

競泳選手における疲労性作業閾値の非観血的 および簡便的決定法の開発

大 阪 大 学 若 吉 浩 二
(共同研究者) 同 吉 田 敬 義
京 都 大 学 森 谷 敏 夫
セントラルスポーツ研究所 葛 西 拓 司

Development of Simple and Non-invasive Method for Determining Swimming Fatigue Threshold in the Competitive Swimmer

by

Kohji Wakayoshi, Takayoshi Yoshida
Faculty of Health and Sport Sciences, Osaka University
Toshio Moritani
College of Liberal Arts and Sciences, Kyoto University
Takuji Kasai
Institute of Sports Science, Central Sports CO., LTD.

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to determine whether the concept of the critical power could be applied to competitive swimming by using critical swimming velocity (CV) as determined both in the swimming flume (CV-flume) and in the normal swimming pool (CV-pool) and could be utilized as a practical index for assessing swimmer's endurance performance. CV defined as the swimming velocity which could be theoretically maintained and continued for a very long time without exhaustion was expressed as the slope of a regression line between swimming distance (D) and its duration (T) obtained at various swimming velocities. Eight highly trained swi-

mmers were instructed to swim until onset of the fatigue at pre-determined four swimming velocity levels using the swimming flume and the four different swimming distances at maximal effort using the swimming pool. In the results of CV-flume and CV-pool, the regression relations between D and T were expressed in the general form, $D=a+b\times T$, with r^2 showing higher than 0.998 ($P<0.001$), respectively. These results indicate extremely good linearity regardless of the flume or the pool.

Furthermore, maximal oxygen uptake ($\dot{V}_{O_{2max}}$) during incremental exercise test, swimming velocity corresponding 4 mM of blood lactate concentration (V-OBLA) and mean velocity in the 400 m free-style (V-400) were measured on each subject. Significant correlations were found between CV-pool and CV-flume ($r=0.834$, $P<0.01$), CV-pool and V-400 ($r=0.996$, $P<0.01$), V-OBLA and CV-pool ($r=0.895$, $P<0.01$), V-OBLA and CV-flume ($r=0.856$, $P<0.01$), and CV-flume and V-400 ($r=0.823$, $P<0.05$). These data suggest that CV can be determined by relationship between swimming distance and its time (record) measured not only in the flume but also in the normal swimming pool, and CV can be adopted as an index for assessing the endurance performance.

要 旨

本研究の目的は、クリティカルパワー (CP) の概念を競泳競技に応用し、水泳疲労性閾値としてのクリティカルスピード (CV) を求め、CV が持久性運動能力を示す指標として有効であるかを検討することである。この CV は、理論的に疲労せずに長時間泳ぎ続けることのできる最大レベルの泳速度を意味し、泳距離とその時の時間との直線関係のスロープ (傾き) であらわされる。

大学水泳部所属およびスイミングクラブ所属の男子選手 8 名に対し、流水プールを用いて 4 段階の流速 (1.60, 1.65, 1.70 および 1.75 m/s) で、また 25 m のプールにおいて 50 m, 100 m, 200 m, 400 m の最大努力泳を実施した。その結果、各泳

距離とその時の時間との関係は、全被検者において相関係数 0.998 以上で有意な正の関係 ($P<0.001$) を示すことが判明した。そして、CV はその直線の傾きであらわされることになる (流水プールによる CV を CV-flume, 一般プールによる CV を CV-pool とする)。さらに、最大酸素摂取量の測定 ($\dot{V}_{O_{2max}}$) と血中乳酸濃度 4 mM に相当する泳速度の算出 (V-OBLA) を行い、CV-flume, CV-pool, 400 m 泳速度 (V-400) の関係を調査した。その結果、CV-pool と CV-flume ($r=0.824$, $P<0.05$), CV-pool と V-400 ($r=0.998$, $P<0.01$), CV-flume と V-400 ($r=0.823$, $P<0.05$), V-OBLA と CV-pool ($r=0.898$, $P<0.01$), V-OBLA と CV-flume ($r=0.856$, $P<0.01$) そして V-400 と V-OBLA ($r=$

0.907, $P < 0.01$) に有意な関係がみられた。それゆえ、CV は、流水プールだけでなく一般のプールにおいても決定することができ、一般のプールで測定した CV は持久的な運動能力を示す指標としても有効であることが判明した。

まえがき

最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_{2max}}$) は、競技者の有酸素的能力を評価するための客観的な生理学的指標として国際的に認められてきた^{13,18)}。しかしながら、近年、Costill ら²⁾および Ribeiro ら¹⁴⁾は、365.8 m および 400 m 自由形泳における水泳競技力と $\dot{V}_{O_{2max}}$ との間には有意な関係はみられなかったと報告している。一方、持久的運動能力と血中乳酸濃度の関係についての研究報告は、近年多くみられる^{1,5,8,14,19)}。水泳競技においても同様に、血中乳酸濃度 4 mM に相当する泳速度 (V-OBLA) が算出され、それは競技力と有意な関係を示し、さらに有効なトレーニング指標として用いられている^{9,10,16)}。しかしながら、コーチや選手は、練習時間の低減や選手への負担などから、定期的な血液採取を拒む傾向にある。

Monod と Scherrer¹¹⁾ は、最大仕事量とその時の持続時間の間には直線関係があり、その直線のスロープ (傾き) をクリティカルパワー (CP) と定義した。その CP は、疲労することなく運動の継続が可能な最大レベルの運動強度とした。そして、Moritani ら¹²⁾は、この概念を全身運動に応用し、CP と無酸素性代謝閾値との間に有意な正の相関関係があることを示した。Wakayoshi ら²¹⁾は、この CP の概念を流水プールを用いて水泳競技に応用し、疲労することなく泳ぎ続けられることのできる最大レベルの泳速度としてクリティカルスピード (CV) を定義した。そして、流水プールにおける各流速での泳距離と持続時間との間には直線関係がみられるので、その直線の傾きを理論的に CV としてあらわすことができることが報

告されている²¹⁾。しかしながら、流水プールは、各流速での泳距離と持続時間を測定するためには優れた装置であるが、実験装置として高価であるので一般に普及している測定装置ではない。したがって、選手やコーチは、流水プールによる選手の CV の測定を容易に行うことはできない。

本研究の目的は、この CP の概念が流水プールだけでなく、一般プールを用いて応用することができるか否かを確認すること、および一般プールを用いて求められた CV が持久的運動能力を示す指標 (水泳疲労性閾値) として有効であるかを検討することである。

1. 研究方法

1) 被検者

被検者は、大学水泳部所属およびスイミングクラブ所属の男子選手 8 名 (平均 19.3 ± 0.9 歳) であった。被検者の身体的特性 (身長、体重) および専門種目を表 1 に示した。

2) $\dot{V}_{O_{2max}}$ の測定

各選手の最大有酸素能力は、流水プールを用いて漸増運動負荷テスト中に測定した。運動 (泳法はクロール) は、始めに 0.9 m/s の流速で 3 分間のウォーミングアップを行い、3 分間の休息を行った。最初の流速は 1 m/s と設定して、開始から 6 分後までは 1 分間に 0.1 m/s ずつ泳速度を漸増し、その後は 1 分間に 0.05 m/s ずつ、被検者が疲労困憊に至るまで漸増した。呼気ガス濃度および呼気量は、被検者に取り付けた呼気マスクより蛇管を通して 30 秒ごとに分析し、 \dot{V}_{O_2} 、 \dot{V}_{CO_2} および VE を測定した (AE-280, ミナト医科学)。 $\dot{V}_{O_{2max}}$ は、漸増運動負荷テスト中に得られた酸素摂取量の最大値とした。

3) 血中乳酸テストと OBLA の決定

各被検者の持久的運動能力を評価するために血中乳酸濃度 4 mM に相当する点 (OBLA: Onset of Blood Lactate Accumulation)⁶⁾ が用いられ、

表1 The physical characteristics, the performance and test results for each subject

Sub.	Age (years)	Height (cm)	Mass (kg)	Speciality	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	V-400 (m/s)	V-OBLA (m/s)	CV-flume (m/s)	r^2	CV-pool (m/s)	r^2
1	19	174.5	70.3	Fr-S	64.2	1.610	1.522	1.541	0.999	1.548	0.999
2	19	181.8	74.9	Fr-S	74.0	1.523	1.387	1.504	0.998	1.457	0.998
3	19	179.7	78.3	Fr-S	70.2	1.575	1.428	1.525	1.000	1.510	1.000
4	16	181.3	70.2	Fr-S	56.9	1.571	1.467	1.508	0.999	1.508	1.000
5	21	174.0	78.2	Fr-M	65.5	1.646	1.523	1.511	0.998	1.589	0.999
6	20	174.5	68.5	Fr-M	74.3	1.681	1.508	1.571	1.000	1.633	1.000
7	16	169.0	68.8	Fr-M	59.4	1.580	1.461	1.527	1.000	1.530	0.999
8	24	181.8	70.8	Fr-L	58.1	1.715	1.654	1.654	0.998	1.666	1.000
Mean	19.3	177.1	72.5		65.3	1.613	1.494	1.543		1.555	
S. E.	0.9	1.7	4.0		2.5	0.023	0.028	0.018		0.025	

Fr : freestyle (S : 50m and 100m, M : 200m and 400m, L : 400m and 1500m), $\dot{V}O_{2max}$: maximal oxygen uptake, V-400 : velocity of 400m freestyle, V-OBLA : swimming speed at 4 mmol/l of blood lactate concentration. CV-pool and CV-flume : critical velocity determined by using the swimming pool and the swimming flume.

このOBLAでの泳速度 (V-OBLA) を求めた。

被検者は、200 m 泳の best time から計算された最大泳速度の 80%, 85%, 90% および 95% に相当する各泳速度で 4 回の 200 m 泳と、そして最大努力で 1 回の 200 m 泳を行う。それぞれの試技直後、3 分後および 5 分後指先より動脈化血を採取し、血中乳酸濃度を分析した (YSI 231, YSI Co., LTD.)。各試技間の休息時間は 30 分以上とした。

4) 流水プールによるクリティカルスピードの決定

図1は、流水プールを用いた場合のクリティカルスピード (CV-flume) の決定方法について示す。CV-flume を決定するために、1.60, 1.65, 1.70 および 1.75 m/s の 4 段階の流速を用いた。被検者は各流速において疲労困憊に至るまで泳ぎ続けた。そして、各流速における持続時間を計時して、泳距離を算出した。泳距離と持続時間の関係は、図1に示されるように、全被検者においてほぼ直線の関係を示した。

泳距離 (D)、泳速度 (V)、持続時間 (T) とすると、

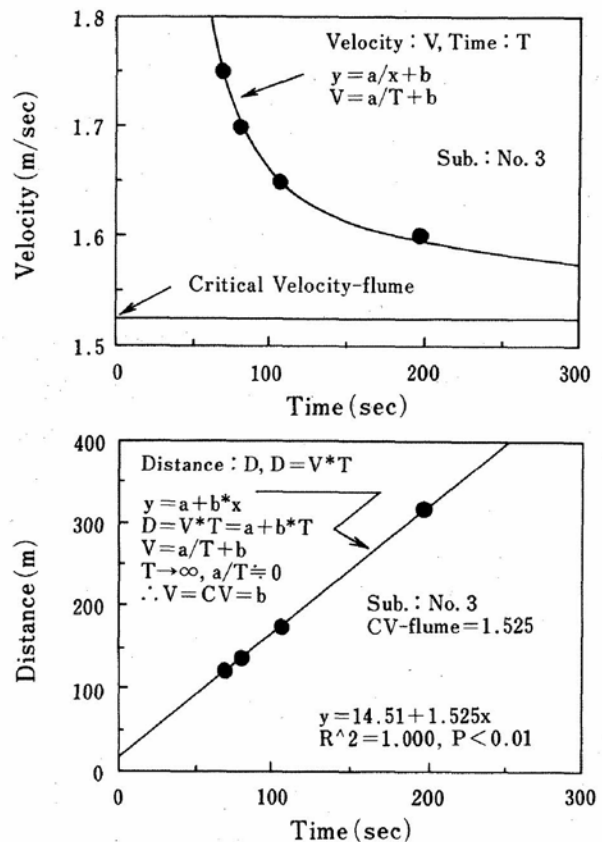


図1 An example of relationship between the predetermined swimming velocity (V) and the limit time (T), and between swimming distance (D) and T (subject 3) using the swimming flume.

$$D=V \times T \quad (1)$$

回帰直線は下記の式であらわすことができる。

$$D=a+b \times T \quad (2)$$

(2) の式に (1) を代入すると、

$$V \times T=a+b \times T$$

$$V=a/T+b \quad (3)$$

理論的に CV は永遠に泳ぎ続けることのできる泳速度であるから、T を無限大 ($T \rightarrow \infty$) であると仮定すると、 a/T は限りなく 0 に近づき、そして V は b になる。それゆえ、CV-flume は直線の傾きであらわすことができる。

$$CV=b \quad (4)$$

5) 一般プールによるクリティカルスピードの決定

図 2 は、一般プールの使用によるクリティカルスピード (CV-pool) の決定方法について示す。縦軸は泳距離、横軸はそれを泳ぐのに要した時間を示す。被検者は、最大努力をもって 50 m, 100 m, 200 m および 400 m の距離を泳ぎ、それぞれの距離の泳時間を計時した。図中に示したそれぞれのポイントは、ほぼ一直線上に位置し、その直線は、 $D=a+b \times T$ であらわすことができる。それゆえ、CV-flume の決定方法と同様に CV-pool が求められる。

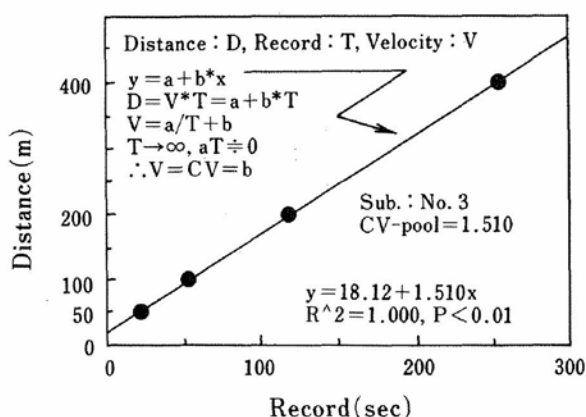


図 2 An example of relationship between the predetermined swimming distance (D) and the swimming record (T) (subject 3) using the swimming pool.

2. 結 果

表 1 は、被検者の身体的特徴、専門種目、競技力そして本研究の実験結果から得られたデータを示す。漸増運動負荷テスト中の $\dot{V}_{O_{2max}}$ は、56.9 ~ 74.3 ml/kg/min, 平均 65.3 ± 0.25 ml/kg/min (\pm SE) であった。また、競技力を示す 400 m 自由形の平均泳速度 (V-400) は、1.523 ~ 1.715 m/s, 平均 1.613 ± 0.023 m/s (\pm SE) を示し、本研究の被検者は競技レベルの高い選手であることがうかがえる。

CV-flume および CV-pool の決定において、泳距離と時間は全被検者において有意な高い相関関係 (表 1) を示し、それらはきわめて一直線上に位置することが判明した。CV-flume は 1.504 ~ 1.654 m/s, 平均 1.543 m/s (SE = 0.018), CV-pool は 1.457 ~ 1.666 m/s, 平均 1.555 m/s (SE = 0.025) となった。CV-pool は CV-flume よりもやや高い傾向を示したが、両者間には有意な差はみられなかった。一方、V-OBLA は 1.387 ~ 1.654 m/s, 平均 1.494 m/s (SE = 0.028) となり、CV-flume および CV-pool よりも有意な低値を示した。

表 2 は $\dot{V}_{O_{2max}}$, V-400, V-OBLA, CV-flume および CV-pool の関係を示し、図 3 は CV-pool と V-400 (A), CV-flume (B) および V-OBLA (C), CV-flume と V-400 (D), V-OBLA と V-400 (E) そして V-400 と $\dot{V}_{O_{2max}}$ (F) の関係を図にしたものである。競技力を示す V-400 は V-OBLA ($r=0.907$, $P<0.01$), CV-pool ($r=0.998$, $P<0.01$) そして CV-flume ($r=0.823$, $P<0.05$) と有意な関係を示した。さらに、有意な関係は、V-OBLA と CV-pool ($r=0.898$, $P<0.01$), V-OBLA と CV-flume ($r=0.856$, $P<0.01$) そして CV-pool と CV-flume ($r=0.824$, $P<0.05$) にみられた。しかしながら、 $\dot{V}_{O_{2max}}$ は他の変数との間には有意な関係がみられなかった。

3. 考 察

本研究は、Monod と Scherrer¹¹⁾ および Moritani ら¹²⁾によって考え出されたクリティカルパワー (CP) の概念を競泳競技に応用し、水泳疲労性閾値としてのクリティカルスピード (CV) を求めることである。そして、それが競泳選手における持続的能力を評価するための指標となりうるか検討を行うものである。

そこで、今回は流水プールだけでなく一般プールにおいても CP の概念が応用できるかどうかを試みた。その結果、流水プールおよび一般プールにおいて、泳距離 (D) および時間 (T) の関係は $D = a + b \times T$ の式であらわされ、全被検者において有意な高い相関関係を示した ($r > 0.998$, $P < 0.001$)。これらの結果は、泳距離と時間がきわめて直線関係にあることを示している。

流水プールは、機能的に流速を一定に保つことができるので、被検者があらかじめ決定されていた流速で泳ぎ続けている場合には、被検者に対して一定の運動負荷を与えていることになる。したがって、流水プールを使って求められる CV の実験条件は、自転車エルゴメータ使用による CP の測定^{4,7,11,12)}と同様の条件下であると考えられる。

一方、CV-pool の測定時において、被検者は、与えられた距離を最大努力で泳ぐように指示された。この結果、被検者の水泳中における泳速度は決して一定ではなく、低下傾向を示した。競泳競技のレース分析に関する先行研究においても同様に、Craig ら³⁾および若吉ら²⁰⁾は、レースを通してストローク長 (distance per stroke) の低下により泳速度の低下傾向がみられると報告している。しかしながら、与えられた距離を泳ぐのに要した時間から計算された平均泳速度は、その選手がその時間分、維持することのできる最大泳速度であると仮定することができる。したがって、最大平均泳速度と時間 (記録) は、 $V = a/T + b$ の式であ

らわされ、CV-pool は、泳距離と時間の関係を示す回帰直線のスロープであらわされることができ (図 2)。このように、CV は、流水プールだけでなく一般のプールにおいても泳距離、泳速度そして時間の関係によって決定されることが判明した。

近年、数多くの研究者は、陸上選手の持続的運動能力を評価するための有効なそして重要な指標として OBLA を用いている^{5,8,19)}。事実、水泳競技においても選手の OBLA に相当する水泳スピードがトレーニング強度の基準値として活用されている^{10,16)}。さらに、Olbrecht ら¹⁶⁾は、two speed test によって得られた血中乳酸濃度 4 mM に相当する速度が 30 分間泳の速度と有意な相関関係にあることを報告している。本研究結果においても同様に、V-OBLA と V-400 (図 3 E)、V-OBLA と CV-pool (図 3 C)、V-OBLA と CV-flume (表 2) に有意な相関関係がみられた。このように V-OBLA は持続的指標の有効な手段となり得るが、コーチや選手は定期的な血液の採取による練習時間の低減および選手への負担などから血中乳酸テストを拒む傾向にある。

また、持続的運動能力の指標として用いられている $\dot{V}O_{2\max}$ は、V-400 と有意な関係はみられなかった。これは、 $\dot{V}O_{2\max}$ と 365.8 m および 400 m 自由形泳の平均泳速度には相関関係はみられなかったことを報告した Costill ら²⁾ および Olbrecht ら¹⁴⁾の先行研究と一致する。これらの先行研究および本研究結果は、OBLA および CV によるパフォーマンスの評価が、 $\dot{V}O_{2\max}$ よりも記録に密接な関係をもち、水泳持続的能力を評価する有効な指標として採用され得ることが示唆された。

CV-pool および CV-flume の平均値は V-OBLA よりも有意に高い傾向を示した。この結果から、CV が本研究の定義通り疲労せずに泳ぎ続けることのできる最大レベルの泳速度であると仮定するならば、今回参加した被検者は、血中乳酸

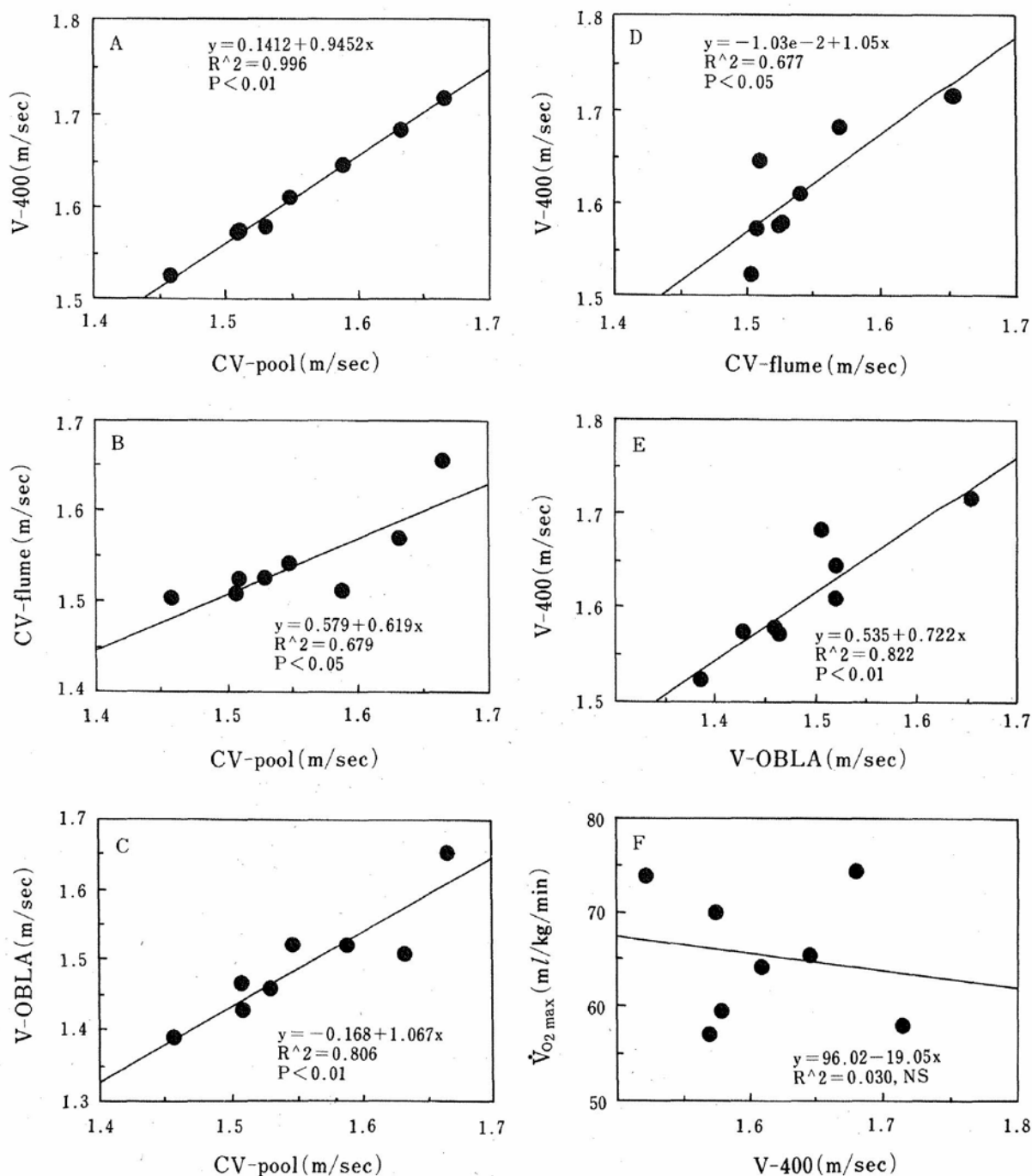


図3 Relationship between CV-pool and V-400 (A), CV-pool and CV-flume (B), CV-pool and V-OBLA (C), CV-flume and V-400 (D), V-OBLA and V-400 (E), and V-400 and $\dot{V}_{O_2 \max}$ (F).

濃度 4 mM よりも高い値で泳ぎ続けることが可能であると推察される。Jenkins と Quigley⁷⁾ は、ハイレベルの長距離自転車競技者に対して、CP に等しい運動強度において 30 分間の自転車エルゴメータ運動を行わせた結果、OBLA よりも高い血中乳酸濃度 (8.9 mM, SD= 1.6) で運動を継続

して行うことができたことを報告している。また、Stegmann と Kinderman¹⁷⁾ は、漸増負荷法により測定された OBLA に相当する走速度で被検者を走らせてみると、20 分前後で運動が中止に至ったと報告し、OBLA のように固定された値によって運動レベルを決定するよりもむしろ各個人

表2 Correlation matrix for variables measured by each experiment

	V-400	V-OBLA	CV-pool	CV-flume	$\dot{V}_{O_{2max}}$
V-400	1				
V-OBLA	0.907**	1			
CV-pool	0.998**	0.898**	1		
CV-flume	0.823*	0.856**	0.824*	1	
$\dot{V}_{O_{2max}}$	-0.174	-0.485	-0.155	-0.246	1

V-400 : mean velocity of 400m freestyle. V-OBLA : swimming velocity at 4 mmol/l of blood lactate concentration, CV-pool and CV-flume : critical velocity determined by using the swimming pool and the swimming flume, $\dot{V}_{O_{2max}}$: maximal oxygen uptake.

**P<0.01 *P<0.05

に合致した運動強度を決定することが重要であるとしている。

したがって、OBLA は、各選手におけるパフォーマンスがトレーニングによって生理学的にどれほど向上したかを評価するため、また選手間の持久的能力を比較するための有効な手段であるといえる。しかしながら、OBLA は各個人における最適なトレーニング強度を設定するための基準値として用いられるべきではないと考える。それに比べてCV は、各個人の最大努力によって発揮されたデータを基に決定されているので、個人の能力に合致した指標である。また、CV の決定法は、高価な機材を必要とせずストップウォッチ1個で求めることができる簡便なものであり、コーチや選手にとっても受け入れ易い手法といえるであろう。

ま と め

本研究は、クリティカルパワーの概念を競泳競技に応用し、クリティカルスピード (CV) の測定を試みた。その結果、CV は流水プールだけでなく一般のプールにおいても泳距離、泳速度および時間との関係によって決定されることが判明した。そして、一般プールから求められたCV が血液を採取することなく、また高価な機材を必要と

せずに水泳の持久的能力を示す価値ある指標として有効であることが示唆された。

文 献

- 1) Allen W. K., Seals D. R., Hurley B, Ehsani A. A., Hagberg J. M.; Lactate threshold and distance running performance in young and old endurance athletes, *J. Appl. Physiol.*, **58**, 1281-1284 (1985)
- 2) Costill D. L., Kovaleski J., Porter D., Kirwan J., Fielding R., King D.; Energy expenditure during front crawl swimming : Predicting success in middle-distance events, *Int. J. Sports Med.*, **6**, 266-270 (1985)
- 3) Craig A. B., Skehan P. L., Pawelczyk J. A., Boomer W. L.; Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **17**, 625-634 (1985)
- 4) de Vries H. A., Moritani T., Nagata A., Magnussen K.; The relation between critical power and neuromuscular fatigue as estimated from electromyographic data, *Ergonomics*, **25**, 783-791 (1982)
- 5) Farrell P. A., Wilmore J. H., Coyle E. F., Billing J. E., Costill D. L.; Plasma lactate accumulation and distance running, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **11**, 338-344 (1979)
- 6) Heck H., Mader A., Hess G., Mucke S., Muller R., Hollmann W.; Justification of the 4-mmol/l lactate threshold, *Int. J. Sports Med.*, **6**, 117-130 (1985)
- 7) Jenkins D. G., Quigley B. M.; Blood lactate in

- trained cyclists during cycle ergometry at critical power, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **61**, 278-283 (1990)
- 8) Kumagai S., Tanaka K., Matsuura Y., Matsuzaka A., Hirakoba K., Asano K.; Relationships of anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation with endurance performance, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52**, 51-56 (1983)
 - 9) Madsen O., Lohberg M.; The lowdown on lactates, *Swimming Technique*, **24** (1) 21-26 (1987)
 - 10) Maglischo E. W., Maglischo C. W., Bishop R. A.; Lactate testing for training pace, *Swimming Technique*, **19** (1) 31-37 (1982)
 - 11) Monod H., Scherrer J.; The work capacity of a synergic muscular group, *Ergonomics*, **8**, 329-337 (1965)
 - 12) Moritani T., Nagata A., de Vries H. A., Muro M.; Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold, *Ergonomics*, **24**, 339-350 (1981)
 - 13) Nomura T.; The influence of training and age on $\dot{V}_{O_{2max}}$ during swimming in Japanese elite age group and Olympic swimmers, In : Hollander A. P., Huijig P. A., Groot G. D. (Eds) *Biomechanics and Medicine in Swimming 14*, Human Kinetics, Champaign, 251-257 (1982)
 - 14) Olbrecht J., Madsen O., Mader A., Liesen H., Hollmann W.; Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises, *Int. J. Sports Med.*, **6**, 74-77 (1985)
 - 15) Ribeiro J. P., Cadavid E., Baena J., Monsalvete E., Barna A., De Rose E. H.; Metabolic predictors of middle-distance swimming performance, *Br. J. Sports Med.*, **24**, 196-200 (1990)
 - 16) Skinner J.; The new, metal-plated assistant coach, *Swimming Technique*, **24** (3) 7-12 (1987)
 - 17) Stegmann H., Kindermann W.; Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and fixed anaerobic threshold of 4 mmol/l lactate, *Int. J. Sports Med.*, **3**, 105-110 (1982)
 - 18) Tanaka K., Matsuura Y., Matsuzaka A., Hirakoba K., Kumagai S., Sun-O S., Asano K.; A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance running performance, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **16**, 278-282 (1984)
 - 19) Yoshida T., Chida M., Ichioka M., Suda Y.; Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **56**, 7-11 (1987)
 - 20) Wakayoshi K., Nomura T., Tachinami M., Ishikawa Y.; The analysis of competitive swimming, *J. Faculty of Health and Sport Sciences*, Osaka University **4**, 1-15 (1988)
 - 21) Wakayoshi K., Ikuta K., Yoshida T., Udo M., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M.; The determination and validity of critical velocity as swimming performance index in the competitive swimmer, *Eur. J. Appl. Physiol.* in press.