

歩行速度と最大一步幅, ファンクショナル リーチの関連

柳 川 和 優*
磨 井 祥 夫**

The relationship of walking speed to maximum one step length and functional reach

Kazumasa YANAGAWA
Sachio USUI

Abstract

The purpose of this study was to clarify the relationship of walking speed to physical fitness. Eleven healthy young men (19 to 21 years of age) and ten healthy elderly men (69 to 84 years of age) participated as the subjects in this study. The physical fitness element was estimated by measuring the maximum one step length of the lower limb muscle and the functional reach test of the balance function. The following results were obtained:

1. The grip strength, maximum one step length, maximum one step length / lower limb length, functional reach, functional reach / height and one-leg standing with eyes open were all significantly smaller for the elderly;
2. The free walking speed for the elderly was measured to be faster for those more physically fit. However, for the young adults physical fitness had less correlation to free walking speed;
3. The step length of the maximum speed of walking of young adults did not correlate to the maximum one step length. However, for the elderly, there was a correlation to the step length of the maximum speed of walking and the maxi-

* 広島経済大学経済学部教授

** 広島大学総合科学部准教授

mum one step length;

4. The walking ability of the elderly affected the muscle strength of the lower limb more than the upper limb.

Therefore, the results conclude that in looking at the free walking and maximum speed of walking, the elderly had a higher correlation between their walking speed to their lower limb muscle and balance ability while the walking speed of young adults was determined by not only muscle strength and balance ability, but also from other elements.

I. 緒 言

東京都老人総合研究所が517名の地域高齢者を縦断的に調査した結果によれば、高齢者の身体機能、健康度、平均余命などを総合的に最もよく代表する指標は歩行速度であった (Furuna et al. 1998)。すなわち、自由歩行速度が比較的速いほど、身体機能が高い高齢者であることを意味している。一般的に、加齢に伴い自由歩行速度は低下する (山岸と徳田 1975, 徳田 1977, 高見と福井 1987, 伊東ら 1989, Kaneko et al. 1990, 1991, 柳川ら 2002, 2003)。その主な要因は、大腰筋の筋量の減少 (金ら 2000, 金ら 2001), 膝伸展筋力の低下 (伊東ら 1985, 淵本ら 1999, 福永 2000, 金ら 2000), 足底屈・足背屈筋力の低下 (Vandervoort and McComas 1986, 淵本ら 1999, 福永 2000), バランス機能の低下 (伊東ら 1990), および下肢の関節可動域の低下 (James and Parker 1989, 形本ら 2000) などが報告されており、これらが複合的に絡み合ったものであると考えられる。その他の要因として、視覚の感受性の低下 (Sekuler et al. 1980) や歩行を誘発する中枢パターン発生器 (Rossignol 1996, 中澤 1999) を含めた神経-筋系の機能低下 (橋詰 2002) が歩行能力低下に関わっている可能性も否定できない。

そこで本研究では、簡便に下肢筋力を推定できる最大一步幅、および簡便に動的バランス機能を推定できるファンクショナルリーチ (Functional Reach; FR) を筋力とバランス機能の体力要素として測定し、歩行速度と体力の関連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、健康な若年者男子 (19~21歳) 11名、および高齢者男子 (69~84歳) 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; 20.4 ± 0.7 歳

(mean \pm SD, 以下同様), 75.7 \pm 4.9歳, 身長; 170.3 \pm 5.0 cm, 160.8 \pm 6.2 cm, 下肢長; 83.6 \pm 3.5 cm, 83.2 \pm 3.4 cm, 体重; 61.5 \pm 4.9 kg, 57.6 \pm 7.9 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。

B. 実験手順

体育館内に約 18 m の歩行路を設置し, 歩行路上での歩行に十分慣れた後に, 裸足による自由歩行を 5 回, 最大速度歩行を 2 回行った。歩行は両足をそろえた静止姿勢から開始し, 19 歩目で両足をそろえて停止するよう指示した。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で速度で」, 最大速度歩行は「できるだけ速く」とした。ビデオ撮影 (Panasonic 製: NV-GS500) は, 被検者の踵部位 (左右の踵骨突起) に反射マーカを貼り付け, 右側方より毎秒 60 コマ, シャッター速度 1/250 秒で行った。最大一歩幅, 握力, FR は, 左右各 1 回ずつ測定した。開眼片足立ちは, 最大 2 分間とした。

1 歩ごとのステップ時間と距離を測定し, 1 歩ごとの歩行速度, ストライド長, 歩行周期時間を画像解析により算出した。歩行には左右差が認められるため, 歩行速度はストライド長をストライド時間で除して算出した。各被検者が行った自由歩行 5 試行の平均値を自由歩行とし, 最大速度歩行 2 回のうち速度の速かった試行を最大速度歩行とした。なお, 確実に定常歩行であると考えられる歩行開始後 7 歩目から 12 歩目の歩行を解析に用いた。

C. 統計処理

2 群間の比較には, 対応のない t 検定を用いた。有意水準の判定は, 危険率 5 % 未満とした。統計解析は, StatView 5.0 for Windows (ヒューリンクス社) で行った。

III. 結 果

A. 若年者と高齢者の歩行変数と体力の比較

表 1 は, 若年者と高齢者の歩行変数と体力の比較を示したものである。

若年者および高齢者の自由歩行, 最大速度歩行の速度は, それぞれ次のとおりであった。若年者は, 84.7 \pm 8.9 m/min, 145.6 \pm 20.5 m/min, 高齢者は, 82.1 \pm 11.4 m/min, 113.4 \pm 17.1 m/min であった。自由歩行には両群間に有意差は認められなかったが, 最大速度歩行は, 高齢者の方が有意に遅かった。

握力, 最大一歩幅, 最大一歩幅/下肢長, FR, FR/身長, 開眼片足立ちは, すべて高齢者の方が有意に小さかった。

表1 若年者と高齢者の歩行変数と体力の比較

変数	若年者 (n = 11)	高齢者 (n = 10)	有意水準
自由歩行			
歩行速度 (m/min)	84.7 (± 8.89)	82.1 (± 11.40)	NS
ステップ長 (m)	0.72 (± 0.037)	0.70 (± 0.082)	NS
ステップ長/下肢長	0.86 (± 0.056)	0.84 (± 0.080)	NS
歩調 (steps/min)	117.3 (± 10.45)	116.7 (± 5.08)	NS
最大速度歩行			
歩行速度 (m/min)	145.6 (± 20.47)	113.4 (± 17.11)	p<0.01
ステップ長 (m)	0.94 (± 0.086)	0.82 (± 0.079)	p<0.01
ステップ長/下肢長	1.12 (± 0.101)	0.98 (± 0.075)	p<0.01
歩調 (steps/min)	157.1 (± 20.23)	138.0 (± 12.44)	p<0.05
握力 (右 kg)	48.2 (± 5.51)	32.2 (± 4.86)	p<0.01
握力 (左 kg)	40.4 (± 5.82)	30.2 (± 7.78)	p<0.01
握力 (平均 kg)	44.3 (± 5.30)	31.2 (± 6.20)	p<0.01
最大一歩幅 (右 cm)	138.6 (± 10.52)	108.3 (± 12.02)	p<0.01
最大一歩幅 (左 cm)	139.3 (± 11.45)	109.3 (± 13.16)	p<0.01
最大一歩幅 (平均 cm)	138.9 (± 10.65)	108.8 (± 12.37)	p<0.01
最大一歩幅/下肢長 (右)	1.66 (± 0.11)	1.30 (± 0.13)	p<0.01
最大一歩幅/下肢長 (左)	1.67 (± 0.12)	1.31 (± 0.15)	p<0.01
最大一歩幅/下肢長 (平均)	1.66 (± 0.11)	1.31 (± 0.14)	p<0.01
ファンクショナルリーチ (右 cm)	45.0 (± 7.69)	30.0 (± 6.07)	p<0.01
ファンクショナルリーチ (左 cm)	46.0 (± 6.55)	29.2 (± 6.32)	p<0.01
ファンクショナルリーチ (平均 cm)	45.5 (± 6.60)	29.6 (± 5.93)	p<0.01
ファンクショナルリーチ/身長 (右)	0.26 (± 0.043)	0.19 (± 0.035)	p<0.01
ファンクショナルリーチ/身長 (左)	0.27 (± 0.035)	0.18 (± 0.035)	p<0.01
ファンクショナルリーチ/身長 (平均)	0.27 (± 0.036)	0.18 (± 0.033)	p<0.01
開眼片足立ち (s)	120.0 (± 0.00)	29.8 (± 29.12)	p<0.01

B. 歩行能力と体力の関連

各変数間の相関係数行列を表2に示した。高齢者は、自由歩行と最大速度歩行の速度、ステップ長、歩調において有意な相関 ($p<0.01$) が認められた。一方、若年者はそれぞれ有意な相関は認められなかった。また、高齢者は、最大一歩幅とステップ長 (自由歩行) の間 ($p<0.05$)、FR と速度 (自由歩行) の間 ($p<0.05$) においてそれぞれ有意な相関が認められた。若年者は、FR と速度 (最大速度歩行) の間

表2 各変数間の相関係数行列

A (高齢者)

	自由歩行	自歩幅	自歩調	最大歩行	最歩幅	最歩調	握力	最大一歩	FR	開眼片足
自由歩行		0.87**	0.66*	0.79**	0.83**	0.31	0.14	0.53	0.64*	0.41
自歩幅	0.87**		0.27	0.59	0.87**	0.10	-0.02	0.69*	0.45	0.36
自歩調	0.66*	0.27		0.84**	0.48	0.76**	0.25	0.15	0.46	0.41
最大歩行	0.79**	0.59	0.84**		0.80**	0.79**	0.08	0.52	0.54	0.52
最歩幅	0.83**	0.87**	0.48	0.80**		0.34	0.05	0.61	0.57	0.63
最歩調	0.31	0.10	0.76**	0.79**	0.34		0.01	0.32	0.13	0.25
握力	0.14	-0.02	0.25	0.08	0.05	0.01		-0.18	0.08	-0.28
最大一歩	0.53	0.69*	0.15	0.52	0.61	0.32	-0.18		0.37	0.27
FR	0.64*	0.45	0.46	0.54	0.57	0.13	0.08	0.37		0.63
開眼片足	0.41	0.36	0.41	0.52	0.63	0.25	-0.28	0.27	0.63	

B (若年者)

	自由歩行	自歩幅	自歩調	最大歩行	最歩幅	最歩調	握力	最大一歩	FR	開眼片足
自由歩行		0.57	0.88**	-0.38	-0.75**	0.26	-0.27	0.37	-0.44	
自歩幅	0.57		0.23	-0.44	-0.07	-0.20	-0.06	0.23	-0.24	
自歩調	0.88**	0.23		-0.14	-0.81**	0.58	-0.38	0.32	-0.41	
最大歩行	-0.38	-0.44	-0.14		0.51	0.68*	0.30	0.36	0.60*	
最歩幅	-0.75**	-0.07	-0.81**	0.51		-0.20	0.37	-0.03	0.51	
最歩調	0.26	-0.20	0.58	0.68*	-0.20		-0.07	0.46	0.21	
握力	-0.27	-0.06	-0.38	0.30	0.37	-0.07		-0.19	0.36	
最大一歩	0.37	0.23	0.32	0.36	-0.03	0.46	-0.19		0.18	
FR	-0.44	-0.24	-0.41	0.60*	0.51	0.21	0.36	0.18		
開眼片足										

** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

自由歩行：自由歩行の速度 (m/min)

自歩幅：自由歩行のステップ長／下肢長

自歩調：自由歩行の歩調 (steps/min)

最大歩行：最大速度歩行の速度 (m/min)

最歩幅：最大速度歩行のステップ長／下肢長

最歩調：最大速度歩行の歩調 (steps/min)

握力：握力の左右平均 (kg)

最大一歩：最大一歩幅／下肢長 (左右の平均)

FR：ファンクショナルリーチ／身長 (左右の平均)

開眼片足：開眼片足立ち (s)

(p<0.05) に有意な相関が認められた。

各変数間の相関係数行列において，特徴的な点をグラフで示した。

自由歩行と最大速度歩行の速度とステップ長において，若年者と高齢者で異なる傾向が認められた (図1のA, B)。また，最大一歩幅／下肢長とステップ長／下肢

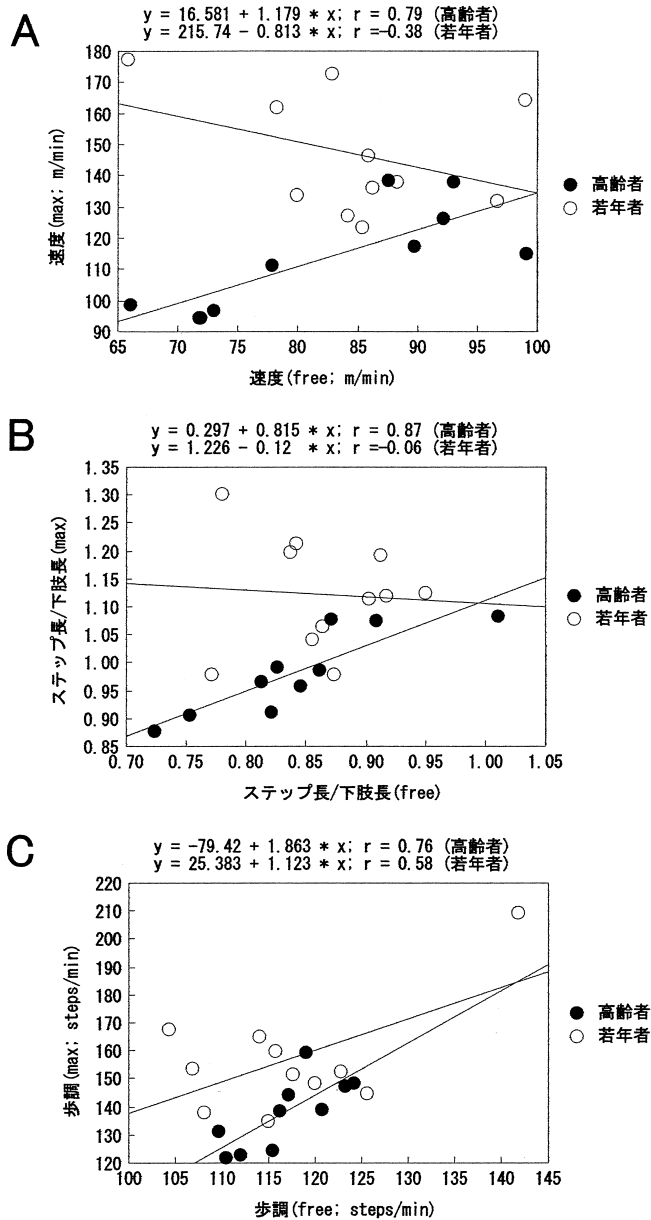


図1 自由歩行と最大速度歩行の関連
(A:速度, B:ステップ長, C:歩調)
free:自由歩行, max:最大速度歩行

長(最大速度歩行)の関係において、若年者と高齢者で異なる傾向が認められた(図2)。さらに、自由歩行速度とFR/身長の関係において、若年者と高齢者で異なる傾向が認められた(図3のA)。

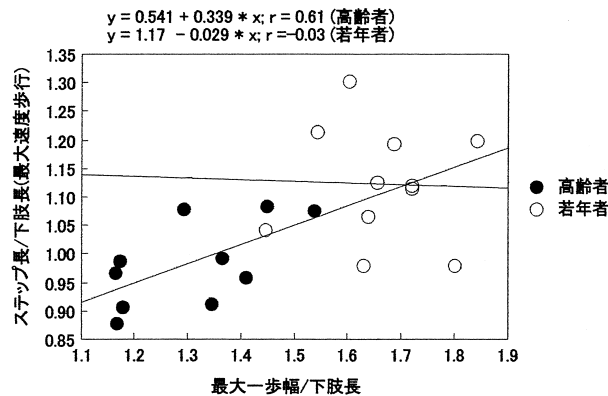


図2 最大一歩幅とステップ長（最大速度歩行）の関連

IV. 考 察

先行研究によると，自由歩行速度は若年者よりも高齢者の方が有意に遅い（山岸と徳田 1975，徳田 1977，高見と福井 1987，伊東ら 1989，Kaneko et al. 1990，1991，柳川ら 2002，2003）。本研究では，高齢者の自由歩行速度は若年者よりも若干遅いが，有意差は認められなかった。これは，「速くも遅くもない普通で」という指示にもかかわらず，それぞれ他の被検者の健脚ぶりを意識して張り切り，普段の自由歩行よりもやや速い速度で歩いたためではないかと考えられる。自由歩行時のステップ長と歩調に関しても，有意差は認められなかった。ただ，高齢者の歩調は若年者とほぼ同様であるが，高齢者のステップ長／下肢長がやや小さい傾向にあった。その理由は，次のように考えられる。若年者は歩行速度の増減をステップ長と歩調の両方で調節するのに対し，高齢者は主に歩調で調節することが知られている（柳川ら 2003）。本研究における高齢者の自由歩行はやや速歩行であり，若年者と比較するとステップ長よりも歩調を上げて歩いた結果であると考えられる。

一般的に，加齢に伴い自由歩行速度は低下する。その主要因は，筋力の低下（伊東ら 1985，Vandervoort and McComas 1986，淵本ら 1999，福永 2000，金ら 2000，2001），バランス機能の低下（伊東ら 1990），および下肢の関節可動域の低下（James and Parker 1989，形本ら 2000）などに因るものと考えられている。

そこで本研究では，簡便に測定可能な筋力テスト，バランス機能テストの値と歩行速度の関連を検討した。筋力テストとしては上肢筋力の代表として握力（文部省 2000），下肢筋力の代表として最大一歩幅（岡田ら 2001）を採用し，バランス機能テストとしては動的バランス能力の指標として FR（Duncan et al. 1990，1992），

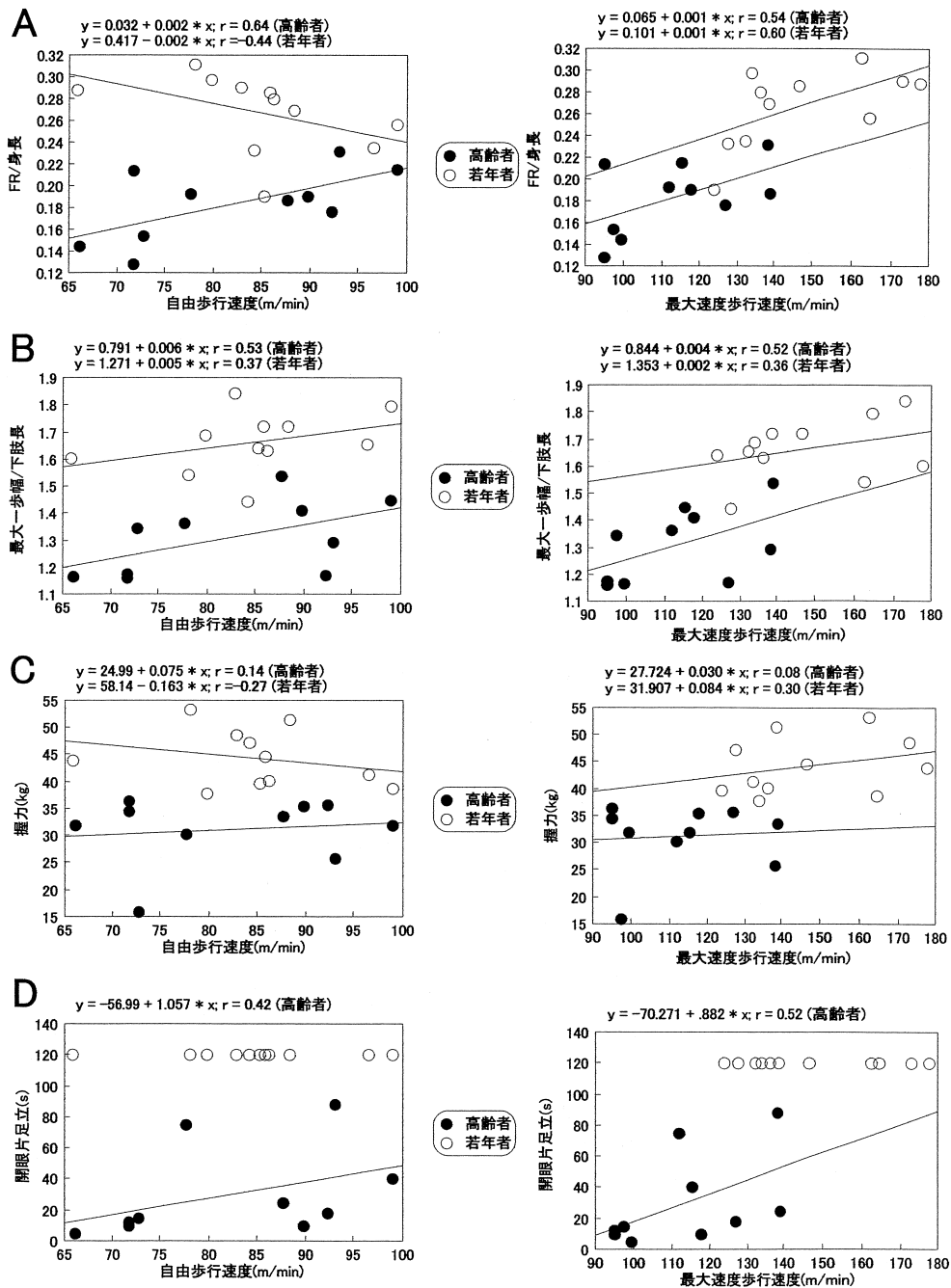


図3 歩行速度と体力指標の関連

静的バランス能力の指標として開眼片足立（文部省 2000）を採用した。

本研究で得られた握力，最大一歩幅，最大一歩幅／下肢長，FR，FR／身長，開眼片足立ちは，すべて高齢者の方が有意に小さかった。このことにより，先行研究（木村 1991，永井ら 2006）と同様，高齢者の筋力とバランス機能は若年者に比べて低いことがわかった。

本被検者の平均年齢は，若年者20.4歳，高齢者75.7歳であり，若年者に対する高齢者の割合は，握力（ $31.2/44.3 \times 100 = 70.4\%$ ），最大一歩幅／下肢長（ $1.31/1.66 \times 100 = 78.9\%$ ），FR／身長（ $0.18/0.27 \times 100 = 66.7\%$ ），開眼片足立ち（ $29.8/120 \times 100 = 24.8\%$ 以下）であった。木村（1991）によれば，握力は60歳代前半においてピーク時のおよそ70%，80歳代で50%であり，垂直跳びは60歳代前半においてピーク時のおよそ50%，80歳代で20%台であった。最も低下の著しかったのは開眼片足立ちで，60歳代前半にすでにピーク時の20%，80歳代後半で5.9%であったと報告している。この報告と比較すると，本研究の高齢被検者の体力は，同年代の男子と比較してやや高い値であると推察される。

以下，各変数間の相関係数行列において特徴的な点を考察していく。

第一に，自由歩行と最大速度歩行の速度とステップ長において，若年者と高齢者と異なる傾向が認められた（図1のA，B）。また，自由歩行速度とFRの関係が若年者と高齢者と異なる傾向が認められた（図3のA）。これらのことにより，若年者と高齢者では自由歩行と最大速度歩行の意味合いが異なるのではないかと考えられる。高齢者の自由歩行速度は，体力のあるものは速いし，体力のないものは遅い。つまり，体力に応じた速度になっている。一方，若年者では，体力があってもなくても自由歩行速度はあまり変わらない。表現を変えるならば，体力に余裕がある若年者は，余力を残した自由歩行と全力の最大速度歩行とでストラテジーを変え，体力の低下した高齢者は，余力の少ない自由歩行と全力の最大速度歩行を行っているのではないかと推察される（図4）。

第二に，高齢者においてのみ，最大一歩幅／下肢長と最大速度歩行におけるステップ長／下肢長の間はかなり高い相関が認められた（図2）。一般的に，最大速度歩行はステップ長，歩調共に最大の歩行と考えられる。最大ステップ長の延長の動作である最大一歩幅は，高齢者においてはステップ長と比較的高い相関が認められたが，若年者に同様の相関が認められなかった。

若年者は，最大一歩幅が大きくても最大速度歩行のステップ長に反映されていない。一方，高齢者は，最大一歩幅に応じた最大速度歩行のステップ長である。最大一歩幅は，高齢者の移動能力を定量化するテストとして開発されたもの（武藤ら 2002）で

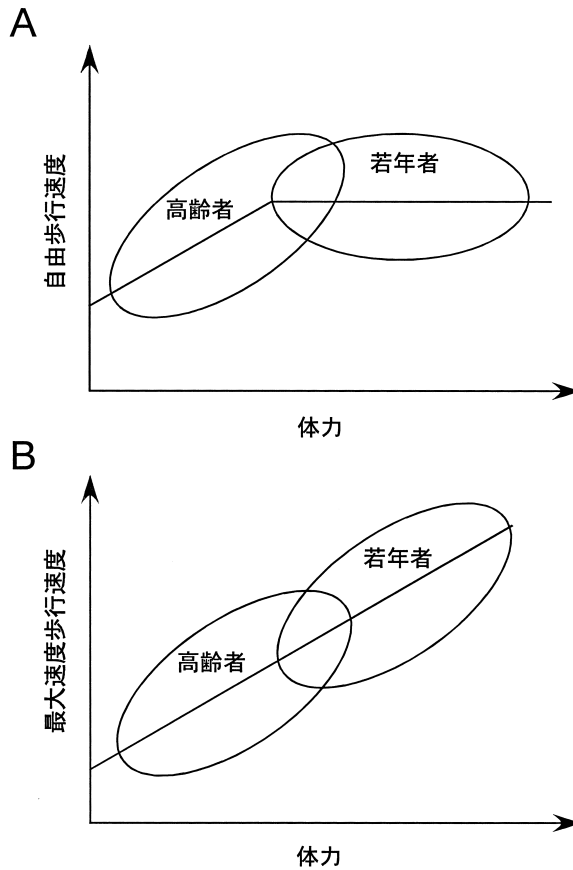


図4 体力と歩行速度の関係（模式図）

あり、最大一步幅により、若年者の移動能力を定量化はできないことが示唆された。

第三に、特に高齢者において、最大一步幅は歩行速度との相関が高く、握力は歩行速度との相関が認められなかった（図3のB、C）。このことにより、高齢者の歩行能力は上肢の筋力よりも下肢の筋力に影響を受けることが示唆された。

以上のことにより、自由歩行と最大速度歩行を合わせて考察すると次のようになる。高齢者の場合、下肢筋力やバランス能力と歩行速度の相関は若年者よりも高く、体力が歩行能力を強く規定している。一方、若年者の場合、歩行速度は筋力やバランス能力のみならず、視覚の感受性や神経系の機能など、それ以外の要素により規定されるのではないかと考えられた。

V. 総括

本研究では、健常な若年者男子11名、および高齢者男子10名を被検者とし、簡便

に下肢筋力を推定できる最大一歩幅，および簡便に動的バランス機能を推定できるFRを筋力とバランス機能の体力要素として測定し，歩行速度と体力の関連を明らかにすることを目的とした。その結果，以下のことが明らかとなった。

1) 握力，最大一歩幅，最大一歩幅／下肢長，FR，FR／身長，開眼片足立ちは，すべて高齢者の方が有意に小さい。

2) 高齢者の自由歩行速度は，体力のあるものは速いし，体力のないものは遅い。つまり，体力に応じた速度になっている。一方，若年者では，体力があってもなくても自由歩行速度はあまり変わらない。

3) 若年者は，最大一歩幅が大きくても最大速度歩行のステップ長に反映されていない。一方，高齢者は，最大一歩幅に応じた最大速度歩行のステップ長である。

4) 高齢者の歩行能力は上肢の筋力よりも下肢の筋力に影響を受ける。

以上のことにより，自由歩行と最大速度歩行を合わせて考察すると，高齢者の下肢筋力やバランス能力と歩行速度の相関は若年者よりも高く，若年者の歩行速度は筋力やバランス能力のみならず，それ以外の要素により規定されるのではないかと考えられた。

[本稿は，広島経済大学，平成20年度特定個人研究費による研究成果の一部である。]

文 献

- Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, Studenski S (1990): Functional reach, a new clinical measure of balance. *J Gerontol* 45 (VI): 192-197
- Duncan PW, Studenski S, Chandler J, Prescott B (1992): Functional reach: predictive validity in a sample of elderly male veterans. *J Gerontol* 47: M93-98
- 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) 一膝伸展，足底屈，足背屈の筋力と歩行能力の関係一. *体育科学* 28: 108-115
- 福永哲夫 (2000)：中高年者の筋量と筋力. *体育の科学* 50 (11): 864-870
- Furuna T, Nagasaki H, Nishizawa S, 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
- 橋詰 謙 (2002)：筋と神経の老化. *体育の科学* 52(8): 608-611
- 伊東 元，橋詰 謙，斉藤 宏，中村隆一 (1985)：大腿四頭筋機能と歩行能力の関係. *リハビリテーション医学* 22: 164-165
- 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
- 伊東 元，長崎 浩，丸山仁司，橋詰 謙，中村隆一 (1990)：健常老年者における最大歩行速度低下の決定因一重心動揺と歩行率の関連一. *理学療法学* 17(2): 123-125
- James B and Parker AW (1989): Active and passive mobility of lower limb joints in

- elderly men and women. *Am J Phys Med Rehab* 68(4): 162–167
- 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
- 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
- 形本静夫, 青木純一郎, 石原啓次, 畑中恵子 (2000): 柔軟性が高齢者における歩行の経済性に及ぼす影響. *体育科学* 29: 83–90
- 木村みさか (1991): 高齢者への運動負荷と体力の加齢変化および運動習慣. *Jpn J Sports Sci* 10(11): 722–728
- 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
- 金 俊東, 大島利夫, 馬場紫乃, 安田俊広, 足立和隆, 勝田 茂, 岡田守彦, 久野譜也 (2001): 長期間トレーニングを継続している高齢アスリートの筋量と歩行能力の特徴. *体力科学* 50(1): 149–158
- 文部省 (2000): 新体力テスト 有意義な活用のために. ぎょうせい. 東京
- 武藤芳照, 上野勝則, 黒柳律雄, 太田美穂, 編 (2002): 健脚度の測定・評価, 転倒予防教室 第2版. 日本医事新報社. 東京. pp. 89–97
- 永井隆士, 阪本桂造, 妻鳥毅史, 青山キヨミ (2006): 転倒予防に向けて一開眼片足起立時間の全国調査一. *東日本整災誌* 18(3): 366
- 中澤公孝 (1999): ヒト脊髄の歩行発生能力とその可塑性. *バイオメカニクス研究* 3(3): 195–200
- 岡田真平, 上岡洋晴, 小林佳澄, 渡邊恵美子, 翠川洋子 (2001): 農村在住高齢者の移動能力・バランス能力とその関連事項に関する考察—北御牧村研究一. *身体教育医学研究* 2(1): 13–20
- Rossignol S (1996): Neural control of stereotypic limb movements, In *Handbook of Physiology, Sect2, Exercise, regulation and integration of multiple systems*. Rowell LB and Shepherd JT, eds, 173–216, Oxford University Press
- Sekuler R, Hutman L, Owsley C (1980): Human aging and spatial vision. *Science* 209: 1255–1256
- 高見政利, 福井罔彦 (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
- 徳田哲男 (1977): 老人の歩行. *人間工学* 13(5): 219–222
- Vandervoort AA and McComas J (1986): Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J Appl Physiol*, 61(1): 361–367
- 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
- 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(1): 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—. *バイオメカニクス研究* 7(3): 179–192