

高齢者に対する歩行指導への提案

Suggestion to the gait training for the elderly people

宮 辻 和 貴¹⁾

Kazuki MIYATSUJI ¹⁾

要 旨

本研究では、異なる速度（自由歩行、緩歩、速歩）で歩行することにより日本人高齢男性と若年男性の同一速度における歩行指標および歩行動作指標の差を比較し、加齢に伴う高齢者の特徴を調べることで、歩行指導に関する知見を得ることを目的とした。

被験者は、高齢男性10名（年齢 76.1 ± 5.8 歳）と若年男性10名（年齢 19.7 ± 0.5 歳）を対象とした。異なる速度（自由歩行、緩歩、速歩）によって歩行した動作を2台のビデオカメラ（60fps）で撮影し、DLT法を用いて3次元動作解析を行った。また、体力的要因（筋力、平衡性、敏捷性などの指標）に関しても測定を実施した。

その結果、基礎となる自由歩行に関する歩行指標データ（歩行速度が有意に低いなど）の多くに高若群間で差異が認められた。また、高齢群は加齢の影響により行動体力（ステップングを除く）が有意に低下していることが示された。さらに、歩行速度に対する歩行動作指標との関係について調べたところ、動作指標（足挙高）との間に特徴となる大きな差異は見られなかった。この両群における動作指標の差は、単純に異なった歩行速度を比較したことによって生じたものであると考えられる。

以上の結果より、高齢者の歩行指導に対する提案としては、これまでの歩行動作中心の指導のみならず、自由歩行速度が高まるような土台づくり（体力的要素の向上など）と環境づくり（速く歩く、高く跳ぶなど）に対する取り組みが必要であることが示唆された。

キーワード：高齢者、歩行指導、動作解析、体力的要因

1. 緒言

歩行運動は人類のロコモーションにおける最も基本的な動作であるため、幅広い分野からの多種多様なアプローチがなされてきた。事実、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運動能力であると考えられている。イギリスのBassey et al.（1976）が高齢者の

行動体力を測定する方法に、「普通」、「遅く」、「速く」と指示した場合の歩行速度を調査する歩行テストを考案している。これは歩行速度が高齢者の体力を知る指標として、歩行テストが体力の低い人も運動の苦手な人も共に気持ち良くできる点に注目し、この方法が最適な手段になり得るだろうと明らかにしている（Bassey et al., 1976）。また、Studenski et al.（2011）は、歩行速度の要因が65

1) 神戸親和女子大学 発達教育学部 ジュニアスポーツ教育学科

歳以上の高齢者の生存率に大きく関与すると報告している。

これまで歩行条件に関しては、全速力での最大歩行（急歩）や無理のない範囲での速い歩行（速歩）、種々の規定速度による等速度歩行、その中でも自由歩行速度が体力の運動能力を知るバロメーターとして用いられてきた。実際のところ、自由歩行は文字通り被験者の自由選択速度（self-selected speed）で行われる歩行で、その速度が全力による歩行速度と密接に関係している（Himann et al.,1988；Kaneko et al.,1991；衣笠ほか，1994）。特に、自由歩行速度が60歳付近から加齢の影響に伴って顕著に低下することが報告されている（Murray et al.,1969；Himann et al.,1988；Kaneko et al.,1991）。その直接的な要因が歩調より歩幅の低下にあるとされているが（Ferrandez et al.,1990；Kaneko et al.,1991；Nagasaki et al.,1996）、歩調にも若干の低下が認められているのも事実である（Murray et al.,1964,1969；Himann et al.,1988；Winter et al.,1990）。さらに、自由歩行速度が筋力、瞬発力、平衡性など多くの体力的要素と有意な相関関係にあることが示されており（Kaneko et al.,1991）、歩行速度の低下そのものが加齢（Aging）という総合的要因を反映したものだとする考え方もできる（Bassey et al.,1976；Imms and Edholm.,1981）。

先行研究においては、これまでキネマティクス（Kinematics）やキネティクス（kinetics）などの分析手法を用いた高齢者の歩行運動に関する報告の多くが、若年者との比較により歩行動作の違いを明らかにしてきた（Murray et al.,1964,1966,1969,1970；Larish et al.,1988；Ferrandez et al.,1988,1990；Winter et al.,1990；Kaneko et al.,1990,1991；Maie et al.,1992；宮辻ほか,2007a）。しかしながら、高齢者と若年者の歩行速度がそれぞれ異なっていることから、これら歩行動作の違いが加齢の影響に伴う問題であったのではないかと考えられる。それと同時に、単純に歩行速度が異なるために生じた問題であるのかという見解についても否定することができない。Ferrandez et

al.（1990）は、高齢者は若年者よりも歩幅が小さく、両脚支持時間が長い、若年者での遅い歩行でも同様の特徴がみられることから、高齢者の歩行は正常（normal）であると報告している。また、岡田・阿江（1999）の高齢者と若年者の歩行動作特性を Kinematics 的に検討した報告によると、同じ歩行速度で歩いた場合にも速度決定因子や下肢関節動作に違いが生じていることを示している。さらに、柳川ほか（2002, 2003, 2006）は、高齢者と若年者を自由歩行速度と同一速度歩行で比較し、歩行速度に因らない高齢者の歩行動作の特徴を明らかにしている。そのため異なる速度で高齢者と若年者の歩行機能の差異を評価することは、本質的な差異を見落としてしまう可能性があると考えられる。つまり、高齢者の歩行運動の特徴を明らかにし、加齢に伴い歩行動作へ及ぼす影響を詳細に知るためには、歩行速度が動作を変化させる重要な指標と定義した上で若年者との動作の違いが加齢により生じたものであるのか、単純に歩行速度の変化に対応したものであるのかを明らかにする必要がある。

そこで本研究では、異なる速度（自由歩行、緩歩、速歩）で歩行することにより日本人高齢男性と若年男性の同一速度における歩行指標および歩行動作指標の差を比較し、加齢に伴う高齢者の特徴を調べることで、歩行指導に関する知見を得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健康な高齢男性10名（ 76.1 ± 5.8 歳、以下；高齢群）と、対照群であるH県立大学の男子学生10名（ 19.7 ± 0.5 歳、以下；若年群）の総計20名である。被験者の身長は高齢群が 1.62 ± 0.07 m、若年群が 1.71 ± 0.06 m、身体質量は高齢群が 58.8 ± 9.0 kg、若年群が 63.0 ± 5.6 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. 測定方法

1. ビデオ撮影

実験は、体育館内に仮設した歩行路（全長約10m、全幅約1.5m）で行い、被験者全員に対して事前に研究の目的、方法、危険性について詳細に説明し、測定に対する同意を得た上で実施した。

歩行実験で履くシューズは、被験者全員が同一メーカーのシューズ（月星化成株式会社、Moon Star）とし、各自の足に合うものを必ず着用させた上で、①「普段歩いているように気持ちのよい普通の速さで歩いて下さい」の指示による自由歩行（free walking）、②「幼い子供を連れて歩いている時のようにゆっくりと歩いて下さい」の指示による緩歩（slow walking）、③「電車に乗り遅れることのないように速く歩いて下さい」の指示による速歩（fast walking）の3条件の速度を用いて測定を実施した。このとき被験者には「目線を水平前方に保って自然な歩行を行うよう」指示した。

歩行動作のビデオ収録に関しては、歩行路の左右斜め側方（約45度）10m 付近に2台のデジタルビデオカメラ（SONY 社製 DSR-PD150）を設置した。フィルム速度は毎秒60fps（シャッター速度1/1000秒）とし、撮影画面を明瞭にするための照明機器（RDS 社製 UF-10）を使用することにより歩行動作の撮影を行った。実験に先立つキャリブレーション（較正）では、3次元座標を算出するための較正点として、水準器と5個の較正点を取り付けた高さ約2.5m のリファレンスポールを撮影範囲内の9か所に順次鉛直に立て、水平に保った状態のコントロールポイント（45点）をそれぞれビデオに収録した。また、較正点の実空間座標については、進行方向をX軸、左右方向をY軸、鉛直方向をZ軸と定義した。なお、身体各部位を明確に把握するため、被験者の肩、肘、手首、腰、膝、足首の関節点、シューズの先端と踵部にそれぞれマークを付した。

2. 足跡の採取

体育館内に全長約10m、幅約1.5m の油紙を敷

き、その途中に全長約5 m、幅約0.8m の白色模造紙を敷いて歩行路と設定した。被験者には、スタート位置に設置されたトレイの中にあるポスターカラーの浸み込んだ雑巾を踏んだ後に歩行させることにより、白色模造紙に刻印された足跡（foot print）を採取した。

足跡の分析範囲は、歩行速度が最も安定する3歩目から5歩目（または4歩目から6歩目）の右踵接地から同側脚の右踵接地までの歩行1周期とした（木村・神谷、1982）。この足跡記録から宮辻ほか（2007b）および宮辻ほか（2011）と同じ方法を用いることにより、左右両足間の角度（足向角 foot angle）と左右両足間の距離（歩隔 step width）、左右前後両足間の距離（歩幅 step length）を計測した（Fig.1）。

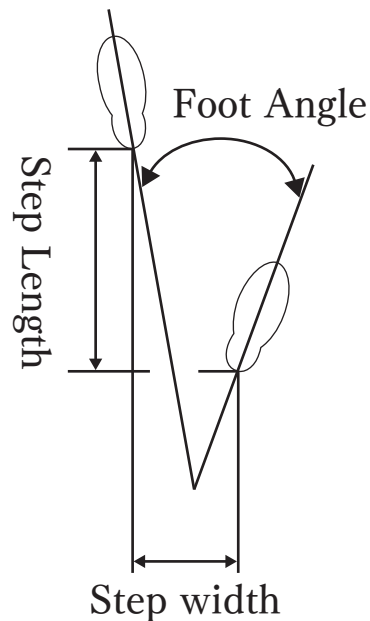


Fig.1. Schematic presentation of foot angle , step width and step length.

C. 分析方法

ビデオ解析では、2台のデジタルビデオカメラで撮影された映像をもとに、毎秒60コマに設定した動作分析ソフト（DKH 社製 Frame-Dias II

V3)を用いて身体各部24点(頭頂、耳、胸、腰、右肩、右肘、右手首、右手、左肩、左肘、左手首、左手、右腰、右膝、右足首、右踵、右母指、右爪先、左腰、左膝、左足首、左踵、左母指、左爪先)の座標を計測し、左右斜め側方からみた各2次元座標値をもとにDLT法(Direct Linear Transformation Method)により3次元座標値を算出した。得られた3次元座標値と較正点の座標値との平均誤差は、X軸方向が $0.007 \pm 0.002\text{m}$ 、Y軸方向が $0.006 \pm 0.001\text{m}$ 、Z軸方向が $0.010 \pm 0.005\text{m}$ であった。座標の算出に必要な身体部分慣性係数は、高齢者については岡田・阿江(1996)および岡田ほか(1996)の係数を、若年者には阿江(1996)の係数を用いた。また、算出した3次元座標値を3点加重移動平均法(low pass filter)により6 Hzで平滑した。なお、残差分析法における最適遮断周波数は6 Hzであった(Winter et al.,1974; Wells and Winter, 1980)。

本研究では、ビデオ解析により歩行1周期中(連続する2歩)の歩行速度、歩調、片脚支持時間、両脚支持時間、片脚/両脚支持時間、歩行比など

の歩行指標、スイング脚である遊脚期における足挙高(h1, h2, h3)の歩行動作指標に関するデータをそれぞれ算出した。また、データの取り扱いについては、歩行1周期の時間を100%として標準化(正規化)することとした。なお、Fig.2に足挙高の定義を示した。

D. 体力テスト

本研究の高齢者と若年者を対象とした行動体力を計測するテスト項目は、(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伸筋力、(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プングテストを実施した。

(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に接しないように挙げさせ、その支持時間(120秒を上限)を測定した(木村ほか、1989)。

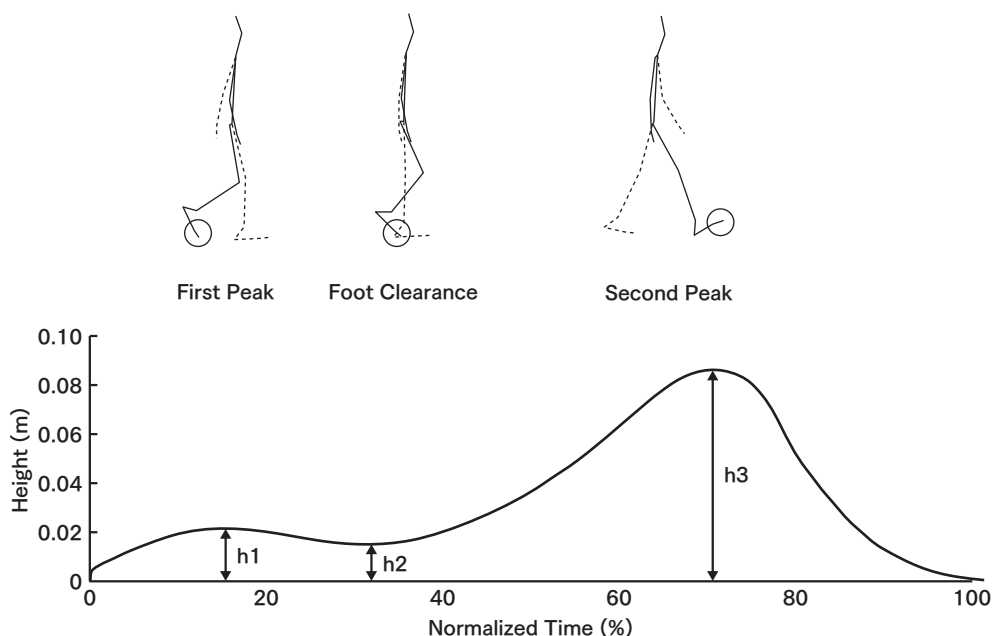


Fig.2. Definition of height of toe clearance.
h1 : First Peak , h2 : Foot Clearance , h3 : Second Peak

- (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、被験者が座位で膝を直角に下垂した姿勢から、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 (木村ほか, 1989 ; 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計測した (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)。

E. 統計処理

本研究の移動距離や長さに関係する指標については、必要に応じて各人の対身長比を求めた上で補正した。また、歩調の補正においては、衣笠ほか (1994) の方法を改変した「歩調×個人身長平方根」とした。

統計処理では、歩行速度と各変数との間の関係をピアソンの積率相関係数によって解析するとともに、単回帰分析により回帰直線を求めた。さらに、高齢群と若年群それぞれに回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を行い、危険率5%未満 ($p<0.05$) をもって有意と判定した。なお、2変数の差の検定では、先に等分散性の検定であるF検定を行い、次に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) をそれぞれ行い、危険率5%未満 ($p<0.05$) をもって有意と判定した。

III. 結果

1. 高齢者と若年者の自由歩行指標における差異 A. 自由歩行指標

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、足向角、歩隔、片脚支持時間、両脚支持時間、片脚/両脚支持時間、歩行比の有意差検定結果を Table 1 に示した。歩行速度は、若年群に比して高齢群の方が有意に遅く ($p<0.01$)、歩幅も高齢群が若年群より有意に短かった ($p<0.001$)。歩調は、高齢群の方が若年群より速い傾向を示した。足向角に関しては、高齢群が 21.8 ± 9.1 度、若年群では 19.8 ± 7.9 度であった。歩隔の平均値は、高齢群が 0.066 ± 0.044 m、若年群では 0.058 ± 0.031 m であった。足向角と歩隔の平均値は、高齢群の方が若年群に比して大き

Table 1. Age differences in elderly and young groups during free walking parameters.

Free Walking Parameters	Elderly men (n=10)	Young men (n=10)	Significance
Walking Speed (m/s)	1.24 ± 0.18	1.48 ± 0.15	**
Step Length (m)	0.648 ± 0.070	0.779 ± 0.040	***
Step Rate (steps/s)	1.91 ± 0.14	1.89 ± 0.11	ns
Foot Angle (degree)	21.8 ± 9.1	19.8 ± 7.9	ns
Step Width (m)	0.066 ± 0.044	0.058 ± 0.031	ns
Single Leg Support Time (s)	0.72 ± 0.06	0.76 ± 0.03	*
Double Leg Support Time (s)	0.29 ± 0.04	0.25 ± 0.05	ns
Single/Double Leg Support Time (s)	2.49 ± 0.34	3.14 ± 0.84	*
Walking Ratio (m·s/steps)	0.34 ± 0.04	0.41 ± 0.02	***

Results of analysis of variance. * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$, *** : $p<0.001$, ns : not significance

い傾向が示されたが有意差は認められなかった。片脚支持時間は、高齢群の方が若年群より有意に短く ($p<0.05$)、両脚支持時間は高齢群が若年群より長い傾向が見られた。不安定さの指標である片脚／両脚支持時間に関しては、高齢群の方が若年群より有意に短かった ($p<0.05$)。歩行比 (歩幅と歩調のどちらが主に影響) は、若年群の方が高齢群より有意に大きい値 ($p<0.001$) を示した。

なお、身長差を考慮して、歩行速度、歩幅、歩調、歩隔、歩行比の補正 (対身長比) を行ったが、身長差による特別な影響は認められなかった。

B. 遊脚期における自由歩行動作指標

1) 足挙高

Fig.2は、遊脚期 (時間) を100%として標準化し、矢状面におけるつま先の軌跡を表したもので、平均曲線は遊脚期の中間 (ミッドスタンス) で低くなる2相性のパターンを示した。本研究では、最初のピークをh1 (First Peak)、ミッドスタンス時の最下降点をh2 (Foot Clearance)、前方振り出しに伴う第2ピークをh3 (Second Peak) と定義し、これらの床面からの挙上高を計測した。

遊脚期前半のピーク (h1) が高齢群の方が高い傾向 (高齢群; $0.047 \pm 0.011\text{m}$ 、若年群; $0.039 \pm 0.009\text{m}$) にあったが、有意差は認められなかった。ミッドスタンス付近で最下降点となる足挙高 (h2) は、高齢群の方が若年群より高い傾向 (高齢群; $0.030 \pm 0.011\text{m}$ 、若年群; $0.025 \pm 0.009\text{m}$) を示したが、有意差は見られなかった。遊脚期後半における足挙高のピーク (h3) では、高齢群の $0.122 \pm 0.018\text{m}$ に対して若年群が $0.139 \pm$

0.016m と、若年群の方が高齢群より高い値 ($p<0.05$) を示した。補正した「身長当たりの足挙高」においては、h1に高齢群の方が有意に高い ($p<0.05$) という結果が得られた。

C. 体力測定テスト

Table 2に高齢群と若年群における行動体力の平均値を比較した結果をそれぞれ示した。本研究で測定したステッピングを除く全ての行動体力に関して、高齢群は若年群より有意に低い値 ($p<0.05 \sim p<0.001$) であった。このように高齢群の体力水準レベルは、各指標において若年群より低いことが明らかとなった。

2. 歩行速度と歩行指標の相関関係

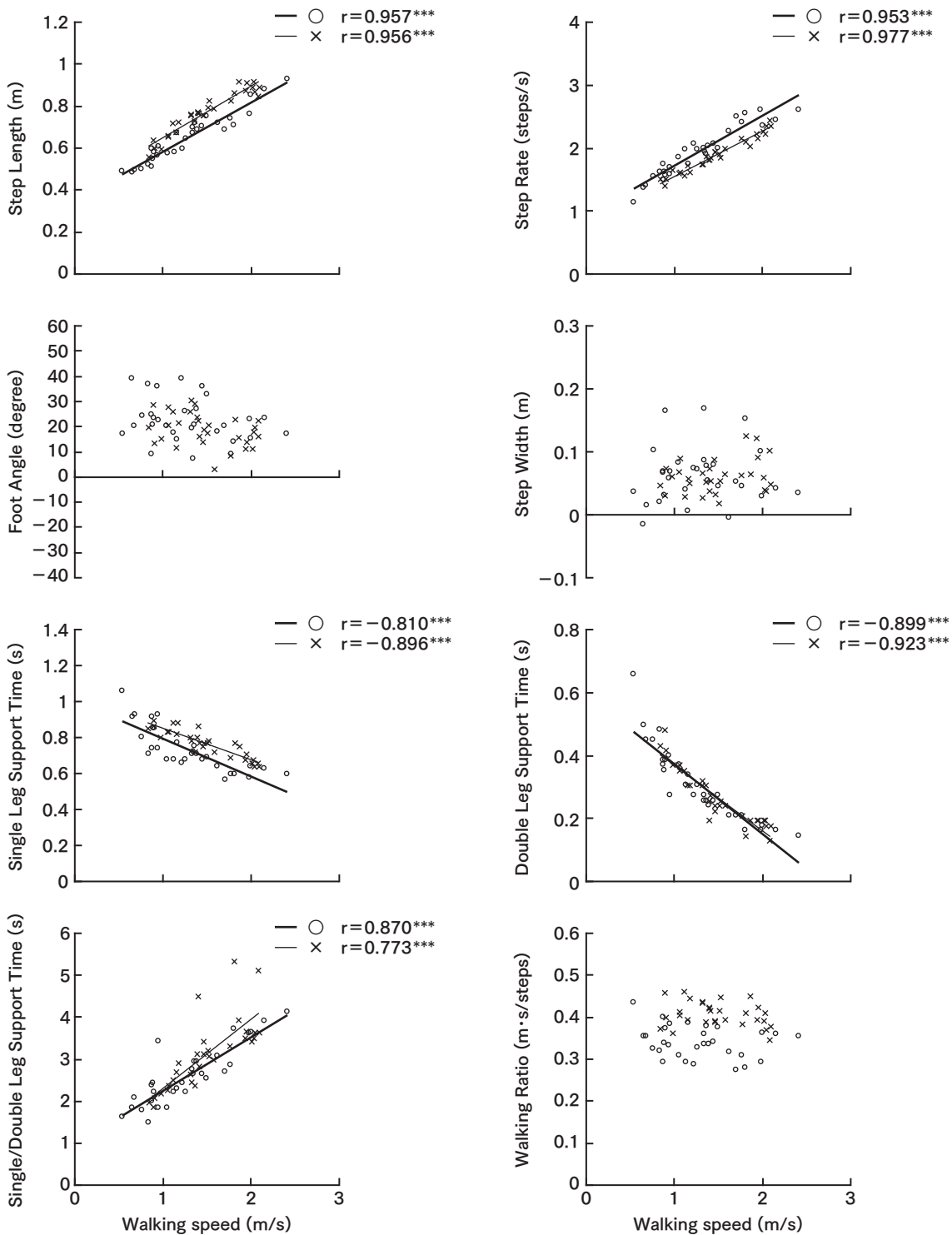
歩行速度に対する歩行指標について比較した結果をFig.3に示した。それぞれ歩行速度と歩幅、歩調との間には、両群共に有意な正の相関 ($p<0.001$) が認められた。足向角と歩隔には、歩行速度との間で有意な相関関係は見られなかった。また、歩行速度と片脚支持時間、両脚支持時間との間に有意な負の相関 ($p<0.001$) が認められた。片脚／両脚支持時間においては、有意な正の相関 ($p<0.001$) が認められたが、歩行比に有意な相関関係は見られなかった。

さらに、高齢群と若年群における歩行速度と歩行指標の関係について、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を実施したところ、両群に有意な差は認められなかった。なお、身長により補正した歩行速度と歩幅、歩調、歩隔、歩行比との関係においても、同様の結果を示した。

Table 2. Age differences in elderly and young groups during fitness test items.

Fitness Test Variables	Elderly men (n=10)	Young men (n=10)	Significance
One-Leg Standing Time with Eyes Open(s)	69.2±56.9	120.0±0.0	*
One-Leg Standing Time with Eyes Close(s)	7.4±6.4	70.9±46.1	***
Functional reach(m)	0.34±0.07	0.43±0.05	**
Knee Extensor Strength(kg)	34.7±8.3	63.2±12.4	***
Chair-Stand(times/30s)	25.4±6.4	40.5±4.0	***
Stepping(times/20s)	35.2±5.8	39.1±4.4	ns

Results of analysis of variance. *: $p<0.05$, **: $p<0.01$, ***: $p<0.001$, ns: not significance



*** : $p < 0.001$

Fig.3. Correlations between walking speed and walking parameters in the elderly (O) and young (X) groups.

3. 歩行速度と遊脚期における歩行動作指標との相関関係

1) 歩行速度と足挙高との関係について

高齢群と若年群における歩行速度との相関では、h1およびh2に有意な関係は見られなかった。しかしながら、両群共に歩行速度が速い人ほど前方振り出しに伴う第2ピーク(h3)が高くなる関係に有意な正の相関($p<0.001$)が認められた(Fig. 4)。

また、両群に回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を行ったが、差は認められなかった。なお、補正した歩行速度と足挙高との間についても、同様の結果を示した。

IV. 考察

高齢者の歩行能力に関しては、動作学的(kinematics)や動力学的(kinetics)分析を通してなされ、その能力を示唆する歩行速度が「高齢者<若年者」の関係にあることや、その他の特徴について数多く報告されてきた(Murray et al.,1964, 1969; Larish et al.,1988; Ferrandez et al.,1988,1990; Winter et al.,1990; Kaneko et al.,1990,1991; Maie et al.,1992; 岡田・阿江, 1999; 柳川ほか, 2002, 2003, 2006; 宮辻ほか, 2007a)。先行研究によれば、加齢による歩行速度の低下の直接的な要因は、歩調より歩幅の低下(Ferrandez et al.,1990; Kaneko et al.,1991; Na-

gasaki et al.,1996)にあるとされていたが、歩調にも若干の低下(Murray et al.,1964,1969; Hi-mann et al.,1988; Winter et al.,1990)が認められている。また、Furuna et al. (1998)は、高齢者の身体機能、健康度、平均余命などを最もよく代表する指標は歩行速度であったと報告している。それは、歩行速度が老化の度合いを知るためのよい指標となるからであると明らかにしている(Bassey et al.,1976; Cunningham et al.,1982)。つまり、自由歩行速度が速い人ほど、体力的なレベルが高い高齢者であることが推察される。このように従来から多くの研究では、高齢者と若年者の自由歩行による速度から歩容(gait)の比較が行われてきた。

これまでMurray et al. (1964, 1966, 1969, 1970)、Larish et al. (1988)、Ferrandez et al. (1988, 1990)、Kaneko et al. (1990, 1991)、岡田・阿江(1999)、柳川ほか(2002, 2003, 2006)および宮辻ほか(2007a)などは、バイオメカニクスにおける代表的な分析手法(筋電図、3次元動作分析、床反力などの3種の神器)を用いて速度変化に対する歩行動作の違いを比較・検討してきた。その中でも特にFerrandez et al. (1990)は「動作の緩慢さが高齢者の特徴」と論じているように、高齢者の歩行動作は歩行速度を考慮した場合、若年者と同じ動作を行うと報告している。このことは高齢者と若年者の歩行指標の差異が、歩行速度の

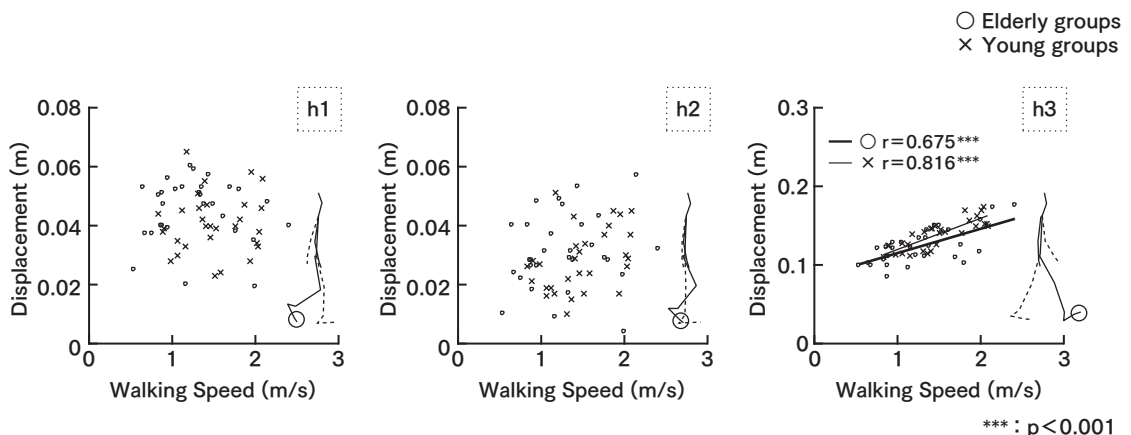


Fig.4. Correlations between walking speed and height of toe clearance.

違いにのみ起因する可能性があることを示唆している。さらに、岡田・阿江(1999)は同じ歩行速度で歩いた場合にも、歩幅や歩調などの速度決定因子や股関節、膝関節、足関節などの下肢関節角度に違いが見られることを報告している。また、若年者と高齢者それぞれを自由歩行速度と範囲を区切った同一速度歩行で比較した柳川ほか(2002, 2003, 2006)は、筋放電パターン、3次元動作分析、床反力における研究手法を用いて速度毎の比較、歩行速度に対する各変数との関係についても考察している。その結果、どの観点からも高齢者は歩行速度に因らない歩行動作の特徴が見られることを明らかにした。しかし、柳川ほか(2003)の3次元動作分析から観察した歩行速度と各変数との関係は、遅歩行、自由歩行、速歩行を各5試行、合計1人15試行のデータにより算出された値を用いており、全体的な傾向を把握することは可能であるが、個人的な傾向を示しているデータであるものかどうかは少し疑問が残るところであると考ええる。

本研究では、各個人の高齢者と若年者の本質的な差異を比較するために、基本的な動作である自由歩行、緩歩、速歩の3種類の速度における歩行を用い、特に3次元動作分析の観点から分析を試みた。これまでの自由歩行、緩歩、速歩の速度設定ではデータ(バラツキ)の個人差が大きいといわれ、同一速度歩行で速度範囲を限定することが良いとされていた。しかしながら、同一速度歩行の速度範囲を限定しなかったのは、日常生活における高齢者特有の自然な歩行が不自然な歩行になり得ると考えたからである。すなわち、実験により規定された速度で歩いたデータと日常的な自然速度で歩いたデータを比較することは、最も基本的なロコモーションである歩行運動の特徴を見落とす可能性が否めない。

まず自由歩行速度の指標に関する高齢群と若年群の平均値を比較したところ、高齢群の歩行速度は有意に低く、その他の測定した歩行指標および歩行動作指標の多くに両群間で違いが認められた。本研究の結果は、先行研究(Murray et al., 1964,

1969; Larish et al., 1988; Ferrandez et al., 1988, 1990; Winter et al., 1990; Kaneko et al., 1990, 1991; Maie et al., 1992; 岡田・阿江, 1999; 柳川ほか, 2002, 2003, 2006; 宮辻ほか, 2007a)と一致する。また、高齢者の特徴や加齢変化についてより個人的なデータを把握するために、歩行速度に対する歩行指標および歩行動作指標についても考察することとした。一般的な歩行指標においては、高齢群と若年群の歩幅(正)、歩調(正)、片脚支持時間(負)、両脚支持時間(負)、片脚/両脚支持時間(正)に有意な関係は認められたが、両群に特徴となる違いは見られなかった。歩行比に関しても有意な関係は認められなかったが、高齢群では歩調、若年群では歩幅の影響が見られたことは、いわゆる歩行速度の増減を高齢群は歩調で調整し、若年群は主に歩幅で調整することが明らかとなった。そして、転倒における一つの要因とされる遊脚期(スイング脚)の足挙高(つま先挙上)は、歩行速度に対してつま先の挙上が最大になるh3(second peak)にのみ有意な正の相関が見られた。さらに、両群の自由歩行速度の平均値では違いが認められていたが、同一速度で比較した動作に差は見られなかった。このことは、若年者も高齢者と同様にゆっくり歩くと「つまずきやすい」、速く歩けば「つまずきにくい」ということが推察される。そこで高齢群と若年群の差異をより明確にするために、歩行指標および歩行動作指標にそれぞれ回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を行ったところ、両群に特徴となるような差は認められなかった。つまり、これまで自由歩行における高齢者と若年者の歩行指標および歩行動作指標の差は、単純に歩行速度が異なったものを比較していたためであったことが示唆される。

次に、高齢者の歩行能力を保持・増進するための手段として、加齢の影響が顕著に現れる筋力や平衡性、敏捷性などの体力(行動体力)を向上させる種々のトレーニングを実践することが必要であるといえる。それは本研究で得られた行動体力のデータから推察されるように、若年者は高齢者

よりも一般的に体力レベルが優れていたことから、歩行などの身体運動における転倒などへの危険性が低いために「つまずきにくい」ことが考えられる。事実、転倒を引き起こす要因の一つである「つまずき」に関しては、両者共に「つまずき」が発生した段階でのリカバリーの対処方法（速度要因や体力的要因などの差）が根本的に異なっていることが明らかとなった。そのため歩行運動の動作自体をトレーニング手段として活用し、ロコモーションの基礎となる歩行能力を高めることが重要であると考えられる。実際に、高齢者は若年者よりも体力レベルが劣っているため、これまでの歩行指導では無理な動作に制限を加えた取り組みの中で指導する場面が多く見られた。しかし、歩行トレーニングを高齢者に対して適用させる場合には、世間一般的には無理だと判断される動作に対して制限を加えるのではなく、自由歩行速度が高まるような何かしらの意識(速く歩くなど)をもって「歩く動作」の練習に取り組むことが必要であると考えられる。その最終的な結果としては、日常生活の中で意識しながら速く歩くトレーニングを行った後、その延長線上の先にある「走る動作」への橋渡しになるとともに、ホッピングのような「跳ぶ動作」を実践することにもつながってくるといえる。今後、高齢者の体力レベルの維持・向上を怪我の少ない安全な場所を選択した上でトレーニングを実施することによって、ADL や QOL をより効果的に高める指導が提供できると考える。このように歩行運動メカニズムに生じている様々なパターンの変化を把握することにより、これからの歩行指導現場における適切な方法を指導する一助として非常に役立つ知見になり得ると考えられる。

今後の課題として、高齢者と若年者における歩行動作の特徴をより明確に把握するためには、歩行動作指標のメカニズム（遊脚期および立脚期の関節角度、関節角変位、関節角速度などの要因）を解明することによって、歩行指導に対する詳細な内容を提供できると考えられた。

V. まとめ

本研究では、異なる速度（自由歩行、緩歩、速歩）で日本人高齢男性（ $n=10$ ）の同一速度における歩行指標および歩行動作指標を若年男性（ $n=10$ ）と比較することにより、加齢に伴う高齢者の特徴を調べることで、歩行指導に関する知見を得ることを目的とし、概ね以下の結果が得られた。

- 1) 高齢群の自由歩行指標における特徴については、若年群に比して歩行速度が遅く（ $p<0.01$ ）、歩幅が短く（ $p<0.001$ ）、歩調がやや速く、足向角が大きく、歩隔が広い傾向を示した。また、片脚支持時間が短く（ $p<0.05$ ）、両脚支持時間が長く、片脚／両脚支持時間が短く（ $p<0.05$ ）、歩行比が大きかった（ $p<0.001$ ）。
- 2) 遊脚期における足挙高（自由歩行動作指標）に関して、遊脚期前半（ $h1$ ）とミッドスタンス付近で最下降点となるピーク（ $h2$ ）は、高齢群の方が若年群より高い傾向であった。しかし、遊脚期後半のピーク（ $h3$ ）では、若年群の方が高齢群より高かった（ $p<0.05$ ）。補正した「身長当たりの足挙高」では、遊脚期前半（ $h1$ ）に高齢群の方が高い（ $p<0.05$ ）という結果を示した。
- 3) 体力指標はステッピングを除く全ての項目において、高齢群は若年群より有意に低かった（それぞれ $p<0.05 \sim p<0.001$ ）。
- 4) 歩行速度に対する歩行指標の変化としては、高齢若年群共に歩幅（正）、歩調（正）、片脚支持時間（負）、両脚支持時間（負）、片脚／両脚支持時間（正）に有意な相関関係（それぞれ $p<0.001$ ）が認められたが、回帰直線の傾きと切片の差の検定を行った結果、両群に差は見られなかった。
- 5) 歩行速度に対する歩行動作指標との関係では、高齢群と若年群の遊脚期における足挙高との相関において、歩行速度が速い人ほど前方振り出しに伴う第2ピーク（ $h3$ ）が高くなる関係に有意な正の相関（ $p<0.001$ ）が認

められたが、回帰直線の傾きの差の検定と切片の差の検定を行ったところ、両群に差は見られなかった。

以上の結果より、高齢者に対する歩行指導の提案としては、これまでの歩行動作中心の指導のみならず、自由歩行速度が高まるような土台づくり（体力的要因の向上など）と環境づくり（速く歩く、高く跳ぶなど）に対する取り組みが必要であることが示唆された。

謝辞

本研究を実施するにあたり、京都学園大学の木村みさか教授には高齢者のデータ収集において、また兵庫県立大学の田路秀樹教授には若年者のデータ収集において多大なご支援をいただいた。記して深謝の意を表します。

参考文献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリー
トの身体部分慣性係数. Jpn. J. Sports.
Sci.15 (3): 155-162.
- Bassey,E.J.,Fentem,P.H.,Macdonald,I.C.,Scriven.,
P.M. (1976) Self-paced walking as a method
for exercise testing in elderly and young men.
Clin. Sci. Mol. Med., 51: 609-612.
- Cunningham,D.A.,Rechnitzer,P.A.,Pearce,M.E.&
Donner,A.P. (1982) Determinants of self-
selected walking pace across ages 19-66. J.
Gerontol., 37: 560-564.
- Duncan, P.W., Weiner, D.K., Chandler, J., &
Studenski. (1990) Functional Reach: a new
clinical measure of balance. J. Gerontol. Biol.
Sci., 45 (6): 192-197.
- Ferrandez,A.M.,Pailhous,J. & Serratrice , G.
(1988) Locomotion in the elderly. In Posture
and Gait, Development, adaptation and
modulation : 115-124.
- Ferrandez,A.M.,Pailhous,J.& Durup,M. (1990)
Slowness in elderly gait. Exp. Aging Res., 16:
79-89.
- 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 - . 体力科学、28: 108-
115.
- Furuna,T.,Nagasaki,H.,Sugiura,M.,Okuzumi,H.,Ito,
H.,Kinugasa,T.,Hashizume,K., &Maruyama,H.
(1998) Longitudinal change in the physical
performance of older adults in the community.
J. Jpn. Phy. Ther. Assoc., 1: 1-5.
- Himann,J.E.,Cunningham,D.A.,Rechnitzer,P.A.,&
Paterson,D.H (1988) Age-related changes in
speed of walking. Med. Sci. Sports Exerc.,
20: 161-166.
- Imms,F.J., & Edholm,O.G. (1981) Studies of gait
and mobility in the elderly. Age and Aging.
10: 147-156.
- Jones,C.J.,Rikli,R.E., & 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., Fuchimoto,K., Fuchimoto,T.,Morimot
o,Y.,Kimura,M.,Kitamura, T.,Tsutsui, Y., &
Arai,T. (1990) Biomechanical analysis of
walking and fitness testing in elderly women.
In Fitness for the Aged. Disabled, and
Industrial Worker., III: 84-89.
- Kaneko,M.,Morimoto,Y.,and Fuchimoto,K., &
Fuchimoto,T. (1991) A kinematic analysis of
walking and physical fitness testing in elderly
women. Can. J. Sports Sci., 16: 223-228.
- 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: 69-79.
- 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. 日本生理人類学会
誌、5 (2): 17-23.
- 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.
- 衣笠隆・長崎浩・伊東元・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.
- 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.
- Larish,D.D., Martin,T.E., & Mungiole,M. (1988) Characteristic patterns of gait in the healthy old. Ann New York Academy of Sciences., 515: 18-32.
- Maie,K.,Yamada,T,Kondo,S., & Tanaka,H. (1992) The characteristics of fast speed walking in old men from the viewpoint of the ground reaction forces. J. Anthropol. Soc. Nippon., 100 (4) : 499-509.
- 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.
- 宮辻和貴・川端浩一・伊藤章・金子公宥（2011）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。大阪体育学研究、49：1-13.
- Murray,M.P.,Drought,A.B. & Kory,R.C. (1964) Walking patterns of normal men. J. Bone joint Surg., 46: 335-360.
- Murray,M.P.,Kory,R.C.,Clarkson,B.H., & 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.& Clarkson,B.H. (1969) Walking patterns of healthy old men. J. Gerontol., 24: 169-178.
- Murray,M.P.,Kory,R.C.,Clarkson,B.H., & Sepic S.B. (1970) Walking patterns of normal women. Arch. Phys. Med. Rehabil., 51 (11) : 637-650.
- Nagasaki,H.,Ito,H., Hashizume,K., Furuna,T. (1996) Walking patterns and finger rhythm of older adults. Percep. Motor Skills., 82: 435-447.
- 岡田英孝・阿江通良（1996）高齢者の身体部分慣性係数と動作分析への応用。Jpn. J. Sports. Sci., 15 : 169-175.
- 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、第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集：121-126.
- 岡田英孝・阿江通良・藤井範久・森丘保典（1996）日本人高齢者の身体部分慣性特性。バイオメカニズム13。バイオメカニズム学会編、東京大学出版会：125-139.
- Studenski,S.,Perera,S.,Patel,K.,Rosano,C,Faulkner, K.,Inzitari,M.,Brach,J.,Chandler,J.,Cawthon,P.,Connor,E.B.,Nevitt,M.,Visser,M.,Kritchevsky,S.,Badinelli,S.,Harris,T.,Newman,A. B.,Cauley,J.,Ferrucci,L., & Guralnik,J. (2011) Gait speed and survival in older adults. J. AM. Med. Assoc., 305 (1) : 50-58.
- Wells,R.P.& D.A.Winter. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal,pathological and sporting gaits. Human Locomotion., 1 : 92-93.
- Winter,D.A.,Patla,A.E.,Frank,J.S., & Walt. S.E. (1990) Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. Phys. Ther.,70: 340-347.
- Winter,D.A.,Sidwall,H.G.& Hobson,D.A. (1974) Measurement and reduction of noise in kinematics of locomotion. J. Biomech.,7: 157-159.
- 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.

柳川和優・磨井祥夫・渡部和彦 (2006) 床反力からみた高齢者における歩行動作の特徴. 広島体育学研究、32 : 29-38.