

## 競泳選手における上肢の筋形態と機能の関係

### Relationship between muscle function and form of the upper limbs in swimmers.

須藤 明治\*, 角田 直也\*\*, 藤原 寛康\*\*\*  
松垣 紀子\*\*\*, 吉川 宏起\*\*\*, 小林 寛道\*\*\*

Akiharu SUDO \*, Naoya TSUNODA \*\*, Hiroyasu FUJIWARA \*\*\*  
Noriko MATSUGAKI \*\*\*, Kohki YOSHIKAWA \*\*\* and Kando KOBAYASHI\*\*\*

#### ABSTRACT

**Objective:** In swimming competition, the extent of muscle activity of the upper limbs is an important factor for propulsive force and the muscle of the upper limbs is the muscle group most frequently used. We observed the muscle group of the upper limbs of the actual swimmers directly, and compared their muscle function and their swimming record.

**Methods:** Subjects were 10 male university swimmers including those who won a prize in national competition and 10 usual male university students not specializing in swimming.

The muscle function of the upper limbs was measured by Ballistic Master, i.e. the peak velocity of the arm pull down was obtained. The subjects were instructed to swim 25 m by pull swimming method with full speed, and the swimming speed was evaluated from the lap time until 10 - 20 meters. As for the muscle form of the upper limbs, the muscle cross section of the upper limbs was obtained by the MRI capable of clarifying the construction of the inside of the body non-invasively, and then the muscle composition was calculated.

**Results:** In the muscle cross section of the upper limbs, the biceps brachii muscle of the swimmer group was smaller than that of the non-swimmer group, but the triceps brachii muscle of the swimmer group was larger than that of the non-swimmer group, with a significant difference ( $p < 0.01$ ). As a result reflecting this, the peak velocity of the down-swing of both arms measured by Ballistic Master was faster in the swimmer group than in the non-swimmer group with a significant difference ( $p < 0.01$ ). The swimming speed was also faster in the swimmer group than in the non-swimmer group with a significant difference ( $p < 0.01$ ). However, there was no significant difference between both groups in work amount at the swim bench requiring much loading.

**Discussion:** In the swimmer group compared with the non-swimmer group, the development of the biceps brachii muscle was small, while the development of the triceps brachii muscle was large. That is, the muscle for stroking was considered to develop well. Especially, at light-loading exercise, the ability of the muscle was exerted most, and it was found that the faster the action was the faster the swimming ability tended to be.

*Key words; Upper limbs, Peak velocity, muscle cross section, swimming record*

\* 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)

\*\* 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)

\*\*\* 東京大学医科学研究所 (Lab.of Medical Sciences University of Tokyo, )

はじめに

より速く泳ぐためには、水が造り出す摩擦抵抗, 造波抵抗, 造渦抵抗等に反するための運動エネルギーをより大きく生産しなければならない。この抵抗に抗する推進力を生むためのエネルギー算出の場所は、上肢や下肢の筋群の収縮によるものと考えられている。

特に、上肢の筋活動については、宮下らの自由形における水泳中の筋電図より大胸筋、大円筋、上腕三頭筋の筋活動が推進力に大きな役割を持っていることが解っている<sup>1)</sup>。これらの筋群をトレーニングする目的で、上肢のみを使用したアームストロークのみで泳ぐトレーニングが行われている。特に、このアームストロークによるトレーニング効果は、局所の生理機能の向上・技術の改善があげられ<sup>2)</sup>、最大努力時の全身泳の速度と有意な相関関係があることも知られている<sup>3)</sup>。

しかし、そのトレーニングの成果である上肢の筋形態の特徴を直接観察した例はなく、さらにその筋機能、特に神経筋機構の観点から多関節運動での筋収縮速度特性の差異についての検討は極めてすくない。

そこで、本研究では全国大会決勝出進者を含む男子大学生水泳選手と上肢の筋群を普段より使用している男子大学生準硬式野球選手を対象として、超音波法による筋形態の測定と筋機能の測定

として上肢の振り下ろし動作のスピード及びスイムベンチによる10ストローク中の仕事量を、更にアームストロークのみのいわゆるプル泳のスプリント泳速度を算出し、その競技種目特性について検討した。

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（以下、水泳群又はS-groupと称す）と男子大学生準硬式野球選手10名（以下、野球群又はN-groupと称す）であった。被験者の年齢と身体的特徴は各群別に平均と標準偏差値を表1に示した。尚、上腕囲の測定については、右上腕囲の最大囲を伸位において巻尺で計測した。

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。

II. 筋厚及び筋断面積の測定

上腕部の筋厚の測定は、超音波B-mode法 (Echo Camera SSD-650 CL,ALOKA製) を用いて、超音波周波数5MHzで行った。測定部位は、上腕前後部（遠位50%）であった。筋厚は、皮下脂肪組織と筋組織の境界を示す反射波から上腕骨までの距離を測定した (図1)。また、筋断面積の測

Table1. Physical characteristics of subjects

Variable	S-group (n=10)	N-group (n=10)
Age(yr)	20.5 ± 1.1	20.0 ± 0.7
Height(cm)	175.3 ± 3.9	174.0 ± 3.9
Weight(kg)	68.7 ± 5.3	65.4 ± 4.3
%Fat(%)	11.7 ± 1.4	11.7 ± 1.5
Girth upper arm(cm)	29.8 ± 1.3	28.5 ± 1.9

S-group: Swimmers, N-group: non-swimmers.

Values are means ± SD.

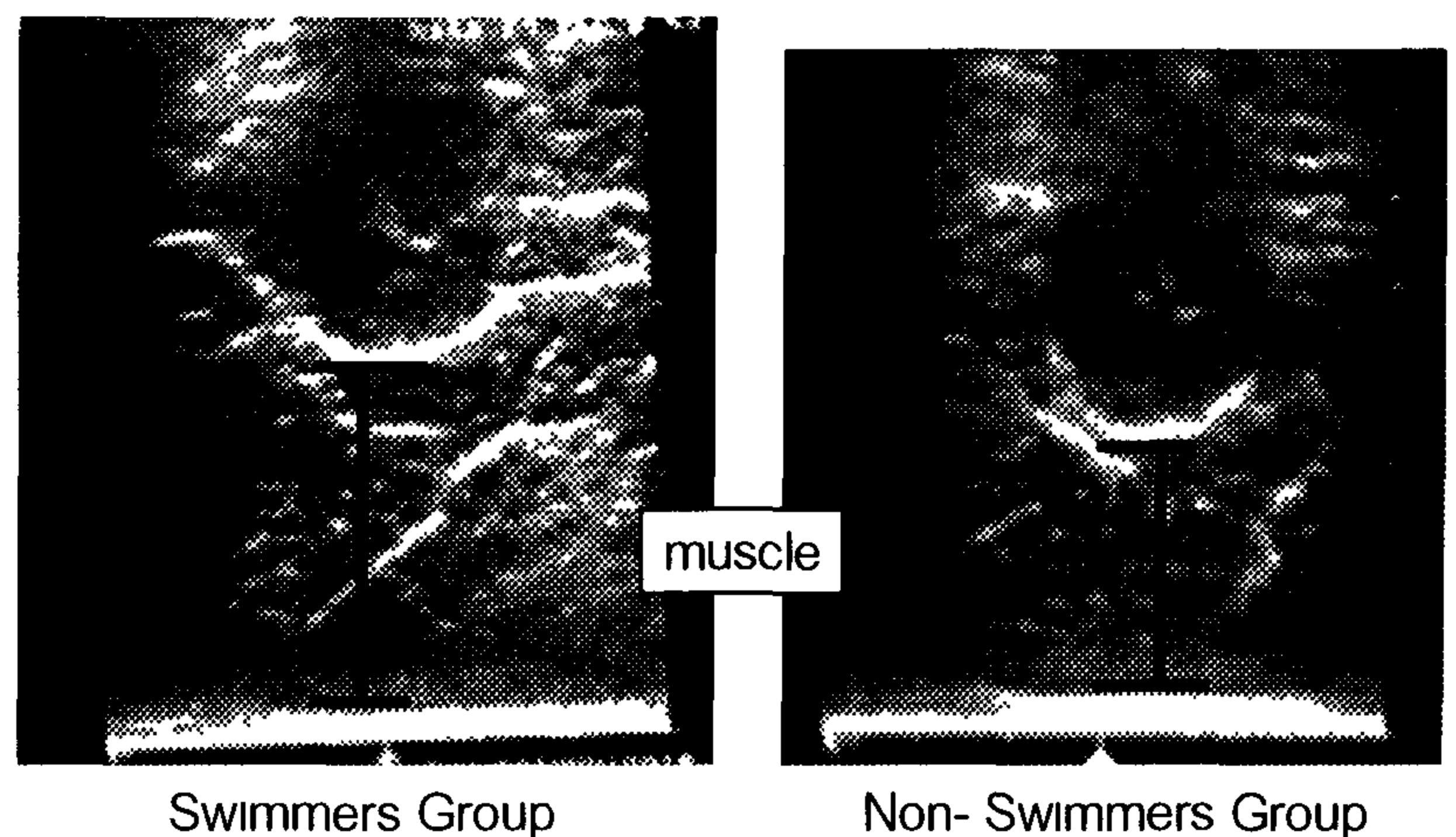


Fig1. The muscle thickness of triceps brachii was measured by using B-mode ultrasonic apparatus.

定は、MRI法により上腕部（遠位50%）画像により算出した。尚、筋断面積の測定は水泳選手群のみとした。

### III. 動作速度の測定

上肢の振り下ろし動作（Arm Pull Down:APD）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で5回の無負荷での空振り動作を行った。尚、この動作で得られた動作中の最大速度（Peak Velocity）を動作速度とした。

### IV. 動作上肢筋作業能の測定

スイムベンチ（Biokinetic Fitness Lab,INC）を用いて、負荷0・3・6時の最大努力による10ストロークの仕事量を算出した。

### V. 泳能力の測定

プルブイを大腿部に装着し、アームストロールのみプル泳を自由形泳を全力で25m行い、その時の10m～20mのラップタイムからプル泳速度を算出した。

### 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、水泳選手群と準硬式野球群間の差を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

上腕部における筋横断面厚は、左右の屈曲筋群（主に上腕二頭筋部）及び伸展筋群（主に上腕三頭筋群）について平均値と標準偏差を群別に表2に示した。

表1より、上腕囲が水泳群と野球群ではほぼ同じであったにも関わらず、上腕三頭筋部において左右ともに水泳群が野球群より有意に大きいことがわかった（ $p<0.01$ ）。つまり、水泳選手の上腕三頭筋群が大きいことは、種目特異性であり、普段からのアームストロールのみのプル泳の練習成果がでていのではないかと推察される。

図2に、上肢の振り下ろし動作（Arm Pull Down: APD）中の最大速度（Peak Velocity）の左右及び各群の平均値と標準偏差を示した。水泳群は右 $7.0\pm 0.53$ （m/sec）に対し野球群は $6.06\pm 0.53$ （m/sec）と有意に水泳群が速い値であることがわかった（ $p<0.01$ ）。さらに、左も同様であった。

また、図3に、スイムベンチ（Biokinetic Fitness Lab,INC）を用いて、負荷0・3・6時の最大努力による10ストロークの仕事量を算出した結果を示した。その結果、負荷0時のみに水泳群 $368.3\pm 66.98$ （kpm）に対し、野球群は $348.1\pm 50.9$ （kpm）と有意に水泳群が高い値であることがわかった（ $p<0.05$ ）。尚、10ストロークにかかった時間は、水泳群 $9.44\pm 0.32$ 秒、野球群 $9.18\pm 1.34$ 秒であり統計上有意な差はなかった。

特に、実際のアームストロール動作時の後半に肩関節の回転速度に加えて上腕三頭筋による肘関

Table2. Muscle thickness of the biceps and the triceps brachii

	The biceps brachii muscle		The triceps brachii muscle	
	Right	Left	Right	Left
S-group	32.1±4.1	29.8±3.5	35.9±4.0	35.8±3.9
N-group	28.6±6.0	28.6±6.4	27.2±5.0	28.3±3.6

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

\*\*Significantly different the N-group-value ( $p<0.01$ ),

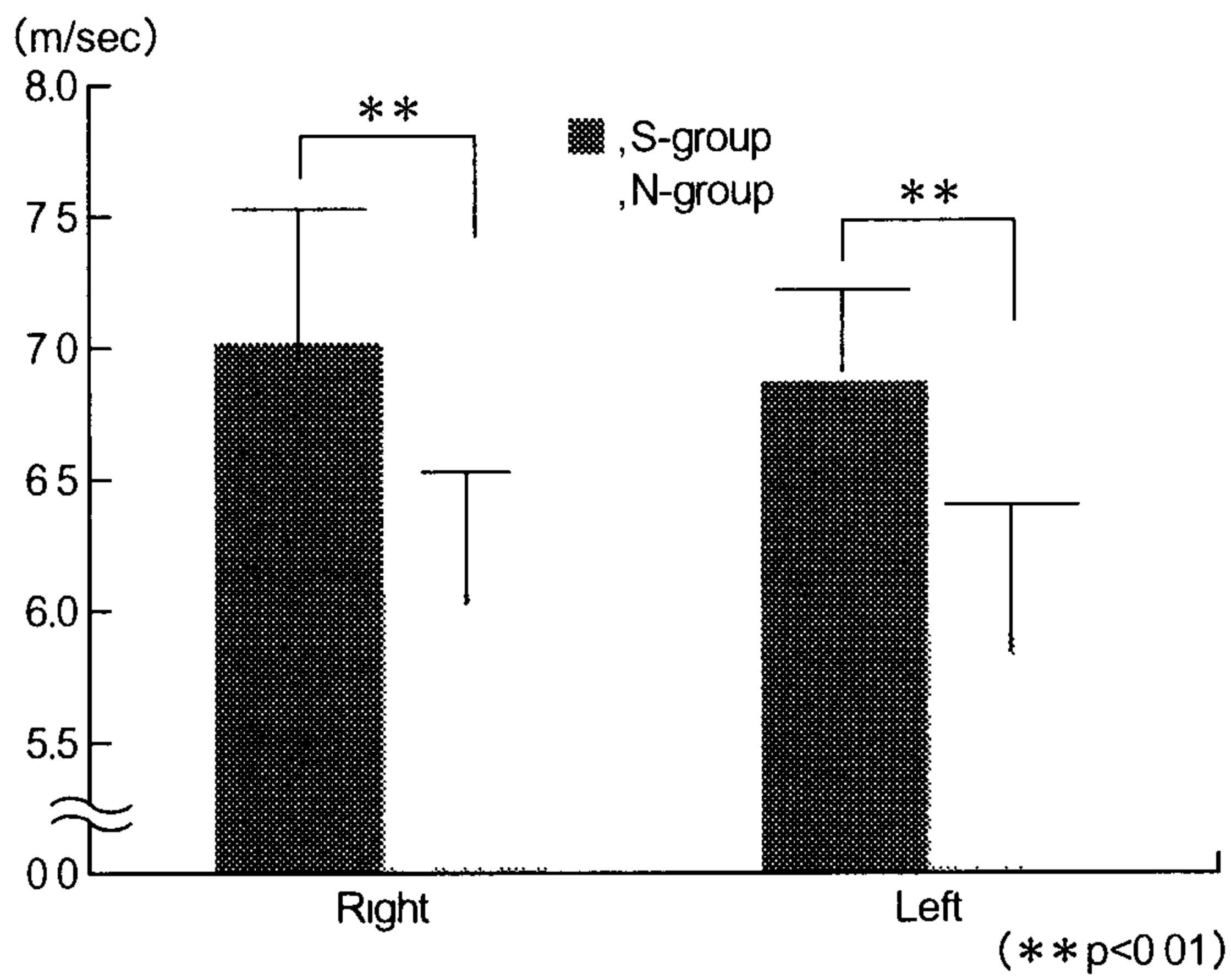


Fig2. The peak velocity of the arm down-swing measured by Ballistic master.

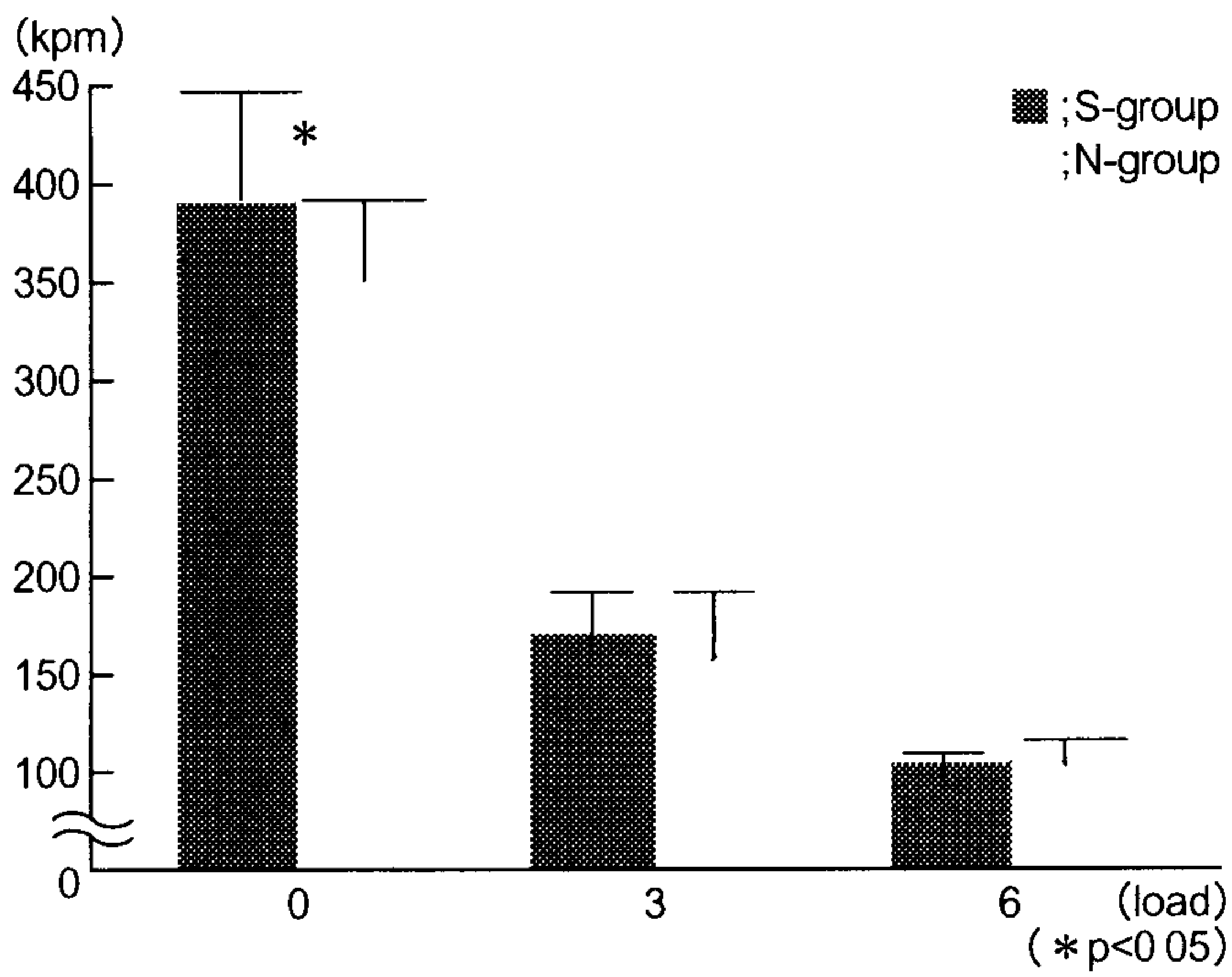


Fig3. Total works at the swim bench.

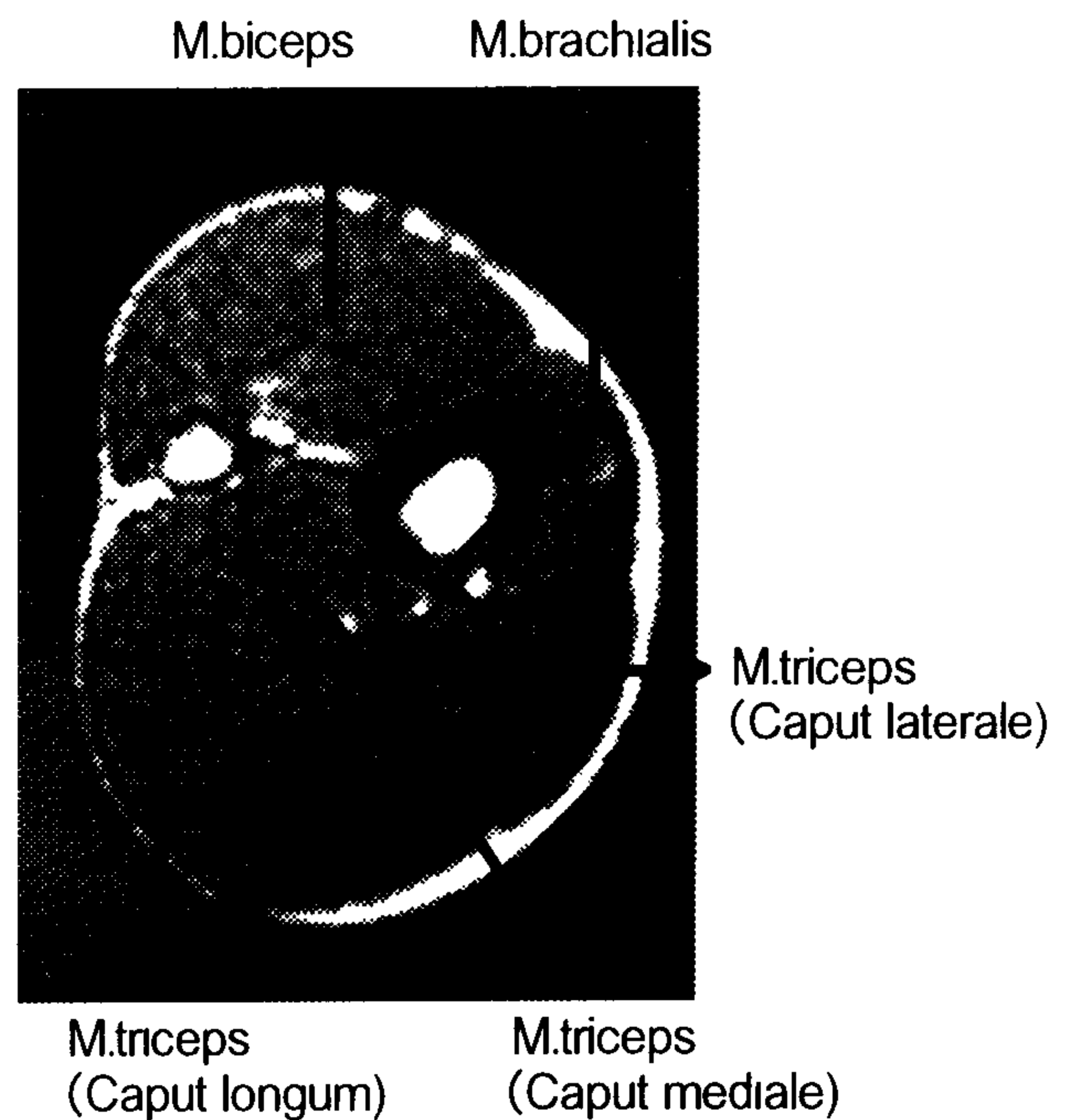
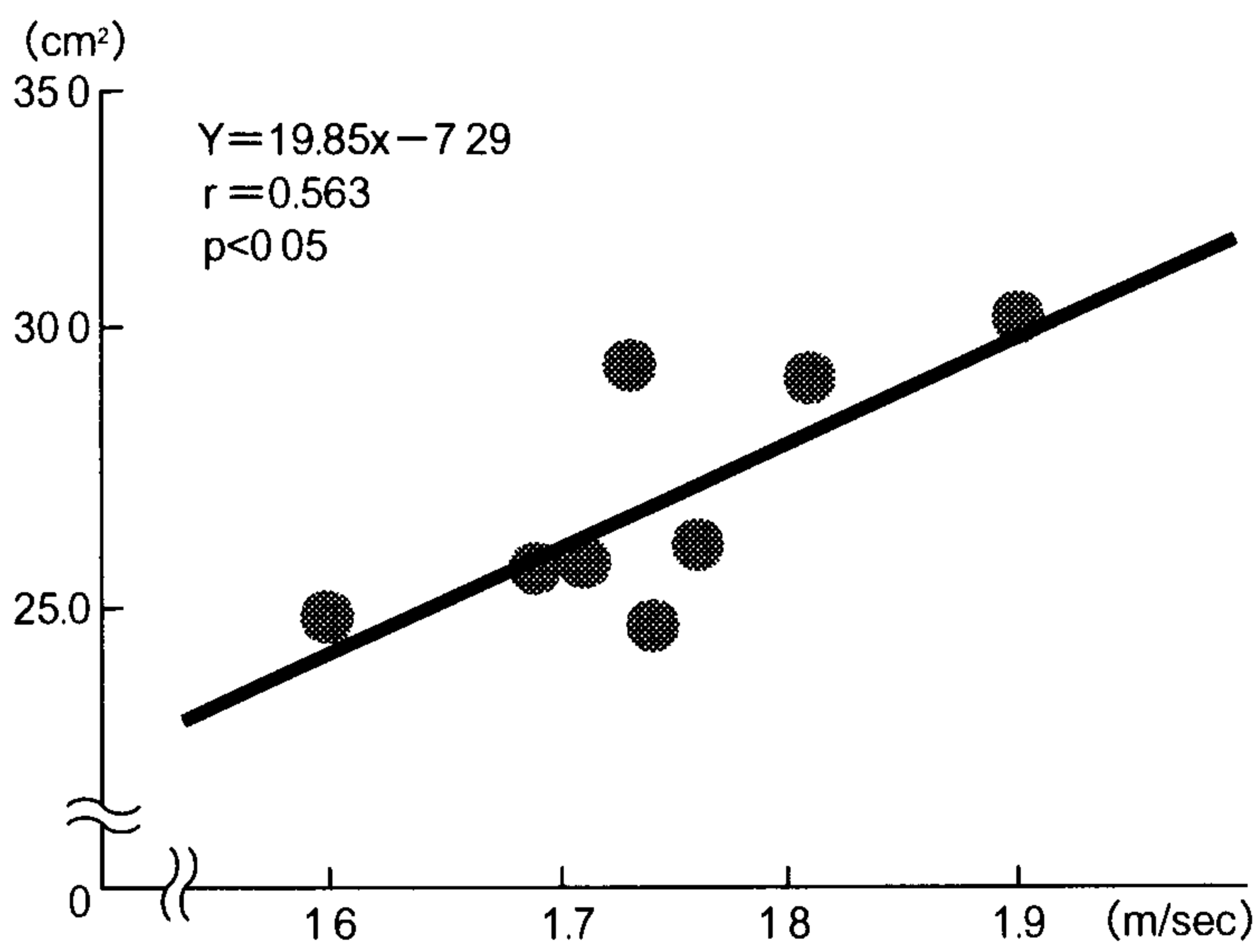


Fig4. Relationship between the area of the triceps brachii muscle was obtained by the MRI and swimming record.



節の伸展及び尺側手根屈筋の収縮による手関節の屈曲によって泳速度が高められることが知られ<sup>1)</sup>、これは投球動作に見られるスナップ動作と類似していると考えられているが、上記の結果から軽い負荷での速い動作が水泳選手の特徴であると考えることができた。そこで、特に本実験の被験者における水泳選手群を対象に上腕三頭筋の筋量とプル泳速度との関係を調べてみた。その結果、MRIにおける上腕三頭筋の横断面積とプル泳速度の間には、有意な相関関係が認められた ( $r=0.56, p<0.05$ ) (図4)。つまり、上腕三頭筋が発達していることは、速く泳ぐためには重要であることが判明した。そして、さらにその機能は、軽い負荷時の筋発揮能力が重要であり、重い負荷でゆっくりとした動きのトレーニングを行って上腕三頭筋を鍛えてもより速く泳ぐための筋肉とはならないのではないかと推察することができた。

## ま と め

本研究では全国大会決勝出進者を含む男子大学生水泳選手10名と上肢の筋群を普段より使用している男子大学生準硬式野球選手10名を対象として、超音波法による筋形態の測定と筋機能測定として上肢の振り下ろし動作のスピード及びスイムベンチによる10ストローク中の仕事量を行い、更にアームストロークのみのいわゆるプル泳のスプリント泳速度を算出し、その競技種目特性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・上腕囲・上腕二頭筋厚においては、両群ともに有意な差がなかったが、上腕三頭筋厚の左右において水泳選手が野球選手より有意に大きいことがわかった。

2. 無負荷の動作速度及び動作上肢筋作業能の測定においては、水泳選手が野球選手より有意に高い値を示した。

3. MRIにおける上腕三頭筋の筋横断面積とプル泳速度には有意に相関関係が認められた。

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) 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.
- 6) Hay, J.G.: *The Biomechanics of Sports Techniques*, Fourth edition, Prentice Hall, Englewood Cliffs, :345-395, 1993
- 7) Hollander, 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.
- 8) 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.
- 9) Karpovich, P.V.: Analysis of the propelling force in the crawl stroke, *Res. Quart.*, **6**:49-58, 1935.
- 10) Kennedy, P. et al.: Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events, *Int. J. Sport Biomech.*, **6**:187-197, 1990.
- 11) 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.
- 12) 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.
- 13) Pai, Y-C. et al.: Stroking techniques of elite swimmers, *J. Sports Sci.*, **2**:225-239, 1984.
- 14) 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.

- 16) Sudou,A.et al.: Cardiovascular responses during a new diving reflex test and diving under water, *J,Heart*,**23**(3): 21-25,1991.
- 17) Sudou,A.et al.: Effects of underwater exercise for lumbago patients. *J.J.Physical fitness and sports medicine*,**41** (3):386-392,1992.
- 18) Sudou,A: Underwater exercise I, bunkashobo, hakubunshiya,Tokyo,1998.
- 19) 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.
- 20) 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.