

中高年齢女性の100 m走競技における疾走速度遞減率

田中 秀一¹⁾ 印牧 司人²⁾ 奥村 浩司³⁾

1) 福井大学教育地域科学部 2) 大野市立上庄小学校 3) 福井大学大学院教育学研究科

Deceleration rate of velocity in 100-m races in middle-aged and elderly female runners.

Shuichi TANAKA¹⁾ Morito KANEMAKI²⁾ Koji OKUMURA³⁾

1) Faculty of Education and Regional Studies, Fukui University

2) Kamisho Elementary School, Ohno, Fukui Prefecture

3) Graduate School of Education, Fukui University

Abstract

This study was undertaken to clarify the deceleration rate of velocity in female runners during the final 90-100m in 100-m races. The subjects were 59 middle-aged and elderly female master and recreational runners aged 35 to 80. They were divided into 8 classes (W35, W40, W45, W50, W55, W60, W65 and W70+) based on the ages of the runners. The running performances during the peak velocity phase (30-60m at 10-m intervals) and the final velocity phase (90-100m) were recorded with digital video cameras. Velocity, stride length (SL), stride frequency (SF), contact time (CT) and flight time (FT) during both peak velocity and final velocity phases were measured.

The results were as follows:

- 1) Velocity during the final velocity phase decreased significantly from the peak velocity phase in all classes and the mean deceleration rate of velocity ranged from 8.6% to 18.5%.
- 2) SL during the final velocity phase did not differ from during the peak velocity phase (except W40 class), whereas SF during the final velocity phase decreased from the peak phase significantly in all classes. The rate of reduction in stride frequency was almost equal to the deceleration rate of velocity.
- 3) The relationships between the individual values of deceleration rates and the relative values of the SL and SF were negatively significant.
- 4) Stride time (CT + FT) during the final velocity phase increased from the peak velocity phase significantly in all classes. Both CT and FT also increased significantly in all classes, except FT in W55 and W40 classes.

The results of this study indicated that the deceleration of velocity in the final velocity phase in 100-m races was induced by two factors. One factor is the reduction of both SL and SF. Another one is the rate of reduction of SF being greater than the increased rate of SL. It is suggested that improving the endurance of the extension muscles of hip joints could make it possible to prevent deceleration of the velocity during the final phase.

I. はじめに

運動パフォーマンスは、加齢とともに低下することがよく知られている。その特徴は、多くの異なった筋群が共同して作用することを必要とす

る、全身運動の速度と力を生み出す能力の低下である。神経筋系の能力に大きく依存する複雑な全身運動である短距離走は、筋群が伸張と短縮を繰り返して爆発的な力を発生させる (Mero ら, 1981 ; Mero and Komi, 1986)。中高年齢者を対象にした短

距離走に関する研究はいくつか報告（有川，1992；Hamilton，1993；Korhonenら，2003；田中と印牧，2004；2005）されており、短距離走パフォーマンスも加齢とともに低下することが明らかにされている。Hamilton(1993) はマスターズ競技者を対象にして、100 mと200 m走の最高速度が加齢とともに低下する原因は、主として歩幅が減少するためであると報告した。さらに、エリートの男女マスターズ競技者を対象にしたKorhonenら(2003)、男女の中高齢者を対象にした田中と印牧(2004，2005)は、いずれも100 m走における中間疾走局面の最高速度が加齢とともに低下し、疾走速度を決定する歩幅と歩数頻度について、加齢とともに歩幅は減少したが歩数頻度はほとんど変化しなかったことを報告している。

100 m走記録と最高速度は高い正の相関関係があり、100 m走記録を向上させるためには最高速度を高めることが重要であると、一流選手（阿江ら，1994；大田と有川，1998；小林，2001；杉田と松尾，2001）、小学5・6年生の男女児童（加藤ら，2002）および男女の中高齢者（田中と印牧，2004；2005）について明らかにされている。さらに、最高速度を発揮した後はゴールまで最高速度の高い割合を維持する、すなわち速度逓減率を低くすることも重要であると指摘されている（阿江ら，1994）。中高齢者を対象にした速度逓減率に関しては、Korhonenら(2003)によつてのみ報告（男性では5～10%、女性では6～18%）されているようであり、加齢とともに速度逓減率は大きくなった。本研究は、マスターズ選手を含むスポーツを愛好している中高齢女性を対象にして、100 m走競技の速度逓減率を明らかにすることにより、記録の維持と向上に役立つ知見を得ようとした。

II. 方法

1. 対象

対象にしたのは、第17回全国スポーツ・レクリエーション祭マスターズ陸上競技(2004年10月)および、第17回福井マスターズ陸上競技選手権大会(2005年6月)の100 m走に出場した合計59名の女性選手（韓国人選手2名を含む）であった。参加年齢規定は、スポーツ・レクリエーション祭（4月1日の満年齢）とマスターズ陸上競技選手権大会（大会当日の満年齢）で異なるが、出場選手の年齢は分析資料に用いた競技会の年齢規定に基づく年齢とした。選手の年齢を日本マスターズ陸上競技連合

Table 1 Subjects of different age Classes(mean ± SD).

Class	N	Height (m)	100m Running Time (sec)
W35 (35-39 yr)	6	1.60±0.05	15.48±1.44
W40 (40-44 yr)	13	1.61±0.05	14.72±0.95
W45 (45-49 yr)	11	1.60±0.04	15.38±1.20
W50 (50-54 yr)	8	1.59±0.05	15.84±1.02
W55 (55-59 yr)	8	1.54±0.05	16.94±0.84
W60 (60-64 yr)	5	1.57±0.06	17.17±1.02
W65 (65-69 yr)	6	1.51±0.05	17.31±1.49
W70+(70-80 yr)	2	1.47±0.06	21.74±2.30

の年齢区分にしたがって、5歳毎に35～39歳をW35、40～44歳をW40のごとく、W45、W50、W55、W60、W65およびW70+の8クラスに分けた。表1に各クラスの数、身長および100 m走記録の平均値±SDを示した。

2. VTR撮影

通過タイムを計測するために、走路内側の縁石と8レーンの外側(30 m、40 m、50 m、60 mおよび90 m)にマークを貼り付け、走路両側のマークを結ぶ延長線上およびゴール地点の観客席から、3脚に固定した6台のデジタルビデオカメラで撮影録画(30フィールド/sec)した。ビデオカメラには、映像を同期させるためにLED型光呈示器(PH-106；ディケイエイチ)を取り付けた。

3. 算出したデータ

録画したビデオテープをパソコンに取り込み60フィールド/sec(Dual Stream；ディケイエイチ)で再生して、各10 m区間の所要時間およびその区間における4歩に要した時間と4歩の接地時間を読み取った。これらの時間を用いて、以下のデータを算出した。各区間の疾走速度のうち最も高い疾走速度を最高速度、90-100 m区間の疾走速度を終末速度として、それぞれの区間における速度、歩数および歩幅であった。速度逓減率は中野ら(1991)、阿江ら(1994)および持田ら(1999)にしたがって算出した。身長は選手の承諾を得て、選手招集所にて計測した。

- 各区間の疾走速度 (m/sec) = 10 m ÷ 10 m区間の所要時間
- 歩数 (歩/10 m) = 10 m区間の所要時間 ÷ 4歩に要した時間 × 4歩
- 歩数頻度 (歩/sec) = 歩数 ÷ 10 m区間の所要時間
- 歩幅 (m/歩) = 10 m ÷ 歩数

- ・滞空時間 (sec) = 1 歩時間 - 接地時間
- ・速度逡減率 (%) = (最高速度 - 終末速度) ÷ 最高速度 × 100
- ・歩幅変化 (%) = 最高速度区間の歩幅 ÷ 終末速度区間の歩幅 × 100
- ・歩数頻度変化 (%) = 最高速度区間の歩数頻度 ÷ 終末速度区間の歩数頻度 × 100

4. 統計処理

各項目に関する 2 区間の比較は、対応のある t - テストを用いた。W 70+ は対象者が 2 名のために、比較を行えなかった。相関関係はピアソンの相関係数を算出した。有意水準はいずれも 5 % 以下とした。

III. 結果

100 m 走記録 (表 1) は、W 35 の 15.48 ± 1.44sec と W 40 の 14.72 ± 0.95sec から W 70+ の 21.74 ± 2.30sec の範囲に及んだ。最高速度 (表 2) は、最も速い W 40 の 7.74 ± 0.44 m / sec から W 70+ の

5.34 ± 0.98 m / sec まで低下した。終末速度とした 90 - 100 m 区間の速度も、W 35 の 6.59 ± 0.82 m / sec と W 40 の 7.08 ± 0.52 m / sec から W 70+ の 4.36 ± 0.90 m / sec まで低下した。いずれのクラスも終末速度は最高速度よりも有意に逡減 (表 2) し、速度逡減率は W 35 の 12.1 ± 3.1% と W 40 の 8.6 ± 2.1% から W 70+ の 18.5 ± 2.0% であった。100 m 走記録と速度逡減率は有意な正の相関関係 (r=0.658, p<0.01) があり、速度逡減率が大きくなるにしたがって 100 m 走記録は低下した (図 1)。速度逡減率と年齢は、有意な正の相関関係 (r=0.372, p<0.01) があつた。

歩幅を最高速度区間と終末速度区間で比較すると、終末速度区間の歩幅が有意に大きくなった W 40 を除いて、他の 6 つのクラスはいずれも有意な差はなかつた (表 2)。歩数頻度については W 35 から W 65 のすべてのクラスが、最高速度区間よりも終末速度区間は有意に減少し、その減少率は W 45 の 10.2 ± 3.6% から W 65 の 13.4 ± 3.4% であつた (表 2)。終末速度区間における歩幅と歩数頻度を、

Table 2 Comparison of selected performance parameters of the 100-m run (mean ± SD).

	Age Group							
	W35	W40	W45	W50	W55	W60	W65	W70+
Velocity (m/sec)								
Peak phase	7.48 ± 0.69	7.74 ± 0.44	7.46 ± 0.48	7.28 ± 0.41	6.68 ± 0.32	6.72 ± 0.44	6.68 ± 0.49	5.34 ± 0.98
Final phase	6.59 ± 0.82	7.08 ± 0.52	6.69 ± 0.63	6.36 ± 0.50	6.00 ± 0.57	5.95 ± 0.42	5.78 ± 0.59	4.36 ± 0.90
Δ%	12.1 ± 3.1	8.6 ± 2.1	10.5 ± 3.5	12.7 ± 3.4	10.3 ± 5.1	11.4 ± 2.0	13.6 ± 3.7	18.5 ± 2.0
PV vs FV	※※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Stride length (m/stride)								
Peak phase	1.84 ± 0.14	1.83 ± 0.07	1.77 ± 0.12	1.72 ± 0.10	1.61 ± 0.09	1.56 ± 0.11	1.54 ± 0.12	1.27 ± 0.20
Final phase	1.83 ± 0.13	1.87 ± 0.09	1.77 ± 0.15	1.70 ± 0.08	1.64 ± 0.10	1.57 ± 0.11	1.53 ± 0.13	1.18 ± 0.18
SLP vs SLF	n.s.	※	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—
Stride frequency (strides/sec)								
Peak phase	4.06 ± 0.25	4.23 ± 0.18	4.23 ± 0.21	4.24 ± 0.22	4.14 ± 0.14	4.30 ± 0.10	4.35 ± 0.17	4.21 ± 0.10
Final phase	3.60 ± 0.25	3.78 ± 0.19	3.80 ± 0.25	3.74 ± 0.24	3.65 ± 0.29	3.80 ± 0.17	3.77 ± 0.21	3.67 ± 0.20
Δ%	11.3 ± 3.6	10.6 ± 2.8	10.2 ± 3.6	11.7 ± 2.6	11.8 ± 6.6	11.6 ± 3.2	13.4 ± 3.4	12.9 ± 2.5
SFP vs SFF	※※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Stride time (sec)								
Peak phase	0.247 ± 0.016	0.237 ± 0.011	0.237 ± 0.011	0.237 ± 0.012	0.242 ± 0.008	0.233 ± 0.005	0.230 ± 0.009	0.237 ± 0.006
Final phase	0.279 ± 0.020	0.265 ± 0.014	0.264 ± 0.017	0.268 ± 0.017	0.276 ± 0.023	0.263 ± 0.011	0.266 ± 0.015	0.273 ± 0.015
STP vs STF	※※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Contact time (sec)								
Peak phase	0.125 ± 0.009	0.120 ± 0.008	0.122 ± 0.010	0.120 ± 0.008	0.127 ± 0.011	0.132 ± 0.011	0.122 ± 0.016	0.156 ± 0.033
Final phase	0.139 ± 0.014	0.132 ± 0.013	0.133 ± 0.009	0.141 ± 0.012	0.153 ± 0.017	0.148 ± 0.007	0.147 ± 0.019	0.188 ± 0.036
CTP vs CTF	※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Flight time (sec)								
Peak phase	0.122 ± 0.008	0.116 ± 0.010	0.115 ± 0.008	0.117 ± 0.011	0.115 ± 0.012	0.101 ± 0.008	0.108 ± 0.011	0.081 ± 0.027
Final phase	0.140 ± 0.012	0.133 ± 0.010	0.132 ± 0.017	0.128 ± 0.017	0.122 ± 0.018	0.116 ± 0.007	0.119 ± 0.017	0.085 ± 0.021
FTP vs FTF	※※	※※	※※	※	n.s.	※	n.s.	—

PV: peak velocity, FV: final velocity, SLP: stride length during peak phase, SLF: stride length during final phase, SFP: stride frequency during peak phase, SFF: stride frequency during final phase, STP: stride time during peak phase, STF: stride time during final phase, CTP: contact time during peak phase, CTF: contact time during final phase, FTP: flight time during peak phase, FTF: flight time during final phase.
Significant difference using a paired t-test ※ p<0.05 and ※※ p<0.01. n.s.: not significant

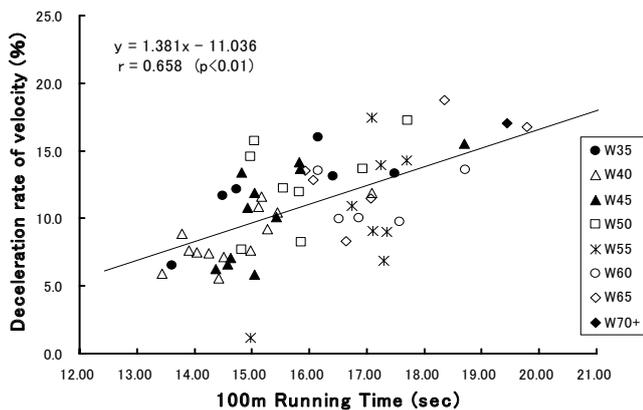


Figure 1 Individual values of deceleration rate of velocity as a function of 100-m running time. Deceleration rate of velocity = (velocity during peak phase - velocity during final phase) ÷ velocity during peak phase × 100.

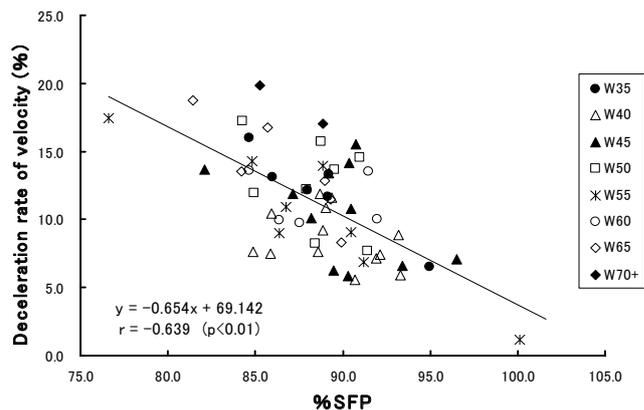


Figure 3 Individual values of deceleration rate of velocity as a function of % SFP. % SFP = stride frequency during final phase ÷ stride frequency during peak phase × 100.

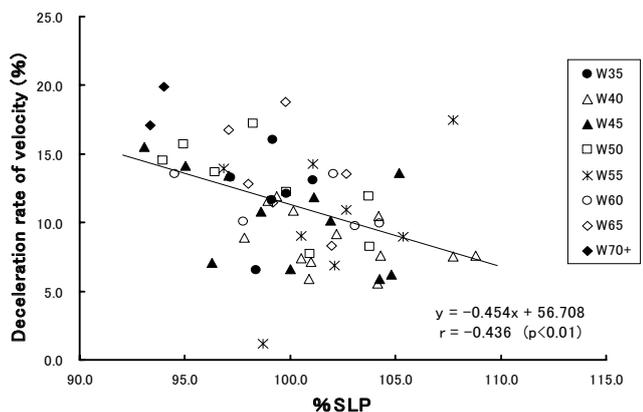


Figure 2 Individual values of deceleration rate of velocity as a function of % SLP. % SLP = stride length during final phase ÷ stride length during peak phase × 100.

最高速度区間に対する相対値 (%) で表して、速度逡減率との関係を図 2 と 3 に示した。歩幅の相対値が 100% を超えた走者は約半数の 31 名であったが、歩数頻度の相対値はすべての走者が 100% を超えなかった。速度逡減率と歩幅の相対値 ($r = -0.436$, $p < 0.01$) および、歩数頻度の相対値 ($r = -0.639$, $p < 0.01$) には有意な負の相関関係があった。

1 歩に要した時間は W 35 から W 65 のすべてのクラスが、終末速度区間は最高速度区間よりも有意に長くなった (表 2)。1 歩時間を構成する接地時間は、1 歩時間と同様に終末速度区間が最高速度区間よりも有意に長くなった。また滞空時間は、W 55 と W 65 に変化がなかったのを除いて、他の 5 つの

クラスは有意に長くなった。

IV. 考察

マスターズ選手を含むスポーツを愛好している中高年齢女性を対象にして、100 m 走競技の速度逡減率を明らかにした。速度逡減率は、世界一流選手の男性で 2 ~ 7 % と女性で 3 ~ 8 % (阿江ら, 1994 ; Ritzdorf, 1997 ; Ferro ら, 2001)、大学男子選手で 4 ~ 7 % (中野ら, 1991 ; 持田ら, 1999) と報告されている。エリートマスターズ競技者を対象にした Korhonen ら (2003) は、男性 37 名を 10 歳毎の 5 クラスに、女性 33 名を 35 - 39 歳以後は 10 歳毎に 6 クラスに分類した。男性の速度逡減率は 40 - 49 歳の 5.2% から 80 - 89 歳の 10.7% へ、女性の速度逡減率は 35 - 39 歳の 6.1% から 80 - 89 歳の 18.0% へと増加して、年齢と有意な相関関係 (男性 $r = 0.51$; $p < 0.01$, 女性 $r = 0.76$; $p < 0.001$) を示した。本研究の結果も、8 つのクラスに分類した W 40 の $8.6 \pm 2.1\%$ から W 70+ の $18.5 \pm 2.0\%$ であり、世界一流選手や大学男子選手よりも大きな速度逡減率であった。100 m 走における速度逡減に関して、中高年齢者では短い距離で最高速度に達するために、若い一流競技者よりも減速局面の距離が長いことを考慮すべきであると指摘 (Korhonen ら, 2003) されているごとく、最高速度に達した後の減速局面が長かったために大きな速度逡減率になったと考えられる。速度逡減率の範囲は、加齢とともに速度逡減率が増加した Korhonen ら (2003) とほぼ一致しているが、本研究では加齢ともなう速度逡減率の増加が明確でなかったために、年齢との相関関係

($r=0.372$) は有意であったものの低かった。疾走速度は、歩幅と歩数頻度の積である。2つの区間における歩幅を比較すると、W 40 の終末速度区間 (90 - 100 m) が有意に大きくなったのを除いて、いずれのクラスにも歩幅の変化はなかった。一方、歩数頻度はすべてのクラスの終末速度区間が、最高速度区間よりも有意に減少して、その減少率は速度逡減率に近かった。したがって、5歳毎に分類したクラスの終末速度区間における速度逡減は、歩数頻度が減少したために引き起こされたと考える。

走者毎に終末速度区間における歩幅と歩数頻度を、最高速度区間における歩幅と歩数頻度に対する相対値で表した速度逡減率との関係 (図 2 と 3) は、いずれも有意な負の相関関係があった。速度逡減率が大きいと歩幅の相対値は小さくなるという負の相関関係は、持田ら (1999) によって報告されたごとく、速度逡減率が大きいと歩幅の相対値も大きくなり正の相関関係があったこととは異なる。終末速度区間の歩幅が最高速度区間の歩幅よりも大きい走者は約半数の 31 名であり、このような走者は終末速度区間における疾走動作が変化したと考えられる。この変化には年齢毎によるクラス分けの明確な特徴はなく、クラス別に比較した2つの区間における歩幅に、W 40 を除いて相違がなかった原因であろう。歩数頻度の相対値は速度逡減率が低い走者ほど大きく、最高速度区間の歩数頻度を維持していた。これらことから中高年齢女性の 100 m 走速度逡減は、歩幅と歩数頻度の両方が減少したこと、あるいは歩幅の増加率よりも歩数頻度の減少率が大きくなったこと、二つの原因のどちらかに起因すると考えられる。世界一流選手 (阿江ら, 1994) と大学男子選手 (岩井ら, 1997 ; 中野ら, 1991) では、歩数頻度のみが減少して歩幅には変化がなかったと報告されていることから、速度逡減を小さくするためには歩数頻度を維持することが重要であろう。高い歩数頻度を発揮するには脚の高いスティフネスが必要である (Farley and González, 1996) ことから、終末速度区間のみならず最高速度維持局面に続く減速局面では、スティフネスが低下し始めていたとも考えられる。足関節の高いスティフネスが接地時間と負の相関関係にあったこと (Kuitunen ら, 2002)、走速度と関連する脚スティフネスに膝関節スティフネスが影響を及ぼし、走速度が増加するにしたがって足関節よりも膝関節スティフネスに大きな変化があった (Arampatzis ら, 1999) と報告されている。

終末速度区間の歩数頻度が最高速度区間よりも有意に減少したと同時に、1歩時間も有意に増加した。

1歩時間を構成する接地時間と滞空時間について、接地時間は終末速度区間がいずれのクラスも有意に増加し、滞空時間は変化がなかった W 55 と W 65 を除いて有意に増加した。本研究は動作解析を行っていないが、股関節伸展速度の低下が減速局面で起きたために終末速度区間の接地時間が増加し、さらにキックの方向が上向きになり身体重心の上下動が滞空時間を増加させた (岩井ら, 1997 ; Chow, 1987) と推測される。岩井ら (1997) は疾走速度に密接な関係があるとされている脚のスイング速度低下が、脚の接地時間を増加させる主な原因であろうとしている。脚のスイング速度は股関節の伸展速度によって生じ (伊藤ら, 1992)、股関節の伸展速度は疾走速度と有意な正の相関関係がある (伊藤ら, 1998)。また接地時間は接地脚の筋群が身体を前方へ、そして続く滞空期に前方と上方に推進させる速度によって決定する。したがって終末速度区間における接地時間の増加は、接地脚筋群の短縮速度が遅くなったためと考えられる。短い接地時間には Type II 線維の急速な動員が必要であるが、加齢にともない選択的に起こる Type II 線維数の減少 (Lexell ら, 1988 ; Frischknecht, 1998) と持久性低下によって、終末速度区間の接地時間が増加したのではないかと考える。春日 (1997) は、加齢にともなう筋力低下の原因である筋萎縮の引き金となる運動単位や神経系の変化が、同様に筋持久力の変化にも関係していると考えられている、と述べている。100 m 走記録と速度逡減率の有意な相関関係 (図 1) は、大学男子選手 (100 m 走記録 ; 11.37 ± 0.34 sec) を対象にした持田ら (1999) の相関関係 ($r=0.69$; $p<0.05$) とほぼ同様であった。減速局面では主働筋の筋疲労が関係している (阿部と深代, 1998) こと、終末速度区間の速度維持には股関節伸展筋群の持久力が大きく貢献する (持田ら, 1999) ことなどから、股関節伸展筋群の持久力を高めることによって、高い歩数頻度を維持し速度逡減率を少なくすることが可能になると考えられる。

V. まとめ

本研究は、マスターズ選手を含むスポーツを愛好している 35 ~ 80 歳の中高年齢女性 59 名を対象にして、100 m 走における疾走速度逡減率を明らかにしようとした。100 m 走の最高速度区間と終末速度区間とした 90 ~ 100 m における疾走速度、歩幅、歩数頻度および 1 歩時間 (接地時間と滞空時間) を、撮影録画した VTR より算出した。以下のような知見

が得られた。

- 1) 疾走速度はすべてのクラスで、最高速度区間よりも終末速度区間が有意に低下し、その通減率の平均は8.6%から18.5%であった。
- 2) 歩幅はW 40を除く他のクラスで、最高速度区間と終末速度区間に差はなかったが、歩数頻度はすべてのクラスで終末速度区間が有意に減少した。歩数頻度の減少率と速度通減率は、ほぼ同じであった。
- 3) 速度通減率と終末速度区間の歩幅および歩数頻度の相対値との関係は、いずれも有意な負の相関関係があった。
- 4) 1歩時間はすべてのクラスで、最高速度区間よりも終末速度区間が有意に長くなり、接地時間と滞空時間(変化がなかったW 55とW 65を除く)ともに増加したためであった。

以上のことから中高年齢女性の100 m走速度通減は、歩幅と歩数頻度の両方が減少したこと、あるいは歩幅の増加率よりも歩数頻度の減少率が大きくなったこと、二つの原因のどちらかに起因すると考えられる。速度通減率を小さくするためには、股関節伸筋群の持久力を高めることで可能になると示唆された。

【謝辞】

データ収集に快く協力していただきました選手の皆様、並びに、ビデオ撮影を許可していただきました梅田善彦会長と鴻池清司理事長(日本マスターズ陸上競技連合)、南後千秋会長と酒井泉事務局長(福井マスターズ陸上競技連盟)、遠藤鉄雄理事長と土田久秋氏(福井陸上競技協会)には、ここに記して厚く感謝いたします。

参考文献

阿部 孝、深代千之(1998)ある仮説:スプリント走における各局面の主要体力要素の研究. バイオメカニクス研究2:316-317.

阿江通良、鈴木美佐緒、宮西智久、岡田英孝、平野敬靖(1994)世界一流スプリンターの100 mレースパターンの分析-男子を中心に-. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術. ベースボールマガジン社、東京:14-28.

Arampatzis, A., Brüggemann, G.-P. and Metzler, V. (1999) The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. J.

Biomech., 32:1349-1353.

有川秀之(1992)マスターズ陸上競技会100 m走の分析. 埼玉大学紀要 体育学編25:1-11.

Chow, J. W. (1987) Maximum speed of female high school runners. Int. J. Sport Biomech., 3:110-127.

Farley, C. T. and González, O. (1996) Leg stiffness and stride frequency in human running. J. Biomech., 29:181-186.

Ferro, A., Rivera, A., Pagola, I., Ferreruela, M., Martín, Á. and Rocandio, V. (2001) Biomechanical analysis of the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. New Studies in Athletics 16:25-60.

Frischknecht, R. (1998) Effect of training on muscle strength and motor function in the elderly. Reprod. Nutr. Dev., 38:167-174.

Hamilton, N. (1993) Changes in sprint stride kinematics with age in master's athletes. J. Appl. Biomech., 9:15-26.

伊藤 章、市川博啓、斉藤昌久、佐川和則、伊藤道郎、小林寛道(1998)100 m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究43:260-273.

伊藤 章、斉藤昌久、佐川和則、加藤謙一(1992)ルイス、バレルと日本トップ選手のキック・フォーム. J. J. Sports Sci., 11:604-608.

岩井雄史、市川博啓、伊藤 章(1997)100 m走における疾走速度通減の要因. 身体運動のバイオメカニクス13:173-177.

春日規克(1997)生理学から筋持久力のエイジングの機構を探る. 山田 茂、福永哲夫編著 骨格筋. ナップ, 東京:189-200.

加藤謙一、佐藤里枝、内原登志子、杉田正明、小林寛道、岡野 進(2002)小学生スプリンターにおける短距離走の適正距離の検討. 体育学研究47:231-241.

小林寛道(2001)ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造. 杏林書院、東京.

Korhonen, M. T., Mero, A., and Suominen, H. (2003) Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners. Med. Sci. Sports Exerc., 35:1419-1428.

Kuitunen, S., Komi, P. V. and Kyröläinen, H. (2002) Knee and ankle joint stiffness in sprint running. Med. Sci. Sports Exerc., 34:166-

173.

- Lexell, J., Taylor, C.C. and Sjöström, M. (1988) What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J. Neurol. Sci.*, 84: 275 – 294.
- Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J.T. and Komi, P.V. (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.*, 3: 16 – 22.
- Mero, A. and Komi, P.V. (1986) Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 553 – 561.
- 持田 尚、小林 諭、繁田 進、有吉正博 (1999) 100 m 疾走能力と下肢筋力およびその持久性との関係—各疾走局面に着目して—。陸上競技研究 38: 2 – 14.
- 中野正英、尾縣 貢、伊藤道郎、吉武信二 (1991) 100 m レース後半の疾走速度逡減を規定する動作要因の検討。陸上競技研究 6: 2 – 7.
- 太田 涼、有川秀之 (1998) 日本女子一流選手の 100 m レース分析—世界女子一流選手(マリオン・ジョーンズ)との比較—。運動とスポーツの科学 4: 15 – 21.
- Ritzdorf, W. (1997) 100 metres. In: Biomechanical Research Project at the VI th World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary report. H. Muller and H. Hommel (eds.) *New Studies in Athletics* 12: 45 – 48.
- 杉田正明、松尾彰文 (2001) スピード・ピッチおよびストライド。深代千之ら編 *スポーツバイオメカニクス*。朝倉書店、東京: 18 – 20.
- 田中秀一、印牧司人 (2004) 中高年齢者の 100 m 走中間疾走局面における最高速度、歩数頻度および歩幅の加齢にともなう変化。陸上競技紀要 17: 12 – 19.
- 田中秀一、印牧司人 (2005) 中高年齢女性の 100 m 走中間疾走局面における最高速度、歩数頻度および歩幅の加齢にともなう変化。陸上競技研究紀要 1: 8 – 15.