

長期間の速歩トレーニングが高齢者の身体機能および 形態に及ぼす影響

琉子 友男* 小林 寛道* 池川 繁樹**

* 東京大学教養学部

** 日本女子大学

Influence of a Long-term Fast Walking Training on Functional and Morphological Characteristics in 75-81 Years Old Men.

Tomoo Ryushi* Kando Kobayashi* Shigeki Ikegawa**

*Dept. of Sports Sciences, College of Arts and Sciences,
The University of Tokyo.

**Nihon Women's University.

Abstract

The purpose of the present study was to investigate the influence of a long-term fast walking training on functional (maximal oxygen uptake, muscle strength, muscular endurance, reaction time, etc.) and morphological (cross-sectional area of femur, subcutaneous fat and muscles in the left thigh) characteristics in 75-81 years old men (n=6).

Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_2$ max.) was determined by walking on the treadmill (a constant speed: 80-100m/min, progressive work load of slope: 1% in every min). Maximal isometric and dynamic strength in the left knee extensor muscles were determined using an isokinetic dynamometer (Cybex II). Simple and selective reaction time to the light stimulus were recorded with an isokinetic dynamometer (180 deg./s) using the left knee extensor muscles. Cross-sectional area of femur, subcutaneous fat and muscles in the left thigh were measured by ultrasonic method.

Maximal oxygen uptake and maximal heart rate were 32.3 ± 2.9 ml/kg/min and 158 ± 11 beats/min, respectively. The peak torques declined gradually with increasing angular velocity from 92.5 ± 14.0 Nm at 30 deg./s to 24.0 ± 7.5 Nm at 300 deg./

s. Selective reaction time was found to be longer in the 75-81 years old group ($n=6$) compared with the 18-19 ($n=7$) and the 57-65 years old group ($n=4$). Cross-sectional area of femur, subcutaneous fat and muscles in the left thigh were $5.6 \pm 0.8 \text{ cm}^2$, $36.1 \pm 9.3 \text{ cm}^2$ and $110.6 \pm 9.2 \text{ cm}^2$, respectively.

These results suggest that a long-term fast walking training may give the aged people some functional and morphological characteristics to send a full of healthy and vivid life.

緒言

我が国では、公衆衛生の発達および医療技術の進歩などにより、平均寿命が大幅に延長され、我々がかつて経験したことのない高齢化社会へ突入しようとしている。

高齢者の場合、運動に対する自然の欲求が減少すると同時に、労働による身体活動の強制もなくなる。しかも、運動に対する動機づけや機会が少なくなることによって、運動不足になり易いと云われている。このことは、身体機能の老化の速度を速めることになり、高齢者を種々の疾病に罹患させる要因となっている。さらに、国民医療費の観点からは、老人医療費の増大が大きな社会問題になっている。

以上述べたような高齢化社会の問題を軽減するためには、我々が、高齢者に対する身体運動の効果について適確に把握すること、さらに、高齢者が健康な老後を送れるように、安全で、しかも、加齢に伴う老化の速度を少しでも遅延せしめるような運動が何であるかを情報として提供することが必要と考えられる。

歩行運動は、運動の中でも最も基本的な移動動作であり、日常生活の中で最も頻繁に用いられる運動の1つである。この歩行動作が困難になると、高齢者の活動範囲は極端に減少し、そのことが、知的機能や身体機能などの社会的能力の低下を惹き起こす。また、障害を持つ老人の活動能力を把握する方法として用いられている日常生活動作能力 (Activities of Daily Living; ADL) 障害では、歩行に関するものが最も多いと言われている¹⁵⁾。さらに、高齢者の歩行速度の低下は、蹴り出す時の力、すなわち、脚筋力の低下によるものであると言われている¹⁵⁾。

このようなことから、本研究では、長期間の速歩トレーニングが高齢者の全身持久性、筋持久力、筋力および敏捷性などの身体機能や大腿部の皮下脂肪、骨および筋肉の断面積にどのような影響を及ぼしているかを観察することを目的とした。

方法

1. 被験者

被験者は平均11.6(±3.3)年の長期にわたり、1週間に平均4(±2.1)回、1回あたり3-10 kmを比較的速い速度(平均117 m/分)で歩行している平均年齢77.5(±2.2)歳の男性6名である。なお、測定は被験者に本研究の目的と方法を熟知させた後、同意書を得て成された。彼らの身体的特徴は表1に示してある。

表1 被験者の身体的特徴

被験者	年齢 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	胸囲 (cm)	脚長 (cm)	%Fat*
M. O.	81	166	55	74.5	89.7	9.5
J. K.	79	164	55	74.4	91.0	9.5
S. N.	78	161	58	80.0	84.6	10.0
F. K.	76	160	58	74.6	82.7	12.4
T. T.	76	167	58	72.0	92.2	9.2
H. N.	75	168	62	74.5	93.0	12.1
平均値	77.5	164.3	57.6	75.0	88.8	10.4
標準偏差(±)	2.2	3.2	2.5	2.6	4.0	1.4

注) *: 長嶺ら¹³⁾(1979)の日本人用の身体密度推定式と Brozek ら(1963)の式から算出した。

2. 各種体力テスト

1) 握力、背筋力、垂直とび、反復横とび、閉眼片足立ちの測定

閉眼片足立ち以外の測定は、文部省スポーツテスト、壮年体力テストと同様の方法を用いて測定した。閉眼片足立ちは、手を腰にあてて、片方の足を前方に伸ばし目を閉じて、足の位置を動かさずにその姿勢を何秒間維持できるかを測定した。

2) 最大酸素摂取量の測定

最大酸素摂取量の測定には、トレッドミル上の歩行を用い、速度を80-100 m/分で一定とし、斜度を毎分1%づつ漸増的に上昇させ、最大努力に達するまで持続する方法を用いた。換気量、呼吸

O₂ 濃度, CO₂ 濃度の測定には, アロマ自動呼気ガス分析装置を用いた。また, 運動中の心電図をテレメーター装置を用いて連続記録した。

3) 等尺性と等速性最大脚筋力 (peak torque)

および peak torque の低下率の測定

Cyber II を用いて, 椅座位姿勢における脚伸展筋力を角速度が 0°/秒 (等尺性最大筋力, 膝関節角度 60°), 120°/秒, 180°/秒および 300°/秒の速度条件で測定し, peak torque を求めた。筋力発揮は十分な休息を入れて 3 回づつ実施し, その最大値を最大筋力 (peak torque) とした。

peak torque の低下率は, 180°/秒の角速度を用いて, 最大努力で 50 回, 脚を伸展する作業を行わせ, 1-10 回の平均値と 41-50 回の平均値の差から次式によって算出した。

$$\text{低下率 (\%)} = \frac{(1-10\text{回の平均値}) - (41-50\text{回の平均値})}{(1-10\text{回の平均値})} \times 100$$

4) 反応時間の測定

座位姿勢の被験者を測定用椅子にシートベルトを用いて固定した。その後, 反応時間は聴覚の影響を除去するため耳栓をした被験者をリラックスさせた状態で, 約 3 m 前方に位置する反応時間測定用ランプの点灯と同時にすばやく, 最大努力で膝関節を伸展するという方法を用いて測定した。その際の角速度は 180°/秒であった。また, 選択反応時間は, 赤, 黄, 青色の 3 色のうち, 青色ランプが点灯した場合のみ膝関節をすばやく伸展するよう指示して測定した。それぞれ十分な休息を入れながら 5 回づつ測定し, 最高値と最低値を除く 3 回の平均値を反応時間とした。筋電図をテレメーターを用いて左大腿部 (外側広筋) から表面電極法によって導出した。点灯シグナルから筋放電開始までの時間を反応開始時間, 筋放電開始から実際に膝関節が伸展を開始するまでの時間を筋収縮時間とした。

3. 大腿部断面積の計測

左大腿の大転子点から大腿骨長の遠位 50% の部

位を超音波法 (円型コンパウンド方式, 超音波周波数 5MHz) を用いて大腿部断面像を撮影した。断面像から, プラニメトリーを用いて骨, 皮下脂肪, 各筋の断面積を計測した。

結果と考察

本研究における高齢者の体重あたりの最大酸素摂取量は, 平均 32.3 ml/kg/分, 最高心拍数は平均 158 拍/分であった (表 2)。小林と近藤⁹⁾によれば, 高齢者が独立行動を行うことのできる可能最低水準は 12-13 ml/kg/分であり, これ以下の場合, 身体を動かすのに他人の助けや器具による補助が必要であると報告している。さらに, 健康で

表 2 被験者の呼吸循環機能

被験者	5 km 速歩 の最高タ イム (分)	体重あたり 最大酸素摂 取量 (ml/kg/分)	最高 心拍数 (拍/分)	最大 換気量 (l/分)
M.O.	42	27.9	165	52.1
J.K.	40	34.0	153	58.7
S.N.	42	32.2	156	69
F.K.	49	30.2	153	82
T.T.	40	36.3	144	71.1
H.N.	45	33.5	177	72
平均値	43.0	32.3	158	67.4
標準偏差 (±)	3.4	2.9	11	10.5

活力ある生活を送るためには, この水準の約 2 倍, すなわち, 25 ml/kg/分が必要であると報告している。本研究における被験者と同年齢の人たちの最高心拍数は, 小林の報告⁷⁾の中の推定式を用いて計算すると, 156 拍/分であり, 本研究における最高心拍数とほぼ同様の値であった。また, 60-69 歳の一般人における体重あたり最大酸素摂取量は, 平均 28.8 ml/kg/分であること, 同年齢のジョギング愛好者の値は 46.2 ml/kg/分であることが報告されている⁸⁾。本研究における 75-81 歳の体重あたり最大酸素摂取量は, 60-69 歳のジョギング愛好者の値に比較すると低いが, 一般人よりも約 12% 高

い値を示した。このようなことから、長期間の速歩トレーニングを行ってきた本研究における高齢者は、健康で活力ある生活を送るために十分な呼吸循環機能を持っているということが明らかとなった。

文部省のスポーツテストおよび壮年体力テストと同様の方法を用いて測定された握力、背筋力および反復横とびの結果(表3)は、75-79歳の一般男性の平均値⁸⁾、すなわち、握力31.8kg、背筋力63.3kgおよび反復横とび23.7回を上回る値を示

したが、垂直とびおよび閉眼片足立ちに関しては、本研究の結果の方が低い値を示した。75歳以上を対象にしたこの種の研究報告は比較的少なく、正確な比較検討は今後の報告を待たなければならない。

左脚伸展筋の最大筋力は、角速度30°/秒から300°/秒まで角速度が増加するにつれて、発揮する筋力が指数関数的に減少する傾向が認められた(表4)。この傾向は若年者を対象にした報告¹⁴⁾と一致するものであるが、各角速度での絶対値は

表3 被験者の一般的な体力テスト結果

被験者	握力(右) (kg)	握力(左) (kg)	背筋力 (kg)	垂直とび (cm)	反復横とび (回)	閉眼片足 立ち(秒)
M. O.	40	39	97	27	/	/
J. K.	31	32	80	28	/	/
S. N.	32	33	93	25	23	4
F. K.	32	28	121	22	21	8
T. T.	33	34	106	26	/	/
H. N.	33	35	93	23	32	3
平均値	33.5	33.5	98.3	25.1	25.3	5.0
標準偏差(±)	3.2	3.6	13.9	2.3	5.8	2.6

注) /部は未測定

表4 左脚伸展筋の最大筋力とその低下率

被験者	等尺性最大 筋力(Nm)	← 等速性最大筋力 (peak torque)(Nm) →				peak torqueの 低下率(%)
	0°/秒	30°/秒	120°/秒	180°/秒	300°/秒	180°/秒
M. O.	57	71	52	31	18	26.3
J. K.	96	88	39	33	29	38.2
S. N.	98	95	66	51	29	44.3
F. K.	48	87	49	33	18	38.8
T. T.	117	102	48	34	16	20.6
H. N.	108	112	78	64	34	63.5
平均値	87.3	92.5	55.3	41.0	24.0	38.7
標準偏差(±)	28.1	14.0	14.1	13.4	7.5	16.7

若年者(20歳, n=9)と比較して, 約44%低い値であった。また, 75-79歳の軽スポーツを行っている高齢者を対象にした報告⁹⁾と本研究の結果を比較した場合でも約30%低い値を示した。

筋線維は速筋と遅筋線維に大きく分類できるが, 速筋線維の占める比率の多い者ほど大きな等速性最大筋力を発揮することができること^{5,14)}, また, この速筋線維は加齢とともに減少することが明らかにされている^{1,10,11)}。さらに, 歩行は有酸素的な運動であり, その際動員される筋線維は主に遅筋線維であることが報告されている^{2,12)}。本研究における高齢者の等速性最大筋力が, 他の報告の値に比較して低い数値を示した原因は, 加齢によ

り速筋線維の占める比率が減少したこと, また, 有酸素運動の1つである速歩トレーニングを長期間続けたことによって, 遅筋線維の主動的役割が増加したことなどによるものと考えられる。

単純反応および選択反応において, 全反応時間が加齢とともに増加する傾向が認められた(図1, 図2)。また, これらの結果から, 反応開始時間が全反応時間の長・短に大きく影響を及ぼすことが明らかになった。反応開始時間は, 目から入った光刺激が脳, 背髄および α motoneurone を通って運動終板に達するまでの時間である。高齢者の反応開始時間は, 若年齢者(18歳, n=7)や60歳代(n=4)の値に比較して, かなり長くなる傾

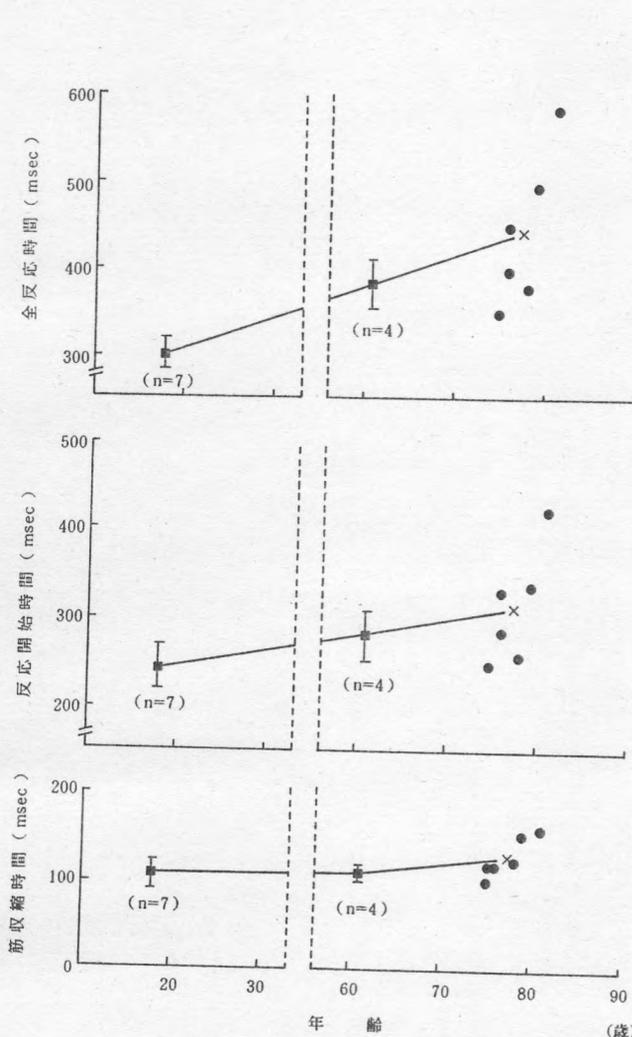


図1. 加齢に伴う単純反応時間の変化
注) ×印: 本研究の被験者の平均値

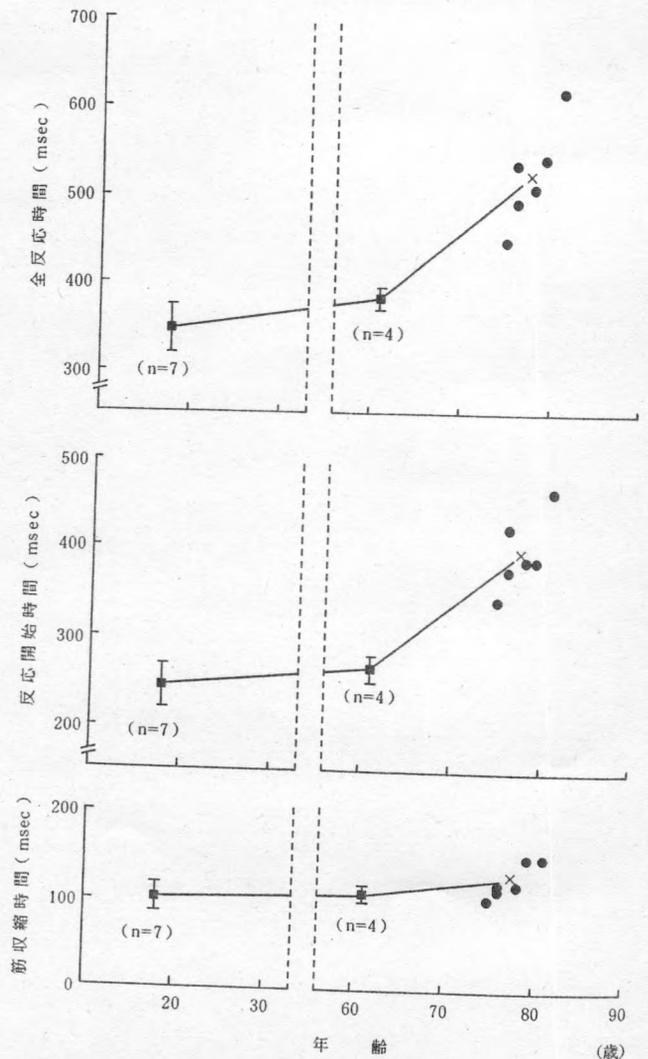


図2. 加齢に伴う選択反応時間の変化
注) ×印: 本研究の被験者(n=6)の平均値

向が認められるが、その傾向は単純反応よりも選択反応において顕著であった(図2)。その傾向の生ずる原因は、大脳において、点灯した光が反応すべき光かどうかを判断するのに要する時間が、加齢とともに延長することによるものであろう。筋収縮時間に関しては、すべての年齢層で単純反応と選択反応との間に大きな差は認められなかった。しかしながら、両反応時間において、加齢に伴い筋収縮時間がやや延長する傾向が認められた(図1, 図2)。筋収縮時間は、筋線維に沿って

伝播する活動電位、T管系への活動電位の入り込み、筋小胞体のCa²⁺の放出、Cross-bridgeの形成などに要する時間であり¹⁰⁾、また、それらの筋収縮要素が腱などの直列弾性要素を引き伸ばすのに要する時間によって決定される³⁾と言われていいる。さらに、速筋線維と遅筋線維では、速筋線維の方が筋収縮速度が速い²⁾。このようなことから、高齢者の筋収縮時間が延長する原因は、加齢とともに速筋線維の機能が低下したことによるものと思われる。

表5 左脚大腿部の各組織断面積

被験者	全断面積 (cm ²)	皮下脂肪 (cm ²)	大腿骨 (cm ²)	全筋肉 (cm ²)	屈筋群 (cm ²)	伸筋群 (cm ²)
M. O.	130	31	4.9	94	40	51
J. K.	140	28	4.9	107	58	46
S. N.	164	41	5.7	117	52	60
F. K.	167	50	5.3	111	46	61
T. T.	152	26	7.1	118	46	66
H. N.	164	41	6.0	117	53	62
平均値	152.8	36.1	5.6	110.6	49.1	57.6
標準偏差(±)	15.0	9.3	0.8	9.2	6.4	7.5

福永と金久⁴⁾は、男子の場合、①体肢の皮下脂肪は11歳から16歳にかけて急激な減少がみられるが、それ以後はほぼ一定の値が保たれること、②大腿骨の断面積も15-18歳までは、年齢に伴い増加するが、それ以後は一定もしくは減少する傾向が認められること、③大腿部の筋断面積も30歳代までは年齢とともに増加、それ以後はほぼ一定の値を示すことを報告している。

本研究における高齢者の皮下脂肪、骨および筋肉の断面積はそれぞれ、36cm²、5.6cm²、110cm²であった(表5)。本研究におけるこれらの値は、福永と金久⁴⁾の報告した50-60歳の非鍛練者の値に比較して、皮下脂肪断面積が約38%、筋断面積が約15%低かった。しかし、骨断面積は約60%高い値を示した。

表6 左脚大腿部における各組織の占める割合

被験者	皮下脂肪 (%)	大腿骨 (%)	筋肉 (%)	屈筋群 (%)	伸筋群 (%)
M. O.	24	3.7	72	33	39
J. K.	20	3.5	76	43	33
S. N.	25	3.5	71	34	37
F. K.	30	3.2	66	29	37
T. T.	17	4.6	77	33	44
H. N.	25	3.7	71	33	38
平均値	23.5	3.7	72.1	34.1	38.0
標準偏差(±)	4.5	0.4	3.9	4.6	3.5

また、福永と金久⁴⁾は、組織量そのものだと、身長あるいは体重といった形態的な要因の影響を受けやすいので、個人あるいは組織間で特定の組織における量的発達の程度を比較するには、組織量そのものより全体に占める比率を問題にする場合が多いと報告している。彼らの報告によると、若年齢男子(平均20.5歳, n=33)の大腿部における各組織の占める比率は、皮下脂肪が約20%, 骨が約3%, 筋肉が約74%である。本研究における高齢者の値もほぼそれらと同様であった(表6)。このようなことから、本研究における高齢者の大腿部の各組織断面積は、長時間の速歩トレーニングによって高齢者としては比較的速い速度(平均117 m/分)で長距離(3-10km)を歩行が可能なように適応した結果であると思われる。

以上の結果から、選択反応時間における反応開始時間の加齢にともなう延長は、主に中枢の老化によるものであり、最大酸素摂取量、筋力、筋持久力および大腿部の各組織の断面積からみた場合、長期間の速歩トレーニングが高齢者として健康で活力ある生活を送るために、十分な身体機能と形態を維持させているものと考えられる。

本研究を遂行するにあたり、被験者として快よく参加して頂いた日本健歩協会の皆様に深く感謝の意を表します。また、超音波法による断面積測定の際、測定補助をして頂いた石田良恵先生(女子美術大学)、測定の際の緊急事態に備えて待機して頂いた渡会公治先生に感謝の意を表します。

文 献

- 1) Aniansson, A. et al: Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: A follow-up study. *Muscle Nerve* 9: 585-591, 1986.
- 2) Burke, R. E., Edgerton, V.R.: Motor units properties and selective involvement in movement, in Wilmore, J.H., Keogh, J.F.(eds): *Exercise and Sports Science Reviews*. New York, Academic press, pp31-81, 1975.
- 3) Cavanagh, P.R., Komi, P.V.: Electromechanical delay in human skeletal muscle under concentric and eccentric contractions, *Eur. J. Appl. Physiol.* 42: 159-163, 1979.
- 4) 福永哲夫, 金久博昭著: 日本人の体肢組成, 朝倉書店, 1990.
- 5) Ivy, J.L. et al: Isokinetic contractile properties of the quadriceps with relation to fiber type, *Eur. J. Appl. Physiol.* 47: 247-255, 1981.
- 6) 北川 薫: 老化と基礎的身体組成, *体育の科学* 37(9): 653-657, 1987.
- 7) 小林寛道: 日本人のエアロビックス・パワー加齢による体力推移とトレーニングの影響, 杏林書院, 1982.
- 8) 小林寛道, 近藤考晴: 高齢者の運動と体力 朝倉書店, 1987.
- 9) 小林寛道: 運動生理学からみる高齢者と運動, *臨床スポーツ医学* 4(12): 1361-1366, 1987.
- 10) Larsson, L.: Morphology and functional characteristics of the ageing skeletal muscle in man, A cross-sectional study, *Acta. Physiol. Scand. Suppl.* 457, 1978.
- 11) Larsson, L.: Histochemical characteristics of human skeletal muscle during ageing, *Acta. physiol. Scand.* 117: 469-471, 1983.
- 12) 宮下充正: トレーニングの科学, 講談社, 1980.
- 13) 長嶺普吉編著: スポーツとエネルギー・栄養, 大修館書店, 1979.
- 14) Ryushi, T., Fukunaga, T.: Influence of subtypes of fast-twitch fibers on isokinetic strength in untrained men, *Int. J. Sports Med.* 7: 250-253,

1986.

- 15) 辻 博昭：高齢者の体力レベル—一般高齢者と施設入所者，*体育の科学* 37(9)：662-666，
1987.