
水泳競技における競技レベルと4スピードテストの有効性

星野衛¹ 小泉佳右² 下永田修三³ 藤田幸雄³

¹グートスイミングクラブ ²東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科 ³千葉大学教育学部

Is Estimation of Swimming Speed at the Onset of Blood Lactate Accumulation Adequate Also in the Beginner Level Swimmers?

Mamoru HOSHINO¹ Keisuke KOIZUMI² Shuji SHIMONAGATA³ Yukio FUJITA³

¹Gute Swimming Club. Co. LTD., ²The United Graduate School of Education, Tokyo Gakugei University ³Faculty of Education, Chiba University

Abstract

It has been generally agreed that the estimation of OBLA speed (OBLA-SP) is successful to present fine targets and to assess the effects of training in competitive swimmers. The study aimed at evaluating the effectiveness of estimated OBLA-SP for beginner level swimmers.

A total of 17 male collegiate students, divided into 3 groups according to their maximum mean speed (SPmax) for 200 m, participated in this study (group-A: $n = 6 \geq 1.45$ m / sec, group-B: 1.43 m / sec $\leq n = 6 \leq 1.29$ m / sec, group-C: $n = 5 \leq 1.27$ m / sec). The subjects performed 4 trials of the 200 m front crawl swimming at 70%, 80%, 90% and 100% of their SPmax (%Velocity) respectively (Incremental Swimming Step Test: ISST). Heart Rates (HR) were monitored throughout the testing periods. Blood lactate concentration (LA) was measured after the each trial at 1, 3, 5 and 7 minutes. The results are as follows:

1) A linear relationship was found to exist between %Velocity and HR ($P < 0.001$). The values of LA were plotted against %Velocity and an exponential curve regression was significant ($P < 0.001$).

2) The peak LA was significantly higher in group-C than that in group-A ($P < 0.01$) and group-B ($P < 0.01$), respectively. There were no significant differences in HR among 3 groups.

3) The rates of OBLA-SP to SPmax (OBLA-SP / SPmax) were significantly higher in group-C when compared with the values in group-B ($P < 0.01$) and group-A ($P < 0.01$), while no significant differences existed in the rates of HR at OBLA-SP to the maximum HR (HR@OBLA-SP / HRmax) among 3 groups.

These results suggest that the measurements of LA with an ISST are adequate to present training indexes not only for highly competitive swimmers but also for medium level swimmers, while not effective for beginners. We also succeeded in finding that we were able to treat the HR data in the beginner level swimmers with an ISST as that in competitive and/or medium level swimmers.

I. 目的

近年、水泳競技の練習段階において練習強度の客観的指標となる心拍数、血中乳酸濃度の測定を行うことが普及してきた。これらを練習中に繰り返し測定してその効果を常時フィードバックさせることで、練習効果の向上を促す手法が指導現場

に定着しつつある。特に心拍数は測定が容易であり、日常の練習中에서도比較的手軽に選手の運動強度管理ができる手段^{1) 2) 3) 4) 5)}として広く用いられている。

練習強度の指標として血中乳酸濃度（以下 LA と称する）を用いる場合には、数種類の泳スピー

ドを用いて LA 測定を行ない、泳スピードと LA 関係の回帰式を求めることにより、LA が 4 mmol / l となる状態 (Onset of Blood Lactate Accumulation : 以下 OBLA と称する) を定常させる泳スピード (以下 OBLA-SP と称する) を算出する⁶⁾。この OBLA-SP は、有酸素性運動の能力との相関が高いことが知られており、特に 400 m 以上の距離の競技の場合、そのタイムと OBLA-SP の相関がきわめて高いことが指摘されてきた⁷⁾。しかしながらこの測定は、従来競技レベルの高い選手にのみ適用されており、低、中程度レベルの競技者や、競技ブランクのある選手に適用された例は見あたらず、心拍数測定との比較検討もなされてきていない。

そこで本研究では、種々の競技レベルにある選手を被験者として用いることにより、競技レベルの高低によって最高泳スピードと OBLA-SP、心拍数の相互関係にどのような差異が認められるのか、また、どのくらいのレベルからこのテストが有効となるかを明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、C 大学の水泳部に所属し週3回以上トレーニングしている男子17名であった。被験者の身体的特性および200 m クロール泳の最高タイムから算出した最高平均泳速度 (以下 SPmax と称する) を Table 1 に示す。それぞれの数値は、年齢 20.2 ± 1.39 (平均 ± 標準偏差) 歳、身長 174 ± 4.06 cm、体重 66.3 ± 5.30 kg、SPmax は 1.35 ± 0.185 m / sec であった。

2. 実験の手順

実験に先立ち被験者に5分間の座位安静を取らせ、その後心拍数と LA の測定を行った。また指定のウォームアップ (以下 W-up と称する) を行った。

試行はすべて屋外の 50 m 公認プールにて行った。テスト泳は、200 m × 4本とし、それぞれの試行での泳速度は、被験者それぞれの SPmax の 70%、80%、90%、100% を目標とさせた。泳法はク

ロール泳とし各試行の時間間隔は30分とした。スタートは水中より行わせた。

各テスト泳が終了後速やかにプールサイドで座位安静を取らせ、テスト泳後1、3、5、7分の計4回指先より採血し、LA の測定を行った。この最高値をそのテスト泳速度での代表値とした。LA の分析には、(株)松下寿電子工業社製ラクテートプロ LT-1710を用いた。テスト期間を通じて(株)CANON 社製ハートレートモニタ、バンテージ XL を用いて心拍数 (以下 HR と称する) を継続的に測定し (サンプリングインターバル : 5 sec)、テスト泳終了前30秒間の平均値をその速度での代表値とした。

3. 統計処理

グラフで取り扱ったデータはすべて平均値 ± 標準偏差で示した。平均値の差の検定には一元配置の分散分析を用い、条件間で有意差が認められた場合には Tukey の方法による多重比較を行った。有意水準は5%とした。

Table 1 Physical characteristics and maximum mean speed (SPmax) for 200 m swimming of each subject.

	Height	Weight	Age	SPmax
Name	(cm)	(kg)	(yrs)	(m/s)
N.T	180	70	19	1.60
N.Yam	176	67	20	1.57
H.K	180	71	20	1.54
Y.Y	173	68	22	1.54
K.Y	176	70	22	1.46
K.Taka	168	56	22	1.45
A.H	175	68	21	1.43
J.W	174	72	23	1.43
T.M	177	71	20	1.41
Y.K	170	65	19	1.38
T.S	168	57	18	1.33
M.S	170	68	20	1.29
N.Yad	169	68	20	1.27
K.Take	179	66	21	1.21
H.O	180	73	20	1.14
S.H	175	59	19	1.02
N.S	174	58	18	0.93
Mean	174.4	66.3	20.2	1.35
SD	4.06	5.3	1.39	0.185

III. 結果

1. 全被験者を通じたデータ

被験者の安静時心拍数は、 76.2 ± 10.7 beats / min であった。また安静時 LA は 3.58 ± 1.62 mmol / l であり、70%、80%、90%および100%の泳速度による試行で得られた LA は、それぞれ 3.05 ± 0.938 mmol / l、 4.34 ± 1.4 mmol / l、 7.77 ± 2.54 mmol / l、 13.5 ± 3.4 mmol / l という値であった。

相対的泳速度（被験者それぞれの SPmax に対するもの：以下 %Velocity と称する）と HR の一次回帰は 0.1% 水準で有意であった。また %Velocity と LA の指数回帰も 0.1% 水準で有意であった。さらに被験者ごとに %Velocity と LA の関係を指数回帰し OBLA-SP を求めた。回帰の 1 例を Fig. 1 に示す。すべての被験者において指数回帰の決定指数は一次回帰の決定係数よりもそれぞれ高かった。被験者全体の値は指数回帰の決定指数が 0.972 ± 0.0462 、一次回帰の決定指数が 0.921 ± 0.0620 であった。なお被験者 N. T と S. H の 2 名では 70% のテスト泳で LA が 4 mmol / l 以上の値を示したため外挿による算出により OBLA-SP を求めた。被験者全体の OBLA-SP は 1.06 ± 0.110 m / s という値を示した。SPmax に対する OBLA-SP の比率は $79.3 \pm 6.36\%$ という値であった。

2. 競技レベルによる比較

被験者を SPmax によって上位群（6名：グループ A と称する：各種インターカレッジ大会出場レ

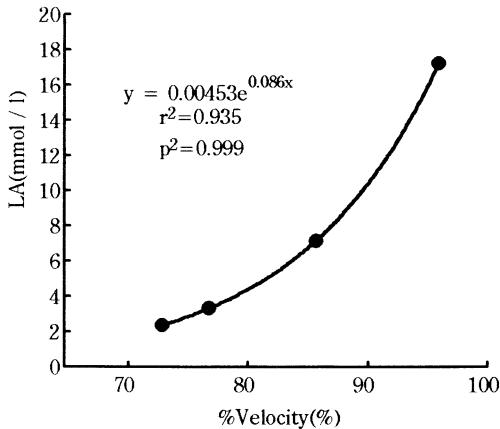


Fig. 1 Representative correlation plots between %Velocity and LA in one subject. Exponential regression is indicated a curve.

ベル)、中位群（6名：グループ B：大学代表選手補欠レベル）下位群（5名：グループ C：水泳競技初級者レベル）の3つのグループに分類し、測定で得られた数値を競技レベルで比較した。SPmax は A - B 間、B - C 間、A - C 間のすべての組み合わせにおいて 1% 水準で有意であった。

LA の最高値（以下 peak LA と称する）を Fig. 2 に示した。グループ A： 15.4 ± 1.35 mmol / l、グループ B： 15.0 ± 1.76 mmol / l、グループ C： 9.34 ± 3.40 mmol / l であり、A - C 間および B - C 間に 1% 水準で有意差がみられた。%Velocity に対する LA の関係をグループごとに指数回帰したところ（Fig. 3）、グループ A： $y = 0.0159e^{0.0727x}$ 、グループ B： $y = 0.0304e^{0.0634x}$ 、グループ C： $y = 0.0527e^{0.0508x}$ という回帰式を得た。また最大心拍数（以下 peak HR と称する）を Fig. 4 に示した。

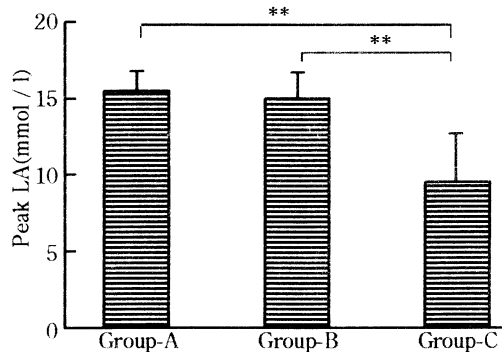


Fig. 2 Comparison of peak LA among the three groups classified according to SPmax. Values are means (\pm SDs). (**; $p < 0.01$)

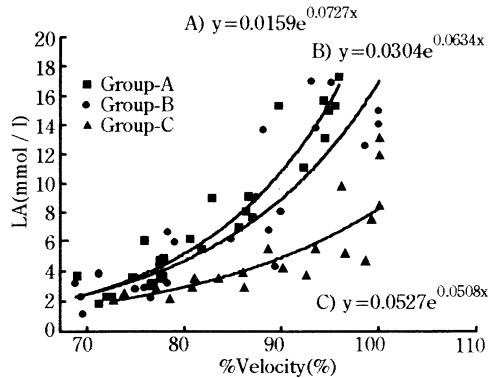


Fig. 3 Correlation plots between %Velocity and LA at each trial in all subjects. Exponential regression curves of three different groups are shown respectively.

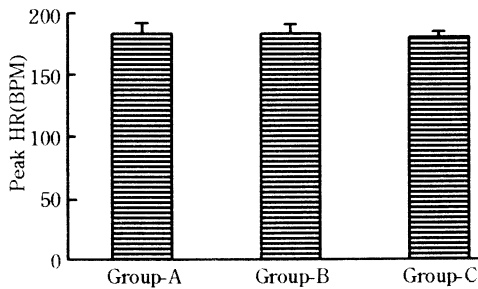


Fig. 4 Comparison of peak HR among the three groups classified according to SPmax. Values are means (\pm SDs).

グループ A : 183 ± 9.18 beats / min、グループ B : 183 ± 8.02 beats / min、グループ C : 180 ± 4.83 beats / min であり、グループ間には有意差は見られなかった。 $\%Velocity$ に対する HR の関係をグループごとに一次回帰したところ (Fig. 5)、グループ A : $y = 1.44x + 46.4$ 、グループ B : $y = 1.45x + 43.0$ 、グループ C : $y = 1.83x - 2.85$ という回帰式を得た。

各グループの OBLA-SP を Fig. 6 に示した。グループ A : 1.16 ± 0.0782 m / sec、グループ B : 1.06 ± 0.0828 m / sec、グループ C : 0.960 ± 0.0946 m / sec であり、A - C 間に 1% 水準で有意差がみられた。OBLA-SP の SPmax に対する割合 (Fig. 7) はグループ A で $75.6 \pm 3.09\%$ 、グループ B で $76.8 \pm 4.92\%$ 、グループ C では $86.5 \pm 3.60\%$ と最高値であり、A - C 間、また B - C 間は 1% 水準で

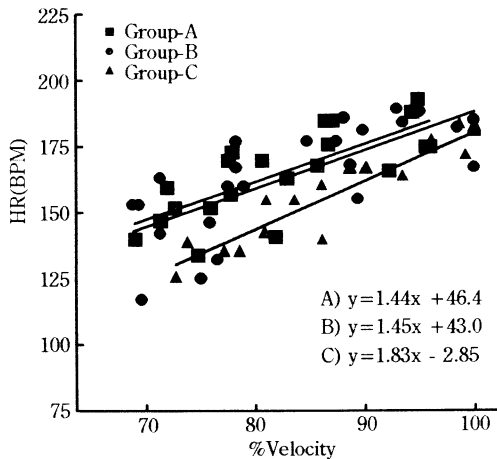


Fig. 5 Correlation plots between $\%Velocity$ and HR at each trial in all subjects. Regression lines of three different groups are shown respectively.

意であった。同じく Fig. 7 に OBLA-SP における HR を被験者ごとに算出し (以下 HR@OBLA-SP と称する)、American Heart Association の方法による年齢から推定される HR の最高値 (HRmax) に対する割合で示した。グループ A は $85.1 \pm 6.61\%$ 、グループ B は $84.4 \pm 4.69\%$ 、グループ C は $87.8 \pm 3.91\%$ と最高値を示したがグループ間で有意ではなかった。

IV. 考察

今回の測定において被験者の安静時 LA は、 3.58 ± 1.62 mmol / l と高い傾向を示した。しかしながら W-up 後の最初の試行である 70% テスト後においては 3.05 ± 0.938 mmol / l と逆に低下してい

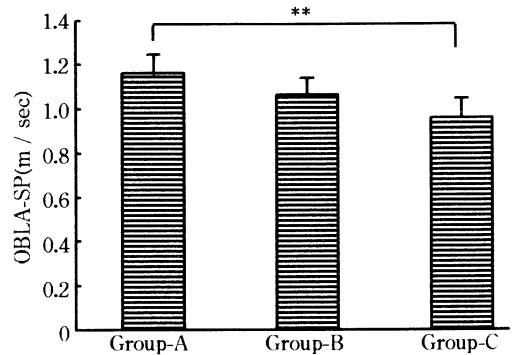


Fig. 6 Comparison of OBLA-SP among the three groups classified according to SPmax. Values are means (\pm SDs). (**; $p < 0.01$)

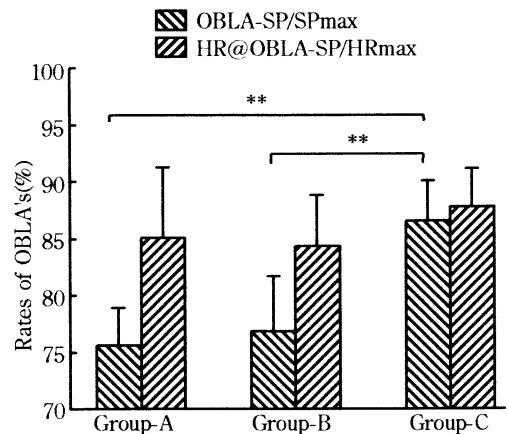


Fig. 7 Comparison of OBLA-SP / SPmax and HR@OBLA-SP / HRmax among the three groups classified according to SPmax. Values are means (\pm SDs). (**; $p < 0.01$)

た。血中乳酸は乳酸性作業閾値 (LT) 以下の強度の運動では、エネルギー源として各筋群に再配分され再利用されることが知られており、今回用いた W-up の強度や量が血中乳酸濃度を安定させたとともに、最初の試行である最大スピードの70%という運動強度設定がほぼ LT 以下であったことを示すものと思われる。しかしながら17名中2名の被験者がこの試行ですでに OBLA 以上の値を示していた。今回の測定で用いた最低強度は通常用いられている最低強度である80%^{6) 7)} よりかなり低い値と思われる70%を採用したが、様々な競技成績を持つ被験者が混在する場合の4スピードテストの負荷設定に、なお検討の余地を残しているといえよう。また安静時 LA に関しては本研究ではこの数値を直接考察に用いていないが、運動後と安静時の数値の差分 (血中乳酸濃度変化量: Δ LA) 等を測定するような研究の場合では、LA が安定した W-up 後を安静時と定義する等の検討も必要であろう。

またテスト泳間のインターバルに関して、Olbrecht ら⁸⁾は20分、松波ら⁹⁾は35分を採用している。本研究ではこれらを参考にして30分というインターバルタイムを設定した。この間に血中乳酸値がほぼ安静レベルに戻ることを想定したが、テスト泳間の安静時測定は行っていない。特にテスト泳の2、3本目では OBLA-SP を越えて泳いでいる場合が多く、LA が30分のインターバルで十分に回復していない可能性は否定できない。Kelly ら²⁾は LA が安静時レベルにまで回復するまでは次のテスト泳を開始しなかったことを明記しており、本研究でも実際の確認測定を行う必要があったと思われる。

%Velocity に対する LA の関係はすべての被験者において指数回帰の決定指数が一次回帰の決定係数よりも高い値を示した。この関係を回帰する際に一次回帰を採用するか⁸⁾、指数回帰を採用するか⁹⁾ は先行研究によって見解の相違が認められるところである。しかしながら運動強度の増加に対する乳酸性作業閾値 (LT) の存在は広く知られるところであり、最低の運動強度を LT 強度と同等と

考えられる OBLA 以下の強度に設定した場合は、2直線で回帰してその交点を LT として算出するか、サンプル数が少ない場合には指数回帰を用いるのが妥当と考えられる。今回の決定係数が示す結果はそれを裏づけるものとなった。

各グループの peak LA はグループ A とグループ C 間、およびグループ B とグループ C 間にそれぞれ1%水準で有意差がみられた。一方 peak HR にはグループによる差は見られなかった。このことから競技レベルが低い選手は泳運動による乳酸生成能力が低く、乳酸生成機構を有効に用いて泳ぐことができないため、全力泳時にも LA を高める能力が低いと考えられる。Fig. 3 と Fig. 5 を比較すると、%Velocity が高いほど LA では前述のグループ間の差が広がってゆくのにに対し、HR では3グループ間に顕著な傾きの差が生じていない。泳速度が低いときには乳酸産生能力には競技レベルの差が生じにくく、泳速度が増加することによる高強度負荷時の乳酸生成によるエネルギー供給能力は、競技レベルが高くなるにしたがって増加するものと考えられる。競技レベルが低い場合には乳酸生成によるエネルギー供給を有効に利用することができず、自己ベストに近い泳速度で高い HR を示している場合でも、なお有酸素エネルギー供給過程に高く依存しているものと考えられる。

Fig. 7で示されているように、OBLA-SP の SPmax に対する比率はグループ C で高い値を示し、グループ A、グループ B に対して1%水準で有意であった。競技レベルの低い場合には高い%Velocity でも LA が十分に高い値を示さないため、OBLA-SP / SPmax が高く見積られる傾向が生じてくるものと考えられる。一方 HR では OBLA-SP における競技力の差が比較的生じにくいと考えられる。

また、グループ C では設定した泳スピードの調整が正確にできず、全体的にテスト泳の%Velocity が高い傾向があった。そのため相対的に高くなった運動強度の影響を受けて、30分間のインターバルでは十分に LA の回復がみられなかった可能性が考えられるところである。しかしながら LA の結果は全体的にグループ C では低い値を示し、

peak LA も他のグループに対し有意に低いという結果であった。またすべての泳速度は SPmax に対する比率として標準化しているため、グループ C における%OBLA-SP の高さが高い%Velocity の影響を受けていた可能性は低いと考えられる。

以上のことから、トレーニング指標作成のために4スピードテストに LA を用いる手法は中程度レベルの競技者(本研究におけるグループ B: 200 m の平均泳速度が 1.38 ± 0.0561 m / sec 程度)においてもより上級者と同様の有効性を持つが、より下位のレベル、すなわち200 m の平均泳速度が1.3 m / sec 程度を下回るレベルの選手に採用することは、不適當である可能性が強いものと思われる。一方 HR では%Velocity に対する相対的数値に競技力による差が生じにくく、初級者レベルの選手に対しても上級者と同様の尺度でトレーニング指標として用いことができるものと考えられる。

V. 要約

本研究では水泳競技において、トレーニング強度の指標作成に用いられている4スピードテストがどの競技レベルから有効になるのかを、LA と HR についてそれぞれ比較検討した。その結果は以下の通りである。

1) テスト泳の負荷強度は200 m 泳の最高平均スピードの70%、80%、90%、100%を採用し、%Velocity に対する HR の直線回帰は0.1%水準で有意であった。また%Velocity に対する LA の指数回帰も0.1%水準で有意であり、すべての被験者において指数回帰の決定指数が直線回帰の決定係数より大きな値を示した。

2) peak LA はグループ C でもっとも小さな値を示し、グループ A、B に対しそれぞれ1%水準で有意であった。一方 peak HR はどのグループ間でも有意な差は認められなかった。

3) OBLA-SP の SPmax に対する割合はグループ C でもっとも大きな値を示し、グループ A、C に対しそれぞれ1%水準で有意であった。一方 HR@OBLA-SP の HRmax に対する割合はどのグループ間でも有意ではなかった。

以上のことから、4スピードテストにおける LA の測定は中程度レベルの競技者においてはより上級者と同様の有効性を持つが、より下位のレベルの選手に採用することは不適當である可能性が高いことが推測された。一方 HR の測定値には競技力による差が生じにくく、どの競技レベルの選手に対しても同一のトレーニング指標として用いことができることが示唆された。

参考文献

- 1) Bonifazi, M., Martelli, G., Marugo, L., Sardella, F. and Carli, G.: Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition, *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 33 (1), 13-18, 1993
- 2) Kelly, M., Gibney, G., Mullins, J., Ward, T., Donne, B. and O'Brien, M.: A study of blood lactate profiles across different swim strokes., Trinity College, Dublin; Newpark Sport Centre, Newpark, Co. Dublin, Eire
- 3) 松波勝, 洲雅明: 競泳トレーニングにおけるストローク数の活用について, 九州体育・スポーツ学研究, 12(1), 9-18, 1998
- 4) 吉村豊: 中央大学水泳部における乳酸のとらえ方, コーチングクリニック, 11(4), 9-13, 1997
- 5) 吉村豊, 高橋雄介: 競泳のトレーニングプログラム(3), 中央大学保健体育研究所紀要, 11, 1993
- 6) 若吉浩二: 水泳における乳酸測定の実際とその値の利用法, コーチングクリニック, 13(3), 15-19, 1999
- 7) 荻田太: 水泳中の無酸素性エネルギー供給動態, *Japanese Journal of Sciences in Swimming and Water Exercise*, 2, 47-56, 1999
- 8) Olbrecht, J., Madsen, O., Mader, A., Liesen, H. and Hollmann, W.: Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercises, *Int. J. Sports Med.*, 6, 74-77, 1985
- 9) 松波勝, 田口正公, 青柳美由季: 大学競泳選

手における定期的な乳酸テストから見た有酸素性
能力の変化, 九州体育・スポーツ学研究, 10(1),
23-30, 1996

受付 平成13年11月25日

受理 平成14年 3月18日