

Detrended Fluctuation Analysis (DFA) を用いて

高齢者の歩調のゆらぎを測る

(「しなやかさ・力強さ」指標から高齢者の歩行機能低下防止策を探る)

京都府立医科大学 木村 みさか

(共同研究者) 京 都 大 学 横 山 慶 一

同 小 田 伸 午

N P O 法 人 永 田 晟
日本健康づくり協会

**Analyzing the Fluctuation of the Walking Rhythms of the Elderly with
Detrended Fluctuation Analysis. – Research for the Prevention of the Functional
Decline of the Elderly Gait with the Index of Flexibility and Robustness**

by

Misaka Kimura

School of Nursing, Kyoto Prefectural University of Medicine

Keiichi Yokoyama, Shingo Oda

Graduate School of Human & Environmental Studies,

Kyoto University

Akira Nagata

NPO Foundation for Japan Health Promotion

ABSTRACT

Our aim in this study was to examine the relationship between physical ability / walking ability / body composition and the fractal scaling index (α) which was derived from the walking rhythms of the 26 healthy elderly subjects by using detrended fluctuation analysis. α was regarded as an index to show the stability of the gait in previous studies. In the present study, α was correlated with agility and adjustability components of the physical

ability. It was also correlated with the distance subjects could walk in 3 minutes in shuttle stamina walk tests. The results implied that the improvement of agility and adjustability might be useful for preventing the elderly from accidental falls, and for maintaining the ability to walk for a long time and over long distance. In addition, the elderly with higher α had the tendency that they had less fat and more muscle. Our research suggests that improving some physical abilities like agility, adjustability and flexibility in daily life and light exercise will improve the stability of gait and may be useful for preventing falls.

要 旨

本研究では、健常高齢者26名を被験者とし、フラクタル解析の手法である detrended fluctuation analysis を歩調のゆらぎに適用して、得られた fractal scaling index (α) と体力・歩行能力・体組成との連関を調べることを目的とした。 α は先行研究で歩行の安定性を示す指標と考えられている。

本研究で α は体力測定種目のうち敏捷性・調整力要素に分類される種目と相関し、また、3分間で歩いた距離を測定するシャトルスタミナウォークの結果とも相関を示した。このことから、体力のうち敏捷性・調整力要素の向上が、高齢者の転倒を防ぎ、長距離を歩く能力の維持につながる可能性が示唆された。また、体組成との関連では、 α の高い高齢者は、体脂肪率が低く体重に占める筋量の割合が高い傾向が示された。

本研究の結果から、高齢者では敏捷性・調整力・柔軟性といった体力要素を日常生活動作や軽度な運動の中で向上させることが転倒の防止と歩行機能維持に有効である可能性が示唆された。

緒 言

かつてない高齢化社会を迎えつつあるわが国では、高齢者医療の焦点は単なる延命から健康余命の延長に注がれつつある。高齢者の心身の健康と生活の質 (Quality of life; QOL) をいか

に保つかという問題に対し、多くの研究が進められている。

ことに高齢者の歩行機能の保持と転倒予防は、近年注目を集めている分野である。ヒトの基本的動作の一つである歩行の機能が損なわれると QOL が大きく低下することは議論を待たない。そして、歩行機能低下と転倒リスク・転倒経験には密接な関係がある。前期高齢者において最速歩行速度が、後期高齢者において通常歩行速度が遅いほど、将来に生活動作の損なわれるリスクが高いことを示した報告もある¹⁾。また、高齢者の転倒で頻繁に生じる大腿部骨折は予後が悪く、1年後の生存率が80%まで低下するとの報告もある²⁾。

高齢者の歩行機能の低下には、筋力・バランス保持能力・視力・調整力といった多くの要素の衰えがかかわっており、さまざまな評価指標が提唱されている。中でも近年成果を上げているのが、歩行の一步一步に要する時間の変化をゆらぎととらえ、フラクタル解析の手法を適用する試みである³⁾。

ヒトの歩行では、新たな一步に要する時間はその場限りでランダムに決定されるのではなく、過去数十歩の一步一步に要した時間とわずかながら長期相関を持っている。しかし、フラクタル解析の一つである DFA (Detrended Fluctuation Analysis) を適用した研究では、若年者より高齢者で、また転倒不安感のある高齢

者の中で実際に転倒経験のある高齢者において、歩調の揺らぎが長期相関を失ってランダムノイズに近づくことが発見された^{4,5)}。同様の変化はパーキンソン病による歩行機能障害でも見出されたため、歩調のゆらぎのランダム化の原因として中枢神経の加齢および疾病による変化が疑われている⁴⁾。

われわれは中枢神経のみならず身体機能の低下も歩調に影響を与えると考え、同様の解析を高齢者の歩調に適用するとともに、下半身および体幹の関節可動域を測定した。結果、歩行に必要な関節の可動域が減少した高齢者ほど、歩調のランダムノイズ化が著しいことが明らかとなった⁶⁾。歩行機能の保持に対する関節柔軟性の重要性を示唆する結果ではあったが、歩調のランダム化がどのような機序で生じるのか、それが表すものが何であるのかについてはまだ十分な知見が得られていない。

本研究では、歩調測定実験で得た高齢者の歩調にDFAを適用するとともに、その体力測定・体組成計測・歩行速度測定の結果との関係を検討し、高齢者の歩調のフラクタル解析へ新たな知見を加えることを目的とした。

1. 方法

1.1 被験者

本研究は、京都市およびその周辺に居住する高齢者を対象として年一回実施されている体力測定の参加者の中からボランティアを募って行われた。京都府立医科大学における2007年の

体力測定では、2日間の実施日に計373名の参加者が訪れた。本研究では、その中で歩調測定実験への協力が得られた26名（男性8名、女性18名）を被験者とし、同じ日程で会場内において計測を行った。実験に先立って、対象者には研究の趣旨を十分説明し、参加への同意を得た。被験者の年齢と身体特性を表1に示す。

1.2 体力測定

体力測定は体育館を会場とし、参加者は自由な順番で各項の測定を行った。測定種目は、閉眼片足立ち、開眼片足立ち（最長120秒まで）、座位ステッピング（以下ステッピングと表記）、チェアスタンド、垂直とび、握力、脚筋力、シャトルスタミナウォーク（以下SSTwと表記）、長座位体前屈であり、いずれもすでに報告された方法に従って行った⁷⁻⁹⁾。

このうちステッピングは、椅子に浅めに腰かけ、足元に30センチ間隔で引かれた2本の線の内側に両足を揃えて置いた状態を開始として線を踏まないように両足を開閉する課題であり、20秒間に反復できた回数を結果とする。体力要素のうち主に敏捷性に関連すると考えられる。チェアスタンドは、43cmの高さの台に腰かけた状態から、腕を胸の前で交差して反動を使わずに立って座る動作を30秒間に何度反復できるか測定するもので、主に筋力に関連する。また、これら2つの課題には滑らかでリズムカルな動作も求められる。SSTwは、10m間隔で立てられた2本のポールの間を往復し、3分間に

表1 Physical characteristics of the subjects

		Men (n=8)	Women (n=18)	All (n=26)
Age (years)	mean (±SD)	72.1 (6.1)	70.1 (3.6)	70.8 (4.4)
	Range	66 - 85	65 - 76	65 - 85
Height (cm)	mean (±SD)	160.8 (4.1)	150.7 (6.6)	153.8 (7.6)
	Range	156.8 - 169.5	140.5 - 163.4	140.5 - 169.5
Weight (kg)	mean (±SD)	55.0 (7.1)	52.0 (6.8)	52.9 (6.9)
	Range	43.0 - 63.4	38.8 - 66.0	38.8 - 66.0

SD: standard deviation

歩くことのできた距離を結果とする。最大酸素摂取量と強い相関を持ち、体力要素のうち持久性と関連すると考えられる。脚筋力は、座位で膝関節角度を60度にした状態での膝伸展力を測定した。

1. 3 歩行速度測定

体力測定の一部として、10mの直線路上で歩行速度と歩数の計測を行った。

参加者はまずスタートラインに立ち、合図と共に普段の歩行速度で10m先のゴールラインまで一直線に歩いた。加速時と減速時の影響を除くため、スタートラインの2m先からゴールラインの2m手前までの6mを計測区間とし、参加者の胴体がこの区間を通過するのに要した時間を計測した。また、この6mの区間の歩数も記録した。

続いて被験者は先ほどのゴールラインをスタートラインとして、最初のスタート位置までの10m区間を最速の歩行速度で歩いた。先ほどと同様、最初と最後の2mを省いた中央の6m区間で、時間と歩数の計測を行った。

1. 4 歩調測定実験

歩調測定実験の被験者は裸足で測定を行った。被験者の両足裏の踵および拇指球に荷重計測用のフットセンサー（DL-250、フォーアシスト社製）を貼り付けた。歩行中にセンサーにかかった荷重のデータを、被験者の腰に装着したデータロガー（FA-DL-2000、フォーアシスト社製）に1000Hzのサンプリング周波数で記録した。

測定は、片道30mの直線路で行った。直線路の両端にはカラーコーンが置かれ、被験者は「普段どおりの快適な歩行速度で、合図があるまでの6分間、止まることなく歩くこと」「直線路の端に達したら、止まることなくコーンを

回り、もう一方の端を目指して歩きつづけること」を指示された。

一被験者につき一試行のみを行い、6分間の連続歩行中の足裏への荷重データを得た。これをオフラインで解析して荷重の立ち上がりを元に一步一步の接地タイミングを特定し、歩行の1サイクルごとのストライド時間（片方の足が接地してから、再び同側の足が接地するまでに要する時間）を時系列データとして得た。以後、これを歩調データと表記する。

1. 5 体組成測定

体組成計測は、生体電気インピーダンス方式筋量測定装置（Muscle- α ; 50kHz, 500 μ A, アートヘブンナイン社製）を用いて測定した（詳細は山田ら¹⁰）を参照）。電極は心電図用ディスプレイ電極（RedDot 2330, 3M製）を用いた。測定姿勢は仰臥位で腋の下と股間を30度程度開き、上下肢をまっすぐ伸ばしてリラックスした状態とした。遠位および近位の2種類の誘導法によって測定し、それぞれの区間のインピーダンス値と人体計測用メジャーで測定した部位長から前腕・上腕・大腿・下腿・体幹の各部位の筋量・脂肪量を推定した。

部位の合計から、全身の脂肪量・除脂肪体重・体水分量・筋量を算出した。

2. 解析

2. 1 DFA解析

歩調データの解析には、フラクタル解析の手法である Detrended Fluctuation Analysis (DFA) を用いた。

ヒトの歩行では、1ストライドの時間長すなわち足の接地から次の接地までに要する時間には、変動（ゆらぎ）が存在する³⁾。このゆらぎがまったくランダムであるならば、新たな一步の時間長は過去のゆらぎと無関係に決定される

はずである。一方ランダムでなければ、過去の何歩かの時間長の増減傾向と新たな一步の時間長の増減傾向が何らかの相関を持つはずである。DFAとは、どれだけの過去にわたるデータが、新たなデータとどれだけの強さの相関を有しているかを数学的に示す手法である。

DFAの方法は以下のとおりである。まず、元の歩調データ（データ長N）の平均値を求め、これを元の歩調データのすべての要素から減ずる。さらにこの1番目からi番目のデータまでの積分値をi番目のデータとする新たな時系列データ（データ長N）を作る。この新たな時系列データは、元のデータで平均値より小さな値が続けば減少し、平均値より大きな値が続けば増大し、平均値より大きな値と小さな値が交互に続く場合は0の周辺にとどまることとなる。

次に、このデータを等しい長さnのいくつかのボックスに区切る。各々のボックスに含まれるデータを元に、最小二乗法によってボックス内でもっともよくデータにフィットする直線を求める。これをそのボックス内の部分的なトレンドと考える。ボックス内で各データの直線からの差分を求め（この操作はトレンドの除去操作に当たる）、これをデータ長Nにわたって二乗平均してF(n)を得る^{3,11)}。

F(n)はnの増大につれて増大する値であり、log(n)とlogF(n)の間にはほぼ直線的な関

係が存在する。この線形回帰直線の傾きαが、DFAで得られるfractal scaling indexである。

αは正の値をとり、元のデータのゆらぎの性質を表す値である。α=0.5のとき、元のゆらぎは完全にランダムノイズである。α>0.5のとき過去の増減傾向と新たなデータの増減傾向は正の相関を持つ。この相関が強いほどαの値も大きくなり、α=1.0のとき、自然界や生体のゆらぎにしばしば見られる1/fゆらぎとなる。

本研究では直線路の往復を用いたため、先行研究に従い、DFAに先立って歩調データのうち中央値から標準偏差の3倍以上はずれたデータを除外した。その後DFAを適用し、各被験者の歩調のfractal scaling index(α)を得た⁵⁾。

2.2 統計

すべての統計解析は統計パッケージ(SPSS 12.0J for Windows)を用いて行った。

αと体力測定結果および体組成測定結果との相関係数の算出にはピアソンの積率相関係数を用いた。ただし、開眼および閉眼片足立ちについては正規分布が仮定できないため、スピアマンの順序相関を用いた。また、平均値の比較には対応のないt検定を用いた。

いずれも有意水準は5%とした。

表2 Results of fitness tests

	Men		(n)	Women		(n)	mean (±SD)			
							All	(n)		
One-leg balancing (EC) (sec)	11.3	(7.5)	7	9.3	(12.1)	18	9.8	(10.9)	25	
One-leg balancing (EO) (sec)	59.4	(56.1)	8	50.3	(40.0)	18	53.1	(44.6)	26	
Stepping (times/20 sec)	35.4	(5.8)	8	32.4	(6.7)	18	33.3	(6.4)	26	
Chair standing (times/30 sec)	24.8	(6.6)	8	23.6	(7.1)	18	23.9	(6.8)	26	
Vertical jump (cm)	30.5	(6.6)	**	8	22.0	(4.9)	18	24.6	(6.7)	26
Grip strength (RH) (kg)	33.0	(7.2)	**	8	21.7	(4.1)	18	25.2	(7.4)	26
Grip strength (LH) (kg)	30.7	(6.9)	**	8	21.0	(5.1)	17	24.1	(7.2)	25
Leg strength (RL) (kg)	33.1	(8.4)	**	8	20.5	(5.3)	18	24.4	(8.6)	26
Leg strength (LL) (kg)	33.1	(7.2)	**	8	20.1	(5.7)	18	24.1	(8.6)	26
SSTw (m)	274.3	(29.2)		7	261.9	(24.4)	18	265.4	(25.8)	25
Seated forward bending (cm)	26.1	(9.6)	†	8	37.3	(11.1)	18	33.9	(11.7)	26

SD: standard deviation EC: eyes closed EO: eyes opened RH: right hand LH: left hand RL: right leg LL: left leg SSTw: suttle stamina walk ** Men are larger than women (p<0.01) † Men are smaller than women (p<0.05)

表3 Results of walking tests

		Men		Women		All	
			(n)		(n)	mean (± SD)	(n)
6 minutes walk							
Fractal scaling index	(α)	0.87 (0.09)	8	0.87 (0.06)	18	0.87 (0.07)	26
6 meters walk							
usual walk, time	(sec)	4.9 (0.8) **	8	4.0 (0.7)	18	4.3 (0.8)	26
usual walk, steps	(steps)	9.9 (0.8)	8	9.1 (1.2)	18	9.3 (1.1)	26
fastest walk, time	(sec)	3.1 (0.4)	8	3.0 (0.5)	18	3.0 (0.4)	26
fastest walk, steps	(steps)	8.0 (0.5)	8	8.2 (1.1)	18	8.2 (1.0)	26

SD: standard deviation ** Men are larger than women (p<0.01)

表4 Body compositions of the subjects

		Men (n = 7)		Women (n = 16)		All (n = 23)	
						mean (± SD)	
Total fat mass	(kg)	12.2 (2.8) ††		17.3 (3.9)		15.8 (4.3)	
	(% BW)	21.7 (3.2) ††		33.2 (3.9)		29.7 (6.5)	
Total free fat mass	(kg)	43.6 (5.1) **		34.5 (3.8)		37.2 (5.9)	
	(% BW)	78.3 (3.2) **		66.8 (3.9)		70.3 (6.5)	
Total body water	(kg)	31.9 (3.8) **		25.2 (2.8)		27.3 (4.3)	
	(% BW)	57.3 (2.4) **		48.9 (2.9)		51.5 (4.8)	
Total muscle mass	(kg)	22.7 (3.3) **		16.5 (2.3)		18.4 (3.9)	
	(% BW)	40.7 (2.8) **		31.9 (2.4)		34.5 (4.8)	
BMI		21.4 (2.2)		22.6 (2.2)		22.3 (2.2)	

SD: standard deviation BW: body weight BMI: body mass index ** Men are larger than women (p<0.01) †† Men are smaller than women (p<0.01)

3. 結果

3.1 体力測定結果

被験者の体力測定の結果を表2に示した。自信のない種目を無理して行わないようにと案内していたため、一部の種目には未計測者が含まれている。垂直とび・握力・脚筋力の各種目では男性が女性より有意に高い値を示した(いずれも p<0.01)。一方、長座体前屈では女性が男性より有意に高い値を示した (p<0.05)。

3.2 fractal scaling index および歩行速度

表3に、6分間の歩調測定から得られた α と歩行速度・歩数の結果を示す。 α には男女間で有意な差は見られなかった。通常速度での6mの歩行時間は男性が女性より有意に長くかったが (p<0.01), 最高速度での歩行時間は性別による有意な差は認められなかった。

3.3 体組成測定結果

被験者の体組成測定の結果を表4に示した。

男性は除脂肪量・体水分量・筋量の項目で女性より有意に高い値を示した(いずれも p<0.01)。また、体重に占める除脂肪量・体水分量・筋量の比率も、男性が有意に高い値を示した(いずれも p<0.01)。体脂肪量と体脂肪率は、女性が男性より有意に高い値を示した(いずれも p<0.01)。しかしながらBMIには男女間で有意な差は認められなかった。

3.4 α との相関

体力測定結果と α の相関係数を表5に、また体組成測定結果と α の相関係数を表6に示した。

被験者全体で見ると、体力測定結果では開眼片足立ち・ステッピング・チェアスタンド・垂直とび・SSTwの測定値が α と有意な相関を示した。男女別では、女性は全体とほぼ同様の相関を示した。男性は同様の傾向に加えて筋力指標である握力との相関が高かったが、男性被験者数が8名と少なかったため有意にはいたっていない。図1には、 α とSSTw、 α とステッピン

表5 Correlation coefficients between α and fitness components

	Men	Women	All
One-leg balancing (EC) (sec)	0.85 *	0.20	0.39
One-leg balancing (EO) (sec)	0.43	0.68 **	0.55 **
Stepping (times/20 sec)	0.69	0.54 *	0.56 **
Chair standing (times/30 sec)	0.22	0.56 *	0.42 *
Vertical jump (cm)	0.70	0.47 *	0.46 *
Grip strength (RH) (kg)	0.63	-0.14	0.18
Grip strength (LH) (kg)	0.70	-0.26	0.17
Leg strength (RL) (kg)	0.40	0.42	0.30
Leg strength (LL) (kg)	0.55	0.41	0.33
SSTw (m)	0.62	0.26	0.40 *
Seated forward bending (cm)	0.07	-0.13	-0.05

EC: eyes closed EO: eyes opened RH: right hand LH: left hand RL: right leg LL: left leg SSTw: suttle stamina walk
 * Correlates significantly (p<0.05) ** Correlates significantly (p<0.01)

表6 Correlation coefficients between α and the body compositions

	Men	Women	All
Total fat mass (kg)	-0.01	-0.69 **	-0.6 **
(% BW)	-0.45	-0.66 **	-0.51 *
Total free fat mass (kg)	0.71	-0.25	0.17
(% BW)	0.45	0.66 **	0.51 *
Total body water (kg)	0.71	-0.26	0.16
(% BW)	0.45	0.66 **	0.51 *
Total muscle mass (kg)	0.82 *	-0.28	0.19
(% BW)	0.77 *	0.34	0.40
BMI	0.23	-0.49	-0.35

BW: body weight BMI: body mass index * Correlates significantly (p<0.05) ** Correlates significantly (p<0.01)

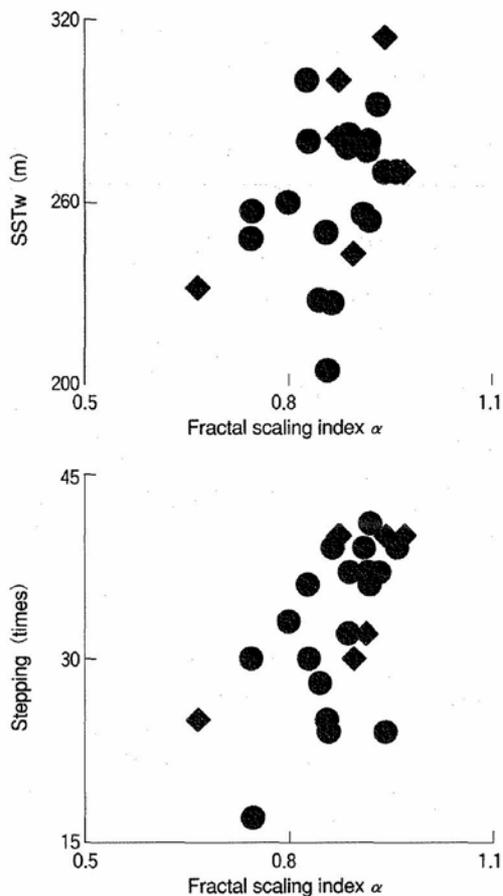


図1 The correlations between α and SStw, α and Stepping ●:female ◆:male

グの関係を図示した。

一方、被験者全員の体組成測定結果では、 α は体脂肪量および体脂肪率と有意な負の相関を示し、体重に占める除脂肪体重の割合・体水分量の割合と有意な正の相関を示した。また、体重に占める筋量の割合とも相関傾向を示した (p=0.06)。男女別では、女性は全体と同じ項目でより強い相関を示したが、男性では筋肉量と α の相関が高かった。

6m歩行の速度と歩数の計測結果は、通常歩行・最速歩行ともすべての項目で α と有意な相関が見られなかった。

4. 考察

歩行分析の分野では従来、歩幅や速度といった平均値で表される要素が注目され、その変動はノイズとして切り捨てられる傾向にあった。変動すなわちゆらぎを時系列データとして数学的に解析する手法が取り入れられ、歩行パラメ

ータのゆらぎはノイズではなく有益な情報をもたらすということが明らかとなったのはごく近年のことである。

ばらつきの大きさを示す標準偏差 (SD) や変動係数 (CV) は、歩行パラメータのゆらぎを評価する量的指標の一つとして現在広く使われている。高齢者の歩行分析に適用された例としては、歩幅・歩隔・歩調の SD や CV が大きい高齢者ほど転倒のリスクが高いとの報告がある^{12,13)}。

一方、歩調のゆらぎの中の長期相関に着目した周波数解析 (パワースペクトル解析) やフラクタル解析 (DFA) も、高齢者の歩行分析の分野で注目を集めている手法である。歩調のゆらぎには中枢神経系・筋骨格系・感覚入力・反射と多くの要素の複雑な関与が推測されているが、歩調のゆらぎの中になぜフラクタル構造や長期相関が含まれているのか、なぜ加齢や中枢神経系の疾病は歩調のゆらぎを質的に変化させるのか、といった問題はまだ十分解決されてはいない¹⁴⁾。しかし、若齢者と健常高齢者の比較において、歩調の CV に差が見られなくても DFA から得られた α には高齢者で有意な低下が見られたとの報告があり、われわれも過去の研究で同様の結果を得ている^{4,15)}。このことから、 α は加齢による歩行様相の変化や転倒危険性を敏感に検出する指標となりうるのではないかとの期待が持てる。

われわれは DFA を高齢者の歩調に適用するにあたり、当初より高齢者の身体機能と α の連関に着目してきた。過去の研究において、若年者では歩調の α と筋力・柔軟性・バランス能力の体力指標との間に相関は見られなかったが、高齢者ではそれぞれの体力指標と α の間に相関が見られた^{6,16)}。この結果から、体力に十分な予備力を持つ若齢者に対し、高齢者では体力の各要素の低下が歩行様相に変化を与えている可能性が示唆される。

本研究でも、被験者の歩調から得られた α は、体力測定の数々の項目と有意な相関を示した。相関の見られた種目のうちステッピングとチェアスタンドは、過去にわれわれが309名を対象に行った高齢者体力の因子分析研究において「敏捷性・調整力因子」に分類されている¹⁷⁾。一方、今回の研究では α と脚筋力の間には有意な相関が見られていない。

われわれの過去の研究でも高齢者の歩調の α は脚筋力よりも柔軟性やバランス保持能力と強い相関を示している⁶⁾。 α の低下が転倒危険性と関係することを考えると、転倒につながるような高齢者の歩行様相の変化には、筋力の衰えよりも敏捷性・調整力・柔軟性の低下がより強く関与している可能性が考えられる。

また、本研究で α は SSTw の歩行距離と相関を示したが、6m 歩行の秒数・歩数とは無相関であった。SSTw と 6m 歩行はいずれも歩行能力を測定する種目であるが、持続時間も歩行距離も大きく異なっている。今回の結果から、 α の低下は短距離・短時間の歩行能力よりも長距離・長時間の歩行能力に影響を及ぼすことが示唆された。

歩調の α と体組成の関連を見た研究は、われわれの知る限り見当たらない。興味深いことに、本研究では α が高い被験者は体脂肪率が低く、体重に占める筋量の割合が高い傾向が明らかとなった。筋力が必ずしも α を高める体力要素ではないことを考えると、この結果を説明することは難しい。

しかしながら、今回の被験者は26名中24名が定期的な運動習慣を持っていた。高齢者の身体活動量と体力に関する研究では、激しい運動よりも、低強度の運動や日常的な家事動作の積み重ねが高齢者の身体活動量を増大させ、体力の保持に貢献することが分かっている^{18,19)}。今回の被験者の中で α が高かった高齢者は、日

常に体を動かす機会が多く、そのことが、体脂肪率が低く筋量の多い体を維持させると同時に、調整力や敏捷性を含むすべての体力要素の低下を防ぎ歩調の α を高めていた可能性が考えられる。本研究では運動習慣のない高齢者や虚弱高齢者の対照群を設けておらず、また身体活動量の計測も行っていないため確定的なことは言えないが、今後これらを考慮した研究を行うことにより高齢者が日常生活の中で無理なく効率的に歩行機能維持や転倒予防を行うための基礎的な知見を得られると考えられる。

5. 結 論

日常生活の中で活動範囲を広げ独立した活発な生活を送るためには、長距離を歩行できる能力が不可欠である。下半身の筋力が健全な歩行に欠かせないことは言うまでもないが、本研究の結果からは、筋力に加えて敏捷性・調整力・柔軟性といった体力要素を日常生活動作や軽度な運動の中で維持・向上させることで、転倒の危険の少ないしなやかで安定した歩行を保つことができる可能性が示唆された。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、京都府立医科大学看護学科教授 西田直子氏、松下電工株式会社 松村吉浩氏、京都大学大学院人間・環境学研究科 山田陽介氏、進矢正宏氏、岡本英也氏にはひとかたならぬご助力をたまわりました。ここに厚く御礼申し上げます。

文 献

1) Shinkai S., Watanabe S., Kumagai S., Fujiwara Y., Amano H., Yoshida H., Ishizaki T., Yukawa H., Suzuki T., Shibata H.: Walking speed as a good predictor for the onset of functional dependence in a Japanese rural community population. *Age and Aging*, 29: 441-446 (2000)

2) 市村和徳: 高齢者大腿骨近位部骨折の生命予後. *Hip Joint*, 27: 113-115 (2001)

3) Hausdorff J.M., Peng C.K., Ladin Z., Wei J.Y., Goldberger A.L.: Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait., *J. Appl. Physiol.*, 78: 349-358 (1995)

4) Hausdorff J.M., Mitchell S.L., Firtion R., Peng C.K., Cudkovicz M.E., Wei J.Y., Goldberger A.L.: Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease., *J. Appl. Physiol.*, 82: 262-269 (1997)

5) Herman T., Giladi N., Gurevich T., Hausdorff J.M.: Gait instability and fractal dynamics of older adults with a "cautious" gait: why do certain older adults walk fearfully?, *Gait and Posture*, 21: 178-185 (2005)

6) 横山慶一, 山田陽介, 木村みさか, 松村吉浩, 川口亜紀, 小田伸午: 高齢者の歩調ゆらぎと筋力・バランス能力・柔軟性の連関., *体力科学*, 55: 744 (2006)

7) 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: 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 (1989)

8) 木村みさか, 足立哲司: 高齢者の体力の特徴と運動習慣について—日本人高齢者の体力調査から, *京都府立医科大学医療技術短期大学部紀要*, 9: 1-11 (1999)

9) 木村みさか, 岡山寧子, 田中靖人, 金子公宥: 高齢者の簡便な持久性評価法 SSTw の妥当性, *体力科学*, 47: 776 (1998)

10) 山田陽介, 木村みさか, 中村榮太郎, 増尾善久, 小田伸午: 15~97歳日本人男女1006名における体筋筋量と筋量分布, *体力科学*, 56: 461-472 (2007)

11) Peng C.K., Buldyrev S.V., Goldberger A.L., Havlin S., Stanley H.E.: Finite size effects on long-range correlations: implications for analyzing DNA sequences, *Physical Review E*, 47: 3730-3733 (1993)

12) Maki, B.E.: Gait changes in older adults: Predictors of falls or indicators of fear?, *Journal of American Geriatrics Society*, 45: 313-320 (1997)

13) Hausdorff J.M., Rios D.A., Edelberg H.K.: Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study., *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82: 1050-1056 (2001)

14) Hausdorff J.M.: Gait dynamics, fractals and falls:

- Finding meaning in the stride-to-stride fluctuations of human walking, *Human Movement Science*, 26, 555-589 (2007)
- 15) 横山慶一, 山田陽介, 木村みさか, 松村吉浩, 川口亜紀, 小田伸午: 安定した歩行リズムと下肢関節柔軟性の連関, *ランニング学研究*, 19: 78 (2007)
- 16) Yokoyama K., Yamada Y., Osaki T., Noriyasu R., Adachi T., Matsumura Y., Kawaguchi A., Kimura M., Oda S.: Reduced long-range correlations of gait cycle relate to declines in physical ability in the elderly, *Medicine and science in sports and exercise*, 39 (5) supplement: S77 (2007)
- 17) 横山慶一, 山田陽介, 尾崎禎亮, 進矢正宏, 小田伸午: 下肢筋力・敏捷性・バランス保持能力が高齢者の歩行能力に及ぼす影響, 日本体育学会第56回大会: 筑波大学 (2005)
- 18) 木村みさか, 森本好子, 寺田光世: 都市在住高齢者の運動習慣と体力診断バッテリーテストによる体力, *体力科学*, 40: 455-464 (1991)
- 19) Yamada Y., Yokoyama K., Osaki T., Noriyasu R., Adachi T., Hashii Y., Itoi A., Okayama Y., Matsumura Y., Morimoto T., Nakamura E., Oda S., Kimura M.: Physical activity level, lifestyle, nutrition, and body composition in Japanese healthy and frail elderly (64-96 yr), *Medicine and science in sports and exercise*, 39 (5) supplement: S471 (2007)