

## 短距離選手における下肢筋容積とパフォーマンスの関係

永吉 俊彦<sup>1</sup>, 丸山 敦夫<sup>2</sup>, 稲木 光晴<sup>3</sup>, 日高正八郎<sup>4</sup>, 池田 耕治<sup>5</sup>

(1999年10月15日 受理)

### The Relationship between Leg Muscle Volume and Performance in Sprinters

Toshihiko NAGAYOSHI, Atsuo MARUYAMA, Mitsuharu INAKI,  
Syouchachirou HIDAHA, and Kouji IKEDA

#### I 緒 言

優れた陸上競技の短距離選手はトレーニングによって多大な筋肉量を身に付け、爆発的な筋パワーを発揮し高いトップスピードで疾走することができる。短距離選手にとって、筋肉は爆発的な筋パワーを生む器官であり、筋肉量の増大は記録を更新するための重要な課題である。

一方、筋力は、筋横断面積に比例しており、性、年齢を超えて筋横断面積当りの筋力はほぼ等しいと言われる。スポーツ競技において、強い筋力及び筋パワーは肥大した筋横断面積によって引き出され、競技成績を左右し、また、スポーツ障害や外傷から身体を守る役割も果たしている。

近年、競技パフォーマンスに影響を与える筋の横断面積や容積の研究が、磁気共鳴映像法、超音波法、X線断層撮影法の開発と共に行われるようになり、大腿や下腿、上腕などの各筋群の筋横断面積や筋容積と各種の筋収縮特性との間に密接な関係があることが指摘されている<sup>1) 2) 7) 12) 13) 14) 15) 16)</sup>。筋容積と筋力との関係についてGadeberg et al.<sup>3)</sup>は下腿部の筋横断面積より下腿部の筋容積が足関節の等速性筋収縮による底屈力及び背屈力と密接な関係のあることを指摘している。このように筋横断面積だけではなく筋容積が筋力や筋パワーにより密接に関係していることが指摘されている。

しかし、身体の筋量がパフォーマンスにとって重要な要因であると考えられる短距離選手において、大腿部及び下腿部の筋容積とパフォーマンスとの関係について論じた研究はほとんどみられない。

そこで本研究は、大学の陸上競技部に所属して定期的に短距離走の練習や筋力トレーニングを行っている大学生短距離選手を対象に、MRIによる筋容積、100 m全力疾走などを測定し、短距離選手の筋容積とスプリント能力との関係を検討した。

---

1. 鹿児島大学大学院教育学研究科, 2. 鹿児島大学教育学部, 3. 西南女学院大学, 4. 日高病院,  
5. 池田放射線診療所

## II 研究方法

### 1 被験者

鹿児島大学陸上競技部に所属し、週6日以上 of 練習を定期的に行う短距離ならびに跳躍種目を専門とする男子学生8名を被験者とした。競技歴は4年～9年、競技レベルは全日本インカレ出場者ならびに九州インカレに入賞もしくは出場した選手である。なお、被験者の身体特性については、表1に示した。

表1 短距離選手における身体特性及び脚の形態

parameters	unit	means	S. D.	Range
年齢	age	19.9	1.13	19-21
身長	cm	174.9	3.99	168.7-180.0
体重	kg	65.6	4.84	58.2-72.4
体脂肪率	%	11.2	2.29	7.6-13.5
殿囲	cm	90.8	3.20	85.8-94.5
大腿囲 (70%)	cm	54.7	3.08	49.5-59.5
大腿囲 (50%)	cm	51.7	1.97	49.6-55.5
大腿囲 (30%)	cm	43.6	3.33	35.7-46.0
下腿囲	cm	37.8	1.18	36.4-39.5
足首	cm	22.1	0.76	21.0-23.0
大腿長	cm	41.0	2.05	36.4-43.3
下腿長	cm	38.5	1.14	37.0-40.0

### 2 測定項目及び測定方法

スプリントタイムは被験者に過去1年以内のスタートダッシュ付き (S. D.) 30 m, 100 m 走及び100加速走の最も良い記録をインタビューによって調査した。なお、調査した100 m 走のスプリントタイムについては公式における記録とした。

#### (1) 疾走フォームの撮影及び測定

疾走フォームの撮影は、屋内の全天候型グラウンドを使用して行なった。100 m 疾走中の平均速度、ピッチ (歩数) 及びストライド (歩幅) を調べるため、100 m 疾走で最も高いスピードが発揮される距離である50 m 地点を中心に、左右の脚が1歩ずつ (1 サイクル) 映る前後3.5 m, 計7 m の範囲を撮影した。撮影は、走動作における接地・離地等の微妙な下肢の動きがわかるようにハイスピードカメラ250コマ/秒 (NAC 社製) を用いて行なった。画像処理時にできるだけ誤差を少なくするため、撮影に際して測定点 (23ヶ所) に蛍光テープを張り付けた。測定点の座標はFrame-DIAS プログラムを用いた自動打点法によって入力された。疾走速度は撮影範囲である7 m 間のポイントと被験者の大転子点とその範囲を移動した時間から算出した。ピッチ (歩数) 及びストライド (歩幅) は連続した2歩 (1 サイクル) の平均値から計算した。

#### (2) 磁気共鳴映像法 (Magnetic Resonance Imaging: MRI)

MRIによる測定は、日立NRイメージング装置「MRP-20EX」(HITACHIメディコ社製) を用い

で行った。この装置の永久磁気強度は0.2テスラーであり、測定はスピンエコー法である。測定条件は、TRで300 msec, TE 2で5 msec, encodeで160とし、重ね合わせ回数は4回である。測定部位は、被験者の下肢の利き足を上は大転子から下は外果点までを撮像し、大転子から遠位方向へ10 cmまではスライス間隔10 mm, 以後17.5 mm間隔でスライスした。大腿及び下腿長は被験者間で異なるため、スライス枚数は各被験者で異なった。また横断像を撮像する際、下肢における筋がつぶれないようにするため臀部や膝に特製の台を設け形態的な特徴を崩さないよう努めた。横断像によってスライスされた筋横断フィルムから大腿の伸筋群（大腿四頭筋：大腿直筋，内側広筋，外側広筋，中間広筋），屈筋群（ハムストリングス：大腿二頭筋，半腱様筋，半膜様筋），内転筋群（大内転筋，長内転筋，短内転筋，薄筋）及び下腿筋群の輪郭をトレース紙に書き写し，拡大コピーしたものをスキャナ（EPSON GT-9000）からパーソナルコンピュータ（Power Macintosh9500/120）に取り込み，NIH Image1.62/ppcのプログラムソフトによって各筋群の横断面積を測定した。得られた筋横断面積（cross-sectional-area: CSA）の値から積分方程式により各筋群における筋容積を推定し算出した。

### 3 統計処理

測定した各項目間についての相関関係は，Pearsonの相関係数を用い5%水準をもって統計学的に有意とした。

## III 結 果

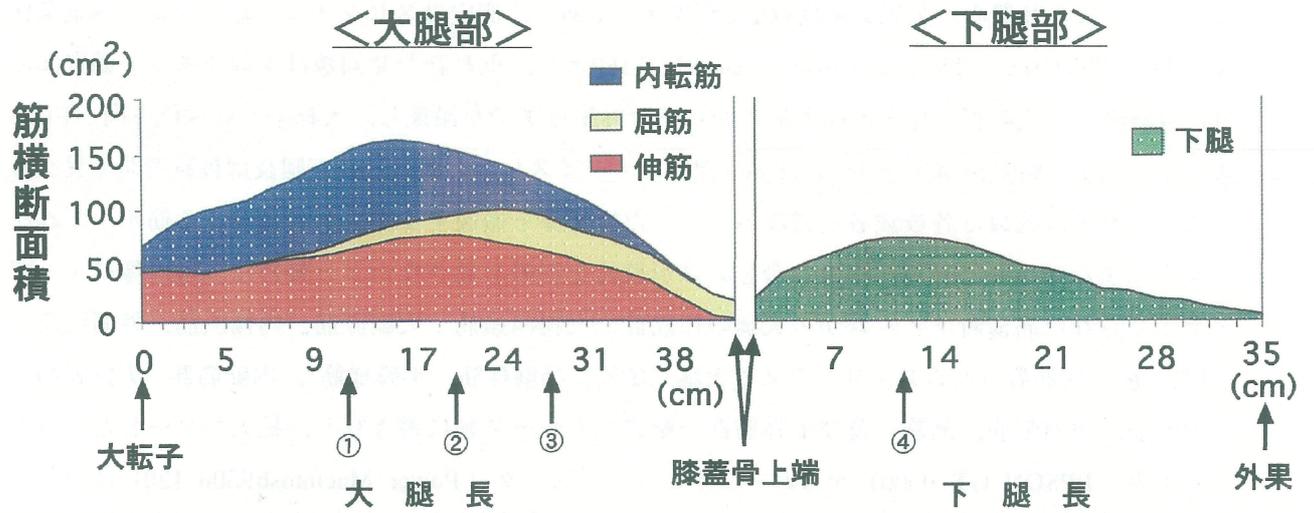
### 1 短距離走のパフォーマンス

被験者のS. D. 30 m, 100 m走及び100 m加速走のベストタイムの平均値（±標準偏差）は，表2に示されたとおりであり，それぞれ記録は4.10 sec（±0.20），11.90 sec（±0.77），11.00 sec（±0.94）であった。各被験者の疾走速度，ピッチ（歩数），ストライド（歩幅）の平均値（±標準偏差）は，順に9.86 m/sec（±0.63），4.55 steps/sec（±0.35），2.17 m/step（±0.06）であった。

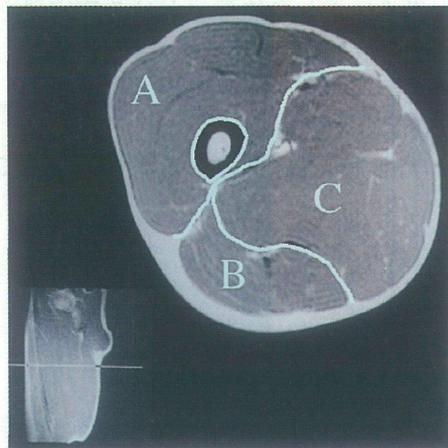
表2 スプリントタイムと最大疾走速度時の動作解析

parameters	unit	means	S. D.	Range
S. D. 30 m*	sec	4.10	0.20	3.80-4.51
100 m 走	sec	11.90	0.77	10.73-13.34
100 m 加速走	sec	11.00	0.94	9.60-12.40
疾走速度	m/sec	9.86	0.63	8.60-10.48
ピッチ	steps/sec	4.55	0.35	4.84-3.74
ストライド	m/step	2.17	0.06	2.30-2.13

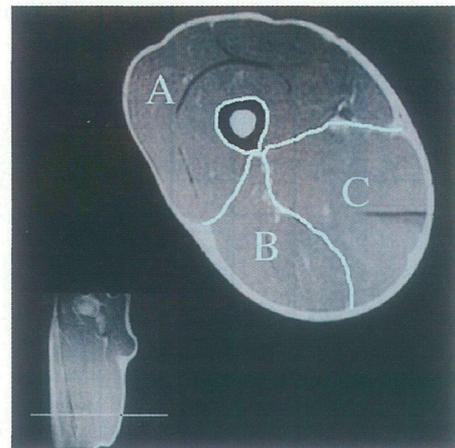
\*S. D. は，スターティングブロックを用いてのスタートダッシュを意味する。



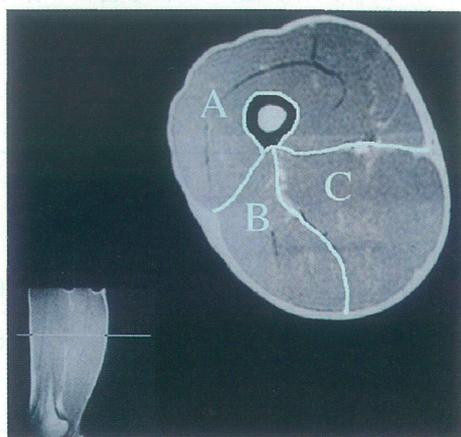
①脛骨点から70%部位



②脛骨点から50%部位



③脛骨点から30%部位



④下腿 (最大囲)



A-伸筋群 B-屈筋群 C-内転筋群

図1 典型的な短距離選手の大腿部及び下腿部における各筋群の筋横断面積の形状とMRI画像写真

## 2 MRI測定による大腿部及び下腿部の筋容積

典型的な短距離選手の大腿及び下腿の各筋群ごとの筋断面形状及び筋横断面積のMRI画像写真を図1に示した。大腿部や下腿部の各筋群の形状が模式的にみることができる。各筋横断面積(CSA)から求めて算出した各筋群における筋容積(muscle volume: MV)の平均値(±標準偏差)は、表3に示されているように、伸筋群では2273.3 cm<sup>3</sup> (±233.27)、屈筋群では782.6 cm<sup>3</sup> (±104.64)、内転筋群では1466.5 cm<sup>3</sup> (±182.94)であり、大腿総筋容積では4522.1 cm<sup>3</sup> (±425.97)であった。下腿部(脛骨点から外果点まで)の筋容積の平均値(±標準偏差)は、1500.6 cm<sup>3</sup> (±135.51)であった。また、大腿総筋容積における各筋群の筋容積の割合(%)は、伸筋群、屈筋群及び内転筋群でそれぞれ50.3% (±1.64)、17.3% (±1.52)、32.4% (±2.85)であり、下腿の筋容積/大腿総筋容積の比率は33.4% (±3.52)であった(表4)。

表3 短距離選手における大腿部の各筋群容積と総筋容積及び下腿部容積

被験者 (n=8)	大 腿 筋 容 積				下腿筋容積 cm <sup>3</sup>
	伸 筋 cm <sup>3</sup>	屈 筋 cm <sup>3</sup>	内転筋 cm <sup>3</sup>	総容積 cm <sup>3</sup>	
D. U.	2236.3	742.9	1757.3	4736.5	1409.9
T. O.	2054.6	642.9	1466.2	4163.6	1323.6
Y. Kan.	2402.2	887.7	1288.7	4578.6	1690.9
Y. Kam.	2612.4	970.9	1579.6	5162.9	1553.4
S. K.	2515.5	772.2	1631.9	4919.6	1391.2
N. H.	2132.9	756.2	1437.0	4326.0	1600.8
H. H.	2304.6	795.1	1361.6	4461.4	1634.4
T. M.	1925.9	692.6	1209.5	3828.1	1400.3
means	2273.1	782.6	1466.5	4522.1	1500.6
S. D.	233.27	104.64	182.94	425.97	135.51

表4 短距離選手における大腿筋容積に対する各筋群の役割及び大腿に対する下腿の筋容積の比率

被験者 (n=8)	大腿総筋容積における各筋群(%)			下腿の筋容積/ 大腿総筋容積の比率 %
	伸 筋 %	屈 筋 %	内転筋 %	
D. U.	47.2	15.7	37.1	29.8
T. O.	49.3	15.4	35.2	31.8
Y. Kan.	52.5	19.4	28.1	36.9
Y. Kam.	50.6	18.8	30.6	30.1
S. K.	51.1	15.7	33.2	28.3
N. H.	49.3	17.5	33.2	37.0
H. H.	51.7	17.8	30.5	36.6
T. M.	50.3	18.1	31.6	36.6
means	50.3	17.3	32.4	33.4
S. D.	1.64	1.52	2.85	3.74

### 3 各筋容積と疾走動作及び競技パフォーマンスとの関係

筋容積と疾走動作及び競技パフォーマンスとの関係において、内転筋群の筋容積と疾走速度 (m/sec) 及び100 m スプリントタイム (図2) との間にそれぞれ  $r=0.773$  ( $p<0.05$ ),  $r=-0.772$  ( $p<0.05$ ) で有意な相関関係が認められた。また、図3に示したように大腿総筋容積に対する内転筋群の割合 (%) とピッチ (steps/sec) との間に、 $r=0.779$  ( $p<0.05$ ) で有意な相関関係が得られた。しかしながら、大腿部における内転筋群以外の伸筋群、屈筋群と疾走動作との間には有意な相関関係は得られなかった。また、下腿の筋容積/大腿総筋容積の比率 (%) と100m スプリントタイムとの間にも  $r=0.823$  ( $p<0.05$ ) で有意な相関関係が認められた (図4)。

## IV 考 察

大腿部あるいは下腿部における筋横断面積 (CSA) を測定した報告は、大腿中央部や大腿長の30, 50, 70% 部位あるいは下腿部の CSA で比較しており、筋容積を含めて検討している研究は少ない。そこで、本研究は短距離選手における下肢の筋容積とパフォーマンスであるスプリント能力との関係を検討した。

本研究の短距離選手の筋容積は、伸筋群で  $2273.1 \text{ cm}^3$ 、屈筋群で  $782.6 \text{ cm}^3$ 、内転筋群で  $1466.5 \text{ cm}^3$  であった。下肢の筋容積を測定した研究として、秋間ら<sup>11)</sup> は、鍛錬された成人男性22名を対象に大腿部のそれぞれの筋の起始部から停止部までの筋横断面積 (CSA) をスライス厚10 mm で測定し、容積を算出している。筋容積の平均値は伸筋群で  $2350.8 \text{ cm}^3$  であり、屈筋群が  $968.3 \text{ cm}^3$  であったことを報告している。本研究の各筋群の数値はやや小さいが、これは測定部位の範囲や種目特性の違いによるものと考えられる<sup>9) 10)</sup>。

そこで、脚筋の筋容積を報告した研究が少ないため、筋の横断面積を比較してみると、本研究による大腿四頭筋 (伸筋群) の50% 部位 CSA の平均値±標準偏差は  $80.7 \pm 6.2 \text{ cm}^2$  であった。Maughan et al.<sup>14)</sup> は健康な若者 (50人: 男性25人, 女性25人) を対象に、大腿中央部の四頭筋 CSA を CT を用いて測定しており、男性の CSA の平均値が  $83.2 \text{ cm}^2$ 、女性が  $55.4 \text{ cm}^2$  であったと報告している。

一方、競技者を対象にしている研究として、Hakkinen et al.<sup>5)</sup> は超音波装置を用いて筋力鍛錬者 (SA)、スプリンター (SPA)、持久性鍛錬者 (EA) の3つのグループの大腿中央部の四頭筋を測定し、SA、SPA、そしてEAの CSA の平均値はそれぞれ  $80.4 \text{ cm}^2$ 、 $80.1 \text{ cm}^2$ 、 $72.8 \text{ cm}^2$  であったと報告している。また、重量挙げ選手、自転車競技選手、クロスカントリー選手、習慣的な運動実施者そして座業従事者における大腿中央部の総 CSA の平均値は  $171.41 \text{ cm}^2$  ( $150.2-270.2 \text{ cm}^2$ ) であると言われている。本研究の短距離選手は大腿50% 部位の筋横断面積 (CSA) で Hakkinen らの報告とほぼ同じ値を示している。また、本研究の大腿中央部の総 CSA の平均値も  $173.5 \text{ cm}^2$  であることから、本研究の短距離選手の筋横断面積はほぼ妥当な値を示しており、これら多くの筋横断面積から構成される筋容積も適切な値であると考えられる。

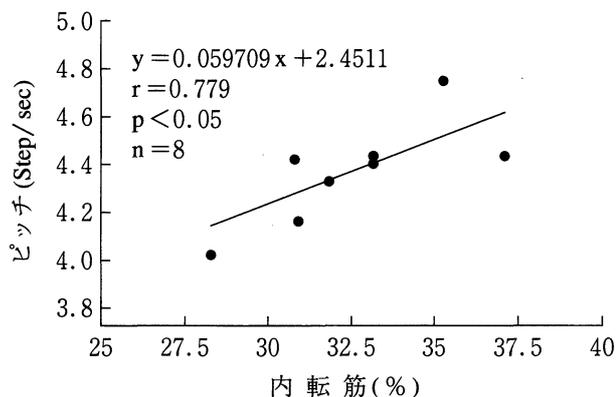
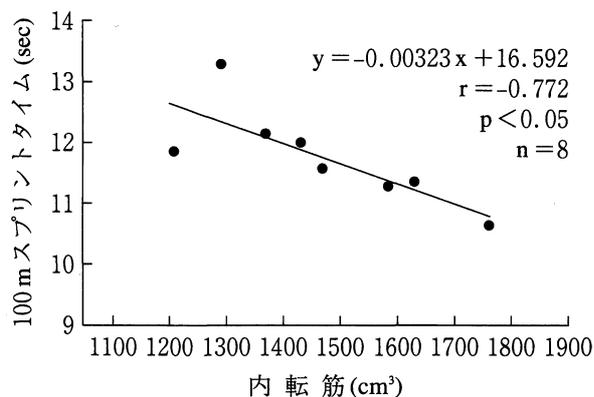


図2 内転筋の筋容積と100mスプリントタイムとの関係 図3 大腿における内転筋の占める割合とピッチとの関係

大腿の伸筋群，屈筋群，内転筋群及び下腿筋群の筋容積と競技パフォーマンスとの関係を検討してみると，内転筋全体の筋容積と疾走速度及び100mスプリントタイムとの間により有意な相関関係が得られた（図2）。本研究でもCSAと100mスプリントタイムの関係をみると，100mスプリントタイムと大腿部内転筋群の70%CSAとの間に有意な相関関係は得られたが，50%CSAの間では関係が認められなかった。狩野ら（1997）<sup>8)</sup>は，大腿上部に位置する内転筋の筋横断面積とスプリントタイムとの間に高い相関関係が認められたことを報告している。CSAに関しては狩野らと同様な結果は得たが，同じ内転筋群でも選択したCSAでタイムとの関係が変わることを考えると，筋容積でスプリントタイムとの関係を見る方がより妥当であると考えられる。

また，本研究ではピッチと大腿総筋量に対する内転筋群の割合（%）（図3）との間に有意な相関関係が認められた。ピッチはストライドとともに疾走速度を構成している要因である。この結果から，内転筋群の筋容積は走運動におけるピッチ，疾走速度，そしてパフォーマンスに重要な役割を果たしていることが示唆された。内転筋はその付着する位置からそのほとんどが大腿上部で，大腿骨と骨盤の関節を構成する筋群として位置している。内転筋はピッチを生み出すのに必要な筋群であり，疾走速度を規定する重要な筋群であると考えられる。一流スプリンターは高いピッチと大きなストライドによって素晴らしい記録を生んでいる。これらの選手の内転筋は非常によく発達していることがうかがえる。本研究で得られた結果から，内転筋の筋容積が短距離走のパフォーマンスに大きな影響を及ぼしていることが示唆された。

下腿の筋容積/大腿総筋容積の比率（%）と100mスプリントタイムとの間に図4に示めされるように，有意な高い相関関係がみられた。この結果は，大腿筋容積が大きくなおかつ下腿部の筋容積が少ないことがパフォーマンスに影響していることを示している。中間疾走時のスイング期において，疾走速度を高めるには，接地直前の最大振り戻し速度が高いことが重要であると言われてい<sup>6) 11)</sup>。スイング期の振り戻し速度を高めるには大腿部に対する下腿部の重量が軽いことが物理的に有利であると考えられる。また，形態的に世界のトップスプリンターは盛り上がった臀部と細いふくらはぎをしていることが述べられている<sup>17)</sup>。このように，本研究の下腿の筋容積/大腿総筋容積の比率が小さいことは，疾走速度と関係する振り戻し速度に有効に作用すると考えられる。

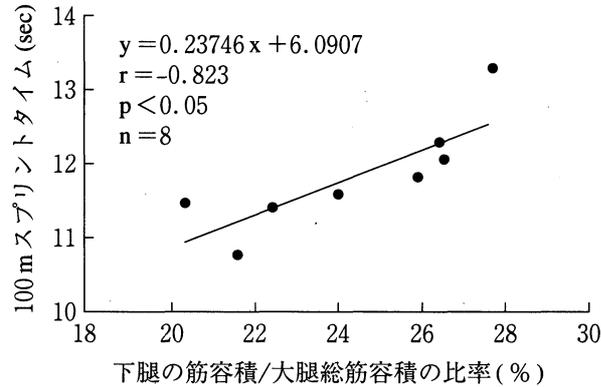


図4 下腿の筋容積/大腿総筋容積の比率と100mスプリントタイムとの関係

本研究では、大腿部内転筋群の筋容積とパフォーマンス、ピッチとの関係を導き出すことができた。さらに、下腿の筋容積/大腿総筋容積の比率とパフォーマンスとの間にも密接な関係が認められた。これらのことより、筋横断面積より筋長の要因を含む脚の筋容積量が短距離選手のパフォーマンスを決定する要因の一つとして重要であることが考えられる。

## V 要 約

本研究は、大学に所属している短距離選手の大腿部及び下腿部の筋容積とスプリント能力との関係について検討した。その結果、短距離選手における内転筋の筋容積と疾走速度及び100mスプリントタイムとの間に有意な相関関係が認められ、内転筋がパフォーマンスに大きく関与していることが示唆された。さらに、疾走速度を構成するピッチが、大腿総筋量に対する内転筋の割合と深く関わっていることがわかった。短距離選手の下腿の筋容積/大腿総筋容積の比率 (%) と100mスプリントタイムとの間に有意な高い相関関係が得られた。以上のことから、筋横断面積より筋長の要因を含む脚の筋容積量の方が短距離選手のパフォーマンスを決定する要因の一つであることが示唆された。

## 文 献

- 1) 秋間 広, 久野譜也, 福永哲夫, 勝田 茂. MRIによるヒトの膝伸筋・膝屈筋における形態的特性および生理学的断面積当りの筋張力. 体力科学 44: pp267-278, 1995.
- 2) 秋間 広, 久野譜也, 高橋英幸, 下條仁士, 勝田 茂. 異なる部位における大腿四頭筋の各筋頭の筋断面積と筋線維組成が等速性膝伸展力に及ぼす影響. 体育学研究 39: pp426-436, 1995.
- 3) Gadeberg P., H. Andersen and J. Jakobsen. Volume of ankle dorsiflexors and plantar flexors determined with stereological techniques. J. Appl. Physiol. 86: pp1670-1675, 1999.
- 4) Haggmark T., E. Jansson and B. Svane. Cross-sectional area of the thigh muscle in man measured by computed tomography. Scand. J. clin. Lab. Invest. 38: pp355-360, 1978.
- 5) Hakkinen K. and K. L. Keskinen. Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics

- in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *Eur. J Appl. Physiol.* 59 : pp215-220, 1989.
- 6) 伊藤 章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道. 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 : pp260-273, 1998.
  - 7) Ikai, M., and T. Fukunaga. Calculation of muscle strength per unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeitsphysiol.* 26 : pp26-32, 1968.
  - 8) 狩野 豊, 高橋英幸, 森丘保典, 秋間 広, 宮下 憲, 久野譜也, 勝田 茂. スプリンターにおける内転筋群の形態特性とスプリント能力の関係. *体育学研究* 41 : pp352-359, 1997.
  - 9) 勝田 茂. 筋の特性からみたスポーツ選手の素質. *体育の科学* 43-11 : pp874-880, 1993.
  - 10) 勝田 茂, 久野譜也, 板井悠二. MRIによる一流アスリートの大腿部筋組成. *筑波大学体育科学系紀要* 16 : pp107-119, 1993.
  - 11) 丸山敦夫, 富樫浩輝. 短距離走のパフォーマンスに及ぼす走技術の影響について. *鹿児島大学教育学部研究紀要* 37 : pp41-54, 1985.
  - 12) Maughan R. J. Relationship between muscle strength and muscle cross-sectional area implications for training. *Sports Medicine* 1 : pp263-269, 1984.
  - 13) Maughan R. J., J. S. Watson, and J. Weir. Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 50 : pp309-318, 1983.
  - 14) Maughan R. J., J. S. Watson, and J. Weir. Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J. Physiol. (London)* 338 : pp37-49, 1983.
  - 15) Maughan R. J., J. S. Watson, and J. Weir. Muscle strength and cross-sectional area in man: A comparison of strength-trained and untrained subjects. *Brit. J. Sports Med.* 18-3 : pp149-157, 1984.
  - 16) Schantz, P., E. Randall-Fox, W. Hutchison, A. Tyden, and P. O. Astrand. Muscle fibre type distribution, muscle cross-sectional area and maximal voluntary strength in humans. *Acta Physiol. Scand.* 117 : pp219-226, 1983.
  - 17) 魚住廣信. 推進力を生み出すスプリント動作について. *スプリント研究* 7 : pp61-67, 1997.