

## 児童の人体牽引抵抗に関する研究

富 樫 泰 一・向 井 良 生\*・野 村 武 男

### A Study of Water Resistance in children

Taiichi TOGASHI, Yoshio MUKAI\*, Takeo NOMURA

The purpose of this study was to investigate the relationship between drag force and physical characteristics and swimming performance in children and to clarify the difference of hydrodynamic characteristics with comparison of adults. 12 boys and 12 girls who were beginner swimmer were measured for body size and drag force before and after 10 times of swimming lessons.

Swimming performances were improved but no significant differences of D1.0 (estimated drag force at 1.0m/sec) were observed. However, the mean drag force reduction was 0.1 kg (-4%). D1.0 were from  $2.662 \pm 0.352$ kg at the beginning lesson and  $2.562 \pm 0.352$ kg after lessons.

High correlations were obtained between drag force and body weight ( $r=0.633$ ,  $p<.005$ ), body surface area ( $r=0.632$ ), body height ( $r=0.593$ ) and greatest cross-section ( $r=0.591$ ).

Key words: Swimming, Drag force, Children

#### 【緒 言】

人間が水中を泳いで移動する場合行進方向と反対方向に抵抗力が働く。抵抗力は人体の姿勢や形状・面積・着衣の有無や種類等により左右され、特に迎え角の増加に伴い著しく増加する<sup>4,5)</sup>。

単純な形状(球・棒・回転楕円体)の物体の抵抗は、流体力学的手法により理論的計算が可能であるが、人体のような複雑な形状の物体ではそれを理論的に求めることはほとんど不可能である<sup>2)</sup>。

そこで、水泳時の人体抵抗を求める場合、人体を静止水中で牽引したり、一定の流れの中に人体を静止させる方法により、実験的に抵抗が測定されてきた<sup>3,6,7)</sup>。ところが、実際の水泳中は伏臥姿勢で静止していることは少なく、その大部分は手足を動作させたりリカバリーや呼吸のために身体をローリングしているために、実験的に求めた抵抗値は泳いでいるときの抵抗値とは厳密には等しく

ないと言われている<sup>1)</sup>。

しかし水泳の初心者にとって、抵抗の少ない水中姿勢(流線型またはストリームラインと呼ぶ)を獲得することは、疲れの少ない効率的な水泳のために非常に重要である。

本研究は、特別な水泳指導を受けていない小学生男女を対象に

- (1)子供の牽引抵抗値と形態測定値の関係を調べる
  - (2)成人と比較して、児童の特殊性について明らかにすること
  - (3)水泳能力の向上と人体牽引抵抗値の関係を明らかにすること
- を目的とする。

#### 【方 法】

##### 1. 被 検 者

被検者は昭和61年度筑波大学公開講座(水泳)を受講した特別な水泳指導を受けていない男子12

\*筑波大学研究生

Table 1 Physical characteristics of present subjects

SUBJECT	AGE yr	SEX	HT cm	WT kg	BSA m <sup>2</sup>	SSA cm <sup>2</sup>
O.H	8	FEMALE	120.6	24.2	0.906	547
K.F	8	FEMALE	134.7	29.6	1.070	616
S.A	8	FEMALE	125.7	26.8	0.975	546
I.S	9	FEMALE	118.6	22.8	0.873	549
T.K	9	FEMALE	143.1	34.2	1.188	623
K.A	10	FEMALE	142.7	40.0	1.267	667
I.K	10	FEMALE	139.0	34.2	1.163	665
O.N	10	FEMALE	141.4	29.0	1.098	664
Y.Y	10	FEMALE	131.3	25.1	0.979	576
K.M	11	FEMALE	145.0	33.4	1.188	690
N.Y	11	FEMALE	146.3	38.6	1.271	779
U.R	12	FEMALE	146.1	31.8	1.170	654
R.S	8	MALE	124.0	25.8	0.950	610
A.T	9	MALE	123.5	26.3	0.955	560
S.N	10	MALE	136.6	31.1	1.103	623
S.K	10	MALE	132.4	29.0	1.047	586
K.K	10	MALE	138.6	36.6	1.195	605
Y.M	10	MALE	134.9	27.2	1.033	622
Y.K	10	MALE	137.0	30.8	1.101	600
K.M	10	MALE	124.2	23.4	0.913	545
I.H	11	MALE	139.5	33.4	1.155	774
G.H	11	MALE	148.3	36.8	1.258	672
G.R	11	MALE	152.5	39.8	1.327	647
H.T	12	MALE	153.7	43.4	1.385	827
N	12		12	12	12	12
MEAN	9.7	FEMALE	136.21	30.81	1.096	631.3
S.D.	1.1		9.59	5.67	0.137	74.7
N	12		12	12	12	12
MEAN	10.2	MALE	137.10	31.97	1.118	639.3
S.D.	1.0		10.43	6.15	0.151	83.5
N	24	FEMALE	24	24	24	24
MEAN	9.9	AND	136.65	31.39	1.107	635.3
S.D.	1.2	MALE	9.98	5.75	0.141	75.4

名（8—12歳），女子12名（8—12歳）であった。被検者の身体的特徴を表1に示した。

2. 抵抗測定

抵抗測定装置の模式図を図1に示した。

抵抗測定には回流水槽（五十嵐工業製，垂直循環型，79001）を用いた。尚，回流水槽の流速の校正には，三光精密工業流速計（流速計：SV-101，流速計カウンター：C-501AP）を用いた。

被検者は，張力計から伸びたステンレススチールワイヤの先端のグリップを握り，張力計の出力を抵抗力として検出した。張力計（共和電業製ロー

ドセル，LT-50KF）の出力をストレインアンプ（共和電業製，DPM-210A）で増幅し，その出力をペンレコーダー（渡辺測器製SR-6510-UM1）で連続記録した。

被検者は伏臥姿勢で手足を伸ばし，髪の毛の生え際を水面の高さに合わせた。この状態で，0.50, 0.60, 0.75, 1.00, 1.20m/secの5段階の速度における牽引抵抗を講習前（第1—2回目の講習中）と講習後（第9—10回目の講習中）に2回測定した（写真1）。

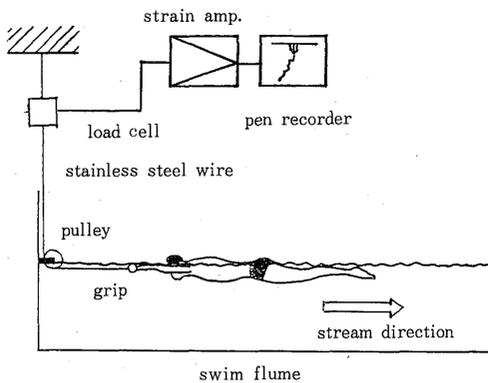


Fig. 1 Schematic view of present experiment

### 3. 形態計測

- (1) 身長,
- (2) 体重,
- (3) 体表面積 (BSA: Body Surface Area) : 高比良の式 (体表面積 =  $72.46 \times 10^{-4} \times H^{0.725} \times W^{0.425} \text{m}^2$ , H: 身長 (m), W: 体重 (kg)) を用いて計算した。
- (4) 最大横断面積 (GC: Greatest Cross-Section) : 抵抗測定時に近い姿勢でグリップを手で握り手足をまっすぐのばした姿勢で立ち, 真上から 35mm カメラで撮影した (写真 2)。校正は被検者の肩の高さに 40cm × 60 cm のスチレン製の枠を水平に保ち同一フィルム上に写しこんだ。面積は, 前記のネガフィルムを VTR カメラで撮影した画面と, コンピューター (NEC 製, PC-981VM) のグラフィック画面 (分解能 640 × 400 ドット) を, スーパーインポーズボード (アイ・シー製 パーソナルスーパーインポザー, PSI-400) を用いディスプレイ上で重ね合わせ, 最大横断断面をトレースした輪郭内部のドット数と校正枠内部のドット数の比より面積を求めた。

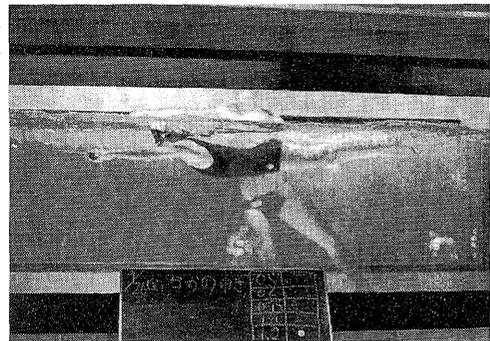
### 4. 水泳能力

- (1) 50m クロール泳

測定は第 1 回目の講習と第 10 回目の講習の準備体操終了後, 各自 15 分のウォームアップの後に測定した。記録は小数点第 2 位を切捨てて小数点第 1 位までを用いた。なお, 50m を泳ぎきれない被検者は泳げたところまでの距離を記録した。

- (2) 50m 平泳ぎ

50m クロール泳と同様に測定した。ただし, 平泳ぎができない児童については測定しなかった。



Picture 1 During passive drag measurement in swim flume.



Picture 2 Measurements of greatest cross-section (GC).

### 【結 果】

#### 1. 牽引抵抗値

牽引抵抗値 (講習前・後) を表 2 に, 抵抗値を流速のべき乗で表わしたべき乗回帰式 (講習前・後) を表 3 に示した。各流速における各測定値どうしを講習前と講習後で比較しても個々のばらつきが大きいので, 講習前後の流速 1 m/秒における抵抗予測値を示している回帰式の整数項を牽引抵抗予測値 (D1.0: 流速 1 m/秒における抵抗) として用いた。

流速と抵抗の相関係数の平均は講習前で 0.994, 講習後で 0.995 といずれも高い相関が得られた。べき乗項の平均値は講習前で 1.993 (S.D.=0.211), 講習後で 2.025 (S.D.=0.238) で有意差はなかった。牽引抵抗予測値は講習前では 2.662 (S.D.=0.352), 講習後で 2.562 (S.D.=0.352) と有意差はなかった。人体牽引抵抗値が水泳トレーニングによって有意に減少したとは言えないが, D1.0 の平

Table 2 Drag forces between pre and post lessons

SUBJECT	SEX	SPEED m/sec	DRAG FORCE (kg)									
			PRE.					POST				
			0.50	0.60	0.75	1.00	1.20	0.50	0.60	0.7	1.00	1.20
O.H	FEMALE		0.43	0.65	0.90	2.38	2.95	0.48	0.69	0.98	2.21	3.20
K.F	FEMALE		0.60	0.75	1.43	2.59	4.08	0.57	0.90	1.25	2.65	3.81
S.A	FEMALE		0.65	0.89	1.31	2.50	3.85	0.41	0.62	1.00	1.99	3.52
I.S	FEMALE		0.55	0.72	1.21	2.60	3.49	0.53	0.88	1.40	2.46	3.38
T.K	FEMALE		0.77	1.18	1.70	3.65	4.55	0.77	0.90	1.73	2.99	4.55
K.A	FEMALE		0.58	1.20	1.71	2.69	4.25	0.70	0.85	1.36	2.41	4.03
I.K	FEMALE		0.53	0.91	1.45	2.62	3.23	0.57	0.80	1.06	2.18	3.15
O.N	FEMALE		0.53	0.85	1.45	2.24	3.36	0.87	1.19	1.70	3.01	3.99
Y.Y	FEMALE		0.57	0.81	1.25	2.30	3.34	0.54	0.69	1.08	2.16	3.29
K.M	FEMALE		0.60	0.86	1.40	2.35	3.27	0.53	0.91	1.39	2.08	3.90
N.Y	FEMALE		0.90	1.18	1.50	2.58	3.61	0.91	1.19	1.70	2.98	4.50
U.R	FEMALE		0.66	0.84	1.30	2.21	3.49	0.47	0.80	1.30	2.21	3.25
R.S	MALE		0.56	0.80	1.48	3.12	3.85	0.56	0.78	1.30	2.77	3.74
A.T	MALE		0.73	1.21	1.46	2.54	3.80	0.50	0.83	1.21	2.18	3.03
S.N	MALE		0.60	0.83	1.22	2.30	3.75	0.60	0.88	1.58	2.39	3.51
S.K	MALE		0.93	1.20	1.71	2.97	3.78	0.76	1.08	1.51	3.07	4.32
K.K	MALE		0.65	1.17	1.80	2.82	4.19	0.57	0.82	1.64	2.90	4.71
Y.M	MALE		0.62	0.86	1.60	2.64	3.34	0.55	0.80	1.29	2.37	3.91
Y.K	MALE		0.60	1.11	1.50	2.99	3.84	0.60	0.79	1.45	2.67	3.61
K.M	MALE		0.56	0.71	1.10	2.33	3.74	0.55	0.70	1.07	2.19	3.36
I.H	MALE		0.65	1.30	1.87	2.73	4.07	0.71	1.14	1.69	2.47	3.52
G.H	MALE		0.80	1.04	1.52	3.03	4.12	0.91	1.23	1.90	2.79	3.83
G.R	MALE		0.90	1.15	1.75	3.24	4.18	0.82	1.11	1.32	2.57	3.88
H.T	MALE		1.31	1.60	2.22	3.45	4.87	1.19	1.80	2.03	3.11	4.55
		N	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
		MEAN	0.68	0.99	1.49	2.70	3.79	0.65	0.93	1.41	2.53	3.77
		S.D.	0.19	0.23	0.28	0.39	0.45	0.18	0.25	0.29	0.35	0.48

均値で2.562-2.662=0.100kg (4%)の減少が見られた。

2. 形態と牽引抵抗値の関係

形態計測値とD1.0との関係を図2に示した。D1.0を各形態値の1次回帰式で表わした。身長・体重・体表面積・最大横断面積ともD1.0と有意な相関が得られた (P<0.005)。最も高い相関を示したのは体重で (r=0.633), 体表面積 (r=0.632),

身長 (r=0.593), 最大横断面積 (r=0.591) の順であった。

3. 水泳能力

クロール泳では, 50mを完泳できたのは講習前が11名, 講習後が19名と8名の増加を示した (72.7%増)。泳距離の平均値と比較すると同じく32.5mから46.0mと13.5mの増加 (41.5%増)を示した。泳時間で比べると (但し, 講習前に50m

Table 3 Regression equations between drag force and water velocity during pre and post lesson

SUBJECT	PRE			POST		
	D1.0	POWER	Correlation coefficient	D1.0	POWER	Correlation coefficient
O.H	2.044	2.296	0.990	2.103	2.204	0.996
K.F	2.643	2.248	0.996	2.559	2.162	0.997
S.A	2.535	2.034	0.998	2.113	2.415	0.998
I.S	2.397	2.216	0.996	2.422	2.087	0.997
T.K	3.298	2.079	0.996	3.035	2.108	0.994
K.A	2.917	2.094	0.985	2.559	2.013	0.993
I.K	2.448	2.062	0.992	2.126	1.963	0.995
O.N	2.351	2.049	0.996	2.920	1.761	0.999
Y.Y	2.290	2.027	1.000	2.145	2.112	0.996
K.M	2.343	1.942	0.999	2.437	2.109	0.990
N.Y	2.593	1.578	0.995	3.060	1.822	0.997
U.R	2.319	1.902	0.997	2.257	2.149	0.997
R.S	2.778	2.317	0.995	2.569	2.250	0.998
A.T	2.639	1.779	0.991	2.154	2.015	0.997
S.N	2.397	2.073	0.997	2.488	1.994	0.996
S.K	2.842	1.648	0.998	2.960	2.006	0.997
K.K	2.961	2.020	0.992	3.016	2.422	0.998
Y.M	2.518	1.985	0.993	2.488	2.213	0.999
Y.K	2.806	2.076	0.992	2.551	2.132	0.997
K.M	2.335	2.216	0.994	2.172	2.116	0.995
I.H	2.937	1.926	0.981	2.591	1.744	0.994
G.H	2.881	1.934	0.996	2.861	1.628	0.998
G.R	3.059	1.826	0.997	2.600	1.753	0.987
H.t	3.545	1.503	0.997	3.306	1.420	0.986
MEAN	2.662	1.993	0.994	2.562	2.025	0.995
S.D.	0.352	0.211	0.004	0.352	0.238	0.003

を完泳できなかったものは除いた) 同じく49.6秒から49.3秒と0.3秒早くなったが有意差はなかった。

50m 平泳ぎでは、講習前と後の差の平均が4.86秒早くなり、明らかな練習効果を示していた。

以上の結果より水泳能力の向上は明らかだった。

【考 察】

1. 抵抗と流速との関係

P.V.Karpovich (1933) <sup>3)</sup>, 鞆田ら (1964) <sup>6)</sup>, 角田ら (1975) <sup>7)</sup>は以下の抵抗と流速との関係式を報告した。

$$[Rkg, Vm/sec]$$

a) P.V.Karpovich (1933) による関係式  
男子 体表面積 [m<sup>2</sup>] 2.23-1.77

伏臥姿勢  $R = 3.17V^2$  L 1

仰臥姿勢  $R = 3.66V^2$

男子と女子 体表面積 [m<sup>2</sup>] 1.77-1.53

伏臥姿勢  $R = 2.69V^2$  L 2

仰臥姿勢  $R = 2.93V^2$

b) 鞆田ら (1964) による関係式

伏臥頭部水中姿勢  $R = 2.51V^{1.92}$

伏臥頭部水上姿勢  $R = 3.20V^{1.65}$  L 3

仰臥頭部水中姿勢  $R = 2.80V^{1.95}$

仰臥頭部水上姿勢  $R = 3.20V^{3.20}$

c) 角田ら (1975) による関係式

男子伏臥頭部水中姿勢  $R = 2.49V^{1.91}$

男子伏臥頭部水上姿勢  $R = 5.39V^{1.18}$  L 4

女子伏臥頭部水中姿勢  $R = 1.81V^{2.37}$

女子伏臥頭部水上姿勢  $R = 4.29V^{1.63}$

この中から本研究の牽引抵抗測定姿勢に近い状態

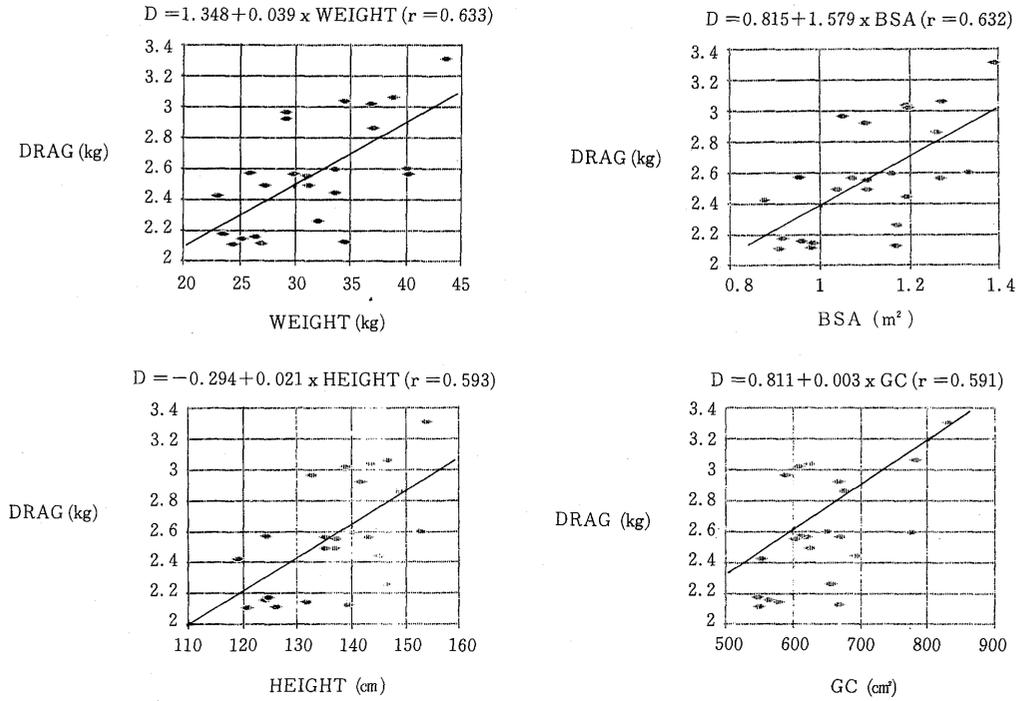


Fig. 2 Comparison of regression equations between drag force(D1.0) and weight, Body surface area (BSA), height and Greatest Cross-section (GC).

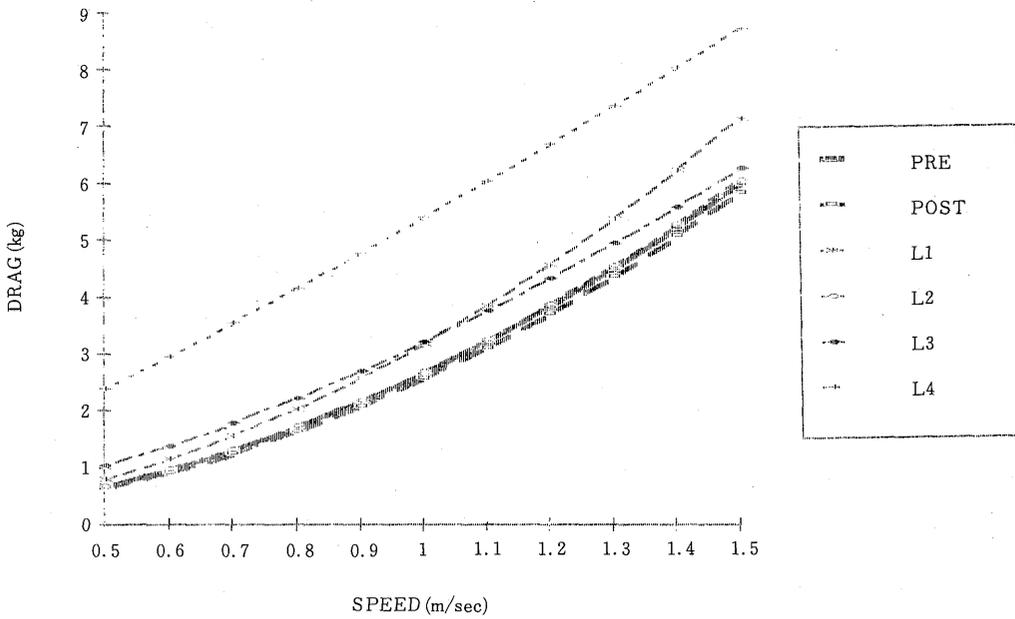


Fig. 3 Comparison of regression equations between present study and reported data.

で測定された報告と比較してみると (図 3),

d) 本研究の関係式

男女伏臥頭部水上姿勢  $R = 2.66V^{1.993}$  講習前

男女伏臥頭部水上姿勢  $R = 2.56V^{2.025}$  講習後

本研究の講習後の式が最も低く、ついて講習前、Karpovich (L 2) の順に位置が上昇しているがこの 3 者は非常に接近していることがわかる。Karpovich の式 (L 1) と鞆田の式 (L 3) はやや離れており、角田の式 (L 4) は最も離れている。

成人と児童の姿勢と形状が同じであって相似則が成り立つと仮定すると抵抗はその 3 乗に比例するので、身長比 ( $136.7/175.0 = 0.78$ ) より、抵抗は 0.474 倍になると考えられる。本研究の結果をこの仮定に基づいて成人の値に換算すると、D1.0 は 5.38—5.61 となる。その結果、最も離れていた角田の式 (L 4) が最も近い値となり、他の報告 (L 1—3) より大きい。しかし、児童と成人の形状の相似を証明するには、形態値の詳細について検討する必要があることと、牽引抵抗測定時の姿勢についても相似が保たれなければならない。従って、本研究の結果からは児童と成人の形状の相似を照明できないものの、角田の式 (L 4) はこの仮定を支持するものであった。

## 2. 形態と牽引抵抗値の関係

本研究では体表面積と牽引抵抗値の間に高い相関が得られた ( $r = .632, P < .005$ )。しかし、P.V.Karpovich (1933)<sup>3)</sup> は体表面積よりも体型に影響すると指摘している。鞆田ら<sup>6)</sup>、角田ら<sup>7)</sup>、Clarys<sup>1)</sup> は体表面積と牽引抵抗値との関係があるとは言えないと指摘している。これらの報告は本研究の結果とは異なるものである。その原因として考えられることは、対象が大人と子供で違っていることと、水泳の初心者と競泳選手との違いがあげられる。

牽引抵抗と最大横断面積との関係も同様に高い相関が得られた ( $r = .591, P < .005$ )。Clarys<sup>1)</sup> は、(身長)<sup>2</sup> / (横断面積) との負の関係よりで牽引抵抗と最大横断面積は関係あると報告している。本研究はこれらの報告を支持するものであった。

## 3. 水泳能力と牽引抵抗値の関係

本研究では、クロールや平泳ぎにおいて水泳能力の向上が見られた。しかし、講習前と後の牽引抵抗値の差は有意ではなかったものの、平均値で 0.1kg の抵抗減少 (4% の減少) が見られた。しか

し本研究の結果からは、水泳能力の向上を牽引抵抗値の減少からは説明できなかった。Clarys<sup>1)</sup> は、牽引による抵抗値は泳いでいる時にできる抵抗値の半分ぐらいにすぎないので実践面での実用性に欠け、また、形態データより Passive Drag (受動抵抗 = 牽引抵抗) と Active Drag (活動抵抗) の違いをみることはできないと報告していることから、トレーニングによる水泳能力の向上は、主に活動抵抗の減少をもたらす、牽引抵抗には反映しなかったのではないかと考える。

## 【結 論】

1. 形態と牽引抵抗値の関係は、体重・体表面積・身長・横断面積の順に高い相関が得られた ( $P < 0.005$ )。
2. 水泳能力は向上したが、牽引抵抗値は有意に減少しなかった。

## 参考文献

- 1) Clarys J.P.  
Relationship of Human Body Form to Passive and Active Hydrodynamic Drag  
University Park Press  
Biomechanics, 6:120-125, 1978
- 2) 池上康男：水泳のバイオメカニクス—その研究の流れ—  
Japanese J. of Sports Sci., 2-7:492-499, 1983
- 3) Karpovich P.V.  
Water Resistance in Swimming  
Research Quarterly, 43:21-28, 1983
- 4) 富樫泰一, 黒川隆志, 高橋伍郎  
人体模型による水泳時の揚力と抗力  
第 7 回バイオメカニクス学会大会論集,  
pp170-173, 1984
- 5) 富樫泰一, 野村武男  
人体模型を用いた水泳時の揚力及び抗力に関する研究  
筑波大学体育科学系運動学類運動学研究,  
pp17-22, 1987
- 6) 鞆田幸徳, 宮下充正, 高橋伍郎  
人体水抵抗に関する研究  
昭和39年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1963
- 7) 角田俊幸, 小島武次, 宮下充正, 岡本 恒, 増永公明  
人体水抵抗に関する研究  
昭和50年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1975