

水泳における浮くためのエネルギーと推進 のためのエネルギーの男女比較

池 上 晴 夫 (筑波大学体育科学系)
重 枝 武 司 (福岡県筑前高等学校)
久 山 順 子 (神奈川県相馬中学校)
野 村 武 男 (筑波大学体育科学系)
黒 川 隆 志 (筑波大学体育科学研究科)
後 藤 慎 二 (筑波大学体育科学研究科)

(昭和57年11月24日 受付)

Comparison of $\dot{V}O_2$ for buoyancy and propulsion during
swimming between male and female

Haruo Ikegami¹

Takeshi Shigeeda²

Junko Kuyama³

Takeo Nomura¹

Takashi Kurokawa⁴

Shinji Goto⁴

Abstract

Body fat lessens underwater body weight and may offer an advantage for swimming performance. The present study was undertaken to measure separately $\dot{V}O_2$ for buoyancy and that for propulsion during swimming in the swimming flume and to elucidate the advantage of lower underwater body weight in female.

Three male swimmers and three female swimmers participated as the subjects. $\dot{V}O_2$ was measured during free style swimming at a constant speed of 0.6, 0.8 and 1.0m/sec. Underwater weight was increased stepwisely by loading an extra-weight around the subject's waist or decreased by suspending a weight which pulls the waist upward via a wire and pulleys.

1 Institute of Health and Sport Science, The University of Tsukuba.

2 Chikuzen High School, Fukuoka.

3 Arima Junior High School, Kanagawa.

4 Doctoral program in Health and Sport Science, The University of Tsukuba.

$\dot{V}O_2$ at a given speed depended proportionally on the underwater weight. $\dot{V}O_2$ for propulsion was estimated by subtracting resting $\dot{V}O_2$ from the intercept on the ordinate, and $\dot{V}O_2$ for buoyancy was calculated from the slope.

- 1) $\dot{V}O_2$ for buoyancy was independent of swimming speed and the average value for female swimmers was much smaller than that for male swimmers ($352 \pm 140 \text{ ml/min}$ for male, $186 \pm 83 \text{ ml/min}$ for female). This difference in $\dot{V}O_2$ for buoyancy depended largely on the difference in underwater weight as the calculated values of $\dot{V}O_2$ for buoyancy per kg of underwater weight revealed much smaller difference between sexes ($117 \pm 46 \text{ ml/min}$ for male, $91 \pm 36 \text{ ml/min}$ for female).
- 2) $\dot{V}O_2$ for propulsion increased exponentially with increasing speed. The increasing rate was larger in female than in male. This is probably because of relative inferiority of swimming ability in the female group in this study.
- 3) The rate of propulsion $\dot{V}O_2$ to total $\dot{V}O_2$ during swimming was larger in female than in male. This represents the advantage of lower underwater weight in female for swimming. This result offers the probable explanation for the discrepancy which exists in male-female ratio of the world records between swimming and running.

(Haruo Ikegami, Takeshi Shigeeda, Junko Kuyama, Takeo Nomura, Takashi Kurokawa and Shinji Goto, "Comparison of $\dot{V}O_2$ for buoyancy and propulsion during swimming between male and female," *Jap. J. Phys. Educ.*, 28-1 : 33-42, June, 1983)

緒 言

水泳運動は陸上運動と比べて、運動条件にいくつかの相違がある。その1つは、陸上では自分の全体重を自分の脚で支えなければならないのに対して、水中では浮力の影響を受けるために支えなければならない体重は非常に小さいことである¹⁰⁾。泳ぐ場合には、自分の身体を浮かせ、かつ推進させることが必要であり、このためのエネルギーを自ら生産しなくてはならない。したがってエネルギー生産能力が同じならば、浮くために必要なエネルギーの大小が推進のために用いるエネルギー量を左右することになり、浮くために必要なエネルギーの小さい人の方が、推進により多くのエネルギーを用いることができ、有利であると考えられる⁶⁾。

浮くために必要なエネルギーは、水中体重の大きさに関係する。水中体重は、体重、体脂肪率、及び体内含有気体量特に肺気量、等によって異なり、女子は男子より一般に体脂肪率が高いために¹¹⁾水中体重が小さいことが知られている⁴⁾。したがって女子は男子より浮くために必要なエネル

ギーが少なく済む筈であるから、水泳の場合には相対的に有利な条件にあると考えられる。しかしながら、これまで浮くために必要なエネルギーと推進のために必要なエネルギーを実際の水泳の場合に測定した例は少なく^{1), 4)}、したがって水中体重の差がエネルギー的にみてどれ程水泳能力に影響しているかあまり明らかにされていない。

本報告は Asmussen の用いた方法¹⁾に若干の改良を加えて、浮くために使われる $\dot{V}O_2$ と推進のために使われる $\dot{V}O_2$ を swimming-flume における水泳運動中に測定し、その大きさや男女差を泳速との関連において検討したものである。

方 法

1 被検者

水泳に十分熟練していると思われる大学水泳部員の中から、男女各3名、計6名を選んで被検者とした。被検者の身体特性とクロール泳における自己最高記録は Table 1 に示すとおりであった。

Table 1 Physical characteristics of the subjects and their best records in swimming performance.

sex	age (year)	height (cm)	weight (kg)	W_w (kg)	$\dot{V}O_2$ (ml/min)	100m	400m
male	20.0 ± 0.8	171.2 ± 1.4	68.3 ± 4.9	2.97 ± 0.21	275 ± 8	58''2 $\pm 2''1$	4'23''7 $\pm 6''5$
female	18.7 ± 0.9	161.2 ± 4.0	57.3 ± 3.4	1.98 ± 0.19	223 ± 10	1'03''2 $\pm 2''7$	4'49''2 $\pm 9''9$

W_w : under water weight, $\dot{V}O_2$: resting $\dot{V}O_2$

2 水中体重の測定

プールにおいて、天井からストレンゲージを添付したワイヤーによって吊り下げられた水中プランコに腰かけさせ、最大呼息後に静かに水中に全身を没したとき、ワイヤーに加わった重さを測定した³⁾。同様の測定を5回反復して行い、その最大値を水中体重(W_w)とした。

3 荷重負荷法

水中における体重を人為的に変えるために、次の方法によって正あるいは負の荷重(W)を加えた。正の荷重は、1kgの鉛棒を1個ないし3個、腰に巻いたダイバー用ベルトに固定することによって加えた。鉛に加わる浮力を考慮すると、このときの荷重は1個につき0.9kgである。負の荷重負荷法は Fig. 1 に示すとおりであり、鉛の重量を利用して腰のベルトを引き上げるようにして、

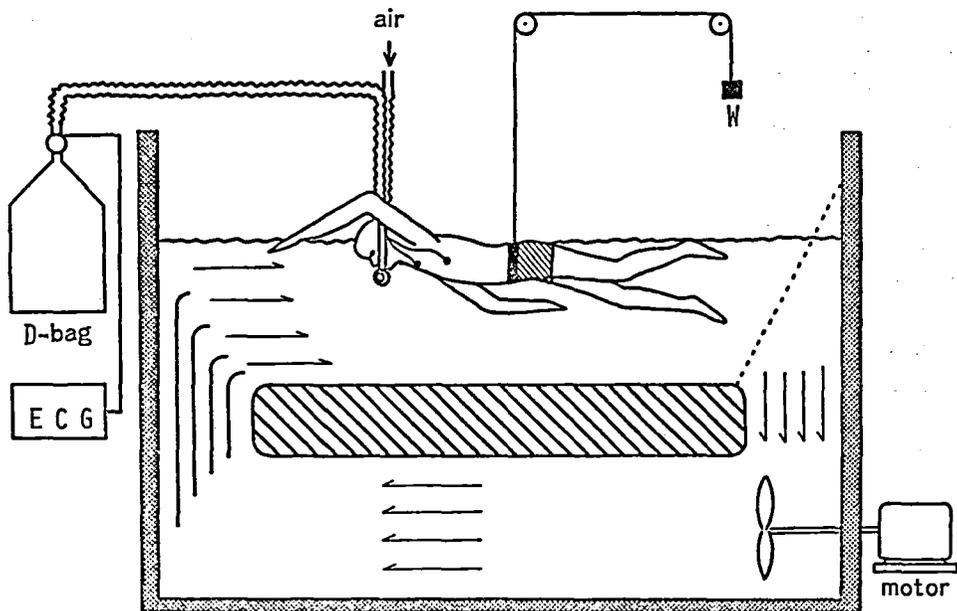


Fig. 1 Schematic drawing of the experimental instrumentation.

—1kgないし—3kgの荷重を加えた。鉛を腰につけることによって生ずる水抵抗を補償するために、鉛をつけない場合には鉛と同形で比重が1のプラスチック製ダミーを鉛の代りに用いた。

4 水泳運動

swimming-flume (回流水槽)²⁾を用いて、クロール泳を行わせた、泳速は、0.6、0.8及び1.0 m/secの3種類とし、各泳速について6分間泳が

せ、運動と運動の間には十分な休息をとらせた。

5 生理学的パラメータの測定

水泳用特製採気弁を通して呼吸させ、各運動の後半の3分間について1分毎の呼気をダグラスバックに採集した。呼気組成の分析は質量分析装置(Perkins-Elmer社MGA-1100)を用いて行い、呼気量は乾式ガスメータで測定した。得られた測定値から酸素摂取量($\dot{V}O_2$)を算出した。

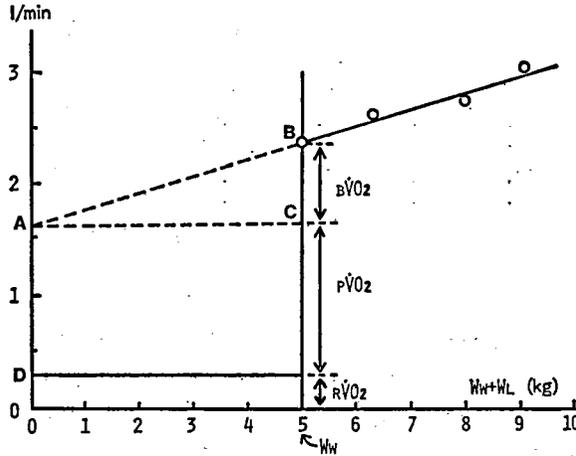


Fig. 2 Schematic illustration of Asmussen's method to estimate $\dot{V}O_2$ for buoyancy ($B\dot{V}O_2$) and $\dot{V}O_2$ for propulsion ($P\dot{V}O_2$).

$R\dot{V}O_2$: resting $\dot{V}O_2$, W_w : underwater body weight, W_l : additional loaded weight

6 浮力 $\dot{V}O_2$ 及び推進 $\dot{V}O_2$ の推定法

Fig. 2 に Asmussen の原法¹⁾を示す。横軸は水中総重量 (水中体重(W_w) と加えた荷重 (W_l) の和) であり、縦軸は水泳中の $\dot{V}O_2$ である。泳速を一定にして、荷重を変えることによって水中総重量を変化させると、 $\dot{V}O_2$ は右上りの直線になる。Asmussen は正の荷重のみを加えて実験を行い、得られた直線を左方に延長することによって負の荷重を加えた場合の代りとした。このようにして水中総重量が0の場合の $\dot{V}O_2$ を推定することができる。水中総重量が0の条件下では浮くために必要なエネルギーは0であると考えら

れるから、このときの消費エネルギーは、推進に必要なエネルギーと安静時代謝の和に等しいことになる。行われた運動が有酸素運動であれば $\dot{V}O_2$ を消費エネルギーと等価であると考えてよい。したがって、水中総重量が0のときの $\dot{V}O_2$ から安静時 $\dot{V}O_2$ を差し引いたものが推進のために用いられた $\dot{V}O_2$ (推進 $\dot{V}O_2$) である (Fig. 2 のAD)。また図のBCはその人の水中体重 (W_w , この例では5 kg) を浮かすために用いられた $\dot{V}O_2$ (浮力 $\dot{V}O_2$) である。

本研究においては、負の荷重も加えて測定を行い、正の荷重を加えた場合と負の荷重を加えた場

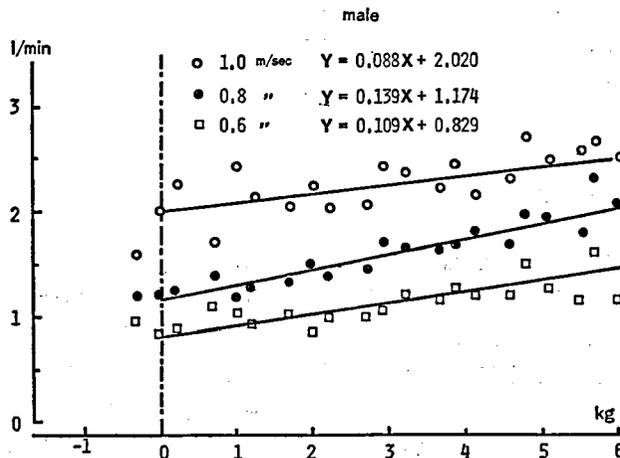


Fig. 3 Relationship between underwater weight (abscissa) and $\dot{V}O_2$ (ordinate) at the given swimming speed in male.

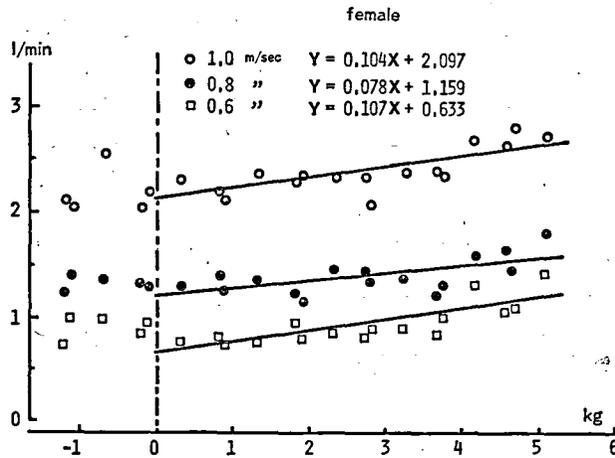


Fig. 4 Relationship between underwater weight (abscissa) and $\dot{V}O_2$ (ordinate) at the given swimming speed in female.

合の $\dot{V}O_2$ から, 推進 $\dot{V}O_2$ と浮力 $\dot{V}O_2$ を求めることにした。

結 果

水中体重と安静時酸素摂取量の男女の測定結果は Table 1 に示した。水中体重は男子に比べて女子の方が明らかに小さかった。Fig. 3 は男子について, 横軸に水中総重量を, 縦軸に各泳速時の $\dot{V}O_2$ を示す。各泳速とも, 水中総重量の増加に伴って $\dot{V}O_2$ が増加した。厳密にみれば水中総重量

の大きい領域では小さい領域に比して勾配がやや急になる傾向を示すが, 全体を一本の直線とみなしても大差はない。

女子でも (Fig. 4) 男子と似た結果であるが, 女子は水中体重が小さいので (平均値: 1.98kg), 負の荷重の大きい場合には水中総重量がマイナスとなり, 図の縦軸より左方に分布し, この場合の $\dot{V}O_2$ は, 水中総重量がプラスの場合の $\dot{V}O_2$ から求めた回帰直線から逸脱する結果となった。したがって回帰式及び回帰直線の作成にはこれらのデ

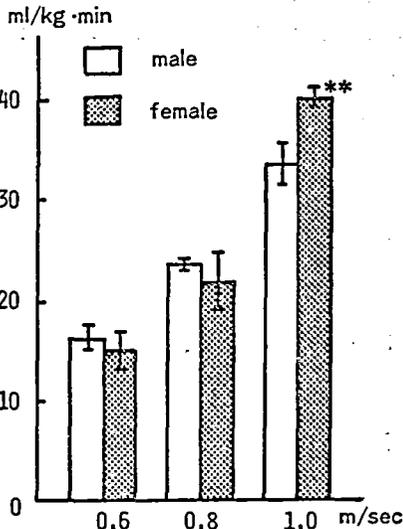


Fig. 5 Comparison of $\dot{V}O_2$ per unit body weight during swimming without additional weight loading between male and female.

** : $p < 0.01$

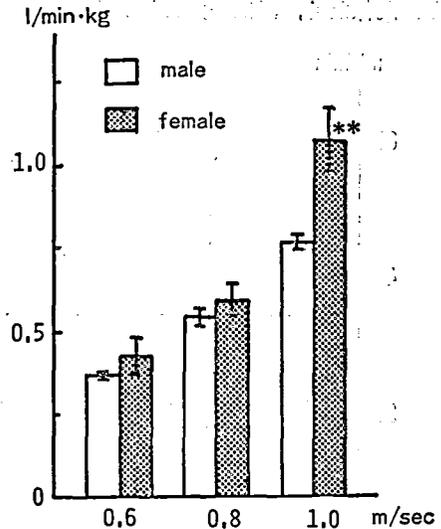


Fig. 6 Comparison of $\dot{V}O_2$ per unit underwater weight during swimming without additional weight loading between male and female.

** : $p < 0.01$

ータを除外することにした。図中に示した式はこのようにして求めた回帰式である。

同一水中総重量に対する $\dot{V}O_2$ は、泳速が、0.6 m/sec の場合、女子の方が男子より全般的に少なかったが、回帰直線の勾配は両者でほぼ等しかった。泳速 0.8m/sec の場合には、水中総重量が0のときには男女間に差がなかった。しかし勾配は男子の方が大であるため、水中総重量が大きくなるにしたがって男子の $\dot{V}O_2$ が大となった。泳速 1.0m/sec の場合には、 $\dot{V}O_2$ は女子の方が全般的に大きかった。

Fig. 5 は無荷重時の各泳速における単位体重当りの $\dot{V}O_2$ である。男女とも泳速の増加に伴って指数関数的に増大した。そして0.6及び0.8m/sec の場合には女子の方がやや小さい傾向があるが、有意差ではなかった。これに対して1.0m/sec の場合には女子の方が有意に大きかった。同じく無荷重の場合について、単位水中体重当りの $\dot{V}O_2$ と泳速との関係を見ると Fig.6 のようになり、0.6—0.8m/sec では女子の方が大きくなるが有意ではなく、1.0m/sec のときには女子の値が男子のそれより著しく大きかった(P<0.01)。

浮力 $\dot{V}O_2$ を泳速との関係でみると Fig.7 のようになり、かなり大きいバラツキはあるが、泳速とは関係なく、ほぼ一定とみなすことができ

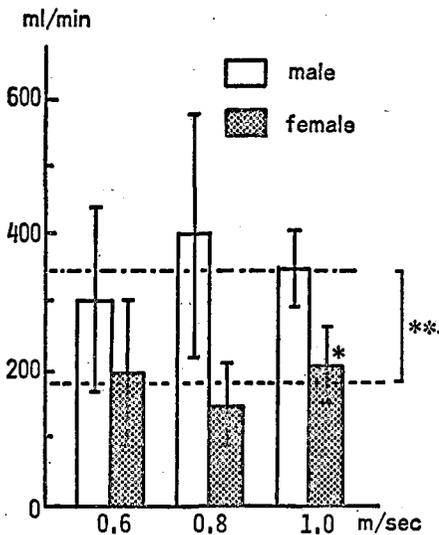


Fig. 7 Comparison of $\dot{V}O_2$ for buoyancy between male and female (absolute values).

* : p<0.05, ** : p<0.01

る。男女を比較すると、男子の方が女子より明らかに大きかった。平均値(図中の破線)は男子が 352 ± 140 ml/minであるのに対して女子では 185 ± 84 ml/minであった(P<0.01)。単位水中体重当りの浮力 $\dot{V}O_2$ は Fig.8 に示すように、男・女

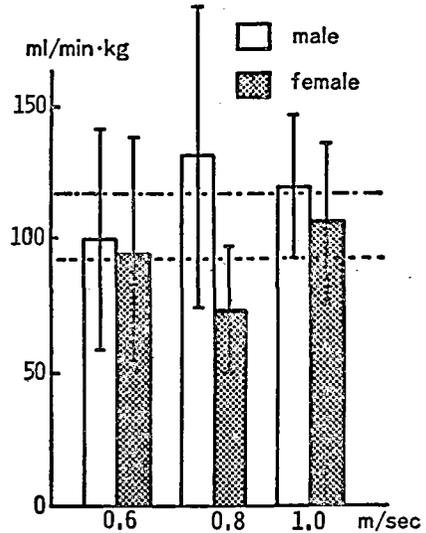


Fig. 8 Comparison of $\dot{V}O_2$ for buoyancy per unit underwater weight between male and female.

の平均値(男子： 117 ± 46 ml/kg/min, 女子： 91 ± 36 ml/kg/min)は互に接近していて両者間に有意差が認められなかった。

次に推進 $\dot{V}O_2$ を単位体重当りでみると Fig.9

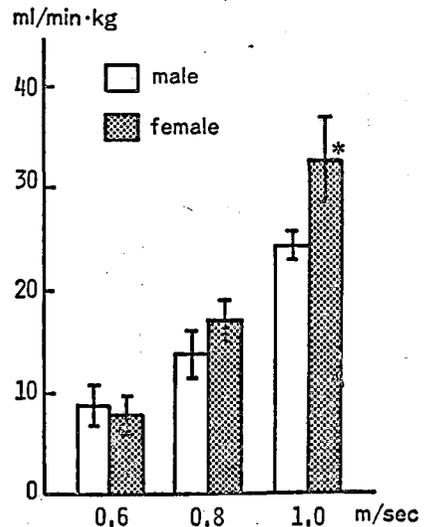


Fig. 9 Comparison of $\dot{V}O_2$ for propulsion per unit body weight between male and female

* : p<0.05

のようになった。泳速の増加に伴って指数関数的に増大する傾向があり、その増加率は男子よりも女子の方が顕著であった。そして低速では男女差が小さいが高速になるにつれて女子の値が男子の値より明らかに大となる傾向を示した。推進 $\dot{V}O_2$ を単位水中体重当りの値でみると (Fig. 10), この男女差はさらに顕著になった。

各泳速における全酸素摂取量, 安静時酸素摂取量, 浮力 $\dot{V}O_2$, 及び推進 $\dot{V}O_2$ を示すと Table 2 のようになった。全酸素摂取量を 100 とした場合の他の成分の割合をカッコ内に示してある。これで見ると浮力 $\dot{V}O_2$ の割合は女子の方が男子より著しく小さく, 例えば泳速が 1.0m/sec の場合には, 男子: 15.2% に対して女子: 9.2% である。

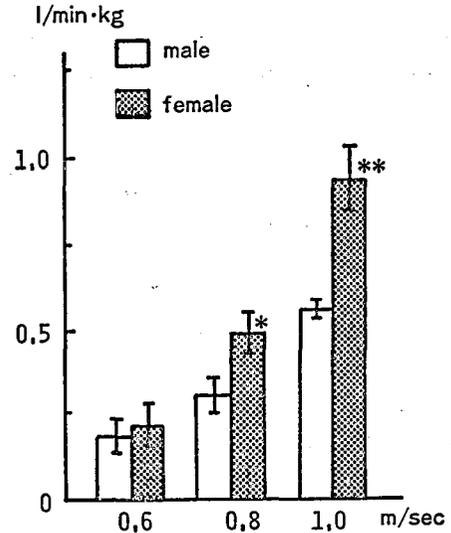


Fig. 10 Comparison of $\dot{V}O_2$ for propulsion per unit underwater weight between male and female. * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$

Table 2 Total $\dot{V}O_2$ ($\tau\dot{V}O_2$), resting $\dot{V}O_2$ ($R\dot{V}O_2$), $\dot{V}O_2$ for buoyancy ($B\dot{V}O_2$), and $\dot{V}O_2$ for propulsion ($P\dot{V}O_2$) in swimming. % of each component for total $\dot{V}O_2$ was shown in parentheses.

speed (m/sec)	$\tau\dot{V}O_2$ (ml/min)		$R\dot{V}O_2$ (ml/min)		$B\dot{V}O_2$ (ml/min)		$P\dot{V}O_2$ (ml/min)	
	male	female	male	female	male	female	male	female
0.6	1157±35 (100)	858±57** (100)	275±8 (23.8)	223±10** (26.0)	306±135 (26.4)	197±108 (23.0)	576±108 (49.8)	438±86 (51.0)
0.8	1589±93 (100)	1341±85* (100)	275±8 (17.3)	223±10** (16.6)	400±181 (25.1)	149±63 (11.1)	914±96 (57.5)	969±65 (72.3)
1.0	2291±141 (100)	2298±95 (100)	275±8 (12.0)	223±10** (9.7)	349±54 (15.2)	211±56* (9.2)	1667±177 (72.8)	1864±146 (81.1)

** : $P < 0.05$, *** : $P < 0.01$

考 察

一定速度で泳ぐ場合の $\dot{V}O_2$ は, 荷重が極端に大きくない限り, 正の荷重を加えると増加し, 負の荷重を加えると減少した。そしてその両者はほぼ同一直線上に分布し, 結局 $\dot{V}O_2$ は水中総重量に比例することが明らかになった。Asmussen¹⁾はこのことを仮定して正の荷重を加えた結果を延長して, 水中総重量が 0 になるときの $\dot{V}O_2$ を外挿法で推定したが, 本研究の結果からみて Asmussen の仮定はほぼ正しかったと考えてよい。ただし厳密に言えば後述するように Asmussen 法には若干の問題がある。

女子は水中体重が小さいから, 負の荷重が大きい場合には水中総重量がマイナスとなり, そのような条件下における $\dot{V}O_2$ は回帰直線から外れる

傾向を示した。これは負の荷重が大き過ぎるために腰が強く上方へ吊り挙げられて, 身体全体がくの字状に屈曲して不自然な姿勢になるため, 泳ぐ効率が低下することによるのであらうと考えられる⁹⁾。

無荷重時の $\dot{V}O_2$ は, 0.6—0.8m/sec の泳速において, 女子の方が男子より小さい傾向があった。これには女子のからだ小さいことに加えて, 水中体重が小さいために浮くのに要するエネルギーが少なく済むことが影響していると考えられる。しかし 1.0m/sec の泳速では女子の $\dot{V}O_2$ が明らかに大きかったので, これには他の原因が関与している筈である。恐らく水泳能力に Table 1 で示したような男女差があって男子の方が優れているので, 1.0m/sec という泳速は男子にとっては比較的楽な運動であったが, 女子にとっては相

対的に強い運動であったことによるのではないかと考えられる。水中体重の差を消去するために、無荷重時の $\dot{V}O_2$ を単位水中体重当りの値にしてみると、有意差ではないが0.6—0.8m/secにおいても女子>男子となり、1.0m/secにおいてはその差がさらに顕著になった。

浮力 $\dot{V}O_2$ はバラツキが比較的大きかったが、流速とは一定の関係はなく、ほぼ一定値を示すことが明らかにされた。その男女差は大きく、男子の平均値 (352±140ml/min) は女子のそれ (186±83ml/min) の2倍近い値であった。これはもちろん水中体重の男女差に由来するものと考えられる。そこで単位水中体重当りの浮力 $\dot{V}O_2$ を求めた結果、男女差が小さくなり近似した値になることが示された (男子: 117±46ml/kg/min, 女子: 91±36ml/kg/min)。本実験において測定した水中体重は、肺気量を残気量水準にし、かつ身体を完全に水没した状態で測られたものである。これに対して水泳時には、機能的残気量水準であるから肺気量は残気量よりも多く、かつ呼吸に伴って変動している筈である。また水泳時には身体の一部は水面上に露出している。肺気量の増大は浮力を増大させ水中体重を減少させるように作用するのに対して、身体の一部は露出は逆に浮力を減少させる。これらの両要因の影響は相殺的であり、結果としてはそれほど大きいものでない可能性がある。上記の単位水中体重当りの浮力 $\dot{V}O_2$ の男女差は、水中体重測定時と実際の水泳時のこのような条件の差に関連するものかもしれない。

Döbeln らの報告⁴⁾では、単位水中体重当りの浮力 $\dot{V}O_2$ は 330ml/kg/min であり、今回の結果よりかなり大きい。これは今回は実際の水泳と同じクロール泳における測定であったのに対して、Döbeln らの場合は立ち泳ぎの際の測定であったから、泳法の効率の差によるのではないかと考えられる。Asmussen の報告¹⁾から浮力 $\dot{V}O_2$ を推定してみると、160ml/kg/minとなり、Döbeln らの結果より本報告の結果に近いが、それでもまだやや大きい。この差の一因は、本実験では正と負の荷重を用いたのに対して、Asmussen は正の荷重のみを用いたという条件の差によるのであろう。つまり、Fig. 3, 4 で認めたように水中

総重量の大きい領域 (正の荷重を加えたとき) と小さい領域 (負の荷重を加えたとき) とで、水中総重量の増加に対する $\dot{V}O_2$ の増加度に若干の差があって、水中総重量の大きい領域では $\dot{V}O_2$ の増加度がやや大きかった。したがって Asmussen のように水中総重量の大きい領域のみのデータから回帰直線を求めると勾配がやや大となり、したがって浮力 $\dot{V}O_2$ も大きく出る可能性がある。このほかにも両実験における被検者の水泳技能の差も考慮する必要があるが、Asmussen の報告にはその情報がないので比較できない。

推進 $\dot{V}O_2$ は本実験でも Holmér⁵⁾や Karpovich⁸⁾の報告と同じく、泳速の増大に伴って指数関数的に増大したが、これは水抵抗が速度の2乗に比例して増大することから考えても当然の結果である。体重当りの推進 $\dot{V}O_2$ は、0.6m/sec では女子の方が小さい傾向を示したが、0.8m/sec では女子の方がやや大きくなり、1.0m/sec では女子の方が著しく大きかった。高速なほど女子の推進 $\dot{V}O_2$ が急速に増大するのは、女子の水泳能力が男子より低いために、同一泳速でも女子の方に相対的に強い負荷となることによるのであろう。単位水中体重当りの推進 $\dot{V}O_2$ は女子の方が常に大きい傾向にあった。これは女子は体脂肪が多く、したがって水中体重が小さいことによる結果であって、必ずしも女子の推進の効率が劣ることを意味するものではないと考えられる。

全酸素摂取量に対する浮力 $\dot{V}O_2$ の割合は、男子に比して女子の方が小さかった。このことは、女子は浮力 $\dot{V}O_2$ が少なく済むために、全酸素摂取量のうちより多くの酸素を推進のために利用しうることを意味する。したがって女子に体脂肪が多いということは、このような見地からみて男子より水泳に有利な状態にあるといえる。一般に水泳選手は他の競技種目の選手より体脂肪が多い¹²⁾、これは体脂肪が水泳にとって有利であることに関連しているものと考えられよう。全酸素摂取量に対する浮力 $\dot{V}O_2$ の割合は、泳速の小さいときほど大きい。したがって短距離泳よりも泳速の小さい長距離泳において、体脂肪の多寡の影響がより顕著に現れると考えられる。これまでで得られた水泳の世界記録について、男子の記録に対

する女子の記録の比率(スピード比)をみると、距離の大きいほど女子の記録が男子のそれに接近

している(Table 3)7)。

Table 3 Comparison of the world records in running and swimming between male and female.
running world records (Jan, 1981) swimming world records (Aug, 1980)

distance	male	female	male/female	distance	male	female	male/female
400m	43"86	48"60	90.24	100m	49"44	54"79	90.23
800m	1'42"33	1'54"94	90.29	200m	1'49"16	1'58"23	92.33
1500m	3'32"03	3'56"00	89.43	400m	3'50"49	4'06"28	93.59
3000m	7'32"10	8'27"12	89.15	800m	7'56"49	8'24"62	94.44
5000m	13'08"40	15'08"80	86.75	1500m	14'58"27	16'04"49	93.13

一方陸上のランニングの世界記録を同様に比較してみると、長距離ほど女子の記録が相対的に低くなっている。ランニングと水泳の世界記録にみられるこのような差異の一因は、体脂肪はランニングにおいては余分の荷物であり不利な条件であるのに対して、水泳においては上記のように逆に有利な条件になることによるものと解釈される。

最後に考慮しなければならない問題は、今回は有酸素エネルギーのみを扱ってきたが、実際の水泳競技においては無酸素エネルギーも使われることである。特に泳速の大きい場合には無酸素エネルギーの関与率が高く、今回の測定においても、1.0m/secの泳速は特に女子にとってはかなり強い負荷であるから、無酸素エネルギーもかなり動員された可能性がある。したがってこの点に関してはさらに検討すべき問題が残っている。しかしながら、その他の負荷条件の場合にはいずれも中等度以下の運動強度であり、エネルギーは主として有酸素的に賄われたと考えられる。したがって少なくとも浮くためのエネルギーの算出においては、今回の結果はほぼ妥当なものであったと考えられる。

総 括

体脂肪は人体の水中体重を小さくするから、水泳には体脂肪の多いことが有利な条件となる可能性がある。本研究は水泳の際に浮くために使われる $\dot{V}O_2$ と推進のために使われる $\dot{V}O_2$ を測定し、水中体重の大小が実際の水泳にどれほどの影響を与えているかという点について検討したものである。

男女各3名、計6名の泳者に、泳速が0.6, 0.8

及び1.0m/secのクロール泳を行わせ、 $\dot{V}O_2$ を測定した。その際腰に錘をつけて水中体重を増加させ、あるいは滑車を介した錘で腰を引き上げるようにして水中体重を減少させ、各水中体重において上記の測定を行った。 $\dot{V}O_2$ 値を水中体重に対してプロットすることによって得られる回帰直線の勾配から浮くための $\dot{V}O_2$ を、またY切片から安静時 $\dot{V}O_2$ を差し引くことによって推進のための $\dot{V}O_2$ を求めた。

1 浮くために必要な $\dot{V}O_2$ は泳速とは無関係であり、その平均値は男子の方(352±140ml/min)が女子のそれ(186±83ml/min)より有意に大であった。この差は水中体重に大きく依存していて、単位水中体重当りに換算すると男女の値は接近した(男子:117±46ml/min, 女子:91±36ml/min)。

2 推進のために用いられる $\dot{V}O_2$ は、泳速の増加に伴って指数関数的に増大した。その増加率は男子よりも女子の方が大であったが、それは女子の水泳能力が男子のそれより劣ることに関連していると考えられる。

3 総 $\dot{V}O_2$ に対する推進のための $\dot{V}O_2$ の割合は、男子よりも女子において大きく、この点女子の水中体重の小さいことは水泳において有利な条件になっている。男子の世界記録に対する女子のその比率は、競泳の場合には競走の場合より大きい、この差は女子の体脂肪の多いことが水泳では有利に作用していることに由来するものと考えられる。

引用・参考文献

- 1) Asmussen, E. and Hohu—Christensen, E., "Swimming," in Asmussen, E. and Hohu—Christensen, E.

- (Eds.), *Idrætsteori*, Akademisk Forlag: Copenhagen, 1977. pp. 262-75.
- 2) Åstrand, P.-O. and Englesson, S., "A swimming flume," *J. Appl. Physiol.*, 33 : 514, 1972.
 - 3) Döbeln, W., "Human standard and maximal metabolic rate in relation to fat free body mass," *Acta. Physiol. Scand.*, Suppl, 126, 1956.
 - 4) Döbeln, W. and Holmér, I., "Body composition, sinking force, and oxygen uptake of treading water," *J. Appl. Physiol.*, 37 : 55-59, 1974.
 - 5) Holmér, I., "Oxygen uptake during swimming in man," *J. Appl. Physiol.*, 32 : 502-09, 1972.
 - 6) Holmér, I., "Physiology of swimming man," *Exercise and Sport Sciences Review*, 7 : 87-123, 1979.
 - 7) 石井 宏「1980年世界ランキング」*Swimming Magazine*, 4 : 23-25, 1980.
 - 8) Karpovich, P.V. and Millman, N., "Energy expenditure in swimming," *Am J. Physiol.*, 142 : 140-44, 1944.
 - 9) 小林一敏「身体運動とバランス—重心と浮心」*体育の科学*, 26 : 657-61, 1976.
 - 10) Lane, E. and Mitchum, J.C., "Bouyancy as predicted by certain anthropometric measurements", *Res. Quart.*, 35 : 21-28, 1963.
 - 11) Pařizková, J., "Lean body mass and depot fat during ontogenesis in humans," in Pařizková, J. (Ed.), *Body fat and physical fitness*, Martinus Nijhoff B.V./ Medical Division : Prague, 1977. pp. 24-51.
 - 12) Pařizková, J., "Body composition and body build of champion athletes in relation to fitness and performance," in Pařizková, J. (Ed.), *Body fat and physical fitness*, Martinus Nijhoff B.V./ Medical Division : Prague, 1977. pp. 197-208.