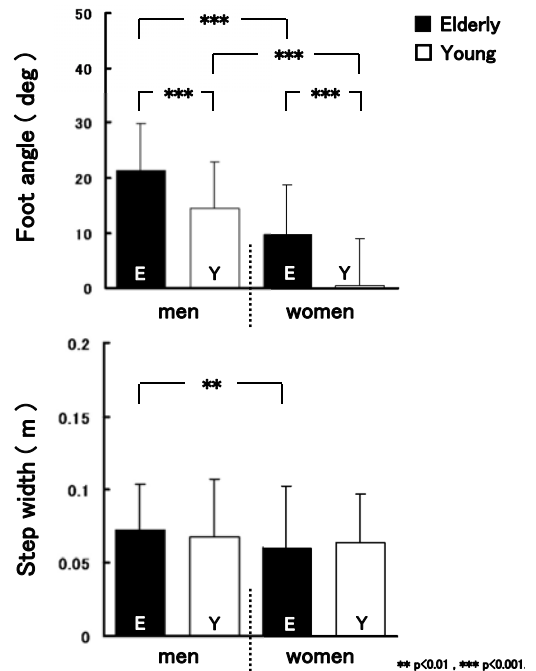


Figure 2. Foot angle and step width for men and women in the elderly ( E ) and young ( Y ) groups.



でのみ男性の方が女性より有意に大きい ( $p < 0.01$ ) という結果が得られた。

### 3. 体力指標

Table 2 に高齢群と若年群における体力指標の平均値を比較した結果を男女別に示した。本研究で測定した全ての体力指標において、男女ともに高齢群は若年群より有意に低い値であった (男性： $p < 0.001$ , 女性： $p < 0.001$ )。つまり、

高齢群の体力レベルは、各指標において若年群より劣っていることが明らかであった。

### B. 足向角と歩隔における加齢の影響

高齢群と若年群の両群における体力指標と足向角、歩隔の加齢変化を更に検討するため、各指標と年齢との相関関係を求めた (Figure 3, Table 3)。

高齢群の足向角と年齢との間には男女ともに

Table 2. Age differences in physical fitness test items.

Test variables	men (n = 258)			women (n = 304)		
	Elderly (n = 170)	Young (n = 88)	Si	Elderly (n = 186)	Young (n = 118)	Si
One-leg standing time with eyes open (s)	45.9±45.1	119.6±2.2	***	40.9±42.4	116.0±19.2	***
One-leg standing time with eyes close (s)	7.0±11.3	68.4±40.1	***	5.2±6.1	58.2±41.6	***
Functional reach (m)	0.33±0.09	0.45±0.06	***	0.30±0.08	0.42±0.05	***
Knee extensor strength (kg)	29.0±9.9	63.4±11.3	***	20.0±6.3	36.5±8.2	***
Chair-stand (times/30s)	21.9±6.4	40.0±4.3	***	21.0±6.8	39.8±6.2	***
Stepping (times/20s)	31.7±7.6	39.6±3.9	***	31.1±6.6	40.5±5.3	***

\*\*\* :  $p < 0.001$ .

Table 3. Correlation between age and physical fitness test items.

Test variables	Elderly men (n = 170)	Elderly women (n = 186)	Young men (n = 88)	Young women (n = 118)
One-leg standing time with eyes open (s)	-0.408***	-0.507***	0.038	0.082
One-leg standing time with eyes close (s)	-0.276***	-0.248**	-0.053	-0.070
Functional reach (m)	-0.368***	-0.413***	-0.208	0.177
Knee extensor strength (kg)	-0.410***	-0.412***	0.073	0.172
Chair-stand (times/30s)	-0.311***	-0.316***	-0.259	0.195
Stepping (times/20s)	-0.296***	-0.447***	-0.148	0.194

\*\* :  $p < 0.01$ , \*\*\* :  $p < 0.001$ .

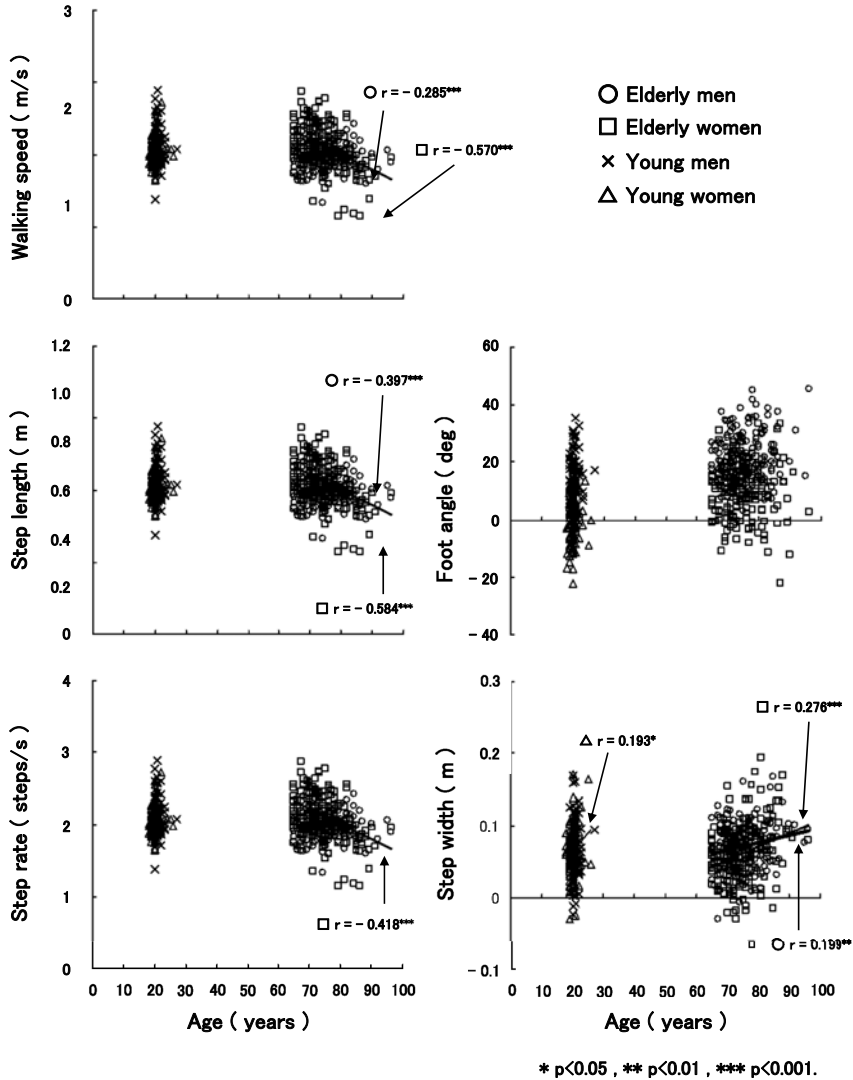


Figure 3. Correlations between age and walking parameters.

有意な相関がみられなかったが、歩隔と年齢との間には男女ともに有意な正の相関（男性： $p < 0.01$ ，女性： $p < 0.001$ ）が見られた。高齢群においては歩行速度，歩幅の男女に年齢との間で負の相関がみられ，歩調では女性にのみ有意な負の相関が認められた (Figure 3)。

体力指標では，男女ともに開眼片足立ち，閉眼片足立ち，FRテスト，膝伸筋力，チェアスタンド，ステッピングのいずれの成績にも，年齢との間で有意な負の相関 ( $p < 0.01 \sim p < 0.001$ )

が認められた (Table 3)。

対照群の若年群についても同様の相関を調べたが，男性では年齢との間に有意な関係は認められなかったが，女性では歩隔と年齢との間に有意な正の相関 ( $p < 0.05$ ) が見られた (Figure 3)。また，年齢と体力指標との間においても，男女ともに有意な関係は認められなかった (Table 3)。これらのことから，加齢の影響によって体力の指標が低下することが明らかとなった。

C. 歩行指標と体力指標の相関マトリックス

Table 4に高齢群, Table 5に若年群の自由歩行指標と体力指標に関する相関マトリックスを示した. 歩行速度との相関では, 高齢群の男女ともに歩行速度の速い人ほど歩幅が大きく歩調も速く ( $p < 0.001$ ), 開眼片足立ち, 閉眼片足立ち (男性のみ), FRテスト, 膝伸筋力, チェアスタンド, ステッピングの成績も高かった ( $p < 0.01 \sim p < 0.001$ ). 若年群の男女においても歩行速度の速い人ほど歩幅が大きく歩調も速い ( $p < 0.001$ ) という点は高齢者と同様であったが, その他の体力指標との間には有意な相関が認められなかった. また, 高齢群の足向角と歩隔は, 歩行速度と負の相関を示す傾向にあり, 男性では足向角, 女性では歩隔が有意であり (それぞれ  $p < 0.001$ ), 自由歩行速度の速い人ほど足向角と歩隔が小さい傾向にあった. しかし, 若年群では歩行速度と足向角および歩隔との間に有意

な関係が見られなかった.

各体力指標との関係について, 高齢群の男性では閉眼片足立ち以外の体力指標と足向角との間に有意な負の相関 ( $p < 0.05 \sim p < 0.01$ ) が認められ, 女性では開眼片足立ちと膝伸筋力にのみ有意な正の関係 ( $p < 0.05$ ) が見られた, 歩隔は男女両群に有意な負の相関 (男性のFRテスト:  $p < 0.05$ , 女性の開眼片足立ち, FRテスト, 膝伸筋力, チェアスタンド, ステッピング:  $p < 0.01 \sim p < 0.001$ ) が認められ, 男性は足向角と同じ傾向を示したが, 女性の結果は異なるものとなった. なお, 若年群では足向角との間に男性の膝伸筋力 ( $p < 0.01$ ), 女性のステッピング ( $p < 0.05$ ) と有意な正の相関関係が認められたことから, 高齢群と同じ傾向が女性にのみ見られた. しかし, 歩隔との間では有意な相関が認められなかった.

Table 4. Correlation matrix for walking parameters and physical fitness test items in elderly group.

Elderly women	Elderly men	WS	SL	SR	FA	SW	OSEO	OSEC	FR	KES	CS	STEP
	(m/s)	(m)	(steps/s)	(deg)	(m)	(s)	(s)	(m)	(kg)	(times/30s)	(times/20s)	
WS (m/s)		0.896***	0.632***	-0.391***	0.051	0.464***	0.241**	0.480***	0.470***	0.477***	0.406***	
SL (m)	0.891***		0.232**	-0.456***	0.038	0.495***	0.274***	0.508***	0.514***	0.489***	0.363***	
SR (steps/s)	0.878***	0.584***		-0.064	0.032	0.159*	0.047	0.187*	0.158*	0.211**	0.266***	
FA (deg)	-0.041	-0.068	-0.006		-0.302***	-0.184*	-0.115	-0.159*	-0.236**	-0.218**	-0.201**	
SW (m)	-0.375***	-0.397***	-0.294***	-0.289***		-0.002	-0.069	-0.173*	-0.118	-0.050	-0.010	
OSEO (s)	0.342***	0.399***	0.205**	0.158*	-0.215**		0.386***	0.363***	0.467***	0.498***	0.509***	
OSEC (s)	0.144	0.202**	0.069	0.081	-0.063	0.300***		0.316***	0.198*	0.141	0.168*	
FR (m)	0.546***	0.568***	0.425***	0.050	-0.278***	0.296***	0.187*		0.468***	0.307***	0.344***	
KES (kg)	0.390***	0.506***	0.185*	0.148*	-0.263***	0.337***	0.158*	0.395***		0.508***	0.498***	
CS (times/30s)	0.464***	0.488***	0.352***	0.008	-0.200**	0.254***	0.130	0.357***	0.449***		0.647***	
STEP (times/20s)	0.601***	0.603***	0.486***	-0.097	-0.206**	0.297***	0.110	0.483***	0.443***	0.600***		

WS: Walking speed SL: Step length SR: Step rate FA: Foot angle SW: Step width  
 OSEO: One-leg standing time with eyes open FR: Functional reach CS: Chair-stand  
 OSEC: One-leg standing time with eyes close KES: Knee extensor strength STEP: Stepping

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$ , \*\*\*:  $p < 0.001$ .



Table 5. Correlation matrix for walking parameters and physical fitness test items in young group.

Young men Young women	WS (m/s)	SL (m)	SR (steps/s)	FA (deg)	SW (m)	OSEO (s)	OSEC (s)	FR (m)	KES (kg)	CS (times/30s)	STEP (times/20s)
WS (m/s)		0.634***	0.826***	-0.117	-0.090	-0.124	0.270	0.313	-0.135	0.048	-0.148
SL (m)	0.694***		0.092	-0.017	-0.311**	-0.166	0.159	0.293	-0.223	-0.031	-0.117
SR (steps/s)	0.771***	0.082		-0.149	0.111	-0.003	0.283	0.179	-0.052	0.110	-0.116
FA (deg)	0.052	0.053	0.022		-0.277**	0.313	0.059	0.126	0.517**	0.255	0.087
SW (m)	0.083	0.016	0.105	-0.400***		0.012	-0.322	-0.281	0.092	-0.107	0.278
OSEO (s)	-0.090	-0.074	-0.065	0.080	0.096		-0.003	-0.171	0.208	0.131	0.365*
OSEC (s)	0.077	0.002	0.100	-0.121	-0.072	0.073		0.125	0.071	0.515**	0.309
FR (m)	-0.050	0.025	-0.103	0.082	-0.150	0.076	-0.200		0.246	0.240	0.043
KES (kg)	-0.007	0.190	-0.260	0.185	-0.054	0.092	0.203	-0.057		0.333	0.236
CS (times/30s)	0.053	0.085	-0.004	0.033	0.135	-0.156	0.238	-0.062	0.128		0.415*
STEP (times/20s)	0.106	0.124	0.061	0.318*	-0.196	0.123	-0.281	0.248	-0.259	0.205	

WS: Walking speed SL: Step length SR: Step rate FA: Foot angle SW: Step width  
 OSEO: One-leg standing time with eyes open FR: Functional reach CS: Chair-stand  
 OSEC: One-leg standing time with eyes close KES: Knee extensor strength STEP: Stepping  
 \*: p<0.05, \*\*: p<0.01, \*\*\*: p<0.001.

IV. 考察

本研究で計測した足向角 (foot angle) は、整形外科学的領域で古くは病的異常歩行の診断などに用いられていた (ダクロケット, 1973)。また、人類学的領域においても、「人類の最も自然な歩行とは何か？」を知る目的で主として研究がなされてきた。

Bradford (1897) は、足の自然な位置が in-toeing (内股) から out-toeing (外股) まで様々であると述べた上で、自然な姿勢は幾分足を開いて「やや外股」であると説明した。しかし当時のアメリカでは、両足を平行に接地する (少し外向き) と明らかに強い足力が発揮されるという根拠があったため、治療目的の姿勢としては両足を平行にする歩行が一般的に広く受け入れられてきた。このような意見の不一致がある中で Hoffman (1905) や Wells (1931) の研究は、現代人の靴歩行がアフリカ原住民の裸足歩行と

基本的に変化しないことを明らかにしたが、靴歩行よりも裸足歩行の歩き方に共通した傾向が見られた。これまで Dougan (1924) や Patek (1926) が靴を履く習慣のあるアメリカ学生を対象に調査した報告と比較するため、Morton (1932) は南アフリカに調査団を派遣した。その結果、つま先が外向き (+) となるような歩行が natural walking であるとし、当時のアメリカで「良い歩行」と認知されていた両足を進行方向に真っ直ぐ進める平行歩行 (parallel position, 俗にインディアン歩行とも呼ばれていた) を正しいとする説が誤りであると指摘した。

わが国では、日整会誌における「義肢と切断術」の中で紹介された片山・城 (1931) の研究報告 (健康男女歩行時の足跡について) が最も古い。この研究は「足跡角」の語で 17-34 歳の男女を対象に行い、男女ともに外向き (+) であり、その度合いは男性が女性よりも大きいこと

を示した。また、福原（1954）の報告や、「歩向角」と定義している植竹（1988）の成人男性20名のデータも、片山・城（1931）の研究とほぼ同様の結果であった。これまでの先行研究の対象はいずれも20歳以上の成人（若年者）のものであるため、本研究のデータでは若年群のものが対応する。しかも本研究では左右両足間の角度を「足向角」と定義したので、先行研究の左足と右足の角度を加えた値に等しい。実際に計測された本研究における若年男性の足向角の平均値14.5度は、アフリカ原住民や白人、日本人の先行研究が示した10-16度（左右両足間）の範囲であった。若干の計測方法の違いを考慮すると、若年男性の足向角が若年女性より大きいとした本研究の結果は、先行研究（片山・城，1931；福原，1954；植竹，1988；澤山ほか，2006；宮辻ほか，2007b）と一致する。

高齢者を対象としたMurray et al.（1964，1969，1970）の研究によれば、60-65歳の高齢男性群（Murray et al.，1964）および80歳以上の高齢男性群（Murray et al.，1969）、60-70歳の高齢女性群（Murray et al.，1970）のfoot angleは、若年群より有意に大きく、外股歩き（out-toeing）の傾向がより顕著であるとしている。さらに、Rigas（1984）は65-90歳の高齢群男女のfoot angleを調べたところ、若年群男女より有意に大きいことを示し、Murray et al.（1964，1969，1970）の報告と同様の傾向を示した。また、Dynamic and Static footprint法の2種類の方法をそれぞれ用いて比較したSarah et al.（2005）は、20-46歳までの成人男女における足向角と歩隔について調べた。その結果、足向角では有意な違いは見られず歩隔に有意な違いを示していたが、このDynamic and Static footprint法は一般的な被験者の測定手段として、どちらの方法を用いても有用できるとであろうと提案した。

日本人高齢者については、淵本ほか（1998）と長谷川ほか（1999）が自由歩行中の足向角をビデオ映像から詳細に分析し、高齢群の男女における足向角は若年群より大きく、男性群では有意差が認められたとしている。さらに、foot-print法により計測した澤山ほか（2006）、宮辻

ほか（2007b）においても、高齢群男女の足向角が若年群より有意に大きくなることを示している。しかし、山崎（1999）の「足の事典」で引用された西澤たちの未発表データ（pp.121）では、20歳～80歳以上の老若男女における年齢階級別（5階級）の平均値を示しているが、年齢と性別による一定の傾向は見られなかった。

本研究では、澤山ほか（2006）や宮辻ほか（2007b）と同様に男女両群において高齢群の足向角が若年群より有意に大きく、高齢群の方が若年群より明らかに「外股歩き」であった。また淵本ほか（1998）と長谷川ほか（1999）は、男女ともに高齢者が若年者より外股歩きで歩隔も狭い傾向にあると報告している。本研究の高齢群では歩隔に男女間で有意な性差（男>女）が見られた。このことは加齢による体力的な低下や日常の生活習慣（服装や履物の違い）が男女により異なっているからであると考えられる。しかしながら、男女差（性差）に有意な違いが見られ、男性では高齢群の方が広く、女性では若年群の方が広い傾向を示していたが、両群の歩隔に有意差は認められなかった。すなわち、各群の平均値で比較した場合では、男女ともに「高齢者は若年者に比して爪先をより一層外向きにして歩く」という特徴が見られ、前報（宮辻ほか，2007b）の結果が確認された。このような高齢者特有の足向角を広くした歩行動作は、基底面（両脚の外縁で囲まれる面積）の大きい安定した足運びをする上で重要なものと推察される。

前報（宮辻ほか，2007b）とは異なり、本研究では一般的に加齢の影響が顕著に認められる体力測定（筋力、バランス、敏捷性の能力を測る種目）についても実施したため、体力面を含めた老若群間の比較が可能となった。Figure 3に示したように、高齢群内での歩行指標と年齢（加齢）との相関から、歩行速度の低下、歩幅の短縮、歩調の速さの低下（女性のみ）が明らか（ $p<0.001$ ）となったが、若年群内にはそのような傾向が見られなかった。高齢群男女における足向角および歩隔と年齢との関係については、歩隔にのみ有意な正の相関（男性： $p<0.01$ ，

女性： $p<0.001$ ) が認められた。上記のように平均値で比較した場合は、高齢群の特徴が足向角の大きい点にあったが、高齢群内における年齢との相関でみると、足向角は加齢と共に増加せず、「高齢者の中ではより高齢の人ほど歩幅が広い」ことが示された。また、両群の体力指標と年齢との相関関係において、高齢群にのみ開眼片足立ち、閉眼片足立ち、FRテスト、膝伸筋力、チェアスタンド、ステッピングのいずれにも有意な負の相関 ( $p<0.01\sim p<0.001$ ) がみられたことは、筋力やバランス、敏捷性の能力低下が加齢に伴う歩幅の拡大(基底面)の要因を引き起こす可能性を示唆するものと思われる。このことは、高齢者が足向角の拡大に加えて歩幅を拡大し、より基底面の大きい安定的な歩行をする上で有益なものであると推察された。

相関マトリックスにおいて高齢群と若年群の歩行速度、足向角、歩幅を中心に体力指標との関係について調べた。その結果、高齢群の男女ともに歩行速度の速い人ほど歩幅が大きく歩調も速く ( $p<0.001$ )、足向角や歩幅が小さく、開眼片足立ち、閉眼片足立ち(男性のみ)、FRテスト、膝伸筋力、チェアスタンド、ステッピングの成績も高くなる結果 ( $p<0.01\sim p<0.001$ ) が得られたことは、体力レベルが比較的高い人ほど歩行指標に加齢の影響が少ないことを示唆するものと考えられる。比較対照である若年群男女においても、歩行速度の速い人ほど歩幅が大きく歩調も速い ( $p<0.001$ ) ことは高齢群と同様であったが、安定性確保に影響が見られる足向角や歩幅、体力との関係が密接でない点が高齢者とは異なった。

## V. まとめ

日本人高齢者(男女)における自由歩行中の足向角(foot angle)と歩幅(step width)に着目して歩行運動における高齢者の特徴を再検討するため、男女高齢者356名(男性 $75.6\pm 6.2$ 歳、女性 $74.5\pm 6.2$ 歳)と若年者206名(男性 $20.7\pm 1.2$ 歳、女性 $20.1\pm 1.2$ 歳)の足跡を分析し、次の結果を得た。

- 1) 自由歩行における高齢群の特徴は、男女ともに歩行速度が遅く、歩幅も短く、歩調が速い(女性のみ)という点にあることが、若年群との比較で確認された。
- 2) 足向角(左右足間の角度)は、高齢群の方が若年群に比して男女ともに大きく、高齢者の方が若年者より外股歩きであることが明らかであった。
- 3) 歩幅(左右足間の幅)は、高齢群と若年群の間に男女ともに有意差がなく、高齢群の歩幅は若年群とほぼ同じであった。しかし高齢群の歩幅には有意な性差(男>女)が認められた。
- 4) 年齢に対する歩行指標と体力指標の関係では、高齢群においてのみ年齢と負の相関があり、加齢に伴う体力の低下が示唆された。
- 5) 高齢群内においては、筋力やバランス、敏捷性の能力が低い人ほど足向角や歩幅が大きく、歩行速度も遅い傾向にあった。

## 謝辞

本研究を実施するにあたり、京都府立医科大学の木村みさか教授には高齢者の測定において、また兵庫県立大学の田路秀樹教授には若年者の測定において被験者の確保に献身的なご支援を頂いた。記して深謝の意を表します。

## 文献

- Bradford, E. H. (1897) An examination of human gait. Boston. Medical and Surgical J., 137 : 329-332.
- Cavanagh, P. R., Morag, E., Boulton, A. J. M., Young, M. J., Deffner, K. T., and Pammer, S. E. (1997) The relationship of static foot structure to dynamic foot function. J. Biomechanics., 30 (3) : 243-250.
- ドナルド：嶋田智明・平田総一郎訳(2007) 筋骨格系のキネシオロジー。医歯薬出版株式会社：東京, pp. 552.
- Dougan, S. (1924) The angle of gait. Am. J. Anthropol., VII (2) : 275-279.
- ダクロケット：鈴木良平訳(1973) 歩行と跛

- 行－正常および病的歩行の研究－。医歯薬出版株式会社：東京，pp. 64－66.
- Duncan, P. W., Weiner, D. K., Chandler, J., and Studenski. (1990) Functional Reach: a new clinical measure of balance. *J. Gerontol. Biol. Sci.*, 45 (6) :192－197.
- 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.
- 福原 正 (1954) 足跡角及び足間巾について。日整会誌, 28:431－432.
- 長谷川 淳・淵本隆文・木村みさか・金子公宥 (1999) 高齢者の歩行動作－足の動きに注目して－。バイオメカニクス研究概論:127-131.
- Himann, J. E., Cunningham, D. A., Rechnitzer, P. A., and Paterson, D. H. (1988) Age-related changes in speed of walking. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20:161－166.
- 広川俊二 (1986) 距離・時間因子情報から見た小児の歩行特性。医用電子と生体工学, 24 (7) :491－498.
- Hoffman, P. (1905) Conclusions drawn from a comparative study of the feet of barefooted and shoe-wearing peoples. *Am J. Orthop Surg.*, III (2) :105－136.
- Holden, J. P., Cavanagh, P. R., Williams, K. R. and Bednarski, K. N. (1985) Foot angle during walking and running. *Biomechanics IX-A* (eds. Winter et al.). Human Kinetics Publishers: Champaign, III, pp. 451－457.
- Jones, C. J., Rikli, R. E., and Beam, W. C. (1999) A 30-s chair-stand test as a measure of lower body strength in community-residing older adults. *Res Quart Exerc Sports.*, 70:113－119.
- Kaneko, M., Morimoto, Y., and Fuchimoto, T. (1991) A kinematic analysis of walking and physical fitness testing in elderly women. *Can. J. Sports Sci.*, 16:223－228.
- 片山国幸・城 良亮 (1931) 健康男女子歩行時の足跡ニ就テ。日整会誌, 5:419－491.
- 木村 賛・神谷正明 (1982) 速度変化に伴いヒトの歩行はどう変わるのか。バイオメカニズム, バイオメカニズム学会:66－79.
- 木村みさか・平川和文・奥野 直・小田慶喜・森本武利・木谷輝夫・藤田大祐・永田久紀 (1989) 体力診断バッテリーテストからみた高齢者の体力測定値の分布および年齢との関連。体力科学, 38:175－185.
- 木村みさか・田中靖人・岡山寧子 (1995) 歩行テストからみた高齢者の体力－簡易持久性評価方法シャトル・スタミナ・ウォークテストの試み－。Jpn. J. Sports. Sci., 14 (4) :435－444.
- 木村みさか・徳広正俊・岡山寧子・奥野 直・中尾高広 (1996) 閉眼片足立ちと開眼片足立ちからみた高齢者の平衡機能。体育科学, 24:118－129.
- 木村みさか・岡山寧子・田中靖人・金子公宥 (1998) 高齢者のための簡便な持久性評価法の提案, シャトル・スタミナ・ウォークテストの有用性について。体力科学, 47:401－410.
- 木村みさか (2000) 高齢者のバランス能 (平衡性) を評価することの意義。日本生理人類学雑誌, 5 (2) :17－23.
- 金 俊東・久野譜也・相馬りか・増田和実・足立和隆・西嶋尚彦・石津政雄・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, 49:589－596.
- 衣笠 隆・長崎 浩・伊藤 元・橋詰 謙・古名丈人・丸山仁司 (1994) 男性 (18～83歳) を対象にした運動能力の加齢変化の研究。体力科学, 43:343－351.
- Mcpoil, T. G., Cornwall, M. W. (1996) The relationship between static lower extremity measurement and rearfoot motion during walking. *J. Orthop Sports Phys Ther.*, 24 (5) :309－314.



- 宮辻和貴・澤山純也・川端浩一・金子公宥 (2007a) 高齢者の歩行運動における身体重心動揺の3次元解析. 大阪体育学研究, 45:1-12.
- 宮辻和貴・澤山純也・川端浩一・金子公宥 (2007b) 高齢者の自由歩行における着地足の足向角および歩隔について. 日本生理人類学会誌, 12 (4) :1-6.
- Morton, D. J. (1932) The angle of gait: a study based upon examination of the feet of central African natives. *J. Bone & Surg.*, 14:741-754.
- Murray, M. P., Drought, A. B., and Kory, R. C. (1964) Walking patterns of normal men. *J. Bone and Joint Surgery.*, 46:335-360.
- Murray, M. P., Kory, R. C., Clarkson, B. H., and Sepic S. B. (1966) Comparison of free and fast speed walking patterns of normal men. *Am. J. Physical Medicine.*, 45 (1) :8-24.
- Murray, M. P., Kory, R. C., and Clarkson, B. H. (1969) Walking patterns in healthy old men. *J. Gerontology.*, 24:169-178.
- Murray, M. P., Kory, R. C., Clarkson, B. H., and Sepic S. B. (1970) Walking patterns of normal women. *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 51 (11) :637-650.
- 中村隆一・斉藤 宏・長崎 浩 (2003) 基礎運動学. 医歯薬出版:東京, pp. 366-371.
- 中谷敏昭・灘本雅一・三村寛一・伊藤稔 (2002) 日本人高齢者の下肢筋力を簡便に評価する30秒椅子立ち上がりテストの妥当性. 体育学研究, 47:451-461.
- Patek, S. D. (1926) The angle of gait in women. *Am. J. Physical Anthropology.*, IX (3) :273-291.
- Rigas, C. (1984) Spatial parameters of gait related to the position of the foot on the ground. *Prosthet. Orthot. Int.*, 8:130-134.
- Sarah, A. C., Dominic, U., and Ian, D. L. (2005) Dynamic and static footprints: comparative calculations for angle and base of gait. *The Foot.*, 15:40-46.
- 澤山純也・竹内祐樹・金子公宥 (2006) 高齢者の歩行における着地足の「足向角」について. 大阪体育学研究, 44:15-21.
- Sgarlato, T. E. (1965) The angle of gait. *J. Am. Podiatry Association.*, 55 (9) :645-650.
- 田井中幸司・青木純一郎 (2002) 高齢女性の歩行速度の低下と体力. 体力科学, 51:245-252.
- Tinetti, ME., Speechley, M., and Ginter, S. (1988) Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *New England Journal of Medicine*, 319:1701-1719.
- 植竹照雄 (1988) フーリエ解析によるヒト歩行時の歩向角にみられる変動パターン. 人類学雑誌, 96 (3) :289-299.
- Wells, L. H. (1931) The foot of the south African native. *Am J. Physical Anthropology.*, XV (2) :185-289.
- Wilkinson, M. J., Menz, H. B., and Raspovic, A. (1995) The measurement of gait parameters from footprints. *The Foot.*, 5:84-90.
- Wilkinson, M. J., Menz, H. B. (1997) Measurement of gait parameters from footprints: a reliability study. *The Foot.*, 7:19-23.
- Winter, D. A., Patla, A. E., Frank, J. S., and Walt, S. E. (1990) Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Physical Therapy.*, 70 (6) :340-347.
- 山崎信寿編 (1999) 足の事典. 朝倉書店:東京, pp. 119-121.
- 柳川和優・磨井祥夫・山口立雄・渡部和彦 (2002) 筋放電パターンからみた高齢者における歩行動作の特徴. 日本運動生理学雑誌, 9:33-45.
- 柳川和優・磨井祥夫・山口立雄・渡部和彦 (2003) 若年者と高齢者における歩行動作の比較-歩行速度に着目して-. *Jpn. J. Biomechanics. Sports. Exercise.*, 7:179-191.