

最大酸素負債量，最大酸素摂取量および酸素需要量 と水泳記録との関係

黒 川 隆 志 (広島大学教育学部教科教育学科体育教育学)

富 樫 泰 一 (筑波大学体育研究科)

野 村 武 男 (筑波大学体育科学系)

池 上 晴 夫 (筑波大学体育科学系)

(昭和59年2月3日 受付)

Relationship between swimming performance and maximal oxygen debt, maximal oxygen uptake, and oxygen requirement

Takashi Kurokawa¹

Taiji Togashi²

Takeo Nomura³

Haruo Ikegami³

Abstract

The purpose of this study was to discuss the effect of swimming efficiency (e), buoyancy, and participation of aerobic and anaerobic metabolism on the relationship between swimming performance and energy metabolic capacity.

The maximal oxygen debt ($O_2 \text{ debt}_{\max}$) and maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) were measured after and during swimming in a swimming flume, as a parameter of anaerobic and aerobic capacity, respectively. Oxygen requirement (\dot{E}) and swimming efficiency (e) were calculated from $O_2 \text{ debt}_{\max}$, $\dot{V}O_{2\max}$, and swimming record. The subjects consisted of 44 freestyle swimmers with different sex, age and swimming record.

The correlation between $O_2 \text{ debt}_{\max}$ and 100m swimming speed was $r=0.551$ ($p<0.01$) for the group of whole subjects, while the coefficients for the three groups classified in terms of e_1 (e in 100m swimming) were $r=0.739$ ($p<0.01$) for the low e_1 group ($N=14$, $e_1 \leq 3.33$), $r=0.912$ ($p<0.01$) for the intermediate e_1 group ($N=17$, $3.33 < e_1 \leq 4.19$), and $r=0.645$ ($p<0.05$) for the high e_1 group ($N=13$, $4.19 < e_1$).

1 Hiroshima University, Faculty of Education, Department of Health and Physical Education, 2-17 Midori-mach, Fukuyama-shi, Hiroshima (720)

2 University of Tsukuba, Master's Program in Health and Physical Education, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki (305)

3 University of Tsukuba, Institute of Health and Sport Science, Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki (305)

The correlation coefficient between $\dot{V}O_{2max}$ and 400m swimming speed was $r=0.554$ ($p<0.01$) for the whole group including all the subjects, while these coefficients for the sub-groups formed for e_4 (e in 400m swimming) were $r=0.730$ ($p<0.01$) for the low e_4 group ($N=14$, $e_4 \leq 5.24$), $r=0.927$ ($p<0.01$) for the intermediate e_4 group ($N=17$, $5.24 < e_4 \leq 6.56$) and $r=0.486$ for the high e_4 group ($N=13$, $6.56 < e_4$). Thus, correlations between swimming performance and metabolic capacity became higher for the group of subjects with homogeneous e than for the group of whole subjects with greater variability in their e. This result suggests that the relationship between swimming performance and metabolic capacity is markedly effected by the factor of e.

Correlations between swimming performance and metabolic capacity were higher in absolute value than in relative value (/kg). This is probably because body weight is supported by buoyancy in swimming.

Swimming performances in 100m and 400m races correlated higher with \dot{E} than with O_2 debt_{max} or $\dot{V}O_{2max}$. This suggests that contributions of aerobic metabolism in sprint race, and of anaerobic metabolism in middle and long distance races should not be underestimated.

(Takashi Kurokawa, Taiji Togashi, Takeo Nomura and Haruo Ikegami, "Relationship between swimming performance and maximal oxygen debt, maximal oxygen uptake, and oxygen requirement", *Jap. J. Phys. Educ.*, 29-4 : 295-305, March, 1985)

目 的

短時間の激運動後に出現する最大酸素負荷量(以下、 O_2 debt_{max}と略す)は人の無酸素的作業能力の指標として、また運動中に摂取しうる最大酸素摂取量(以下、 $\dot{V}O_{2max}$ と略す)は人の有酸素的作業能力の指標として提唱されてきた(Astrand and Rodahl⁵⁾, Hill and Lupton¹³⁾および Margaria²⁸⁾。そして主としてランナーを対象にして、これらのエネルギー代謝能力(以下、代謝能力と略す)と走記録との関係が検討されてきた(青木・清水²⁾, Costill⁷⁾, Ishiko¹⁸⁾, 鎌田¹⁹⁾, Katch and Henry²¹⁾, 黒田ら²⁴⁾, Tanaka and Matsuura³⁸⁾および山崎・青木⁴¹⁾。

水泳選手を対象にしたものにはこれまでに3編の報告がある。そのうち、Van Huss and Cureton⁴⁰⁾の報告によると、牽引水泳で測定した O_2 debt_{max}と100ヤード記録との相関は $r=0.340$, $\dot{V}O_{2max}$ と400ヤード記録との相関は $r=0.541$ であり、相関はあまり密接でなかった。一方、Astrand, et al.³⁾は水泳記録から得点化された水泳能力と自由水泳による $\dot{V}O_{2max}$ との間にかなり高い相関($r=0.745$)を認めた。宮下³¹⁾も100m泳による O_2

debt_{max}およびトレッドミル走による $\dot{V}O_{2max}$ と水泳記録との間に高い相関を報告した(著者らの計算によるとそれぞれ $r=0.865$ と $r=0.892$)。以上のように、これらの報告の相関係数は一定していないが、その原因については明らかにされていない。

水泳記録と代謝能力との関係に影響するものとして次の要因が考えられる。その1つは水泳効率(以下、 e と略す)である。熟練度の異なる三名の泳者を種々の速度で泳がせた Holmér¹⁴⁾の報告によれば、同一の水泳速度でみると熟練度の高い者ほどより低い酸素摂取量で泳いでいる。このことは水泳記録と代謝能力との関係にも e が影響することを示唆するが、 e が両者の間にどのように介在するかを検討した報告はまだみられない。

第2の要因として、無酸素的代謝と有酸素的代謝の関与が考えられる。Houston¹⁶⁾によれば、競泳時の毎分酸素需要量(以下 \dot{E} と略す)に占める有酸素的代謝と無酸素的代謝の割合は100mで2:8, 400mで6:4である。したがって短距離泳における有酸素的代謝の関与、および中・長距離泳における無酸素的代謝の関与を無視できないと考えられる。しかしながら、これまで $\dot{V}O_{2max}$ あるい

は $O_2 \text{ debt}_{\max}$ を単独に用いて水泳記録との関係が検討されていて, 両者を合わせて E とした場合に水泳記録との関係がどの程度密接になるかは明らかでない。

第3の要因として浮力の作用が考えられる。陸上運動と異なり, 水泳では浮力の作用により重力に抗して体重を支える必要性は少ない。したがって, 水泳では代謝能力の絶対値の大きい方が優利であると推測されるが, 無酸素的代謝と有酸素的代謝を包括して, その絶対値と体重当りの値のいづれが水泳記録とより密接に関係するかは検討されていない。

以上のことから, 代謝能力と水泳記録との関係に及ぼす e の影響, 浮力の影響, および無酸素的代謝と有酸素的代謝の関与の影響について明らかにすることを本研究の目的とした。

方 法

1. 被検者

クロールを専門とする水泳選手44名を被検者とした。性・年齢・水泳記録に応じて彼らを8群に分類し, その年齢, 身長, 体重, 安静代謝量, お

よびベスト記録の平均値を Table 1 に示した。1) 少年 I 群: 年齢12.0—14.9歳の男子一流水泳選手11名である。2) 少年 II 群: 年齢15.0—18.0歳の男子一流水泳選手4名であり, 水泳記録は少年 I 群より優れている。3) 水球群: 水泳記録の劣る群として, 水球経験年数2—3年の男子高校生4名と, ほぼ同様の水泳記録と経験年数を有する大学生1名をこれに加えた。4) 大学群: 大学選手としては中位から上位にランクされ, 水泳経験年数が7—11年の5名の男子選手である。5) 男子エリート群: モスクワオリンピック水泳候補および準候補となった男子選手9名からなる。6) 少女 I 群: 年齢12.0—14.9歳の女子一流水泳選手5名である。7) 少女 II 群: 年齢15.0—18.0歳の女子一流水泳選手2名であり, 水泳記録は少女 I 群よりわずかに優れている。8) 女子エリート群: モスクワオリンピック水泳候補となった女子選手3名からなる。

2. 実験手順

運動負荷装置として垂直循環型回流水槽(流速0—3m/secまで可変, 精度 $\pm 0.01\text{m/sec}$)を用いて, 2週間以内にそれぞれ日を変えて $O_2 \text{ debt}_{\max}$

Table 1. Some physiological data and best records in freestyle swimming for the subjects.

		Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	$R\dot{V}O_2 \uparrow$ (ml/min)	Best record(min: sec)		
						100-m	400-m	
Male								
Boy I	(n=11)	\bar{x}	13.4**	160.0**	48.3**	247**	1: 03.5**	4: 47.5**
		σ	0.64	7.92	8.17	34.0	2.8	10.2
Boy II	(n=4)	\bar{x}	16.4**	171.3	61.5	261	58.6**	4: 42.0**
		σ	0.56	6.88	8.35	29.0	0.8	7.1
Unskilled	(n=5)	\bar{x}	17.6*	167.6**	63.6	267*	1: 07.0**	5: 30.8**
		σ	1.27	4.10	9.48	18.1	4.5	12.7
Trained	(n=5)	\bar{x}	20.1	170.1*	66.3	264*	1: 01.2**	4: 35.8*
		σ	0.37	3.50	2.79	23.0	1.6	14.7
Elite	(n=9)	\bar{x}	20.4	176.0	69.0	287	56.3	4: 12.2
		σ	1.91	3.83	3.17	12.2	1.0	3.6
Female								
Girl I	(n=5)	\bar{x}	14.1**	155.7**	50.2**	234**	1: 06.6**	4: 52.4**
		σ	0.92	1.68	4.52	9.3	1.8	13.8
Girl II	(n=2)	\bar{x}	15.5**	162.1**	54.0**	233**	1: 04.8**	4: 48.0**
		σ	0.30	1.95	0.65	8.2	1.9	8.0
Elite	(n=3)	\bar{x}	15.4**	161.0**	55.4**	237**	1: 00.7**	4: 34.7**
		σ	2.36	3.44	1.65	21.0	1.1	5.2

$\uparrow R\dot{V}O_2$: resting $\dot{V}O_2$

Significant differences from male elite swimmers(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$).

と $\dot{V}O_{2max}$ を測定した。実験時の水温は26—28℃、室温は18—22℃であった。

1) O_2 $debt_{max}$ の測定方法 被検者を回流水槽泳に慣れさせる目的も含めて、1分でオールアウトに達する速度を決定するための予備測定を実験の前日に実施した。 O_2 $debt_{max}$ の測定に先立ち、ウォーミングアップを2回実施した。1回目では50% $\dot{V}O_{2max}$ の運動強度で5分間泳がせ、2回目では速度を徐々に増していき、運動時間(1分30秒)の中間点で O_2 $debt_{max}$ 測定時の速度に達した後、速度を徐々に低下させた。 O_2 $debt_{max}$ の測定に際しては、予備測定で求めた所定の速度の85%に流水速度をあらかじめ上げておき、スタートの合図によって運動を開始させた。そして、10秒以内に所定の速度まで加速し、以後その速度を維持させた。被検者が疲労して所定の位置から2m後退した状態をオールアウトとして運動を停止させ、約30秒間水中で休息させた後被検者を陸に上げ、椅座位で安静にさせた。

運動終了直後の採気漏れを防ぐために、運動終了と同時に被検者に止息させ、ただちにマスクを装着して呼吸を再開させた。そして運動終了直後から1分目、3分目、6分目、10分目、20分目、および30分目にダグラスバッグのcockを順次閉じ、回復期の呼吸を30分間採集した。回復時間を30分間としたのは、この間の酸素負債量が競技記録と最も密接に関係することによる(黒田ら²⁴⁾)。換気量は乾式ガスメーターで測定し、 O_2 と CO_2 の分析には Perkin-Elmer 社製の質量分析計を用いた。

O_2 $debt_{max}$ は、回復期の総酸素摂取量から、回復期の安静時総酸素摂取量を差し引くことによって求めた。本研究では、安静時酸素摂取量を次のような方法で算出した。すなわち、高比良の式から体表面積を求め、これに単位体表面積当りの酸素摂取量を乗じて基礎代謝量を算出し、さらにこれを1.2倍した(黒田ら²⁵⁾)。

2) $\dot{V}O_{2max}$ の測定方法 約50% $\dot{V}O_{2max}$ と約75% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する最大下負荷でそれぞれ5分間ウォーミングアップを実施した後、漸増負荷法で $\dot{V}O_{2max}$ を測定した。すなわち、各人の400mクロー

ルの最高速度を基準にして、4—5分目にこの速度に到達するようにプロトコルを設定し、それまでは毎分0.1m/sec ずつ速度を増し、それ以後は毎分0.05m/sec ずつ速度を増してオールアウトに至らせた。

水泳時の呼吸をダグラスバッグに採集するために、頭部にベルトで固定されたシュノーケル型の採気装置を通して呼吸させ、運動開始2分目から運動終了まで30秒ないし1分毎に連続採気した。換気量と呼吸ガス濃度の分析には O_2 $debt_{max}$ の測定と同一器具を用いた。 $\dot{V}O_{2max}$ の決定に際しては $\dot{V}O_2$ のレベル・オフを確認した。

3. \dot{E} および e の算出方法

宮下²²⁾は水泳技能を評価するために、 \dot{E} を水泳速度へ変換する係数として e をとらえる式を考案した。本研究ではその式を一部改変した次式を用いて e を算出した。

$$aV^{b+1} = \frac{e}{100} \left(\frac{EA}{60} + \frac{VEB}{L} - \frac{EC}{60} \right) \times 5 \times 427$$

V: 水泳速度 (m/sec), $a = 2.51$, $b = 1.92$

L: 水泳距離 (m)

EA: 有酸素的代謝量 (l/min) = $\dot{V}O_{2max} \times f(t) \times 100^{-1}$

$$f(t) = 87.74 + 20.65 \log t - 16.19 (\log t)^2$$

EB: 無酸素的代謝量 (l) = O_2 $debt_{max} \times g(t) \times 100^{-1}$

$$g(t) = 97.62 - 4.344t$$

EC: 浮くための代謝量 (l/min) = $0.352 +$ 安静時 $\dot{V}O_2$ [男子], $0.186 +$ 安静時 $\dot{V}O_2$ [女子]

e : 水泳効率 (%)

ここで、 a と b は宮下³⁰⁾が人体を曳航して実験的に求めた定数である。EAとして原法では $\dot{V}O_{2max}$ を用いているが、本研究ではこれに運動時の酸素摂取水準 ($f(t)$) を乗じた。 $f(t)$ は運動時間の関数として、Klissouras and Sinning²²⁾により実験的に測定されたものである。EBとして原法では O_2 $debt_{max}$ を用いているが、本研究ではこれに酸素負債水準 ($g(t)$) を乗じた。 $g(t)$ は運動時間の関数として、黒田ら²³⁾の資料から著者らが算出したものである。ECとして原法では Holmér¹⁴⁾

が立ち泳ぎで測定した1.2l/minが用いられているが, 本研究では池上ら¹⁷⁾が加重法で実験的に測定した浮くためのみ必要な $\dot{V}O_2$ (男子で0.352l/min, 女子で0.186l/min)に各被検者の安静時 $\dot{V}O_2$ を加えた。なお, 酸素1lの燃焼値は5kcal, 1kcalは427kgmとした。

水泳時の \dot{E} (l/min)は $EA+EB \times t^{-1}$ として算出した。

結 果

1. 各群の O_2 debt_{max}, $\dot{V}O_{2max}$ および \dot{E}

O_2 debt_{max}, $\dot{V}O_{2max}$, 100mと400mの \dot{E} , およびeについて, 各群の平均値と標準偏差をTable 2に示した。

O_2 debt_{max}は性・年齢・水泳記録に応じてその値が異なり, 大学群(8.67l)と男子エリート群(8.05l)が各群のなかで大きい値を示した。次いで大きいのは少年II群の6.99lであった。少年I群と水球群の O_2 debt_{max}は男子エリート群の値より有意に低く, それぞれその58% (p<0.01)と86% (p<

0.05)にすぎなかった。女子の各群の O_2 debt_{max}も男子エリート群の値より有意に低く, 少女I群で4.59l, 少女II群で5.26l, 女子エリート群で5.82lであった。 O_2 debt_{max}を体重当りの値で示すと, 絶対値の場合に比べて, 各群の値が接近した。そして少年II群, 水球群, 大学群および男子エリート群の4群の間には有意差がなく, それらの各群の値は111-131ml/kgの間にあった。しかし, 少年I群と女子の各群は100ml/kg前後の値を示し, 少年I群と少女I群では男子エリート群より有意に低かった。

$\dot{V}O_{2max}$ の絶対値では, 男子エリート群(4.04l/min)が少年II群(3.70l/min)以外の6群に対して有意に高い値を示した。少年I群, 水球群および大学群はそれぞれ男子エリート群の70%, 77%, 90%に相当する値を示した。女子の各群の値は男子エリート群の約60%に相当する2.5l/min前後であった。 $\dot{V}O_{2max}$ を体重当りの値で示すと, 絶対値の場合に比べて各群の値が接近し, 少年I群, 少年II群および男子エリート群の3群の値

Table 2. Maximal oxygen debt, maximal oxygen uptake, and oxygen requirement and swimming efficiency in 100-m and 400-m swimming for each group.

		O_2 debt _{max}		$\dot{V}O_{2max}$		O ₂ requirement				Efficiency	
						100-m		400-m			
		(l)	(ml/Kg)	(l/min)	(ml/kg/min)	(l/min)	(ml/kg/min)	(l/min)	(ml/kg/min)	(%)	(%)
Male											
Boy I	\bar{x}	4.68**	96.5*	2.83**	59.1	6.65**	137**	3.42**	71.2	4.61*	6.80*
	σ	1.35	20.2	0.43	6.6	1.61	21	0.59	7.8	0.88	1.14
Boy II	\bar{x}	6.99	127.9	3.70	60.3	10.74	175	4.77	77.8	3.47	4.95
	σ	1.44	27.8	0.50	0.8	1.98	25	0.59	3.7	0.67	1.23
Unskilled	\bar{x}	6.93*	111.3	3.11**	50.6**	8.40**	134**	3.86**	61.2**	2.75**	3.88**
	σ	0.45	15.1	0.37	4.3	0.72	13	0.40	4.0	0.24	0.50
Trained	\bar{x}	8.67	131.1	3.63*	54.8	11.10	168	4.89	74.0	2.85**	4.96**
	σ	0.86	14.0	0.38	5.3	0.85	14	0.49	7.4	0.37	0.43
Elite	\bar{x}	8.05	118.6	4.04	58.2	11.52	164	5.32	75.9	3.53	5.82
	σ	0.89	11.1	0.18	3.7	0.87	9	0.24	3.6	0.25	0.27
Female											
Girl I	\bar{x}	4.59**	92.2**	2.54**	50.4**	6.10**	122**	3.12**	62.4**	4.10**	6.66
	σ	0.39	10.9	0.33	3.1	0.58	9	0.35	2.9	0.25	0.84
Girl II	\bar{x}	5.26**	97.2	2.43**	45.0**	6.74**	125**	3.14**	58.0**	4.03*	6.81**
	σ	0.84	14.5	0.71	2.0	0.80	14	0.10	1.0	0.18	0.34
Elite	\bar{x}	5.82**	103.6	2.51**	45.3**	7.59**	137*	3.36**	60.7**	4.25**	7.28**
	σ	0.92	21.6	0.29	5.0	0.77	18	0.21	4.7	0.28	0.74

Significant differences from male elite swimmers(*p<0.05, **p<0.01).

(58.2—60.3ml/kg/min)はほぼ等しくなった。水球群(50.7ml/kg/min)と女子の各群(46—50ml/kg/min)は体重当りでみても $\dot{V}O_{2max}$ が低かった。大学群(54.8ml/kg/min)は水球群と男子エリート群のほぼ中間にあった。

100mのEでは男子エリート群(11.52l/min)が最高値を示し、大学群はその96%、少年II群は93%、水球群は73% ($p < 0.01$)、少年I群は58% ($p < 0.01$)であった。女子の中では、女子エリート群の値(7.59l/min)が比較的大きく、これは男子エリート群の66% ($p < 0.01$)に相当した。少女I群と少女II群の値はそれぞれ男子エリート群の58% ($p < 0.01$)と59% ($p < 0.01$)であった。体重当りの値をみると、少年II群、大学群および男子エリート群の3群はほぼ等しくなった(164—175ml/kg/min)。少年I群、水球群および女子エリート群は男子エリート群の82—84% ($p < 0.05-0.01$)に、また少女I群と少女II群はその74—76% ($p < 0.01$)に相当する値を示した。

400mのEでも男子エリート群(5.32l/min)が最高値を示し、大学群はその92%、少年II群は90%、水球群は73% ($p < 0.01$)、少年I群は64% ($p < 0.01$)であった。女子の各群の値は男子エリート群の59—63% ($p < 0.01$)に相当した。体重当りの値でみると、少年I群、少年II群、大学群および男子エリート群の4群の値(71.2—77.8ml/kg/min)はほぼ等しくなった。水球群、少女I群、少女II群および女子エリート群の値は男子エリート群の76—82% ($p < 0.01$)であった。

2. 水泳記録と代謝能力との関係

100mの水泳速度と O_2 debt_{max}との関係を詳細に検討するために両者の相関図を作成した(Fig. 1)。男子エリート群は O_2 debt_{max}と水泳速度がともに高く、図の右上方に位置した。女子エリート群は O_2 debt_{max}が中程度で、水泳速度はかなり高い位置にあった。少年II群はこれらの2群のほぼ中間にあった。そして、これらの3群の延長線上で O_2 debt_{max}の低い所に少年I群、少女I群および少女II群が位置した。水球群はこれらの群からかなり離れた位置、すなわち O_2 debt_{max}が中程度で水泳速度の低い位置にあった。大学群の5名中

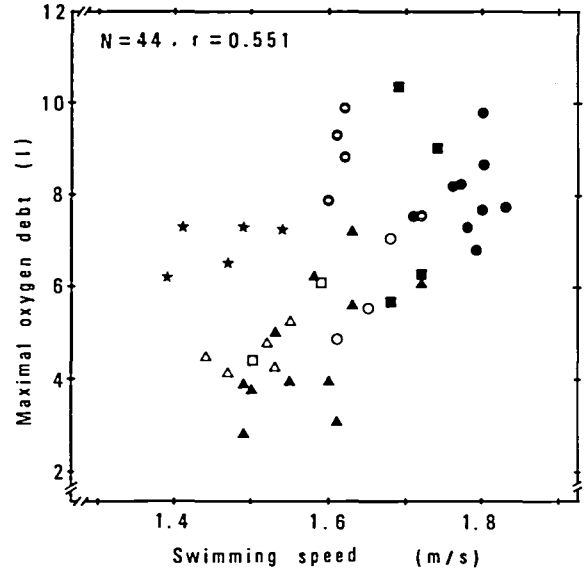


Fig. 1 Relationship between maximal oxygen debt after flume swimming and swimming speed of the best performance in 100-m race for freestyle swimmers. Boy I ▲; Boy II ■; Unskilled ★; Trained ◎; Male elite ●; Girl I △; Girl II □; Female elite ○.

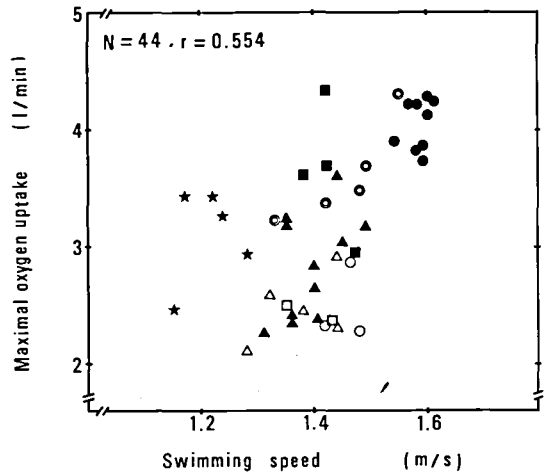


Fig. 2 Relationship between maximal oxygen uptake during flume swimming and swimming speed of the best performance in 400-m race for freestyle swimmers. For symbols, see fig. 1.

4名は、男子エリート群や少年II群に比べて O_2 debt_{max}ではほぼ等しいが、水泳速度ではかなり低い位置にあった。

400mの水泳速度と $\dot{V}O_{2max}$ との関係を示したのがFig. 2である。大学群と少年II群の位置が多少入れ替わっていることを除けば、この場合にも、100mの水泳速度と $O_2\text{ debt}_{max}$ との関係に類似した傾向が認められた。

以上のように、代謝能力と水泳速度との関係において各群は特異な位置を占めていた。そして、少年I群、男子エリート群および女子の各群を含めてA群とし、水球群、大学群および少女II群を含めてB群とすると、A群の測定値はB群の測定値に比べて右に偏位していた。このような右方偏位は、同一の代謝能力でもより速く泳げることを示すことから、 e の高いことを示唆する。そこで各群の e を表2でみると、100mの場合には、少年II群と男子エリート群(3.47—3.53%)および少年I群と女子の各群(4.03—4.61%)は水球群と大学群(2.75—2.85%)より高い値を示していた。400mの場合には、少年I群、男子エリート群および女子の各群(5.82—7.28%)は少年II群、水球群および大学群(3.88—4.96%)より高い値を示していた。このように、水泳速度と代謝能力との関係図において右に偏位していた群は、 e でも高い値を示していた。

そこで、水泳速度と代謝能力との相関係数を算

出するに際して、全被検者を対象にした場合と、 e によって分類した被検者群を対象にした場合とを比較してみた。すなわち、 e の度数分布表から100mの場合には e_1 (100mの e) ≤ 3.33 の群(-0.5σ 以下に相当, $n=14$), $3.33 < e_1 \leq 4.19$ の群($-0.5 - +0.5\sigma$ に相当, $n=17$)および $4.19 < e_1$ の群(0.5σ 以上に相当, $n=13$)の3群に被検者を分類した(Table 3上段)。400mの場合には、 e_4 (400mの e) ≤ 5.24 の群(-0.5σ 以下に相当, $n=14$), $5.24 < e_4 \leq 6.56$ の群($-0.5 - +0.5\sigma$ に相当, $n=17$)および $6.56 > e_4$ の群(0.5σ 以上に相当, $n=13$)の3群に分類した(Table 3下段)。

まず、100mの水泳速度と $O_2\text{ debt}_{max}$ の絶対値との関係では、全被検者群で $r=0.551$ であったものが、 $e_1 \leq 3.33$ の群では $r=0.739$, $3.33 < e_1 \leq 4.19$ の群では $r=0.912$, $4.19 < e_1$ の群では $r=0.645$ となった。400mの水泳速度と $\dot{V}O_{2max}$ の絶対値との関係でも、全被検者群で $r=0.554$ であったものが、 $e_4 \leq 5.24$ の群では $r=0.730$, $5.24 < e_4 \leq 6.56$ の群では $r=0.927$, $6.56 < e_4$ の群では $r=0.486$ となった。このように、 e の不均一な全被検者群より e の均一な集団において、水泳速度と代謝能力との関係はより密接になった。

次に表3から、100mの水泳速度に対する相関

Table 3. Correlation coefficients between swimming performance and maximal oxygen debt, maximal oxygen uptake, and oxygen requirement in the whole subjects and the group divided by swimming efficiency.

		All subjects (n=44)		low e_1 group $e_1 \leq 3.33$ (n=14)		intermediate e_1 group $3.33 < e_1 \leq 4.19$ (n=17)		high e_1 group $4.19 < e_1$ (n=13)	
		$O_2\text{ debt}_{max}$	\dot{E}_1	$O_2\text{ debt}_{max}$	\dot{E}_1	$O_2\text{ debt}_{max}$	\dot{E}_1	$O_2\text{ debt}_{max}$	\dot{E}_1
Swimming speed in 100-m race	r_1	0.551**	0.728**	0.739**	0.896**	0.912**	0.978**	0.645*	0.837**
	r_2	0.371*	0.644**	0.503*	0.766**	0.532*	0.844**	0.393	0.576*

		All subjects (n=44)		low e_4 group $e_4 \leq 5.24$ (n=14)		intermediate e_4 group $5.24 < e_4 \leq 6.56$ (n=17)		high e_4 group $6.56 < e_4$ (n=13)	
		$\dot{V}O_{2max}$	\dot{E}_4	$\dot{V}O_{2max}$	\dot{E}_4	$\dot{V}O_{2max}$	\dot{E}_4	$\dot{V}O_{2max}$	\dot{E}_4
Swimming speed in 400-m race	r_1	0.554**	0.610**	0.730**	0.840**	0.927**	0.963**	0.486	0.759**
	r_2	0.323*	0.568**	0.610*	0.819**	0.577*	0.852**	-0.166	-0.026

e_1 and e_4 : Efficiency in 100-m and 400-m swimming, respectively.

\dot{E}_1 and \dot{E}_4 : Oxygen requirement in 100-m and 400-m swimming, respectively.

r_1 and r_2 : Correlation coefficient between swimming speed and metabolic parameters expressed in an absolute value and a relative value (i.e., per kg of weight), respectively.

*= $p < 0.05$, **= $p < 0.01$.

係数が $O_2 \text{ debt}_{\max}$ と \dot{E} とで異なるか否かをみると、 $O_2 \text{ debt}_{\max}$ より \dot{E} において相関係数は0.066—0.200高くなった。特に $3.33 < e_1 \leq 4.19$ の群では、100mの水泳速度と100mの \dot{E} との間に非常に高い $r=0.978$ が得られた。同様に、 $\dot{V}O_{2\max}$ の代りに \dot{E} とした場合には、400mの水泳速度に対する相関係数が0.036—0.273高くなった。特に $5.24 < e_4 \leq 6.56$ の群では、400mの水泳速度と400mの \dot{E} との間に非常に高い $r=0.963$ が得られた。

次に表3から、代謝能力の各指標を絶対値で示した場合と、体重当りの値で示した場合とで水泳速度に対する相関係数が異なるか否かをみると、100mの場合、体重当りの値より絶対値において相関係数は0.084—0.380高かった。400mの場合でも同様に、体重当りの値より絶対値において相関係数は0.021—0.785高かった。

考 察

本研究の大学群と男子エリート群の $O_2 \text{ debt}_{\max}$ は欧米の男子一流水泳選手の値(8.69lと118ml/kg, Cureton⁹⁾)とほぼ一致し、欧米の男子大学水泳選手の値(7.75lと103ml/kg, Shephard³⁷⁾, 6.40lと86.1ml/kg, Van Huss and Cureton⁴⁰⁾)と比較して10—30%大であった。これらの2群の測定値は同一年齢の日本人の標準値³⁹⁾(4.8l)の約2倍に相当した。少年I群、少年II群および水球群の $O_2 \text{ debt}_{\max}$ は、それぞれ標準値の158%、165%、128%に相当した。この少年II群と水球群の値は、15—17歳の日本の男子水泳選手の値(6.83l, 宮下³¹⁾)とほぼ一致した。少女I群、少女II群および女子エリート群の値は、それぞれ標準値の217%、234%、259%に相当し、15—17歳の日本の女子水泳選手の値(4.17l, 宮下³¹⁾)に比べて9—28%大であった。年齢の低い少年I群と少女I群では体重当りの値で評価しても $O_2 \text{ debt}_{\max}$ が低かったのは、解糖系の反応を制限する酵素(PFK)の活性値が少年・少女で低いためであると考えられる(Erikson¹²⁾)。

$\dot{V}O_{2\max}$ の絶対値でみると、男子エリート群は欧米の男子一流水泳選手(4.14—5.05l/min,

Holmér¹⁴⁾, Holmér, et al.¹⁵⁾およびMagel and Faulkner²⁶⁾)の80—98%に、大学群は欧米の男子大学水泳選手(3.36—4.26l/min, Dixon and Faulkner¹¹⁾, Holmér¹⁴⁾およびMcArdle, et al.²⁹⁾)の85—108%に、水球群は欧米の男子非鍛練者(2.66—3.79l/min, Åstrand and Saltin⁴⁾, Dixon and Faulkner¹¹⁾, Holmér¹⁴⁾およびMagle, et al.²⁷⁾)の82—117%にそれぞれ相当した。しかし体重当りの $\dot{V}O_{2\max}$ でみると、欧米のそれぞれの水泳選手に対して、エリート群は90—105%に、大学群は93—103%に、水球群は99—140%に相当したことから、 $\dot{V}O_{2\max}$ の絶対値に認められた差は体重差に依存したものであると考えられる。少年I群と少年II群の $\dot{V}O_{2\max}$ は同一年齢の欧米の男子一流水泳選手の値(13.4歳で2.6l/minと55ml/kg/min, 16.4歳で3.7l/minと56ml/kg/min, 野村³⁹⁾)にほぼ匹敵した。女子の各群の $\dot{V}O_{2\max}$ は欧米の女子一流水泳選手の値(2.60—3.42l/minと48.2—51.8ml/kg/min, Åstrand, et al.³⁾, Holmér¹⁴⁾およびHolmér, et al.¹⁵⁾)の71—97%(絶対値)および87—105%(体重当りの値)に相当した。以上のように、欧米選手と日本選手の体重差を考慮すると、本研究の各群はそれぞれの水泳能力に相応した無酸素的および有酸素的代謝能力を有すると考えられる。

水泳時の e はこれまで2つの方法で測定されてきた。1つは人体を牽引した時の抵抗値を用いる方法であり、これによれば e は2—8%の範囲にある(Alley¹⁾, Clarys, et al.⁶⁾, Counsilman⁸⁾およびKarpovich and Pestrecov²⁰⁾)。第2の方法は実際に泳いでいる時の抵抗値を加重法で外挿して求める方法であり、これによれば第1の方法より高い2—18%の e になると報告されている(di Prampero, et al.¹⁰⁾, Pendergast, et al.³⁵⁾およびRennie, et al.³⁶⁾)。本研究の方法で算出した e は、直接法で測定された上記の e の範囲内にある。本研究の女子の各群は男子の各群に比べて全般的に高い e を示したが、技能水準が等しければ、男子に比べて女子の e は高いことが直接法でも確かめられている(Pendergast, et al.³⁵⁾)。男子エリート群の e が少年I群の e より低いことについては、

e は水泳速度の影響を受けるとする Pendergast, et al.³⁴⁾の報告から判断して, 男子エリート群の水泳速度が少年 I 群のそれより高いことが影響したのではないかと推定される。

結果で示したように, 代謝能力と水泳速度との相関は, e の不均一な全被検者群より e のほぼ均一な集団においてより高くなった。このことは, 代謝能力と水泳速度との間に介在する e の比重が大きいことを示す。したがって, 代謝能力と水泳記録との関係は被検者の選択方法によって異なると思われるべきである。すなわち, e が均一で, 代謝能力の個人差が大きい集団を対象にすると, e の不均一な集団の場合より両者の関係はさらに密接になる。一方, e が等しくても代謝能力の個人差が小さい集団や, e の不均一な集団を対象にすると両者の関係は密接でなくなる。先の宮下³¹⁾の報告では, e がほぼ均一であると考えられる二流水泳選手を対象とし, しかも代謝能力の比較的大きい男子選手と, 小さい女子選手が含まれている。Åstrand, et al.³⁾は $\dot{V}O_{2max}$ の個人差の大きい (1.86—3.81 l/min) よく鍛練された女子水泳選手を対象にしている。これらの報告では代謝能力と水泳記録との間に高い相関があるとしているが, 前者の場合に相当する例であると考えられる。一方, 両者の相関はあまり密接でないとする Van Huss and Cureton⁴⁰⁾の場合は, 4名のチャンピオンを含む41名の大学選手を対象にしている。これは後者に相当する例ではないかと推測される。

これまで水泳記録と代謝能力との関係は O_2 debt_{max}あるいは $\dot{V}O_{2max}$ に対して単独に検討されてきたが, 本研究の結果で示されたように, 100m と400m の水泳速度に対する相関係数は O_2 debt_{max} と $\dot{V}O_{2max}$ をそれぞれ単独に用いた場合より \dot{E} において高くなった。このことは, 代謝能力から水泳記録を推定する場合などには, O_2 debt_{max} や $\dot{V}O_{2max}$ を単独で用いるよりも, 両者を合わせて \dot{E} とするとその推定精度が増すことを示唆している。

代謝能力は体重当りの値で示すよりも絶対値で示した方が, 水泳速度に対してより高い相関を示した。陸上運動と異なり, 水泳では浮力が作用す

るために重力に抗して体重を支える必要性は少ない。また, 体重と関係の深い体表面積は人体水抵抗の個人差に影響しないことが宮下³⁰⁾により報告されている。これらのことから, 水泳では体重当りのパワーよりもパワーの絶対値の大きいことが重要であると考えられる。したがって, 水泳の競技能力との観点からすれば, 代謝能力は絶対値で評価した方がより適切である。

要 約

エネルギー代謝能力と水泳記録との関係に及ぼす水泳効率 (e) の影響, 浮力の影響, および無酸素的代謝と有酸素的代謝の関与の影響について検討することを目的とした。

無酸素的および有酸素的代謝能力の指標として, 最大酸素負荷量 (O_2 debt_{max}) と最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) をそれぞれ回流水槽泳で測定した。毎分酸素需要量 (\dot{E}) と e は O_2 debt_{max}, $\dot{V}O_{2max}$ および水泳記録から算出した。被検者は性・年齢・水泳記録の異なるクロール泳者44名であった。

100m の水泳速度と O_2 debt_{max} との相関は全被検者群で $r=0.551$ ($p<0.01$) であったものが, e_1 (100m 水泳の e) ≤ 3.33 の群 ($n=14$) では $r=0.739$ ($p<0.01$), $3.33 < e_1 \leq 4.19$ の群 ($n=17$) では $r=0.912$ ($p<0.01$), $4.19 < e_1$ の群 ($n=13$) では $r=0.645$ ($p<0.05$) となった。400m の水泳速度と $\dot{V}O_{2max}$ との相関は全被検者群で $r=0.554$ ($p<0.01$) であったものが, e_4 (400m 水泳の e) ≤ 5.24 の群 ($n=14$) では $r=0.730$ ($p<0.01$), $5.24 < e_4 \leq 6.56$ の群 ($n=17$) では $r=0.927$ ($p<0.01$), $6.56 < e_4$ の群 ($n=13$) では $r=0.486$ となった。以上のように, 水泳記録と代謝能力との相関は e の不均一な全被検者群より e のほぼ均一な集団において高くなったことから, 両者の関係は e の要因によって顕著に影響されると結論した。

代謝能力は体重当りの値で示すよりも絶対値で示した場合に水泳記録との相関が高かった。これは, 水泳では浮力の作用により体重が支えられるために生じたと考えられた。

100m と400m の水泳記録は, O_2 debt_{max} あるいは

は $\dot{V}O_{2max}$ に対するより \dot{E} に対して、より高い相関を示した。したがって、短距離泳における有酸素的代謝量の貢献を、また中・長距離泳における無酸素的代謝量の貢献を無視できないと考えられる。

引用・参考文献

- 1) Alley, L.E., "An analysis of water resistance and propulsion in swimming the crawl stroke," *Research Quarterly*, 23: 253-70, 1952.
- 2) 青木純一郎・清水達雄「陸上競技短距離走におけるスピードと酸素負債との関係」昭和46年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. II: 24-29, 1971.
- 3) Åstrand, P.-O., Engström, L., Eriksson, B.O., Karlberg, P., Nylander, I., Saltin, B. and Thorén, C., "Girl swimmers—with special reference to respiratory and circulatory adaptation and gynaecological and psychiatric aspects," *Acta Paediat. Scand., Suppl.* 147: 43-63, 1963.
- 4) Åstrand, P.-O. and Saltin, B., "Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity," *J. Appl. Physiol.*, 16: 977-81, 1961.
- 5) Åstrand, P.-O. and Rodahl, K., *Textbook of work physiology*, McGraw-Hill: New York, 1970. pp. 277-318.
- 6) Clarys, J.P., Jiskoot, J., Risky, H. and Brouwer, P. J., "Total resistance in water and its relation to body form," in Nelson, R.C. and Morehouse, C.A. (Eds.), *Biomechanics IV, International Series on Sport Sciences, Vol. 1*, University Park Press: Baltimore, 1974. pp. 187-96.
- 7) Costill, D.L., "The relationship between selected physiological variables and distance running performance," *J. Sports Med. and Phys. Fit.*, 7: 61-66, 1967.
- 8) Counsilman, J.E., "Forces in swimming two types of crawl stroke," *Research Quarterly*, 26: 127-39, 1955.
- 9) Cureton, T.K., *Physical fitness of champion athletes*, Urbana Univ. of Illinois Press: Illinois, 1951. pp. 314-50.
- 10) di Prampero, P.E., Pendergast, D.R., Wilson, D.W. and Rennie, D.W., "Energetics of swimming in man," *J. Appl. Physiol.*, 37: 1-5, 1974.
- 11) Dixon, R.W. and Faulkner, J.A., "Cardiac output during maximal effort running and swimming," *J. Appl. Physiol.*, 20: 653-56, 1971.
- 12) Erikson, B., "Physical training, oxygen supply and muscle metabolism in 11-13 year old boys," *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 384: 34-41, 1972.
- 13) Hill, A.V. and Lupton, H., "Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen," *Quart. J. Med.*, 16: 135-71, 1923.
- 14) Holmér, I., "Oxygen uptake during swimming in man," *J. Appl. Physiol.*, 33: 502-9, 1972.
- 15) Holmér, I., Lundin, A. and Eriksson, B.O., "Maximal oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers," *J. Appl. Physiol.*, 36: 711-14, 1974.
- 16) Houston, M.E., "Metabolic responses to exercise, with special reference to training and competition in swimming," in Erikson, B. and Furberg, B. (Eds.), *Swimming Medicine IV*, University Park Press: Baltimore, 1978. pp. 207-32.
- 17) 池上晴夫・重枝武司・久山順子・野村武男・黒川隆志・後藤慎二「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」*体育学研究*, 28: 33-42, 1983.
- 18) Ishiko, T., "Aerobic capacity and external criteria of performance," *Canad. Med. Ass. J.*, 96: 746-50, 1967.
- 19) 鎌田喜雄「最大酸素債と疾走能力との関係について」*体力科学*, 5: 176-79, 1956.
- 20) Karpovich, P.V. and Pestrecov, K., "Mechanical work and efficiency in swimming crawl and back strokes," *Arbeitsphysiologie*, 10: 504-14, 1939.
- 21) Katch, V. and Henry, F.M., "Prediction of running performance from maximal oxygen debt and intake," *Medicine and Science in Sports*, 4: 187-91, 1972.
- 22) Klissouras, V. and Sinning, W.S., "Metabolic Prediction of swimming performance," in Erikson, B. and Furberg, B. (Eds.), *Swimming medicine IV*, University Park Press: Baltimore, 1978. pp. 262-73.
- 23) 黒田喜雄・加賀谷照彦・塚越克己・雨宮輝也・太田裕造・村松允子・酒井悳子「トレッドミルによる最大酸素負債量の測定法—トレッドミル走とトラック走との比較—」昭和43年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1-22, 1968.
- 24) 黒田善雄・加賀谷照彦・塚越克己・太田裕造・雨宮輝也・成沢三雄「トレッドミルによる最大酸素負債量の測定法—第2報。測定結果と競技成績との関係について—」昭和48年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. VI: 1-13, 1973.
- 25) 黒田善雄・塚越克己・雨宮輝也・鈴木洋児・伊藤静夫「最大酸素負債量の測定法に関する研究—第3報—最大酸素負債量の個人内変動について—」昭和49年日本体育協会スポーツ科学研究報告書, No. X: 1-19, 1974.
- 26) Magel, J.R. and Faulkner, J.A., "Maximal oxygen uptake of college swimmers," *J. Appl. Physiol.*, 22: 929-33, 1967.
- 27) Magel, J.R., Foglia, G.F., McArdle, W.D., Gutin, B., Pechar, G.S. and Katch, F.I., "Specificity of swim training on maximal oxygen uptake," *J. Appl. Physiol.*, 38: 151-55, 1975.
- 28) Margaria, R., *Biomechanics and energetics of muscular exercise*, Oxford University Press: Oxford,

1976. pp. 1—58.
- 29) McArdle, W.D., Glaser, R.M. and Magel, J.R., "Metabolic and cardio-respiratory response during free swimming and treadmill walking," *J. Appl. Physiol.*, 30: 733—38, 1971.
- 30) 宮下充正, 水泳の科学, 杏林書院, 1970. pp. 72—81.
- 31) 宮下充正「ハイスピード持続能力の解明—水泳選手にトレーニングを課すことによって得られた知見—」昭和47年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 30—34, 1972.
- 32) 宮下充正, 「Efficiency からみたスキル」キネシオロジー研究会(編), 身体運動のスキル, 身体運動の科学, II, 杏林書院, 1976. pp. 61—71.
- 33) 野村武男「エージグループ水泳選手の最大酸素摂取量について」*体育学研究*, 22: 301—09, 1979.
- 34) Pendergast, D.R., di Prampero, P.E., Craig, A.B. Jr. and Rennie, D.W., "The influence of selected biomechanical factors on the energy cost of swimming," in Erikson, B. and Furberg, B. (Eds.), *Swimming medicine IV*, University Park Press: Baltimore, 1978. pp. 367—78.
- 35) Pendergast, D.R., di Prampero, P.E., Craig, A.B. Jr., Wilson, D.R. and Rennie, D.W., "Quantitative analysis of the front crawl in man and women," *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 43: 475—79, 1977.
- 36) Rennie, D.W., Pendergast, D.R. and di Prampero, P. E., "Energetics of swimming in man," in Clarys, J.P. and Lewille, L. (Eds.) *Swimming II*, International Series on Sports Sciences, Vol. 2, University Park Press: Baltimore, 1974. p. 97—104.
- 37) Shephard, R.J., Godin, G. and Campbell, R., "Characteristics of sprint, medium and long distance swimmers," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 32: 99—116, 1974.
- 38) Tanaka, K. and Matuura, Y., "A physiological and anthropometric determinants of distance run performance," *The International Council on Physical Fitness Research—Proceedings*, 273—83, 1981.
- 39) 東京都立大学身体適性学研究室編, 日本人の体力標準値, 第3版, 不味堂, 1980. pp. 265—67.
- 40) Van Huss, W.D. and Cureton, T.K., "Relationship of selected test with energy metabolism and swimming performance," *Research Quarterly*, 26: 205—21, 1955.
- 41) 山崎省一・青木純一郎「長距離走者の競技記録と無酸素的能力」*体力科学*, 26: 87—95, 1977.
-