

Mechanical Efficiency of Swimming Estimated from Heart Rate and Velocity

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/23481

心拍数と泳速から推定した水泳の機械的効率

Mechanical Efficiency of Swimming Estimated from Heart Rate and Velocity

山 本 博 男*
岡 沢 茂**

Hiroh YAMAMOTO
Shigeru OKAZAWA

ABSTRACT

The relation of HR to swimming velocity(V) and HR to $\% \dot{V}O_{2max}$ were measured for eight male varsity swimmers. The mechanical efficiency of swimming was estimated from HR and V. Energy expenditure was calculated from HR and the relation of HR to $\% \dot{V}O_{2max}$. Work output was calculated as follows:

$$W = 2.49 \dot{V}^{1.91} \times 60V \times 2.3423 \times 10^{-3} \text{ (Kcal)}$$

By extrapolating HR-V curve to the maximal heart rate during swimming, the speed (V(HRmax)) at which maximal heart rate first reached was determined. The mechanical efficiency of swimming ranged from 1.7 to 6.6 percent. V(HRmax) ranged from 0.95 to 1.49m/sec. Correlation coefficient between maximal estimated mechanical efficiency of swimming and performance was significant at 0.01 level. Correlation coefficient between V(HRmax) and performance was significant at 0.01 level. Therefore, it is suggested that the maximal estimated mechanical efficiency of swimming and V(HRmax) might be useful to evaluate the swimming performance.

はじめに

水泳の記録を見ていると、後に生まれた人間ほど水泳の才能があるかのように思える。しかしながら、体力が記録の伸びと同じくらいに改善されているとは思えない。

従来、水泳の記録即ちパフォーマンス(Performance)に関連する体力以外の要素が改善されると報告され(Araujo et al 1979, Åstrand 1978, Cook and Brynteson 1973, Craig et al 1975, Cunningham and Eynon 1973, 猪

飼ら1964, 宮下1961, 1967, 1971, 1972, 1974, Miyashita and Tsunoda 1978), その要素の中でも、身体によって発揮される力を推進力に変換していく、いわゆる機械的効率が近年水泳技術の指標としてとらえられている。

従って、本研究の目的は、Miyashita and Tsunoda (1978) によって報告された抵抗を求める公式と測定方法として簡易に、しかもパフォーマンスに影響を与えないで測定できると思われる心拍数と泳速から仕事量と、エネルギー

* 金沢大学

** 長野県立科小学校

消費量を求めて水泳の効率を推定し、身体的機能及びパフォーマンスの観点から検討することである。

○方 法

1) 被検者

被検者は金沢大学水泳部員男子 8 名で、彼らの身体的特徴を表 1 に示した。

2) 心拍数と泳速の関係

被検者は心電図の電極を防水テープを貼り装着した。心電図のリード線は腰にまとめられ、図 1 のようにつなぎ、水泳のパフォーマンスが妨げられないように注意された。(図 1)

被検者は、各々の間に短いインターバルをはさんだ 50m × 6 の水泳で、水中から壁を蹴ってスタートし、50m を一定のペースで、クロール泳法で泳いだ。50m × 6 を 1 トライアルとし、各々異なる泳速で、4 トライアル行った。また各トライアル間には、10~15 分間の休憩時間が置かれた。被検者には、1 ストロークに 1 回呼吸をすることと、ターンの方法をクイックターン又はプッシュターンのどちらかに統一することが要求された。

心拍数の測定では、被検者が 50m の最後の 12.5m を泳いでいる間に心電図が記録され、その心電図から、10 拍に要した時間をレクチグラフ

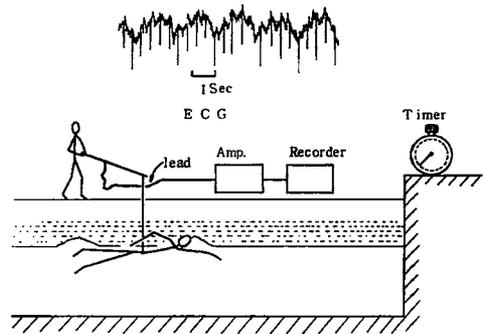


Fig. 1. Determination of heart rate and freestyle swimming velocity

のペーパースピードと、R波の間隔から測定し、1 分間の心拍数を求めた。

$$\text{心拍数(拍/分)} = 60 \text{秒} \div \frac{10 \text{拍の間隔 (mm)}}{\text{ペーパースピード (mm/秒)}} \times 10 \text{ (拍)}$$

泳速は、50m のパフォーマンスタイムから求めた。

$$\text{泳速(m/sec)} = 50 \text{(m)} \div \text{パフォーマンスタイム(sec)}$$

泳速と心拍数の関係を求める場合、3 本目から 6 本目のデータを使用した。

3) 水泳中の最大心拍数

Table 1. Physical characteristics of the subjects

Subj.	Ht (cm)	Wt (kg)	Age (yrs)	BSA (m ²)	$\dot{V}O_2 \text{max}$ (l/min)	$\dot{V}O_2 \text{max}$ (ml/kg.min)
N.I.	180.6	76.5	20.1	1.98	3.81	49.8
T.M.	178.0	70.5	20.4	1.89	3.41	48.4
A.O.	168.0	60.5	19.5	1.70	3.35	55.4
M.J.	164.0	55.0	19.7	1.61	2.94	53.5
Y.Y.	171.0	62.0	23.5	1.74	3.24	52.3
S.T.	174.0	62.5	23.4	1.77	2.82	45.1
I.K.	172.9	61.5	19.3	1.75	2.94	47.8
Y.I.	168.0	64.0	21.0	1.74	3.33	52.0
M	172.1	64.1	20.9	1.77	3.23	50.5
SD	5.1	6.2	1.6	0.11	0.30	3.2

$$\text{BSA} = 72.46 \times W^{0.425} \times H^{0.725} + 10,000 \quad (W = \text{weight(kg)}, H = \text{Height(cm)})$$

(m²)

水泳中の最大心拍数を測定するために、200 mの全力水泳を行った。心拍数は200 mの最後の12.5 mにペース水泳と同様な方法で求めた。

ここで求めた水泳中の最大心拍数を、先に求めた心拍数と泳速との回帰直線から外挿して、最大心拍数に達する泳速（以下V(HRmax)と略記）を求めた。

4) 心拍数と酸素摂取量の関係

心拍数と酸素摂取量の関係は、自転車エルゴメーター作業における心拍数と相対的作業強度($\% \dot{V}O_2 \max$)の回帰式を求めることによって測定された。

5) 各被検者の最大酸素摂取量

各被検者の最大酸素摂取量の測定は、自転車エルゴメーターによる負荷漸増法によって行われた。4つの負荷による自転車エルゴメーター作業で得た酸素摂取量を、各被検者の最大酸素摂取量に対する割合、つまり相対作業強度($\% \dot{V}O_2 \max$)として、心拍数と相対作業強度に対する回帰式及び相関を求めた。

6) 水泳の機械的効率の推定

機械的効率(M.E.: Mechanical Efficiency)は $M.E. (\%) = W/E \times 100$

(W: 1分間の仕事量)

(E: 1分間のエネルギー消費量)

で求められ、本研究における水泳の仕事量は、水抵抗(R:kg)と移動距離(d:m/min)の積として求められ(kgm/min), 2.3423×10^{-3} を乗じてkcal/minに換算した。

$$W(kcal/min) = R \times d \times 2.3423 \times 10^{-3}$$

Rの値は、Miyashita and Tsunoda (1978)によって男子泳者のうつ伏せの姿勢について報告された公式

$$R(kg) = 2.49V^{1.91}$$

V: 泳速 (m/sec)

を用いて求めた。また、移動距離(m/min)は、泳速(m/sec)によって導かれるから、本研究の仕事(W)は泳速(V)の関数として、次式のようにして求められた。

$$W(Kcal) = 2.49V^{1.91} \times 60V \times 2.3423 \times 10^{-3}$$

1分間のエネルギー消費量(E)は、水泳中

の心拍数を自転車エルゴメーター作業で求めた心拍数と相対作業強度の回帰方程式に代入して、酸素摂取量(l/min)を求め、酸素1 lのエネルギー当量を5kcalとして次式より求めた。

$$E(kcal) = \dot{V}O_2(l/min) \times 5(kcal)$$

水泳の推定された機械的効率(Estimated M.E.)は上記の \dot{W} と \dot{E} を用いて、

$$\text{Estimated M.E.}(\%) = \dot{W}/\dot{E} \times 100$$

として求めた。

泳速に基く機械的効率の推定については、まず泳速を心拍数と泳速の回帰方程式に代入して、その泳速における心拍数を求め、前述と同様な方法により機械的効率の推定を行った。また、各被検者の同じ相対的強度における推定された機械的効率を比較するために、V(HRmax)の75%の泳速に対する機械的効率を推定した。

7) パフォーマンスタイム

各被検者の、100m, 200m, 400m自由形のパフォーマンスタイムは、大学に入ってからのも最高記録である。

8) 測定された各変数間の相関

本研究において測定された変数間にどのような関係があるかを検討するために、100m, 200m, 400mのパフォーマンスタイム、最大酸素摂取量(l/min), (ml/kg·min), V(HRmax), 推定された機械的効率(E.M.E.0.9), V(HRmax)の75%の泳速における推定された機械的効率(E.M.E.75%)の9項目を選び、各変数間の相関係数を求め、有意性を検定した。

9) 水泳中と自転車作業中の最大心拍数

自転車作業における心拍数と相対作業強度の回帰直線を、水泳中の心拍数に当てはめて良いのか考察するため、水泳中の最大心拍数と自転車作業中の最大心拍数を比較した。なお、最大酸素摂取量測定時の最大心拍数を、自転車作業中の最大心拍数とした。

○結 果

測定された心拍数と泳速の関係を表2に示した。

各被検者における心拍数と泳速について求められた直線回帰式は、いずれも0.1%レベルで有意であり、回帰係数も1%レベルで有意であった。

水泳中の最大心拍数は、各被検者で160.9拍/分から185.8拍/分の範囲であった。また、

何人かの被検者では、200m全力水泳の最後の心拍数よりも、ペース水泳で得た心拍数の最大値のほうが高かった。このような被検者では、ペース水泳で得た最大心拍数を、水泳中の最大心拍数とした。V(HRmax)は、各被検者間で、0.95m/secから、1.49m/secの範囲であっ

Table 2. Relationship between heart rate and swimming velocity

Subj.	Linear regression equation	r	HRmax (BPM)	V(HRmax) (m/sec)
N.I.	Y = 102.04 X + 32.98**	.9854***	185.2	1.49
T.M.	Y = 95.77 X + 44.79**	.9545***	181.8	1.43
A.O.	Y = 146.06 X + 11.16**	.9700***	171.9	1.10
M.J.	Y = 163.42 X + 17.15**	.8301***	185.8	1.03
Y.Y.	Y = 163.40 X - 19.03**	.9901***	182.4	1.28
S.T.	Y = 201.40 X - 67.97**	.9002***	175.4	1.21
I.K.	Y = 136.26 X - 26.56**	.9799***	160.9	1.38
Y.I.	Y = 156.17 X + 28.26**	.9615***	176.5	0.95

Y:Heart rate(beats/min) X:Swimming velocity(m/sec)

** Significant at .01 level

*** Significant at .001 level

Table 3. Relationship between heart rate and % $\dot{V}O_2$ max

Subj.	Linear regression equation	r	$\dot{V}O_2$ max (l/min)	$\dot{V}O_2$ max (ml/kg·min)
N.I.	Y = 1.69 X + 24.59**	.3991**	3.81	49.8
T.M.	Y = 0.36 X + 36.37*	.9876*	3.41	43.4
A.O.	Y = 1.24 X + 71.88**	.9994***	3.35	55.4
M.J.	Y = 1.42 X + 67.76*	.9635*	2.94	53.5
Y.Y.	Y = 0.90 X + 92.43**	.3901**	3.24	52.5
S.T.	Y = 1.45 X + 50.78*	.9831*	2.82	45.1
I.K.	Y = 1.16 X + 60.22**	.9917**	2.84	47.8
Y.I.	Y = 1.38 X + 66.70*	.9887*	3.33	52.0

Y:Heart rate (beats/min) X:% $\dot{V}O_2$ max (%)

* Significant at .05 level

** Significant at .01 level

*** Significant at .001 level

Tabl 4 Experimented swimming velocity, heart rate, $\dot{V}O_2$, energy expenditure, work and estimated mechanical efficiency of four trials for each subject

Subj.	Trial	Velocity (m/sec)	HR (BPM)	$\dot{V}O_2$ (l/min)	\dot{E} (kcal)	\dot{W} (kcal)	Estimated M.E.(%)
N.I.	1st	0.99	133.0	2.44	12.20	.339	2.8
	2nd	1.20	154.5	2.93	14.65	.595	4.1
	3rd	1.27	164.8	3.16	15.80	.701	4.4
	4th	1.47	182.9	3.57	17.85	1.074	6.0
T.M.	1st	0.96	139.4	1.71	8.55	.310	3.6
	2nd	1.09	145.4	1.94	9.70	.450	4.6
	3rd	1.19	156.3	2.38	11.90	.580	4.9
	4th	1.36	177.2	3.21	16.05	.856	.53
A.O.	1st	0.80	128.7	1.53	7.65	.184	2.4
	2nd	0.84	130.8	1.59	7.95	.212	2.7
	3rd	0.92	146.9	2.03	10.15	.277	2.7
	4th	1.06	167.1	2.57	12.85	.419	3.3
M.J.	1st	0.80	143.1	1.56	7.80	.183	2.3
	2nd	0.90	164.0	1.99	9.95	.258	2.6
	3rd	0.99	175.5	2.23	11.15	.339	3.0
	4th	0.92	176.5	2.25	11.25	.274	2.4
Y.Y.	1st	0.89	128.0	1.28	6.40	.249	3.9
	2nd	0.99	139.7	1.64	8.20	.339	4.1
	3rd	1.07	156.4	2.30	11.50	.426	3.7
	4th	1.18	174.2	2.80	14.00	.567	4.1
S.T.	1st	1.03	134.5	1.63	8.15	.381	4.7
	2nd	1.10	156.8	2.06	10.30	.462	4.5
	3rd	1.17	167.8	2.28	11.40	.552	4.8
	4th	1.21	174.9	2.50	12.50	.609	4.9
I.K.	1st	0.96	106.5	1.17	5.83	.310	5.3
	2nd	1.08	118.7	1.48	7.40	.437	5.9
	3rd	1.18	131.5	1.81	9.05	.567	6.3
	4th	1.34	158.7	2.50	12.50	.819	6.6
Y.I.	1st	0.79	151.6	2.05	10.25	.177	1.7
	2nd	0.82	156.8	2.17	10.85	.196	1.8
	3rd	0.86	160.8	2.38	11.35	.226	2.0
	4th	0.91	171.8	2.54	12.70	.266	2.1

\dot{E} =Energy expenditure (kcal/min) 1 liter O_2 =5kcal

$\dot{W}=R \times d \times 2.3423 \times 10^{-3}$ (kcal) :R=Water resistance (kg)

d=distance(m/min)

$R=2.49V^{1.91}$ (kg) :V=swimming velocity (m/sec)

Estimated M. E. = $\dot{W}/\dot{E} \times 100$ (%)

た。

自転車エルゴメーター作業で得た心拍数と相対作業強度の直線回帰方程式、及び最大酸素摂取量を表 3 に示した。

自転車エルゴメーター作業で得た心拍数と相対作業強度の回帰直線は、いずれも 5% レベルで有意であり、回帰係数も 5% レベルで有意であった。

各被検者の自転車エルゴメーター作業における最大酸素摂取量は、平均 3.23l/min 単位体重当りの最大酸素摂取量は、平均 50.5ml/kg・min であった。

表 4 に、各被検者の 1 本目から 4 本目のトライアルにおける泳速、心拍数、推定された酸素摂取量、エネルギー消費量、仕事量及び推定された機械的効率を示した。

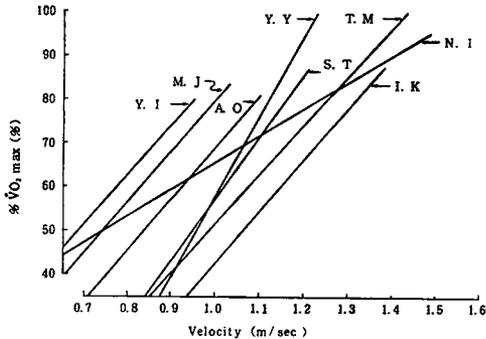


Fig. 2. Relationship between % $\dot{V}O_2$ max and freestyle swimming velocity

図 2 に、各被検者の泳速に対する相対作業強度の関係を示した。

泳速に基いて推定した効率を表 5 に示した。各被検者とも泳速が大きくなるにつれて効率が大きくなる傾向があった。

表 6 には、本研究で測定した各変数間の相関係数を示した。

100m, 200m, 400m の各パフォーマンスタイム間には、1% レベルで有意な正の相関があった。最大酸素摂取量 (l/min) とパフォーマンスタイムの間には有意な相関が認められなかった。単位体重当りの最大酸素摂取量 (ml/kg・min) と 100m, 200m のパフォーマンスタイムの間に 5% レベルで有意な正の相関があった。

V(HRmax) と各パフォーマンスタイムの間には 1% レベルで有意な負の相関があった。推定された効率のうちでは、推定された効率の最大値と各パフォーマンスタイムの間に 1% レベルで有意な負の相関がみられ、V(HRmax) の 75% における推定された効率と、100m, 400m のパフォーマンスタイム間に 5% レベルで有意な相関があった。

推定された 3 つの効率間では、推定された効率の最大値と、V(HRmax) の 75% の泳速における推定された効率の間に 5% レベルで有意な相関水泳中の最大心拍数の平均 177.5 拍/分 (SD=7.77) と、自転車エルゴメーターにおける最大心拍数の平均 191.3 拍/分 (SD=6.78)

Table 5. Estimated swimming efficiency based on swimming velocity

Subj.	swimming velocity (m/sec)							75%(V(HRmax))	
	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4		
N.I.	—	2.3	2.8	3.4	4.0	4.7	5.5	3.5	(1.12)
T.M.	—	3.8	4.0	4.3	4.7	5.2	5.7	4.2	(1.07)
A.O.	2.3	2.7	3.0	3.4	—	—	—	2.5	(0.83)
M.J.	2.2	2.6	3.0	—	—	—	—	2.1	(0.77)
Y.Y.	—	4.0	3.7	3.8	3.9	—	—	3.9	(0.92)
S.T.	—	4.2	4.3	4.6	5.0	—	—	2.9	(0.91)
I.K.	—	5.7	5.6	5.8	6.1	6.6	—	3.8	(1.04)
Y.I.	1.8	2.1	—	—	—	—	—	1.5	(0.71)

() =Swimming velocity of 75%V(HRmax) (m/sec)

Table 6. Correlation coefficients among the experimented variables

Variable	100m	200m	400m	$\dot{V}O_2\max$ (1)	$\dot{V}O_2\max$ (ml)	V(HRmax)	E.M.E. max	E.M.E. 0.9	E.M.E. 75%
100m		** 0.9885	** 0.9837	-0.1351	* 0.7916	** -0.9137	** -0.9274	-0.5002	* -0.7695
200m			** 0.9768	-0.3266	* 0.8103	** -0.9151	** -0.9018	-0.3611	-0.7287
400m				-0.1458	0.7933	** -0.9883	** -0.9487	-0.5082	* -0.8805
$\dot{V}O_2\max$ (1)					0.2750	0.3768	0.0818	-0.5560	0.1730
$\dot{V}O_2\max$ (ml)						-0.5547	-0.6848	-0.5985	-0.4536
V(HRmax)							** 0.9328	0.4426	** 0.8852
E.M.E.max								0.5695	* 0.8193
E.M.E.0.9									0.6380
E.M.E.75%									

* Significant at 0.05 level

** Significant at 0.01 level

$\dot{V}O_2\max$ (1) : $\dot{V}O_2\max$ (l/min) $\dot{V}O_2\max$ (ml) = $\dot{V}O_2\max$ (ml/kg·min)

E.M.E.max = Maximal value of estimated M.E. E.M.E.0.9 = Estimated M.E. at 0.9m/sec

E.M.E.75% = Estimated M.E. at 75% of V(HFmax)

の差は、1%レベルで有意であり、自転車作業中の最大心拍数のほうが、水泳中の最大心拍数よりも高かった。

○考察

本研究の目的は、簡易に測定できる心拍数をパラメーターとして水泳の効率を推定し、身体的機能及びパフォーマンスの観点から検討することであった。

まず、最大酸素摂取量の点から考察してみよう。本研究で得た被検者の最大酸素摂取量（平均3.26 l/min）及び、単位体重当りの最大酸素摂取量（平均50.5ml/kg·min）は、Magel and Faulkner (1967) が大学生泳者について報告した、ランニング中の55.5ml/kg·min、水泳中の55.0 ml/kg·min、Cook and Brynteson(1973) が報告している56.4 ml/kg·min、Cunningham and Eynon(1973) の報告している 55.9 ml/kg·min ±4.06、Saltin and Åstrand (1967) の報告している最大酸素摂取量よりも低かった。

1) 泳速と心拍数の関係

心拍数と泳速の関係を測定するために用いた各トライアルの3本目から6本目の心拍数は、

ほぼ一定の値を示し、心拍数が定常状態になっていることを示した（宮下1970）。心拍数と泳速の関係では、各被検者とも0.1%レベルで有意な相関のある直線回帰を示した。従って、スピードが大きき時には、酸素摂取量がほぼ直線的に増加する。さらに、Holmér (1974) が、水泳中に心拍数は酸素摂取量の増加に伴って直線的に増加すると報告している。また、Treffene et al. (1979) が大きな泳速では、心拍数と泳速の関係は直線的になると述べている。本研究における実験時の泳速は、各被検者のV(HRmax)の66%以上と高かったため、心拍数と泳速の関係は直線的になったと思われる。

V(HRmax) は各被検者において、0.95m/secから1.49m/secの範囲があった。Treffene et al. (1979) は400m等の長距離の競技は、V(HRmax)よりも少し大きなスピードで行われていると述べている。これは、Treffeneらの実験では、1トライアルの持続時間が5～6分と400mのパフォーマンスタイムと同じくらいの長さだったのに対し、本研究の1トライア

ルが4～5分と短かったことに関連していると思われる。

2) 自転車作業で得た回帰式について

自転車エルゴメーター作業で得た、心拍数と相対作業強度の関係は、5%レベルで有意な直線回帰方程式を示した(表3)。これは、心拍数と相対作業強度に対する今までの研究と一致する(Ames (1976), Åstrand et al. (1964), 猪飼と山地(1971))。しかしながら、実験が一度しか行われなかったため、求められた直線の誤差に関する検討ができなかった(青木, 形本1977, 古田1976, 生田1976)。

3) 推定された機械的効率について

本研究で推定された機械的効率1.7～6.6%はKarpovich and Sinning (1971)が報告した0.5～2.2%はより高かったが, Holmér (1972)が報告した0.5～5.9%, Rennie et al. (1975)が報告した2.9～7.4%, Holmér (1975)の5.6～6.6%という報告とほぼ同じであった。

効率を求める上で、エネルギー消費量と同様に重要なのは、仕事量(W)である。

仕事量は、抵抗と移動距離の積で表わされる。本研究では、Miyashita and Tsunoda (1978)の報告した

$$R=2.49V^{1.91}(\text{kg})$$

の式で抵抗を推定したが、彼ら自身抵抗には大きな個人差があると述べているので、各被検者の計算された仕事量には誤差があるかもしれない。

また、この公式が泳速(V)の関数になっているため、測定された泳速は重要な要素である。本研究における泳速は50mの泳速の平均として、パフォーマンスタイムから計算された。

一方、Holmér (1974)は、水泳中の抵抗は受動的に牽引されて測定した抵抗の1.5～2倍と報告している。Miyashita and Tsunoda(1978)によって報告された公式も、受動的牽引による抵抗であるから、この点、仕事量が低く見積られていると思われる。

4) 測定した各変数間の相関について

100m, 200m, 400mの各パフォーマンス

タイム間に1%レベルで有意な相関があったのは、3つのパフォーマンスが、技術と体力において密接な関連性を持っていることを示している。

多くの研究者が、パフォーマンスに対して最大酸素摂取量が重要な役割を果たしていると報告している(小林, 宮下1971, 宮下1968)。

Holmér (1974)は、水中では体重が浮力によって小さくなるため、絶対値としての最大酸素摂取量(l/min)が重要であると述べている。しかし、本研究では最大酸素摂取量(l/min)とパフォーマンスタイムの間には有意な相関はなかった。

単位体重当りの最大酸素摂取量(ml/kg.min)と、100m, 200mのパフォーマンスの間には5%レベルで有意な正の相関があった。これは有気的能力の優れた被検者は、パフォーマンスタイムが悪いという結果を示している。しかし、最大酸素摂取量はパフォーマンスを決定する上で重要な要因であり、より高いパフォーマンスを行うためには、より大きな有気的パワーが必要であると一般に認められている。本研究における被検者を検討した結果、最大酸素摂取量の大きかった被検者は、大学に入ってから水泳を始めた者が多く、以前に他の競技でトレーニングを行っていて、有気的能力がすぐれていた。これに対し、以前から水泳をしていてパフォーマンスのすぐれた被検者の最大酸素摂取量が低かった。

水泳のパフォーマンスと最大酸素摂取量に相関がなかったため、水泳において技術が重要であるといえる。技術の重要性は多くの研究者が指摘している(Åstrand (1978), Cunningham and Eynon (1973), 宮下 (1970), (1971), (1972))。

V (HRmax)と各パフォーマンスタイムの間には1%レベルで有意な相関があった。

推定された最大効率がパフォーマンスタイムと1%レベルで有意な相関を持っていたのは、最大値を出した時の泳速がV (HRmax)に極めて近かったためと思われる。

0.9 m/sec の泳速に基づいて推定した効率は、どの項目とも有意な相関がなかった。これは、泳速0.9 m/sec が、各被検者にとって同じ相対的強度でなかったためである(佐藤1977)。

また、Karpovich (1933) が述べたように、低いスピードでは皮膚摩擦による抵抗の割合が大きいため、体の大きな者と小さな者の差が問題となる。従って、本研究の場合同じスピードにおける効率の比較は無意味といえる。

V (HRmax) の75%の泳速に基づいて推定した効率は、100m, 200mのパフォーマンスタイムと5%レベルで有意な相関を示した。しかし、3名の被検者ではV (HRmax) の75%が、実験時の泳速を下回ってしまったため、この効率とパフォーマンスタイムを比較することには疑問が残る。

5) 水泳中と自転車作業中の最大心拍数について

水泳中の最大心拍数と自転車作業中の最大心拍数の有意な差は、2つの運動が循環系の機能に与える効果の違いを推測させる。もし、Holmér (1975) が述べたように、同一の心拍数に対する酸素摂取量が、水泳中と自転車作業中で変わらなければ、効率を推定する上で影響はない。けれども、本研究では水泳中の心拍数と酸素摂取量の関係が測定されなかったため、断定することはできない。

○ 結 論

水泳、殊に競泳のパフォーマンスは、個人の持つ最大のエネルギー出力と技術を動員して行われる。

本研究において、身体の持つ最大エネルギー出力の指標である最大酸素摂取量が、パフォーマンスタイムと有意な相関がなかったため、水泳では、技術が重要な役割を果たしていると思われる。

本研究で測定したV (HRmax) と推定された効率の最大値は、各被検者における最大のエネルギー出力と技術が総合された測定値と考えられ、100m, 200m, 400mのパフォーマンス

タイムとの間に1%レベルで有意な相関があった。従って、V (HRmax) と推定された効率の最大値は、泳者のパフォーマンスを評価するのに役立つといえよう。

参 考 文 献

- 1) Ames, S.A.: Trend analysis of the %VO₂max -HR regression. *Med. Sci. Sports*, 18 (2) :122-125, 1976.
- 2) 青木純一郎, 形本静夫, 漸増負荷時と漸減負荷時における心拍応答の差, *体育の科学*, 27(4), 243-247, 1977.
- 3) Araujo, C. G. S., R. C. Pavel, and P. S. C. Gomes, : Gomparison of somatotype and speed in competitive swimming at different phases of training. Terauds, J. and E. W. Bedingfield(eds) *Swimming III*, International Series on Sports Science, Vo18, pp329-337, Univ, Park Press, Baltimore, 1979.
- 4) Åstrand, P. O. :Aerobic power. Erikson, B. and B. Furberg(eds) *Swimming IV*, International Series on Sports Science, Vo16, pp127-131. Univ. Park Press, Baltimore, 1978
- 5) Åstrand, P. O., T. E. Cuddy B. Saltin, and J. Stenberg, :Cardiac output during submaximal and maximal work. *J. Appl. Physiol.* 19:298-274, 1964.
- 6) Cook, B. and P. Brynteson, :Effect of a season of collegiate swimming competition and training on selected responses. *Res. Quart.* 44 : 63-70, 1973.
- 7) Craig, Jr. A.B., W. L. Boomer, and J. F. Gibbons, : Use of stroke rate, distance per stroke, and velocity relationships during training for competitive swimming, Terauds, J. and E. W. Bedingfield(eds) *Swimming III*, International Series on Sports Science, Vo18, pp265-274. Univ. Park Press, 1979.
- 8) Cunningham, D. A. and B. B. Eynon, : The working capacity of young competitive swimmers, 10-16 years of age. *Med. Sci. Sports*, 5: 227-231;1973.
- 9) 古田善伯：間欠負荷と連続負荷における心拍数, *体育の科学* vol 26 (11) : 780-782,1976.

- 10) Holmér, I.: Oxygen uptake during swimming in man. *J. Appl. Physiol.* 33:502-509, 1972.
- 11) Holmér, I.: Physiology of swimming man. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 407:1-53, 1974.
- 12) Holmér, I.: Efficiency of breaststroke and freestyle swimming. Clarys, J.P. and L. Lewillie (eds) *Swimming II*, International Series on Sports Science, Vol 2, pp130-136, Univ. Park Press, Baltimore, 1975.
- 13) Ikai, M., K. Ishii, and M. Miyashita, : An electromyographic study of swimming. *Research Journal of Physical Education*, 7 (4) : 47-54, 1964.
- 14) 猪飼道夫, 山地啓司: 心拍数からみた運動強度—運動処方の研究資料として— *体育の科学* 21(9) 589-593, 1971.
- 15) 生田香明: 負荷テストにおける心拍数の再現性, *体育の科学*, 26(11) : 785-787, 1976.
- 16) Karpovich, P. V. : Water resistance in swimming. *Res. Quart.* 4:21-28, 1933.
- 17) Karpovich, P.V. and W.E. Sinning, : Physiology of muscular activity. pp130-134, W.B. Saunders Company 1971.
- 18) 小林寛道, 宮下充正, 競泳, 世界記録の変遷—自由形について— *体育の科学*, 21 (6) : 364-367, 1971.
- 19) Magel, J. R, and J.A. Faulkner, : Maximum oxygen uptakes of college swimmers. *J. Appl. Physiol.* 22:929-933, 1967.
- 20) 宮下充正: 水泳選手の筋力と技術について *体育の科学* 11 (12) : 613-618, 1961.
- 21) 宮下充正: クロールストロークにおける腕のかきの方向と速さ. *体育の科学* 17(5) : 278-281, 1967.
- 22) 宮下充正: 水泳の技術と体力. *体育の科学* 18 (5) 314-317, 1968.
- 23) 宮下充正: インターバル水泳中の休息期の違いによる心拍数および水泳スピードの変動. *水泳の科学* pp124-133, 1970 杏林書院.
- 24) 宮下充正: 水泳の科学—キネシオロジーと指導への応用—, pp150-151, 杏林書院, 1970.
- 25) 宮下充正: 水泳のキネシオロジー. *体育の科学*, 21(6) : 358-363, 1971.
- 26) 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— 研究報告集 日本体育協会スポーツ科学委員会, 1972年度.
- 27) Miyashita, M.: Method of calculating mechanical power in swimming the breast stroke. *Res. Quart.* 45:128-137, 1974.
- 28) Miyashita, M. and T. Tsunoda, : Water resistance in relation to body size. Erikson. B. and B. Furberg, (eds) *Swimming IV*, International Series on Sports Science. Vol 6, pp 395-401, Univ. Park Press, Baltimore 1978.
- 29) Rennie, D. W., D. R. Pendergast, and P.E. di Prampero, : Energetics of swimming in man. Clarys, J. P. and L. Lewillie, (eds) *Swimming II*, International Series on Sports Science, Vol 2, pp97-104, Univ. Park Press. Baltimore, 1975.
- 30) Saltin, B. and P. O. Astrand. : Maximum oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 23(3):353-358, 1968.
- 31) 佐藤佑: 心拍数の運動への適応. *体育の科学*, 27(4) : 239-242, 1977.
- 32) Treffene, R. J., J. Alloway, and J. Jull, : Use of a heart rate meter in swimming and athletic performance measurement. Terauds, J. and E. W. Bedingfield(eds) *Swimming III*, International Series on Sports Science. Vol 8, pp275-280, Univ. Park Press. Baltimore, 1978.