

ニードルバイオプシー法による各種スポーツ選手の筋線維組成 および毛細血管分布について

勝田 茂*・宮田 浩文*
麻場 一徳*・土肥 徳秀*

Muscle fiber composition and muscle capillary supply of various sports athletes using needle biopsy technique

Shigeru KATSUTA, Hirofumi MIYATA
Kazunori ASABA, Tokuhide DOI

The purpose of this study is to investigate muscle fiber properties in athletes (63 males and 16 females) who were highly trained in 10 kinds of sport activities. Muscle samples were taken from M. Vastus Lateralis (M. V.L.) and M. Deltoideus (M. Delt.) with the needle biopsy technique, and serial sections of the muscle were stained for myosin ATPase, DPNH-diaphorase and Amylase PAS, respectively.

The results were summarised as follows;

- 1) Rate of Fast-twitch (FT) fibers predominated in the M. V.L. of sprinters and in the M. Delt. of kendo athletes. The other Slow-twitch (ST) fibers predominated in the M. V.L. of long-distance runners and in the M. Delt. of swimmers.
- 2) Selected hypertrophy of FT fibers was found in M. Delt. of tennis and baseball players. The other selected hypertrophy of ST fibers was observed in both muscles of synchronized swimmers. These results suggest that the selected hypertrophy of FT fibers is attributed to dynamic movements and that of ST fibers to static movements.
- 3) Capillaries to fibers ratio (C/F ratio) was relatively high in M. V.L. of long and middle-distance runners and in M. Delt. of swimmers. In synchronized swimmers C/F ratio was high in both muscles, which may be partly involved in oxygen store to play under water for a long time.

Taken together, it is demonstrated that muscle fiber properties of athletes differentiate in kinds of sport activities, and that might reflect activity patterns of muscles participating in respective sport activities.

I 緒 言

スポーツ競技者の主働筋における筋線維組成については、これまで数多くの報告がなされている。その多くは、持久的競技者において高い遅筋線維比率 (% ST線維) を見出し¹⁰⁾¹²⁾、パワー種目の選手において高い速筋線維比率 (% FT線維) を報告している⁴⁾⁵⁾。この筋線維組成は遺伝的に決定

されており、基本的には生後の成長やトレーニングなどによって変化しないと考えられている¹³⁾¹⁴⁾。したがって、これは「素質」に関するパラメーターの1つであると言えよう。

一方、後天的に得られた成果、すなわちトレーニング効果についても、筋線維レベルで検討することが可能である。たとえば、筋力や筋収縮速度の向上を意図したトレーニングを重ねることによ

*筑波大学体育科学系

り、FT線維が選択的に肥大することが知られている⁶⁾¹⁷⁾。また、持久的なトレーニングを行うことにより、毛細血管の数が増加することも報告されている³⁾⁸⁾。これらのことから、ある種目に成功を収めている競技者の筋線維特性を検べることは、その種目にとって好ましい素質、さらには効果的なトレーニング方法を考える一助となるであろう。

本研究は、大学生として全日本レベルの選手を多数含む各種スポーツ競技者を対象として、筋のニードルバイオプシーを行い、各種目における筋線維特性について検討を加えた。

II 方 法

1. 被検者

被検者には、筑波大学および東海大学（シンクロナイズドスイミング選手1名）に在籍し、長年にわたって各クラブでトレーニングを積んでいる男子63名、女子16名の計79名を用いた。また、比較の対象として、特別なトレーニングを行っていない一般男子学生14名のデータ¹¹⁾を参考にした。各種目の被検者数、性別および年齢、身長、体重の平均値を表1に示した。

2. 組織化学的分析

ニードルバイオプシー²⁾は、筑波大学保健管理センターにおいて、同大学附属病院の医師によって行われた。

被検筋には、利き腕の三角筋（*M. deltoideus*）と外側広筋（*M. vastus lateralis*）を用いた。種目によっては主働筋と思われる方（三角筋または外側広筋）についてのみ行った。外側広筋は膝蓋骨上端から6～7cm体幹側の部位より、三角筋は

肩峰点から約5cm末梢側の筋中央部より、それぞれ約20～30mg採取した。筋組織は、摘出直後に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、マイ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。染色は、収縮特性を反映するMyosin ATPase染色¹⁶⁾、酸化能力を反映するDPNH-diaphorase染色¹⁵⁾、毛細血管分布を評価するためにAmylase-PAS染色¹⁾を行った。Gollnickら⁹⁾によって提唱された方法に従って速筋線維（FT線維）と遅筋線維（ST線維）に分類し、%FT線維を算出した。また、筋線維タイプ別の平均横断面積をデジタルマイザーを用いて算出し、筋線維の選択的肥大を表わすFT/ST areaを求めた。さらに、一定面積内にある毛細血管数と筋線維数を求め、その比（C/F ratio）を算出した。

III 結 果

1. 筋線維組成

図1は、外側広筋と三角筋における、%FT線維の種目別平均値と一般学生の平均値および標準偏差の範囲を示したものである。被検者数が4名以上の種目については標準偏差を示したが、3名以下の種目についてはこれを示さず各値をプロットした。

外側広筋においては、短距離走者が平均72.3% FT線維と高い値であったのに対し、長距離走者は平均35.5% FT線維と最も低い値を示した。両者とも一般学生（平均53.7% FT線維）との間に有意差（ $P < 0.05$ ）が認められた。中距離走者やシンクロナイズドスイミング選手は、平均においてややST

Table 1 Physical characteristics of the groups studied

	性別	被検者数	年齢	身長	体重
短 距 離 走 者	(男)	23	23.0	172.3	63.6
バ レ ー ボ ー ル	(男)	2	24.0	179.5	73.0
剣 道	(男)	5	23.6	177.4	75.0
野 球 (投 手)	(男)	3	19.7	177.7	73.7
テ ニ ス	(男)	3	20.0	171.7	64.3
卓 球	(男)	4	21.0	168.7	61.4
水 泳	(女)	14	19.6	161.1	54.6
シンクロナイズドスイミング	(女)	2	21.5	163.0	49.5
中 距 離 走 者	(男)	8	20.9	168.4	57.9
長 距 離 走 者	(男)	15	21.0	170.6	60.6
一 般 学 生	(男)	14	20.1	171.1	58.4

線維寄りの値を示した。

三角筋は、一般学生の平均値が42.8%FT線維であり、筋自体がややST線維型であることが推察される。その中において、剣道選手は平均59.4%FT線維を示し、一般学生に比べ有意 ($P < 0.05$) に高い値であった。一方、水泳選手は平均35.4%FT線維であり、一般学生と比べて有意差は認められなかったがかなり低い値を示した。

2. 筋線維の選択的肥大

図2にFT/ST areaの各種目の平均値を示した。

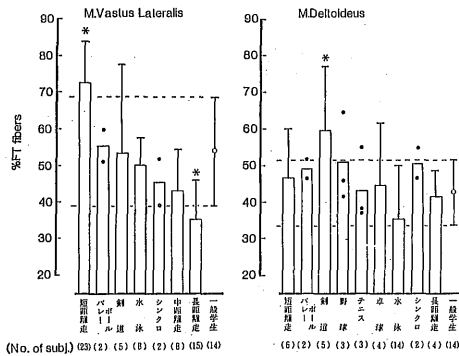


Fig.1 Mean values of %FT fibers in M. vastus lateralis and M. deltoideus of each group studied
*: $p < 0.05$ (each group of athletes vs untrained)

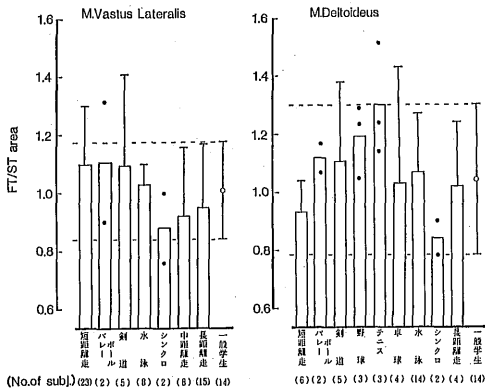


Fig.2 Mean values of FT/ST area in M. vastus lateralis and M. deltoideus of each group studied

FT/ST areaは、筋線維の選択的肥大を表すパ

ラメーターであり、その種目のトレーニングにおける特徴を示すと考えられる。一般学生の値は、外側広筋で1.01、三角筋で1.04であり、FT線維とST線維の面積がほぼ等しいと言えよう。

外側広筋においては、短距離走者、剣道、バレーボールの各選手が1.1前後の値を示した。一方、中・長距離走者とシクロナイズドスイミング選手ではその比がやや低い値を示し、ST線維の選択的肥大傾向が認められた。

三角筋においては、テニス、野球(投手)の各選手がそれぞれ1.30、1.19の高い値を示し、FT線維の選択的肥大が認められた。剣道、バレーボールの各選手は1.1前後の値であった。これとは対照的にシクロナイズドスイミング選手2名は0.90、0.77といずれも低い値であり、ST線維の方がFT線維よりも発達していることが示唆された。

3. 毛細血管供給

図3に、毛細血管の供給状態を表すC/F ratio

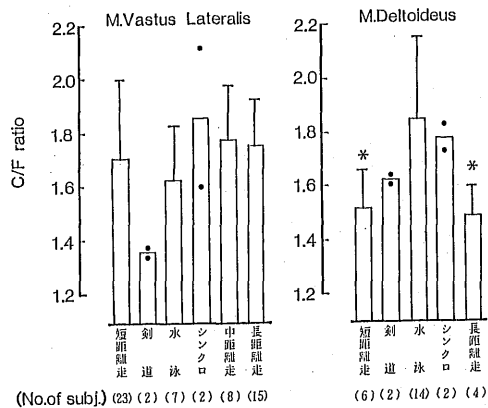


Fig.3 Mean values of capillaries/fibers ratio in M. vastus lateralis and M. Deltoideus of each group studied
*: $p < 0.05$ (each group of athletes vs swimmer)

の各平均値を示したが、対照群としての一般学生の値が欠落しており種目間の比較しかできなかった。外側広筋における毛細血管の供給に関しては、これまでいくつかの報告⁹⁾にみられるように、中・長距離走者のC/F ratioは高いことが推察される。それに比べシクロナイズドスイミング選手は、2名の平均値においてさらに高い値を示しており、毛細血管の発達が著しいと言えよう。一方、

剣道選手は、1.37, 1.35を示し、陸上競技や水泳の選手と比べていずれも低い値であった。

三角筋については、水泳選手、シンクロナイズドスイミング選手が1.8前後の高い値を示した。また、外側広筋において高い値を示した長距離走者、短距離走者は1.5前後であり、水泳選手に比べ有意に低い値であった。逆に、外側広筋で低値を示した剣道選手は、1.62, 1.63であり、陸上競技選手と水泳選手の間に位置していた。

IV 考 察

本研究の被検者のうち、水泳、シンクロナイズドスイミングの各選手はすべて女子であった。そのため、筋線維レベルでの性差について検討する必要があるだろう。しかし、Hedbergら⁷⁾は筋線維組成に性差が認められないことを確認しており、筋線維の肥大の様式や毛細血管の分布についても性差は考えにくい。よって同レベルで比較検討することが十分可能であると考え以下の考察をすすめる。

1. 筋線維組成

ある種目に成功している競技者は、主働筋において、その種目に望ましい筋線維組成を有していることがこれまで示されている⁴⁾¹⁰⁾¹²⁾。本研究においても、短距離走者や長距離走者の外側広筋および水泳選手の三角筋にその種目の特徴が明確に示されている。また、剣道選手の三角筋が一般学生に比べ、有意に高い%FT線維を有していることは興味深い。これは、短距離選手の外側広筋と同様、短時間の無氣的エネルギー発揮能力に優れていることが、動作のスピードに関与するためであろう。他の種目については、著明な違いは認められな

かった。これは、無氣的、有氣的エネルギー系の関与がほぼ同等であることや、競技成績の優劣に技術的要因が大きい割合を占めるためであろう。

2. 筋線維の選択的肥大

各競技グループの平均値は、一般学生の値に対し有意差を示すほどの値ではなかった。しかし、短距離走者、剣道、バレーボール選手の外側広筋が1.1前後の値を示したことや、野球(投手)、テニス選手の三角筋が1.19あるいは1.30の高い値を示したことは、各筋において速い収縮、強い収縮が要求されている証拠であろう。一方、シンクロナイズドスイミング選手については、両筋ともST線維の選択的肥大傾向が認められており、それほどスピードや力は問われない運動形態を反映していると考えられる。

3. 毛細血管供給

C/F ratioは、酸素運搬能力の有効な指標と考えられるが、長距離走者の脚筋において高い値を示すことがこれまで報告されている⁹⁾。本研究の中・長距離走者の値は、平均1.78, 1.76であり、Hermansenら⁸⁾の報告にある非鍛練者の1.49という値に比べかなり高い。また、三角筋においては、水泳選手が平均1.85と高い値を示している。これらの結果は、長年にわたる持久トレーニングの成果であろう。シンクロナイズドスイミングや剣道の選手については、これまで報告されていないが、本研究でみられるように特異な値を示したことは興味深い。シンクロナイズドスイミング選手は、両筋とも高いC/F ratioを示し、高い酸素供給能力が示唆された。また、長時間にわたり無呼吸での運動が行われるため、これは筋中におけるO₂ storeの重要性を物語る結果であろう。一方、剣道

Table 2 Muscle fiber properties of the groups studied

	素 質	トレーニング効果
短 距 離 走 者	下肢筋が速筋型	——
バレーボール	——	——
剣 道	上肢筋が速筋型	——
野 球 (投 手)	——	上肢筋におけるFT線維の肥大
テ ニ ス	——	上肢筋におけるFT線維の肥大
卓 球	——	——
水 泳	上肢筋が遅筋型	上肢筋における毛細血管の発達
シンクロナイズドスイミング	——	上下肢筋における毛細血管の発達
中 距 離 走 者	下肢筋が遅筋型	下肢筋における毛細血管の発達
長 距 離 走 者	下肢筋が遅筋型	下肢筋における毛細血管の発達

注) 横棒 (——) は、一定の特徴が認められなかったことを示す。

選手では三角筋に比べ外側広筋の値は低く、脚筋における持久性能力はあまり重要でないことが示唆された。

以上の結果をもとに、各種目にとって好ましい素質およびトレーニング効果を表2にまとめた。

V 総括

高度にトレーニングされた各種スポーツ競技者を対象として、筋線維組成や毛細血管分布に関して、種目別の特性の検討を試みた。被検筋には、外側広筋および三角筋を選び、ニードルバイオプシー法により筋組織を採取した。連続凍結切片を作成の後、組織化学的染色を施し、%FT線維、FT/ST area, C/F ratioを算出した。

結果の要約は次のとおりである。

1. 短距離走者の外側広筋、剣道選手の三角筋において高い%FT線維が認められ、長距離走者の外側広筋、水泳選手の三角筋において低い%FT線維が認められた。これらの結果は、ある種目に成功している競技者は、その種目が要求する体力発揮に望ましいと思われる筋線維組成を有していることを示している。

2. テニス選手や野球の投手の三角筋において、FT線維の選択的肥大が認められた。一方、シンクロナイズドスイミングの選手は、両筋ともST線維が選択的に肥大していた。この異なるトレーニング効果は、各競技に要求される動きの速さの違いによるものであろう。

3. 中・長距離走者の外側広筋、水泳選手の三角筋において高いC/F ratioが認められ、酸素供給能力にすぐれていることが示唆された。また、シンクロナイズドスイミングの選手は、両筋とも高いC/F ratioを示した。この結果は、この種目にとって筋中におけるO₂ storeが重要であることを示唆していると考えられる。

References

- 1) Andersen, P.: Capillary density in skeletal muscle of man. *Acta Physiol. Scand.*, 95: 203-205, 1975.
- 2) Bergström, J.: Muscle electrolytes in man. *Scand. J. Lab. Invest. Suppl.*, 68, 1962
- 3) Brodal, P., F. Ingjer and L. Hermansen: Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained men. *Am. J. Physiol.*, 232: H 705-H 712, 1977.
- 4) Costill, D.L., J. Daniels, W. Evans, W. Fink, G. Krahenbuhl and B. Saltin: Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.*, 40: 149-154, 1976.
- 5) Coyle, E.F., S. Bell, D.L. Costill and W.J. Fink: Skeletal muscle fiber characteristics of world class shot-putters. *Res. Quart.*, 49: 278-284, 1978.
- 6) Gollnick, P.D., R.B. Armstrong, C.W. Saubert IV, K. Piehl and B. Saltin: Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men. *J. Appl. Physiol.* 33: 312-319, 1972.
- 7) Hedberg, G. and E. Jansson: Skelett muskel fiber komposition. Kapacitet och intresse för olika fysiska aktiviteter bland elever i gymnasieskolan. Rapport 54, Pedagogiska Inst., Umeå, 1976, in B. Saltin, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 301: 3-29, 1977.
- 8) Hermansen, L. and M. Wachtlova: Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men. *J. Appl. Physiol.*, 30: 860-863, 1971.
- 9) Ingjer, F. and P. Brodal: Capillary supply of skeletal muscle fibres in untrained and endurance-trained women. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 38: 291-299, 1978.
- 10) 勝田 茂: 筋線維の特性に基づくスポーツ適性の開発に関する研究, 昭和57年度科研費(一般研究C)研究成果報告書, pp. 1-48, 1983.
- 11) 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.
- 12) Komi, P.V., H. Rusko, J. Vos and V. Vihko: Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiol. Scand.*, 100: 107-114, 1977.
- 13) Komi, P.V., K.J.T. Viitasalo, M. Havi, A. Thorstensson, B. Sjödin and J. Karlsson: Skeletal muscle fibres and muscle enzyme activities in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol. Scand.*, 100: 385-392, 1977.
- 14) Komi, P.V., and J. Karlsson: Physical performance, skeletal muscle enzyme activities, and fibre types in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 462, 1979.

- 15) Novikoff, A.B., W. Shin and J. Drucker: Mitochondrial localization of oxidative enzymes ; Staining results with two tetrazolium salts. *J. Biophys. Biochem. Cytol.*, 9: 47-61, 1961.
- 16) Padykula, H.A. and E. Herman: The specificity of the histochemical method for adenosine triphosphatase. *J. Histochem. Cytochem.*, 3: 170-195, 1955.
- 17) Schantz, P. : Capillary supply in hypertrophied human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 114: 635-637, 1982.