

研究課題：オープンウォーターの水泳の生理学的特性に関する研究  
研究代表者氏名： 綾部誠也（順天堂大学スポーツ健康科学部）

## 目次

|       |    |
|-------|----|
| 要約Ⅰ   | 2  |
| 緒言Ⅱ   | 3  |
| 方法Ⅲ   | 5  |
| 結果Ⅳ   | 8  |
| 考察Ⅴ   | 9  |
| 総括Ⅵ   | 14 |
| 謝辞Ⅶ   | 15 |
| 図表Ⅷ   | 16 |
| 引用文献Ⅸ | 22 |

研究課題：オープンウォーターの水泳の生理学的特性に関する研究

綾部誠也，鈴木大地，青木純一郎（順天堂大学スポーツ健康科学部）

## I. 要約

本研究は，オープンウォーター水泳の生理学的特性について検討した．対象者は，日常的に競泳競技のトレーニングを行う男女であった．水泳運動は，各被験者の最大能力の 20%，40，60，80 および 100% に相当する速度で 5 回の 200m 自由形泳で構成された．全対象者は，右前腕部へ加速度計内蔵防水機能付小型身体活動モニタ（Actical，MINIMITTER）を装着した．Actical は，15 秒毎に前腕部の加速度の頻度とサイズに応じて運動強度を判定した．また，5 段階の泳速度のそれぞれについて，被験者毎の泳速度（m/sec），上肢のストローク頻度（回/sec），ストローク長（m/回）を評価した．血中乳酸濃度が 2，3 および 4 mmol/l に相当する泳速度を決定した（SSLA2，SSLA3，SSLA4）．CSS は，100m から 1500m の競泳自由形泳の自己最高記録から算出した．

その結果，加速度計が判定した運動強度の平均値は，泳速度ならびにストローク頻度との間に有意な正の相関関係を認めた．また，SSLA2 は，OW の平均泳速度との間に有意な差を認めなかった．一方，SSLA3，SSLA4 および CSS は，OW の平均泳速度との間に有意な差を認めた（ $p<0.05$ ）．これらの結果から，最大下運動の血中乳酸濃度に対応する泳速度や CSS として評価される有酸素性作業能は，OW の競技能力と関連があると考えられ，特に SSLA2 が OW の競技記録を反映することが示唆された．さらに，加速度計内蔵防水機能付小型身体活動モニタが水泳運動の評価に有用であることを示唆する．

## Ⅱ．緒言

オープンウォータ水泳（以下 OW）は、海や湖にて 3km から 10km などの長距離泳の能力を争う競技である。この OW は、プールにて行う競泳種目と同様に Federation Internationale de Natation（FINA）が管轄し、これまでに世界選手権が開かれると同時に、年間を通じて世界各地を転戦するポイントレースも行われている。さらに、OW は、2008 年の北京五輪にて公式競技種目となることが決定している。我が国においては、毎年 1 回、ジャパンオープンを開催すると同時に、世界大会への選手の派遣なども行い、選手の強化が進められている。ただし、これまで、我が国の OW 選手は、世界レベルでの大会での活躍がみられず、北京五輪やその後の国際大会へ向け、支援策をより一層強化する必要がある。

OW は、先述の通り、長距離泳能力を競う種目であり、北京五輪の正式種目として採用される 10 km の種目の競技時間は 2 時間を越える。これは、現行の競泳種目と比べれば著しく長く、1500 m 泳のおよそ 8 倍以上に相当し、陸上競技のフルマラソンに匹敵する。そのため、OW の競技能力向上のためには、有酸素性作業能の確保が必要不可欠であると考えられる。VanHeest et al. は、エリート OW 選手の特性を調査した結果、OW の競技力向上のためには筋持久力トレーニングを行い、血中乳酸濃度が安静水準から急激に上昇する運動強度である乳酸性作業閾値に相当する泳速度を向上させることが重要であることを示唆している。これらのことから、OW は、有酸素性作業能の適切な評価とそれに基づいたトレーニングプログラムの作成が必要と考えられる。

これまで、競泳競技における有酸素性作業能は、乳酸性作業閾値や一定濃度の血中乳酸濃度に

相当する泳速度やクリティカルスイミングスピード (Critical Swimming Speed : CSS)などを用いて評価されてきた。これらの方法は、運動後の血中乳酸濃度の測定や通常の競泳用プールでの全力泳によって比較的簡便に実施でき、有酸素性作業能のゴールドスタンダードである最大酸素摂取量との相関性も認められている。また、それらの指標は、競泳の競技記録との有意な相関性も認められており、競技能力の評価やトレーニングプログラムの作成にも有用である。ただし、これまでそのような関連性は、200 m 泳や 400 m 泳などのプールで行われる競泳競技で明らかになっているが、OW では明らかになっていない。VanHeest et al. は、OW における乳酸性作業閾値の重要性を示唆しているが、これは、OW 選手とプールでの競泳選手の比較から導き出された結果であり、OW の競技記録と有酸素性作業能の直接的な関連性に関する検討は行われていない。そこで我々は、競技時間が 2 時間を越える OW の競技記録も他の種目と同様に一定濃度の血中乳酸値に対応する泳速度や CSS との間に有意な相関性を認めるとの仮説を立てた。更に、OW は、他の競技と比較して平均泳速度が遅いために、これまでに 200 m 泳や 400 m 泳の記録との間での相関性が認められている 4 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度や CSS よりも、むしろより強度の低い乳酸性作業閾値や 2 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度に近似すると予測した。本研究は、これらの 2 つの仮説を検証することを目的とした。

### Ⅲ. 方法

被験者は、水泳部に所属している男子大学生 6 名であった。各被験者の年齢、身長、体重、および体脂肪率は、Table 1 に示した。被験者の専門種目は、自由形 3 名、平泳ぎ 1 名、バタフライ 1 名、個人メドレー 1 名であり、競泳競技歴が 8 年から 15 年 ( $13 \pm 3$  年) であり、OW の競技経験がなかった。なお、被験者は、本研究の OW 競技および泳負荷試験による有酸素性作業能の評価において、同一のフルボディー型競泳用水着 (SPEEDO 社製) を着用した。

本研究のプロトコールは、ヘルシンキ宣言に基づいて行われた。また、被験者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、実験参加の同意を得た上で研究に参加した。なお、本研究のプロトコールは、順天堂大学大学院スポーツ科学研究科倫理委員会の承認を得た。

OW は、平成 18 年度の JAPAN OPEN 2006 館山(千葉県館山市北条海岸沖にて)を対象とした。出場種目は、男子 10 km であった。競技は FINA の規定するオープンウォータースイミング競技規則に従って行われた。また、競技記録は、大会本部発表の正式記録を用い、泳距離で除し、泳速度 (m/sec) を算出した。

なお、競技は、午前 9 時に開始され、本研究の対象選手がゴールするまでの間の気象条件は、天候は晴れ、気温は 27.2℃から 28.3℃、また、海面水温は 24℃であった。

泳負荷試験による有酸素性作業能の評価は、短水路プールにて、VanHeest et al.の先行研究に基づいて行われた。被験者は、200m の自由形泳を休息を挟みながら 5 回行った。各ステージでの泳速度は、被験者の 200 m 自由形泳の最高記録の 20, 40, 60, 80 および 100%を目安に設定

した。また、各被験者は、同一ステージ内の泳速度を一定に保つように指示された。各ステージは、5分毎に開始された。各ステージ間に、血中乳酸濃度を測定するために2分程度の休息を設けた (Figure 1)。

泳負荷試験中、心拍数と血中乳酸濃度を測定した。心拍数は、携帯型心拍計 Accurex Plus (Polar, FINLAND)を用いて、安静時から試験終了まで連続して測定した。なお、心拍数の記録は、15秒間隔にて行い、試験終了後にパソコンへダウンロードした後に解析した。血中乳酸濃度は、安静時ならびに各ステージ終了直後に耳朶より  $5\mu\text{l}$  の採血を行い、携帯型簡易血中乳酸濃度測定器 Lactate PRO (ARKRAY, JAPAN)を用いて測定した。なお、本研究は、一定濃度の血中乳酸濃度に対応する泳速度の評価を目的としたため、これまでに行われている方法に従って、各ステージ終了後の血中乳酸濃度を評価した。また、測定に際しては、ストップウォッチ (SEIKO 社製) を用いて 200m の所要タイムを測定し、各ステージの泳速度 (m/sec) を算出した。試験終了後に、2, 3, および 4 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度 (SSLA2, SSLA3 および SSLA4) を、先行研究に従って算出した (Figure 1)。すなわち、得られた血中乳酸濃度のうち、算出対象の濃度を挟む2つのサンプルとそれに対応する泳速度を選出し、両者を log 変換し、その後に得られる一次回帰式より内挿した。

全対象者は、右前腕部へ加速度計内蔵防水機能付小型身体活動モニタ (Actical, MINIMITTER) を装着した。Actical は、15 秒毎に前腕部の加速度の頻度とサイズに応じて運動強度を判定した。

また、5段階の泳速度のそれぞれについて、被験者毎の泳速度 (m/sec)、上肢のストローク頻度 (回/sec)、ストローク長 (m/回) を評価した。

#### IV-4. クリティカルスイミングスピードの決定

CSS は、Wakayoshi et al の先行研究に基づいて算出した。すなわち、100m から 1500m の競泳自由型自己ベスト記録について、独立変数に記録 (秒) を、それに対応する泳距離 (m) を従属変数とする関係から得られる一次回帰式の傾きを CSS とした。

すべてのデータは、平均値と標準偏差で示した。OW の平均泳速度と一定濃度の血中乳酸濃度に相当する泳速度ならびに CSS との比較は、対応のない T-Test を用いて行った。また、OW の平均泳速度と一定の血中乳酸濃度に相当する泳速度および CSS との関連性は、Pearson の積率相関係数を用いて検討した。なお、有意水準の判定は  $p < 0.05$  とした。

#### IV. 結果

OW の競技記録は, Table 1 に示した. 泳時間は  $125.17 \pm 11.30$  min であり, 平均泳速度は  $1.34 \pm 0.12$  m/sec であった. また, 本研究の被験者の競技の着順は全参加者 40 名のうち 1 位から 22 位の範囲であり, 入賞者は 2 名であった.

泳負荷試験の, 各ステージの泳速度, 心拍数および血中乳酸濃度は, Table 2 に示した. また, ステージ I からステージ V の泳時間は,  $158 \pm 10$  秒,  $149 \pm 9$  秒,  $141 \pm 7$  秒,  $135 \pm 5$  秒および  $130 \pm 13$  秒であった. そして, ステージ間の休息時間は, ステージ I の後が  $144 \pm 10$  秒, ステージ II の後が  $152 \pm 9$  秒, ステージ III の後が  $159 \pm 7$  秒およびステージ IV 後が  $165 \pm 5$  秒であった.

SSLA2, SSLA3, SSLA4, および CSS は, Table 3 に示した. OW の平均泳速度は, SSLA2 との間に有意な差が認められなかった. また, OW の平均泳速度は, SSLA3, SSLA4, および CSS に比して有意に低値であった ( $p < 0.05$ , Table 1). 更に, Figure 2 には, SSLA2, SSLA3, SSLA4, および CSS を OW の平均泳速度に対する比率で示した. SSLA2, SSLA3, SSLA4, および CSS は, OW の平均泳速度に対して, それぞれ,  $102 \pm 6\%$ ,  $106 \pm 6\%$ ,  $110 \pm 7\%$ ,  $106 \pm 5\%$  に相当した.

Figure 3 へ示すように, SSLA2, SSLA3, SSLA4, および CSS は, OW の平均泳速度との間に有意な正の相関関係を認めた(それぞれ  $r=0.833$ ,  $r=0.860$ ,  $r=0.879$ ,  $r=0.926$ , いずれも  $p < 0.05$ ).

加速度計が判定した運動強度の平均値は, 泳速度ならびにストローク頻度との間に有意な正の相関関係を認め ( $r=0.680$  および  $r=0.714$ , それぞれ  $p < 0.001$ ), ストローク長との間に負の相関関係を認めた ( $r=-0.470$ ,  $p < 0.001$ ).

## V. 考察

本研究は、OW のパフォーマンスと一定濃度の血中乳酸濃度に相当する泳速度ならびに CSS との関連性を検討し、それらに有意な相関関係があり、特に、OW のパフォーマンスが 2 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度から評価可能であることを示した。従って、OW の競技記録と一定濃度の血中乳酸濃度に相当する泳速度ならびに CSS の間に有意な相関性を認める、ならびに、OW の競技記録が 4 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度や CSS よりもむしろより強度の低い乳酸性作業閾値や 2 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度に近似するとの 2 つの仮説は立証された。これまでに、CSS や 2, 3, 4 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度は、競泳選手のパフォーマンス評価の有用性が明らかにされてきたが、それらを OW にて明らかにしたことは、本研究のオリジナリティーである。また、本研究が研究実施年度において我が国で最も権威ある大会にて、その優勝者を含む選手を対象にしたことは、本研究の特長である。

本研究は、OW の泳記録と一定濃度の血中乳酸濃度に対応する泳速度や CSS との間に正の相関関係を認めた。同様の関連性は、これまでの先行研究によっても報告されている。すなわち、Bonifazi et al. は、SSLA4 と 200 m, 400 m, 800 m および 1500 m 泳の速度の間に有意な相関性を確認している。また、Wakayoshi et al. は、SSLA4 ならびに CSS と 200 m 泳および 400 m 泳の平均速度の間に有意な正の相関関係を認めている。一方、この研究では、興味深いことに、400 m 泳の速度が実測した最大酸素摂取量との間に有意な関連性を認めなかったことを報告している。同様に、Ribeiro et al. も、最大酸素摂取量よりも SSLA4 の方が 400 m 泳の記録予測に適当である

ことを示している。このように、一定濃度の血中乳酸濃度に対応する泳速度や CSS は、競泳競技のパフォーマンスの評価として有用であることが明らかであり、本研究によりプールでの競技種目に加えて OW の記録とも有意な相関性を示すことが示唆された。

更に、本研究の結果は、それらの指標の中でも SSLA2 が OW のパフォーマンスの評価に有用であることを示している。Table 3 に示すように、SSLA2 は、本研究で用いた指標の中で唯一、OW の平均泳速度との間に有意な差を認めなかった。これまでの多くの研究において、SSLA4 や CSS と競泳の競技記録の関連性が認められているが、OW の平均泳速度は、競技時間が長く、平均泳速度が遅いために、それらに比べて強度が低い SSLA2 へ近似したのであろう。このような傾向は、血中乳酸濃度反応と陸上競技の中長距離競技の関連性を検討した研究においても認められている。Farrell et al. は、乳酸性作業閾値に相当する走速度がマラソンのレースペースへ近似することを明らかにしている。また、Tanaka & Matsuura は、4 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する走速度と比較して、乳酸性作業閾値がマラソンの走速度の予測に好ましいことを報告している。更に、Yoshida et al は、いくつかある血中乳酸濃度を用いたパラメータのうち、乳酸性作業閾値が持久的競技のパフォーマンスの最高の指標であることを示唆している。

これらの事から、血中乳酸濃度を利用した持久的能力の評価は、特に競技時間が長いスポーツ種目の場合、乳酸性作業閾値などの低中強度にて出現するパラメータを利用することが有用と考えられる。本研究で用いた 2 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する運動強度は、乳酸性作業閾値に比して高値を示すが、15%程度の推定誤差にて乳酸性作業閾値を簡易に評価法できる。一方で、

3 mmol/l や 4 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する運動強度は、乳酸性作業閾値に比して有意に高いことが確認されている。さらに、CSS は、3.0 mmol/l 程度の血中乳酸濃度に対応し、乳酸性作業閾値に比して有意に高値であることが示されており、本研究においても CSS が SSLA3 に近似した (Table 1)。その結果、本研究においては、SSLA3、SSLA4 および CSS が OW の平均泳速度に比して高値を示し、SSLA2 のみが OW の平均泳速度との間に有意な差を認めなかったのであろう。しかしながら、血中乳酸濃度に関連する指標や CSS は、互いの関連性が高いため、Figure 3 へ示したように、OW の平均泳速度は、それぞれの指標との間に高い相関関係を認めた。これらのことから、SSLA2、SSLA3、SSLA4 および CSS は、OW の競技記録の指標として有用であるが、中でも、SSLA2 は、OW の平均泳速度に近似するため、OW のレースペース作成や OW を意図した実験条件の設定などに適当であると考えられる。

これまでの研究における CSS は、50 m から 400 m までの複数の泳記録と泳距離から算出されることが一般であり、それらは 200 m や 400 m の競技記録や SSLA4 などとの間に相関関係が認められている。更に、本研究は、CSS を 100 m から 1500 m までの自由型泳の被験者毎の自己最高記録から算出し、OW の泳速度と CSS との間に  $r = 0.926$  の有意な相関関係を認めた。ただし、この相関関係は、800 m および 1500 m の記録が影響している可能性が高い。すなわち、800 m および 1500 m の記録を除いた 100 m から 400 m の泳記録から算出した CSS は、OW の泳速度との間に有意な相関性が認められなかった。同様に、Toubekis et al も、短距離泳記録から算出された CSS が、中距離泳記録から算出された CSS に比して有意に高値となることを示している。

これらは、CSS がその算出に用いた泳距離によって異なることを示し、OW パフォーマンス予測に当たっては、競泳長距離種目の記録を含めて算出することが好ましいと考えられる。

本研究にはいくつかの限界がある。まず、本研究の対象者は、わずか 6 名の男性選手であった。従って、本研究の結果は、その一般化などを考えれば、女性選手を含めた多人数の調査にて確認する必要がある。ただし、OW は、開催される大会によって海の状態が異なるため、結果を一元化して評価することが出来ない。また、気象条件によっては、大会の開催が見合わされることもある。従って、OW に関するデータの集積率を高めるためには、長期的視野に立ったデータの蓄積と同時に、異なる大会の結果を合わせて検討するための競技記録の校正方法の検討が必要である。二つ目に、本研究は、OW 中の泳速度を記録から平均速度を算出した。ただし、実際の試合中の泳速度は、一定でなく、変動があると推測される。今後、泳速度の変動を加味した研究を行うことにより、有酸素性作業能だけでなく、ラストスパート局面にて発揮すべき無酸素的能力なども明らかになり、より実際のレースに即した実践的な成果が期待できる。さらに、本研究の成果を応用する際には、短水路を用いて得られた点に留意する必要がある。短水路での泳負荷試験は、長水路でのそれに比して、ターンの回数が多く、心拍数や血中乳酸濃度が低くなるため、短水路を用いて評価した一定濃度の血中乳酸値に対応する泳速度などは、長水路でのそれに比して高くなる。最後に、OW は、水温、浮力や波など、プールでは得られない海特有の環境要因の影響を受ける。従って、OW の平均速度と SSLA2 は、本研究において有意な差が認められなかったが、これは、両者の生理的強度の一致を示すものではない。今後、OW の安全かつ効果的な

トレーニングやレースペースの作成のためには、OW 時の酸素摂取量、心拍数、血中乳酸濃度、  
体温などを明らかにする必要がある。

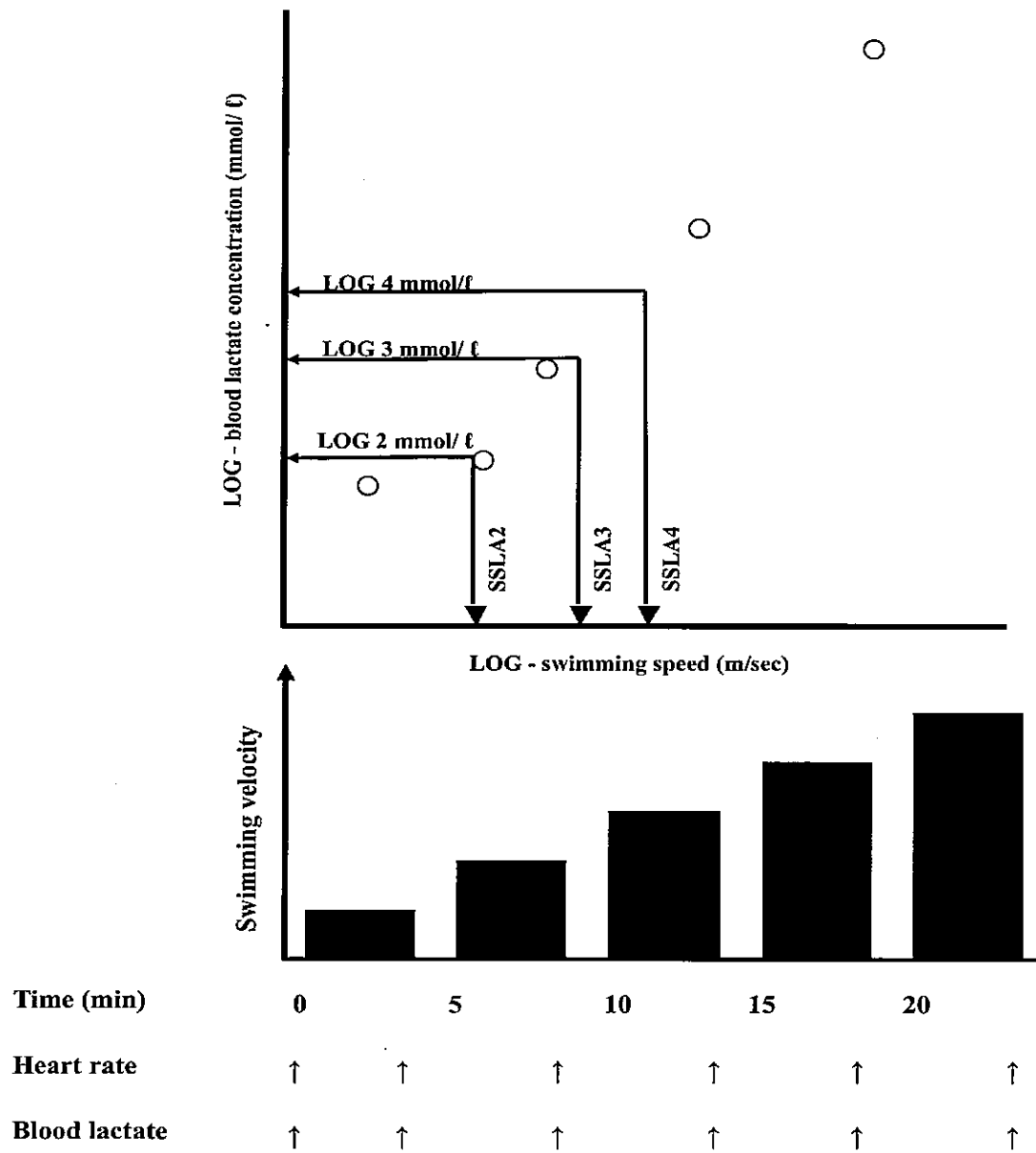
## VI. 総括

本研究は、6名の大学競泳選手を対象に OW の競技記録と一定濃度の血中乳酸濃度に相当する泳速度ならびに CSS との関連性を検討した。その結果、2 mmol/l から 4 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度ならびに CSS は、OW の平均泳速度との間に有意な相関関係を認めた。また、それらの指標の中で 2 mmol/l の血中乳酸濃度に相当する泳速度は、唯一、OW の平均泳速度との間に有意な差が認められなかったことから、特に、OW の競技記録の指標として有用であると考えられた。更に、携帯型加速度計の測定結果は、泳速度、上肢運動量などと有意な関連性を認めたため、オープンウォータ水泳の運動強度評価方法として有用であると考えられた。今後は、これらの結果を異なる集団にて確認すると同時に、OW について、レースペースや生理的強度を加味して検討する必要がある。

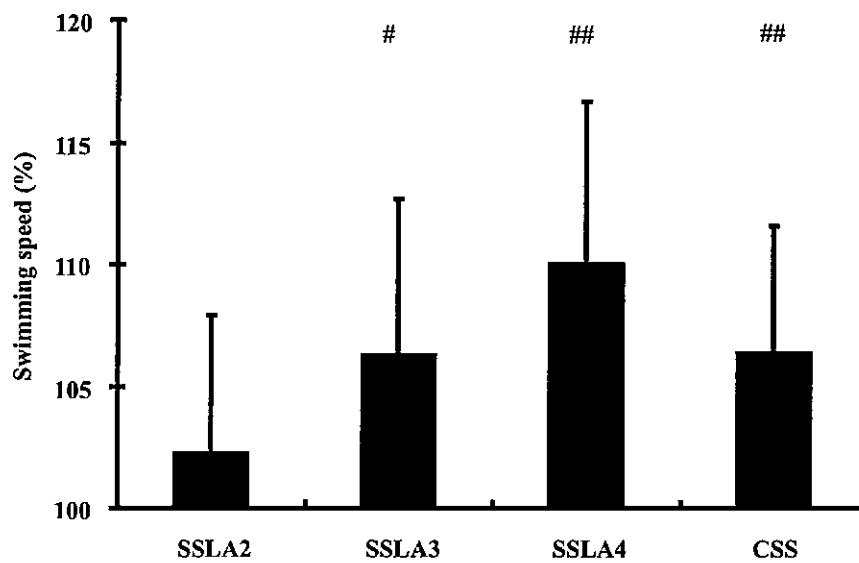
## VII. 謝辞

本研究は、上月スポーツの支援を受けて実施された。また、本報告書の一部は、第 61 回日本体力医学会、第 57 回日本体育学会にて発表された。

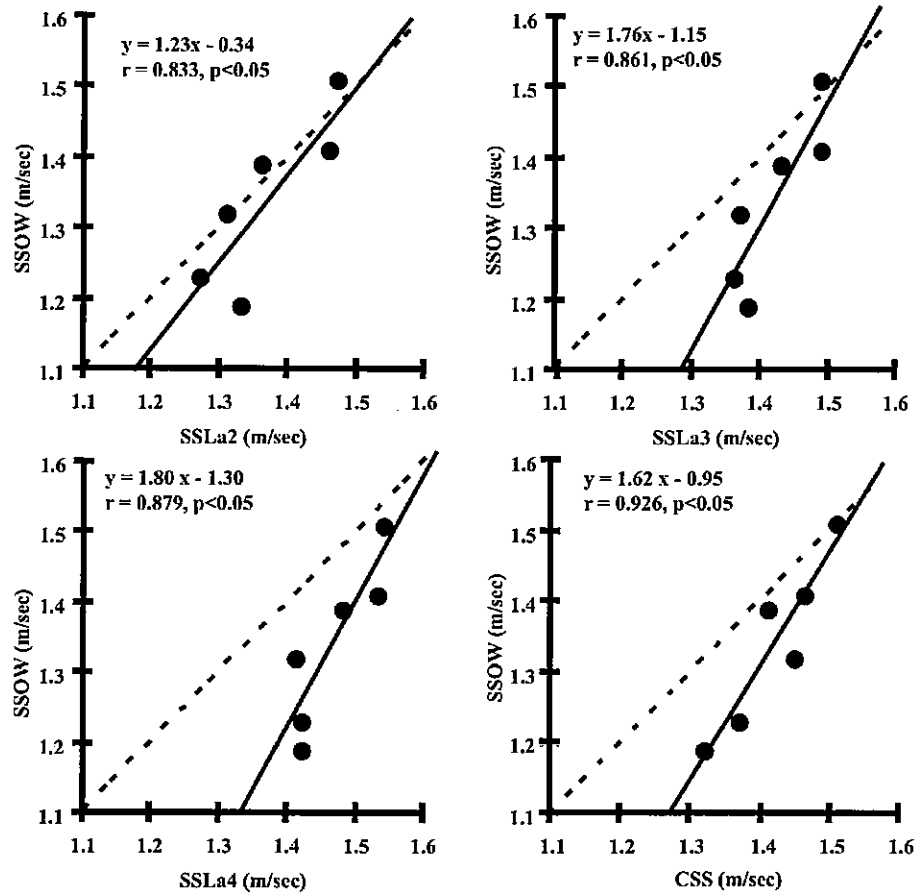
# VII. 图表



**Figure 1. Assessment of swimming speed at fixed levels of blood lactate concentration by multistage graded swimming test**  
 Upper illustrate shows the typical responses of the blood lactate accumulation to the swimming speed in one of the six subjects. SSLA2, SSLA3, SSLA4, swimming speed corresponding to the 2, 3 or 4 mmol/l of blood lactate concentrations. Lower illustrate shows the procedure of the graded swimming exercise test.



**Figure 2. Comparison of swimming speed during the open-water swimming with the swimming speed at fixed levels of blood lactate concentration or the critical swimming speed.** The data was expressed as the mean with standard deviation of the relative rate to the swimming speed during the open-water swimming. #, ## Significantly different compared to the absolute swimming speed during the open-water swimming (#  $p < 0.05$ , ##  $p < 0.01$ ).



*Figure 3 Relationship of swimming speed during the open-water swimming with the swimming speed at fixed levels of blood lactate concentration or the critical swimming speed. SSOW, swimming speed during the open water swimming; SSLa2, SSLa3, SSLa4, swimming speed corresponding to the 2, 3 or 4 mmol/l of blood lactate concentrations; CSS, critical swimming speed.*

TABLE 1. Characteristics and results of open-water swimming of subjects

| Subject | Age<br>(yr.) | Height<br>(cm) | Body<br>weight<br>(kg) | %Body Fat<br>(%) | Open-water Swimming |         |
|---------|--------------|----------------|------------------------|------------------|---------------------|---------|
|         |              |                |                        |                  | min                 | Ranking |
| A       | 21           | 173            | 68                     | 10               | 110                 | 1       |
| B       | 20           | 178            | 72                     | 4                | 118                 | 7       |
| C       | 22           | 183            | 72                     | 14               | 119                 | 9       |
| D       | 21           | 175            | 72                     | 7                | 126                 | 14      |
| E       | 20           | 181            | 73                     | 9                | 135                 | 18      |
| F       | 18           | 171            | 64                     | 8                | 140                 | 22      |
| Mean±SD | 20±14        | 177±5          | 70±3                   | 9±3              | 125±11              | 12±8    |

TABLE 2. Swimming velocity, heart rate and blood lactate during the multi stage graded swimming test

|                              | Stage     |           |           |           |           |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                              | 1st       | 2nd       | 3rd       | 4th       | 5th       |
| Swimming velocity<br>(m/sec) | 1.30±0.08 | 1.37±0.08 | 1.44±0.06 | 1.50±0.05 | 1.61±0.10 |
| Heart rate<br>(beats/min)    | 141±11    | 160±20    | 171±21    | 180±20    | 191±24    |
| Blood lactate<br>(mmol/l)    | 1.9±0.5   | 2.3±0.9   | 3.1±0.9   | 4.6±1.0   | 9.4±2.5   |

TABLE 3. Swimming speed corresponding to the open water, fixed blood lactate and critical swimming speed.

| Variables | Swimming speed (m/sec)  |
|-----------|-------------------------|
| SSOW      | 1.34±0.12               |
| SSLA2     | 1.37±0.08               |
| SSLA3     | 1.42±0.06 <sup>#</sup>  |
| SSLA4     | 1.47±0.06 <sup>##</sup> |
| CSS       | 1.42±0.07 <sup>##</sup> |

Data were expressed as the mean with the standard deviation.

<sup>#</sup>, <sup>##</sup> Significantly different compared to the swimming speed during the open-water swimming (<sup>#</sup> p<0.05, <sup>##</sup> p<0.01).

NOTES: SSOW, swimming speed during the open water swimming; SSLA2, SSLA3, SSLA4, swimming speed corresponding to the 2, 3 or 4 mmol/ L of blood lactate concentrations; CSS, critical swimming speed.

## Ⅷ. 引用文献

- Vanheest, J. L., Mahoney C. E., Herr L. Characteristics of elite open-water swimmers. *J. Strength and Cond. Res.*, (2004) 18, 302-305.
- Maglischo, E. W. *Swimming fastest*. 3rd. Ed., , Champaign, Human Kinetics, (2003)
- 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.*, (1990), 24, 196-200.
- Bonifizi, M., Martelli, G., Marugo, L., Sardella, F., Carli, G. Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (1993) 33, 12-18.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. A simple method for determining critical speed as swimming fatigue threshold in competitive swimming. *Int. J. Sports Med.*, (1992), 13, 367-371.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Kasai, T., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. Validity of critical velocity as swimming fatigue threshold in the competitive swimmer. *Ann. Physiol. Anthropol.*, (1992), 11, 301-307.
- Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, (1992), 64, 153-157.
- Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Harada, T., Moritani, T., Mutoh, Y., Miyashita, M. Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, (1993), 66, 90-95.
- Keskinen, O. P., Keskinen, K. L., Mero, A. A. Effect of pool length on blood lactate, heart rate, and velocity in swimming. *Int. J. Sports Med.*, (2007), 28, 407-413.
- Karlsson, J., & Jacobs, I. Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold concept. I. Theoretical considerations. *Int. J. Sports Med.*, (1981), 3, 190-201.
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., Costill, D. L. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports*. (1979), 11, 338-344.
- Tanaka, K. & Matsuura, Y. Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. *J. Appl. Physiol.*, (1984), 57, 640-643.
- Yoshida, T., Chiba, M., Ichioka, M., Suda, Y. Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, (1987), 56, 7-11.
- Ayabe, M., Yahiro, T., Mori, Y., Takayama, T., Tobina, T., Higuchi, H., Ishii, K., Sakuma, I., Yoshitake, Y., Miyazaki, H., Kiyonaga, A. Shindo, M., Tanaka H. Simple assessment of lactate threshold by means of the bench stepping in older population. *Int. J. Sport Health Sci.*, (2004), 2, 84-88.

- Dickstein, K., Barvik, S., Aarsland, T., Snapinn, S., Karlsson, J. A comparison of methodologies in detection of the anaerobic threshold. *Circulation*, (1990), 81, 1138-46.
- Martin, L., & Whyte G. Comparison of critical swimming velocity and velocity at lactate threshold in elite triathlete. *Int. J. Sports Med.*, (2000), 21, 36-368.
- Toubekis, A.G., Tsami, A. P., Tokmakidis, S. P. Critical velocity and lactate threshold in young swimmers. *Int. J. Sports Med.*, (2006), 27, 117-12.