

クロール泳における passive drag、active drag、 最大泳パワーの男女差の検討

清 水 潤¹⁾
田 口 正 公¹⁾
森 誠 護²⁾

Examination of the differences between male and female of passive drag, active drag, and maximum swimming power in front crawl stroke

Jun Shimizu¹⁾
Masahiro Taguchi¹⁾
Seigo Mori²⁾

Abstract

The purpose of this study was to examine differences between male and female of active drag, passive drag, and maximum swimming power in front crawl stroke. The subjects were 13 males and 11 females college swimmers. In the case of Active Drag and Passive Drag, subjects were towed with active drag system at speeds higher than those of their maximum effort. Their passive drag were 100.84 ± 11.97 N (male), 61.95 ± 9.76 N (female) and their active drag were 40.23 ± 12.52 N (male), 39.94 ± 8.97 N (female) and their maximum swimming power were 84.97 ± 11.60 watt (male), 51.97 ± 6.97 watt (female). Passive drag, maximum propulsive force and maximum swim power were significant difference between male and female ($p < 0.001$). However, active drag indicated that there was no significant difference. No complete streamline technique causes a high value of passive drag, and it will draw the low value of active drag. Therefore, it is thought that active drag was no significant difference between male and female.

1) 福岡大学スポーツ科学部
〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1

1) Department of Sport & Health Science,
Fukuoka University
8-19-1 Nanakuma, Jounan-ku, Fukuoka
City(814-0180)

2) 大学院スポーツ健康科学研究科

2) Graduate School, Department of Sport &
Health Science, Fukuoka University
8-19-1 Nanakuma, Jounan-ku, Fukuoka
City(814-0180)

1. 緒 言

水泳競技は定められた距離をより速く泳ぐことを目的としたスポーツである。水は空気の800倍以上の密度を持ち、陸上での競技に比べ極めて抵抗の影響を大きく受ける。下永田ら⁷⁾は選手間の比較において、抵抗を低減させて泳速度を向上するタイプの選手と、推進力・泳パワーを向上させることによってより速く泳ごうとしている選手とにタイプ分けできると報告している。したがって泳速度の向上を目指すためには推進力の増大と共に抵抗の少ない泳技術の獲得が必要となってくる。泳動作中の抵抗の計測は泳技術の一つの指標と考えられるが、現実には泳ぎに影響を与えないで測定することは困難とされてきた。これまでの研究において、Toussaint ら¹¹⁾は MAD-System によって腕のみの推進力と抵抗力を測定していたが、キックを打ったときの Active Drag の測定は困難であり、さらにクロール以外の種目では測定ができなかった。Komune³⁾は回流水槽を用いて Active Drag の測定を行っており、回流水槽を用いているため泳者の全力泳以下の速度範囲も含めた測定が可能であるが、この方法も腕のみの推進力、抵抗力の測定であった。Nomura ら⁵⁾は多目的自動釣機を用いた牽引装置 (Reel up System) を開発し、コンビネーションでの測定を可能とした。高木ら^{9,10)}と下永田ら^{6,7)}は牽引装置を用いて自己推進時に生じる様々な抵抗 (圧力抵抗、造波抵抗、摩擦抵抗) を受動的抵抗 (Passive Drag) と自己推進時抵抗 (Active Drag) の2つに分けて考えることによってクロール泳中の Active Drag を定量化する方法を考案している。ここでは Active Drag の妥当性の検討が行われており、パフォーマンス評価の指標になりうることを報告している。

これまで Active Drag の定量化の際、水泳競技に十分習熟した大学競泳選手を対象にしておこなわれてきたが、対象は男子競泳選手であった。水泳パフォーマンスに関与する身体的要因の性差については研究が行われているが²⁾、Active Drag の観点から性差について検討した研究は見られない。男女の泳速度の違いから泳パワー、推進力は男子が高い値を示すと予測されるが、Active Drag、Passive Drag において男女間に差が生じるか明らかにされていない。そこで本研究では下永田らが開発した Active Drag 算出法を用いることによって、クロール泳における男女の性差を水泳中の Active Drag、Passive Drag、泳パワーから検討することを目的とした。

2. 方 法

2.1 被 験 者

被験者は水泳競技に十分習熟した大学生競泳選手男子13名、女子11名とした。被験者の身体特性として身長、体重、体脂肪率を測定し、身長、体重を用いて式(1)に示す高比良の体表面積推定式⁹⁾から、各被験者の体表面積を算出した。被験者の身長、体重、体脂肪率、体表面積を表1に示した。

$$\text{体表面積} = 72.46 \times (\text{身長} \times 100)^{0.726} \times \text{体重}^{0.425} \div 10^4 \quad (1)$$

表1 被験者の身体特性

sub. male	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	体表面積 (m ²)
m 1	181	80.2	21.7	57.04
m 2	173	62.4	14.1	49.62
m 3	175	64.0	13.8	50.57
m 4	172	61.2	14.2	49.00
m 5	174	74.0	16.7	53.57
m 6	182	69.8	14.7	53.99
m 7	165	63.4	22.4	48.27
m 8	177	75.7	19.3	54.76
m 9	175	68.5	17.1	52.06
m10	164	58.3	15.8	46.37
m11	170	65.3	22.5	49.95
m12	181	61.6	16.3	50.99
m13	176	67.2	21.2	51.85
mean	174.2	67.1	17.7	51.39
S. D.	4.2	5.1	2.9	2.30
sub. female	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	体表面積 (m ²)
f 1	163	47.2	18.7	42.20
f 2	160	53.4	23.9	43.88
f 3	161	49.5	21.6	42.68
f 4	162	54.1	25.1	44.53
f 5	164	58.3	30.1	46.37
f 6	156	50.5	23.8	42.07
f 7	165	63.7	27.9	48.37
f 8	162	51.3	23.5	43.53
f 9	156	54.8	25.2	43.56
f 10	159	49.9	24.3	42.44
f 11	162	58.5	25.3	46.03
mean	160.9	53.8	24.5	44.15
S. D.	2.3	3.8	2.0	1.58

2.2 実験試技

実験試技は Active Drag System (以下 ADS とする) を用いて測定を行った。本装置をプールサイドに固定し、牽引ロープ (ケブラー繊維製) を泳者の腰にベルトによって固定した。牽引装置 (森山製作所製 MDL-G1-1型) で泳者を一定の速度で牽引し、牽引速度 (V) を速度センサー (オムロン E6B10R/P) から検出した。

検出されたデータはパーソナルコンピューター (PC-9821) に50Hz でサンプリングした。

試技は以下の3つの実験条件のもとで測定を行った。

1) グライド姿勢における牽引泳

速度範囲は1.00-2.30m/sec 間の7段階で実施した。

2) 牽引ロープに引っ張られながら泳ぐ牽引泳

速度範囲は male:1.85-2.25m/sec、female:1.75-2.20m/sec 間の4段階で実施した。

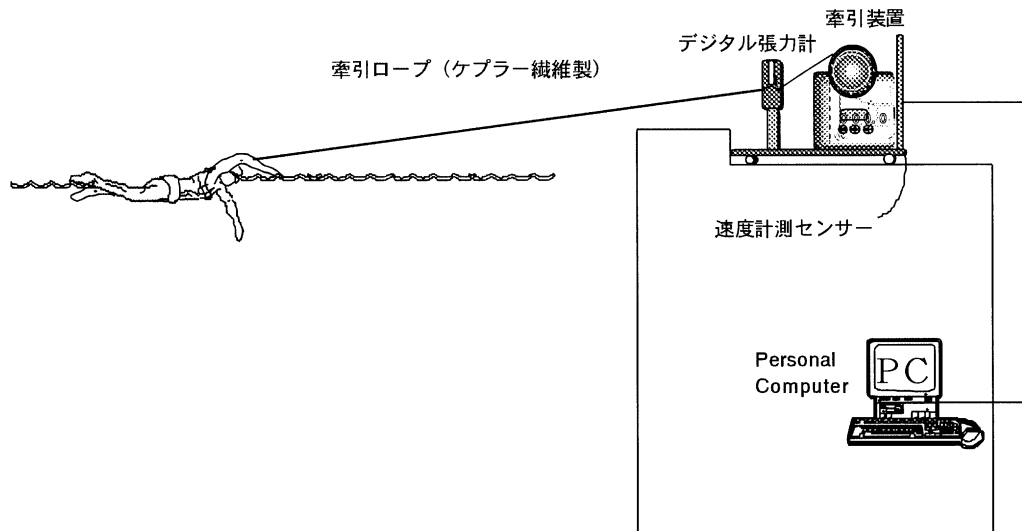


図1 実験装置 (Active Drag System) の概略図

3) 牽引ロープを引っ張りながら泳ぐパワー泳

速度範囲は male:0.20-1.60m/sec、female:0.20-1.40m/sec 間の4段階で実施した。

速度ゼロにおける推進力を理論上の最大推進力と定義した。各試技での力、速度は、条件1では速度の安定した5秒間の平均速度、力を代表値とし、条件2、3では4ストロークサイクル中の平均値を代表値とし、Komune³⁾、下永田ら⁶⁾の回帰モデルを用いて力-泳速度関係から D_p 、 T_r 、 D_a を以下の式より求めた。

$$D_p = k_p V^{n_p} \quad (2)$$

$$T_r = P_0 \{1 - (V/V_0)^{n_a}\} \quad (3)$$

$$D_a = P_0 - T_r - D_p \quad (4)$$

D_p : Passive Drag、 k_p : Passive Drag における抵抗係数、 n_p : Passive Drag における指数定数、 T_r : クロール泳中に検出された力、 V : 泳速度、 n_a : Active Drag における指数定数、 D_a : Active Drag、 P_0 : 最大推進力、 V_0 : 最大泳速度

また泳速度と張力をかけることによって泳パワーを算出し、パワー曲線の最大値を最大泳パワー (MSP) とし、そのときの速度を V_{MSP} とした。

2.3 統計処理

全ての測定データは平均値±標準偏差で示した。差の検定には t 検定を用い、相関係数の統計処理には Fisher の z 変換を用いた。なお有意水準はともに 5% とした。

表2 Active Drag System によって測定された値

sub. male	kp	np	na	P ₀ (N)	V ₀ (m/sec)	Dp ₀ (N)	Da ₀ (N)	MSP (watt)	V _{MSP} (m/sec)	Da ₀ /Dp ₀
m 1	27.36	2.37	2.39	143.88	1.80	110.31	33.57	91.04	1.00	0.30
m 2	34.76	2.00	2.24	137.28	1.81	113.39	23.89	79.60	0.97	0.21
m 3	31.97	2.24	1.94	125.81	1.73	100.72	32.27	73.42	0.90	0.32
m 4	26.22	2.18	2.31	150.77	1.79	92.66	58.10	100.04	0.95	0.63
m 5	28.36	2.17	2.54	142.45	1.92	117.24	25.22	106.96	1.04	0.22
m 6	31.14	2.14	2.27	153.40	1.84	115.64	37.76	92.39	1.03	0.33
m 7	31.11	2.11	2.26	149.41	1.80	106.69	42.72	89.12	0.98	0.40
m 8	38.21	1.98	1.93	169.32	1.78	119.52	49.81	103.43	0.97	0.42
m 9	36.81	1.89	1.15	146.50	1.56	85.44	61.06	87.26	0.93	0.71
m10	25.93	2.21	2.47	116.72	1.71	85.07	31.65	67.37	0.92	0.37
m11	27.60	2.27	1.41	152.32	1.61	81.52	70.79	67.31	0.84	0.87
m12	32.28	2.05	2.16	123.99	1.66	91.40	32.59	75.20	0.86	0.36
m13	29.16	2.28	1.31	114.76	1.65	91.27	23.50	71.53	0.84	0.26
mean	30.84	2.15	2.03	140.51	1.74	100.84	40.23	84.97	0.94	0.41
S.D.	3.14	0.11	0.37	12.92	0.08	11.97	12.52	11.60	0.05	0.15
sub. female	kp	np	na	P ₀ (N)	V ₀ (m/sec)	Dp ₀ (N)	Da ₀ (N)	MSP (watt)	V _{MSP} (m/sec)	Da ₀ /Dp ₀
f 1	23.27	2.15	1.74	94.49	1.44	50.52	43.97	42.21	0.77	0.87
f 2	26.02	2.14	1.92	102.38	1.48	60.03	42.34	46.58	0.77	0.71
f 3	31.27	1.88	1.95	118.17	1.63	77.97	40.20	63.52	0.91	0.52
f 4	29.05	2.06	2.20	99.53	1.59	75.97	23.56	59.74	0.86	0.31
f 5	25.95	2.12	2.38	104.92	1.62	72.18	32.75	57.97	0.90	0.45
f 6	22.35	2.30	1.61	118.95	1.44	51.89	67.06	49.48	0.79	1.29
f 7	21.33	2.55	2.10	90.44	1.47	54.87	35.57	49.85	0.75	0.65
f 8	24.30	2.25	1.96	93.02	1.45	55.89	37.13	39.97	0.75	0.66
f 9	23.06	2.21	2.10	96.37	1.45	52.71	43.66	45.39	0.79	0.83
f 10	20.37	2.31	2.01	105.75	1.52	54.03	51.72	53.95	0.81	0.96
f 11	26.83	2.12	2.56	96.69	1.63	75.34	21.35	63.02	0.85	0.28
mean	24.89	2.19	2.05	101.88	1.52	61.95	39.94	51.97	0.81	0.68
S.D.	2.67	0.12	0.20	7.41	0.07	9.76	8.97	6.97	0.05	0.22

3. 結 果

身長、体重、体脂肪率、体表面積は男女間に有意な差が認められた ($p < 0.001$)。ADS より算出した結果を表2に示した。全ての被験者が泳速度の増加にともなって受動的抵抗が指数的に増加する傾向が見られた (図2)。男女別の Passive Drag における抵抗係数 (kp) は 30.84 ± 3.14 (male)、 24.89 ± 2.67 (female)、指数定数 (np) は 2.15 ± 0.11 (male)、 2.19 ± 0.12 (female) であった。また、最大推進力 (P₀) は男女別で 140.51 ± 12.92 N (male)、 101.88 ± 7.41 N (female) であり、最大泳速度 (V₀) は 1.74 ± 0.08 m/sec (male)、 1.52 ± 0.07 m/sec (female)、最大泳速度時の Active Drag (Da₀) は 40.23 ± 12.52 N (male)、 39.94 ± 8.97 N (female)、Passive Drag (Dp₀) は 100.84 ± 11.97 N (male)、 61.95 ± 9.76 N (female) であった。最大泳パワー (MSP) は 84.97 ± 11.60 watt (male)、 51.97 ± 6.97 watt (female)、このときの泳速度 (V_{MSP}) は 0.94 ± 0.05 m/sec (male)、 0.81 ± 0.05 m/sec

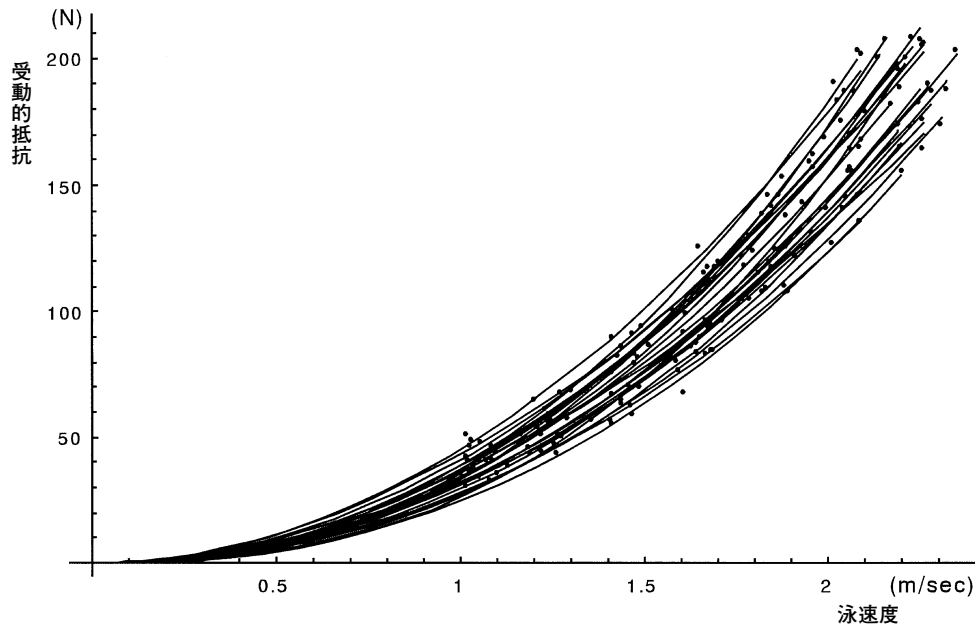


図2 各被験者の泳速度と受動的抵抗の関係

(female)であった。また体表面積と Dp_0 の関係を見たところ、相関係数は男子 $r=0.56$ ($P<0.05$)、女子 $r=0.30$ 、全体で $r=0.84$ ($p<0.001$) を示した (図3)。

抵抗係数、 P_0 、 V_0 、 Dp_0 、 MSP 、 V_{MSP} は男女間で有意な差があった (図4、図5、図7、 $p<0.001$)。

4. 考 察

4.1 Passive Drag

全ての被験者が泳速度の増加にしたがって Passive Drag が指数的に増加する傾向が見られ (図2)、男女差は有意差 (図5、 $p<0.001$) を示した。下永田ら⁷⁾はある程度競泳に精通した選手間の Passive Drag の違いは、体型の差よりも姿勢の違いによる抵抗係数、指数定数の変化が大きいとしている。一方、高木ら^{9,10)}は Passive Drag の違いは被験者の体格差によるものが大きく、体表面積の違いが Passive Drag に関与することを示唆している。本研究では Passive Drag において男女間に有意な差 ($p<0.001$) を示し、高木ら^{9,10)}が示すように男女間の体表面積の差 ($p<0.001$) が関与していると考えられる。個人間で考察をする際、下永田ら⁷⁾が示唆しているように体型よりも姿勢の影響が大きいのであろうが、男子、女子という集団での検討の場合、男女間の Passive Drag の差は体型の差によるものであると考えられる。本研究においても男女の値を用いて体表面積と Dp_0 の相関を取ると相関係数 0.84 ($p<0.001$) を示し、体表面積と Dp_0 間の関係が強いことが考えられ (図3)、男女別での相関係数は男子 $r=0.56$ ($p<0.05$)、女子 $r=0.30$ で男子のほうが高い相関係数を示し、Passive Drag において男子のほうが体表面積の影響を受けると考えられる。

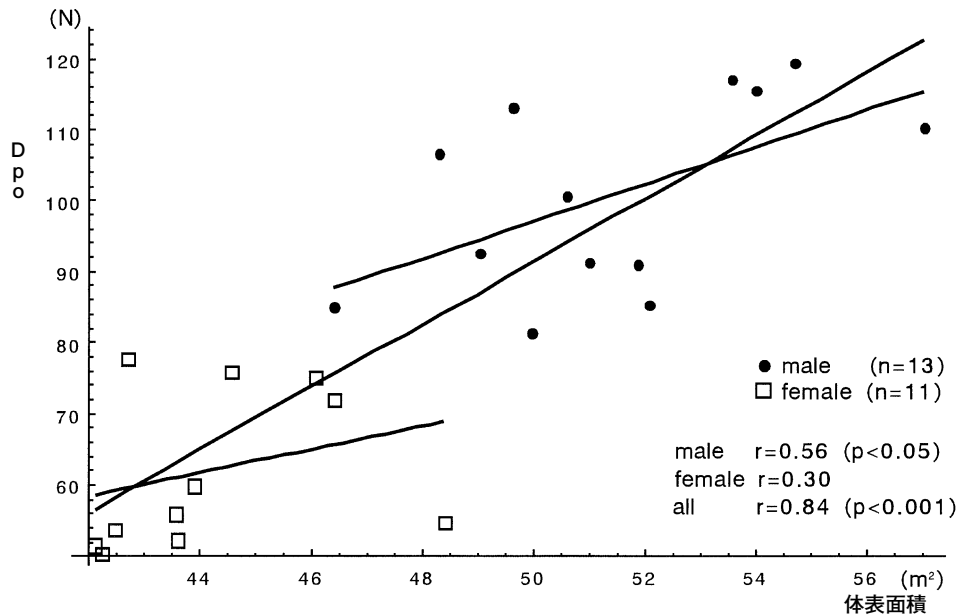


図3 体表面積と受動的抵抗 (Dpo) の関係

4.2 Active Drag

抵抗係数 (k_p) は 30.84 ± 3.14 (male)、 24.89 ± 2.67 (female)、指数定数 (n_a) は 2.03 ± 0.37 (male)、 2.05 ± 0.20 (female) であった。高木ら⁸⁾によると競泳中の指数定数は姿勢の変化などの理由で $n=2$ に必ずしもならないが、ほぼ $n=2$ の近傍になると述べている。従って本研究の結果は $n=2$ に近い値を示しており、クロール泳中の指数定数をよく表わしていると考えられる。泳動作中は水中における断面積が大きくなると推察され⁹⁾、身体的に大きい男子は女子よりも水中における断面積が大きくなると予測されるが、Active Drag は男女間の値に有意な差が見られなかった (図6)。本研究での男子泳者の Da_0 は $40.23 \pm 12.52N$ を示したのに対し、下永田ら⁷⁾ の Da_0 は $65.39 \pm 16.55N$ 、高木ら⁹⁾ は $97.90 \pm 15.19N$ であり、本研究で算出した Da_0 はかなり低い値を示していた。Active Drag は式(4)が示すように最大推進力 (P_0) から Passive Drag を減ずることによって算出している。そのため Passive Drag が高値を示した場合、計算上 Active Drag は低い値で算出されてしまう。本研究での男子被験者は大学生競泳選手であったがストリームライン姿勢の未完さが Passive Drag の高値を招き、Active Drag の低値につながったと考えられる。 Da_0/Dp_0 を見ると、 0.41 ± 0.15 (male)、 0.68 ± 0.22 (female) を示し、 $p < 0.05$ で女子が有意に大きい値を示した。最大泳速度 (V_0) $1.74 \pm 0.08m/sec$ (male)、 $1.52 \pm 0.07m/sec$ (female) を50m自由形の日本記録 (スタート技術は無視して泳時間から算出した泳速度 male: $2.25m/sec$ 、female: $1.99m/sec$) と比較すると、本研究での被験者は男女間で同程度の泳力を持っていると見ることができ、 Da_0/Dp_0 は男子=女子となると推測されるが、本研究での Da_0/Dp_0 は男子<女子となっており、このことから男子の Passive Drag が高い値を示していることが分かる。Active Drag に関してはさらなる検討が必要と考えられる。

クロール泳における passive drag、active drag、最大泳パワーの男女差の検討

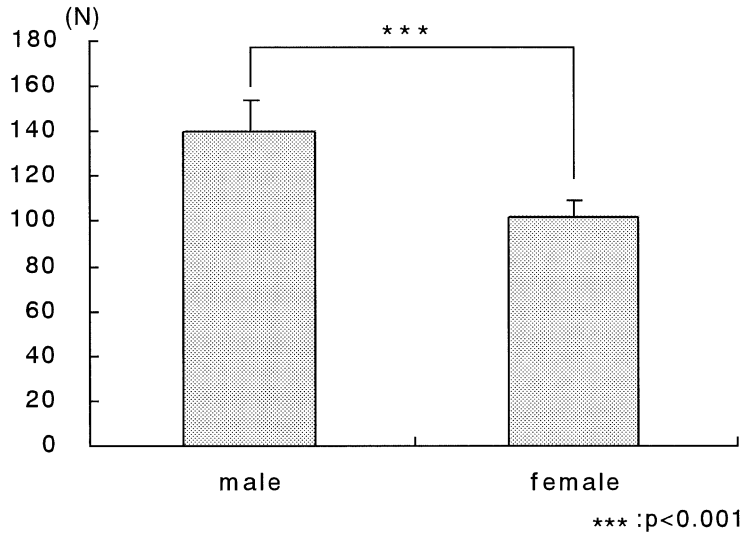


図4 最大推進力 (P₀) の男女比較

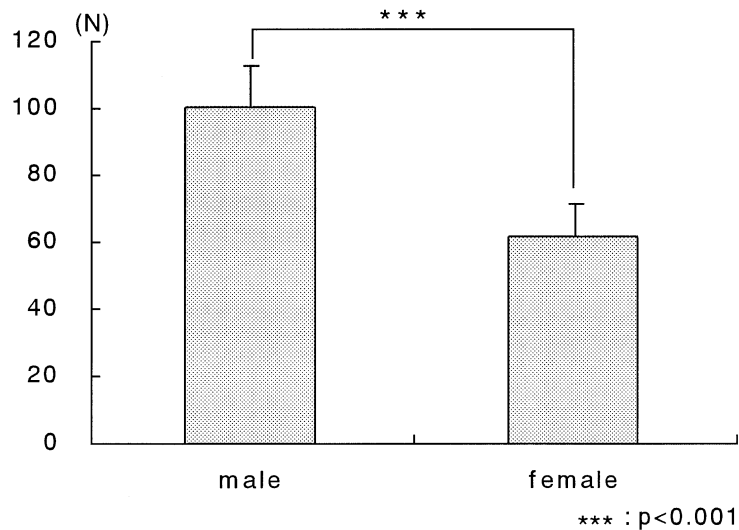


図5 受動的抵抗 (D_{p0}) の男女比較

4.3 最大泳パワー (MSP)

最大泳パワー (MSP) は84.97±11.60watt (male)、51.97±6.97watt (female) で、男子が有意に高い値を示した (図7 p<0.001)。一般に、筋力の泳力に対する関与は大きく、泳力の優れる選手ほど、筋パワーは優れている¹⁾。また競技力の優れる男子は、競技力の優れる女子に比べ、水泳パフォーマンスに対する筋パワーの影響が大きい²⁾。本研究においても泳速度は男子が有意に高い値

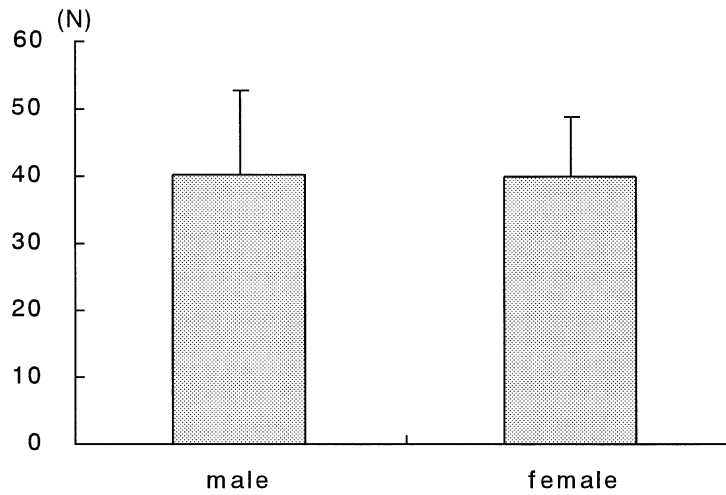


図6 自己推進時抵抗 (Da_0) の男女比較

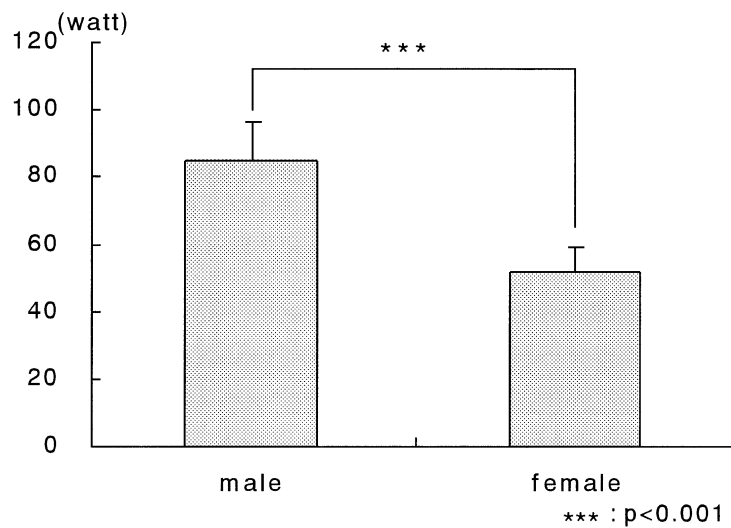


図7 最大パワー (MSP) の男女比較

を示しており ($p < 0.001$)、水泳パフォーマンスが有意に高い男子が MSP も有意に高い値を示す結果となった。

5. ま と め

本研究では ADS を用いて泳動作中の抵抗という観点からクロール泳における男女差を検討した。この結果以下の知見が得られた。

- 1) 身体特性の影響を受ける Passive Drag は男女間に有意差を示した ($p < 0.001$)。
- 2) Active Drag においては男女間に有意な差を見ることができなかった。これは男子被験者のストリームライン姿勢の未完成さによるもので、さらなる検討が必要である。
- 3) 女子に比べて泳速度が高い男子は、最大泳パワーにおいて有意に高い値を示した。

6. 参考文献

- 1) 出村慎一, 松浦義行 (1979) : 筋力と水泳パフォーマンスとの関係. 体育学研究 : 24 (1) : 59-69
- 2) 春日晃章, 出村慎一, 浪越信夫, 吉村豊, 鶴峯治, 田口正公, 郷司文男, 佐藤進 (1997) : 水泳パフォーマンスに關与する身体的要因の性差及び競技力差について—經驗的・主觀的情報に基づいて—CIRCULAR 58 : 71-81
- 3) Komune T., Ogura M. (1994) An Analysis and an evaluation of swimming using CWC. Korea-Japan Joint Workshop on CWC: 85-92
- 4) 松浦義行 (1989) : 体力測定法. 朝倉書店 159-162
- 5) Nomura T., Goya T., Matsui A., Takagi H. (1994) Determination of Active Drag during Swimming. Medicine and Sport Science in Aquatic Sports 34 S. Karger: Basel: 131-136
- 6) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 青柳美由季 (1998) : クロール泳における Active Drag の定量化の試み. 福岡大学体育研究28(2) : 65-79
- 7) 下永田修二, 田口正公, 田場昭一郎, 大城敏裕, 浜口麻衣子 (1999) : クロール泳における Active Drag 定量法の検討. バイオメカニクス研究概論 : 270-275
- 8) 高木英樹, 坂田勇夫, 合屋十四秋, 野村照夫, 松井敦典 (1993) : 水泳における抵抗と推進力に關する流体力学的考察. 三重大学教育学部研究紀要44 : 71-84
- 9) 高木英樹, 清水幸丸, 前田太佳夫, 野村照夫 (1995) : Active Drag (自己推進時抵抗) を指標としたトレーニング効果評価法の開発. デサントスポーツ科学16 : 149-159
- 10) 高木英樹, 野村照夫, 松井敦典, 南隆尚 (1997) : 日本人競泳選手の抵抗係数. 体育学研究41 : 484-491
- 11) Toussaint H. M., G. de Groot, H. H. C. M. Savelberg, Vervoorn K., Hollander A. P. and G. J. van Ingen Schenau (1988) Active drag related to velocity in male and female swimmers. Journal of Biomechanics 21(5): 435-438