競泳パフォーマンスの限定要因に関する検討
—MADシステムを用いた力学的・代謝的解析より—

鹿屋体育大学　荻田　太
（共同研究者）同　田巻弘之
同　前田　明
同　我妻　玲

The Determinants of Swimming Performance
—From The Mechanical and Metabolic Analysis with MAD System—

by

Futoshi Ogita, Hiroyuki Tamaki
Akira Maeda, Akira Wagatsuma
Department of Physiological Sciences,
National Institute of Fitness and Sports

ABSTRACT

The determinants of swimming performance was examined from the physiological and mechanical analysis in swimming by the 13 trained college swimmers (age ; 20 ± 1yrs). Maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$), maximal blood lactate concentration (MBLC) and onset of blood lactate accumulation (OBLA) as physical fitness factors, and a drag coefficient, a drag exponent, and maximal propulsive power (MPP) as mechanical factors were determined. All mechanical factors were measured with a MAD (Measurement of Active Drag) system. Also, a swimming time of 100m and 200m swimming with maximal effort was measured. Swimming performance significantly correlated with MBLC, OBLA

and MPP ($p<0.01$), but not with $\dot{V}O_{2max}$, drag coefficient and drag exponent. Then, multiple regression analysis was done to predict of swimming performance with MBLC, OBLA, and MPP as independent variables. The analysis proved that MBLC and the OBLA in 100m, and OBLA and MPP in 200m were adopted as the significant predictors in swimming performance. These results suggest that MBLC as an indicator of anaerobic capacity, OBLA and MPP which would associate with the swimming technique would be dominant determinants of swimming performance, at least of 100m and 200m event, in well trained swimmers.

要　旨

本研究は，水泳時の生理学的および力学的解析値をもとに，競泳パフォーマンスの限定要因について明らかにすることを目的とした．被検者は年齢20歳の良く鍛錬された大学水泳選手13名であった．本実験においては，体力要因として最大酸素摂取量，最大血中乳酸濃度，およびOBLAを，また力学的要因として抵抗係数，抵抗指数，および最大推進パワーをそれぞれ測定した．力学的指標の測定は，すべてMAD（Measurement of Active Drag）システムを用いて行われた．また，合わせて100mと200m泳記録を測定した．泳パフォーマンスと各指標との相関をみると，最大血中乳酸濃度，OBLA，最大推進パワーとの間に有意な相関が得られた（$p<0.01$）．さらに，重回帰分析を用いて泳パフォーマンスに対するこれらの指標の関与を検討すると，100mにおいては最大血中乳酸濃度とOBLAが，200mにおいてはOBLAと推進パワーがそれぞれ有効な指標として採用された．以上の結果より，100mおよび200m泳パフォーマンスには，最大無酸素性エネルギー供給能力の指標としての最大血中乳酸濃度，ある程度泳技術も関与するOBLAそして最大推進パワーが重要な因子であることが示唆された．

緒　言

競泳競技は50mから1500mまでの距離種目からなり，時間にすると世界のトップレベルにしておよそ22秒から15分を要する．距離種目が異なれば，当然それぞれの運動強度や運動時間（泳距離）が異なってくる[5, 6, 9]ため，それに伴い重要な体力因子も変わってくる．したがって，競泳選手は自分の種目に重要な体力因子を的確に抽出し，トレーニングによって特異的に向上させなければならない．

しかしながら，競泳パフォーマンスは体力因子のみならず，体格や姿勢にともなって変化する抵抗力や，推進効率などの技術因子にも大きく影響を受ける．しかしながら，水泳中の抵抗や推進力，また技術因子に関する力学的解析に関しては，これまで適切な測定方法，あるいは実験装置が開発されていなかったこともあり，直接的な検討はほとんどなされていない．

そこで本研究は，近年本研究室で開発された抵抗測定装置MAD（Measurement of Active Drag）システムを用い，抵抗係数や推進パワーなどの力学的解析に基づいた技術因子と，これまで用いられてきた最大酸素摂取量やOBLAなどの生理学的解析に基づいた体力因子とを総合的に考慮し，競泳パフォーマンスの限定要因を明らかにすることを目的とした．

1．研究方法

1．1　被検者

本実験における被検者は年齢20±1歳，身長165.6±7.8cm，体重62.7±8.5kgの良く鍛錬された大学競泳選手13名であった（男子4名，女子9名）．被検者は全員が全日本学生選手権に出場，あるいは入賞の経験を持ち，1人は世界選手権出場の経験があった．実験に先駆けて，被検者は実験の意義，測定手順，およびそれに伴う危険性などについての説明を受け，それらを理解した上で被検者になることに同意し，自主的に参加した．

1．2　実験手順・方法

各項目は以下の手順，方法により，それぞれ別日に測定された．

1．2．1　最大酸素摂取量

本実験における最大酸素摂取量は，自転車エルゴメーター運動による負荷漸増法によって測定された．ペダルの回転数は毎分70回転とした．運動強度は，女子選手が68.6Wまたは102.9Wから，男子選手が137.2Wより開始され，女子選手においては13.7Wずつ，男子選手においては17.2Wずつ漸増された．酸素摂取量は，運動開始後4分目から1分，あるいは30秒ごとに測定され，最も大きかった値を最大酸素摂取量とした．

なお，酸素摂取量はダグラスバッグ法によって測定された．呼気ガス中の酸素濃度（パラマグネティック法）と二酸化炭素濃度（非分散赤外線吸収法）は，自動ガス分析機（Vmax29C，センサーメディックス社製）によって定量された．ガス量は乾式ガスメーター（品川製作所社製）によって定量し，同時にガス温も求めた．

1．2．2　OBLAの測定

OBLAの測定は，50m静水プールにおいて，全員クロール泳で行われた．被検者は，異なる泳速で200mを5本泳いだ．設定強度は，プレテストによって測定された200m全力泳の平均速度の80%，84%，88%，92%，100%（全力泳）相当とした．1本目から4本目までのセット間の休息は5分間とし，5本目の全力泳は約15分の休息を取って行われた．なお，1本目から3本目までの血中乳酸濃度は運動終了直後に，4，5本目は3分後に測定された．

また，血中乳酸濃度は，指尖より採取したサンプルを用い，自動分析機（Lactate Pro，アークレイ社製）によって測定された．OBLAは血中乳酸濃度が4mmol·l^{-1}に相当する泳速とし，最適近似法によって求められた各被検者の泳速と血中乳酸濃度の関係から内挿した．

1．2．3　抵抗と泳速の関係，推進パワー

抵抗の測定は，本研究室で開発されたMADシステム（ヤガミ社製）を用いて行われた．図1に示すように，被検者は水中に設置された固定板を1ストロークごとに押しながら，一定速度で25mを泳いだ．固定板は1.35m間隔で，水面から0.7mの深さに設置された23mの水平ロッドに装着された．被検者が固定板を後方向へ押した力（推進力＝抵抗値）は，プール壁にて水平ロッドと連結されたトランスデューサーによって測定された．力信号はローパスフィルター（30Hz以下をカッ

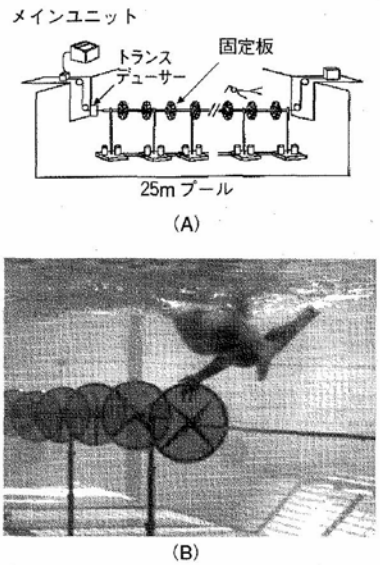

図1　MADシステムの概要図（A）と，実際の実験中の水中写真（B）

ト）処理後，デジタル信号化され，100Hzの頻度でコンピューターに取り込まれた．本実験では，クロール泳のアームストロークのみを用い，測定時はキック動作を行わないようにプルブイを挟んで泳がせた．

平均の推進力（＝抵抗値）は，第1固定板より最終固定板までの力信号が積分され，そこを泳ぐのに要した時間で除して算出した．また，平均泳速は，第1固定板から最終固定板までに要した時間とその固定板間の距離より算出された．さらに，最大努力で泳いだときの推進力と平均泳速の積より最大推進パワーを算出した．

抵抗と泳速の関係を求めるために，各被検者は0.8～1.9 $m \cdot s^{-1}$の範囲で8回以上泳ぎ，それぞれの試行における泳速と抵抗値（＝推進力）が求められた．これらの泳速と抵抗値の関係は，最小二乗法を用い，以下のような関数として求められた．

$Fd=A \cdot v^n$　ここでAとnはこの回帰式の比例定数（抵抗係数と抵抗指数）である．

1．2．4　泳パフォーマンス

選手の泳パフォーマンスを評価するために，全員に100mと200mの全力泳を課した．タイムは，ストップウォッチによって計測した．測定に先駆け，被検者は各自，試合で行うウォーミングアップを1時間ほど行った．測定は200m，100mの順で行い，両測定間には1時間の休息を挟んだ．

1．3　統計処理

測定値は個人値，平均値および標準偏差で表した．泳パフォーマンスと各項目との関係を検討するためにPeasonの単相関係数を算出した．さらに，泳パフォーマンスと各因子との関係を検討するため，各体力因子および力学的因子を独立変数，100m，200m泳パフォーマンスを従属変数として，重回帰相関を行った．いずれも危険率5%未満を有意とした．

2．結　果

2．1　泳パフォーマンスと各因子との単相関

最大酸素摂取量，最大血中乳酸濃度，OBLA，AおよびN（抵抗係数と抵抗指数），最大推進パワーの個人値と平均値を表1に表した．また，100m，200m全力泳の泳記録，およびそれらから算出された泳速は，それぞれ60.89±3.13秒，129.25±5.19秒，1.646±0.088 $m \cdot s^{-1}$，1.550±0.065 $m \cdot s^{-1}$であった．

泳パフォーマンスに影響を与えている体力および力学的因子を明らかにするために，100mと

表1　泳記録，泳速，最大酸素摂取量，最大血中乳酸濃度，OBLA，A（抵抗係数）およびn（抵抗指数），最大推進パワーの個人値と平均値

被検者	100m 秒	200m 秒	100m泳速 $m \cdot s^{-1}$	200m泳速 $m \cdot s^{-1}$	最大酸素摂取量 $l \cdot min^{-1}$	最大血中乳酸濃度 $mmol \cdot l^{-1}$	OBLA $m \cdot s^{-1}$	A	n	最大推進パワー W
A	55.74	121.36	1.794	1.648	3.36	17.7	1.473	14.1	2.50	96.1
B	55.29	117.59	1.809	1.701	3.01	14.9	1.521	18.9	2.39	191.6
C	57.11	122.53	1.751	1.632	3.93	15.9	1.480	25.3	1.75	148.9
D	59.75	129.3	1.674	1.547	3.08	13.9	1.403	14.6	2.35	95.1
E	64.52	133.46	1.550	1.499	3.29	9.6	1.399	15.6	2.17	34.5
F	59.78	124.75	1.673	1.603	2.92	9.1	1.506	13.1	2.01	55.2
G	62.92	133.43	1.589	1.499	2.11	13.7	1.379	17.2	2.02	46.0
H	61.95	132.66	1.614	1.508	3.14	13.7	1.414	15.4	2.23	73.1
I	63.19	133.26	1.583	1.501	2.84	8.3	1.430	14.9	2.07	56.2
J	61.95	129.70	1.614	1.542	2.22	12.7	1.480	12.9	2.17	37.4
K	62.81	131.88	1.592	1.517	2.54	13.7	1.437	18.7	1.92	82.7
L	64.54	130.21	1.549	1.536	2.62	9.0	1.428	17.0	2.26	87.6
M	62.06	130.94	1.611	1.527	2.12	13.7	1.409	15.4	1.68	56.4
平　均	60.89	128.54	1.646	1.558	2.86	12.8	1.443	16.4	2.12	81.6
標準偏差	3.13	5.25	0.088	0.066	0.53	2.9	0.044	3.3	0.24	45.2

200mの泳速と各因子との関係について単相関係数を求めた（表2）．その結果，泳記録は最大血中乳酸濃度（100mのみ），OBLA，最大推進パワーと有意な相関が認められた（いずれも$p<0.01$）が，最大酸素摂取量および抵抗に関係する係数とは有意な相関はなかった．

2．2　泳パフォーマンスと各因子との重回帰相関

さらに，泳パフォーマンスとの関与を明確にするために，100mおよび200mの泳速を従属変数，最大血中乳酸濃度，OBLA，最大推進パワーを独立変数として重回帰分析を行った．その結果，100m，および200mの泳速に対する重相関係数は，それぞれ0.929，0.947と非常に高く（$p<0.01$），100m，200m泳パフォーマンスはこれらの3つの独立変数によってそれぞれ86.3%，89.7%と説明できることがわかった．得られた重回帰関数は以下の通りである．100m泳速＝0.090+0.014（最大血中乳酸濃度）+0.923（OBLA）+0.001（最大推進パワー）200m泳速＝0.178+0.005（最大血中乳酸濃度）+0.885（OBLA）+0.001（最大推進パワー）また，独立変数として採択された変数は，100m泳においては最大血中乳酸濃度とOBLA（いずれも$p<0.05$），200m泳においてはOBLA（$p<0.01$）と最大推進パワー（$p<0.05$）であった（表3）．

3．考　察

本実験は，エネルギー供給能力を反映した体力因子と技術面を反映した力学的因子の総合解析より，競泳パフォーマンスの決定に影響する因子（限定要因）について検討した．

3．1　測定値の妥当性

3．1．1　抵抗測定装置からの測定値

本実験における抵抗測定装置は，Toussaintら[12,13]によって開発された装置に若干改良を加えて作られたものである．この装置における抵抗測定は，一定の速度で泳いでいる（加速度のない状態で泳いでいる）とき泳者が発揮した推進力と抵抗値はつり合っているという原理に基づいたものである．また，他の研究において，クロール泳時の1ストローク内の泳速変化は無視できる程度である[4]ことが確認されていることから，本実験においてもクロール泳を用いた．

一般に，抵抗は泳速のほぼ2乗に比例して増加することが知られている[13,15]．本実験で求められた抵抗指数（n）も2.12であり，同様のMADシステムを用いたToussaintらの先行研究[13]の値とほぼ一致した．一方，抵抗係数（A）に関しては，先行研究[13]の値と比較して，本実験の方が小さい値であった．この抵抗係数は，水面下の前方投影面積に大きく影響を受けるため，泳者の体格そのものや脚の沈下などによる姿勢の違いによって大きく影響される．本実験においては，先行研究と同様にプルブイを用いて泳いだことから，脚へは同様の浮力が作用し，脚の沈下による姿勢の乱れが大きく影響したとは考えにくい．一方，被検者の体格を比較すると，本実験の被検者の体

表2　100mおよび200m泳速と各体力指標，力学的指標との相関関係

	100m泳速	200m泳速	最大酸素摂取量	最大血中乳酸濃度	OBLA	A	n	最大推進パワー
100m泳速	1	0.939**	0.530	0.695 **	0.702**	0.285	0.298	0.772**
200m泳速		1	0.481	0.505	0.836**	0.307	0.291	0.802**

** $p<0.01$

表3　重回帰相関の結果

	独立変数		
	最大血中乳酸濃度	OBLA	最大推進パワー
100m	0.468*	0.466*	0.274
200m	0.209	0.596**	0.365*

表中の値は標準偏回帰係数 ** $p<0.01$ * $p<0.05$

格（身長165.6±7.8cm，体重62.7±8.5kg）は，先行研究のそれ（身長181±7 cm，体重76.7±9.3 kg）よりかなり小さいものであった．したがって，先行研究との抵抗係数の違いは，被検者の体格の違いに起因したものと考えられる．以上のことを総合的に考慮すると，本装置で得られた抵抗値，および抵抗係数，抵抗指数などの力学的指標は妥当であると考えられた．

3．1．2　最大酸素摂取量

本実験では，最大酸素摂取量のみ自転車エルゴメーター運動によって測定した．トレーニングの特異性から考慮すると，全身で運動を行う水泳選手の最大酸素摂取量は，脚運動である自転車運動よりも，水泳運動中に測ることが望ましい．しかしながら，鍛錬された水泳選手において，ランニング，自転車エルゴメーター運動，および水泳運動時の最大酸素摂取量を比較した報告によると，最も高い値はランニング中に得られ，水泳時の値はそれより若干低いものの（90～95%），自転車エルゴメーター運動時のそれとほぼ同様であることがわかっている[1,3,8]．したがって，主活動筋群が異なるとしても，自転車エルゴメーター運動時に得られた最大酸素摂取量は，水泳運動時のそれを反映する，あるいはほぼ類似した値であるとみなし，本実験では分析に供した．

また，本分析においては最大酸素摂取量の絶対値を用い，体重あたりの相対値を用いなかった．これは，水泳運動の場合，水中では体重の影響がほぼ消失してしまうこと，また体重を移動させる陸上運動ではなく，抵抗に打ち勝って進む競技であるため，体重当たりの相対値が意味をなさないからである．そのため，水泳運動では絶対値そのものから被検者のエネルギー供給能力を評価することが妥当とされており，本実験においても絶対値そのものを分析に供した．

3．2　泳パフォーマンスに関与する要因

本解析には，体力因子として最大酸素摂取量，最大血中乳酸濃度，OBLAを，そして技術因子として抵抗値を決める抵抗係数と抵抗指数，および最大推進パワーを取り上げ，100m，200m泳パフォーマンスとそれぞれの因子との関連性を検討した．

これらの中で，泳パフォーマンスと有意な相関関係が認められた因子は，最大血中乳酸濃度，OBLA，および最大推進パワーであった．そこで，これらの指標と泳パフォーマンスとの関与を明確にするために，100mおよび200mのそれぞれについて，泳速を従属変数，最大血中乳酸濃度，OBLA，最大推進パワーを独立変数として重回帰分析を行った．その結果，100m，200m泳パフォーマンスはこれらの3つの独立変数によってそれぞれ86.3%，89.7%説明できることが明らかとなった．この結果は，少なくとも本実験で対象となった水泳選手群において，泳パフォーマンスの優劣は，最大血中乳酸濃度，OBLA，最大推進パワー，これら3つの指標の優劣によって90%近くが決定されることを意味するものである．

さらに，泳パフォーマンスに対する個々の指標の有効性についてみてみると，最高血中乳酸濃度については100mのみに有意と採択された．これは200m競技と比較し，100m競技の方がより無酸素性エネルギー供給系の貢献度が大きいことに起因しているからかもしれない．これまでの報告によると，100m競技のような1分程度で終了する運動においては，全エネルギー消費量の中に占める無酸素性エネルギー供給量は約50%であることがわかっている[9]．これに対し，200m競技においては30～35%程度にすぎない[9]．また，その間の無酸素性エネルギー供給速度も，運動強度の高い100m競技時の方が高い[9]．したがって，100m競技については，約1分という時間内にいかにより大きな無酸素性パワー，とくに乳酸系由来のパワーを発揮し，それを持続できるかが，泳パフォーマンスに関与する大きな要因の1つと考

えられる．本結果を支持するように，先行研究においても，血中乳酸濃度は短距離種目の泳パフォーマンスレベルの指標となり得ることが示されている[7,11]．

次にOBLAをみてみると，この指標は100m，および200mの双方から有効と採択された．OBLAは，乳酸が過剰に蓄積せず，疲労困憊に至ることなく運動を持続できる最大強度とされ，一般的には最大酸素摂取量とともに，持久的運動能力の指標とされている．ところが，同様に持久力の指標とされている最大酸素摂取量との関与は両種目ともに示されていない．さらには100mおよび200mの両種目ともに超最大運動強度で行われているにもかかわらず，OBLAはその泳パフォーマンスと深い関与が示された．いくつかの先行研究においても同様の結果が報告されている[2,10,16]．

水泳中のエネルギーバランスは，以下の式1のように表すことができる[5,15]．

$\dot{E}=Pd/(ep \cdot eg)$ (1)

ここで，$\dot{E}$は単位時間内に供給できるエネルギー量，Pdは抵抗に打ち勝つためのパワー，epは推進効率，およびegは機械的効率である（この式の詳細については文献15参照）．このとき，抵抗に打ち勝つためのパワーは，ある抵抗係数（A）を伴ってほぼ速度の3乗に比例して増加するので，式2のように書き換えられる．

$\dot{E}=Av^3/(ep \cdot eg)$ (2)

この式を速度に関係させて書き換えると，式3のようになる．

$V^3=\dot{E}(ep \cdot eg)/A$ (3)

すなわち泳速は，エネルギー供給能力，推進効率，機械的効率と，抵抗係数の相互関係によって決定されることになる．ここで，水泳中の機械的効率は，泳者の技術や体力，体格，性差に関係なく約9%であることがわかっている[14]ので，実際には他の3つの要因の関数で決まるといってよい．ここでいうエネルギー供給能力とは，いわゆる体力因子として最も基礎を成す有酸素性・無酸素性エネルギー供給能力である．また，推進効率とは泳者が発揮した全機械的パワーの中に占める抵抗に打ち勝つためのパワーと定義され[12,15]，いかに水に無駄なエネルギーを失うことなく，効率よく推進できるかという技術を表す．これまでの研究において，エリート泳者における推進効率は60～70%程度，トライアロンの選手はほぼ40～50%程度であることがわかっている[15]．また，短距離選手よりも長距離選手の方が推進効率が高いことも報告されている．

従来よりOBLAが評価されてきた自転車エルゴメーター運動などでは，運動に対する技術（効率）にそれほど大きな個人差が認められないため，運動強度に対するエネルギー需要率の変化は，どの人においても類似していた．したがって，最大酸素摂取量が高ければ，当然それにともなって最大強度やOBLAにおける強度も高く，直接持久力という体力因子が評価できた．しかしながら，水泳運動の場合，前述したように，運動強度としての泳速は，技術を反映した効率と，体格・姿勢を反映した抵抗因子も相互に関係し合って決まるため，単にエネルギー供給能力の大小のみで決まるわけではない．泳速が同じであっても，発揮されている力学的総パワーは泳者によって異なるため，エネルギー供給能力が高いからといってより高い泳速を作り出せるとは限らないからである．事実，本実験で得られた最大酸素摂取量，最大血中乳酸濃度とOBLA（のときの泳速）との間には相関関係は得られていない（r=0.314，r=0.182，どちらもNS）．したがって，水泳運動で評価されたOBLAは，陸上運動のように単に持久力の評価のみならず，技術的評価，すなわちある決められた泳速をいかに小さいパワーで泳げたかということを大きく反映した指標と考えられる．

最大推進パワーについては200m泳パフォーマンスとの間のみ有効と採択された．この推進パワ

ーが，単純に無酸素性最大パワーのような指標であるならば，むしろ100m泳のような短距離種目との有効性が高そうであるが，実際の結果はそうではなかった．本実験における最大推進パワーは最大泳速とそのときの抵抗力（＝推進力）との積によって算出されたものであるが，抵抗力は泳速のほぼ2乗に比例して増加するので，より高い推進パワーを発揮するにはより高い泳速に見合った推進力を産生しなければならない．

水泳時の推進力は，作用反作用の原理に則って，手や前腕で水を後方へ押し出すことでによって作られる推進力と，ベルヌイの定理に則って作られる揚力との合力とされている．前者は，水にエネルギーを与えることによってできるものである．換言すれば，水に対して無駄にエネルギーを失いつつ推進力を作るということであり，効率の良い推進力の産生法とは言い難い．一方，後者は推進面の角度（迎え角）とその周りの水流によってできるものであり，この推進力産生にはそれほどの代謝的エネルギーは必要ない．したがって，限りある代謝的エネルギーを有効に使うには，揚力による推進力を効率的に産生することが有効であり，かつこれは推進効率などの泳技術と深く関与していると考えられる．したがって，水泳運動時の最大推進パワーも，自転車エルゴメーター運動などによって得られる最大無酸素性パワーなどのように筋力・パワー発揮の高さが反映しているだけのものではなく，より経済性高く効率よく泳ぐための技術を強く反映したものと考えられる．そのため，むしろ距離の長い200mにのみ有効と採択されたのであろう．このように技術を反映した要因については，泳距離がより長くなるほど相関関係が密になることが予測される．

本実験において，従来から泳パフォーマンスと関係があると考えられてきた体力因子の最大酸素摂取量や抵抗因子は，泳パフォーマンスと相関が認められなかった．先述したように，これらの因子は泳速を決定する関数に含まれているので，より大きなエネルギー供給能力，あるいはより抵抗を小さくするような係数は泳速を高めるための必要条件には違いない．しかしながら，そうであるからといって必ず泳速が高いというわけではないことから十分条件ではないということを意味している．これまでにも，ある一定速度で泳いだときの抵抗値そのものが泳パフォーマンスとは直接関係なかったことが示されており，本実験もそれを支持する結果となった．

4．まとめ

本実験は，よく鍛錬された水泳選手13名を用い，最大酸素摂取量，最大血中乳酸濃度，OBLAなどの体力因子と，抵抗係数，抵抗指数，および最大推進パワーといった力学的因子の総合解析より，競泳パフォーマンスの決定する限定要因について検討した．

その結果，泳パフォーマンスと各指標との単相関をみてみると，最大血中乳酸濃度，OBLA，最大推進パワーの3要因との間に有意な正の相関関係が得られた．さらに，それぞれの指標の関与を詳細に検討するために重回帰分析を行った結果，これらの指標で90％近くのパフォーマンスが決することが明らかとなった．中でも，とくに100mにおいては最大血中乳酸濃度とOBLAが，そして200mにおいてはOBLAと推進パワーが有効な指標として採択された．これらの指標は単に体力因子の優劣を反映した結果ではなく，むしろ技術要因を強く反映した結果であることを示唆するものであった．また，従来から泳パフォーマンスと関係があると示唆されていた最大酸素摂取量や抵抗要因は泳パフォーマンスの向上に対して必要条件ではあっても，十分条件ではないことも合わせて示唆された．

謝　辞

本稿を終えるに当たり，本研究に対して助成を賜った（財）石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます．また，MADシステムの開発ならびにデータ解析に対してさまざまなご指導を下さったH.M.Toussaint博士（Vrije Universiteit），被検者の管理および実験実施に対して多大なる協力を頂いた田中孝夫教授（鹿屋体育大学），および被検者の労をとって下さった鹿屋体育大学水泳部員，そして実験補助として協力頂いた運動生理学実験室ゼミ生の皆様に深く感謝致します．

文　献

1) Åstrand, P-O., B.Saltin : Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.* 16, 977-981（1961）

2) Bonifazi, M., G.Martelli, K.Marugo, F.Sardella, G.Carli : Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 33, 13-18（1993）

3) Holmér, I. : Oxygen uptake during swimming in man. *J. Appl. Physiol.* 33, 502-509（1972）

4) Holmér, I. : Physiology of swimming man. In: Exercise and Sports science Reviews, Edt. R.S.Hutton, D.I.Miller. Philadelphia, PA : *Franklin Inst.*, 87-123（1979）

5) 荻田 太，小野寺丈晴，若吉浩二．超最大強度におけるプル，キック，スイム中の代謝特性．水泳水中運動科学 1, 13－18（1998）

6) Ogita, F., T.Onodera, I.Tabata : Effect of hand paddles on anaerobic energy release during supramaximal swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31, 729-735（1999）

7) 荻田 太：水泳中の無酸素性エネルギー供給動態．水泳水中運動科学 2, 47－56（1999）

8) 荻田 太：水泳運動中のエネルギー供給，九州体育・スポーツ学研究 15, 1-13（2001）

9) Ogita, F., T.Onodera, H.Tamaki, H.Toussaint, A.P.Hollander, K.Wakayoshi : Metabolic profile during exhaustive arm stroke, leg kick, and whole body swimming lasting 15s to 10 min. Biomechanics and Medicine in Swimming IX: 361-366（2003）

10) Ribeiro, J.P., E.Cadavid, J.Baena, E.Monsalvete, E.H. De Rose : Metabolic predictors of middle-distance swimming performance. *Br. J. Sports Med.* 24, 196-200（1990）

11) Torma.Z.D., G.Székely: Parateters of acid-base equilibrium at various swimming intensties and distances. Swimming Medicine IV, 274-281（1978）

12) Toussaint, H.M., A.Beelen, A.Rodenburg, A.J.Sargeant, G.De Groot, A.P.Hollander, G.J.Van Ingen Schenau.: Propelling efficiency of front-crawl swimming. *J. Appl. Physiol.* 65, 2506-2512（1988）

13) Toussaint, H.M., G.De Groot, H.H.C.M.Savelberg, K.Vervoorn, A.P.Hollander, G.J.Van Ingen Schenau.: Active drag related to velocity in male and female swimmers. *J. Biomech.* 21, 435-438（1988）

14) Toussaint, H.M., W.Knops, G.De Groot, A.P.Hollander : The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22, 402-408（1990）

15) Toussaint, H.M., A.P.Hollander : Energtics of competitive swimming, Implicatios for traininig programmes. *Sports Med.* 18, 384-405（1994）

16) Wakayoshi, K., T.Yoshida, M.Udo, T.Harada, T.Moritani, Y.Mutoh, and M.Miyashita : Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur.J. Appl. Physiol.* 66, 90-95（1993）