

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

勝田 茂・麻場 一徳*・田 淵 健 一**
高松 薫・田 中 守***

Muscle fiber composition of Japanese healthy untrained men using needle biopsy technique

Shigeru KATSUTA, Kazunori ASABA*, Ken-ichi TABUCHI**,
Kaoru TAKAMATSU and Mamoru TANAKA***

The purpose of this study was to obtain fundamental materials for muscle fiber composition in healthy Japanese men with no experience of systematic physical training. The subjects were 14 male volunteers from the University of Tsukuba, who weren't making a special study of physical education. Muscle samples were taken from M. deltoideus and M. vastus lateralis with the needle biopsy technique.

The results were summarized as follows.

1. M. deltoideus and M. vastus lateralis showed a tendency to be a little dominance of ST fibers (%FT: 42.5%, %areaFT: 42.8%) and of FT fibers (%FT: 53.7%, %areaFT: 53.5%), respectively. Individual values showed a very wide distribution of %FT and %areaFT in both muscles.
2. On the average, the cross-sectional area of FT and ST fibers were $3627 \mu\text{m}^2$ and $3507 \mu\text{m}^2$ in M. deltoideus, and were $4507 \mu\text{m}^2$ and $4556 \mu\text{m}^2$ in M. vastus lateralis, respectively. There was no significant difference in the cross-sectional area between FT fibers and ST fibers in both muscles. But as compared with M. deltoideus, the FT and ST fibers in M. vastus lateralis were 24.3% and 29.9% larger, respectively.
3. There was a significant positive correlation between %FT and %areaFT in both M. deltoideus and M. vastus lateralis (M. deltoideus: $r = 0.863$, $p < 0.05$, M. vastus lateralis: $r = 0.970$, $p < 0.01$). This showed that the rate of number reflected the rate of area in muscle fibers.
4. There was no significant correlation between %FT of M. deltoideus and M. vastus lateralis ($r = 0.017$). This showed that it was impossible to infer muscle fiber composition of lower limbs from that of upper limbs, and vice versa.

1 緒 言

ニードル・バイオプシー法の開発をきっかけとして、各種スポーツ選手の骨格筋線維における構造的・機能的特性が明らかにされている。これまでの研究によると、一流競技者はその種目に望ましい筋線維組成を有していることが明らかにされている。例えば、陸上競技の長距離⁵⁾⁶⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、クロ

スカントリー・スキー¹³⁾¹⁵⁾²⁰⁾、オリエンテーリング¹¹⁾²³⁾など、持久的種目に属する競技者は、主働筋においてST線維の占める割合が高いと報告されている。逆に、陸上競技の短距離競技者⁶⁾¹⁵⁾は、主働筋においてFT線維の占める割合が高いと報告されている。また、陸上競技の投てき⁶⁾⁷⁾および跳躍競技者⁶⁾、あるいは重量挙げ競技者³⁾¹¹⁾などは、主働筋の筋線維組成において一定の傾向はみられず、筋力や技術などの要因が競技成績に大きな影響を及ぼすことが明らかにされている。

一方、筋線維組成がトレーニングによって変化

* 筑波大学大学院修士課程体育研究科

** 関東中央病院

*** 福岡大学体育学部

するものか、あるいは遺伝によって決定されるものかについての研究¹⁶⁾¹⁷⁾も行われている。これらの研究結果によると、遅筋線維、速筋線維という質のちがいは、現段階では、先天的なものであり、トレーニングによって変化しないものと考えられている。このことは、各人に最も適したスポーツ種目を決定する上で、筋線維組成が一つの重要な要因となることを意味している。したがって、専門的なトレーニングを行う前に、何らかの方法で筋線維組成を評価することが必要であると考えられる。

ヒトの筋線維組成を評価する最も適切な方法は、ニードル・バイオプシー法²⁾によるものであろう。この方法を積極的に導入している国もある。しかし日本では、筋採取に対する抵抗感、あるいは技術的な問題などから、2~3の研究機関で行われているに過ぎない状況にある。またバイオプシーを幼児や児童に実施することにも問題がある。したがって何らかの方法によって筋線維組成を間接的に推定することは、この分野における重要な研究課題の一つになると考えられる。

このような課題を達成するための第一ステップとして、バイオプシーによって得られた資料をより多く収集することが必要となる。特に、トレーニングを行う前の筋における資料が重要になると

考えられる。しかしながら、スポーツ選手と比較して一般人における資料は極めて少ない。特に日本人に関しては、ほとんどないのが現状である。

そこで本研究は、今後、トレーニングやスポーツ適性に関する研究を筋線維組成の立場から発展させていくための一段階として、トレーニングを行っていない日本人健康青年男子の筋線維組成に関する基礎的資料を得ることを目的とした。

II 方法

1. 被検者

被検者には、筑波大学（体育専門学群以外の各学群）に在籍する健康な一般学生、男子14名を用いた。被検者はいずれも特別なトレーニングを行っていない非鍛練者である。表1に各被検者の身体特性を示した。

2. 組織化学的分析

バイオプシーは、筑波大学保健管理センターにおいて、同大学付属病院の医師によって行われた。

被検筋は、右側の三角筋(M.deltoideus)と外側広筋(M.vastus lateralis)である。三角筋においては、筋中部、肩峰点から5cm、外側広筋においては、膝蓋骨上端から6~7cmの各部位からニードル・バイオプシー法²⁾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

Table 1 Physical characteristics, $\dot{V}O_2$ max and H.R.max of individual subject

No.	Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)	H.R.max (beats/min)
1.	N.Ichikawa	20.8	169.7	64.0	56.8	211
2.	Y.Miyamoto	20.3	165.5	49.9	53.6	202
3.	K.Tokumoto	19.7	178.1	66.0	59.1	209
4.	K.Uchida	20.8	169.4	60.3	56.3	212
5.	T.Ashizawa	19.3	175.2	57.7	52.5	199
6.	K.Satoh	18.8	167.0	49.6	54.9	207
7.	H.Yamashita	20.6	172.6	58.1	47.1	193
8.	K.Yamamoto	19.0	184.8	73.6	45.9	205
9.	H.Muratani	20.8	175.7	57.7	58.1	201
10.	H.Ishikawa	21.8	166.3	49.9	58.5	208
11.	T.Uwabo	20.8	169.5	52.6	47.7	195
12.	T.Kikuchi	19.8	166.0	63.8	49.9	207
13.	T.Horio	20.2	163.3	51.7	49.4	196
14.	Y.Ichikawa	18.9	170.8	62.5	59.9	201
	Mean	20.1	171.1	58.4	53.6	203
	S.D.	0.89	5.83	7.19	4.82	6.07

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¹⁹⁾およびDPNH-diaphorase染色法¹⁸⁾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、その資料をもとにして、筋線維の組成(%FT, %ST), FT, ST各タイプの線維の平均横断面積、および全体に占めるFT線維、ST線維の面積比(%area FT, %area ST)を算出した。なお、筋線維タイプの分類には、Gollnickら¹¹⁾によって提唱された方法を用いた。

III 結果

表2は全被検者の三角筋および外側広筋の%FT, %areaFT, およびFT, ST各線維の平均横断面積を示している。FT, ST線維の割合をみると、三角筋では%FTが42.5%, %areaFTが42.8%とややST線維が多い傾向を示している。逆に、外側広筋では%FTが53.7%, %areaFTが53.5%とややFT線維が多い傾向を示している。一方、筋線維の平均横断面積については、三角筋、外側

広筋ともにFT線維とST線維の差は認められない。しかし、三角筋と外側広筋とを比較すると、FT線維で24.3%, ST線維で29.9%外側広筋が三角筋を上回っている。

図1は、三角筋と外側広筋の%FTを度数分布で示している。三角筋の%FTは、30~60%の範囲にあり、分布の幅がせまい。外側広筋の%FTは、20~80%の範囲にあり、分布の幅が広く、ほぼ正規分布を示している。

図2は、図1と同様に、三角筋と外側広筋の%areaFTを度数分布で示している。三角筋の%areaFTは、20~70%の範囲にあり、%FTと比

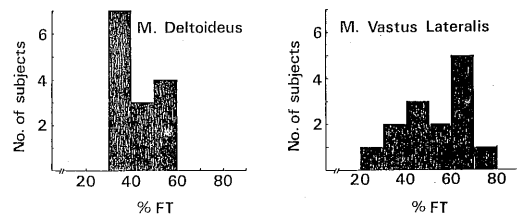


Figure 1. Distribution of %FT fibers in M. deltoideus and M. vastus lateralis

Table 2 Muscle fiber composition of healthy untrained men

No.	Subject	M.deltoideus				M.vastus lateralis			
		%FT fibers	%areaFT fibers	Fiber FT	area(μ m ²) ST	%FT fibers	%areaFT fibers	Fiber FT	area(μ m ²) ST
1.	N.Ichikawa	50.9	49.9	3739	3895	69.2	67.7	3534	3786
2.	Y.Miyamoto	56.1	59.0	4670	4143	25.8	25.2	4781	4920
3.	K.Tokumoto	36.7	35.5	3536	3723	35.3	33.4	7105	7741
4.	K.Uchida	34.4	42.6	4895	3462	48.6	49.7	5896	5634
5.	T.Ashizawa	34.6	38.3	4553	3878	40.0	44.0	3896	3304
6.	K.Satoh	46.5	46.6	2482	2468	53.6	49.8	2733	3178
7.	H.Yamashita	31.7	29.4	2781	3105	67.7	68.0	3749	3701
8.	K.Yamamoto	39.5	33.3	2500	3271	36.0	40.8	5159	4218
9.	H.Muratani	33.0	30.7	3820	4240	47.9	46.2	3168	3394
10.	H.Ishikawa	40.0	31.2	2186	3218	58.6	54.0	3285	3963
11.	T.Uwabo	44.9	54.8	3087	2077	68.1	74.9	6045	4332
12.	T.Kikuchi	59.9	55.5	3269	3922	68.4	66.8	5342	5734
13.	T.Horio	35.5	31.5	2638	3157	71.8	73.9	2685	2420
14.	Y.Ichikawa	51.0	60.3	6616	4536	60.9	54.4	5720	7457
Mean		42.5	42.8	3627	3507	53.7	53.5	4507	4556
S.D.		9.14	11.40	1219.0	682.6	15.04	15.20	1396.7	1580.2
Range		Mini. 31.7	29.4	2186	2077	25.8	25.2	2685	2420
		Max. 59.9	60.3	6616	4536	71.8	74.9	7105	7741

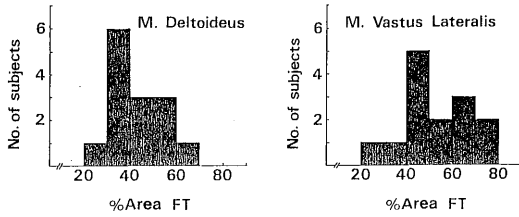


Figure 2. Distribution of % area FT fibers in M. deltoideus and M. vastus lateralis

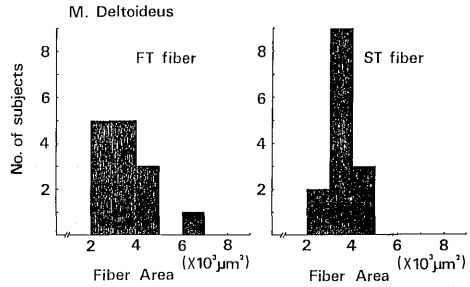


Figure 3. Distribution of average fiber cross area in M. deltoideus

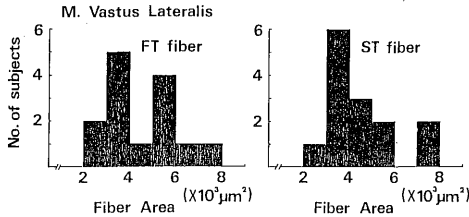


Figure 4. Distribution of average fiber cross area in M. vastus lateralis

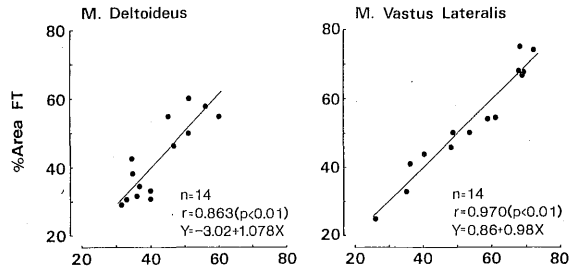


Figure 5. Relationships between %FT fibers and % area FT fibers in the M. deltoideus and M. vastus lateralis

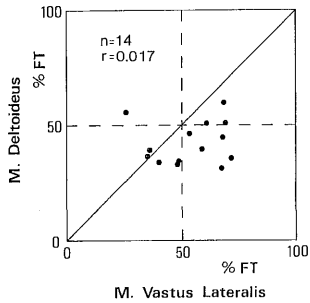


Figure 6. Relationships between %fibers of M. vastus lateralis and that of M. deltoideus

較して分布の幅が広く、ほぼ正規分布を示している。外側広筋の%areaFTは20~80%の範囲にあり、%FTと同様であるが、%FTの場合と比較してややFT線維が優位な傾向にある。

図3は、三角筋におけるFT, ST線維の平均横断面積を度数分布で示している。FT, ST線維ともに1名の例外を除いて、2000~5000 μm^2 の範囲内にある。

図4は、図3と同様に、外側広筋におけるFT, ST線維の平均横断面積を度数分布で示している。三角筋の場合と比較して、FT, ST線維ともに分布の幅が広く、2000~8000 μm^2 の範囲にわたっている。

図5は、三角筋および外側広筋における%FTと%areaFTとの関係を示している。外側広筋と比較して三角筋における相関係数がやや低かったが、いずれの筋においても、1%水準で有意な正の相関関係が認められた。

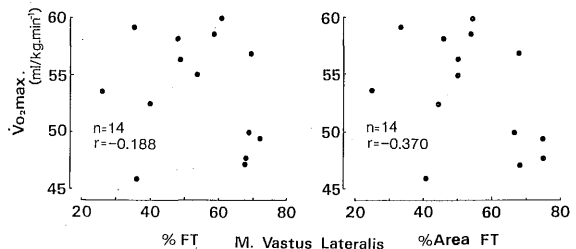


Figure 7. Relationships between %FT fibers and % area FT fibers of M. vastus lateralis and VO_2max

図6は、同一被検者における三角筋と外側広筋の筋線維の傾向を示している。両筋の%FTの間には、全く相関関係が認められない。

図7は、外側広筋の%FT, %areaFTと VO_2max との関係を示している。%FT, %areaFTともに VO_2max との間に有意な相関関係が認められなかった。

IV 考察

1962年、Bergström²⁾によってニードル・バイオブシー法が紹介されて以来、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競技特性に関する一資料として応用されるよう

になっている。しかし、専門的なトレーニングを行う以前の筋に関する資料は極めて少ない。特に日本人を対象とした資料はこれまで全く報告されていない。

本研究と同様に、同一被検者の上肢、下肢の筋を同時にサンプリングして、その組成を検討したものとしては、Gollnickら¹¹⁾によって報告された研究がある。その研究によると、非鍛練者14名の三角筋および外側広筋の%FTはそれぞれ54.8% (41.7~66.5%), 56.1%(27.1~76.0%)であった。本研究では、三角筋の%FTで、42.5%(31.7~59.9%), 外側広筋の%FTで53.7%(25.8~71.8%)という結果が得られたが、両者を比較すると、三角筋において後者がやや小さい値を示す傾向にあったが、全体的には、ほぼ同様の傾向を示している。

筋線維横断面積に関しては、本研究において三角筋のFT線維で $3627\mu\text{m}^2$ ($2186\sim 6616\mu\text{m}^2$), ST線維で $3507\mu\text{m}^2$ ($2077\sim 4536\mu\text{m}^2$), 外側広筋のFT線維で $4507\mu\text{m}^2$ ($2685\sim 7105\mu\text{m}^2$), ST線維で $4556\mu\text{m}^2$ ($2420\sim 7741\mu\text{m}^2$)という結果が得られた。また、いずれの筋においてもFT線維とST線維との間に差は認められず、両筋を比較した場合、外側広筋の方が三角筋よりも、FTで24.3%, STで29.9%上回ったという結果も得られた。これらに関して、前述のGollnickら¹¹⁾の研究は、三角筋のFT線維で $3594\mu\text{m}^2$ ($2270\sim 4918\mu\text{m}^2$), ST線維で $3234\mu\text{m}^2$ ($1135\sim 4540\mu\text{m}^2$), 外側広筋のFT線維で $4445\mu\text{m}^2$ ($3405\sim 6053\mu\text{m}^2$), ST線維で $4275\mu\text{m}^2$ ($1513\sim 7566\mu\text{m}^2$)という結果を報告している。両者を比較すると、ほぼ同様の結果であるといえる。

図5は、%FTと%areaFTとの関係について示している。%FTは全筋線維中に占めるFT線維の数で表されるが、%areaFTは下式によって計算される。これは筋全体の中で、FTあるいはST線維がそれぞれどの位の割合を占めるかを示したものであり、

$$\% \text{areaFT} = \frac{\% \text{FT} \times \text{FT断面積}}{(\% \text{FT} \times \text{FT断面積}) + (\% \text{ST} \times \text{ST断面積})}$$

実際の運動の場面などでは、単なるfiberの割合よりも%areaFT(またはST)が重要な意味をもつと考えられる。図5によると、いずれの筋においても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。

図6は、同一被検者における上肢の筋と下肢の筋の筋線維組成の傾向を示している。両者間には全く相関関係が認められなかった。このことは、同一人の上肢の筋線維組成と下肢の筋線維組成との間の関連は全くなく、一つの筋の筋線維組成から他の筋の組成を推定することは、困難であることを示している。

図7は、%FT, %areaFTと $\dot{V}\text{O}_2 \text{max}$ との関係を示している。筋線維組成とパフォーマンス・テストの結果との関係を検討した研究は多い。これらの研究は、慣性車輪²¹⁾, サイベックス・マシン⁴⁾⁸⁾¹²⁾²²⁾²³⁾などを用いて無気的パワーと筋線維組成の関係を検討した研究と、トレッド・ミル⁹⁾¹⁰⁾, 自転車エルゴメーター¹⁾などを用いて有気的パワーと筋線維組成との関係を検討した研究に分けられる。筋線維組成と $\dot{V}\text{O}_2 \text{max}$ との関係については、持久的競技者を対象とした研究⁹⁾¹⁰⁾が多い。それらのほとんどの研究において、%STと $\dot{V}\text{O}_2 \text{max}$ との間に有意な正の相関関係が認められている。一方、非鍛練者に関しては、Berghら¹⁾によって%STと $\dot{V}\text{O}_2 \text{max}$ との間に有意な正の相関関係($n=40$, $r=0.34$, $p<0.05$)が報告されている。本研究では、%areaFTと $\dot{V}\text{O}_2 \text{max}$ との間にBerghらと同様の相関係数($r=-0.370$)が認められたが、被検者数が少なかったため有意水準には達しなかった。

本研究資料は、日本人の非鍛練者に関する資料としては、初めてのものである。したがって比較の対象はすべて外国人であったが、本研究結果から、日本人青年男子における筋線維組成の特徴は外国人と同様であることが示された。今後さらにサンプル数を増して、トレーニングあるいはスポーツ適性の分野に応用されていくことが望まれる。

V 総括

トレーニングを行っていない日本人健康青年男子の筋線維組成に関する基礎的資料を得ることを目的として、ニードル・バイオプシーを試みた。被検者は、体育専門学群以外の各学群に所属する一般男子学生14名であり、被検筋は右の三角筋および外側広筋である。組織化学的染色を施すことによって、%FT, %areaFT, FT, ST線維の平均横断面積を算出した。

結果の要約は次の通りである。

1. 三角筋と外側広筋の%FT, %areaFTにつ

いては、三角筋の場合、それぞれ42.5%、42.8%とやや遅筋型の傾向を示した。逆に外側広筋の場合は、それぞれ53.7%、53.5%とやや速筋型の傾向を示した。一方、個人的な分布をみると、いずれの筋においても、広い範囲に分布していた。

2. 三角筋と外側広筋のFT, ST線維の平均横断面積は、三角筋ではそれぞれ $3627\mu\text{m}^2$, $3507\mu\text{m}^2$, 外側広筋ではそれぞれ $4507\mu\text{m}^2$, $4556\mu\text{m}^2$ という値を示し、いずれの筋においても、FT, ST線維間に差が認められなかった。しかし、三角筋と外側広筋とを比較すると、FTで24.3%, STで29.9%外側広筋が三角筋を上回った。

3. 三角筋および外側広筋における%FTと%areaFTとの関係は、いずれの筋においても有意な相関を示した(三角筋: $r=0.863$, $p<0.01$, 外側広筋: $r=0.970$, $p<0.01$)。このことから線維の数の比が面積の比を反映することが示唆された。

4. 三角筋の%FTと外側広筋の%FTとの間には有意な相関関係が認められなかった($r=0.017$)。このことから、上肢の筋の筋線維組成から下肢の筋の筋線維組成を推定すること、あるいはその逆は不可能であることが示唆された。

本研究に要した費用の一部は、昭和55-57年度文部省科学研究費補助金一般研究(C), 課題番号00558037(研究代表者:勝田 茂)によるものである。

参 考 文 献

- 1) Bergh, U., A. Thorstensson, B. Sjödin, B. Hulthen, K. Piehl, and J. Karlsson: Maximal oxygen uptake and muscle fiber types in trained and untrained humans. *Med. Sci. Sport.*, 10:151-154, 1978.
- 2) Bergström, J.: Muscle electrolytes in man. *Scand. J. Lab. Invest. Suppl.*, 68, 1962.
- 3) Clarksson, P. M., W. Kroll, and T. C. McBride: Maximal isometric strength and fiber type composition in power and endurance athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 44:35-42, 1980.
- 4) Clarksson, P. M., J. Johnson, D. Dextradeur, W. Leszczynski, J. Wai and A. Melchionda: The relationships among isokinetic endurance, initial strength level, and fiber type. *Res. Quart. Ex. Sport.*, 53:15-19, 1982.
- 5) Costill, D. L., W. J. Fink, and M. L. Pollock: Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med. Sci. Sport.*, 8:96-100, 1976.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) Coyle, E. F., D. L. Costill, and G. R. Lesmes: Leg extension power and muscle fiber composition. *Med. Sci. Sport.*, 11:12-15, 1979.
- 9) Farrell, P. A., J. H. Wilmore, E. F. Coyle, J. E. Belling, and D. L. Costill: Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sport.*, 11:338-344, 1979.
- 10) Foster, C., D. L. Costill, J. T. Daniels, and W. J. Fink: Skeletal muscle enzyme activity, fiber composition, and $\dot{V}O_2\text{max}$ in relation to distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 39:73-80, 1978.
- 11) 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.
- 12) Inbar, O., P. Kaiser, and P. Tesch: Relationships between leg muscle fiber type distribution and leg exercise performance. *Int. J. Sports Med.*, 2:154-159, 1981
- 13) Ingjer, F.: Capillary supply and mitochondrial content of different skeletal muscle fiber types in untrained and endurance-trained men. A histochemical and ultrastructural study. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 40: 197-209, 1979.
- 14) 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.
- 15) Komi, P. V., H. Rusko, J. Vos, and V. Vihko: Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiol. Scand.*, 100:107-114, 1977.
- 16) Komi, P. V., K. J. T. Viitasalo, M. Havi, A. Thorstensson, B. Sjödin, and J. Karlsson: Skeletal muscle fibers and muscle enzyme activities in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol. Scand.*, 100:385-392,

- 1977.
- 17) Komi, P. V., and J. Karlsson : Physical performance, skeletal muscle enzyme activities, and fiber types in monozygous and dizygous twins of both sexes. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 462, 1979.
 - 18) 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.
 - 19) Padykula, H. A. and E. Herman: The specificity of the histochemical method for adenosine triphosphatase. *J. Histochem. Cytochem.*, 3:170-195, 1955.
 - 20) Rusko, H., P. Rahkila, and E. Karvinen : Anaerobic threshold, skeletal muscle enzymes and fiber composition in young female cross-country skiers. *Acta Physiol. Scand.*, 108:263-268, 1980.
 - 21) 琉子友男, 浅見俊雄, 戸莉晴彦: 脚伸展パワーおよび等尺性最大筋力に及ぼす筋線維構成の影響, 東京大学教養学部体育学紀要, 13:11-15, 1979.
 - 22) Thorstensson, A., G. Grimby, and J. Karlsson: Force-velocity relations and fiber composition in human skeletal muscles, *J. Appl. Physiol.*, 40: 12-16, 1976.
 - 23) Thorstensson, A., L. Larsson, P. Tesch, and J. Karlsson: Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med. Sci. Sport.*, 9:26-30, 1977.