

下肢の筋持久性と400 m 走中の疾走速度逡減との関係

尾 縣 貢¹⁾ 福 島 洋 樹²⁾ 大 山 圭 悟³⁾ 安 井 年 文¹⁾
鍋 倉 賢 治¹⁾ 宮 下 憲¹⁾ 関 岡 康 雄¹⁾ 永 井 純¹⁾

Relationships between muscular endurance of lower limbs and decrease in running speed during 400 m running

Mitsugi Ogata¹, Hiroki Fukushima², Keigo Ohyama³, Toshifumi Yasui¹,
Kenji Nabekura¹, Ken Miyashita¹, Yasuo Sekioka¹ and Jun Nagai¹

Abstract

A study was conducted to investigate the influence of maximal running speed, aerobic and anaerobic components and muscular endurance of the lower limbs on the decrease in running speed during 400 m running. Fifteen track and field athletes (400 m sprinters, decathletes and middle-distance runners) participated. The subjects were used to obtain data on changes in running speed during 80 m and 400 m running, maximal O₂ intake, O₂ debt and isokinetic muscular endurance. The time taken to cover 400 m was negatively correlated with maximum O₂ ($r = -0.558$; $p < 0.05$) and muscular endurance of hip flexion ($r = -0.521$; $p < 0.05$). Running speed over a distance of 400 m began to decrease after 80 m, and kept decreasing until the finish. The change in running speed after 80 m was expressed as a linear regression equation, and the regression gradient was interpreted to be an index of the decrease in running speed. There were significant correlations between the muscular endurance of hip flexion and extension respectively ($r = -0.666$; $p < 0.01$, $r = -0.517$, $p < 0.05$). These results suggest that the muscular endurance of hip flexion affects the decrease in running speed during 400 m running, and also performance.

Key words: 400 m running, decrease on running speed, maximal oxygen intake, oxygen debt, muscular endurance

(Japan J. Phys. Educ. 42: 370-379, January, 1998)

キーワード：400 m 走，速度逡減，最大酸素摂取量，
酸素負債量，筋持久性

目 的

30秒程度で疲労困憊に至る運動では約65%が，
60秒程度で疲労困憊に至る運動では約50%が無
気的エネルギー産出機構からエネルギー供給を受

けていると報告²¹⁾されていることから，400 m
走に必要なエネルギーの約60%弱は無気的エネ
ルギーに依存している（400 m 走のタイムを日
本男子400 m ランナーのトップレベルである45
秒と想定した場合）と推測できる．そのため，
400 m 走は，酸素負債量が大きく，乳酸の蓄積
も著しい苛酷な種目であると考えられている．

- 1) 筑波大学体育科学系
〒305 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 2) 筑波大学大学院体育研究科
〒305 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 3) 筑波大学大学院体育科学研究科
〒305 茨城県つくば市天王台 1-1-1

1. Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba,
Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305
2. Master's Program in Health and Physical Education,
University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305
3. Doctoral Program in Health and Sport Sciences,
University of Tsukuba, Tennoudai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki 305

400 m 走に関しては、生理学的見地から多くの研究が行われ、速度逡減の原因に関して多くの知見が得られている。Nummela et al.²⁵⁾は、走速度と密接な関係にある接地時間の増大は、100 m 通過後に既に起こり始め、その原因は、主たるエネルギー供給源がCP系から解糖系へ移行することと、乳酸の蓄積であるとし、また、300 m 以降の速度逡減は中枢神経に原因があるのではなく、筋肉に原因があると推測している。また、Karlsson et al.¹³⁾, Tesch³⁶⁾は、400 m 走のラストの著しい速度逡減は、乳酸の蓄積と筋のアジドーシスが、解糖系の機能を阻害する可能性を指摘している。Hirvonen et al.⁷⁾は、200 m 後の速度逡減はATP (アデノシン三リン酸) 再合成のスピードの低下および遅筋線維の動員に原因があり、ラストの逡減は筋のCPが枯渇し、乳酸の蓄積も最大になることに原因がある可能性を示唆している。また、Nummela et al.²⁵⁾は、疲労した状態と疲労していない状態でのスプリント中の筋電図と地面反力を比較し、疲労時では筋放電の頻度の増加や筋線維の動員数の増加により、疲労による速度逡減を抑えようとしていることを明らかにしている。

一方、市川ら⁸⁾は、バイオメカニクスの見地から400 m 走中の150 m 地点と350 m 地点の疾走を比較し、後半の走速度逡減の原因として、膝の上がりの低下、支持脚スウィング動作の速度低下、支持脚膝伸展動作の速度増大などをあげている。

これらの400 m 走に関する報告から、400 m 走中の生体における様々な変化が疾走動作の変容を導き、その結果、速度逡減を招いていると考えられる。疾走動作の変容を小さく抑える能力、すなわち、無酸素下で動作スピードおよび動作範囲を維持し、動作を反復する能力は体力要因におきかえると、筋持久力であるが、この筋持久力が速度逡減に関与すると言える。しかし、400 m 走の前半と後半では活性化される筋肉が違うこと²⁶⁾、前半と後半を比較して差異が認められない動作もあること⁸⁾から、400 m 走中に動員される筋肉のなかでも耐疲労性が異なり、速度逡減へ

の関与の強さも異なるものと考えられる。

これまでから400 m 走における筋持久力の重要性は指摘されてきており、トレーニングにおいても重視されている^{19,23)}が、下肢の関節運動の持久性と400 m 走における速度逡減については研究がなされていない。そこで、本研究では、等速性股関節運動および膝関節運動の持久性と、400 m 走のパフォーマンスおよび400 m 走における速度逡減との関係について検討した。

方 法

疾走速度変化、最大酸素摂取量、酸素負債量、下肢の等速性筋力の測定は、1996年11月14日-12月3日の間に行ったが、疲労を考慮し、各測定は、それぞれ別の日に行い、2-3日の間隔を取るようにした。

1. 被験者

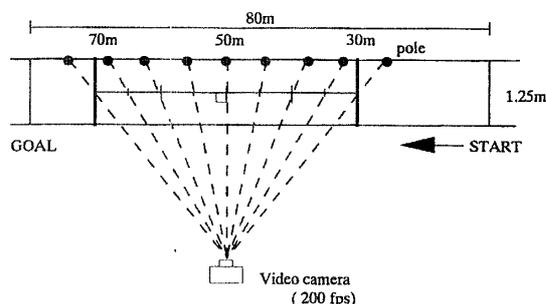
被験者は、陸上競技部に所属する男子大学生15名であった。その内訳は、100・200 m 走を専門とする者2名、400 m 走を専門とする者5名、800 m 走を専門とする者2名、混成競技を専門とし400 m 走を得意とする者6名であった。年齢は、 20.3 ± 1.4 才 (平均±標準偏差)、身長 1.781 ± 0.049 m、体重 70.2 ± 6.3 kgであった。400 m 走レースの経験のある14名の400 m 走最高タイムは、 48.76 ± 1.06 秒であり、400 m 走のレース経験のない1名の800 m ランナーの800 m 最高タイムは、 $1'50.28$ 秒であった。100 m 走のベスト記録は、 11.12 ± 0.38 秒 ($n=13$, 2名は100 m 走の記録を有していなかった)であった。

2. 80 m 走および400 m 走中の疾走速度の測定

80 m 走と400 m 走は、同日に行った。十分なウォーミングアップの後、80 m 走を実施し、十分な回復時間を置き、400 m 走を実施した。

80 m 走は、直線レーンを用い、レースを想定して1人ずつクラウチングスタートからピストルの合図で行った。最大疾走速度の出現が予想される30-70 m 区間における5 m 毎の所要タイムを測定するために、カメラとレーン上の5 m 間

1) Experimental set-up for 80m running trial



2) Experimental set-up for 400m running trial

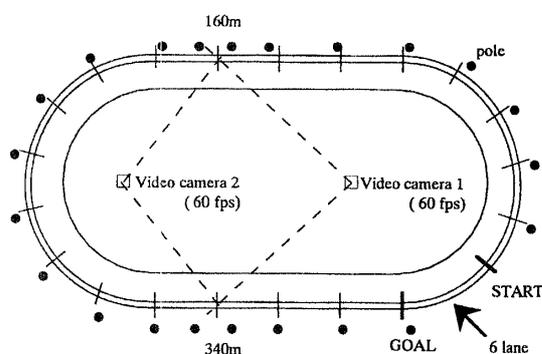


Fig. 1 Experimental set-up.

隔のポイントを結んだ線上にポールを立てた。撮影は、50 m 地点のゴールに向かって左側方から高速度ビデオ (HSV 400, NAC 社製) により、毎秒200コマで行った。区間所要タイムの最も短い区間の平均走速度を最大疾走速度と定義した。

400 m 走は、400 m トラックを用い、400 m 走レースを想定して1人ずつクラウチングスタートからピストルの合図で行った。この時、ペース配分に関する指示は行わなかった。20 m 毎の所要タイムを測定するために、コーナーに1台ずつ計2台のビデオを設置し、スタートからゴールまでを撮影した。それぞれの地点の通過が分かるようにカメラとレーン上の20 m 間隔のポイント (内側のラインから20 cm のポイント) を結んだ線上にポールを立てた。撮影は、ホームビデオ (Panasonic NV-S9) を用い、毎秒60コマで行った。実験の設定については、Fig. 1 に示している。

3. 乳酸値の測定

80 m 走試技のウォーミングアップ前に、安静時の乳酸値を測定するために手指先より採血した血液を自動乳酸分析器 (YSI 社製, Model 23L Lactate analyzer) を用いて分析した。また、400 m 走ゴール5分後にも同様に乳酸値を測定した。

4. 最大酸素摂取量

最大酸素摂取量は、トレッドミルを用いた負荷漸増法により疲労困憊までランニングを続ける方法により測定した。走路の傾斜は、0 deg, 走速度は、200 m/min から開始し、Exhaustion に至るまで1分間に10 m/s ずつ増加させるようにした。Exhaustion time は、10-12分の範囲にあった。走行中の呼気の採取は、自動呼気ガス分析器 (Mijnhardt 社, OXYCON GAMMA) により行った。最大酸素摂取量の判断基準には、酸素摂取量のレベリングオフを用いた。

5. 50秒程度で疲労困憊に至る運動後15分間の酸素負債の測定

酸素負債量は、トレッドミル走により測定した。走路の傾斜は、5.0 deg, 走速度は、400 m 走タイムを考慮して被験者により320-340 m/s に設定し、exhaustion に至るまで運動を続けさせた。被験者の exhaustion time は、約50-60秒の範囲であり、運動時間が60秒を越えた者に関しては、速度を10 m/s 増加させた。運動後15分間の呼吸を自動呼気ガス分析器 (Mijnhardt 社, OXYCON GAMMA) により分析し、その酸素摂取量から安静時酸素摂取量を減じて、酸素負債量を算出した。

酸素負債量は、これまで運動後30分間で測定した報告が多く¹¹⁾、一番短いものでも Mero et al.²²⁾ の20分間であった。本研究では、測定を簡略化し、被験者への負担を小さくするという観点から、運動後15分間の酸素負債量を測定した。測定時間を15分間と決めるに際しては、黒田ら¹⁷⁾ の、陸上競技者23名の Exhaustion 後10, 20, 30, 40, 50, 60分間の酸素負債量を測定した結果、

10分間の負荷量は、60分間の負荷量との間に1%水準で有意な相関関係にあったという報告、金原ら¹⁵⁾の、Exhaustion 後15-20分までは、酸素摂取量は急激に低下し、その後に安静時の水準に近づき、定常状態に移行していくという報告を参考にした。

6. 下肢の等速性筋持久力

等速性筋力測定器 (CYBEX NORM™) を用い、3.14 rad/s の角速度で、全力での膝関節伸展・屈曲、股関節伸展・屈曲の50回連続試技を行った。膝関節伸展・屈曲測定では椅子座位姿勢、股関節伸展・屈曲では仰臥姿勢を取り、いずれの測定でも体幹部、測定と反対脚を専用のベルトにより固定した。測定する関節動作範囲は、膝関節、股関節ともに完全伸展位から完全屈曲位までとした。なお、測定姿勢は、Fig. 2 に示している。被験者には、測定前に測定器に慣れるように練習時間を設けた。また、測定前にはキャリブレーションを行い、下肢重量による影響を取り除くための補正を行った。得られたデータから、50回の試技を前半25回、後半25回に分け、それぞれの仕事量の合計を出し、後半25回/前半25回×100を算出した。これをCYBEX NORM™では Endurance ratio という解析項目として算出され、筋力発揮の持久性の指標として用いられている。本研究では、筋持久性指標と定義した。また、筋持久性指標を算出する過程で得られる前半25回、後半25回および前後半50回の総仕事量を反復回数で除し、1回平均値として算出した。

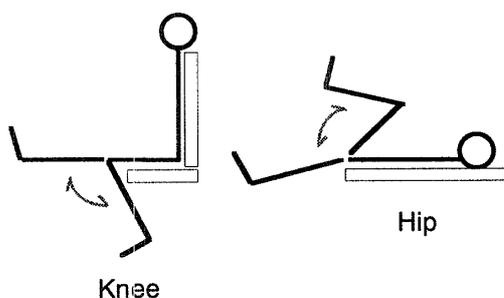


Fig. 2 Postures of measurement for knee and hip muscular strength.

また、上記の50回連続試技中 (角速度3.14 rad/s) に記録されたピークパワーを等速性最大筋力と定義した。

なお、ランニングにおける身体の移動速度には体重が影響を及ぼすと考えられるため、筋力測定値は全て体重比とした。

結 果

1. 400 m 走タイムと諸要因との関係

Table 1 は、400 m 走タイム、80 m タイム、ゴール5分後の乳酸値、80 m 走中の最大疾走速度、酸素負荷量、最大酸素摂取量、筋力測定値などの測定項目を平均と標準偏差で示し、400 m 走タイムおよび80 m 走タイムとの相関係数を付記したものである。400 m 走タイムとは、酸素負荷量 ($r = -0.558, p < 0.05$) と股関節屈曲筋持久性指標 ($r = -0.521, p < 0.05$) との間に有意な関係が認められた。

2. 400 m 走中の速度逡減と諸要因との関係

Fig. 3 は、400 m 走における20 m 区間毎平均速度の変化を示したものである。この2つのグラフから、速度逡減は80-100 m 区間から始まり、ゴールに向かって低下し続けていることがわかる。被験者15名中14名は、80-100 m 区間から速度逡減が見られ、1名は60-80 m 区間から見られた。次に、400 m 走においてピーク速度が認められた60-80 m 区間を第1区間、80-100 m を第2区間、…、380-400 m 区間を第17区間とし、区間数と区間平均速度 (最大疾走速度に対する割合; 百分率) との関係性を直線回帰式で表し、両者間の相関係数を算出した。その結果、回帰式の傾きは、 -0.736 から -1.747 の範囲であり、その相関係数は、 -0.855 から -0.979 で、全ての被験者が0.1%水準で有意な関係を示した。このことから、速度逡減の程度を直線回帰式の傾きにより、表現することは妥当性が高いと考えられる。ここでは、この傾きの絶対値を逡減指標と定義した。

Fig. 4 は、逡減指標と400 m 走タイムとの関係性を示している。両者は、1%水準で有意な相関関係にあり、速度逡減が緩やかな者ほど400 m 走

Table 1 Results of measurements, and their relationships with 80 m and 400 m running time

Variables	Mean	S.D.	R with 400 m running time	R with 80 m running time
400 m running time (s)	51.05	0.92	—	0.128
Maximal running speed (m/s)	9.82	0.35	-0.170	-0.975***
Lactate concentration (mmol/l)	12.6	1.4	0.282	0.178
Maximal O ₂ intake (ml/kg)	57.8	5.9	-0.289	0.276
O ₂ debt (ml/kg)	125.7	13.0	-0.558*	-0.373
Peak power (Watt/kg)				
Knee extension	7.25	0.85	0.085	0.318
Knee flexion	4.99	0.50	0.074	-0.322
Hip extension	11.14	1.63	0.397	-0.466
Hip flexion	6.53	0.94	-0.016	-0.574*
Mean value of work at 1st-25th trials (J/kg)				
Knee extension	2.35	0.30	-0.145	0.296
Knee flexion	1.69	0.22	0.102	0.015
Hip extension	4.05	0.74	0.164	-0.347
Hip flexion	2.04	0.27	-0.040	-0.439
Mean value of work at 26th-50th trials (J/kg)				
Knee extension	1.29	0.22	-0.296	0.389
Knee flexion	0.92	0.18	-0.371	0.255
Hip extension	2.85	0.40	-0.221	-0.280
Hip flexion	1.31	0.23	-0.465	-0.212
Mean value of work at 1st-50th trials (J/kg)				
Knee extension	1.82	0.25	-0.224	0.359
Knee flexion	1.30	0.18	-0.127	0.138
Hip extension	3.44	0.51	0.031	-0.356
Hip flexion	1.68	0.23	-0.256	-0.366
Muscular endurance ratio (%)				
Knee extension	55.1	6.8	-0.220	0.318
Knee flexion	54.8	9.8	-0.467	0.335
Hip extension	71.6	11.8	-0.469	0.174
Hip flexion	64.5	9.5	-0.521*	0.183

S.D.: standard deviation R: coefficient of correlation

*** $p < 0.001$ * $p < 0.05$

タイムが良かったことがわかる。Table 2は、逓減指標と400 m走後の乳酸値，最大酸素摂取量，酸素負債量，筋力測定値などの測定項目との関係を示している。逓減指標は，股関節屈曲筋持久性指標との間に $r = -0.666$ ($p < 0.01$)，股関節伸展持久性指標との間に， $r = -0.516$ ($p < 0.05$)の関係が認められた (Fig. 5)。

考 察

本研究での400 m走のタイムは， 51.05 ± 0.92 秒であり，ベスト記録の 48.87 ± 1.10 秒と比較すると，達成率は95.7%であった。これは，本研究と同様に400 mランナーを対象に400 m走の全力試技を課した Nummela et al.²⁷⁾の実験における92.0%，Hirvonen et al.⁷⁾の93.8%，Rusko et al.³³⁾の94.8%，Nummela et al.²⁶⁾の94.2%の達成

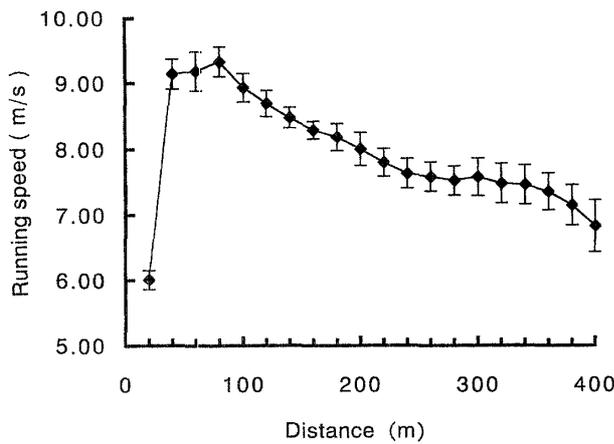


Fig. 3 Change of running speed during 400-m running. (mean ± standard deviation)

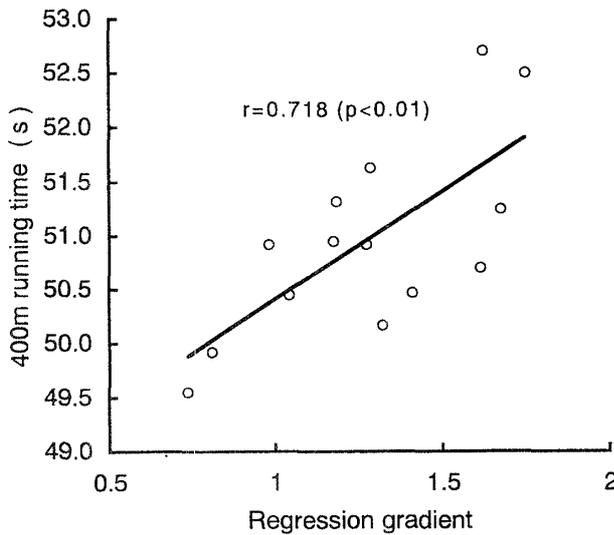


Fig. 4 Relationship between regression gradients which show the decrease on running speed during 400-m running and the time taken.

率に比較して高い値であった。

1. 400 m 走タイムと諸要因との関係

400 m 走タイムと酸素負債量および股関節屈曲筋持久性指標の2 要因との間に、80 m 走タイムと股関節屈曲最大筋力との間に有意な相関関係が認められた。このうちの酸素負債量は、全身の無氣的運動能力を知る指標として用いられており、400 m 走^{17,31)}、100 m 泳^{18,24)}、4000 m サイクリ

Table 2 Coefficients of correlation of measurement variables with regression gradients which show the decrease on running speed during 400 m running

Variables	R with regression gradient
400 m running time	0.718**
Maximal running speed	-0.017
Peak speed during 400 m running	0.424
Lactate concentration	0.405
Maximal O ₂ intake	-0.162
O ₂ debt	-0.288
Peak torque	
Knee extension	-0.074
Knee flexion	0.221
Hip extension	0.425
Hip flexion	0.262
Mean value of work at 1st-25th trials	
Knee extension	-0.096
Knee flexion	0.283
Hip extension	0.126
Hip flexion	0.220
Mean value of work at 26th-50th trials	
Knee extension	-0.321
Knee flexion	-0.047
Hip extension	-0.318
Hip flexion	-0.360
Mean value of work at 1st-50th trials	
Knee extension	-0.204
Knee flexion	0.149
Hip extension	-0.032
Hip flexion	-0.050
Muscular endurance ratio	
Knee extension	-0.347
Knee flexion	-0.293
Hip extension	-0.517*
Hip flexion	-0.666**

R: coefficient of correlation

**p<0.01 *p<0.05

ング⁶⁾のパフォーマンスなどとの関係が報告されている。本研究では、測定を簡略化し、被験者への負担を小さくするという観点から、運動後15分間の酸素負債量を測定し、400 m 走との関連を見ることにした。測定時間を15分間に決定す

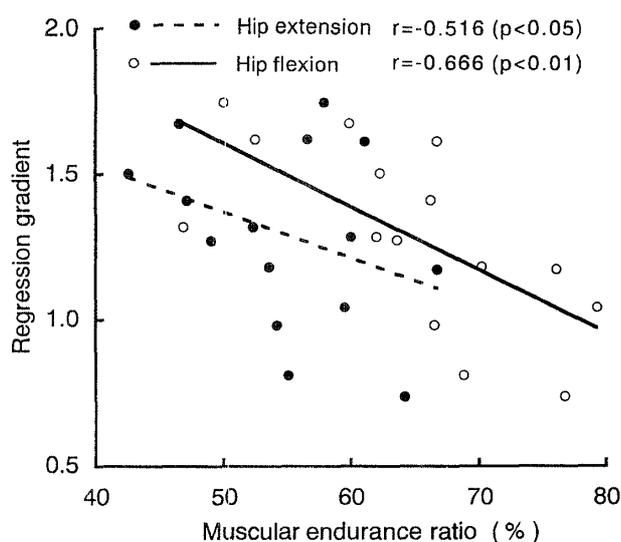


Fig. 5 Relationship between muscular endurance and regression gradient which show the decrease on running speed during 400-m running.

るに際し、次にあげる黒田ら¹⁷⁾、金原ら¹⁵⁾の2報告を参考にした。黒田らは、陸上競技者23名の exhaustion 後10, 20, 30, 40, 50, 60分間の酸素負荷量を測定した結果、10分間の負荷量は60分間の負荷量との間に1%水準で有意な相関関係にあり、10分間で測定した負荷量は、最大酸素負荷量とは言えないが、無氣的運動能力の指標となりえる可能性があるとして報告している。また、金原らは、運動後15-20分までは、酸素摂取量は急激に低下し、その後安静時の水準に近づき、定常状態に移行していくと報告している。これまでは、酸素負荷量を30分間で測定した報告が多く¹¹⁾、一番短いものでも Mero et al.²²⁾の20分間であったが、無氣的運動能力の指標として用いる場合には、15分間でも有用な指標になり得ることが明らかになった。

これまでスプリンターの筋力発揮特性に関する研究では、膝関節運動における筋出力に着目することが多く^{4,10,16,30,34,35,37)}、股関節伸展あるいは屈曲運動が取り上げられることは少なかった^{3,29)}。ところが、最近ではバイオメカニクスの立場から、スプリントにおける股関節動作の重要性が指摘されており^{2,9,20)}、トレーニング現場において

も股関節周囲の筋群の強化に注目することが多くなった^{19,23)}。このように股関節運動への注目は高まっているのであるが、研究面では股関節周囲筋群の筋力発揮の重要性が検証されていないのが現実である。そのため本研究で得られた股関節屈筋群の機能が疾走能力に関係があるという知見は興味深いものであるが、股関節屈曲運動の重要性について生理学的および解剖学的視野から考えてみる必要がある。股関節屈筋群は支持期後半から回復期前半にかけて大腿を前方に引き出す働きをするが¹⁾。その働きにより膝が高く上げられると股関節伸展運動の主働筋である大殿筋は伸ばされ、高い張力発揮に適した筋長に達し、さらに伸長反射の積極的な利用が可能となる³²⁾。その結果、続く股関節伸筋群の働きが促進され、支持期における股関節伸展速度が高まり、大きな推進力へとつながるわけである⁹⁾。しかし、大殿筋は抵抗がない場合、深い股関節屈曲位でないと収縮しない³²⁾ため、股関節屈筋群の働きが重要となる。

一方、Alexander³⁾は、股関節屈曲および伸展筋力と100 m 走タイムとの間には有意な相関関係が認められなかったという結果を示している。本研究で Alexander の報告と異なる結果が得られた原因を明確にはできないが、被験者の質の違いが異なる結果を導いた可能性は否定できない。本研究の被験者の専門種目は100・200 m 走、400 m 走、800 m 走、混成競技と多岐にわたっている一方で、Alexander の報告における被験者は、全てが短距離走を専門とする者で、そのパフォーマンスも高い(100 m 走タイム; 10.83 ± 0.21秒, n=14) ものであった。

2. 400 m 走中の速度変化と諸要因との関係

15名中14名の被験者が400 m 走中の60-80 m 区間でピーク速度を示したが、それは80 m 走中に測定された最大疾走速度の95.2%に相当するものであった。このピーク速度と速度逡減指標との間には有意な相関関係は認められなかった。

ピーク速度を迎えた後、ゴールに向かって疾走速度は逡減し続けており、その逡減を逡減指標に

より表したが、この指標と400 m 走タイムの間には有意な関係が認められた。すなわち、400 m 中の速度逡減を抑えることが、400 m 走のタイムを短縮することにつながると考えられる。

400 m 走における速度逡減には、多くの生理的な変化が関係している。400 m 走中の身体内部の変化としては、遅筋線維の動員^{7,25,36)}、乳酸の蓄積^{7,14,25,33)}、筋のアシドーシス^{25,26)}などがあげられる。そして、400 m 走中に起こるこれらの変化は、疾走中に動員される筋群の持久性などに影響を受けるのではないかと考えた。

そこで、逡減指標と、下肢の等速性筋持久力との関係について検討したが、50回平均値、前半25回平均値、後半25回平均値ともに、有意な相関関係は認められなかった。しかし、股関節屈曲筋持久性指標と1%水準で、股関節伸展筋持久性指標と5%で有意な相関関係が認められた。これらの関係から、速度逡減は股関節屈曲・伸展動作の持久性に強く規定されているという知見が得られたとともに、本研究で採用した筋持久性指標が筋持久力を適切に表現しているものであることが明確になった。市川ら⁸⁾は、筋疲労による400 m 走後半の動作変容として、膝の上がりが高くなくなり、振り出しも小さくなること、接地期(支持期)の支持脚のスウィング速度が低下することをあげている。こういった動作の変化により、400 m 走の後半ではストライド、ピッチが低下し、速度が逡減すると推察できる。特にストライドの減少が後半の速度逡減に強く影響していると指摘⁹⁾されているが、後半の膝の上がりの低下が、このストライドの減少を招いていると考えられる。そして、膝の引き上げ動作には股関節屈曲筋群が強い影響を持つと考えられるため、本研究で測定した股関節屈曲筋持久性指標と速度逡減との間に強い相関関係が認められたものと推察できる。また、尾縣ら²⁸⁾は、一般男子学生を対象にスキッピングトレーニングを8週間行わせたところ、100 m 走の後半60-100 m 区間での速度逡減が有意に小さくなり、それは股関節屈曲の筋持久性が高まったためであると報告している。100 m と400 m という距離の違いはあるにせよ、

疾走速度を持続するためには、股関節屈曲筋持久性が関係すると考えられる。

等速性筋持久性は、被験者の特性に大きく影響されると考えられている。Kanehisa et al.¹²⁾は、筋力トレーニングを行っている者、持久性トレーニングを行っている者、特別なトレーニングを行っていない者の等速性膝関節伸展運動の筋持久性を比較した結果、持久性トレーニング群、トレーニングを行っていない群、筋力トレーニング群の順で持久性が有意に優れており。これは、筋がそれぞれのトレーニング内容に適応した結果であることを明らかにしている。本研究の被験者は、短距離走、中距離走、混成競技を専門とする者から構成され、継続しているトレーニングの内容も異なるため、筋の持久性に差が生じ、それが400 m 走タイムおよび速度逡減に影響を及ぼした可能性が考えられる。

本研究では、股関節屈曲運動の持久性が、400 m 走における速度逡減および400 m 走のパフォーマンスに影響を及ぼすことが示唆された。

要 約

本研究の目的は、等速性股関節運動および膝関節運動の持久性と、400 m 走のパフォーマンスおよび400 m 走における速度逡減との関係を検討することであった。400 m 走46.8-50.5秒のベスト記録を有するランナー14名と800 m 走1'50"28のベスト記録を有するランナー1名を対象に、400 m 中の20 m 毎の速度変化、最大酸素摂取量、酸素負債量、等速性運動における下肢筋力を測定した。

結果の要約を次に示す。

- 1) 400 m 走タイムとは、酸素負債量と股関節屈曲筋持久性指標との間に有意な相関関係が認められた。
- 2) 400 m 走では、15名中14名の者が80 m 通過後に速度逡減を示し、その後、ゴールまで低下し続けていた。80 m 以降の速度変化は、直線回帰式で表すことができ、その傾き(逡減指標)を速度逡減の指標とした。
- 3) この逡減指標は、400 m 走タイムと1%

水準で有意な関係にあった。この結果は、速度逓減が緩やかな者ほど400 m走のパフォーマンスが高いことを示している。

4) 逓減指標は、股関節屈曲・伸展筋持久性指標との間に有意な相関関係が認められ、速度逓減は股関節屈曲および伸展動作の持久性と関係が深いことが明らかとなった。

以上のことから、股関節屈曲運動の持久性が、400 m走における速度逓減および400 m走のパフォーマンスに影響を及ぼすことが示唆された。

文 献

- 1) 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・波川侃二 (1986) 機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度. 筑波大学体育科学系紀要 9: 229-239.
- 2) 阿江通良 (1991) 陸上競技におけるトップアスリートの技術—一流短距離選手の疾走フォーム—. 体育の科学 41: 279-284.
- 3) Alexander, M. J. L. (1989) The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can. J. Spt. Sci.* 14: 148-157.
- 4) Barnes, W. S. (1981) Selected physiological characteristics of elite male sprint athletes. *J. Sports Med.* 21: 49-54.
- 5) Bate, B. T. and Haven, B. H. (1974) Effects of fatigue on the mechanical characteristics of highly skilled female runners. *Biomechanics IV*, in Nelson, R. C. and Morehouse, C. A. (Eds.), University Park Press: Baltimore, pp. 121-124.
- 6) Craig, N. P., Norton, K. I., Bourdon, P. C., Woolford, S. M., Stanef, T., Squires, B., Olds, T. S., Conyers, R. A. and Walsh, C. B. V. (1993) Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67: 150-158.
- 7) Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S. and Härkönen, M. (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can. J. Spt. Sci.* 17: 141-144.
- 8) 市川博啓・伊藤 章・斎藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・加藤謙一・阿江通良・小林寛道 (1995) アジア大会400 m 決勝のランナーの動作分析. 日本体育学会第46回大会号, p. 378.
- 9) 伊藤 章・斎藤昌久・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.
- 10) 岩壁達男・尾懸 貢・関岡康雄・山本利春・前河洋一 (1995) 短距離走者におけるコントロールテストの役割. *陸上競技研究* 20: 2-6.
- 11) 金尾洋治 (1993) 運動と酸素摂取. 勝田茂編 *運動生理学20講*. 朝倉書店: 東京, pp. 67-75.
- 12) Kanehisa, H., Ikegawa, S. and Fukunaga, T. (1997) Force-velocity relationships and fatigability of strength and endurance-trained subjects. *Int. J. Sports Med.* 18: 106-112.
- 13) Karlsson, J., Hultén, B. and Sjödin, B. (1974) Substrate activation and product inhibition of LDH activity in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 92: 21-26.
- 14) Karlsson, J., Peterson, B., Henrikson, F. and Knuttgen, H. G. (1975) Effects of previous exercise with arms and legs on metabolism and performance in exhaustive exercise. *J. Appl. Physiol.* 38: 763-767.
- 15) 金原 勇・高松 薫・高橋 悟 (1972) ハイスピード持続能力を高めるトレーニング手段のつくり方に関する研究. 昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 V: 35-55.
- 16) 小林寛道 (1989) ソウル五輪代表スプリンターおよびジュニア優秀スプリンターの脚力の特徴. トレーニング科学研究会編 *競技力向上のスポーツ科学 I*, 朝倉書店: 東京, pp. 19-37.
- 17) 黒田善雄・加賀谷熙彦・塚越克己・太田裕造・雨宮輝也・成沢三雄 (1973) トレッドミルによる最大酸素負荷量の測定法. 一第2報. 測定結果と競技成績との関係について一. 昭和48年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 VI: 1-13.
- 18) 黒川隆志・富樫泰一・野村武男・池上晴夫 (1985) 最大酸素負荷量, 最大酸素摂取量および酸素需要量と水泳との関係. *体育学研究* 29: 295-306.
- 19) Mach, G. (1975) マック式短距離トレーニング. 講談社: 東京.
- 20) Mann, R. and Sprague, P. (1983) Kinematics of sprinting. *Track and Field Quart. Review* 83: 4-9.
- 21) Melbo, J. and Tabata, I. (1993) Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J. Appl. Physiol.* 75: 1654-1660.
- 22) Mero, A., Rusko, H., Peltola, E., Pullinen, T., Nummela, A. and Hirvonen, J. (1993) Aerobic characteristics, oxygen debt and blood lactate in speed endurance athletes during training. *J.*

- Sports Med. Phys. Fitness 33: 130-136.
- 23) 宮川千秋 (1992) 短距離. ベースボールマガジン社: 東京.
- 24) 宮下充正 (1972) ハイスピード持続能力の解明—水泳選手にトレーニングを課すことによって得られた知見—. 昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 VI: 30-34.
- 25) Nummela, A., Vuorimaa, T. and Rusko, H. (1992) Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J. Sports Sci.* 10: 217-228.
- 26) Nummela, A., Rusko, H. and Mero, A. (1994) EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: 605-609.
- 27) Nummela, A., Gundersen, J. S. and Rusko, H. (1996) Effects of fatigue on stride characteristics during a short-term maximal run. *J. Appl. Biomech.* 12: 151-160.
- 28) 尾縣 貢・生田香明・猪熊 真・関岡康雄・大山良徳・近藤 潤 (1988) スキッピングトレーニングが体力, 疾走能力, 疾走動作に与える効果. *体育学研究* 33: 69-78.
- 29) 尾縣 貢・関岡康雄・辻井義弘 (1990) 男子スプリンターにおける下肢の動的筋力と疾走中の脚動作との関係. *陸上競技研究* 1: 14-19.
- 30) 大貫義人・中角祐治・結城正明・大島義彦・渡辺好博 (1990) 短距離選手の競技力と膝関節等速性筋出力. *体育科学* 6: 503.
- 31) Olsen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J. and Secher, N. H. (1994) Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69: 140-146.
- 32) Rasch, P. J. and Burke, R. K. (1974) *Kinesiology and applied anatomy: The Science of human movement* (5th ed). Lea and Febiger: Philadelphia.
- 33) Rusko, H., Nummela, A. and Mero, A. (1993) A new method for the evaluation of anaerobic running in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 66: 97-101.
- 34) 杉田正明・八木規夫・小林寛道 (1992) 男子学生レベル別100 m 疾走能力と等速性脚筋力. 日本バイオメカニクス学会11回大会論集. 杏林書院: 東京, pp. 216-224.
- 35) 高木浩信・田口正公 (1994) 短距離走の加速局面と全速局面における膝関節の動きと下肢筋力について. *陸上競技研究* 19: 2-8.
- 36) Tesch, P. A. (1978) Muscle fatigue in man and lactate concentration. *Biomechanics IV-A*, in Asmussen, E. and Jørgensen, K. (Eds.), University Park Press: Baltimore. pp. 68-72.
- 37) 山本利春・山本正嘉・金久博昭 (1992) 陸上競技における一流および二流選手の下肢筋出力の比較—100 m 走・走幅跳・三段跳選手を対象として—. *J. J. Sports Sci.* 11: 72-76.

(平成9年7月3日受付)
(平成9年10月24日受理)