

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

田中秀一¹⁾ 印牧司人²⁾

1) 福井大学教育地域科学部 2) 福井県足羽郡美山中学校

Changes in peak velocity, step frequency and step length at full speed phase during a 100-m race with aging in middle-aged and elderly female runners.

Shuichi TANAKA¹⁾ Morito KANEMAKI²⁾

1) Faculty of Education and Regional Studies, Fukui University

2) Miyama Junior High School, Asuwa-gun, Fukui Prefecture

Abstract

The present study examined the changes in peak velocity (fastest 10-m section), step frequency and step length at full speed phase during a 100-m race with aging. The subjects were 70 (included 2 Korean runners) middle-aged and elderly female master and recreational runners who aged from 35 to 80 years. They were classified into 8 (W35:35-39 yr, W40:40-44 yr, W45:45-49 yr, W50:50-54 yr, W55:55-59 yr, W60:60-64 yr, W65:65-69 yr and W70+:over 70 yr) classes. The video records (60 fields/sec) were carried out at the 4 points (30m, 40m, 50m and 60m from the start line) during a 100-m race.

The results were as follows :

- 1) The peak velocity decreased significantly with aging and the peak velocity correlated negatively and significantly with 100-m running time.
- 2) Although the step frequency during running at peak velocity did not change, the step length decreased significantly with aging.
- 3) Although the peak velocity was correlated positively and significantly with the step length, the step frequency was not correlated.
- 4) The step time did not change with aging however the contact time increased significantly and the flight time decreased significantly with aging.

The results of this study indicated that the peak velocity at full speed phase during a 100-m race decreases with aging in middle-aged and elderly female runners. The cause of declined the peak velocity due to the decreased step length not the step frequency.

I. はじめに

加齢が進行するにしたがって男性と女性ともに、運動パフォーマンスが低下することはよく知られている。短距離走は、接地局面中に爆発的な力を発生させる伸張-短縮の繰り返しが、神経筋系の能力に大きく依存する複雑な全身運動の形を表す(Meroら, 1981; Meroと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(Moore, 1975; 有川, 1992; Hamilton, 1993; Korhonenら, 2003; 田中と印牧, 2004)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。

記録と年齢の関係についてMoore(1975)は、例えば200 m走の年齢別記録は20歳から30歳の間でほぼ最高になった後は漸減して、60歳では最高値の

74%にまで低下する指数関数的モデルに表した。マスターズ競技者の100 m走を分析した有川 (1992) は、100 m走の平均歩数頻度と平均歩幅は加齢とともに減少したが、平均歩幅の減少が顕著であったと報告している。Hamilton(1993) はマスターズ競技者の最高速度が、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、女性は男性よりも20歳遅く60歳で、歩幅と最高速度が急激に低下したことを明らかにした。エリートの男女マスターズ競技者を対象にしたKorhonenら(2003)と、日本記録(M60)保持者を含む中高年齢男性を対象にした田中と印牧(2004)は、いずれも100 m走における中間疾走局面の最高速度は加齢とともに低下したと報告した。そして疾走速度を決定する歩数頻度と歩幅は、加齢にともない歩幅は減少したが、歩数頻度はほとんど変化しなかったことも明らかにした。

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年齢女性を対象にして、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を明らかにすることにより、短距離走パフォーマンス低下を防ぐとともに、記録の維持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、2003年に開催された福井マスターズ陸上競技選手権大会と福井県スポーツ・レクリエーション祭マスターズ陸上競技の100 m走に出場した16名に、2004年に開催された福井マスターズ陸上競技選手権大会と第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の100 m走に出場した54名(韓国人選手2名を含む)を加えた、合計70名の女性選手であった。同一選手が複数の競技会に参加している場合は、公式に発表された最も良い記録を出したレースを分析資料にした。

参加年齢規定が、マスターズ陸上競技選手権大会(大会当日の満年齢)とスポーツ・レクリエーション祭(4月1日の満年齢)で異なるために、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、年齢、身長および100 m走記録の平均値±SDを示した。

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

Class	N	Age (yr)	Height (m)	100m Record (sec)
W35 (35-39 yr)	7	36.7±1.3	1.61±0.05	15.27±1.31
W40 (40-44 yr)	18	41.8±1.6	1.61±0.05	14.96±0.81
W45 (45-49 yr)	12	47.3±1.1	1.59±0.04	15.46±1.10
W50 (50-54 yr)	9	53.0±1.1	1.59±0.05	15.90±0.87
W55 (55-59 yr)	8	57.3±1.4	1.54±0.04	16.94±0.78
W60 (60-64 yr)	5	61.8±1.3	1.57±0.05	17.17±0.91
W65 (65-69 yr)	9	66.6±1.6	1.51±0.04	18.15±1.70
W70+(70-80 yr)	2	75.0±5.0	1.47±0.06	21.74±2.30

2. VTR撮影

通過タイムを計測するために、30 m、40 m、50 mおよび60 m地点の走路内側の縁石と8レーンの外側にマークを貼り付け、走路両側のマークを結ぶ延長線上の観客席から、3脚に固定した4台のデジタルビデオカメラで撮影録画(60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. 算出されたデータ

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/秒(Dual Stream; ディケイエイチ)で再生して、各10 m区間の所要時間とその区間における4歩に要した時間、および4歩の接地時間を読み取った。これらの時間を用いて下記に示したデータ①~⑦を算出した。各区間の疾走速度のうち、最も高い疾走速度(以下、最高速度とする)とその区間における歩数と歩幅に関するデータについて検討した。身長は選手の承諾を得て、選手招集所にて計測した。

- ①各区間の疾走速度(m/sec) = 10 m ÷ 10 m区間の所要時間
- ②歩数(歩/10 m) = 10 m区間の所要時間 ÷ 4歩に要した時間 × 4歩
- ③歩数頻度(歩/sec) = 歩数 ÷ 10 m区間の所要時間
- ④歩幅(m/歩) = 10 m ÷ 歩数
- ⑤歩数指数 = 歩数 × (身長/g)^{1/2}
- ⑥歩幅指数 = 歩幅 ÷ 身長
- ⑦滞空時間(sec) = 1歩時間 - 接地時間
- ⑧100 m走平均速度(m/sec) = 100 m ÷ 100 m公式記録

III. 結果

100 m走記録(表1)は、15.27 ± 1.31sec(W

35) と 14.96 ± 0.81 sec (W 40) から 21.74 ± 2.30 sec (W 70+) であり、100 m 走平均速度として表すと、 6.60 ± 1.28 m/sec (W 35) と 6.70 ± 0.35 m/sec (W 40) から 4.65 ± 0.49 m/sec (W 70+) の範囲に及んだ。100 m 走記録と平均速度の最高は 13.61sec と 8.45 m/sec (W 35)、最低は 24.04sec と 4.65 m/sec (W 70+) であった。年齢と 100 m 走平均速度の関係 (図 1) は、負の相関関係 ($p < 0.01$) があり加齢とともに低下した。年齢と最高速度の関係 (図 2) も、100 m 走平均速度の低下傾向と同様に低下 ($p < 0.01$) して、その低下率の平均は 10 年間あたり 7.2% であった。最高速度と 100 m 走記録の関係 (図 3) は、最高速度が高いほど 100m 走記録は速くなった ($p < 0.01$)。

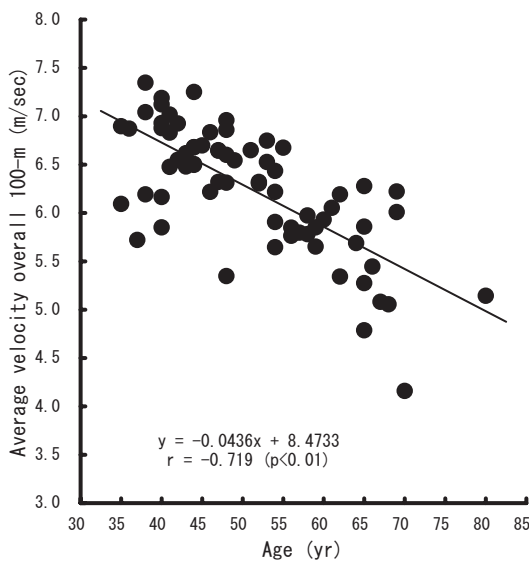


Fig.1 Relationship between age and average velocity overall 100-m.

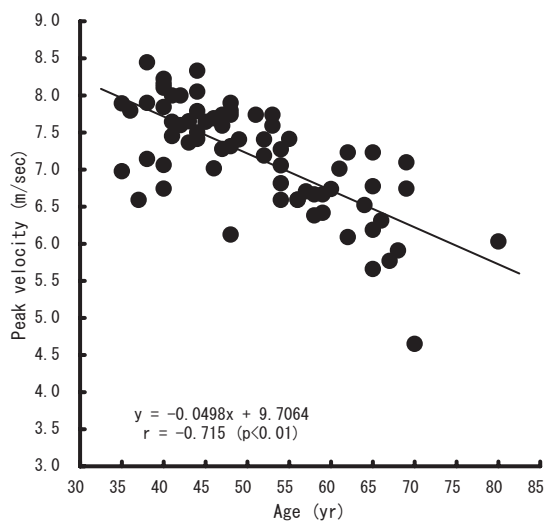


Fig.2 Relationship between age and peak velocity (fastest 10-m section).

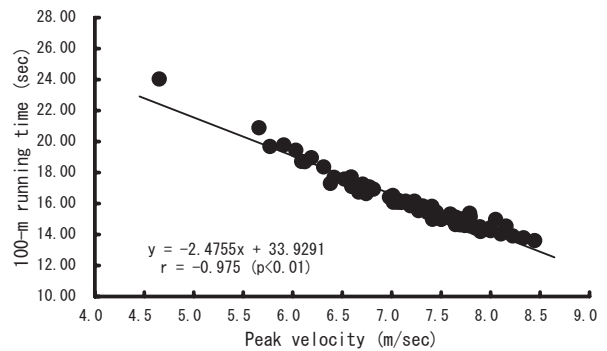


Fig.3 Relationship between peak velocity and 100-m running time.

年齢と歩数頻度 (A) および歩幅 (B) の関係 (図 4) は、年齢と歩数頻度に相関関係はなかったが、年齢と歩幅には負の相関関係 ($p < 0.01$) があり、 2.04 m/歩 (W 35) から 1.12 m/歩 (W 70+) に減少して、その減少率の平均は 10 年間あたり 8.1% であった。最高速度と歩数頻度 (A) および歩幅 (B) の関係 (図 5) は、最高速度と歩数頻度に相関関係はなかったが、最高速度と歩幅には正の相関関係 ($p < 0.01$) があり、最高速度が高いほど歩幅も大きかった。年齢と歩数指数 (A) および歩幅指数 (B) の関係 (図 6) は、年齢と歩数指数に相関関係はなかったが、年齢と歩幅指数には負の相関関係 ($p < 0.01$) があり、 1.22 (W 35) から 0.80 (W 70+) に減少して、その減少率の平均は 10 年間あたり 5.7% であった。

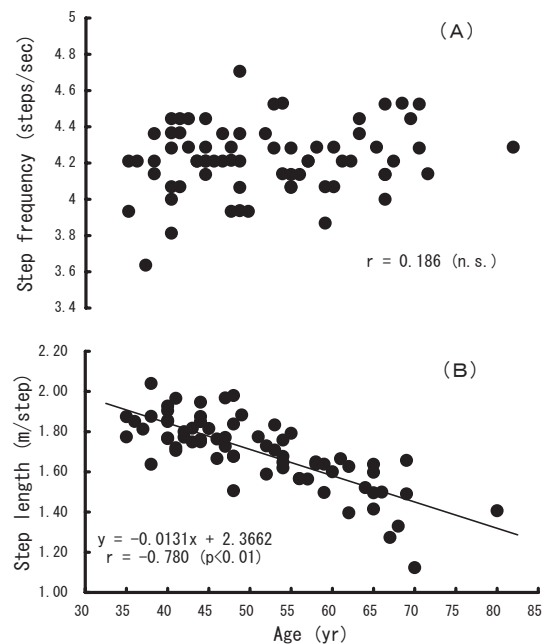


Fig.4 Relationships between age and step frequency (A) and step length (B).

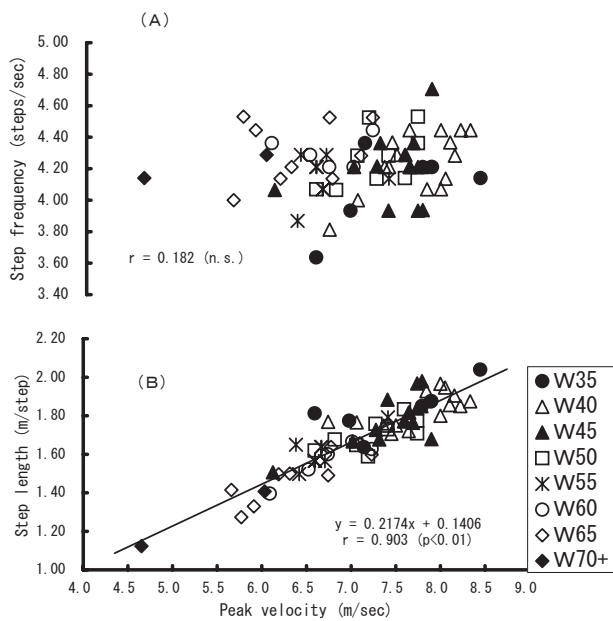


Fig.5 Relationships between peak velocity and step frequency (A) and step length (B).

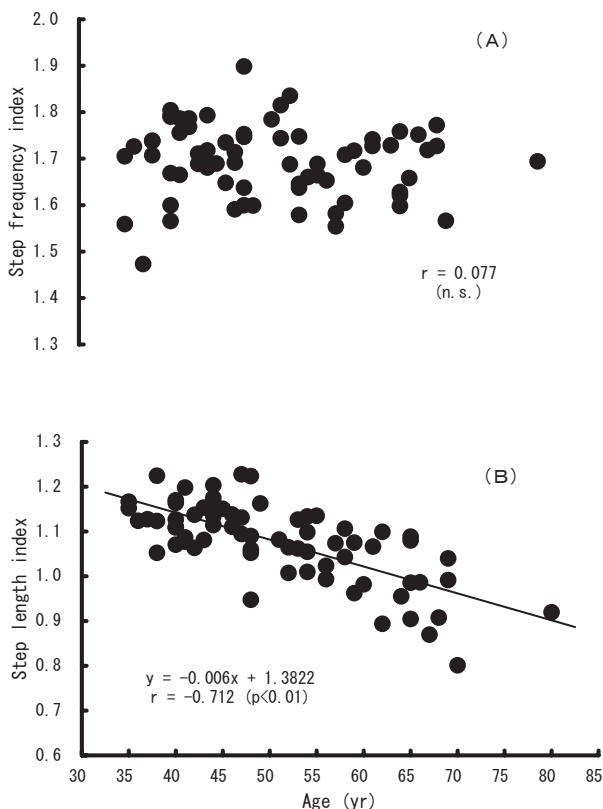


Fig.6 Relationships between age and step frequency index (A) and step length index (B).

1歩に要する時間である1歩時間は、足が地面に接している接地時間と身体が空中にある滞空時間に

分けられる。図7は年齢と1歩時間、接地時間および滞空時間の関係 (A) を、年齢と接地時間比 (接地時間 / 1歩時間) および滞空時間比 (滞空時間 / 1歩時間) の関係 (B) をそれぞれ示している。年齢と1歩時間に相関関係はなかったが、年齢と接地時間および滞空時間には正と負の相関関係 ($p < 0.01$) がそれぞれあった。すなわち、加齢にともない1歩に要する時間は変化しないが、接地時間は増加して滞空時間は減少した。この傾向は、1歩時間に対するそれぞれの比率 (%) で表すと、W 35歳では接地時間比と滞空時間比がほぼ50%ずつであったのが、W 70+ではそれぞれ58%と42%になりいっそう明確になった。

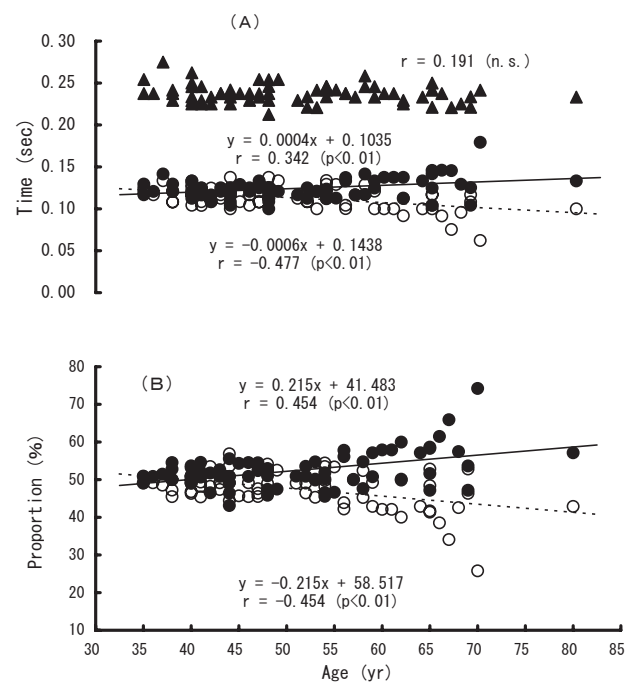


Fig.7 Relationships between age and step time (▲), contact time (●) and flight time (○) (A). Relationships between age and contact time ratio (●) and flight time ratio (○) (B).

IV. 考察

加齢にともない中高年齢女性の100m走平均速度 (図1) は低下して、中間疾走局面における最高速度 (図2) も同様に低下した。100m走は通常、加速局面、最高速度局面および速度逡減局面の3つに大きく分割される。最高速度と100m走記録には高い正の相関関係があり、100m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、一流短距離選手 (阿江, 1991; 阿江ら, 1994; 小林,

2001; 太田と有川, 1998)、小学5・6年生の男女児童(加藤ら, 2002)および中高年齢男性(田中と印牧, 2004)についての結果から明らかにされている。同様なことが、中高年齢女性(図3)についても確かめられた。最高速度が加齢にともなって10年間あたりに低下する率の平均が7.2%であったのは、女性(35歳~89歳)について6.0%(Korhonenら, 2003)と、男性(38歳~77歳)について6.4%(田中と印牧, 2004)よりもやや大きく、男性と女性(30歳~90+歳)を含めた9%(Hamilton, 1993)よりも小さかった。

歩数頻度と歩幅の積によって疾走速度は決定されることから、加齢にともない最高速度が低下した(図2)ことは、歩数頻度と歩幅のどちらかが減少したためであるか、またはその両方が減少したためである。歩数頻度と年齢の関係については、歩数頻度は経年的に増加しない(宮丸, 2002; 斉藤と伊藤, 1995)とされている。しかし、これらの報告は幼児から成人まで、または一流選手までという比較的若い年齢についてである。Hamilton(1993)は100m走と200m走、Korhonenら(2003)は100m走について、マスターズ競技者の最高速度局面を分析した結果、歩数頻度は80歳まで著しく変化しなかった。田中と印牧(2004)も中高年齢男性の100m走について、同様な結果を報告している。本研究の結果も歩数頻度(図4-A)と歩数指数(図6-A)は加齢にともなう変化がなく、最高速度との相関関係(図5-A)もなかった。加齢とともに筋力・柔軟性などが低下する傾向は著しいが、神経・感覚などの機能の低下は穏やかである(小村, 1990)ことから、歩数頻度は加齢の影響をさほど受けないうえに変化がなかったと考えられる。しかし、歩数頻度と歩幅は密接に関係していることから、中高年齢者の歩数頻度が加齢にともなって変化しなかったことは、加齢とともに減少した歩幅の影響を受けているのかもしれない。

1歩あたりの歩幅は、その距離を移動するのに要した時間であり、滞空時間と同じである。歩幅を大きくする、換言すると滞空時間を増大させるためには、より大きな地面反力が必要であり、Weyandら(2000)は疾走速度が高い走者ほど、短時間に大きな力を地面に加えることで大きな地面反力を獲得して、滞空時間を増大させ疾走速度を高めていると報告している。さらに、より大きな力を地面に加えるだけでなく、着地時に加わる垂直方向への力を支える力も必要であるとも報告している。大腿部の筋横断面積を20歳代から80歳代の男女について測定し

た久野ら(1998)は、加齢にともない大腿部の筋量が屈筋群と伸筋群ともに減少したものの、伸筋群に比べて屈筋群は加齢による影響を受けにくいことを、さらに大腰筋横断面積の20歳代を基準とした低下率が、女性は男性よりも大きい傾向である(久野ら, 1997)とも報告している。加齢にともなう筋量の減少と筋力の低下は、速筋線維の選択的な萎縮と総筋線維数の減少によるもの(Frischknecht, 1998; 久野ら, 1998, 2003; Lexellら, 1988; Narici, 1999)とされている。

走パワーと歩幅には高い正の相関関係があり、そして加齢にともない低下する走パワーは、大腿四頭筋の筋量および膝伸展パワーと高い正の相関関係が、さらに加齢にともなう膝伸展パワーの低下と大腿四頭筋の筋量には高い正の相関関係がある(福永, 2003)。筋力は筋の横断面積と比例関係にあると知られていることから、筋量の減少は筋力が低下することになる。これらのことから、加齢にともなう大腿部筋量の減少によって、発揮される筋力が低下して地面に加える力が低下したことと、着地時に加わる垂直方向への力を支える力も減少したために、年齢と歩幅に負の相関関係(図4-B)があり、最高速度と歩幅に正の相関関係(図5-B)があったのであろう。Kuitunenら(2002)は最大の70%に相当する速度から最大まで異なる4種類の速度で疾走中に、速度が増加しても足関節スティフネスは変化しなかったが、膝関節スティフネスは直線的に増加したことから、短距離疾走におけるバネのような脚の働きは、膝関節スティフネスによって調節されるであろうとした。ChellyとDenis(2001)は40mまでの高い疾走速度のために、Bretら(2002)は平均年齢22.3±3.9歳の男性短距離走者(10.72~12.87sec)について中間疾走局面の疾走速度に、いずれも脚スティフネスが大きな役割を果たしたと報告している。関節スティフネスは主動筋群と拮抗筋群の共同収縮によって調節され、脚スティフネスは足関節、膝関節および股関節スティフネスによって決定する(HortobagyiとDeVita, 2000)。HortobagyiとDeVita(2000)は高さが身長20%(0.328m)に設定された台からの片脚降りにおいて、高年齢女性(60~80歳)は若年女性(18~25歳)よりも脚を伸展した接地を行い脚スティフネスが高かったことは、高年齢者の衰えた神経-筋機能の代償作用であるとしている。台から1回の片脚降りの結果を疾走に適用できない、また本研究では疾走フォームを検討していないが、疾走中に脚を伸ばして接地していたとしても、加齢にともない大腿部筋

量が減少しているために、着地時の衝撃を膝の屈曲によって吸収したり、転倒を避けたりするためにキック力を小さくして、歩幅を減少させていた (Bus, 2003) と考えられる。

斉藤と伊藤 (1995) は 6 歳以降の加齢に対して、歩幅の絶対値が増加あるいは歩幅指数が一定に保たれたのは、増加した身体質量による物理的な負荷に対応した脚筋力や脚筋パワーの機能的な発達があったと示唆している。加齢にともなう歩幅指数の減少 (図 6 - B) は、斉藤と伊藤 (1995) が示唆していることとは逆に、中高年齢女性における脚筋力や脚筋パワーの機能的な低下が、W 35 ではすでに開始しているのを示しているのではないかと考えられる。歩幅の加齢にともなう 10 年間あたりの減少率の平均 8.1% は、Hamilton (1993) の 6% と Korhonen ら (2003) の女性 5.2% と男性 5.0% よりも大きかった。また、歩幅指数の 10 年間あたりの減少率の平均 5.7% は、Korhonen ら (2003) の女性 4.9% と男性 4.1% よりも大きかった。身長の影響を取り除いて歩数頻度を発揮する機能を示す歩数指数 (伊藤ら, 1998) が、加齢とともに変化しなかった (図 6 - A) ことと関連しているのであろう。

疾走速度の高いランナーは短い接地時間で大きな力を作動させていたのに対して、疾走速度の低いランナーは長い接地時間で少ない力を作動させていたと報告 (Weyand ら, 2000) されている。接地時間を短縮させるには、速筋線維の動員が必要である (Korhonen ら, 2003)。滞空時間は走者の離地時の垂直方向へ発揮された力と、水平方向へ発揮された力の合力によって決定される。加齢にともない 1 歩時間は変化しなかったが、接地時間が増加して滞空時間は減少 (図 7 - A) した。また 1 歩時間に対する接地時間比のほぼ 50% から 58% への増加と、滞空時間比のほぼ 50% から 42% への減少 (図 7 - B) は、女性について Korhonen ら (2003) が報告した最高速度 8.9 m/sec (35 - 39 歳) での接地時間比平均 46% が、最高速度 5.3 m/sec (80 - 87 歳) での平均 71% に増加した傾向と同じであった。このような接地時間比の増加は、前述したごとく速筋線維の選択的な萎縮のために筋力が低下しており、相対的に長い時間をかけて垂直方向と水平方向への力を発揮したことによって生じたと考えられる。

以上のことから、加齢にともなう最高速度の低下に歩数頻度は主要な役割を果たさず、歩幅の減少が決定的な役割を果たしていることが明確に示された。このことは、マスターズ競技者 (Hamilton, 1993; Korhonen ら, 2003) と中高年齢男性 (田中

と印牧, 2004) について、最高速度が加齢にともない低下する原因は歩幅が減少するためであるという報告と一致する。中高年齢者にも筋力トレーニングによって、筋肥大とともに動員される運動単位数が増加して筋力の増大が起こる (Frischknecht, 1998; 久野ら, 2003)。このことから、加齢が進行しても疾走速度を維持するためには、大腿部と骨盤の動きに関与する体幹深部の筋群 (小林, 2001; 久野ら, 2001) の筋力を維持させるとともに、筋機能を疾走速度として発揮するための合理的な脚の動作、例えば、ももを高く上げることよりも高い速度で脚全体を振り下ろす動作、膝関節の伸展を少なくしてキックを行う動作など (伊藤ら, 1998) の修得を心がける必要がある。

V. まとめ

本報告は、35 歳から 80 歳の中高年齢女性 70 名を対象にして、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を検討した。

その結果は以下の通りである。

- 1) 最高速度は加齢とともに有意に減少して、100 m 走記録と有意な負の相関関係があった。
- 2) 年齢と歩幅および歩幅指数は負の相関関係があったが、歩数頻度および歩数指数は加齢にともなう変化はなかった。
- 3) 最高速度と歩幅は有意な正の相関関係があったが、歩数頻度とは有意な相関関係はなかった。
- 4) 加齢とともに 1 歩時間は変化しなかったが、接地時間は有意に増加して滞空時間は有意に減少した。

以上のことから、中高年齢女性の 100 m 走中間疾走局面における最高速度は加齢にともない低下するが、その原因は歩数頻度ではなく歩幅が減少するためであると結論づける。

【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

- 阿江通良 (1991) 陸上競技におけるトップアスリーートの技術—一流短距離選手の疾走フォーム—。体育の科学 41 : 279 - 284.
- 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 : PP. 14 - 28.
- 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.
- Bret C, Rahmani A, Dufour A.-B, Messonnier L. and Lacour J.-R. (2002) Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 42 : 274 - 281.
- Bus S.A. (2003) Ground reaction forces and kinematics in distance running in older-aged men. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 35 : 1167 - 1175.
- Chelly S.M. and Denis C. (2001) Leg power and hopping stiffness : relationship with sprint running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33 : 326 - 333.
- Frischknecht R. (1998) Effect of training on muscle strength and motor function in the elderly. *Reprod. Nutr. Dev.*, 38 : 167-174.
- 福永哲夫 (2003) 「生活フィットネス」の性年齢別変化、体力科学 52 Suppl. : 9 - 16.
- Hamilton, N. (1993) Changes in sprint stride kinematics with age in master' s athletes. *J. Appl. Biomech.* 9 : 15 - 26.
- Hortobágyi T. and DeVita P. (2000) Muscle pre- and coactivity during downward stepping are associated with leg stiffness in aging. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 10 : 117 - 126.
- 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 : 206 - 273.
- 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。
- 小村 堯 (1990) 鍛錬中高年者の有酸素的能力などに関する 15 年後の状況。広島体育学研究 16 : 33 - 39.
- 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 Kyrolainen H. (2002) Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 34 : 166 - 173.
- 久野譜也、石津政雄、岡田守彦、西嶋尚彦、松田光生、勝田 茂 (1997) 加齢にともなう筋萎縮における個人差と活動量との関係。小野スポーツ科学 5 : 47 - 55.
- 久野譜也、勝田 茂、石津政雄、秋間 広 (1998) 高齢者における筋量と筋力の低下は加齢によるものか不活動によるものか？デサントスポーツ科学 19 : 175 - 182.
- 久野譜也、金 俊東、衣笠竜太 (2001) 体幹深部筋である大腰筋と疾走能力との関係。体育の科学 51 : 428 - 432.
- 久野譜也、村上晴香、馬場紫乃、金 俊東、上岡方士 (2003) 高齢者の筋特性と筋力トレーニング。体力科学 52 Suppl. : 17 - 30.
- Lexell J., Taylor C.C. and Sjøstrom 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.
- 宮丸凱史 (2002) 疾走能力の発達 : 走り始めから成

- 人まで. 体育学研究 47 : 607 - 614.
- Moore D.H. (1975) A study of age group track and field records to relate age and running speed. *Nature*, 253 : 264 - 265.
- Narici M.V. (1999) Effect of ageing on muscle contractile properties. In: *Advances in Rehabilitation - Physical activity in the elderly -*. Capodaglio P. and Narici M.V. (Eds.) Maugeri Foundation Books, Pavia : 61 - 67.
- 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.
- 斉藤昌久、伊藤 章 (1995) 2 歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化. *体育学研究* 40 : 104 - 111.
- 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.
- Weyand P.G., Sternlight D.B., Bellizzi M.J. and Wright S. (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J. Appl. Physiol.*, 89 : 1991 - 1999.