

8. 柔道選手の下肢骨格筋の特性

筑波大学 勝田 茂, 稲木 光晴, 秋間 広, 下條 仁士
茨城大学 尾形 敬史
明治大学 手塚 政孝

8. Leg Skeletal Muscle Fiber Characteristics in *Judo* Athletes

Shigeru Katsuta, Mitsuharu Inaki, Hiroshi Akima
and Hitoshi Shimojo (Tsukuba University)
Takashi Ogata (Ibaraki University)
Masataka Tezuka (Meiji University)

Abstract

The purpose of this study was to identify the characteristics of the leg skeletal muscle in university *Judo* athletes. Subjects were taken from the Tsukuba and Ibaraki University *Judo* Clubs (n=12, including one female). The mean age was 20.8 ± 1.3 years, and the mean *Judo* experience 6.3 ± 4.2 years.

Muscle samples were obtained from the *vastus lateralis* of the subject's right leg by needle biopsy, stained for myosin adenosine triphosphate (ATPase), NADH₂ tetrazolium reductase (NADH-TR), and microphotographs taken. Muscle fiber compositions (Type I, Type IIA, and Type IIB), mean fiber area in crosssection, and fiber area ratios were calculated. Also, isokinetic power at 30, 180, and 450 degrees/second was measured by Biodex.

The fiber compositions of the *vastus lateralis* were 50.2 percent Type I, 27.3 percent Type IIA, and 22.6 percent Type IIB, with ST and FT fibers distributed about equally. The mean fiber area in cross-section was 4714 μm^2 for Type I, 5062 μm^2 for Type IIA, and 4925 μm^2 for Type IIB. They were not observed to differ significantly from each other. Isokinetic power in 180 degrees/second was similar to Olympic candidates (161 Nm extension and 99.0 Nm

reflexion). Significant correlations were established between the % Type II and % Area Type II ($r=0.948$, $p<0.01$). Correlations between % area Type II and isokinetic power increased as speed increased (at 450 degrees/second, $r=0.859$, $p<0.05$). These data suggest that the ratio of muscle fiber area is reflected by the ratio of the number of muscle fibers, and the % area Type II is closely related to isokinetic power in rapid movement.

I. 緒言

近年、一流競技選手の骨格筋の特性に関する研究によって、多くの競技種目に望ましいと思われる筋線維組成が報告され、最近では筋線維組成によるスポーツの分類もなされている(表1)⁷⁾。しかしながら、これまで柔道選手の骨格筋の特性については明らかにされておらず、柔道選手が筋線維組成によるスポーツの分類のどのカテゴリーに属するのかも明らかにされていない。

そこで本研究では、大学柔道選手を対象として筋線維組成と等速性筋力測定をすることによって、柔道選手の骨格筋の特性を明らかにすることを目的とした。

表1 筋線維組成によるスポーツ種目の分類

Table 1 Classification of sports event with muscle fiber composition.

速筋型	陸上競技・100m・200m・400m・110mH*・400mH*・走り幅跳び、サッカー・ゴールキーパー*
中庸速筋型	陸上競技・800m・砲丸投げ・やり投げ、カヌー・500m・1,000m、バレーボール、サッカー、ラグビー、アイスホッケー、テニス、競泳100m*、ハンドボール*、アメリカンフットボール*、ウエイトリフティング、バスケットボール*、剣道、野球
中庸遅筋型	陸上競技・1,500m・競歩、カヌー・10,000m、自転車、クロスカントリースキー、スピードスケート、競泳・200m
遅筋型	陸上競技・5,000m・10,000m・マラソン、オリエンテーリング、競泳・400m以上

*：推定

勝田と和田⁷⁾

II. 方法

1. 被検者

被検者には、筑波大学と茨城大学の柔道部員、男子11名、女子1名を用いた。表2に各被検者の身体特性を示した。

2. 組織化学的分析

筋バイオプシーは、筑波大学体育科学系において、同大学附属病院の医師によって行なわれた。被検者は、右側の外側広筋(M. vastus lateralis)であり、膝蓋骨上端から6~7cmの部位からニードルバイオプシー法¹⁾によって約20mgの筋を採取し、液体窒素で冷却されたイソペンタン中で瞬間凍結した。その後、ミクロトームによって厚さ10 μ mの連続切片を作成し、これに組織化学的染色を施した。染色法としては、Myosin ATPase染色法²⁾およびNADH tetrazolium reductase (NADH-TR)染色³⁾を用いた。さらに、得られた標本から光学顕微鏡写真を撮影し、その資料をもとに、筋線維組成(%Type I, %Type IIA, %Type IIB), Type I, Type IIA, Type IIB 線維の平均横断面積、および全体に占める各線維タイプの面積比(%area Type I, %area Type IIA, %area Type IIB)を算出した。なお、筋線維タイプの分類には、Brooke and

表2 被検者の身体的特性
Table 2 Physical characteristics of subjects.

No.	Subjects	Sex	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Career (years)	(Dan)
1	M. S.	M	24.0	157	60	4	初段
2	Y. T.	M	21.1	173	76	4	2段
3	H. I.	M	21.4	174	86	2	初段
4	K. Y.	M	20.8	160	60	2	初段
5	T. Y.	M	20.6	167	72	5	2段
6	N. M.	M	19.6	163	73	4	初段
7	Y. N.	M	19.4	178	103	9	2段
8	T. H.	M	19.4	174	71	3	初段
9	K. N.	M	19.4	172	79	7	2段
10	M. K.	M	20.9	177	80	13	2段
11	M. T.	M	21.8	168	75	8	2段
	Mean		20.8	168.8	77	6.3	
	S. D.		1.3	6.9	12.0	4.2	
12	Y. S.	F	21.6	163	89	15	初段

Kaiser²⁾によって提唱された方法を用いた。

3. 等速性筋出力の測定

等速性筋出力の測定には、biodex (Biodex Corporation) を使い、運動速度は30, 180, 450°/sec の3種類とした。被検者には椅座位の姿勢で膝関節角度を90°に保った状態から、下肢を全力で伸展し、さらにできるだけ速く屈曲するよう指示した。トルクはレコーダーに記録されたピーク値をとり、試行は原則として1速度3回とし、その最大値を用いた。

III. 結果

表3は、被検者の外側広筋の筋線維組成、各筋線維タイプの全体に占める面積比および平均横断面積を示している。Type I線維とType II線維の割合をみると、% Type Iは50.2±9.8%、% area Type Iは48.3±12.2%を示し、Type I線維とType II線維の割合に統計的に有意な差は認められなかった。Type II線維のサブグループについてもまた、Type IIA (27.3±8.7%)とType IIB (22.6±10.6%)の割合には有意差は認められなかった。唯一女子であるY. S.の各筋線維タイプの割合は、すべて男子で認められた範囲内であった。

各筋線維タイプの平均横断面積(4人の被検者は測定不可能であった)は、Type I線維で4714±973μm²、Type IIA線維で5062±1316μm²、Type IIB線維で4925±932μm²を示し、各線維タイプ間で統計的に有意な差は認められなかった。

図1は、%Type IIと%area Type IIとの関係を示している。両者の間には1%水準で有意な正の相関が認められた。

表4は、被検者の等速性筋出力を示している。脚伸展時および屈曲時のピークトルクは運動速度が増加するにつれ低下し、各運動速度においては、屈曲時より伸展時において高いピークトルクを示した。

表3 柔道選手の筋線維組成
Table 3 Muscle fiber composition of Judo athletes.

No.	Subject	% fiber type			% area fiber type			fiber area (μm^2)		
		I	IIA	II B	I	IIA	II B	I	IIA	II B
1.	M. S.	55.2	18.0	26.8	60.3	15.7	24.0	5170	4125	4228
2.	Y. T.	44.8	28.7	26.5	44.1	31.0	24.9	6689	7322	6371
3.	H. I.	31.2	31.7	37.1	30.2	32.5	37.3	4232	4484	4402
4.	K. Y.	61.9	6.5	31.6	60.7	8.2	31.1	5314	6861	5340
5.	T. Y.	51.5	35.1	13.4	50.2	35.1	14.7	3999	4093	4496
6.	N. M.	48.0	24.2	27.8	—	—	—	—	—	—
7.	Y. N.	45.0	34.1	20.9	36.8	36.2	27.0	3917	5087	6191
8.	T. H.	41.6	25.6	32.8	41.4	26.3	32.3	4542	4677	4490
9.	K. N.	57.4	27.7	14.9	62.7	24.2	13.1	3847	3847	3880
10.	M. K.	66.2	33.1	0.7	—	—	—	—	—	—
11.	M. T.	48.9	35.2	15.9	—	—	—	—	—	—
	Mean	50.2	27.3	22.6	48.3	26.2	25.6	4714	5062	4925
	S. D.	9.8	8.7	10.6	12.2	9.9	8.4	973	1316	932
	n	11	11	11	8	8	8	8	8	8
Range	Mini.	31.2	6.5	0.7	30.2	8.2	13.1	3847	3847	3880
	Max.	66.2	35.2	37.1	62.7	36.2	37.3	6689	7322	6371
12.	Y. S.	52.4	34.0	13.6	—	—	—	—	—	—

図2は、%area Type IIと伸展時のピークトルクとの関係を運動速度別に示している。運動速度が $30^\circ/\text{sec}$ 、 $180^\circ/\text{sec}$ の時、ピークトルクと%area Type IIとの間に関係は認められなかったが、 $450^\circ/\text{sec}$ の時、両者の間には5%水準で有意な正の相関が認められた。

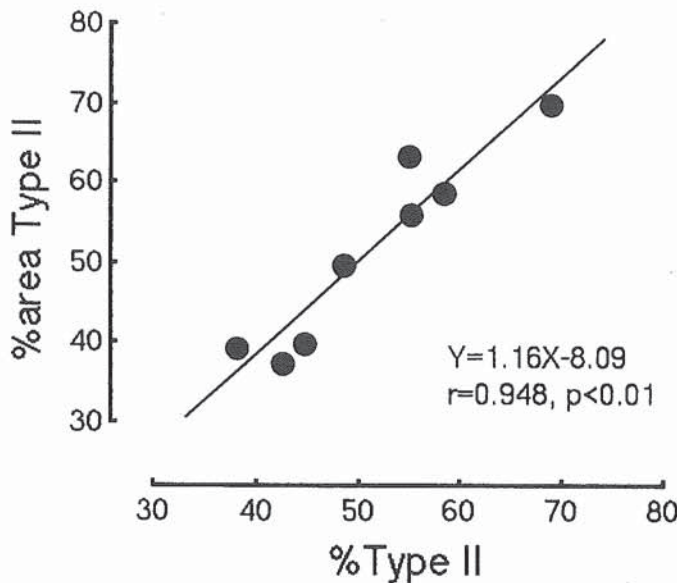


図1 % Type IIと% area Type IIとの関係

Fig. 1 Relationship between % Type II and % area Type II.

IV 考察

近年、ニードル・バイオプシ一法の開発により、各種スポーツ選手の骨格筋線維の構造的・機能的特性が明らかにされ、一流競技選手がその種目に適した筋線維組成を有していることが示されてきた。例えば、筋力や瞬発力を要求される種目に属する選手は、主働筋において速筋線維の占める割合が高いことが

表4 柔道選手の等速性筋出力
Table 4 Isokinetic force of Judo athletes.

No.	Subjects	Extention (Nm)			Flexion (Nm)		
		30°/sec	180°/sec	450°/sec	30°/sec	180°/sec	450°/sec
1.	M. S.	—	—	—	—	—	—
2.	Y. T.	331.4	184.6	143.5	148.1	107.8	107.5
3.	H. I.	306.5	164.1	146.4	130.2	96.3	86.8
4.	K. Y.	246.8	122.0	99.0	112.5	66.4	71.9
5.	T. Y.	375.6	173.6	139.7	138.3	107.1	112.5
6.	N. M.	199.3	111.2	107.1	88.1	58.3	63.7
7.	Y. N.	374.3	187.1	172.2	200.7	105.8	124.8
8.	T. H.	374.3	192.6	165.4	151.9	94.9	96.3
9.	K. N.	265.5	149.6	98.3	131.5	107.7	83.5
10.	M. K.	282.2	182.5	128.3	155.0	126.1	97.8
11.	M. T.	274.2	152.1	102.8	154.6	119.1	90.7
	Mean	303.0	161.9	130.3	141.1	99.0	93.6
	S. D.	60.4	28.0	27.5	29.7	21.5	18.5
Range	Mini.	199.3	111.2	98.3	88.1	58.3	63.7
	Max.	375.6	192.6	172.2	200.7	126.1	124.8
12.	Y. S.	218.6	101.7	58.4	109.7	92.9	61.8

示されており、陸上の短距離選手については70%を越える%Type IIが報告されている。逆に、持久的種目に属する競技者は、遅筋線維優位の筋線維組成を有することが知られており、陸上競技の長距離選手においては70%を越えるType Iが報告されている。勝田と和田⁷⁾は、このような筋線維組成によってスポーツを4つのカテゴリー、すなわち速筋型、中庸速筋型、中庸遅筋型、遅筋型に分類している(表1)。この分類法に従えば、本研究において柔道選手の外側広筋の%Type Iは50.2%を示したことから、柔道は中庸遅筋型に分類されるであろう。一方、同じ武道でも剣道は中庸速筋型に分類されており、40.6%という%ST (=Type I)が報告されている⁸⁾。これらのことは、柔道や剣道が単にエネルギー系だけでなく技術系にも依存しており、筋線維組成がパフォーマンスを規定する要因とはなりにくいことを意味するであろう。また、これらの競技はある程度の力を発揮しつつも、勝負所では一気に大きなパワーを発揮することから、持久力と瞬発力の両方が要求され、いずれか一方の筋線維の割合が高いことは、競技成績にかえってマイナスに作用する可能性が考えられる。

筋線維横断面積に関しては、本研究においてType I線維で $4714\mu\text{m}^2$ (3847~6689 μm^2)、Type IIA線維で $5062\mu\text{m}^2$ (3847~7322 μm^2)、Type IIB線維で $4925\mu\text{m}^2$ (3880~6371 μm^2)という結果が得られた。被検者は2年以上、定期的にトレーニングを行なっているにもかかわらず、これらの値は、勝田ら⁹⁾が非鍛練者(健康な青年男子)について報告した値(ST線維: $4556\mu\text{m}^2$ (2420~7741 μm^2), FT線維: $4507\mu\text{m}^2$ (2685~7105 μm^2))と同様な値であった。これは、日頃のトレーニングが下肢の筋線維横断面積を増大させるようなものではなかったことが考えられる。筋力トレーニングは速筋線維の選択的肥大をもたらすことが知られている⁷⁾。本研究の柔道選手も筋力トレー

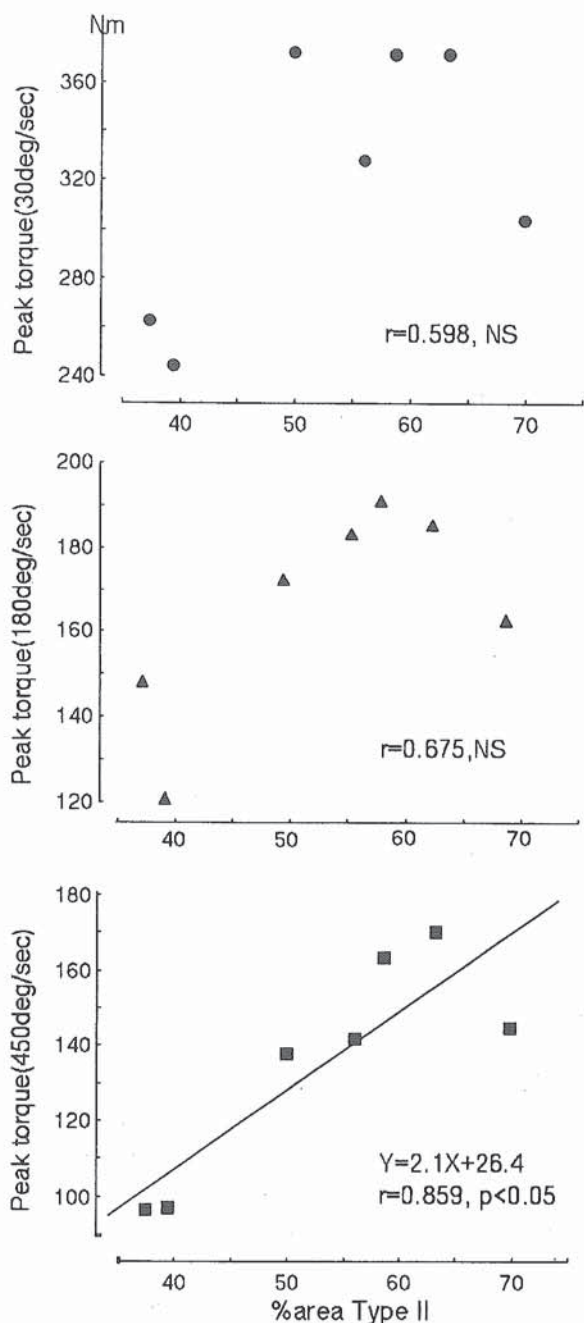


図2 % area Type IIとピークトルクとの関係
 Fig. 2 Relationship between % area Type II and peak torque at different velocity.

ニングを行なっていたが、それは上体の筋力増強を目的としたもの（ベンチプレスや綱登りなど）が主体であったため、下肢については筋線維横断面積の増大をもたらすほどの量的に十分なトレーニングがなされていなかったであろう。

本研究では、3種類の運動速度（30, 180, 450°/sec）で脚伸展および屈曲のピークトルクを測定したが（表4）、ここでは、180°/sec（30rpm）のピークトルクについて、金久ら⁴⁾が五輪候補選手を対象とした測定結果の報告があるので、このピークトルクについてのみ比較検討を行ないたい。本研究の被検者は180°/secの伸展・屈曲のピークトルクの絶対値でそれぞれ161.928Nm, 99.0±21.5Nmを示しており、これは金久ら⁸⁾が五輪候補柔道選手について報告した結果（152.65±27.62, 104.43±20.94Nm）と同様であった。このように、競技レベル（トレーニングレベル）の違いにもかかわらず、等速性筋力が同等であった原因としては、柔道の競技特性が、下肢より上肢の筋力に大きく依存するものであるため、トレーニング自体も上肢の筋力増加を目的としたものとなっているのかもしれない。したがって、トレーニングレベルの違いは、上肢の筋力に反映されている可能性が考えられる。

図1は、%Type II（IIA+IIB）と%area Type II（IIA+IIB）との関係を示している。%Type IIは全筋線維中に占めるType II線維の数で表されるが、%area Type IIは筋全体の中で、Type II線維がどのくらいの割合を占めるかを示したものであり、実際の運動場面などでは単なる筋線維の割合よりも%area Type II（またはType I）が重要な意味をもつと考えられる。図1では、1%水準で有意な相関関係が認められた。このことは、線維の比が面積の比を反映する

ことを示している。これと同様の結果が非鍛練者(健康な青年男子)についても報告されている⁴⁾。

図2は、%area Type II とピークトルクとの関係を運動速度別に示している。運動速度が増加するほど%area Type II とピークトルクとの相関関係は高値を示す傾向にあり、450°/sec では両者の間に有意な相関関係が認められた。これは、等速性脚伸展において、速度が速くなるほど%area Type II とピークトルクとの関係がより密接になる可能性のあることを示唆するであろう。このように運動速度の増加に伴い、両者の関係がより密接になる傾向が認められた原因として、ひとつの可能性が考えられる。それは、Type I 線維と Type II 線維における収縮速度—パワーの違いである³⁾。Faulkner ら³⁾の報告によると、両タイプの筋線維とも最大収縮速度の約3分の1の速度で最大のパワーを発揮するが、Type II 線維の最大収縮速度は Type I 線維のそれの約3倍であり、Type II 線維の発揮パワーが最大となる収縮速度では、Type I 線維はほとんどパワーを発揮しない。したがって、収縮速度が遅い場合には、発揮パワーに対する Type I 線維の貢献がある程度期待されるが、収縮速度が早い場合には Type I 線維の貢献は少なく、ほとんどが Type II 線維の発揮パワーに依存することになると考えられる。このことが結果として、%area Type II と高速でのピークトルクとの間に有意な相関を生じせしめた原因と思われる。

また、今回の被検者は、大学入学後に柔道を始めたものも多く、半数の6名が初段と初心者に近く、他はいずれも二段であった。今回の研究結果から一流柔道選手の筋線維組成を類推することは難しく、さらにより高いレベルの被検者を対象にしての検討が必要であろう。

V まとめ

本研究では、柔道選手の骨格筋の特性を明らかにするために、大学柔道選手12名(男子11名、女子1名)を対象に、右外側広筋の%fiber type, %area type, 各筋線維タイプの平均横断面積を算出した。また、筋線維組成および等尺性筋出力について検討した。

結果の要約は以下の通りである。

1. 外側広筋において、その筋線維組成は%Type I が50.2%, %Type IIA が27.3%, Type IIB が22.6%を示し、遅筋線維と速筋線維の割合はおおよそ50%であった。

2. 各筋線維タイプの全体に占める面積比は、%area Type I が48.3%, Type IIA が26.2%, Type IIB が25.6%を示し、筋線維組成と同様、全体に占める遅筋線維と速筋線維の面積比はおおよそ50%ずつであった。

3. 各筋線維タイプの平均横断面積は、Type I で4714 μm^2 , Type IIA で5062 μm^2 , Type IIB で4925 μm^2 を示し、タイプ間において差は認められなかった。

4. 等速性の筋出力は、180°/sec で伸展、屈曲それぞれ161.9Nm, 99.0Nmを示し、五輪候補選手と同様の値であった。

5. %Type II と%area Type II との間に、有意な相関関係が認められた($r=0.948$, $p<0.01$)。このことから、筋線維数の比が面積の比を反映することが示唆された。

6. 運動速度が速くなるにつれ、%area Type II と等速性筋出力との間の相関係数は高くなる傾向が認められ、450°/sec においては両者の間に有意な相関関係が認められた($r=0.859$, $p<0.05$)。このことから、運動速度が速い場合には、%area Type II と等速性筋出力との関係はより密接になる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Bergström, J.: Muscle electrolytes in man. Scand. J. Lab. Invest. Suppl., 68, 1962.

- 2) Brooke, M. H. and K. K. Kaiser : Three "myosin adenosine triphosphatase" systems : The nature of their pH liability and sulfhydryl dependence. *J. Histochem. Cytochem.*, 18 : 670-672, 1970.
- 3) Faulkner, J. A., D. R. Claflin, and K. K. McCully : Power output of fast and slow fibers from human skeletal muscles.
In Jones, N. L., N. McCartney, and A. J. McComas (eds). *Human muscle power. Human Kinetics, Champaign*, 81-94, 1986.
- 4) 金久博昭, 小田伸午, 宮下充正 : スポーツ選手の等速性筋出力. 昭和54年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 36-42, 1979.
- 5) 勝田 茂, 麻場一徳, 田淵健一, 高松 薫, 田中 守 : ニードルバイオプシー法による日本人健康青年男子の筋線維組成. 筑波大学体育科学系紀要, 8 : 173-179, 1985.
- 6) 勝田 茂, 田中 守 : トレーニングによる筋の組織化学的変化. *Jpn. J. Sports Sci.*, 2 : 2-11, 1983.
- 7) 勝田 茂, 和田正信 : 筋線維組成と運動競技特性. *デサントスポーツ科学*, 7 : 34-43, 1986.
- 8) Nachlas, M. M., D. G. Walker and M. Seligman : A histochemical method for the demonstration of diaphosphopyridine nucleotide diaphorase. *J. Biophysic. Biochem. Cytol.*, 4 : 29-43, 1958.
- 9) Thorstensson, A.: Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. *Acta Physiol. Scand. (Suppl.)*, 443, 1976.