

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

琉子 友男 浅見 俊雄 戸苺 晴彦

The Effect of Muscle Fiber Composition on the Maximal Power and the Maximal Isometric Strength of Leg Extensor Muscle

by

Tomoo Ryushi, Toshio Asami and Haruhiko Togari

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between the muscle fiber composition (% FT fiber area) and the maximal power and maximal isometric strength of one-leg extensor muscle. Subjects were 12 healthy male college physical education majors who were all soccer players. Fiber samples were taken from the vastus lateralis muscle by the needle biopsy technique by Bergström (1962), frozen and dyed by the method of Khan, et al (1972). The per cent FT fiber area was calculated by the method of Costill, et al (1976).

The correlation coefficient between the maximal power/body weight (equivalent mass, 80 kg) and % FT fiber area was 0.734 ($p < 0.01$) and it was 0.698 ($p < 0.01$) between Fm/t (equivalent mass, 20 kg) and % FT fiber area. The correlation coefficient between the maximal isometric strength and % FT fiber area was 0.310 and not statistically significant.

In this study it was recognized that a leg muscle with high % FT fiber area could produce high extension power in its dynamic contraction and that it could also develop force in high speed when it contracted with maximal power. The % FT fiber area seemed, in some way, to affect the development of maximal isometric strength.

緒 言

ヒトの骨格筋は組織化学的に種々に分類されているが、近年スポーツ科学の分野では、速い収縮はできるが疲労しやすい Fast twitch (FT) 線維と収縮速度は遅いが収縮の持続性のある Slow twitch (ST) 線維の2つに大きく分類する方法を用いた研究が数多く報告されている。⁴⁾⁵⁾¹³⁾¹⁴⁾

これらの筋線維の分布状態が異なれば、筋の発揮することのできる作業能力に差異が生じることが考えられる。すなわち、Gollnick ら⁵⁾ (1972),

Costill ら³⁾ (1976) および Saltin ら¹³⁾ (1977) はマラソンやオリエンテーリングなどの持久的種目に従事している被験者の脚筋には ST 線維が多いという結果を得ている。また、Hultén ら⁷⁾ (1975) によれば、ST 線維の占める比率の多い被験者は静的な筋持久力にすぐれていることを報告している。Thorstensson ら¹⁶⁾ (1976) は脚伸展時の最高速度と FT 線維の占める比率との間に $r = 0.50$ ($P < 0.05$) の相関関係を見いだしている。

等尺性最大筋力と筋線維構成との間の関係をみたものとして、Tesch と Karlsson¹⁵⁾ (1978) は F

T線維の占める比率の多い者は等尺性最大筋力も高いことを報告し、一方、Thorstensson¹⁷⁾(1976)は等尺性最大筋力発揮の際、FT線維の多い者と少ない者との間に有意な差が認められないという結果を得ている。

Komiら⁹⁾(1977)はMargariaらの方法を用いて測定したVertical velocityとFT線維の占める比率との間に $r=0.37$ ($P<0.001$)の相関関係が認められること、また、垂直跳記録とFT線維の占める比率との間にも $r=0.48$ ($P<0.01$)の相関関係が認められることを報告している¹⁰⁾。これらの結果は高い筋パワーを発揮することのできる者はFT線維の占める比率も多いことを示しているものと考えられるが、筋パワーを直接測定し、筋線維構成との関係をみた研究はまだみられない。

そこで本研究では、筋生検法を用いて外側広筋の筋線維構成(%FT fiber area)を測定し、等尺性最大筋力および脚伸展パワーに及ぼす筋線維構成の影響をみようとするものである。

研究方法

被験者は某大学体育学部のサッカー部に所属する健康成人男子12名である。彼らの身体特徴は表1に示した。

Table 1. Characteristics of subjects

Subj	Age (yr)	Ht (cm)	Wt (kg)	Vo ₂ max (ml/kg min)
Ka	19	177.0	70.0	49.9
Mu	20	171.4	65.5	54.6
Tn	20	163.3	60.5	61.4
Kw	20	171.8	58.6	60.2
Ku	20	178.0	71.2	54.7
Na	19	167.2	64.2	60.4
Ta	19	169.4	61.0	59.8
Ha	19	167.7	64.2	55.9
Ni	20	173.4	73.5	52.3
Su	21	160.0	50.6	64.2
Mi	20	169.5	64.2	66.9
Ma	19	169.5	69.3	59.8
Mean	19.7	169.9	64.4	58.3
±SD	0.7	5.0	6.3	5.0

筋サンプルはNeedle biopsy technique (Bergström,¹⁾1962)を用いて被験者の右大腿の外側広筋から採取した。採取した筋サンプルは液体窒素で冷やしたイソペンタンを用いて瞬間凍結し、

-20℃のクリオスタット内で8μの凍結切片にした。その後、Myosin ATPase染色(Khanら⁸⁾1972)を行ない、2つの線維タイプ(FT線維とST線維)に分類した。その染色結果から各線維の比率を求めた。

$$\text{筋線維比率(\%)} = \frac{\text{FT(あるいはST)線維数}}{\text{全筋線維数}^*} \times 100$$

*少なくとも200個以上の筋線維

また、Costillら²⁾(1976)と同様の方法を用いて各線維1本の平均横断面積を求め、さらに筋線維横断面積比率を算出した。

$$\text{筋線維横断面積比率(\%)} =$$

$$\frac{\text{FT(あるいはST)\%} \times \text{FT(あるいはST)横断面積}}{(\text{FT}\% \times \text{FT横断面積}) + (\text{ST}\% \times \text{ST横断面積})} \times 100$$

脚伸展パワーは、慣性車輪(MPJ-500, 明興社)を用いて20kgおよび80kgの慣性負荷をかけて測定した。この測定方法および負荷量は、日本サッカー協会が行なっている体力測定の1項目である脚伸展パワーと同一のものである。すなわち、被験者は測定用椅子に座り、足頸部に巻いたベルトと慣性車輪を連結したワイヤーを膝関節角度90°の状態から最大努力で膝関節を伸展させ、牽引したときのパワー曲線、力曲線および速度曲線をインク書きオシログラフに記録した。

脚伸展の際の等尺性最大筋力は、膝関節角度90°の状態、ストレンゲージを貼布したロードセルを用いて測定した。被験者は十分な時間間隔において随意最大努力で3回筋力を発揮し、そのうちの最大値を等尺性最大筋力とした。

結果と考察

本研究の被験者12名の筋線維比率は、それぞれFT線維が55.4%(35.5~74.0)、ST線維が44.6%(26.0~64.5)であり、この値はGollnickらの報告⁵⁾の非鍛練者の筋線維比率とほぼ同様の値であり、また、KristensenとHansen¹²⁾の報告のサッカー選手の筋線維比率ともほぼ同様の値であった。線維1個の平均横断面積はFT線維が4,967μm²(4,045~6,806)、ST線維が4,772μm²(4,033~6,022)であり、わずかにFT線維の方がST線維よりも大きかった。その筋線維比率と平均横断面積から求めた筋線維横断面積比率はFT

Table 2. Fiber distribution, size, and relative areas of subjects

Subj.	% FT fiber	% ST fiber	FT fiber Area μm^2	ST fiber Area μm^2	% FT fiber area	% ST fiber area	ST/FT area
Ka	74.0	26.0	4,733	5,192	72.2	27.8	0.39
Mu	68.9	31.1	5,194	5,216	68.8	31.2	0.45
Tn	66.8	33.2	4,409	4,152	68.1	31.9	0.47
Kw	57.5	42.5	4,734	4,197	55.3	44.7	0.81
Ku	57.4	42.6	4,045	4,618	54.1	45.9	0.85
Na	55.1	44.9	4,702	4,711	55.1	44.9	0.81
Ta	54.0	46.0	6,806	5,048	61.3	38.7	0.63
Ha	51.4	48.6	4,549	6,022	44.5	55.5	1.25
Ni	49.2	50.7	4,264	4,197	49.7	50.3	1.01
Su	48.3	51.7	4,207	4,033	49.4	50.6	1.02
Mi	46.9	53.1	5,725	5,265	49.0	51.0	1.04
Ma	35.5	64.5	5,020	4,608	37.5	62.5	1.67
Mean	55.4	44.6	4,967	4,772	55.4	44.6	0.45
\pm SD	10.6	10.6	596	767	10.5	10.5	0.37

線維が55.4% (37.5~72.2) S T線維が44.6% (27.8~62.5) であった。(表2)

等尺性最大筋力, 脚伸展時の最大パワーおよび Fm/t を表3に示した。ここで Fm/t はパワー発揮時の力曲線の最高値 (Fm) とその最高値の出現時間 (t) との比率であり, いわば力の発現速度に相当する指数といえる。¹¹⁾

Table 3. Maximal isometric strength, maximal power, and Fm/t of the knee extensor muscle

Subj.	Max St. (kg)	Max Power (watt)		Fm/t (kg/sec)	
		Eq. Mass	20kg	Eq. Mass	20kg
Ka	97	640	610	205	250
Mu	78	500	400	182	198
Tn	80	600	440	170	132
Kw	76	431	435	180	143
Ku	84	460	440	117	104
Na	67	420	360	125	173
Ta	72	480	420	133	128
Ha	62	400	360	96	93
Ni	84	500	560	180	167
Su	78	378	400	155	97
Mi	76	360	290	121	118
Ma	86	476	444	167	111
Mean	78.3	470	430	152.6	142.8
S.D.	9.2	83	86	33.4	46.8

図1はFT線維の横断面積比率 (% FT fiber area) と体重あたりの脚伸展パワーとの関係を見たものである。等価質量 (Equivalent mass) 80kgのときの両者の相関係数は $r=0.734$ であり, これは1%水準で有意であった。等価質量20kgのと

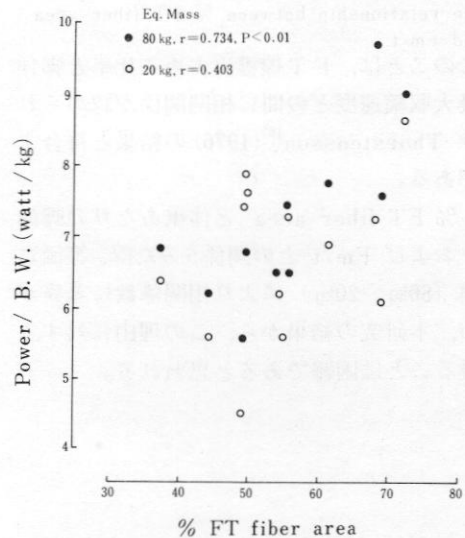


Fig. 1. The relationship between % FT fiber area and power/ body weight.

きの両者の相関係数は $r=0.403$ であったが, 被験者数の関係から有意にはいかなかった。しかし, FT線維の占める比率の多い脚筋を持っている者はそうでない者より高い脚伸展パワーを発揮できるという傾向をみる事ができた。

次に, 図2は % FT fiber area と Fm/t との関係を見たものである。等価質量20kgのときの両者の相関係数は $r=0.698$ であり, これは1%水準で有意であった。また, 等価質量80kgのときの両者の相関係数は $r=0.474$ であった。しかし, FT線維の占める比率の多い脚筋を持っている者は力の発現速度も速いという傾向をみる事がで

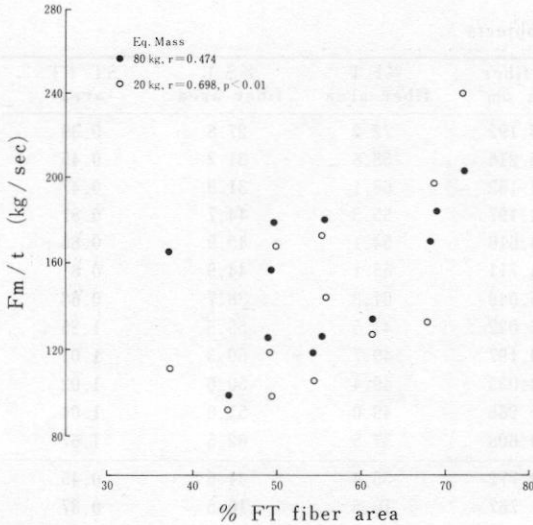


Fig. 2. The relationship between % FT fiber area and Fm/t

きた。このことは、FT線維の占める比率と脚伸展時の最大収縮速度との間に相関関係が認められたという Thorstensson¹⁶⁾(1976)の結果と符合するものである。

なお、% FT fiber area と体重あたりの脚伸展パワーおよび Fm/t との関係を見た際、等価質量の差異(80kg, 20kg)により相関係数に差異が生じたが、本研究の結果から、この理由に対する確証を得ることは困難であると思われる。

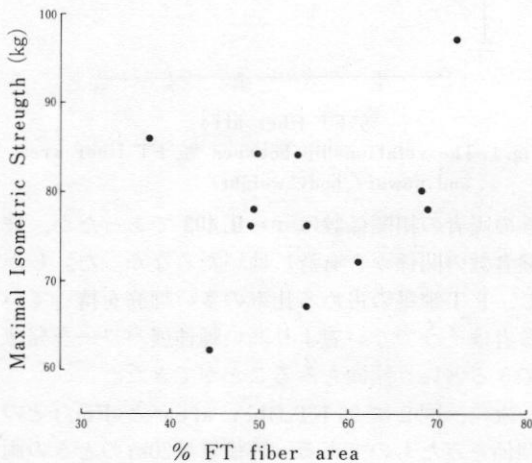


Fig. 3. The relationship between % FT fiber area and maximal isometric one-leg strength (kg). The correlation coefficient of $r=0.310$ is statistically no significant.

図3は % FT fiber area と等尺性最大筋力の

関係をみたものである。その結果、両者の間に $r=0.310$ の相関係数を得たが、有意にはいかなかった。しかし、傾向としては、FT線維の占める比率と等尺性最大筋力との間にある程度関係があるものと思われる。このことは、FT線維の占める比率と等尺性最大筋力との間に $r=0.55$ の相関係数を算出し、0.1% 水準で有意であるという Tesch と Karlsson の報告¹⁵⁾および組織化学的なPAS染色の結果から、等尺性最大筋力発揮中には、主にFT線維が動員されるという Gollnick ら⁶⁾(1974)の報告と符合するものであるが、等尺性最大筋力発揮の際、FT線維の多い者と少ない者との間に有意な差が認められなかったという Thorstensson¹⁷⁾(1976)の結果とは一致しないものである。

本研究の結果は、FT線維の占める面積比率の多い筋は、動的収縮において高い筋パワーを発揮でき、その時の力の発現速度も速いということを示すものである。また、FT線維の占める面積比率は等尺性最大筋力のような静的収縮においても、何らかの影響を与えるものと思われる。しかし、これらの事実をより確証するためには、例数を増やすことや、トレーニング度を考慮するなどの検討が必要であると考えられる。

結 論

12名の体育学部のサッカー部に所属する健康成人男子を用いて、外側広筋の筋線維構成(% FT fiber area)と脚伸展パワーおよび等尺性最大筋力との関係を検討し、次の結果が得られた。

1. FT線維の占める面積比率の多い筋は、動的収縮において高い脚伸展パワーを発揮することができる。
2. FT線維の占める面積比率の多い筋は、最大パワー発揮時の力の発現速度も速い。
3. FT線維の占める面積比率は等尺性最大筋力発揮に対しても、何らかの影響を与えるものと思われる。

本研究に対し、御校閣下さった広田公一教授、また、実験に際し、並々ならぬ御協力頂いた日本サッカー協会医事委員会の方々に深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Bergström, J. : Muscle electrolytes in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 14: Suppl. 68, 11–13, 1962.
- 2) 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.
- 3) Costill, D.L., W.J. Fink and M.L. Pollock: Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med. Sci. in Sports* 8: 96–100, 1976.
- 4) Essén, B., E. Jansson, J. Henriksson, A.W. Taylor and B. Saltin: Metabolic characteristics of fiber types in human skeletal muscle. *Acta physiol. scand.* 95: 153–165, 1975.
- 5) 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.
- 6) Gollnick, P.D., J. Karlsson, Karin Piehl and B. Saltin: Selective glycogen depletion in skeletal muscle fibers of man following sustained contractions. *Med. Sci. in Sports* 241: 59–67, 1974.
- 7) Hultén, B., A. Thorstensson, B. Sjödin and J. Karlsson: Relationship between isometric endurance and fiber types in human leg muscles. *Acta physiol. Scand.* 93: 135–138, 1975.
- 8) Khan, M.A., J.M. Papadimitriou, P.G. Holt and B.A. Kakulas: A calcium-citro-phosphate technique for the histochemical localization of myosin ATPase. *Stain Technology* 47: 277–281, 1972.
- 9) Komi, P.V., H. Rusko, J. Vos and V. Vihko: Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta physiol. scand.* 100: 107–114, 1977.
- 10) Komi, P.V. and C. Bosco: Utilization of elastic energy in jumping and its relation to skeletal muscle fiber composition in man. In: E. Asumssen and T. Jørgensen (eds.), *Biomechanics VI-A*, PP. 79–85. University Park Press, Baltimore, 1977.
- 11) 金子公宥: 「人体筋のダイナミクス」
初版: pp. 36–92, 杏林書院, 1974.
- 12) Kristensen, J.H. and T.I. Hansen: Quantitative histochemistry of single fibers in human quadriceps muscle. In: E. Asumssen and T. Jørgensen (eds.), *Biomechanics VI-A*, 49–53. University Park Press, Baltimore, 1977.
- 13) Saltin, B., J. Henriksson, E. Nygaard, P. Anderson and E. Jansson: Fiber types and metabolic potentials of skeletal muscles in sedentary man and endurance runners. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 301: 3–29, 1977.
- 14) Saltin, B.: Metabolic fundamentals in exercise. *Med. Sci. in Sports* 5: 137–146, 1973.
- 15) Tesch, P. and J. Karlsson: Isometric strength performance and muscle fiber type distribution in man. *Acta physiol. scand.* 103: 47–57, 1978.
- 16) Thorstensson, A., G. Grimby and J. Karlsson: Force-Velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *J. Appl. Physiol.* 40: 12–16, 1976.
- 17) Thorstensson, A.: Muscle strength, fiber types and enzyme activities in man. *Acta physiol. scand. Suppl.* 443, 1–45, 1976.