

## 大学女子競泳選手の筋線維組成, 筋毛細血管分布と 呼吸循環系機能との関係

勝田 茂・満園 良一\*・田淵 健一\*\*・野村 武男

### Relationship between muscle fiber composition, capillary supply and cardio-respiratory functions in female college swimmers

Shigeru KATSUTA, Ryoichi MITSUZONO\*, Ken-ichi TABUCHI\*\* and Takeo NOMURA

The purpose of this study was to examine muscle fiber composition and capillary supply in swimmers, and to assess the relationship between muscle fiber composition, capillary supply and cardio-respiratory parameters. Biopsy samples were taken from M. deltoideus and M. vastus lateralis of eight female college swimmers.  $\dot{V}O_2\max$  was measured during swimming in swimming flume.

The results were summarized as follows.

1. In muscle fiber composition of female college swimmers, M. deltoideus and M. vastus lateralis showed the tendency of slow type (% ST:  $72.4 \pm 15.0\%$ ) and the moderate type (% ST:  $50.4 \pm 7.4\%$ ), respectively. In both M. deltoideus and M. vastus lateralis, the cross-sectional area of ST and FT fibers ranged approximately from  $3000\mu\text{m}^2$  to  $6000\mu\text{m}^2$ , but there was no significant difference in cross-sectional area among subjects.
2. Capillary supply of female college swimmers showed higher values in M. deltoideus than in M. vastus lateralis, and the capillarization was similar among subjects.
3. The rate of ST fiber in M. deltoideus correlated highly ( $r=0.802$ ,  $p<0.01$ ) with  $\dot{V}O_2\max$  (ml/kg·min) during swimming.

From these results, it is suggested that higher % ST and remarkable capillarization of upper limbs is necessary for improvement in the capacity of swimming.

#### I 緒 言

ヒトの骨格筋線維についての研究は、1962年 Bergström<sup>2)</sup>によりニードル・バイオプシー法が紹介されて以来、急速な発展をみえてきた。このニードル・バイオプシー法は、スポーツ科学の分野にも取り入れられ、1972年には Gollnickら<sup>7)</sup>により、運動競技選手の筋線維組成がはじめて報告されている。その後、さまざまな競技種目の選手について、筋線維組成ならびに毛細血管などの筋線維の特性が明らかにされ、ある競技種目で成功を収めている一流選手は、その競技に適した筋線維特性

を持つことが報告されている<sup>4)7)16)30)</sup>。

例えば、陸上競技の長距離ランナー、クロス・カントリー・スキーヤーなど持久的能力を必要とする競技種目の選手は、その主働筋において収縮速度が遅く、酸化能力の高い遅筋線維の占める比率が高い傾向にあり、逆に短距離ランナーなど瞬発的能力を必要とする選手は、収縮速度が速く、解糖能力の高い速筋線維の比率が高いとされている<sup>4)8)</sup>。また、諸要因が競技力に複雑に影響を及ぼしているような球技や格技などでは、筋線維組成など筋線維の特性には、かなりのばらつきがみられている<sup>15)16)30)</sup>。

さらに、組織化学的手法による分析と並行して、生化学的分析による酸化系や解糖系の酵素および

\* 筑波大学大学院修士課程体育研究科

\*\* 関東中央病院

グリコーゲンの定量などが行われ、筋線維タイプ別の検討がなされている<sup>6)20)</sup>。このように、骨格筋線維は構造的特性だけでなく、機能的特性も明らかにされつつあり、各競技のトレーニングとの関連でも、運動競技選手のパフォーマンスに関与する骨格筋線維の研究は多岐にわたって行われている。

いっぽう、水泳競技においては、身体的特性やエネルギー代謝に関する報告はみられるが、筋線維特性とパフォーマンスの関係についての報告はほとんど行われていない。そこで本研究では、ニードル・バイオプシー法により、女子競泳選手を対象として、筋線維組成と毛細血管分布を検討する

とともに最大酸素摂取量、酸素負債量などの呼吸循環系機能との関係を明らかにすることを目的とした。

## II 研究方法

### 1. 被検者

被検者には、19—21才の筑波大学女子競泳部員8名を選んだ。被検者は、いずれも中学・高校を通じて競技生活を送っており、日本選手権・日本学生選手権などにおいて優勝または入賞の実績を持っている。被検者の年齢、身長、%Fat、競技歴およびその記録についてはTable 1に示す通りである。

Table 1. Physical characteristics and career of subjects

Subjects	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	% Fat (%)	Career (yrs)	Best Record (min. sec.)
N. K.	20	162.5	55.0	15.4	12	100mBu. 1'05"61 200mBu. 2'23"44
Z. T.	19	160.1	51.5	17.2	8	100mFr. 1'00"73 200mFr. 2'14"49
T. S.	20	164.2	54.0	17.2	9	200mFr. 2'16"24 400mFr. 4'44"63
K. N.	20	157.4	53.5	15.1	12	200mFr. 2'11"01 400mFr. 4'36"79
Y. S.	19	156.1	48.0	15.1	11	100mBr. 1'19"89 200mBr. 2'49"57
Y. F.	19	160.7	56.5	14.6	12	100mBr. 1'20"56 200mBr. 2'53"42
H. M.	19	168.1	57.5	16.4	11	100mBa. 1'10"02 200mBa. 2'26"96
N. S.	21	157.5	52.3	18.9	13	200mI. M. 2'33"45 400mI. M. 5'16"39
Mean	19.6	160.8	53.5	16.2	11.0	
S. D.	0.7	4.0	3.0	1.5	1.7	

### 2. 組織化学的分析

ニードル・バイオプシー法<sup>2)</sup>により、被検者の右三角筋 (M. deltoideus) および右外側広筋 (M. vastus lateralis) から20—30mgの筋組織を摘出した。摘出した筋組織は液体窒素で冷却されたイソペンタン中で瞬間凍結後クリオスタット (Bright社製FS—FCS型) により厚さ10ミクロンの連続凍結切片を作成し、これにMyosin ATPase<sup>29)</sup>、DPNH diaphorase<sup>26)</sup>、Amylase PAS<sup>1)</sup>の各染色を施した。得られた標本から光学顕微鏡写真撮影

(Nikon, HFM—35A) を行ない、その写真資料をもとに筋線維の同定後、筋線維の構成比 (% ST)、各筋線維1本あたりの断面積 (ST, FT線維はそれぞれ10—20本の平均)、全体に占める各筋線維の面積比 (% area ST) を算出した。毛細血管についても同様に、単位面積当たりの毛細血管数 (CD)、CD/筋線維数 (C/F ratio)、筋線維1本を取り囲んでいる毛細血管数 (CC) 等を算出し、検討を行なった。

なお、筋線維の同定はGollnickら<sup>7)</sup>の方法にし

たがい、ST線維 (Slow twitch muscle fiber, 以下ST線維と略す) とFT線維 (Fast twitch muscle fiber, 以下FT線維と略す) とに分類し、面積算定にはフィルム解析装置 (ナック社製, スポーティアSP-2000) を用いた。

### 3. 呼吸循環系機能の測定

最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\max$ ) および酸素負債 ( $O_2\text{debt}$ ) については、筑波大学回流水槽での水泳運動中に、ダグラス・バッグ法により測定した。それぞれの負荷方法に関して、 $\dot{V}O_2\max$ は各被検者における400m自由形の最高記録の60%流速で2分間泳いだ後、1分毎に10%ずつ流速を増加させる漸増負荷法を用い、また $O_2\text{debt}$ は各被検者における100m自由形の最高記録の約85%流速の固定負荷法を用いた。 $\dot{V}O_2\max$ の採気は、運動開始後2分目からExhaustionに至るまで連続して行い、 $O_2\text{debt}$ の採気は、Exhaustion直後から30分間連続して安静椅座位にて行なった。換気量は、乾式ガスメーターで計量し、呼気ガスの分析は、標準ガスにより較正されたPerkin Elmer社製の質量分析計で行なった。採気と同時に、胸部誘導法により心拍数 (H R) を、サーミスター法により呼吸数をそれぞれ記録した。

なお、8名の被検者のうち5名については上記

同様のダグラス・バッグ法により、トレッドミル走行による $\dot{V}O_2\max$ を測定した。負荷方法は、毎分140mの速度で4分間走行後、以後Exhaustionに至るまで毎分10mずつ増加させる速度漸増法を用いた。

### III 研究結果

#### 1. 筋線維組成

Table 2は、各被検者の三角筋および外側広筋の筋線維組成とST線維・FT線維各々1本当たりの平均横断面積を示したものである。三角筋の筋線維組成は、全体にST線維寄りの傾向にあった。その分布は%STにおいては47.3~97.8%、% area STでは48.9~97.0%といずれもかなり広い範囲の分布を示していた。三角筋の平均横断面積は、被検者Y. F.においてのみFT線維 $6086\mu\text{m}^2$ という大きな値を得たが、ST・FTの両線維間および各被検者間に顕著な差はみられなかった。外側広筋の筋線維組成は、各被検者ともにST・FTの両線維とも均衡の分布を示しており、三角筋と比較して極端な組成の分布はみられなかった。外側広筋の平均横断面積は、三角筋に比較してST線維・FT線維の両線維ともに大きい傾向にあり、いずれも約 $3000\sim$ 約 $6000\mu\text{m}^2$ の広い範囲を示していた。

Table 2 Muscle fiber composition of female college swimmers

Subjects	M. deltoideus				M. vastus lateralis			
	% ST (%)	% area ST (%)	area ST ( $\mu\text{m}^2$ )	area FT ( $\mu\text{m}^2$ )	% ST (%)	% area ST (%)	area ST ( $\mu\text{m}^2$ )	area FT ( $\mu\text{m}^2$ )
N. K.	47.3	48.9	3821	3585	41.6	41.5	3312	3328
Z. T.	59.4	60.0	3676	3578	49.1	47.4	4707	5035
T. S.	79.9	76.9	2719	3249	50.8	51.6	3390	3285
K. N.	73.9	75.1	3969	3725	53.3	54.9	4409	4133
Y. S.	67.2	66.2	3593	3752	43.1	40.6	3762	4176
Y. F.	74.2	65.0	3924	6086	44.8	44.0	5015	5184
H. M.	97.8	97.0	2613	3555	57.8	57.8	2824	2827
N. S.	79.4	81.4	3469	3048	63.0	60.6	5911	6530
Mean	72.4	71.3	3473	3822	50.4	49.8	4166	4312
S. D.	15.0	14.7	526	945	7.4	7.6	1029	1224

#### 2. 毛細血管分布

Table 3は、各被検者の三角筋および外側広筋における毛細血管分布を、CD, C/Fratio, CCについて示したものである。これらのなかで、単位面積

あたりの毛細血管数について示したCDは、各被検者においてかなり広範囲 (三角筋:  $224\sim 460/\text{mm}^2$ , 外側広筋:  $216\sim 324/\text{mm}^2$ ) にわたっていたが、筋線維1本あたりについての毛細血管数は、C/

Table 3. Capillary supply of female college swimmers

Subjects	M. deltoideus				M. vastus lateralis			
	CD	C/F ratio	CC		CD	C/F ratio	CC	
			ST	FT			ST	FT
N. K.	352	1.50	5.1	4.0	324	1.32	4.2	3.8
Z. T.	388	1.43	5.7	4.8	286	1.44	6.1	5.0
T. S.	460	1.51	5.3	3.2	216	1.33	5.0	3.3
K. N.	340	1.53	5.2	4.0	—	—	—	—
Y. S.	348	1.32	5.4	4.2	240	1.22	5.4	4.5
Y. F.	224	1.57	5.1	4.6	308	1.51	5.0	3.8
H. M.	354	1.42	5.7	3.5	254	1.47	5.1	3.8
N. S.	336	1.79	5.6	3.6	228	1.67	5.9	4.5
Mean	350	1.51	5.4	4.0	265	1.42	5.2	4.1
S. D.	65	0.14	0.3	0.6	41	0.15	0.6	0.6

CD; Capillary Density (/mm<sup>2</sup>), C/F ratio; Capillaries per fiber  
CC; Mean number of capillaries in contact with fiber

Fratio, CCのいずれも顕著な差がみられなかった。三角筋のCD, C/Fratio, CCは、外側広筋のそれぞれの値よりも、高い傾向を示していた。また、筋線維タイプ別に毛細血管を評価したCCは、FT線維よりもST線維の方が三角筋、外側広筋のいずれにおいても高い値であった。

### 3. 呼吸循環系機能

Table 4は、回流水槽 (swimming flume) とトレッドミルの各運動テストにおける $\dot{V}O_2$ max, 呼吸商 (R) およびHRと、回流水槽における $O_2$ debtを示したものである。 $\dot{V}O_2$ max (l/min & ml/kg·min)は、トレッドミルでの値が回流水槽での値よりも高い傾向にあり、 $\dot{V}O_2$ maxの絶対値において

有意な差がみられた。RとHRについても同様に、回流水槽において1.21, 177beats/minであるのに対し、トレッドミルでは1.04, 200beats/min.と両測定値の間に有意な差が認められた。また、有酸素的能力の指標である $\dot{V}O_2$ maxに対し、無酸素的能力の指標とされる $O_2$ debtは被検者間の個人差が大きく、種目間の傾向は認められなかった。なお、被検者H. M.はトレッドミルによる $\dot{V}O_2$ max,  $O_2$ debtよりも、回流水槽による $\dot{V}O_2$ max,  $O_2$ debtの方が大きく、RとHRについては、トレッドミルでの1.03, 195beats/min.に対し、回流水槽での測定値は0.90, 166beats/minと著しく低いものであった。

Table 4. Cardio-respiratory parameters during exhaustive swimming and running

Subjects	swimming flume						treadmill			
	$\dot{V}O_2$		R	HR	$O_2$ debt		$\dot{V}O_2$		R	HR
	l/min.	ml/kg·min.			l	ml/kg	l/min.	ml/kg·min.		
N. K.	2.00	36.4	1.35	180	3.00	54.6	—	—	—	—
Z. T.	2.44	47.3	1.41	—	5.64	109.5	2.98	54.2	1.03	199
T. S.	2.68	49.5	1.18	167	4.62	85.6	3.57	62.5	1.08	200
K. N.	2.84	53.1	1.14	186	3.37	63.0	3.23	61.6	1.05	202
Y. S.	1.91	39.7	1.26	164	3.85	80.1	—	—	—	—
Y. F.	2.83	50.0	1.29	189	4.88	86.3	3.58	61.5	1.02	202
H. M.	3.73	64.9	0.90	166	4.39	76.2	3.06	49.2	1.03	195
N. S.	2.27	42.0	1.14	184	4.71	89.9	—	—	—	—
Mean	2.59	47.9	1.21	177	4.31	80.7	3.28	57.8	1.04	200
S. D.	0.58	8.9	0.16	11	0.86	16.8	0.28	5.9	0.03	3

4. 筋線維の特性と呼吸循環系機能との関係

Table 5とTable 6は、三角筋と外側広筋における% ST, % area ST, CD, C/F ratio, CC (ST fibers) と回流水槽の水泳運動における $\dot{V}O_2\max$ ,  $O_2\text{pulse max}$ ,  $O_2\text{debt}$ との相関関係を示したものである。三角筋の% ST, % area STと $\dot{V}O_2\max$ ,  $O_2\text{pulse max}$ ,  $O_2\text{debt}$ の間に、それぞれ有意な相

関関係を認め、% STと $O_2\text{pulse max}$ との間に最も高い相関係数 ( $r=0.816$ ,  $p<0.01$ ) がえられた。また、外側広筋においては、毛細血管化の最もよい指標とされるCC (ST fibers) と $O_2\text{debt}$ との間にのみ有意な相関関係が認められた。 $O_2\text{debt}$ については、三角筋のCC (ST fibers) との間にも高い相関係数を示す傾向にあった。

Table 5. Correlation coefficients between muscle fiber properties in M. deltoideus and cardio-respiratory parameters

	% ST	%area ST	CD	C/F ratio	CC(ST)
$\dot{V}O_2\max$ (l/min)	0.793*	0.740*	-0.073	-0.046	0.271
(ml/kg·min)	0.802**	0.763*	-0.005	-0.143	0.339
$O_2\text{pulse max}$ (ml/beat)	0.816*	0.775*	-0.073	-0.046	0.271
(l)	0.274	0.197	0.039	0.138	0.579
$O_2\text{debt}$ (ml/kg)	0.143	0.095	0.118	0.064	0.614

\*;  $p<0.05$ , \*\*;  $p<0.01$

Table 6. Correlation coefficients between muscle fiber properties in M. vastus lateralis and cardio-respiratory parameters

	% ST	%area ST	CD	C/F ratio	CC(ST)
$\dot{V}O_2\max$ (l/min)	0.469	0.558	-0.102	0.334	-0.031
(ml/kg·min)	0.471	0.552	-0.190	0.266	0.084
$O_2\text{pulse max}$ (ml/beat)	0.473	0.559	-0.102	0.334	-0.031
(l)	0.291	0.202	-0.214	0.506	0.779*
$O_2\text{debt}$ (ml/kg)	0.227	0.115	0.296	0.369	0.892**

\*;  $p<0.05$ , \*\*;  $p<0.01$

IV 考 察

各種競技選手の筋バイオプシー（筋生検）が行なわれるようになり、競技適性の一資料として応用されるようになってきているが、競泳選手の筋バイオプシー法による筋線維特性の報告は少ない。筋線維組成については、Costillら<sup>9)</sup>により男子競泳選手を対象として、三角筋において30~60%のST線維、外側広筋において69%のST線維が報告され、Nygaardら<sup>27)28)</sup>により女子競泳選手を対象に、三角筋・広背筋・大腿四頭筋においていずれの筋においても約60~70%のST線維分布が報告されている。また、毛細血管分布については、Nygaardら<sup>27)</sup>により女子競泳選手の三角筋と外側広筋にお

いて、それぞれCD: 427/mm<sup>2</sup>と357/mm<sup>2</sup>, C/F ratio: 2.0と1.8, CC: 5.2と5.1という値が報告されているに過ぎない。さらに、水泳トレーニングが筋線維に及ぼす影響については、Houstonら<sup>12)</sup>が三角筋・外側広筋を、Lavoieら<sup>19)</sup>が上腕三頭筋をそれぞれ被検筋として用い報告している。いずれも、ST線維には変化を認めていないが、FTa線維およびコハク酸脱水素酵素やホスホフルクトキナーゼなどの諸酵素に有意な増加を報告し、FTa線維とFTb線維間の線維タイプ移行を示唆している。

これらを本研究と比較すると、本研究の値の方が三角筋、外側広筋におけるST線維および毛細血管化の双方ともやや低い値を示していたが、全体

的には同様の傾向であった。すなわち、外側広筋よりも三角筋において著明に高い比率を示したST線維と、高い毛細血管化は、水泳運動が上肢を主体とした持久的全身運動であることを示唆している。このことは、Mosterdら<sup>23)</sup>の報告した、腕による推進力がクロールと背泳において60~80%、バタフライで約50%、平泳ぎで約30~40%であるということ、骨格筋線維のレベルで支持するものであろう。

本研究の被検者は、クロール3名と平泳ぎが2名、バタフライ・背泳・メドレー各1名と専門種目がそれぞれ異なっていたが、97.8%という著しく高いST線維を認めた背泳の選手を除き、筋線維組成と毛細血管分布に、泳法の異なる各種目間に差はみられなかった。そして、短距離型競泳選手と中距離型競泳選手の筋線維組成および毛細血管分布についても顕著な差はみられなかった。しかしながら、陸上競技においては、短・中・長距離の各種目間に筋線維組成<sup>4)</sup>、毛細血管分布<sup>13)</sup>および酵素活性について、それぞれ顕著な差が報告されている。このことは、水泳競技の各泳法における種目間および短・中・長距離種目間の負荷の違いが、陸上競技の走種目などに比較して大きくないこと、したがって、水泳トレーニングの方法における普遍性によるものと考えられる。

有酸素エネルギーは、水泳競技において100mから1500mへと距離が長くなるにしたがい、その関与する比率の高くなることが報告されている<sup>11)</sup>。過去において、競泳選手の $\dot{V}O_2\max$ は自転車エルゴメーターやトレッドミルなどの運動様式により測定され、Saltinら<sup>31)</sup>(男子選手で5.0l/min, 67ml/kg・min, 女子選手で3.2l/min, 57ml/kg・min)や黒田らの報告<sup>17)</sup>(男子選手で4.1l/min, 61ml/kg・min, 女子選手で2.8l/min, 57ml/kg・min)がみられる。これらの値は他の競技種目とも比較されているが、水泳運動は陸上の運動と比較した際、水を媒体としての運動上の性質に特徴のみられることから、競泳選手における $\dot{V}O_2\max$ の測定には水泳運動での評価が望ましいとされている<sup>22)</sup>。したがって自由遊泳 (free swimming)<sup>3)</sup>、牽引負荷水泳 (tethered swimming)<sup>32)</sup>および回流水槽における水泳 (swim flume swimming)<sup>31)</sup>が用いられており、特に今日、回流水槽により正確な負荷による測定が可能となっている。しかしながら、

大がかりな設備、装置を要するため、回流水槽を用いた水泳運動中の測定は、少数例しかみられな

い。Holmerらは、回流水槽を用いた水泳運動において、一流の男子競泳選手5.05l/min<sup>10)</sup>、4.26l/min<sup>9)</sup>、女子競泳選手3.63l/min<sup>9)</sup>、2.96l/min<sup>9)</sup>という $\dot{V}O_2\max$ の平均値をそれぞれ報告している。さらに、野村ら<sup>24)</sup>はモスクワ・オリンピック候補選手14名および大学選手10名の $\dot{V}O_2\max$ を回流水槽を用いて測定し、平均値でそれぞれ4.15l/min, 59.5ml/kg・minと3.80l/min, 53.9ml/kg・minを報告している。

本研究における水泳運動中の $\dot{V}O_2\max$ と心拍数は、同じ回流水槽およびトレッドミル走による既報と比較して、著しく低いものであった。しかしながら、本研究のトレッドミル走行による $\dot{V}O_2\max$ は、3.28l/min, 57.9ml/kg・minと黒田ら<sup>17)</sup>のトレッドミルによる報告とほぼ一致していた。このことから、本研究においてみられた低い $\dot{V}O_2\max$ は、従来言われているような呼吸制限や運動体位の影響とともに、回流水槽での測定期日がシーズン・オフであり、水泳運動によるトレーニング不足が考えられる。また、水泳運動時の心拍数の低下は、活動筋量の違い<sup>8)</sup>、潜水徐脈<sup>14)</sup>などの要因がその原因とされている。その心拍数の低下にもかかわらず、呼吸商の平均値は1.21を示し、生理学的Exhaustionに充分至っているものと考えられる。

競泳選手の $O_2\text{debt}$ に関する報告は皆無であったが、最近、黒川ら<sup>18)</sup>により、モスクワ・オリンピック候補選手を対象とした報告がみられる。それによると男子選手において8.49l, 121ml/kg, 女子選手において5.40l, 85.3ml/kgであり本研究の結果を上回っていたが、これはパフォーマンス・レベルの差に起因するものと思われる。黒川ら<sup>18)</sup>は、100mクロールのパフォーマンスと $O_2\text{debt}$ の間に高い相関を示しており、 $O_2\text{debt}$ のパフォーマンスにおける重要性を示唆している。

本研究においては、100mクロールのパフォーマンスとそれぞれの生理学的パラメーターとの間に、有意な相関関係は認められなかったが、従来、水泳パフォーマンスと $\dot{V}O_2\max$ 、 $O_2\text{debt}$ の間には高い相関関係が報告されている<sup>18)</sup>。本研究においては、水泳パフォーマンスを規定する一要因と

考えられる $\dot{V}O_2\max$ と三角筋の%ST, %area STとの間に高い相関係数が認められた。このことは、その主働筋における高い比率のST線維が、水泳パフォーマンスの必要条件であることを示唆している。また、競泳選手の三角筋における顕著な毛細血管化は、すべての被検者において同様の発達を示していたことから、 $\dot{V}O_2\max$ ,  $O_2\text{debt}$ およびパフォーマンスとの間に関係が認められなかったものと思われる。

今後、被検者の数を増やすことにより、各泳法の専門種目間および短・中・長距離種目間について検討していく必要があるだろう。

## V 総括

水泳競技における骨格筋線維の特徴を検討し、呼吸循環系機能との関係を明らかにする目的で、大学女子競泳選手8名を対象に、ニードル・バイオプシー法により三角筋、外側広筋を用いて、筋線維組成および毛細血管分布について検討を試みた。また、回流水槽およびトレッドミルにより $\dot{V}O_2\max$ および $O_2\text{debt}$ などを測定し、筋線維組成および毛細血管分布との関係について検討を加えた。

結果の要約は次の通りである。

1. 三角筋と外側広筋におけるST線維の比率は、それぞれ72.4%, 50.4%の平均値を示した。すなわち、大学女子競泳選手の三角筋における筋線維組成は、遅筋型の傾向が認められ、外側広筋においては、ほぼ均衡の分布を示した。
2. ST・FT線維の平均横断面積は、三角筋、外側広筋のいずれもほぼ3000~6000 $\mu\text{m}^2$ の範囲にあり、被検者間に有意な差はみられなかった。
3. 各被検者の毛細血管分布は、CD, C/F ratio, CCについて評価した。その結果、毛細血管の発達は三角筋において顕著であったが、被検者間では同様の発達の程度を示した。
4. 回流水槽を用いた水泳運動中の $\dot{V}O_2\max$  (53.0ml/kg $\cdot$ min, n=8)は、トレッドミル走行により測定した $\dot{V}O_2\max$  (57.8ml/kg $\cdot$ min, n=5)より低い値を示した。
5. 三角筋の%ST, %area STと水泳運動中の $\dot{V}O_2\max$  (ml/kg $\cdot$ min)との間に、有意な相関係数 ( $r=0.802$   $p<0.01$ ,  $r=0.763$   $p<0.05$ ) が得られた。しかし、毛細血管分布と呼吸循環系のパラメーターとの間には、有意な相関関係は

認められなかった。

以上のことから、水泳運動においては、有気的能力の一因となる上肢の高い%STおよび顕著な毛細血管の発達が、その必要条件として示唆された。

本研究の推進にあたり、筑波大学体育専門学群生であった篠直子氏の援助に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 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. Clin. Lab. Invest.* 14. Suppl. 68: 1—110, 1962.
- 3) Bonen, A., B.A. Wilson, M. Yarkony and A. N. Belcastro: Maximal oxygen uptake during free, tethered and flume swimming. *J. Appl. Physiol.* 48: 232—235, 1980.
- 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) Costill, D. L. and E. W. Maglischo: Muscle biopsy research—Application of fiber composition to swimming, *World clinic yearbook* (Ed. R. M. Ousley): 47—54, 1978.
- 6) Essén, B., E. Jansson, J. Henriksson, A. W. Taylor and B. Saltin: Metabolic characteristics of fibre types in human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.* 95: 153—165, 1975.
- 7) 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.
- 8) Holmér, I: Oxygen uptake during swimming in man. *J. Appl. Physiol.* 33: 502—509, 1972.
- 9) Holmér, I. and P.-O. Åstrand: Swimming training and maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.* 33: 510—513, 1972.
- 10) Holmér, I., Ludin, A. and B. O. Eriksson: Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J. Appl. Physiol.* 36: 711—714, 1974.
- 11) Houston, M. E.: Metabolic responses to exercise, with special reference to training and competition in swimming. *Swimming Medicine*

- IV, Univ. Park Press: 207—232, 1977.
- 12) Houston, M. E., D. M. Wilson, H. J. Green, J. A. Thomson and D. A. Ranney: Physiological and muscle enzyme adaptation to two different intensities of swim training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 46: 283—291, 1981.
  - 13) Ingjer, F and P. Brodal: Capillary supply of skeletal muscle fibers in untrained and endurance-trained women. *Eur. J. Appl. Physiol.* 38: 291—299, 1978.
  - 14) Irving, L.: Bradycardia in human divers. *J. Appl. Physiol.* 18: 489—491, 1963.
  - 15) 勝田茂・田淵健一・田中守・宮尾英俊: スポーツ選手の利き手・非利き手における筋線維組成と作業性肥大, 筑波大学体育科学系紀要 6 : 163—170, 1983.
  - 16) Komi, P. V., H. Rusko, J. Vos and V. Vihko: Anaerobic performance capacity in athletes. *Acta Physiol. Scand.* 100: 107—114, 1977.
  - 17) 黒田善雄・伊藤静夫・塚越克巳・雨宮輝也・鈴木洋児: 日本人一流競技者の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量(第2報), 日本体育協会スポーツ科学研究報告: 1—27, 1973.
  - 18) 黒川隆志・野村武男・池上晴夫: モスクワ・オリンピック水泳候補選手及びエージ・グループ水泳選手の最大酸素負債量, 日本体育協会スポーツ医学科学研究報告: 36—46, 1980.
  - 19) Lavoie, J. M., A. W. Taylor and R. R. Montpetit: Skeletal muscle fibre size adaptation to an eight-week swimming programme. *Eur. J. Appl. Physiol.* 44: 161—165, 1980.
  - 20) MacDougall, J. D., G. R. Ward, D. G. Sale and J. R. Sutton: Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *J. Appl. Physiol.* 42: 129—132, 1977.
  - 21) Magel, J. R. and J. A. Faulkner: Maximum oxygen uptake of college swimmers. *J. Appl. Physiol.* 22: 929—938, 1967.
  - 22) Magel, J. R., G. F. Foglia, W. D. McArdle, B. Gutin, G. S. Pechar and F.I. Katch: Specificity of swim training on maximum oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.* 38: 151—155, 1975.
  - 23) Mosterd, W. L. and J. Jongbloed: Analysis of the stroke of highly trained swimmers. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol.* 20: 288—293, 1964.
  - 24) 野村武男・黒川隆志・池上晴夫: モスクワ・オリンピック候補選手の最大酸素摂取量一回流水槽を用いた水泳時における $\dot{V}O_{2max}$ , 日本体育協会スポーツ医学科学研究報告: 32—35, 1980.
  - 25) 野村武男・黒川隆志・池上晴夫・柄田幸徳・椿本昇三: 回流水槽を用いた水泳時における最大酸素摂取量測定法の検討—固定負荷法と漸増負荷法の比較, 筑波大学体育科学系紀要 4 : 91—98, 1981.
  - 26) 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.
  - 27) Nygaard, E. and E. Nielsen: Skeletal muscle fiber capillarization with extreme endurance training in man. *Swimming Medicine IV*, Univ. Park Press, 282—293, 1978.
  - 28) Nygaard, E.: Skeletal muscle fibre characteristics in young women. *Acta Physiol. Scand.* 112: 299—304, 1981.
  - 29) Padykula, H. A. and E. Herman: The specificity of the histochemical method for adenosine triphosphatase. *J. Histochem. Cytochem.* 3: 170—195, 1955.
  - 30) Rusko, H., M. Havu and E. Karvinen: Aerobic performance capacity in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 38: 151—159, 1978.
  - 31) Saltin, B. and P.-O. Åstrand: Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23: 353—358, 1967.