筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係

尾 縣 貢* 福島洋樹** 大山圭悟***

安井年文* 関岡康雄*

RELATIONSHIP BETWEEN SPRINT ABILITY UNDER THE CONDITION OF MUSCULAR FATIGUE, AND PHYSICAL FITNESS FACTORS

MITSUGI OGATA, HIROKI FUKUSHIMA, KEIGO OHYAMA, TOSHIFUMI YASUI and YASUO SEKIOKA

Abstract

The influence of aerobic and anaerobic components of muscular endurance on the lower limbs, on sprint ability while under conditions of muscular fatigue, was investigated. Fifteen track and field athletes (400 m sprinters, decathletes and middle distance runners) participated in the study in which running and sprinting movements at respective points (360 m and 50 m) along two distance conditions (400 m and 80 m, respectively), were filmed by high-speed video camera. Running speeds at each point were computed from the film analysis. The running speed at 360 m point was defined as the speed under fatigue, while the running speed at the 50 m point was defined as the maximal speed. Further, the rate between speed under fatigue and maximal speed was defined as %Max. Speed. Maximal O₂ intake, O₂ debt and isokinetic muscular endurance were measured.

The results were summarized as follows:

1) Oxygen debt showed significant correlation with the average speed during 400 m running ($r=0.546$; $p<0.05$), but not with the speed under fatigue ($r=0.388$; $p>0.05$).

2) Speed under fatigue was positively correlated with muscular endurance of hip flexion and extension ($r=0.683$; $p<0.01$, $r=0.572$; $p<0.05$).

3) Percent Max. Speed was negatively correlated with the maximal speed ($r=-0.643$; $p<0.01$) and positively correlated with the muscular endurance of hip flexion and extension, and knee flexion ($r=0.640$; $p<0.05$, $r=0.517$; $p<0.05$, $r=0.646$; $p<0.01$).

These results suggest that; raising %Max. Speed to improve the muscular endurance of lower limbs and, to improve aerobic ability by developing the number of capillaries in the muscle, is important.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1998, 47: 535~542)

key words: 400 m running, Running speed under muscular fatigue, Muscular endurance, Oxygen intake

I. 目 的

400 m 走の走り方に関しては、前半 200 m ではリラックスを心掛けてリズムカルに、最後の直走路(ラスト 80 m)ではフォームをまとめて全力を出し切るという指導が行われる^{1,2)}。Karlsson et al.³⁾, Tesch⁴⁾は、400 m 走のラストでは乳酸の蓄積と筋のアシドーシスが解糖系の機能を阻害し速

度逓減が起こるとし、Hirvonen et al.⁵⁾は、筋の CP が枯渇し、乳酸の蓄積が最大になることが速度逓減の原因であると指摘している。また、伊藤たち⁶⁾は、400 m 走レースにおける 350 m 地点では 150 m 地点と比較して、筋疲労により走動作はかなり変容すると報告している。以上の指摘からすると、400 m 走のラストは、筋疲労との闘いであり、筋が疲労困憊した状態での全力疾走とい

* 筑波大学体育科学系

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

** 富山商船高等専門学校

〒933-0235 富山県新湊市海老江練合1-2

*** 筑波大学大学院体育科学研究科

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Institute of Health and Sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574

Toyama National College of Maritime Technology, Ebineneriai, Shinminato, Toyama, 933-0235

Doctoral Program in Health and Sport sciences, University of Tsukuba, Tennodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574

うことができる。

沼沢・杉浦⁷⁾は、世界陸上東京大会の男子 400 m 決勝のレース分析を行い、ゴールタイムと 200 ~ 300 m, 300 ~ 400 m の所要タイムとの間に有意な相関関係があり、特にラスト 100 m 区間がゴールタイムに強い影響を及ぼしていることを報告している。

これらのことから 400 m 走のパフォーマンスを高めるためには、レースの後半で筋疲労に耐え、いかに高い疾走速度を維持するかが重要であることは明白である。実際にトレーニング現場では、いろいろな距離でのランニングやウエイトトレーニングなどを用いて走速度持続に要求される体力的要因を改善する努力をしている⁸⁾。しかし、これまでに 400 m 走のパフォーマンスと体力的要因との関係については報告⁹⁻¹²⁾があるものの、筋疲労時における疾走能力と体力的要因との関係を検討した報告がないため、この能力を改善するためのトレーニングに関する的確な知見は得られていないのが現状である。筋疲労時における疾走能力に影響を及ぼす体力的要因を明確にすることにより、400 m 走をはじめ、800 m 走などのトレーニングを行ううえでの知見が得られると考える。

そこで、本研究では 400 m 走中の 360 m 地点の疾走速度を測定するとともに、その速度の最大疾走速度に対する割合を明確にし、酸素摂取能力、酸素負債能力、最大筋パワーおよび筋持久性などの体力的要因との関係を検討した。

Ⅱ. 方 法

A. 被験者

被験者には、陸上競技部に所属する男子大学生 16 名を用いたが、そのうち 1 名は、400 m 走の実験時測定記録が自己記録に比較して極端に低いため削除した。被験者 15 名の内訳は、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。被験者の年齢は、 20.3 ± 1.4 才 (平均 $\pm$ 標準偏差)、身長は、 1.781 ± 0.049 m、体重は、 70.2 ± 6.3 kg、400 m 走公認最高記録は、 48.90 ± 1.18 s であっ

た。1 名は、400 m 走公認記録がないため実験時の記録を用いた。

B. 疾走能力の測定

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。スタートから 45 ~ 55 m 区間の疾走動作を 50 m 地点の側方からハイスピードビデオカメラ (NAC 社製 HSV-400, 200 コマ/秒) によりパニング撮影を行った。45 ~ 55 m 区間のレーン両側に 1 m 間隔で較正器を置いた。

400 m 走は、400 m トラック 6 レーンを用い、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。スタートから 355 ~ 365 m 区間の疾走動作を 360 m 地点側方からハイスピードビデオカメラによりパニング撮影を行った。355 ~ 365 m 区間のレーン両側に 1 m 間隔で較正器を置いた。

本研究では、80 m 走中の 50 m 付近の疾走を全力疾走、400 m 走中の 360 m 付近の疾走を筋疲労時疾走と定義した。ペースに関しては特別な指示を与えなかったが、レースに近い筋疲労状態を導くために、「ゴールでは余力が残らないようにレースを想定して走る。」という趣旨の指示を行った。

全力疾走では 50 m 地点付近、筋疲労時疾走では 360 m 地点付近における左足接地から再び左足が接地するまでの 1 サイクルをそれぞれビデオ分析対象とした。撮影したビデオ画像は、ビデオプレイヤーからパーソナルコンピュータ (NEC PC 9801 RX) に送り、スーパーインポーズ機能を用いることにより 23 点の身体分析点と較正点 4 点の座標を読み取った。この座標データを実長に換算した後、デジタルフィルター法により適性周波数で平滑化した。

平滑化されたデータより疾走能力を示す以下の項目を算出した。

- ① ストライド：1 サイクル中 (倍歩) の重心の水平移動距離を算出し、それを 1 歩あたりに換算したもの。身長比も算出した。

- ② ピッチ：1サイクルに要した時間の逆数を2倍することで、1歩あたりに換算したもの。
- ③ 疾走速度：ストライドとピッチの積。
- ④ 筋疲労時疾走速度の全力疾走速度に対する割合：(筋疲労時疾走速度/全力疾走速度)×100. %Max. Speed と定義する。

C. 最大酸素摂取量の測定

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、Exhaustion に至る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 まで1分間に10 m/min 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。

D. 酸素負債量の測定

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、50秒程度でExhaustion に至るトレッドミル運動後15分間の酸素負債量を全身の無氣的運動能力の指標として採用した。なお、尾縣たち¹⁰⁾は、無氣的運動能力の指標として、15分間で測定した酸素負債量でも有用であると指摘している。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/min 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/min 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。

E. 下肢の等速性筋持久力の測定

等速性筋力測定器(CYBEX NORMTM)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。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 NORMTM 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おり、本研究では筋持久性指標と定義した。

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、ピークパワーは体重比とした。

Ⅲ. 結 果

表1は、全力疾走と筋疲労時疾走における走速度、ストライド比、ピッチの平均値と標準偏差および両疾走間での比較を示したものである。全力疾走速度は 9.766 ± 0.384 m/s, 筋疲労時疾走速度は、 7.313 ± 0.301 m/s であり、その差 2.453 m/s は、0.1%水準で有意であった。また、筋疲労時疾走におけるピッチとストライド比は、それぞれ 3.544 ± 0.160 Hz, 1.159 ± 0.033 , 全力疾走時は 4.382 ± 0.113 Hz, 1.252 ± 0.041 であり、ピッチとストライド比ともに0.1%水準で有意差が認められた。

表2は、全力疾走速度、筋疲労時疾走速度、%Max. Speed および 400 m 平均走速度の間の相関係数を示したものである。400 m 平均走速度は、筋疲労時疾走速度($r=0.885$, $p<0.001$)と%Max. Speed ($r=0.539$, $p<0.05$)との間に有意な正の相関関係が認められた。また、%Max. Speed は、全力疾走速度($r=-0.643$, $p<0.01$)との間

Table 1. Comparison of stride length, stride frequency and running speed between the 50 m point during 80 m running, and the 360 m point during the 400 m running.

Variables	50 m	360 m	Rate (%)
Stride length (m)	2.229±0.079	2.065±0.083	92.6***
Stride length/Body height	1.252±0.041	1.159±0.033	92.6***
Stride frequency (Hz)	4.382±0.113	3.544±0.160	80.9***
Running speed (m/s)	9.766±0.384	7.313±0.301	74.9***

50 m ; at 50 m point from the start during 80 m running

360 m ; at 360 m point from the start during 400 m running

Rate : 360 m/50 m×100

*** ; p<0.001

Table 2. correlation coefficients among variables relating to the running ability.

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)
(1) Speed at 50 m	—			
(2) Speed at 360 m	0.105	—		
(3) Rate of speed, 360 m/50 m	-0.643**	0.693**	—	
(4) Av. Speed. 400 m	0.197	0.885***	0.539*	—

50 m ; at 50 m point from the start during 80 m running

360 m ; at 360 m point from the start during 400 m running

Av. Speed. 400 m ; Average speed of 400 m running

*** ; p<0.001 **p<0.01 * ; p<0.05

に有意な負の相関関係が, 筋疲労時疾走速度 ($r=0.693$, $p<0.01$) との間には有意な正の相関関係が認められた。

表 3 は, 全力疾走速度, 筋疲労時疾走速度, %Max. Speed と体力測定項目との関係を示している。400 m 平均走速度は, 酸素負債量 ($r=0.546$, $p<0.05$), 股関節屈曲持久性指標 ($r=0.524$, $p<0.05$) との間に有意な正の相関関係が認められた。全力疾走速度は, 股関節屈曲ピークパワー ($r=0.568$, $p<0.05$) との間に, 筋疲労時疾走速度は, 股関節屈曲持久性指標 ($r=0.683$, $p<0.01$) および股関節伸展持久性指標 ($r=0.572$, $p<0.05$) との間にそれぞれ有意な正の相関関係が認められた。%Max. Speed は, 最大酸素摂取量 ($r=0.515$, $p<0.05$), 股関節屈曲持久性指標 ($r=0.640$, $p<0.05$), 股関節伸展筋持久性指標 ($r=0.517$, $p<0.05$), 膝関節屈曲持久性指標 ($r=0.646$, $p<0.01$) および股関節伸展ピークパワー ($r=-0.573$, $p<0.05$) との間に有意な正の相関関係が認められた。

IV. 考 察

16名の被験者のうち1名は, 400 m 走の自己記録に対する実験時の 400 m 走記録が低いため, 全力を出し切れていないと判断して被験者から削除した。削除した1名の 400 m 走自己記録に対する実験時 400 m 走記録の比率(達成率, %)は 91.8%であり, 他の15名の被験者は93.5%以上, 平均で95.7%であった。これは, 400 m ランナーを対象に 400 m 走の全力試技を課した Hirvonen et al.⁵⁾ の実験における達成率93.8%, Rusko et al.¹²⁾ の94.8%に比較しても高い値であった。達成率が顕著に低い1名を被験者から削除したこと, 達成率の平均が高いことから, 360 m 地点ではレースに近い筋疲労状態にあり, また, 360 m の距離を走ることによる負荷の強さもかなり統一されていたと推測できる。

A. 筋疲労時疾走能力と体力的要因との関係

最近ではバイオメカニクスの立場から短距離

Table 3. Results of physical fitness measurements, and their relationship with variables relating to the running ability.

Variables	Mean $\pm$ S. D.	Correlation coefficient			
		Speed at 50 m	Speed at 360 m	Rate 360 m/50 m	Av. speed. 400 m
O ₂ debt (ml/kg)	125.7 $\pm$ 13.0	0.518*	0.388	-0.080	0.546*
O ₂ intake (ml/min/kg)	57.8 $\pm$ 5.9	-0.339	0.322	0.515*	0.305
Muscular endurance ratio (%)					
Knee extension	55.1 $\pm$ 6.8	-0.304	0.357	0.507	0.242
Knee flexion	54.8 $\pm$ 9.8	-0.371	0.466	0.646**	0.477
Hip extension	71.6 $\pm$ 11.8	-0.111	0.572*	0.517*	0.476
Hip flexion	64.5 $\pm$ 9.5	-0.150	0.683**	0.640**	0.524*
Peak power (Watt/kg)					
Knee extension	7.25 $\pm$ 0.85	0.002	0.125	0.086	-0.095
Knee flexion	4.99 $\pm$ 0.50	0.342	-0.149	-0.376	-0.086
Hip extension	11.14 $\pm$ 1.63	0.375	-0.402	-0.573*	-0.406
Hip flexion	6.53 $\pm$ 0.94	0.568*	-0.144	0.513	0.004

50 m ; at 50 m point from the start during 80 m running

360 m ; at 360 m point from the start during 400 m running

AV. Speed. 400 m ; Average speed of 400 m running

** ; p<0.01 * ; p<0.05

疾走における股関節周辺筋群と股関節動作の重要性が指摘されている。伊藤たち⁶⁾は、キック中の下肢動作で股関節伸展動作が最も重要で、疾走速度を決定づける大きな要因であると指摘している。阿江たち¹³⁾は、股関節伸展筋群は支持期後半での身体の加速、回復期後半での大腿の振り戻し、股関節屈曲筋群は体幹の安定、回復期前半での大腿の振りだしという機能を持つため、股関節周辺の筋群を強化することは短距離疾走能力を高めることにつながると指摘している。また、尾縣たち¹⁴⁾は、Cybex II により測定した股関節屈曲筋力の優れていることがキック後素早く大腿を前方に振り出すことを、また股関節伸展筋力の優れていることが接地局面で支持脚を速く後方にスウィングすることを可能にし、それらが疾走能力を高めることに貢献していることを明らかにしている。

本研究では、股関節伸展・屈曲運動の持久性に優れている者が筋疲労時疾走能力に優れているという結果が得られた。400 m 走における 360 m 地点は、CP の枯渇、乳酸の蓄積、アシッドシスなどの速度通減^{3,4,5)}を導く要因と闘いながらの全

力疾走であり、このような生体に起こる様々な変化により、400 m 走後半では膝の上がりの低下、脚スウィングスピードの低下などの動作変容が導かれ疾走速度は通減するものと考えられる⁶⁾。本研究でも筋疲労時疾走のピッチ、ストライドがともに有意に低いことから、筋疲労時では全力疾走時に比較して、疾走動作に差異が生じたものと推察できる。これらのことから股関節伸展・屈曲運動の持久性に優れている者は、筋疲労時にも全力疾走時により近い動作で走ることができ、その結果、高い疾走速度を示したものと考えられる。

全身の無氣的運動能力を示す酸素負債量は、400 m 走平均走速度との間に有意な相関関係が認められたが、筋疲労時走速度との間には有意な関係が認められなかった。これは、400 m 走全体で見れば、必要なエネルギーの多くを無氣的エネルギー供給系に依存し、全身の無氣的運動能力が要求されるが、400 m 走後半に限れば、全身の無氣的運動能力よりも股関節屈曲・伸展筋群の筋持久性の関与が強くなることを意味するものである。また、本研究では図 1 のように酸素負債量といずれの筋持久性とも有意な関係が認められなかった

Fig. 1. Relationship between oxygen debt and muscular endurance ratio of knee and hip.

ことから継続的にトレーニングを行っている陸上競技のランナーにおいては、局所の筋持久力は全身の無氣的運動能力の水準に影響を受けないと推測できる。

B. %Max. Speed と体力的要因との関係

%Max. Speed は、全力疾走速度と有意な負の相関関係にあることから、高い疾走速度を出すことのできる能力と、筋疲労時において全力疾走時により近い速度で走ることのできる能力は相反すると考えられる。この結果が得られた原因の一つとして、被験者の筋線維組成の違いをあげることができる。勝田たち¹⁵⁾は、短距離選手13名、長距離選手17名、十種競技選手1名、ハンドボール競技選手1名の異質集団のなかでは、%FT と 50 m 走の平均走速度とは有意な正の相関関係にあり、12分間中の平均走速度とは負の相関関係にあると指摘している。これは、%FT の高い筋は高速度の運動で大きな筋力を発生することができるが、収縮を繰り返すと %ST の高い筋に比較して、疲労による筋力発揮の低減率が大きいという筋線維タイプの特性に裏付けられる。しかし、一方で麻場たち¹⁶⁾は、短距離選手のみを対象とした等質集団では、脚筋の %FT は、短距離選手として成功する必要条件ではあるが、疾走能力を決定する要因には必ずしもならないことを示唆している。本研究の被験者は、短距離、中距離、混成競技を専門とする勝田らの報告に近い異質集団と

考えられるため、筋線維組成は疾走能力を規定する一要因になり得たという推測が成り立つ。すなわち、%FT の高い者が高い全力疾走速度と低い %Max. Speed を示す傾向にあり、この両要因の間に負の相関関係が認められたものと考えられる。

%Max. Speed は、股関節屈曲・伸展筋持久性指標、膝関節屈曲持久性指標および最大酸素摂取量との間に有意な正の相関関係があった。参考までに %Max. Speed を従属変数、体力測定項目を独立変数とし重回帰分析(ステップワイズ法)を行い、%Max. Speed の約61%は、股関節屈曲持久性指標、膝関節屈曲持久性指標により説明されるという知見が得られたことから、%Max. Speed には筋持久力の要因の関与が強いと考えられる。これまでの研究から筋の持久性のトレーナビリティは高いとされている。筋の持久性の主たる規定因子と考えられている毛細血管は持久性トレーニングにより2倍に増加し^{17,18)}。また酸化系酵素活性も2倍にも高まる¹⁷⁾と報告されている。このうち毛細血管の増加は、ランナーだけでなく、大きな力を持続することが要求されるスポーツ選手(ボート、クロスカンツリースキーヤー)の上腕筋にも同様に認められている¹⁹⁾ことから、ランニングなどの持久性トレーニングだけではなく、筋力トレーニングを適切に行うことでも筋の持久性が改善され、筋疲労時において全力疾走時により近い速度で走ることのできる能力も向上するものと推測できる。

股関節屈曲・伸展運動の重要性については先述の通りであるが、膝関節屈曲運動の持久性の重要性についても考える必要がある。膝関節を屈曲させる大腿二頭筋は、接地局面ではコンセントリックな筋収縮により股関節を伸展させ、身体を推進させる機能を持っており²⁰⁾。これまでも短距離疾走能力を考える上で重視されてきた。これらのことから、この筋群の持久性と股関節屈曲・伸展運動を司る筋群の持久性は、%Max. Speed を高めるために重要であると言える。

%Max. Speed と有意な関係にあった最大酸素摂取量は、一般には有氣的運動能力を知る指標と

して用いられ、短距離疾走能力を規定する要因としては重視されていない。しかし、30秒程度で疲労困憊に至る運動では約35%が、60秒程度で疲労困憊に至る運動では約50%が有気的エネルギー供給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 走においては、かなりの部分、有気的エネルギー供給機構によってまかなわれていると言える。また、山本たち²²⁾の、最大有酸素性パワーに優れる者では自転車ペダリング運動で、10秒以後の発揮パワーに優れる傾向にあるという報告、Ivy et al.²³⁾の、CYBEX II を用いた膝伸展・屈曲運動では、運動開始後45秒の筋パワーと最大酸素摂取量との間に有意な相関関係が認められるという報告から、比較的短時間の全力運動における有気的運動能力の重要性が確認できる。本研究でも図2のように最大酸素摂取量と膝関節屈曲持久性指標とは $r=0.842$ ($p<0.001$)、膝関節伸展持久性指標とは $r=0.779$ ($p<0.001$) の有意な関係が認められている。

これらの報告から、一般に無気的運動と考えられている短距離走にあっても有気的運動能力は重要であると考えられる。実際に麻場たち¹⁶⁾は、最大酸素摂取量などの有気的運動能力を示す指標との間に密接な関係がある毛細血管(FT 線維)と相対的持久疾走能力(60秒間走の平均走速度/30~70 m の平均走速度)との間に有意な相関関係があると報告している。そして毛細血管が発達すれば筋内の酸素貯蔵量が増大し、相対的持久疾走能力

が高まるという関係を指摘している。これは、本研究で得られた最大酸素摂取量が %Max. Speed に影響を及ぼす要因であるという結果を裏付けるものである。また、Saltin & Gollnick²⁴⁾は、持久性トレーニングによる最大酸素摂取量の増加は、筋線維1本あたりの毛細血管数の増加に対応していることを報告している。

これらのことから、筋疲労時において全力疾走時により近い速度で走ることのできる能力を向上させるためには、股関節伸展・屈曲運動と膝関節屈曲運動の持久性を改善することと、毛細血管を発達させるという観点から有気的運動能力を改善することが重要であると考えられる。

V. 要 約

本研究では400 m 走後半の筋疲労状態での疾走能力と体力的要因との関係を検討した。15名のランナー(400 m 走記録 48.90 ± 1.18 s)を対象に、80 m 走、400 m 走のビデオ撮影および酸素摂取能力、酸素負債能力、最大筋パワーおよび筋持久性などの体力的要因の測定を行った。ビデオ分析により80 m 走中の全力疾走速度(50 m 付近の疾走における走速度)、筋疲労時疾走速度(400 m 走中の360 m 付近の疾走における走速度)、%Max. Speed(全力疾走速度に対する筋疲労時疾走速度の割合)を算出した。

主な結果は次の通りである。

- 1) %Max. Speed は、全力疾走速度と有意な負の相関関係にあったことから、高い疾走速度を出す能力と、筋疲労時において全力疾走時により近い速度で走ることのできる能力は相反すると考えられる。
- 2) 筋疲労時疾走速度は、股関節伸展・屈曲運動の持久性指標との間に有意な正の相関関係が認められた。
- 3) 酸素負債量は、400 m 走平均走速度との間に有意な相関関係が認められたが、筋疲労時疾走速度との間には有意な関係が認められなかった。
- 4) %Max. Speed と股関節屈曲・伸展筋持久性、膝関節屈曲持久性および最大酸素摂取量との間

Fig. 2. Ratio between maximal oxygen intake and muscular endurance of the knee.

に有意な正の相関関係が認められた.

(受理日 平成10年6月26日)

文 献

- 1) 宮丸凱史. 短距離走. 陸上競技のコーチング I, 大修館書店, 東京, (1976), 171-298.
- 2) 山本邦夫, 永井 純. 陸上競技トラック, 不昧堂, 東京, (1980).
- 3) Karlsson, J., Hulten, B. & Sjodin, B. Substrate activation and product inhibition of LDH activity in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, (1974), **92**, 21-26.
- 4) Tesch, P. A. Muscle fatigue in man and lactate concentration. *Biomechanics IV-A*, (1978), University Park Press, Baltimore, 68-72.
- 5) Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehnunen, S. & Haerkoenen, M. Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can. J. Spt.Sci.*, (1992), **17**, 141-144.
- 6) 伊藤 章, 市川博啓, 斎藤昌久, 伊藤道郎, 佐川和則, 加藤謙一. アジア大会男子 400 m の動作分析. アジア一流競技者の技術, ベースボールマガジン社, 東京, (1995), 65-80.
- 7) 沼沢秀雄, 杉浦雄策. 200 m, 400 m レースの時間分析, 世界一流競技者の技術. ベースボールマガジン社, 東京, (1994), 50-56.
- 8) Mach, G. マック式短距離トレーニング, 講談社, 東京, (1975).
- 9) Mero, A., Rusko, H., Peltola, E., Pullinen, T., Nummela, A. & Hirvonen, J. Aerobic characteristics, oxygen debt and blood lactate in speed endurance athletes during training. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (1993), **33**, 130-136.
- 10) 尾縣 貢, 福島洋樹, 大山圭悟, 安井年文, 鍋倉賢治, 宮下 憲, 関岡康雄, 永井 純. 下肢の筋持久性と 400 m 走中の疾走速度逓減との関係, 体育学研究, (1998), **42**, 370-379.
- 11) Olsen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J. & Secher, N. H. Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1994), **69**, 140-146.
- 12) Rusko, H., Nummela, A. & Mero, A. A new method for the evaluation of anaerobic running in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1993), **66**, 97-101.
- 13) 阿江通良, 宮下憲, 横井孝志, 大木昭一郎, 渋谷侃二. 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, (1986), **9**, 229-239.
- 14) 尾縣 貢, 関岡康雄, 辻井義弘. 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, (1990), **1**, 14-19.
- 15) 勝田 茂, 高松 薫, 田中 守, 小泉順子, 久野譜也, 田淵健一. 50 m 走と12分間走の成績による外側広筋の筋線維組成の推定, 体育学研究, (1989), **34**, 141-149.
- 16) 麻場一徳, 勝田 茂, 高松 薫, 宮下 憲. スプリンターの疾走能力と外側広筋の筋線維組成および筋毛細血管分布との関係, 体育学研究, (1990), **35**, 253-260.
- 17) Holloszy, J.O. & Booth, F. W. Biochemical adaptation to endurance exercise in muscle. *Ann. Rev. Physiol.*, (1976), **38**, 273-291.
- 18) Holloszy, J.O. & Coyle, E. F. Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequence. *J. Appl. Physiol.*, (1984), **56**, 831-838.
- 19) Mizuno, M., Juel, C., Bro-Rasmussen, T., Mygind, E., Schibye, B., Rasmussen, B. & Saltin, B. Limb skeletal muscle adaptation in athletes after training at altitude. *J. Appl. Physiol.*, (1990), **68**, 496-502.
- 20) 伊藤 章, 斎藤昌久, 淵本隆文. スタートダッシュ時における下肢関節のピークトルクとピークパワー, および筋放電パターンの変化, 体育学研究, (1997), **42**, 71-83.
- 21) Melbo, J. & Tabata, I. Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J. Appl. Physiol.*, (1993), **75**, 1654-1660.
- 22) 山本正嘉, 中村好男, 宮下充正. 90秒間連続の最大努力作業時に発揮されるパワーに関する研究, *J. J. SPORTS SCI.*, (1985), **4**, 308-313.
- 23) Ivy, J. L., Sherman, W. M., Miller, L. M., Maxwell, B. D. & Costill, D. L. Relationship between muscle QO_2 and fatigue during repeated isokinetic contraction. *J. Appl. Physiol.*, (1982), **53**, 470-474.
- 24) Saltin, B. & Gollnick, P. D. Skeletal muscle adaptability—Significance for metabolism and performance. *Handbook of Physiology—Skeletal muscle*. American Physiological Society, Baltimore, (1983), 555-621.