

下肢の筋形態と機能的特性が泳能力に及ぼす影響

Effects of muscle structure and function on swimming performance in human lower limb.

角 田 直 也*, 須 藤 明 治**, 藤 原 寛 康***

Naoya TSUNODA *, Akiharu SUDO ** and Hiroyasu FUJIWARA ***

ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the effects of muscle structure and function on swimming performance. Subjects were 10 male university swimmers and 10 male university non-swimmers. The muscle function of the lower limbs was measured by Ballistic Master; the peak velocity of the up-swing (KPU) and down-swing (KPD) of the thigh was obtained. Moreover, the joint torque at the maximum exertion of isokinetic muscle contraction in extension and flexion of the knee joint was measured by Biodex System II. At the same time, tissue cross-sectional thickness of subcutaneous fat, and muscle composing the lower limbs was measured by ultrasonography. The subjects were instructed to swim 25 m distance with full kicking exercise. In the tissue cross-sectional thickness of the muscle, the femoral anterior part of the swimmer group (S) was larger than that of the non-swimmer group (N), whereas, the femoral posterior part and lower leg posterior part of the S group were smaller than that of the N group. The flexion / extension torque ratio of the knee joint at 120 deg/sec showed lower values in S group than that of N group. In ballistic free local movement, the KPU and KPD of the right lower limb were faster in the S group than in the N group.

From these results, it was considered that the development of the muscle groups of the femoral anterior part was important factor for kick force in swimming.

Key wards; isokinetic force, cross sectional muscle thickness, swimming record

は じ め に

ヒトの重心移動に関する要因に関しては古くから多くの研究がなされている^{5, 10, 14)}。その多くは重力下における歩行や走行動作を対象としたものであり、下肢の筋形態や機能的特性が重心移動の推進に大きく影響していることが明らかになって

いる⁵⁾。

一方、重力の影響が少ない水中での移動動作（主として泳ぐ）に関しては、水の摩擦抵抗，造波抵抗，造渦抵抗等の影響を受ける⁷⁾。この抵抗に抗する身体移動の推進力を生じさせるエネルギー産出は上肢や下肢の筋群の収縮によるものと考えられている²⁾。宮下らの自由形における水泳中の

* 国士舘大学体育学部身体運動学教室 (Lab. of Biodynamics and Human Performance, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士舘大学体育学部水泳科学研究室 (Lab. of Sciences in Swimming and Water exercise, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

*** 東京大学生命環境科学系身体運動 (Lab. of Sports Sciences, University of Tokyo)

筋電図より上肢の筋活動が推進力に大きな役割を持っていることを報告している¹⁾。また、泳能力に及ぼす要因としてキック動作は揚力や推進力を生じさせる為に大変重要であることが知られている⁶⁾。しかし、下肢の筋形態や機能的特性が水中での身体移動能力（泳パフォーマンス）にどのような関わりを持つか？ についての検討は極めて少ない。

そこで、本研究では男子の全国大会決勝出進者を含む大学生水泳選手と大学生準硬式野球選手を対象として、超音波法による下肢の筋形態、大腿の振り上げと振り下ろし動作の動作速度及び等速性による脚の伸展と屈曲力等を測定し、下肢の筋形態及び機能的特性と泳パフォーマンスとの関係について検討した。

研 究 方 法

I. 被験者

本研究の被験者は全国大会決勝出進者を含む男子大学生水泳選手10名（年齢：20.5±1.1歳）と対象群として男子大学生準硬式野球選手10名（年齢：20.0±0.7歳）であった。

被験者の身体的特徴は各群別に平均と標準偏差値で表1に示した。なお、大腿及び下腿の周径囲については、右側の最大囲を伸位において巻尺法で計測した。体脂肪率（%Fat）はキャリパー法で測定した。

各被験者には研究の目的、内容等について十分説明し、本研究への任意による参加の同意を得た。

Table 1. Physical Characteristics of Subjects.

	Height (cm)	Weight (kg)	%Fat (%)	Girth	
				Thigh (cm)	Lower leg (cm)
S-group	175.3±3.9	68.7±5.3	11.7±1.4	53.4±2.1	36.2±1.6
N-group	174.0±3.9	65.4±4.3	11.7±1.5	53.7±2.7	37.2±2.0

Swimmers, N-group: Non-swimmers, Values are means ±SD.

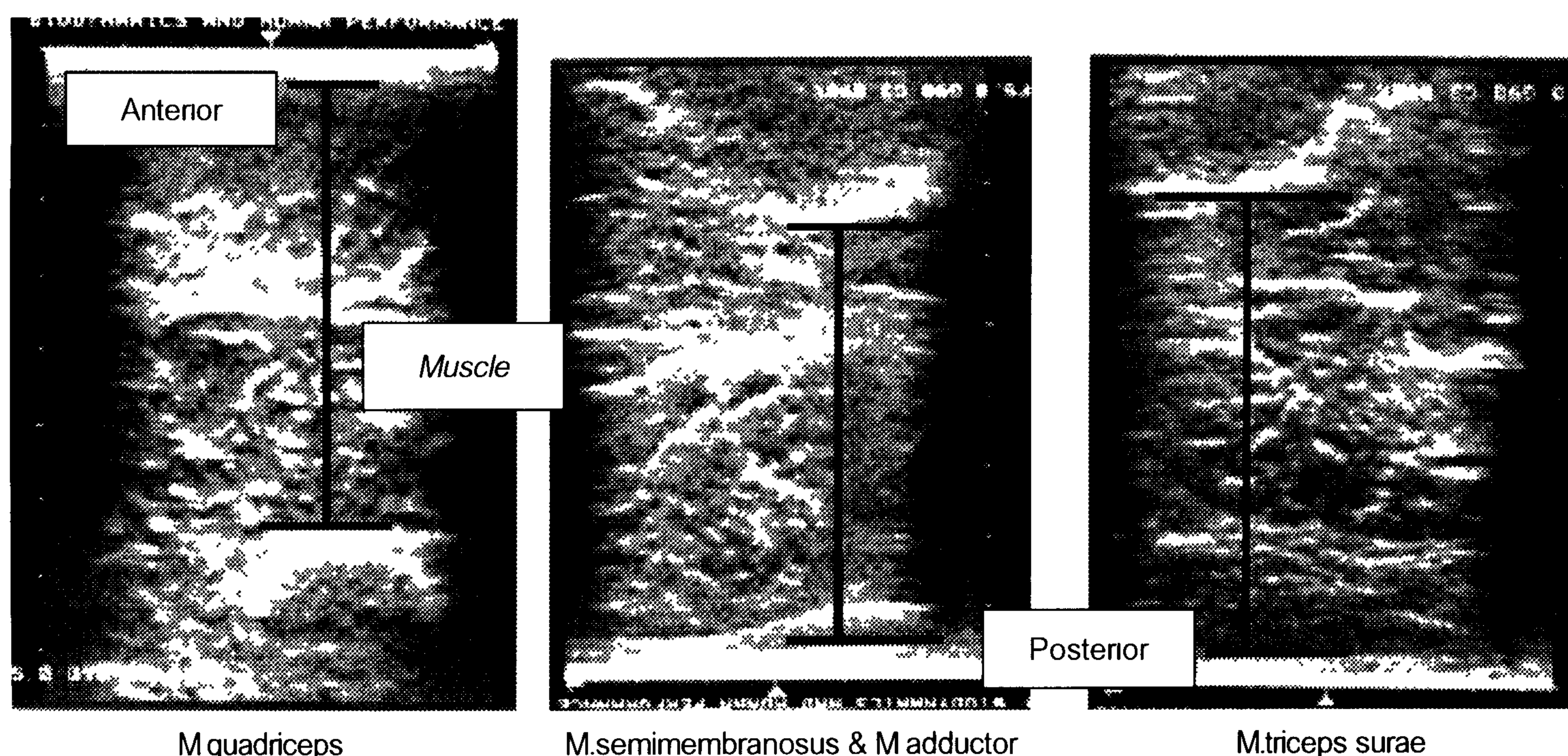


Fig 1. The muscle thickness was measured by using B-mode ultrasonic method.

Ⅱ. 筋横断面厚の測定

大腿及び下腿部の筋厚の測定は、超音波B-mode法（Echo Camera SSD-650CL, ALOKA製）を用いて、超音波周波数 5 MHzで行った。測定部位は大腿の前後部が大腿長の遠位50%であり、下腿の後部が下腿長の遠位30%であった。筋厚の計測は皮下脂肪組織と筋組織の境界を示す反射波から大腿前後部では大腿骨まで、下腿後部では踵骨までの距離をそれぞれ測定した（図1）。

Ⅲ.動作速度の測定

下肢の振り下ろし動作（Knee Pull Down : KPD）と振り上げ動作（Knee Pull Up : KPU）における速度の測定はBallistic Master（コンビ社製）を用いて行った。被験者は3～5回のウォーミングアップの後、音による動作開始合図で最大努力により5回の無負荷での空振り動作を行った。この5回の動作で得られた測定値のうち最大速度（Peak Velocity）を動作速度とした。

Ⅳ. 等速性最大筋力の測定

膝関節の伸展及び屈曲動作での等速性最大筋力はBiodex System IIを用いて測定した。測定速度は伸展及び屈曲とも毎秒60, 120, 240度であった。各速度とも被験者は2から3回のウォーミングアップの後、モニター上の動作開始合図により最大努力で3回の膝伸展と屈曲動作を行った。また、測定に際しては試行順序や筋疲労等が測定値に影響を及ぼさぬよう各速度の試行順序は被験者毎に無作為に設定し、各試行間には十分な休息（2～3分）を被験者に与えた。なお、全被験者とも測定は座位姿勢により両脚について実施した。

Ⅴ. 泳能力の測定

泳測定は50mプールで全被験者にビート板を保持させ、自由形によるキック泳を全力で25m実施した。キック泳速度はスタートして10mから20mの間におけるラップタイムから算出した。

Ⅵ. 統計処理

測定値は平均値及び標準偏差で示した。各測定項目とも、水泳選手群と対象群間の差を student t-testを用いて検定した。また、各測定項目と泳速度との間の相関関係を単純相関によって求めた。それぞれ危険率5%未満を有意とした。

結果と論議

表2は下肢の大腿部と下腿部の左右側における筋横断面厚について、平均値と標準偏差で水泳群（S-group）と非水泳群（N-group）を比較したものである。

大腿前部（大腿四頭筋）は左右側ともにS群の方がN群より有意に高い値を示し（ $p < 0.01$ ）、後部（ハムストリングス）については両群間に有意な差異が認められなかった。一方、下腿後部（下腿三頭筋）においては左右ともにS群の方がN群より有意に低い値であった（ $p < 0.01$ ）。表1の両群の大腿及び下腿の周径囲に有意な差がみられなかったことから、水泳競技選手の大腿前部の筋群が大きいことは、競技種目特性であり、キック泳能力に大腿四頭筋の活動が関わっていることが推察される。

大腿の振り上げ（KPU）と振り下ろし（KPD）

Table 2. Muscle thickness of the lower limb. (mm)

	M.quadriceps		Hamstrings		M.Triceps	
	Right	Left	Right	Left	Right	Left
S-group	58.8±3.3	61.5±3.4	61.0±5.2	62.4±5.1	69.1±4.6	71.5±3.5
N-group	51.5±3.8	54.4±4.5	58.0±4.4	60.0±3.9	99.0±9.1	98.6±10.4

(mean±sd) ** $p < 0.01$

動作時の最大速度 (Peak Velocity) について平均値と標準偏差値で両群について示したのが図1である。KPUはS群の 3.25 ± 0.37 m/sec に比べN群では 2.78 ± 0.46 m/sec を示し、S群の方がN群より有意に速い値であった ($p < 0.01$)。KPDについてKPUと同様な傾向が認められ、N群 (3.47 ± 0.47 m/sec) よりS群 (3.94 ± 0.39 m/sec) の方が著しく速かった ($p < 0.01$)。本研究でのKPUは股関節

の屈曲動作であり、KPDはその伸展動作である。両動作ともにS群で有意に速い値がみられたことはキック泳運動時に股関節の伸展屈曲動作が大きく関与していることが推察された。

図2はS群とN群における右側膝関節の伸展屈曲動作時の等速性最大筋力を比較したものである。その結果、毎秒60度の速度では屈曲でN群 (113.7 ± 14.6 Nm) がS群 (98.3 ± 11.9 Nm) より



Fig 2. Peak velocity of the knee up-swing (KPU) and down-swing (KPD) measured by Ballistic master.

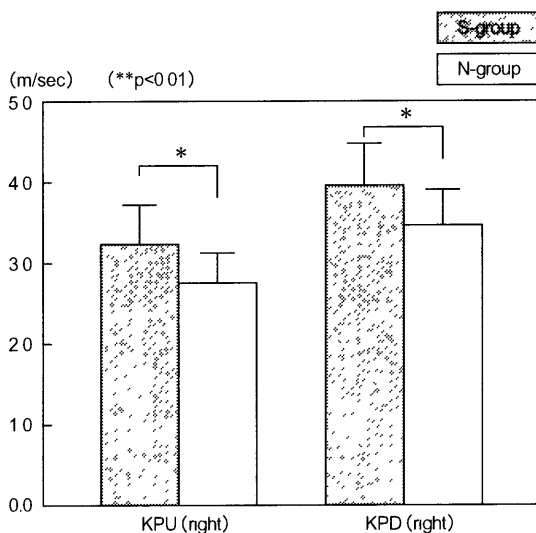
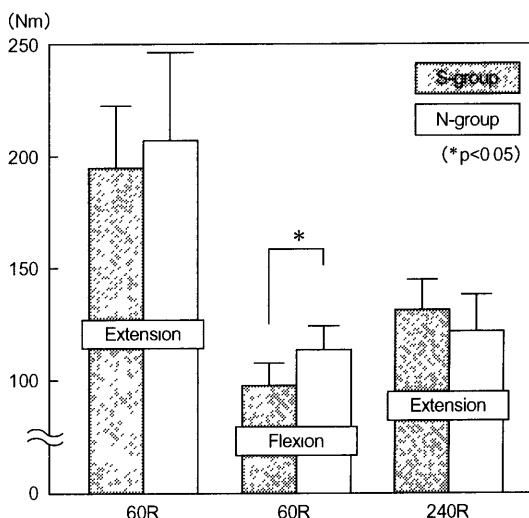


Fig 3. Isokinetic peak Torque for knee extension and flexion.



有意に高く、伸展でもS群 (195.1 ± 33.2 Nm) の値はN群 (207.5 ± 24.8 Nm) より低い傾向を示した。一方、毎秒240度ではS群 (130.2 ± 15.3 Nm) 方がN群 (121.6 ± 24.8 Nm) より統計学的には有意差はみられなかったが高い値を示す傾向がみられた。この結果から膝関節の伸展屈曲に関しては軽い負荷での速い動作による筋出力発揮が水泳パフォーマンスに関わっているであろうことが推察された。

そこで、全被験者について大腿部の筋厚とキック泳速度との関係をみたのが図3である。大腿前部において、N群ではキック泳速度と筋厚ともに個人差が大きく一様な傾向がみられなかったのに対して、S群ではキック泳速度及び筋厚ともに高く右上方にプロットされていた。一方、大腿後部においてはS群ではキック泳速度のばらつきは小さいが筋厚の個人差が大きく、N群では逆にキック泳速度に個人差が大きい傾向がみられた。このことから、大腿前部の筋が発達していることは、速く泳ぐためのキックには大変重要であり、その筋の働き方として軽負荷により速い速度での筋力発揮能力がキック力に関わっているであろうことが推察された。

ま と め

本研究では男子の全国大会決勝出進者を含む大学生水泳選手と大学生準硬式野球選手を対象として、超音波法による下肢の筋形態、大腿の振り上げ及び振り下ろし動作のスピード及び等速性による脚の伸展と屈曲力等を測定し、下肢の筋形態及び機能的特性と泳パフォーマンスとの関係について検討した結果、次のようなことが明らかになった。

1. 身長・体重・%Fat・大腿囲・下腿囲においては、両群ともに有意な差が認められなかった。しかし、大腿前部の大腿四頭筋厚は左右とも水泳選手 (S群) が野球選手 (N群) より有意に厚く、下腿後部の下腿三頭筋についてはS群よりN群の方が有意に厚かった。
2. 脚の振り上げ及び振り下ろし動作時のピーク速度は、S群がN群より有意に高い値を示した。
3. 脚の伸展及び屈曲動作による等速性最大筋力は毎秒60度でN群が大きく、240度ではS群の方が

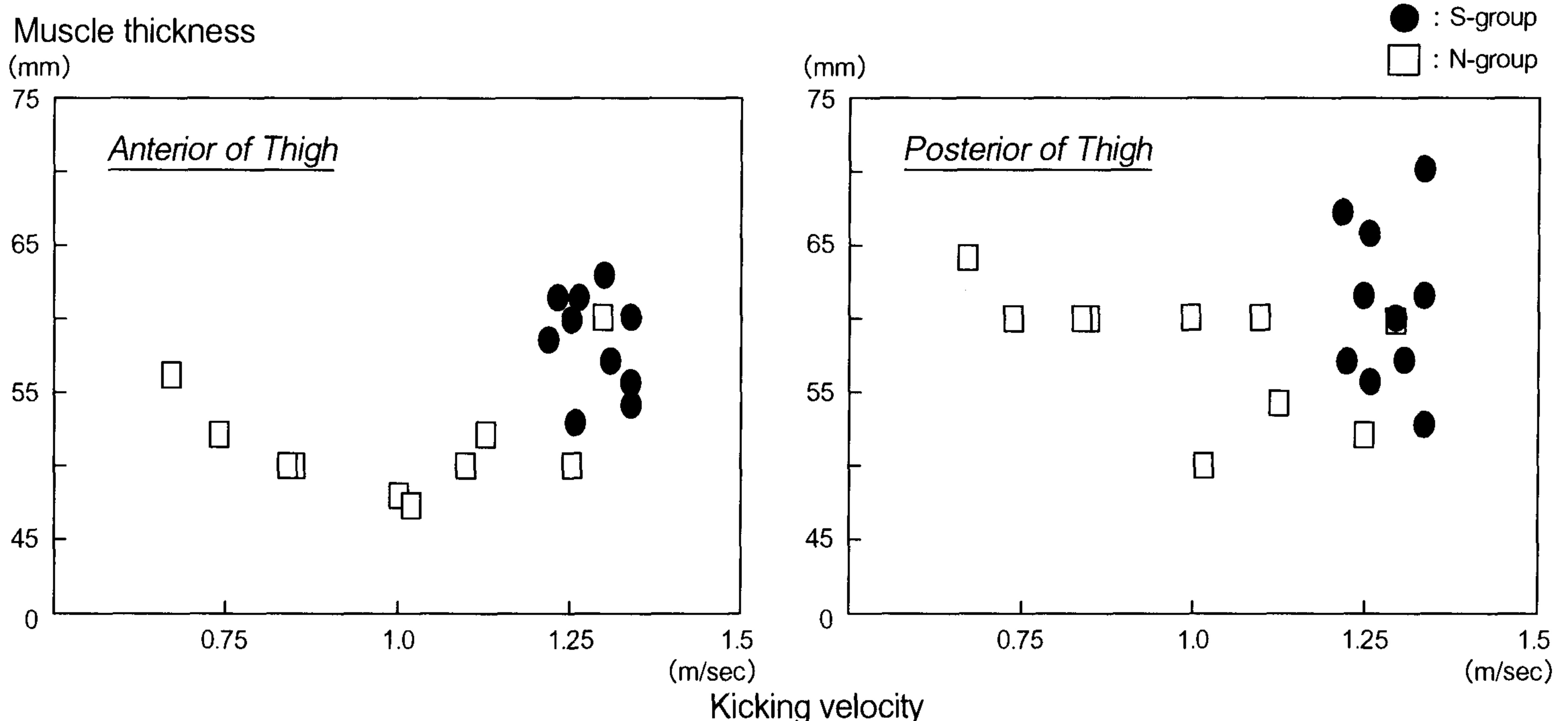


Fig 4. Relationship between muscle thickness of the thigh and kicking velocity.

大きい傾向にあった。

4. 大腿部の筋厚とキック泳速度との関係は大腿前部（大腿四頭筋）の筋量により大きく依存するであろうことが観察された。

本研究は、国士舘大学体育学部附属体育学研究所の1999年度研究助成によって実施した。

引用・参考文献

- 1) Adrian, M.J. et al.: Energy cost of leg kick, arm stroke, and whole crawl stroke, *J. Appl. Physiol.*, **21**:1763-1766, 1996.
- 2) Costill, D.L. et al.: *Swimming*, First edition, Blackwell Scientific, London, 1992.
- 3) Craig, A.B. Jr. and D.R. Pendergast: Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming, *Med. Sci. Sports*, **11**:278-283, 1979.
- 4) Craig, A.B. Jr. et al.: Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **17**:625-634, 1985.
- 5) Elftman, H.: The work done by muscles in running, *Am. J. Physiol.*, **129**:672-684, 1940.
- 6) Fujiwara, H. et al.: Relationships among swimming velocity, stroke rate, and distance per stroke whole stroke, arm stroke, and leg kick in sprint front crawl with a maximal effort, *J. training science*, **8**(1):33-38, 1996.
- 7) Hay, J.G.: *The Biomechanics of Sports Techniques*, Fourth edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 345-395, 1993.
- 8) Holander, A.P. et al.: Contribution of the legs to propulsion in front crawl swimming, *Swimming Science V*, First edition, Ungerechts, B.E. et al., Human Kinetics, Champaign, 39-43, 1988.
- 9) Holmer, I.: Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **33**:105-118, 1974.
- 10) Inman, V.T.: Human locomotion. *Canad. Med. Ass. J.*, **94**:1047-1054, 1966.
- 11) Karpovich, P.V.: Analysis of the propelling force in the crawl stroke, *Res. Quart.*, **6**:49-58, 1935.
- 12) Kennedy, P. et al.: Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events, *Int. J. Sport Biomech.*, **6**:187-197, 1990.
- 13) Keskinen, K.L. and P.V. Komi.: Effect of leg action on stroke performance in swimming, *Biomechanics and Medicine in Swimming*, First edition, MacLaren, D. et al., E&FN Spon, London, 251-256, 1992.
- 14) Kondo, S.: Anthropological Study on Human Posture and Locomotion Mainly from the View Point of Electromyography. *J. of the Faculty of Science, Univ. of Tok.*, sec.5, 189-260, 1960.
- 15) Pai, Y.-C. et al.: Stroking techniques of elite swimmers, *J. Sports Sci.*, **2**:225-239, 1984.
- 16) Smith, L.: Anthropometric measurements, and arm and leg speed performance of male and female swimmers as predictors of swim speed, *J. Sports Med.*, **18**:153-168, 1978.
- 17) Sudo, A.: *Underwater exercise I*, Bunkashobo, hakubunshiya, Tokyo, 1998.
- 18) Tsunoda, N. et al.: Velocity characteristics for the pull up and pull down movement of the upper and lower extremities in male athletes. *The Annual Reports of Health, Physical Education and Sports Science*, **15**, 47-51, 1996.
- 19) Watkins, J. and A.T. Gordon.: The effects of leg action on performance in the sprint front crawl stroke, *Biomechanics and Medicine in Swimming*, First edition, Hollander, A.P. et al., Human Kinetics, Champaign, 310-314, 1983.