

MRIによる一流アスリートの大腿部筋組成

勝田 茂・久野 譜也*・板井 悠二**

Muscle composition of various athletes by MRI

Shigeru KATSUTA, Shin-ya KUNO* and Yuji ITAI**

Since manners of physical activities and active sites in human while doing sports vary greatly depending on the type of the sports, continuous training of exercises specific to a certain game may effect morphological characteristics of femoral muscles. No study has been made on muscle morphology of whole femoral part, although muscle belly has mainly been evaluated. In this study, the characteristics of muscle composition in the whole femoral part were evaluated in excellent male and female athletes in various events using MRI. Sixty-six of male and female athletes within the ranks of top 10 in Japan or member of all Japan in 8 events were employed. Twenty male and female in the control group were also subjected. In determination of muscle cross-sectional area by MRI, longitudinal section was first imaged, and the image thus obtained was used to identify greater trochanter and intercondylar eminence of shank. From the position of 70% of the distance from intercondylar eminence, 11 axial images in MRI were subsequently taken at a same interval of distance toward the knee. From axial images obtained, the cross-sectional areas of quadriceps muscle and muscle of hamstrings were calculated. With regard to the characteristics by the event in male athletes, the subjects were classified into two types. In one type, both muscle groups in upper femoral part were greatly developed but not in lower part (Ex. Track & Field). In the other type, both of the upper and lower femoral parts showed great development (Ex. Soccer). Female athletes indicated significantly high values at any position of slices.

key words : MRI, elite athlete, muscle cross-sectional area

緒 言

競技スポーツは、種目により身体活動様式や活動部位が大きく異なるため、その種目特有のトレーニングを長期にわたって続けることが、筋の量的状態に大きな影響を及ぼすことは想像に難くない。また、とくに一流選手においては、トレーニングによって改善されるばかりではなく、もともとその種目に適した筋の形態を持っていた可能性も十分に考えられる。したがって、一流選手に

おける特徴を明らかにすることは、例えばタレントの発掘などにも役立つことが考えられる。また、目標とすべき像が明らかにされれば、トレーニング方法を考案するにあたっての基礎資料にもなるであろう。

これまでアスリートの筋横断面積の検討には、超音波法(3, 5, 6, 7, 19), X線-CT法(14, 16)が多く用いられている。角田ら(19)は、超音波法により日本の一流あるいは一流に近い選手を用いて、競技種目による違いが大腿骨長遠位50%の大腿四頭筋の面積に影響を与えるかどうかについて検討した。しかしながら、かならずしも明確な競技特

* 東京大学教養学部・体育科

** 筑波大学臨床医学系・放射線科

性は明らかにされていない。この理由としては、同一種目における被検者の競技レベルに差がある可能性、および筋横断面積の評価が1ヶ所で行われていないことなどが考えられる。実際、これまで競技特性と筋横断面積との関係を検討した研究では、1ヶ所での評価しか行われていない。種目により運動様式が異なれば、大腿部を構成する各筋への負荷のかかる程度も異なることは十分に予想される。そのため、種目の違いによる大腿部の筋の形態的特性を明らかにするためには、数

ヶ所にわたる横断面積の検討が必要になると考えられる。

これらの課題を解決するためには、各種目トップレベルの被検者を用いること、および大腿における数ヶ所の筋横断面積を検討することが必要となる。そこで本研究では、各種目のトップアスリートを用い、磁気を生体に照射するだけでこれまでの映像法より解像能が高く、しかも安全である磁気共鳴映像法 (Magnetic Resonance Imaging; MRI) を用いて、各種目における一流選手の大腿部の筋

Table 1a. Physical characteristics of male subjects.

Sports event	n	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
Track & Field	24	21.8(2.5)	177.2(5.4)	70.6(11.4)
Sprint	7	20.9(1.3)	173.4(4.8)	64.6(8.0)
Middle distance	3	20.7(1.2)	171.0(6.6)	64.0(3.0)
Jump	11	23.0(3.2)	180.2(3.6)	69.9(5.1)
Throw	3	21.7(0.6)	180.3(3.1)	94.3(19.2)
Soccer	6	22.3(1.2)	179.4(2.4)	74.6(9.5)
Volleyball	1	22.0(-)	193.0(-)	88.0(-)
Handball	1	22.0(-)	182.0(-)	75.0(-)
Judo	1	22.0(-)	170.0(-)	83.0(-)
Speed skate	3	23.5(1.7)	176.5(3.6)	67.5(2.8)
Ski(Jump)	7	21.5(1.9)	169.1(4.1)	57.5(3.8)
Ski(Combine)	4	24.0(1.8)	172.0(3.2)	61.6(4.6)
Total	47	22.0(2.3)	177.8(1.8)	72.2(3.5)
Control	6	21.8(2.4)	169.1(1.6)	65.2(6.7)

Values are means. () is SD.

Table 1b. Physical characteristics of female subjects.

Sports event	n	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)
Track & Field	14	20.1(1.1)	164.5(5.4)	55.1(8.0)
Sprint	3	19.0(1.3)	164.0(3.0)	53.3(3.8)
Middle distance	5	20.4(1.1)	158.8(2.6)	48.0(4.2)
Jump	3	19.7(0.6)	165.7(2.5)	54.7(1.5)
Throw	3	21.3(0.6)	171.7(3.8)	66.7(9.1)
Volleyball	1	24.0(-)	183.0(-)	73.0(-)
Tennis	1	19.0(-)	160.0(-)	55.0(-)
Judo	1	22.0(-)	163.0(-)	70.0(-)
Speed skate	2	21.0(-)	162.0(-)	58.0(-)
Total	19	20.4(1.4)	164.9(6.4)	54.6(8.6)
Control	14	23.6(1.1)	158.7(4.9)	51.1(4.1)

Values are means. () is SD.

組成を検討することを試みた。

方 法

a 被検者

被検者には、8競技種目（陸上競技、サッカー、バレーボール、ハンドボール、テニス、柔道、スピードスケート、スキージャンプおよびスキー複合）の日本代表選手あるいは日本ランキング10位以内の選手66名（男子47名、女子19名）を用いた、また、コントロールとして規則的な運動経験を持たない同世代の男女20名（男子6名、女子14名）を用いた。なお、身体的特性を表1に示した。

b MRIの測定（筋断面積の測定）

MRIの撮影には、筑波大学附属病院に設置されている超電導MR装置（1.5T）を用いた。測定の際には、あらかじめ下半身の縦断像を撮影し、その像より大転子と脛骨頭の顆間隆起を同定し、この間の膝より70%の位置を決定した。横断像は、70%の位置から遠位方向へ等間隔（12mm間隔）で15枚撮影した。用いられたMRIのパルスシーケンスは、900/20 msec、スライス厚（1枚の横断像を作るための生体の厚さ）は10mmとした。なお撮影時、被検者には右脚膝関節を完全に伸展させ、さらに膝および臀部に特製の台を用い、大腿部横断面積に影響を及ぼさないように考慮がなされた。

それぞれの被検者について撮影された15枚の横断像より、分析が可能なスライスまで筋横断面積の分析を行った。また、縦断像より大腿長の50および30%にあたる横断像が決定された。測定部位は、右大腿部の全横断面積（筋、脂肪および骨を含む全ての横断面積：cross-sectional area：CSA）、筋横断面積（筋のみの横断面積：total muscle area：TMA）、大腿四頭筋（M. quadriceps femoris：MQF）および大腿二頭筋、大内転筋・短内転筋・長内転筋・薄筋を一群（HM）として面積を求めた。また大腿四頭筋についてはさらに大腿直筋（M. rectus femoris：RF）、外側広筋（M. vastus lateralis：VL）、内側広筋+中間広筋（M. vastus medialis + M. vastus intermedius：VM+VI）の面積について検討した。なお、内側広筋と中間広筋は画像上で分離不可能なため、両筋をあわせて計測した。

結 果

1 MRIによる大腿部の横断像

図1には、男子の柔道（世界チャンピオン）、バレーボール（全日本）、陸上競技（三段跳び；日本記録保持者）、スキージャンプ（オリンピック4位）の各選手と女子の陸上競技選手（中距離学生1位、混成競技日本2位）および男女一般人におけるそれぞれ70%部位のMRI像を示した。男子の柔道およびバレーボール選手における全筋量は、視覚的にも陸上あるいはスキージャンプに比べて大きいことがわかる。一方、各種目とも男子選手は、一般人に比べ明らかに皮下脂肪量の少ないことが視覚的に示されている（図1-1~4,7）。それに対し女子選手の場合、一般人と比較しても男子選手にみられるほど顕著に皮下脂肪量における差は認められない（図1-5,6,8）。

2 競技種目間の比較

図2（男子）および図3（女子）には、測定した大腿部の各スライスのそれぞれの筋横断面積の平均値（絶対値）を競技種目別および筋群別に示した。測定されたカラムの数が異なるのは、大腿長の違いである。したがってこれらの図は、大腿部の筋の形状をほぼ表していると考えられる。

全筋横断面積について男子では、柔道が大腿の上部において他の競技に比べて高値を示した。とくに、VM+VIおよびHMの筋横断面積が大きい傾向にあった。一方、大腿の下部ではサッカーあるいはバレーボールの球技系と比べると絶対値において低値を示す。柔道ほど極端ではないが陸上競技においてもその傾向は認められる。例えば、図2の陸上競技とサッカーとを比較すると、大腿の上部のスライスでは、全筋断面積あるいは各筋群の横断面積はほぼ近い値を示している。しかしながら、大腿下部のスライスでは、明らかにサッカーの方が陸上競技に比べてより大きな筋横断面積を示す。したがって本研究では、サッカーのように大腿全体にわたって筋量が多いタイプ（バレーボール、スピードスケート）と陸上競技のように大腿の上部の筋発達下部に比べて顕著なタイプ（柔道、スキー複合およびスキージャンプ）に分類することを試みた。そこで、この仮説を検証するために、大腿上部（70%）の全筋横断面積に対する大腿下部（30%）の相対的割合を求めた

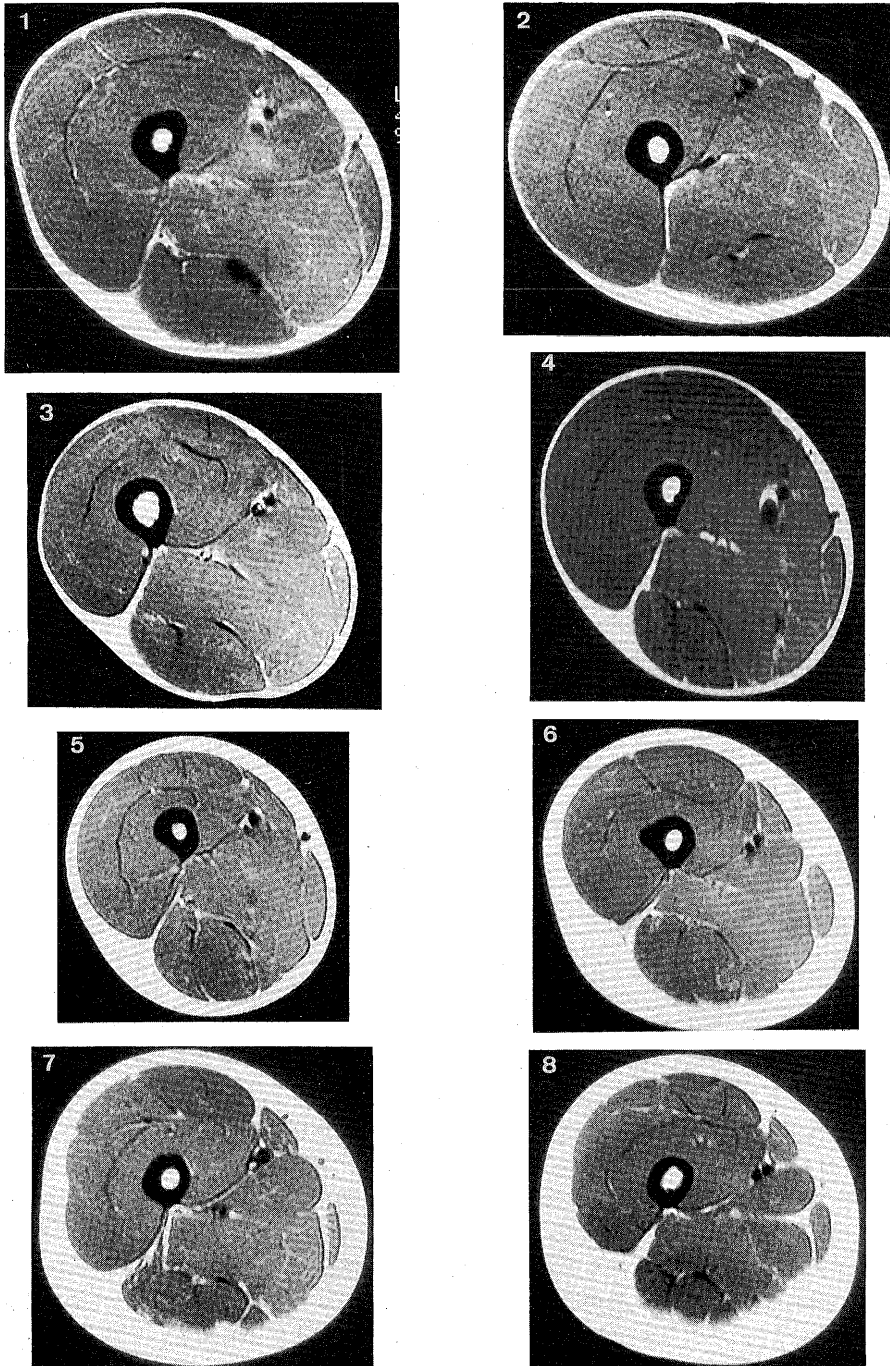


Fig. 1 MR imaging of thigh in various elite athletes and control subjects. 1 Judo (world champion, male), 2 Volleyball (all Japan, male), 3 T & F (jump; Japanese record holder, male), 4 Ski jump (Olympic 4th, male), 5 T & F (middle distance, inter college champion, female), 6 T & F (heptathlon, inter college champion, female), 7 Control (male), 8 Control (female)

Male

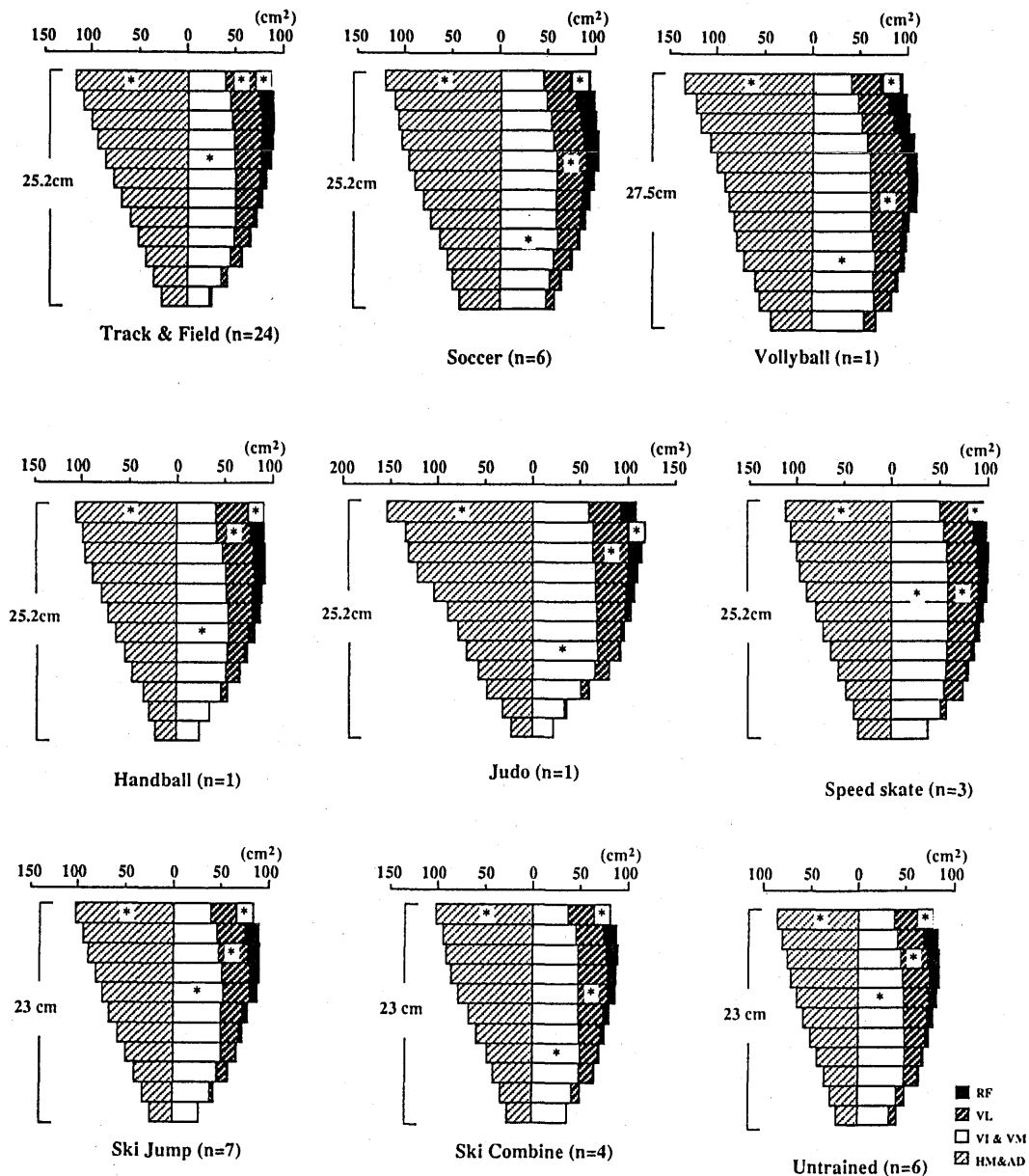


Fig. 2 Muscle cross-sectional areas by MRI in various male athletes and control subject. The astaric (*) is the biggest area of each muscle group.

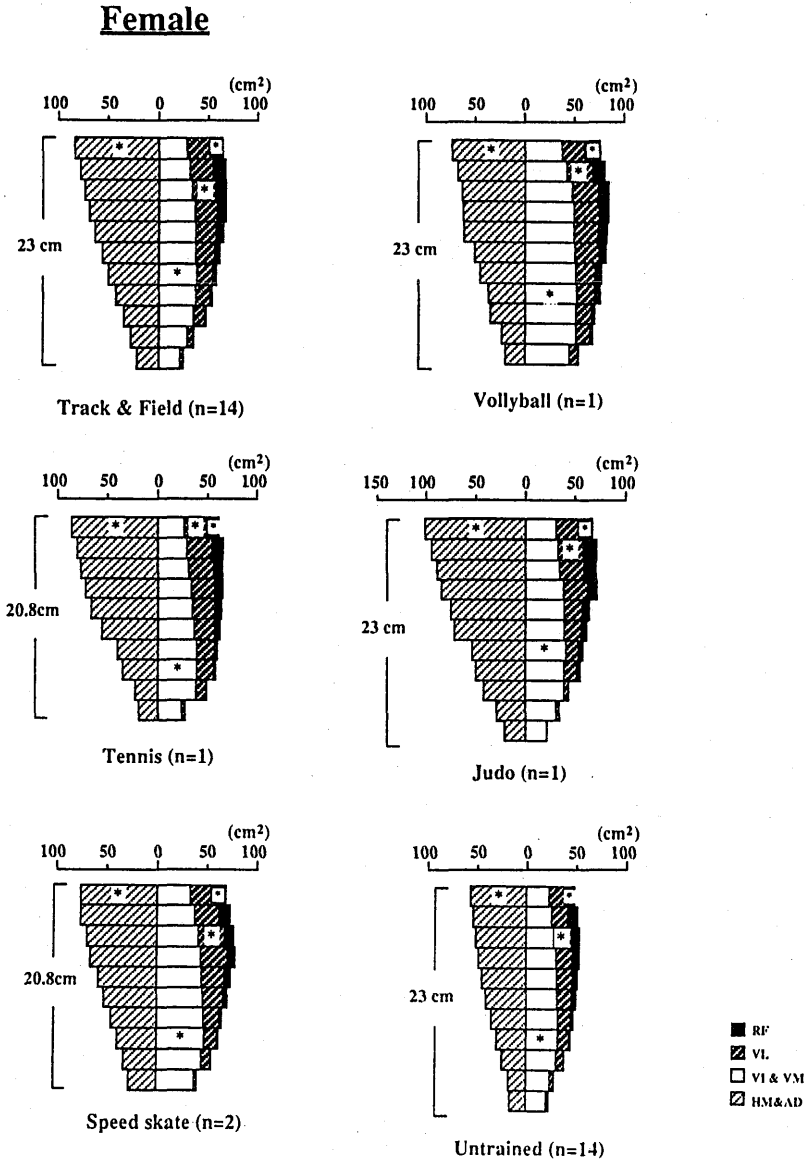


Fig. 3 Muscle cross-sectional areas by MRI in various female athletes and control subject. The astaric (*) is the biggest area of each muscle group.

(表 2)。大腿下部の筋量の占める割合が最も高いタイプは、サッカー (65.9%) で、次いでスピードスケート (65.4%)、バレーボール (61.8%) であり、ここまでの60%以上を示した。逆に、大腿下部における筋量の占める割合が小さいのは、

柔道 (52.7%)、陸上 (55.3%) などであった (表 2)。また、陸上競技の中で種目別に検討してみると、中距離は比較的この割合が高い (59.3%) のに対し、短距離は小さい (53.1%) という結果が得られ、同じ走るという運動形態でありながら

Table. 2 The ratio to upper (70%)/lower (30%) position in total muscle cross-sectional area of thigh.

	Male				Female			
	N	70% (cm ²)	30% (cm ²)	ratio of 30/70% (%)	N	70% (cm ²)	30% (cm ²)	ratio of 30/70% (%)
Track & Field	24	203.6	112.6	55.3(1.9)	14	148.5	88.8	59.8(2.3)
Sprint	7	199.2	105.8	53.1(0.9)	3	145.2	94.4	65.0(1.9)
Middle distance	3	200.5	118.9	59.3(1.3)	5	143.9	88.1	61.2(1.1)
Jump	11	199.8	110.2	55.2(2.4)	5	150.4	81.8	54.4(1.3)
Throw	3	239.7	134.4	56.1(1.1)	3	156.9	96.3	61.4(2.8)
Soccer	6	214.7	141.5	65.9(2.3)	0	---	---	---(---)
Volleyball	1	231.6	143.1	61.8(---)	1	149.0	91.4	61.1(---)
Handball	1	200.0	115.2	57.6(---)	0	---	---	---(---)
Tennis	0	---	---	---(---)	1	148.5	93.6	63.0(---)
Judo	1	267.9	141.3	52.7(---)	1	169.1	105.8	62.6(---)
Speed skate	3	206.6	135.1	65.4(1.5)	2	148.3	89.3	60.2(---)
Ski(Jump)	7	187.9	110.7	58.9(2.0)	0	---	---	---(---)
Ski(Combine)	4	185.2	57.8	57.8(1.2)	0	---	---	---(---)
Control	6	163.5	105.0	64.2(2.3)	14	104.4	73.0	69.9(1.9)

Values are upper/lower area x 100. () is SD.

異なる筋の形態を示すことがわかった。

女子では、男子ほど大腿の視覚的な形態について種目間の差は認められなかった(図3)。例えば、男子では特異的な形態を示した柔道についても、女子では陸上競技あるいはスピードスケートなどと類似した形態を示している。また、男子では異なるタイプに分類された陸上競技とスピードスケートとを比較しても、ほとんど同様であった。大腿上部(70%)の全筋横断面積に対する大腿下部(30%)の相対的割合は、全種目が59.8~63%の範囲内にあり、男子(52.7~65.9%)に比べて種目間の相違が明らかに小さい傾向を示した(表2)。また、陸上競技の短距離は男子と異なり、大腿下部の筋量の占める割合が高く(65.0%)、他の競技種目と比較しても最も高値を示した。

図2, 3のアスタリックマークのついたカラムは、各筋群別の最大面積の部位を示している。HMおよびRFについては、競技選手と一般人および男女差は認められず、上から1番目のカラム、すなわち70%部位で最大値を示した(なお、男子の柔道のRFについては2番目のカラム)。一方、外側広筋およびVM+VIでは、種目間の差が認められた。外側広筋では、陸上競技の男女および

女子のバレーボール、柔道はともに大腿の上部(1~2番目のカラム)で最大値を示すのに対し、それ以外の種目および一般人では大腿の中央からやや上方にかけて最大値が得られる。また、一方、VM+VIでは、大腿の中央部あるいは下部に最大を示す種目に分類され、前者は男子の陸上、スキージャンプ、スピードスケート、一般人であり、後者は女子の全種目(一般人も含む)と男子のサッカー、バレーボール、スキー複合、柔道であった。

3 大腿における相対的な位置での比較

a 大腿四頭筋

表3(男子)と表4(女子)には、脚の長さの違いを消去するために、大腿長における相対的な位置、すなわち70, 50, 30%における各筋群の横断面積の絶対値を示した。

大腿長の70%部位で大腿四頭筋とHMの面積を比較すると、男子の陸上競技(大腿四頭筋、HMの順に86.5, 117.1 cm²; 以下同様)、サッカー(103.3, 136.4 cm²)、バレーボール(97.4, 134.2 cm²)、柔道(113.9, 154.0 cm²)では約30 cm²以上もHMの横断面積の方が高値を示すが、ハンドボール(93.2, 106.8 cm²)、スピードスケ-

Table. 3 Muscle cross-sectional areas at upper(70%), middle(50%), and lower(30%) position of thigh in male subjects. RF; M. rectus femoris, VL; M. vastus lateralis, VI; M. vastus intermedius, VM; M. vastus medialis, QF; M. quadriceps femoris, HM; hamstring + adductor.

Sports event	n	RF (cm ²)	VL (cm ²)	VI+VM (cm ²)	QF (cm ²)	HM (cm ²)
Track & Field	24	15.1(3.0)	30.8(8.3)	39.7(5.9)	86.5(11.5)	117.1(14.7)
Sprint	7	13.9(2.4)	31.2(4.4)	36.1(4.0)	81.7(5.9)	117.5(12.5)
Middle distance	3	14.6(1.9)	28.3(2.1)	41.4(4.2)	84.3(7.5)	116.2(4.6)
Jump	11	15.0(3.3)	31.2(3.7)	40.3(4.8)	86.4(7.7)	113.4(15.7)
Throw	3	18.7(3.1)	37.1(16.3)	47.5(9.0)	103.3(25.7)	136.4(16.2)
Soccer	6	20.6(5.1)	28.0(3.2)	45.1(5.4)	93.6(8.5)	121.1(13.9)
70% Volleyball	1	23.3(-)	29.9(-)	44.2(-)	97.4(-)	134.2(-)
Handball	1	16.6(-)	35.1(-)	41.5(-)	93.2(-)	106.8(-)
Judo	1	16.7(-)	33.2(-)	64.0(-)	113.9(-)	154.0(-)
Speed skate	3	14.2(2.4)	30.1(5.8)	50.5(4.6)	95.3(7.0)	111.3(21.6)
Ski(Jump)	7	18.5(1.4)	27.9(4.8)	38.6(5.0)	85.1(8.4)	102.8(8.9)
Ski(Combine)	4	16.5(3.2)	28.9(3.8)	37.1(5.5)	82.5(4.8)	102.7(5.4)
Control	6	14.5(3.1)	25.1(2.8)	37.7(4.2)	77.3(8.5)	86.2(5.8)

Sports event	n	RF (cm ²)	VL (cm ²)	VI+VM (cm ²)	QF (cm ²)	HM (cm ²)
Track & Field	24	9.6(2.3)	27.6(6.0)	49.8(6.5)	87.1(12.5)	85.0(13.3)
Sprint	7	8.7(1.2)	26.0(3.8)	46.1(2.8)	80.9(5.5)	82.7(8.6)
Middle distance	3	8.8(0.9)	26.0(5.4)	51.6(1.9)	86.5(6.1)	85.6(0.7)
Jump	11	9.6(2.6)	27.3(4.1)	49.6(4.3)	86.4(6.0)	81.9(12.5)
Throw	3	12.3(3.0)	35.3(13.5)	60.9(12.1)	108.5(27.2)	104.2(23.1)
Soccer	6	12.7(2.5)	31.0(3.2)	59.1(4.9)	102.8(5.7)	96.9(12.8)
50% Volleyball	1	10.1(-)	39.7(-)	65.3(-)	115.1(-)	91.6(-)
Handball	1	11.1(-)	27.9(-)	53.1(-)	92.1(-)	74.7(-)
Judo	1	9.4(-)	32.0(-)	73.3(-)	114.7(-)	104.6(-)
Speed skate	3	8.7(0.6)	32.0(2.7)	58.7(5.1)	99.4(7.8)	89.5(18.5)
Ski(Jump)	7	8.3(1.9)	30.9(8.9)	50.2(4.4)	89.4(11.1)	74.2(5.5)
Ski(Combine)	4	7.9(1.9)	31.4(3.8)	48.3(5.6)	87.6(4.6)	78.9(4.2)
Control	6	8.5(2.4)	26.6(5.8)	47.1(5.0)	82.2(11.6)	64.6(5.4)

Sports event	n	RF (cm ²)	VL (cm ²)	VI+VM (cm ²)	QF (cm ²)	HM (cm ²)
Track & Field	24	1.3(0.3)	14.8(3.9)	47.8(6.6)	63.3(9.4)	49.3(8.5)
Sprint	7	0.9(0.6)	12.3(3.4)	44.0(5.5)	56.8(7.1)	49.0(9.4)
Middle distance	3	1.4(-)	14.1(2.9)	51.0(4.1)	65.9(6.0)	53.0(9.4)
Jump	11	1.2(1.0)	15.3(3.8)	46.9(4.3)	62.8(5.5)	47.4(9.0)
Throw	3	1.7(-)	19.5(2.9)	58.9(9.3)	79.5(12.9)	54.9(5.5)
Soccer	6	2.8(2.0)	21.8(1.5)	57.0(4.7)	81.0(7.3)	60.5(11.8)
30% Volleyball	1	1.2(-)	18.6(-)	68.4(-)	88.2(-)	54.9(-)
Handball	1	1.4(-)	14.1(-)	52.7(-)	68.2(-)	47.0(-)
Judo	1	- (-)	14.9(-)	67.6(-)	83.5(-)	57.8(-)
Speed skate	3	2.6(-)	21.6(5.4)	56.2(10.2)	79.6(15.4)	55.5(9.3)
Ski(Jump)	7	1.1(0.7)	14.0(3.9)	48.8(3.1)	63.9(6.0)	46.8(8.1)
Ski(Combine)	4	0.7(0.4)	15.4(4.4)	49.2(3.4)	65.3(6.3)	41.7(3.1)
Control	6	1.6(1.4)	16.9(4.4)	47.4(8.2)	65.6(12.0)	39.4(6.1)

Values are means. () is SD.

Table 4 Muscle cross-sectional areas at upper(70%), middle(50%), and lower(30%) position of thigh in female subjects. RF; M. rectus femoris, VL; M. vastus lateralis, VI; M. vastus intermedius, VM; M. vastus medialis, QF; M. quadriceps femoris, HM; hamstring + adductor.

Sports event	n	RF (cm ²)	VL (cm ²)	VI+VM (cm ²)	QF (cm ²)	HM (cm ²)	
70%	Track & Field	14	14.1(1.4)	21.2(6.7)	28.1(4.1)	64.9(6.1)	83.6(6.7)
	Sprint	3	14.1(1.4)	25.7(1.7)	26.9(5.4)	66.8(5.1)	78.4(5.5)
	Middle distance	5	13.4(4.8)	19.5(3.1)	26.8(3.1)	60.8(6.8)	83.1(8.2)
	Jump	3	12.4(1.1)	22.9(4.9)	31.7(4.0)	67.0(7.9)	83.4(8.2)
	Throw	3	14.4(0.4)	25.4(4.6)	28.1(5.6)	68.0(4.9)	88.9(3.5)
	Volleyball	1	14.4(-)	23.9(-)	37.1(-)	75.4(-)	74.2(-)
	Tennis	1	11.7(-)	23.9(-)	26.1(-)	61.7(-)	86.8(-)
	Judo	1	13.8(-)	22.4(-)	31.5(-)	67.7(-)	101.4(-)
	Speed skate	2	14.1(-)	22.2(-)	33.7(-)	70.3(-)	78.0(-)
	Control	14	9.9(1.7)	15.7(3.9)	22.6(3.1)	48.2(6.8)	56.2(7.2)
50%	Track & Field	14	7.2(1.5)	20.9(3.6)	37.3(4.1)	65.5(7.4)	63.7(7.2)
	Sprint	3	7.7(0.3)	21.9(2.5)	36.0(3.9)	65.7(3.2)	62.5(4.5)
	Middle distance	5	7.8(1.9)	18.1(3.4)	35.4(4.0)	61.3(8.8)	62.0(8.6)
	Jump	3	5.4(0.5)	20.7(2.1)	40.5(3.2)	66.6(5.4)	61.2(6.7)
	Throw	3	7.7(1.9)	24.2(5.1)	39.9(4.4)	71.8(10.1)	71.7(7.0)
	Volleyball	1	8.6(-)	24.6(-)	49.7(-)	82.9(-)	62.5(-)
	Tennis	1	6.9(-)	23.2(-)	34.3(-)	64.5(-)	67.8(-)
	Judo	1	7.9(-)	18.2(-)	39.0(-)	65.1(-)	75.7(-)
	Speed skate	2	6.3(-)	24.1(-)	45.4(-)	75.8(-)	59.6(-)
	Control	14	6.0(1.0)	16.3(2.8)	30.5(3.8)	52.9(6.6)	46.4(6.8)
30%	Track & Field	14	1.7(1.0)	12.4(3.5)	36.3(3.4)	49.9(6.5)	38.9(6.7)
	Sprint	3	1.9(-)	15.4(-)	36.4(-)	53.6(-)	40.8(-)
	Middle distance	5	2.0(1.2)	12.2(3.5)	34.4(3.7)	48.5(8.3)	39.6(6.7)
	Jump	3	0.9(-)	9.5(2.9)	36.8(5.6)	46.9(7.7)	34.9(3.6)
	Throw	3	1.8(-)	14.7(4.4)	38.1(0.7)	53.9(6.2)	42.4(12.3)
	Volleyball	1	2.1(-)	15.2(-)	50.8(-)	68.1(-)	23.3(-)
	Tennis	1	1.4(-)	17.2(-)	39.6(-)	58.1(-)	35.5(-)
	Judo	1	3.8(-)	12.3(-)	39.5(-)	55.6(-)	50.2(-)
	Speed skate	2	0.3(-)	9.6(-)	45.7(-)	55.4(-)	33.9(-)
	Control	14	0.2(0.4)	10.9(2.6)	32.2(4.7)	44.0(4.2)	29.0(5.6)

Values are means. () is SD.

ト (95.3, 111.3 cm²), スキージャンプ (85.1, 102.8 cm²) およびスキー複合 (82.5, 102.7 cm²) ではその値が約 20 cm² 以下であった。女子では柔道が約 33 cm² (67.7, 101.4 cm²), テニスが約 25 cm² (61.7, 86.8 cm²) の高値を示したが, その他の種目ではその差は小さいものであった。一方, 一般人については男子が約 9 cm² (77.3, 86.2 cm²), 女子が約 8 cm² (48.2, 56.2 cm²) でそれぞれ各競技種目に比べて両筋群の差は小さいものであった。また, 一般人についてこの面積の差について男女の違いが認められないのに対し, 男女の共通種目である陸上競技 (MQF と HM の面積の差は男子, 女子の順に 30.6, 18.7 cm²; 以下同様), バレーボール (36.8, -1.2 cm²), スピードスケート (16.0, 7.7 cm²) では, 明らかに男子の方がより大きな差を示した。

一方, 50% および 30% の位置における MQF と HM の面積の差は, ほとんど消失しており, 種目によっては MQF の方が高値を示す。しかしながら, その場合においてもその差は 70% 部位で認められたような大きな違いはみられなかった。

b 各筋群の特徴

RF の横断面積は, 男子の 70% 部位ではバレーボール (23.3 cm²), サッカー (20.6 cm²) が, 女子ではバレーボール (14.4 cm²), 陸上競技 (14.1 cm²) が高値を示した (表 3, 4)。しかしながら, 女子では男子ほど種目間の差は認められなかった。50% 部位でもサッカーについては大腿直筋の横断面積が大きい傾向が認められたが (12.7 cm²), バレーボールについてはその優位性が消失していた (10.1 cm²)。

VL の横断面積は, 70% 部位の男女および 30% 部位の女子について大きな種目間の差は認められないが, 50% 部位では男女ともバレーボールが全種目の中で最大値を示している。また, 30% 部位では, サッカーと男子のスピードスケートが高値を示している。したがって, VL の横断面積において種目間の特徴が大腿の位置の違いにより認められる。

考 察

本研究では, 被検者の競技歴の質を重視し, 必ずしも一定の被検者数を揃えて, その種目の平均的な特徴を明らかにしようとするのではなく,

各種目のトップにいる選手の特徴を明らかにしようとしたものである。そのため, 種目によっては被検者数が 1 名の場合もあるが, 平均値を求めるためにレベルの劣る被検者を加えることは, トップ選手の特徴あるいはその競技の特徴を消失させてしまう恐れがあったためである。

これまで国内では, 福永らのグループが超音波法を用いて, 競技者の身体各部位における筋横断面積を計測し, 多くのデータを蓄積している (3, 7, 19)。大腿部については, 陸上競技の短距離, 長距離, バレーボール, サッカー, ボート, スピードスケート, 相撲について計 89 名の報告がなされ, サッカーは大腿直筋において, スピードスケートは外側広筋において大腿四頭筋に占める割合が, 他の競技に比べて高値を示すことが報告されている (19)。

しかしながら, これらの報告では, 測定されている部位が大腿長の 50% の位置のみであるため, 得られた結果が大腿部全体にわたって認められるのかどうかは明らかにされていない。また, 運動様式が異なれば, 大腿を構成する筋への負荷のかかる位置にも差異をとまうことが十分に予想される。そのため, 大腿部の筋の形態における競技特性を明らかにするためには, 1ヶ所以上の横断面積の測定が求められると考えられる。MRI は, 一度の測定で数十枚の画像を得ることができ, 画像の解像度もよく, しかも安全な (放射線被曝がない) ため, 競技選手あるいは一般人の筋の形態を検討するのに適した方法といえる (8, 9, 11, 12)。事実, 最近 MRI を用いて筋横断面積を検討した研究がいくつかみられる (1, 2, 4, 13, 16, 17)。例えば, Fukunaga ら (4) は, MRI を用いて下肢長全体にわたって各筋群の横断面積を検討し, 横断面積の最大を示す部位が各筋群によって異なることを示した。また, Narici ら (17) は, MRI を用いて大腿部の各部位における筋力トレーニングの効果を検討したところ, 一つの筋において最も肥大した部位が筋群によって異なることを明らかにした。

本研究においても, 大腿における筋の横断面積の最大を示す位置が, それぞれの筋群により異なることが示された (図 2, 3)。これは, 大腿においても Fukunaga ら (4) の下肢における結果と同様であることを示すものである。さらに, 本研究では同一の筋群であっても, 競技種目により大

腿部における最大値の位置の異なることが明らかにされた。

本研究では、男子について大腿部の筋の形態を表していると考えられる図2および表2より、各競技種目を2タイプに分類することを試みた。前者は、大腿全体にわたって筋量が多いタイプ（大腿上部「70%」の全筋横断面積に対する大腿下部「30%」の相対的割合が60%以上を示す種目；サッカー、スピードスケート、バレーボール）であり、後者は大腿の上部の筋発達が下部に比べて顕著なタイプ（スキージャンプ、スキー複合、ハンドボール、陸上競技、柔道）である。一般人がこの2つのタイプのいずれにも属さないことを考えると、このような各競技種目独自のトレーニングによるものであることが示唆される。なぜならば、Nariciら(17)は、筋力トレーニングによる筋肥大の反応性が、大腿の部位あるいは筋群によって異なることを示している。したがって、それぞれの競技の特異的な運動様式およびそのような運動様式でのトレーニングにより、一般人とは異なる競技独特の筋の形態を形成する可能性は十分にあるものと考えられる。しかしながら、本研究の被検者が一流競技選手であることを考えると、専門的なトレーニングのみによりこのような形態が形成されたのではなく、先天的にその種目に適した形態を保持していた可能性も現時点で否定することはできない。したがって、なぜそれぞれ異なる競技種目でありながら大腿部の筋の形態が2つのタイプに分類されるのか、あるいはそのような筋の形態の遺伝的要素はあるのかどうかについては、今後の課題である。

一方、女子については男子で分類されたように典型的なタイプ分類をすることはできなかった。その理由の一つとして、男子に比べて絶対的な筋量が少ないため、特徴がでにくいことが予想される。しかしながら、どの競技種目においても一般人に比べて大腿部全体の筋量はより高値を示した。これらの結果は、女子の場合一流選手の条件として、男子以上に一定以上の筋量を保持している必要性を示唆するものである。一般に女子は、男子と比べて性成熟後の筋の発育量が少なく、筋力トレーニングなどによる筋の肥大量も小さい(3)。それゆえ、一般人以上の筋量を保持しているという本研究の結果は、長期にわたってのトレーニングがこのような結果をもたらした可能性

を示唆している。一方、これらの一流選手は先天的により多い筋量を保持していた可能性も否定することもできない。とくに、日頃から筋力トレーニングの量が少ない陸上競技の中距離選手においても同様な傾向が認められたことは興味深い。

MQF+HMの面積の差において、男子の50%部位では大きな違いが認められないにもかかわらず、70%部位では大きな差が認められ、しかも種目による相違もみられた。これらの結果は、前述したように大腿長の50%部位における測定のみでは、競技種目間に存在する特徴を見出しにくいことを示すものである。したがって、我々の用いたMRI法による筋横断面積の検討は、異なる種目の一流選手の筋の形態を明らかにするためには優れた方法といえるであろう。

RFの70%部位において男子バレーボール選手が他の競技に比べて高値を示したことは、試合中にジャンプ動作を繰り返す運動様式が影響している可能性が高いと考えられる。一般に、垂直跳びの主動筋がRFであることは良く知られている。次いでサッカー選手が高値を示しているが、サッカーの場合にもRFは、キックの動作に関与する重要な筋群であることが示されている(18)。しかしながら、サッカーでは50および30%部位においてもRFの発達が認められるが、前述のバレーボール選手では、70%の位置で認められた優位性が消失している。これは、RFを動員する割合が同じように高い競技であっても、前述したように種目による動作様式が異なれば、RFの発達部位に相違が生じることを示している。また、このことは、サッカーでは大腿長全体にわたって負荷がかかるようなトレーニングを、バレーボールでは大腿上部に負荷がかかるようなトレーニングが必要であることを示唆するものであるかもしれない。したがって、各競技種目の筋の形態的な特徴が明らかにされれば、より具体的なトレーニングをするための貴重な資料になるものと思われる。

まとめ

競技スポーツは、種目により身体活動様式や活動部位が大きく異なるため、その種目特有のトレーニングを長期にわたって続けることが、大腿部の筋の形態的特徴に影響を及ぼすことは十分に考えられる。しかしながら、これまでに筋の形態に関する研究では筋腹での評価が主流で、大腿部

全体について検討した報告はみられない。そこで本研究では、軟部の描写に優れ、しかも同時に多くのスライスをとることのできるMRIを用いて、各種目のトップアスリートの大腿部全体の筋組成の特徴を検討した。

被検者には日本代表あるいは日本ランキング10位以内の選手、10種目男女66名を用いた。また、男女の一般人20名も同様な測定を実施した。MRIによる筋断面積の測定は、下半身の縦断像をまず撮影し、その画像より大転子と脛骨頭の外側顆間隆起を同定した。この間の距離の顆間隆起から70%の位置をMRIの横断像の1枚目とし、膝方向に等間隔で11枚の横断像を同時に撮影した。得られた各スライス位置の横断像より、大腿四頭筋（伸筋群）と大腿二頭筋+屈筋群の横断面積を算出した。

男女とも大腿部の筋の形態において競技種目別による特徴がみられたが、とくに男子においてその傾向が顕著であり、大腿全体にわたって筋量が多いタイプ（サッカー、バレーボール、スピードスケート）と大腿の上部の筋発達下部に比べて顕著なタイプ（陸上競技、柔道、スキー複合およびスキージャンプ）に分類された。全被検者の大腿上部における大腿二頭筋+屈筋群の面積は、大腿四頭筋より大きな値を示したが、中央部および下部においてはそのような関係は認められなかった。さらに、一般人に比べ各競技選手は、この差がより大きく、男子と女子では男子の方がその特徴はより顕著であった。

これらの結果より、一流選手の大腿部の筋組成は、種目特有の形状を持っていることが示唆された。また、各種目間において大腿の位置における筋横断面積の相違が認められたことにより、大腿部の筋組成を検討する場合には複数の部位について検討する必要性が示唆された。

参考文献

- 1) 秋間 広, 久野譜也, 西嶋尚彦, 丸山剛生, 松本光弘, 下條仁士, 勝田 茂, 板井悠二 (1992): NMRによる国内一流サッカー選手の筋エネルギー代謝および筋断面積の検討. 体力科学 41: 368-375.
- 2) Beneke R, Neuerburg J, and Bohndort K (1991): Muscle cross-section measurement by magnetic resonance imaging. Eur J Appl Physiol 63:424-429.
- 3) 福永哲夫, 金久博昭 (1990): 日本人の体肢組成. 浅倉書店, 東京, pp.1-46.
- 4) Fukunaga T, Roy RR, Shellock FG, Hodgson JA, Day, MK, Lee PL, Kwong-Fu H, and Edgerton VR (1992): Physiological cross-sectional area of human leg muscles based on magnetic resonance imaging. J Orthop Res Soc 10: 926-934.
- 5) Ikai M, and Fukunaga T (1968): Calculation of muscle strength per cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. Int Z Angew Physiol 26:26-32.
- 6) Ikai M, and Fukunaga T (1970): A study on training effects on strength per unit cross-sectional area of muscle by means of ultrasonic measurement. Int Z Angew Physiol 28: 173-180.
- 7) 石田良恵, 金久博昭, 福永哲夫 (1992): 日本人一流競技選手の筋厚における性差. 体力科学 41: 233-240.
- 8) 勝田 茂, 久野譜也 (1989): ³¹P NMRによる筋エネルギー代謝と筋線維組成の関係. 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. V スポーツタレントの発掘方法に関する研究 第1報: 33-40.
- 9) 勝田 茂, 久野譜也 (1990): NMRによるスポーツタレントの発掘方法に関する研究——一流選手の筋の形態とエネルギー代謝. 平成2年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. VI スポーツタレント発掘方法に関する研究 第2報: 37-46.
- 10) 勝田 茂 (1992): 「スポーツタレント発掘方法に関する研究」結果からの提言. 6-2 生理学的立場から. 平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. VI スポーツタレント発掘方法に関する研究 第3報: 249-252.
- 11) 久野譜也 (1991): 筋生理・生化学からみたトップアスリートと競技力. 体育の科学 41: 255-261.
- 12) Kuno S, Akisada M, Katsuta S, and Mitsumori F (1990): Evaluation of exercise muscle energetics by NMR. Ann Physiol Anthropol 9: 235-239.

- 13) 久野譜也, 秋間 広, 秋貞雅祥, 勝田 茂, 西嶋尚彦, 山中邦夫, 新津 守, 阿武 泉 (1990): サッカー・ワールドカップ予選前後における日本代表選手の筋エネルギー代謝, 筋断面積および脚筋力の変化—³¹P NMR, MRIによる検討—. *Jpn J Sports Sci* 9 : 310-315.
- 14) Maughan RJ, and Nimmoi MA (1984) : The influence of variations in muscle fibre composition on muscle strength and cross-sectional area in untrained males. *J Physiol* 351 : 299-311.
- 15) Maughan RJ, Watson JS, and Weir J (1983) : Relationships between muscle strength and muscle cross-sectional area in male sprinters and endurance runners. *Eur J Appl Physiol* 50 : 309-318.
- 16) Narici MV, Roi GS, and Landoni L (1988) : Force of knee extensor and flexor muscles and cross-sectional area determined by nuclear magnetic resonance imaging. *Eur J Appl Physiol* 57 : 39-44.
- 17) Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, and Cerretelli P (1989) : Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of human quadriceps. *Eur J Appl Physiol* 59 : 310-319.
- 18) 高木公三郎, 熊本水頼, 伊藤一生 (1961) : Kickの筋電図学的研究. *体育学研究* 5 : 79-83.
- 19) 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫, 近藤正勝, 池川繁樹 (1986) : 大腿四頭筋断面積における各種競技選手の特性. *体力科学* 35 : 192-199.