

非観血的および簡便的決定法による水泳疲労性閾値は AT（無酸素性作業閾値）に成り得るか

大阪大学 若吉 浩二

(共同研究者) 同 生田 香明

同 吉田 敬義

京都大学 森谷 敏夫

Does Critical Swimming Velocity Represent Exercise Intensity at Maximal Lactate Steady State?

by

Kohji Wakayoshi, Komei Ikuta, Takayoshi Yoshida
Faculty of Health and Sport Sciences, Osaka University

Toshio Moritani

Graduate School of Human Environmental studies, Kyoto University

ABSTRACT

The purpose of this investigation was to determine whether the critical swimming velocity (V_{cri}), which is employed in competitive swimming, corresponds to the exercise intensity at maximal lactate steady state. V_{cri} is defined as the swimming velocity which could be theoretically maintained forever without exhaustion and expressed as the slope of a regression line between swimming distances covered and the corresponding times.

A total of eight swimmers were instructed to swim two different distances (200 m and 400 m) at maximal effort and the time taken to swim each distance was measured. In the present study, V_{cri} is calculated as the slope of the line connecting the two times required to swim 200 m and 400 m. V_{cri} determined by this new simple method

was correlated significantly with swimming velocity at 4 mmol/l of blood lactate concentration ($r=0.914$, $P<0.01$) and mean velocity in the 400 m freestyle ($r=0.977$, $P<0.01$).

In the maximal lactate steady-state test, the subjects were instructed to swim 1,600 m (4×400 m) freestyle at three constant velocities (98%, 100% and 102% of V_{cri}). At 100% V_{cri} blood lactate concentration showed a steady-state level of approximately 3.2 mmol/l from the first to the third stage and at 98% of V_{cri} lactate concentration decreased significantly at the fourth stage. On the other hand, at 102% of V_{cri} , blood lactate concentration increased progressively and those of the third and fourth stages were significantly higher than those at 100% of V_{cri} ($P<0.05$). These data suggest that V_{cri} , which can be calculated by performing two timed, maximal effort swimming tests, may correspond to the exercise intensity at maximal lactate steady state.

要 約

本研究の目的は、競泳選手に用いられた Critical Swimming Velocity (V_{cri}) が、最大乳酸定常レベルでの運動強度と等しい関係にあるかどうか検討することである。 V_{cri} は、理論的に疲労しないで泳ぎ続けられることのできる泳速度と定義されており、それは、泳いだ距離とそれに要した時間との関係の回帰直線のスロープ（傾き）として表されることができる。

8名の大学水泳選手が本研究に参加し、200 m と 400 m の最大努力泳を行った。そして、 V_{cri} は、たて軸に泳距離（200 m および 400 m）を、よこ軸にそれぞれの最大努力泳による時間（記録）を取り、2点を通る直線のスロープから求められた。その結果、 V_{cri} は血中乳酸濃度 4 mmol/l に相当する泳速度および 400 m 最大泳速度に有意な相関関係を示した。

最大乳酸定常テストでは、被験者は、 V_{cri} の 98%、100% および 102% の泳速度 ($V_{98\%cri}$,

$V_{100\%cri}$, $V_{102\%cri}$) で 1,600 m (400 m \times 4 回) 泳を行った。血中乳酸濃度は、 $V_{100\%cri}$ において 3.2 mmol/l でほぼ定常レベルであったのに対し、 $V_{98\%cri}$ では有意な低下を、そして、 $V_{102\%cri}$ では有意な増加を示した。これらの結果から、2回の最大努力泳から求められた V_{cri} は、最大乳酸定常レベルの運動強度と等しい関係にあることが判明した。

緒 言

Moritani ら¹⁶⁾ は、Monod と Scherrer¹⁵⁾ によって提案された、局所的な筋疲労現象から求められる Critical Power (W_{cri}) の概念を、自転車エルゴメータを用いて全身運動に応用した。この W_{cri} は、理論的に疲労困憊に至ることなく、長時間に渡り持続することのできる運動強度として定義されており、全体の仕事量と疲労困憊に至るまでの時間との関係から決定された、回帰直線のスロープとして求められることができる。さらに、Moritani ら¹⁶⁾ は、ガス交換パラメータ測定法に

よって決定された無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold) と W_{cri} との間には、強く有意な関係があることを報告している。さらに、de Vries⁴⁾ および Nagata¹⁷⁾ は、Moritani¹⁶⁾ と同様な方法によって決定された W_{cri} が、自転車駆動中に下肢筋群から得られた筋電図学的データを基に評価された、筋疲労性閾値および無酸素性作業閾値に対して、高い相関関係にあることを示唆した。

近年、Jenkins と Quigley¹⁰⁾ は、自転車エルゴメータを用いて求めた W_{cri} は、疲労困憊することなく維持し続けることのできる運動強度を算定するために簡便的で安価な方法であり、換気性閾値や乳酸閾値を測定する時に生じる、方法論的困難を避けることができるとしている。

無酸素性作業閾値に関する先行研究として、Stegmann²²⁾ や Stegmann と Kindermann²³⁾ は、各個人のその評価に関連して、最大乳酸定常 (Maximal lactate steady state) の概念を促進させた。彼らは、一定運動負荷中にみられた血中乳酸濃度増加のプラトー現象は、無酸素性作業閾値を示しており、このような血中乳酸濃度がプラトーとなる運動強度においては、乳酸の産生と除去が動的に等しい関係つまり最大乳酸定常にあると示唆している。

また、最大乳酸定常に関する研究の代表的なものとして、Scheen¹⁹⁾ が行った実験がある。その実験では、被験者は6段階の運動強度 (最大酸素摂取量の43%~71%) で一定負荷の運動を20分間行い、血中乳酸濃度の変動を測定した。その結果、最大酸素摂取量の57%以下の運動強度では、血中乳酸濃度は飽和現象を示し、63%以上の運動強度では上昇傾向にあったことから、最大乳酸定常はそれらの運動強度間に存在するとしている。

Wakayoshi²⁴⁾ は、流水プールを用いて、 W_{cri} の概念を Critical Swimming velocity (V_{cri}) として競泳競技に応用した。 V_{cri} は理論的に疲労困

憊に至ることなく、長時間泳ぎ続けられる泳速度と定義され、各泳速度における泳距離と疲労困憊に至るまでの時間との回帰直線の傾きとして表される。さらに、Wakayoshi²⁵⁾ は、流水プールと同様に一般のプールを用いて V_{cri} を決定した。その結果、 V_{cri} は採血をする必要もなく、また高価な実験機材を使用することなく簡易的に求められることができ、さらに水泳競技において持久的運動能力を示す、有効な指標として応用されることができるとしている。

陸上競技では、Ettema⁹⁾ は、走距離と世界記録との関係が1,500 mから10,000 mまでの種目において直線関係にあることを示した。これらの関係式は、

$$D = a + b \times T_{\text{lim}}$$

と表すことができ (D ; 距離, T ; 記録), a は無酸素的エネルギーの蓄積の容積を示し, b は長時間維持されることのできる Critical Velocity を示すとしている。さらに、Sid-Ali²⁰⁾ は、個人の Critical running velocity が two step test²⁾ によって評価された、乳酸定常レベルでの運動強度に有意な関係にあることが示された。

近年、多くの研究者が、水泳の持久的運動能力を評価するための有効な指標として、onset of blood lactate accumulation (OBLA) を用いてきている。そして、OBLA に等しい運動強度としての泳速度が、トレーニング目的に合致した強度を設定するための基準値として実用化され利用されている^{13, 14, 18, 21)}。しかしながら、これまで V_{cri} と最大乳酸定常レベルを維持することのできる運動強度 (泳速度) との関係に関する研究は、行われていない。

そこで、本研究の目的は、非観血的・簡便的に決定される水泳疲労性閾値としての V_{cri} が、最大乳酸定常レベルでの泳速度と等しい関係にあるかどうかを検討することである。

1. 方法

1) 被験者

被験者は、大学水泳部所属の男子8名(平均 19.4 ± 0.3 歳)であった。被験者の身体的特性および専門種目を表1に示した。

2) 最大酸素摂取量 ($\dot{V}_{O_{2max}}$) の測定

本研究における最大酸素摂取量は、Costillら³⁾の方法により測定された。各被験者は、25 mの室内プールにて400 m最大努力泳を行う。験者は、被験者がゴールする1ストローク前に、被験者の顔にプールサイドから呼吸マスクを当て、20秒間の呼吸ガスをダグラスバックにて採取する。採取された呼吸ガスから、酸素摂取量、二酸化炭素排気量および換気量を分析する。そして、それらのデータを基にCostillら³⁾の酸素摂取量推定式(下記に示す)に当てはめ、最大酸素摂取量を決定した。

$$y = 0.916x + 0.426 \quad (x; 20 \text{ 秒間の酸素摂取量, } y; \text{最大酸素摂取量})$$

3) OBLA 決定のための血中乳酸テスト

各被験者の持久的運動能力を評価するために、Heckら⁷⁾およびMadsenとLohberg¹³⁾と同様、

OBLA (onset of blood lactate accumulation) を採用し、血中乳酸濃度 4 mmol/l に相当する泳速度 (V_{OBLA}) を算出した。本テストでは、 V_{OBLA} を決定するために、Maderら¹²⁾およびOlbrechtら¹⁸⁾のtwo-speed testを用いた。

被験者は、はじめに400 mのベストタイムから計算された最大泳速度の85%に相当する泳速度での400 m泳、そして2回目に最大努力での400 m泳の計2回の400 m泳を行った。その間の休息は、3時間以上とし、疲労の影響が2回目の間にならないように配慮した。2回の400 m泳後、指先より動脈化血を直後、3分後、5分後の計3回採取し、血中乳酸濃度を分析した(YSI 23 L, Yellow Springs Instruments)。そして、各泳速度における乳酸値として、最も高い値のものを採用した。

各被験者ごとに、泳速度と血中乳酸濃度の関係から、乳酸濃度 4 mmol/l に相当する泳速度を内挿法または外挿法により決定した。

4) Critical Swimming Velocity (V_{cri}) の決定

図1は V_{cri} の決定方法について示す。本研究における V_{cri} は、two-trial testを用いた。これは、被験者に対して4回もしくは5回の最大努力を課していたWakayoshiら^{24,25)}の方法をより簡

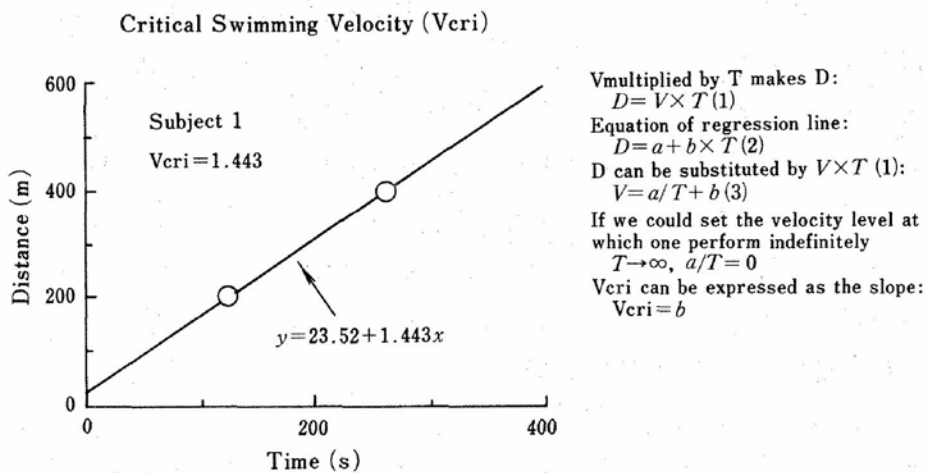


図1 Relationship between time and the predetermined swimming distance (200 m and 400 m) for subject 1. V_{cri} , Critical swimming velocity

便化したものである。この新しい方法では、被験者は、200 mおよび400 mの2回の最大努力泳を行い、それぞれの時間（記録）を計時する。そして、たて軸に泳距離を、よこ軸に時間を取り、200 mおよび400 mとそれぞれの時間をプロットする。V_{cri}は、プロットされた2点を通る直線の傾きとして求められることができる。

図1のたて軸は泳距離（200 mおよび400 m）、よこ軸はそれを泳ぐのに要した時間を示す。

泳距離（D）、泳速度（V）そして時間（T）とすると、それらの関係は下記の式で示されることができる。

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

図中の直線式は、

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

(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V_{cri}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→∞）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、V_{cri}は、直線のスロープとして表すことができる。

$$V_{cri} = b$$

V_{cri}を決定するに当たり、これらの距離を選択した理由は下記のとおりである。予備実験として、50m, 100m, 200m, 400m, 800mそして1,500 mの6種目の最大努力泳を、4人の被験者に行わせた。その結果、200 m以上の種目において、泳時間と泳距離の関係は一直線上に位置しており、200 mと400 mの記録から、3.0%以下の誤差範囲に1,500 mの記録を推定できることが判明した。さらにEttema⁵⁾は、200 mから1,500 mまでの距離とその時間（記録）との関係は、ほぼ一直線上になるという、本研究と同様な結果を示している。したがって、本研究では、V_{cri}の決定に際し、200 mと400 mの2種目が選択された。

5) 最大乳酸定常テスト

本テストは、two-trial testで決定されたV_{cri}が、最大乳酸定常レベルにおける運動強度と等しい関係にあるかどうか検討することである。図2は、本研究に用いた最大乳酸定常テストをデザインしたものである。本テストの先行研究であるScheenら¹⁹⁾は、さまざまな運動強度で一定負荷運動中における20分間の血中乳酸濃度の変動を測定した。本研究においても同様に、各被験者はV_{cri}の98%、100%、そして102%の3段階の泳速度（V_{98% cri}, V_{100% cri}, V_{102% cri}）において、400 m×4回で構成された1,600 m泳を行った。

一定強度における運動継続時間は、18分以上であり、各トライアルの休息時間は3時間以上とした。血液サンプリングは図中に示すとおり、試技前、各400 m間そして試技の直後、3分後、5分後に実施し、血中乳酸濃度の変動を測定した。各400 m間には、血液採取のため、30秒から45秒間の休息時間を取った。泳速度の一定化を図るため、験者がペースメーカーとして、プールサイドに1 mごとにマークされたラインを、リズムウォッチ（メトロノームと同様な機能を持つ）の音に合わせて歩くようにした。それによって、被験者は、ペースメーカーの歩行スピードに合わせて泳ぐようにした。その結果、被験者は第1ターンからフィ

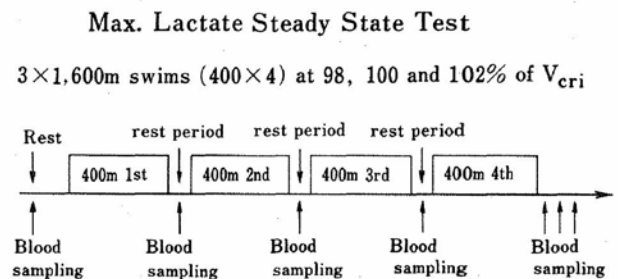


図2 The experimental design of maximal lactate steady-state lactate test for examining the relationship between 400 m interval swimming test at three velocities (98%, 100% and 102% of V_{cri}) and change of blood lactate concentration

ニッシュまで、あらかじめ決められていた時間(記録)と2秒の範囲内で調整することができた。

2. 結 果

表1は、各被験者の身体的特徴、専門種目、最大努力泳による200mおよび400mの平均泳速度(V_{200} , V_{400}),そして本研究の実験で得られたデータを示す。 V_{200} は1.554~1.726 m/sで平均1.626 m/s (SE±0.018),そして V_{400} は1.445~1.608 m/sで平均1.526 m/s (SE±0.021)であった。 V_{200} および V_{400} の変動係数は、それぞれ3.2%と3.9%であり、本研究の被験者群は相対的に均等質(homogeneous)なグループであるといえよう。血中乳酸テスト(two-speed test)により求められた V_{OBLA} は、1.370~1.468 m/sの範囲で平均1.404±0.014 m/s (SE),そしてtwo-trial testによって決定された V_{cri} は、1.333~1.509 m/sで平均1.437 m/s (0.024)であった。 V_{cri} は V_{OBLA} よりも5%水準で有意な高値を示し、 V_{400} は V_{OBLA} および V_{cri} よりも1%水準で有意な高値を示した。

図3は、 V_{cri} と V_{OBLA} , V_{cri} と V_{400} , V_{400} と V_{OBLA} ,

そして V_{400} と $\dot{V}_{O_{2max}}$ との関係を示す。有意な高い相関関係は、 V_{cri} と V_{400} ($y = 0.3087 + 0.8468x$, $r = 0.977$, $P < 0.01$),そして V_{cri} と V_{OBLA} ($y = 0.6218 + 0.5444x$, $r = 0.914$, $P < 0.01$)にみられた。さらに、 V_{400} と V_{OBLA} においても1%水準で有意な相関関係を示した($y = 0.4193 + 0.6455x$, $r = 0.939$, $P < 0.01$)。一方、 V_{400} と $\dot{V}_{O_{2max}}$ ($r = 0.403$, NS)および $\dot{V}_{O_{2max}}$ と V_{cri} ($r = 0.480$, NS)には、有意な関係が存在しなかった。

図4は、3段階の一定泳速度($V_{98\%cri}$, $V_{100\%cri}$, $V_{102\%cri}$)における1,600m(400m×4回)泳前、泳中そして泳後の血中乳酸濃度の変化を、そして表2は、各被験者における血中乳酸濃度と400mトライアルナンバー間における回帰直線の傾きと回帰係数を示す。

第1回目の400m後に測定された血中乳酸濃度は、3つの泳速度とも同様な値を示したが、第2回目以降になると乳酸濃度はまったく異なった反応を示した。最も低い泳速度($V_{98\%cri}$)では、乳酸濃度は第1から第4にかけて有意な低下を示し、回帰直線の傾きは、すべての被験者において負の値を示した。より高い泳速度($V_{102\%cri}$)では、乳酸

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

Subject	Age (yrs)	Height (cm)	Mass (kg)	Speciality	$\dot{V}_{O_{2max}}$ (ml/kg/min)	V_{200} (m/s)	V_{400} (m/s)	V_{OBLA} (m/s)	V_{cri} (m/s)	a (m)
1	18	171.0	70.3	Fr-S	65.1	1.635	1.533	1.422	1.443	23.48
2	19	176.8	85.1	Fr-S	56.5	1.726	1.608	1.468	1.506	25.37
3	19	171.0	67.0	Fr-S	65.5	1.656	1.579	1.423	1.509	17.73
4	20	182.7	63.2	Fr-S	58.3	1.638	1.555	1.423	1.480	19.29
5	20	172.3	60.9	Fr-L	61.6	1.612	1.539	1.416	1.473	17.15
6	20	176.0	68.1	FL	56.1	1.576	1.445	1.341	1.333	31.00
7	19	173.9	66.1	FL	55.0	1.554	1.446	1.371	1.351	26.28
8	20	171.1	64.0	IM	62.0	1.616	1.502	1.370	1.404	26.10
mean	19.4	174.4	68.1		60.0	1.626	1.526	1.404	1.437	23.30
SEM	0.3	1.4	2.7		1.5	0.018	0.021	0.014	0.024	1.72

Fr, Freestyle (S 50m, 100m or 200m, L 400m or 1,500m); FL, Butterfly; IM, Individual medley, 200m and 400m; $\dot{V}_{O_{2max}}$, Maximal oxygen consumption; V_{200} and V_{400} , Velocity of 200m and 400m free-style; V_{OBLA} , Intercept for the relationship $D = a + b * T$; D , Distance; T , Time

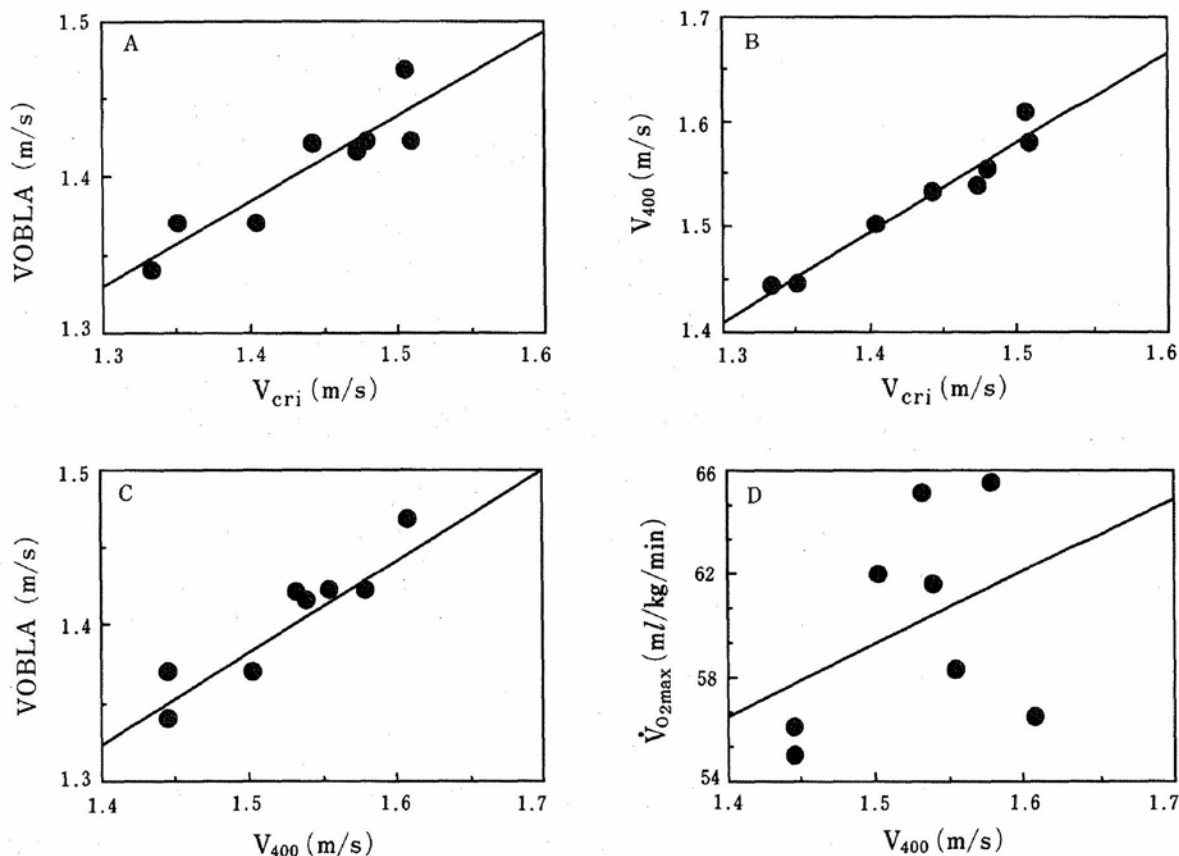


図3 Relationships between critical swimming velocity (V_{cri}) and A velocity at onset of blood lactate accumulation (V_{OBLA}) ($P < 0.01$) and B mean velocity over 400 m (V_{400}) ($P < 0.01$) and between V_{400} and C V_{OBLA} ($P < 0.01$) and D maximal oxygen consumption ($\dot{V}_{O_{2max}}$)

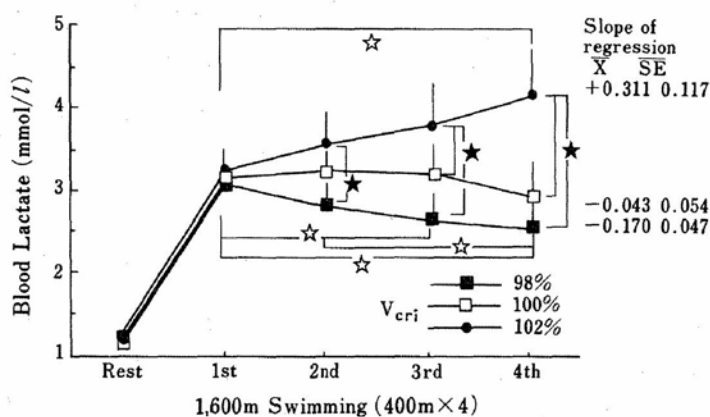


図4 The relationship between blood lactate concentration and the number of 400 m swimming stages swum at three constant velocities of 98% (■) 100% (□) and 102% (●) of V_{cri} for maximal lactate steady-state test. Vertical bars indicate SEM
 ☆ = $P < 0.05$ (ANOVA), ★ = $P < 0.05$ (paired t-test)

表2 The slopes of the regression lines and the regression coefficients between blood lactate concentration and time taken to swim 1,600m (4 × 400m) at constant velocity (98%, 100% and 102% of V_{cri}) for each subject

Subject	98% of V_{cri}		100% of V_{cri}		102% of V_{cri}	
	Slope	r	Slope	r	Slope	r
1	-0.068	0.447	+0.228	0.910	+0.979	0.974
2	-0.131	0.614	+0.031	0.513	+0.427	0.817
3	-0.132	0.894	-0.129	0.913	-0.125	0.991
4	-0.246	0.729	-0.182	0.962	+0.143	0.887
5	-0.114	0.918	-0.096	0.666	+0.187	0.929
6	-0.129	0.880	-0.203	0.995	+0.447	0.983
7	-0.069	0.948	+0.118	0.673	+0.355	0.955
8	-0.469	0.969	-0.107	0.861	+0.074	0.693

Slop, Slope of regression line ; r, Regression coefficient ; V_{cri} , Critical swimming velocity

濃度は第4に向けて、漸増的にそして統計的に有意な増加にあり、8人中7人の回帰直線の傾きに正の値を示した。 $V_{100\%cri}$ では、8人中3人が回帰直線のスロープに正の、そして8人中5人が負の値にあり、平均血中乳酸濃度は第1から第4にかけて定常レベルを示した。さらに、 $V_{102\%cri}$ の第3および第4の乳酸濃度は、 $V_{98\%cri}$ と $V_{100\%cri}$ のそれらに比べて有意な高値を示した。

3. 考 察

本研究の目的は、疲労することなく長時間泳ぎ続けることのできる最大泳速度 V_{cri} と、最大乳酸定常レベルにおける泳速度との関係について研究を行うことである。最大乳酸定常テストにおいて、 $V_{100\%cri}$ での血中乳酸濃度は、第1から第4にかけておよそ3.2 mmol/lの定常レベルであったのに対し、 $V_{98\%cri}$ では、それは第1から第4にかけて有意な低下傾向を示した。一方、 $V_{102\%cri}$ では、血中乳酸濃度は第4に向けて漸増的に増加を示し、第3および第4のそれは、他の泳速度に比べて有意な高値を示した。さらに、 $V_{98\%cri}$ での各被験者における乳酸濃度と400 mトライアルナン

バーとの回帰直線の傾きは、全員に負の値を示したのに対し、 $V_{102\%cri}$ では8人中7人に正の値を示した。

Scheenら¹⁹⁾は、6段階の運動強度(最大酸素摂取量の43%~71%)で一定負荷の運動を20分間行い、血中乳酸濃度の変動を測定した。その結果、最大酸素摂取量の57%以下の運動強度では、運動開始10分以降、血中乳酸濃度は飽和現象を示し、63%以上の運動強度では上昇傾向にあったことから、最大乳酸定常はそれらの運動強度間に位置するとしている。したがって、本研究のtwo-trial testによって決定された V_{cri} が、最大乳酸定常レベルを維持する最大泳速度とほぼ等しい関係にあることが判明し、そしてその泳速度では、乳酸の産生と除去および利用による動的な平衡状態が保持されているものと考えられる。

本研究に用いられた最大乳酸定常テストにおいて、血液サンプリングを実施するために、Olbrechtら¹⁸⁾の実験と同様、一定負荷運動中3つの短期休息時間(30~40秒)を持った、トレッドミルや自転車エルゴメータを用いた同テスト^{1, 7, 16, 19, 22, 26)}では、連続した運動中の生理学的パラメータの計

測は可能であるが、水泳活動中に動脈血をサンプルすることは不可能であり、短期休息時間を取らなければならない。しかしながら、休息時間は大変短く、われわれはこれらの状況において血中乳酸濃度の変化が、1,600 m泳中のその変動に影響を与えることはないと考える。

実際 Freund ら⁶⁾は、さまざまな運動強度において3分間の自転車運動の運動開始前、運動中そして運動後と、連続して血中乳酸濃度を測定した結果、軽運動後においても、乳酸濃度は運動終了後2分以降から緩やかに低下する傾向にあることを示している。それゆえ、本研究に用いられた最大乳酸定常テストは、最大乳酸定常における運動強度としての泳速度を決定するための、必要不可欠な条件を満たしていると考える。

先行研究では、最大乳酸定常テストに参加した被験者は、異なった運動強度で長時間に渡り継続した運動を行わなければならない、身体的にも、精神的にもストレスを受けなければならない^{1, 7, 16, 19, 22, 26)}。たとえば、Scheen ら¹⁹⁾が用いた実験では、被験者は6段階の運動強度（最大酸素摂取量の43%～71%）でそれぞれに20分間の運動を行っている。加えて、Wakayoshi ら²⁵⁾は、指導者および選手は血液採取を拒否する傾向にあり、トレーニング期間中、血中乳酸濃度を測定することは容易ではないとしている。その点、200 mと400 mの2回の最大努力泳によって決定することのできる V_{cri} は、最大乳酸定常レベルでの泳速度を示し、また、持続的運動能力の指標として用いられている V_{OBLA} と有意な相関関係を示したことから、各選手ごとに最適トレーニング強度を設定するための非観血的な指標として有効であると考えられる。

さらに、 V_{cri} と V_{400} は、強く有意な相関関係がみられ、 V_{cri} 決定のために使われた泳距離と時間との回帰式 $D = a + b * T$ の切片 (a) の平均値 23.30 m (17.15 m～31.00 m) を用いることに

よって、400 m最大努力泳時の時間から、仮定パラメータとしての V_{cri} ($V_{cri*pred}$) を評価することが可能となる。 $V_{cri*pred}$ を求めるための式は、下記のようなになる。

$$V_{cri*pred} = (400 - 23.30) / t_{400}$$

その結果、 $V_{cri*pred}$ は V_{cri} の最大誤差 2% の範囲内の値となる。ここでは、 t_{400} は 400 m最大努力泳の時間である。

先行研究の critical velocity (V_{cri})^{24, 25)} や critical power (W_{cri})^{4, 10, 16, 17)} の決定に際し、被験者は20秒から12分間までの、あらかじめ決められていた運動強度において、4回もしくは6回の最大努力を行う必要があった。本研究における V_{cri} は two-trial test という新しい方法によって決定され、その方法は、被験者が200 mおよび400 mの2回の最大努力泳を行い、それぞれの時間(記録)と泳距離の関係からプロットされた2点を通る直線の傾きを V_{cri} と定義するという、大変簡便なものである。しかしながら、 V_{cri} を決定するために用いた運動(200 mと400 m)が6分間以内のものであり、これまでのものに比べて運動時間が短く、 V_{cri} の妥当性について合理上疑問が残るかも知れない。それを解決するために、これまでのわれわれの先行研究結果から、また本研究のために実施された予備実験結果から、その妥当性を証明することができるものと考える。

それらは、第一に本研究の two-trial test で決定された、 V_{cri} は流速を正確にコントロールできる流水プールによって決定された、critical velocity と等しい関係にあることが判明したこと、第二に短距離から長距離までを含んだ距離と時間の関係から求められた V_{cri} は、200 mと400 mの2種目から求められたものとほぼ同一であったことである。

本研究に用いられた two trial test によって決定された critical velocity (V_{cri}) は、最大乳酸定常レベルにおける運動強度とほぼ一致することが

判明した。それゆえ、これらの結果は、 V_{crit} は血液採取または高価な実験機材を必要とせず、簡便的に持久的運動能力を評価することのできる指標であり、また水泳の指導者や選手にとって有効な指標として用いられることができるものとする。

4. 結 論

非観血的および簡便的決定法により決定された水泳疲労性閾値としての critical velocity が、最大乳酸定常レベルの運動強度、つまり無酸素性作業閾値と等しい関係にあるかどうか検討を行った。その結果は、以下のとおりである。

1. two trial test で決定された critical velocity は、持久的運動能力を示す OBLA レベルでの泳速度および水泳中距離泳のパフォーマンスを示す泳速度と強く有意な関係を示した。しかしながら、最大酸素摂取量は、それらと有意な関係がみられなかった。

2. 最大乳酸定常テストでは、critical velocity の 100% 泳速度において、血中乳酸濃度はほぼ飽和状態を示したのに対し、102% の泳速度では上昇傾向にあった。したがって、critical velocity は最大乳酸定常レベルの運動強度とほぼ一致することが判明した。

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) Chassain A. P. ; Methode d'appréciation objective de la tolerance de l'organisme a l'effort : application a la mesure des puissances critiques de la fréquence cardiaque et de la lactatémie, *Sci. Sports*, **1**, 41-48 (1986)
- 3) Costill D., 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)

- 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) Ettema ; Limits of human performance and energy-production, *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol.*, **22**, 45-54 (1966)
- 6) Freund H., Oyono-Enguelle S., Heitz A., Marbach J., Ott C., Zouloumian P., Lampert E. ; Work rate-dependent lactate kinetics after exercise in humans, *J. Appl. Physiol.*, **61**, 932-939 (1986)
- 7) 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)
- 8) Holmer I. ; Energetics and mechanical work in swimming, In : Hollander A. P., Huijing P. A., Groot G. D. (eds) Biomechanics and medicine in swimming, Human Kinetics, Champaign, Ill., pp 154-164 (1983)
- 9) Houston M. ; Metabolic responses to exercise, with special reference to training and competition in swimming, In : Eriksson B. O. and Furberg B. (eds) Swimming medicine IV, University Park Press, Baltimore, pp 207-232 (1978)
- 10) 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)
- 11) Mader A., Heck H. ; A theory of the metabolic origin of anaerobic threshold, *Int. J. Sports. Med.*, **7**, 45-65 (1986)
- 12) Mader A., Heck H., Liesen H., Hollmann W. ; Zur Beurteilung der laktaziden Energiebereitstellung für Trainings- und Wettkampfleistungen im Sportschwimmen, *Leistungssport*, **10**, 263-268 (1980)
- 13) Madsen O., Lohberg M. ; The lowdown on lactates, *Swimming Techn.*, **24**, 21-26 (1987)
- 14) Maglischo E. W., Maglischo C. W., Bishop R. A. ; Lactate testing for training pace, *Swimming Techn.*, **19**, 31-37 (1982)
- 15) Monod H., Scherrer J. ; The work capacity of a synergic muscular group, *Ergonomics*, **8**, 329-337 (1965)
- 16) 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)
- 17) Nagata A., Moritani T., Muro M. ; Critical power as a measure of muscular fatigue and anaerobic threshold, In : Matsui H., Kobayashi K. (eds) Biomechanics VIII A. Human Kinetics, Champaign, Ill., pp 312-320 (1983)
 - 18) 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)
 - 19) Scheen A., Juchmes J., Cession-Fossion A. ; Critical analysis of the "Anaerobic Threshold" during exercise at constant workloads, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **46**, 367-377 (1981)
 - 20) Sid-Ali B., Vandewalle H., Chair K., Moreaux A., Monod H. ; Lactate steady state velocity and distance-exhaustion time relationship in running, *Arch. Int. Physiol. Biochim.*, **99**, 297-301 (1991)
 - 21) Skinner J. ; The new, metal-plated assistant coach, *Swimming Techn.*, **24**, 7-12 (1987)
 - 22) 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)
 - 23) Stegmann H., Kindermann W., Schnabel A. ; Lactate kinetics as individual anaerobic threshold, *Int. J. Sports Med.*, **2**, 160-165 (1981)
 - 24) Wakayoshi K., Ikuta K., Yoshida T., Udo M., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M. ; The determination and validity of critical speed as swimming performance index in the competitive swimmer, *Eur. J. appl. Physiol.*, **64**, 153-157 (1992)
 - 25) Wakayoshi K., Yoshida T., Udo M., Kasai T., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M. ; The simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming, *Int. J. Sports Med.*, **13**, 367-371 (1992)
 - 26) Yamamoto Y., Miyashita M., Hughson R., Tamura S., Shinohara M., Mutoh Y. ; The ventilatory threshold gives maximal lactate steady state, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **63**, 55-59 (1991)