

## 競泳におけるラクテートカーブテストから見た高速水着と通常水着との違い

### The influence of high speed swimsuits on the lactate curve test among competitive swimmers

松本高明\*, 内藤祐子\*, 青葉貴明\*  
高橋雄介\*\*, 阿部太輔\*\*\*, 浅井泰詞\*\*\*  
和田壮生\*\*\*, 和田匡史\*\*\*\*, 井上大輔\*\*\*\*\*

Takaaki MATSUMOTO\*, Yuko NAITO\*, Takaaki AOBA\*  
Yusuke TAKAHASHI\*\*, Daisuke ABE\*\*\*, Taishi ASAI\*\*\*  
Masaki WADA\*\*\*, Tadashi WADA\*\*\*\* and Daisuke INOUE\*\*\*\*\*

#### ABSTRACT

【Purpose】 The purpose of this research was to clarify the influence of high speed swimsuits on the lactate curve test among competitive swimmers. 【Method】 8 Japanese collegiate student championship participants were evaluated. These students were divided randomly into two groups. All the members primarily performed one main practice of a similar intensity for one week. Four of the subjects wore a high-speed swimming suit (LZR®) and the four remaining subjects wore conventional swimwear, all the members performed the lactate curve test in the 25m indoor pool of the Japan Amateur Swimming Federation Authority on the same day. After 3 days, the eight subjects performed the main practice at the same strength. Each one wore a different swimming suit, and performed a 2nd lactate curve test. In the lactate curve test all members swam 200m free style swimming 4 times (+40 seconds of best time, +30 seconds, +20 seconds, maximal effort). The rest time for each trial was 15 minutes, immediately after swimming lactic acid and HR was measured and velocity was computed from the time required (m/second). Lactic acid was measured using Lactate pro® (Arclay Co. Ltd, Kyoto, JAPAN) with the CDD enzyme-electrode method. The lactate curve was described using analysis program MEQNET Lactate Manager® from the acquired value, and the velocity of lactic acid was computed with values of 2mmol, 4mmol, 6mmol, and 8mmol. 【Results and Conclusions】 The subjects who wore the high-speed swimming suit (LZR®), in all cases, shifted their lactate curve to the right, compared to the lactate curve among those who wore the conventional swimsuits. The mean of the velocity

\* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan UNIV.)

\*\* 中央大学理工学部 (Faculty of Science and Engineering, CHUO UNIV.)

\*\*\* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate school sports system family, Kokushikan UNIV.)

\*\*\*\* 国士舘大学理工学部 (School of Science and Engineering, Kokushikan UNIV.)

\*\*\*\*\* 東京慈恵会医科大学 (The Jikei University School of Medicine)

equivalent to eight persons at lactic value 2mmol, 4mmol, a difference was not shown depending on the swimming suit although at lactic value 6mmol, and 8mmol a significant difference was shown between the high-speed swimming suit (LZR<sup>®</sup>) and conventional ones. The time required to swim 200m at maximal speed, in a high-speed swimming suit (LZR<sup>®</sup>), was significantly faster ( $p < 0.01$ ) to the that of the conventional swimsuit. Moreover as for the mean velocity at maximal speed swimming, the high-speed swimming suit (LZR<sup>®</sup>) showed a quicker ( $p < 0.01$ ) value than the conventional swim suit. It was thought that the high-speed swim suit (LZR<sup>®</sup>) obviously had a different functionality to the conventional swimsuit.

*Key words; Competitive swimming, lactic acid, high speed swimsuits*

## はじめに

2008年に開催された北京オリンピックでは、競泳で使用される水着のメーカーによる性能の違いについて論じられる機会が多かった。実際、競泳競技の金メダリストの94%が、英国スピード社製レーザーレーザー<sup>®</sup> (LZR) (図1) を着用していた。



図1 英国スピード社製レーザーレーザー<sup>®</sup> (LZR)  
大半の選手が着るMサイズ 骨盤から足首まで約60cmしかない

また、2009年にローマで開催された世界選手権においても、新たな水着開発に関する話題が席卷し、新たな水着メーカーが台頭するなど、選手の記録が、トレーニングより、水着により左右されることに対する危惧についても議論されるようになった。このような、2008年以降に登場した水着は、高速水着といわれる。実際、本学の選手も、高速水着を着用している選手の記録が、100m平泳ぎの記録でも同じ日に着用したところ1秒以上速くなるという事例に遭遇した。水着による身体に対する影響を調査した報告では、Chatardによるウエットスーツに関する報告<sup>1)</sup>や、富樫らの報告があり<sup>2)</sup>、水着の素材や形状により浮力や抵抗が異なることが指摘されている。シドニーオリンピックで話題になったサメの皮膚を模したとされるFastskinに対する報告<sup>3) 4)</sup>、水着の素材やサイズに関しての報告<sup>5) 6)</sup>、水着による抵抗に関する報告<sup>7) 8)</sup>があるものの、ここ1, 2年で登場した高速水着に関する性能についての生理学的な検討は少ない<sup>9)</sup>。

国際水泳連盟 (FINA) は、2009年からFINAが公認する水着で出した記録のみが、世界記録として公認されるとし、以後水着が審査承認されることになり、承認された水着のみがFINA公認の大会で着用可能となり、承認された水着がFINAのホームページ (HP) で公開されることとなった<sup>10)</sup>。Jean-Claude<sup>3)</sup>によれば上半身を覆う水着

と下半身を覆う水着では、その性能に差がみられると報告しており、実際、国際水泳連盟は2010年4月より、織物以外の水着を一切禁止し、男性はへそ下かつ膝関節の上までのスパッツタイプの事前承認を受けた水着の試合での着用を義務化することになった。このルールにより、北京オリンピックで使用され、金メダルを量産した高速水着である英国スピード社のレーザーレーサー®は使用不可能となった。

2008年に発売されたレーザーレーサー®は、物体表面と水との摩擦抵抗を軽減するため、ニット生地で伸縮性のある超撥水素材に部分的に伸張性を抑えるためポリウレタンを張り合わせた布地を使用しており、超撥水素材と滑面ポリウレタンは通常素材に比べ、水との粘性摩擦抵抗が少ないといわれる<sup>11)</sup>。

今回、われわれは、世界記録を大幅に更新し、2008年北京オリンピックで使用された英国スピード社のレーザーレーサー® (LZR®) を用い、競泳の競技能力を調べるのに一般的に使用されているラクテートカーブテストを行い、高速水着と、通常水着との性能の違いがあるか否かについて検討することを目的とした。

## 方 法

### I. 被験者

被験者は、日本学生選手権に出場経験のある男子大学生8名とした。これら被験者に対し、ヘルシンキ宣言に基づき、研究の目的、方法、手順について十分に説明し、書面にて同意を得た。選手には、研究の参加は自由で、途中で中止することも可能であることも説明した。研究の成果については、個人が特定されない方法で公表することにも同意を得た。

被験者の、身体的な特徴を表1に示す。

### II. 実験手順と測定項目

8名の被験者を全員、一週間同じ運動強度のメイン練習を各自の所有する水着でおこなった。実験の間は、足関節踝上までのスパッツタイプの高速水着 (LZR®) (図2) と同社製の2008年製の繊維のみの素材で出来た伸縮タイプの従来水着 (図3) を着用して行った。ランダムに4名が高



図2 着用した 高速水着 (LZR®)



図3 従来型のスピード社の水着

表1 被験者の身体的特徴

(n)	年齢 (yrs)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )
8	19.5±0.5	172.3±7.0	67.5±5.2	22.8±1.4

Values are mean ± S.D.

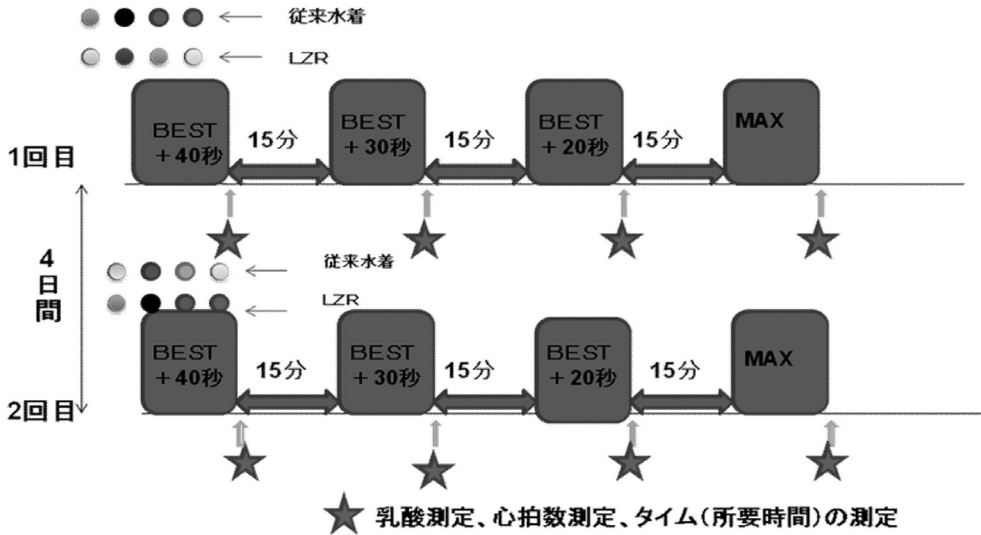


図4 ラクテートカーブテストのプロトコール

速水着 (LZR<sup>®</sup>)、残りの4名が従来水着を着用し、全員が同日、日本水泳連盟公認の25mの屋内プールで、ラクテートカーブテストを行い、さらに3日間、8名が同じ強度のメイン練習を行った。後4日目に各自が別の水着を着用し、2回目のラクテートカーブテストを行った。(図4) プールの水温は両日とも30℃であった。また、プールサイドの室温は両日とも32℃、湿度は50%であった。

ラクテートカーブテストは、若吉<sup>12)</sup>らの方法に準じ、200mを4回(1回目 個人のベストタイム+40秒、2回目 個人のベストタイム+30秒、3回目 個人のベストタイム+20秒、4回目 最大努力泳)各自の専門種目で泳ぎ実施した。一回ごとの休息時間は15分とし、泳いだ直後に、乳酸、心拍数を測定し、所要時間から泳速度(m/秒)を算出した。得られた値から解析ソフトMEQNET LT Manager<sup>®</sup>(アークレイ社)を用いてラクテートカーブを描出し、乳酸値2mmol, 4mmol, 6mmol, 8mmol相当の泳速度を算出した。

乳酸の測定は、手指の先をアルコール綿にて消毒し、十分に清潔なガーゼで拭き取ったのち、穿刺針にて血液を採取して、CDD酵素電極法にて



図5 感染防止策を施した新しい穿刺器具(左)とラクテートプロ(右)

ラクテートプロ<sup>®</sup>(アークレイ社 京都)を用いて測定した。(図5) 採血には、感染防止に十分注意し、かつ汗や消毒液の影響を考慮し、2番血を使用した。測定場所の気温は、32℃であった。

### Ⅲ. 統計処理

得られた結果に対し、repeated measure ANOVAをもちい、有意差の存在を確認したあと、Tukeyによる多重比較検定をおこなった。統計ソフトはSPSS<sup>®</sup>を用いた。



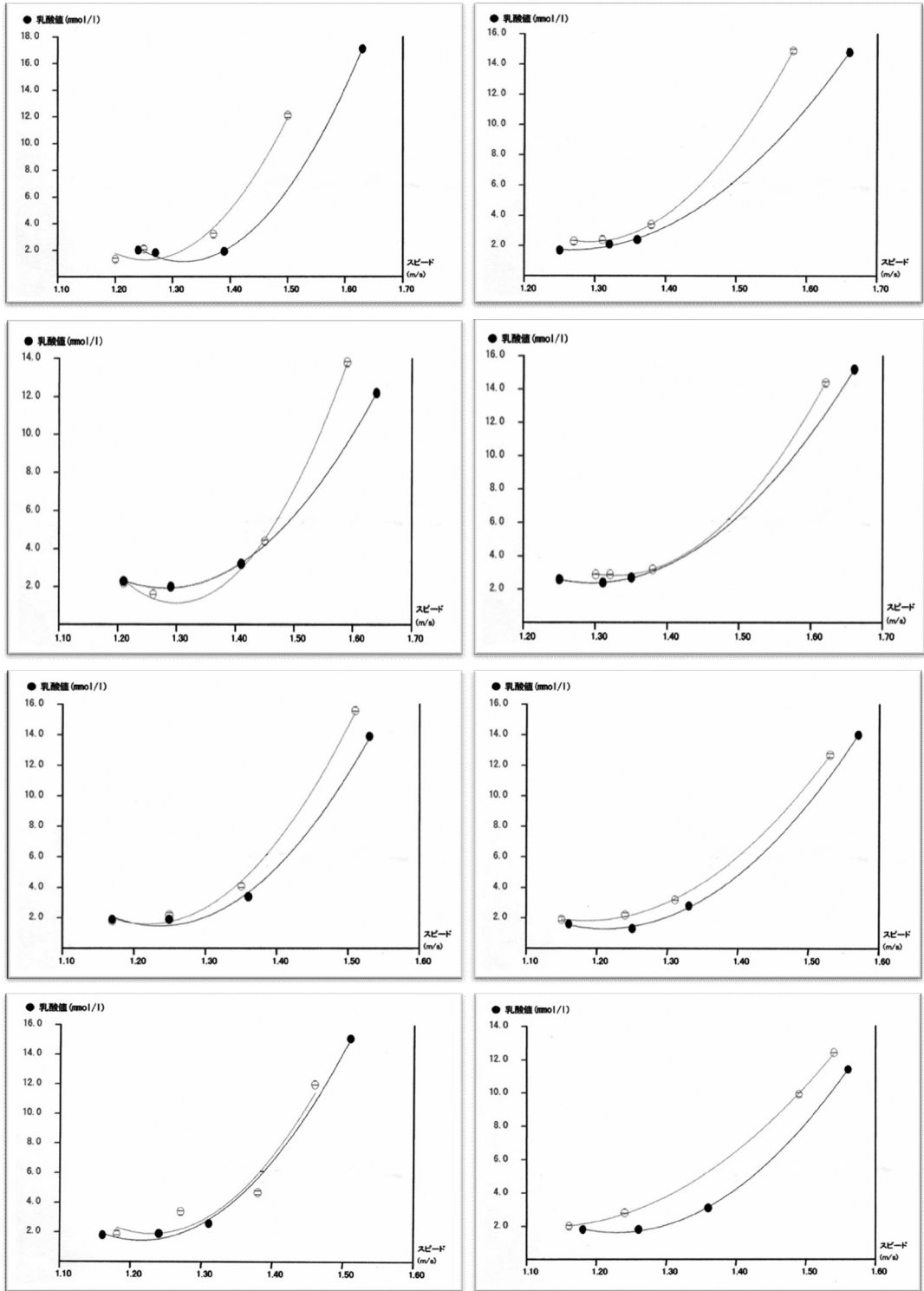


図6 8名のラクテートカーブの実際 (○従来水着、●高速水着)

### 結 果

【結果1】 8名の被験者のラクテートカーブを図6に示す。ラクテートカーブは、全例で高速水着(LZR<sup>®</sup>)を着用した方が従来型水着を着用して測定したラクテートカーブよりも右方にシフトした。また、MEQNET LT Manager<sup>®</sup>から、算出した泳速を高速水着(LZR<sup>®</sup>)着用と従来型水着着用で比較した。図6に示したように、乳酸の蓄積が少ないOBLA以下の強度で泳ぐ血中乳酸値2mmol/L、4mmol/Lに対応した高速水着(LZR<sup>®</sup>)着用と従来型水着着用の泳速の差は小さく、OBLAを超え強度が増す乳酸値6mmol/L、8mmol/Lに対応した高速水着(LZR<sup>®</sup>)着用と従来型水着着用の泳速の差は、全例で大きくなる傾向が見られ、血中乳酸濃度が高くなるにつれその泳速の差が拡大していく傾向が認められた。

【結果2】 8名の乳酸値2mmol/Lに相当する泳速の平均値は、従来型水着が1.25 ± 0.04m/秒、高速水着(LZR<sup>®</sup>)が1.27 ± 0.03m/秒、また、4mmol/Lでは従来型水着 1.31 ± 0.04m/秒、高速

水着(LZR<sup>®</sup>) 1.33 ± 0.03m/秒、と水着による差を示さなかったが、6mmol/Lでは従来型水着が1.36 ± 0.04m/秒、高速水着(LZR<sup>®</sup>) 1.39 ± 0.03m/秒、と有意差(p<0.05)を示し、8mmol/Lでも従来型水着が1.41 ± 0.04m/秒、高速水着(LZR<sup>®</sup>) 1.44 ± 0.04m/秒と有意差(p<0.01)を示した。

また、2-8mmol/Lすべての乳酸値に相応する平均泳速は、従来水着よりも高速水着(LZR<sup>®</sup>)のほうが速く、従来水着、高速水着(LZR<sup>®</sup>)共に乳酸値が高くなるにつれ、泳速が速くなった。(図7)

【結果3】 最大努力泳による200mを泳ぐのに必要なタイムは、従来水着が129.8 ± 4.5秒であったのに対し、高速水着(LZR<sup>®</sup>)においては125.7 ± 4.7秒と有意に(p<0.01)速く(図8)、また、タイム同様この最大努力泳における泳速の平均値は、従来水着が1.54 ± 0.1m/秒に対し、高速水着(LZR<sup>®</sup>)着用のほうが1.6 ± 0.1m/秒と有意に(p<0.01)速い値を示した(図9)。

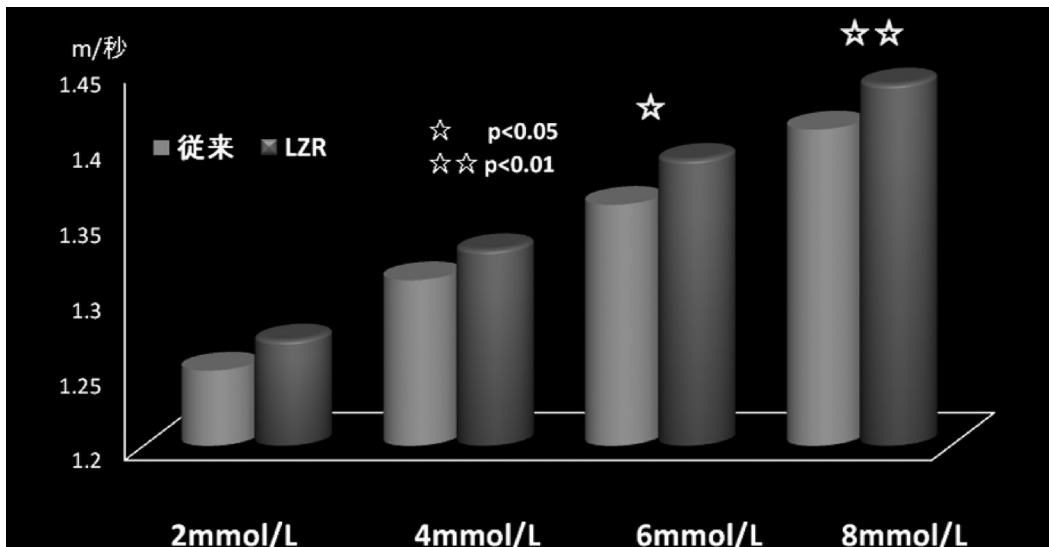


図7 乳酸濃度に対応した平均泳速の比較

【結果4】最大努力泳直後の従来水着着用者の心拍数は、 $178.1 \pm 11.5$ 回/分、高速水着（LZR<sup>®</sup>）着用では $178 \pm 7.6$ 回/分と有意差を示さず、最大努力泳直後の乳酸値も、従来水着着用者が $13.3 \pm 1.7$ mmol/L、高速水着（LZR<sup>®</sup>）着用で $14.2 \pm 1.8$ mmol/Lと有意差は認められなかった。

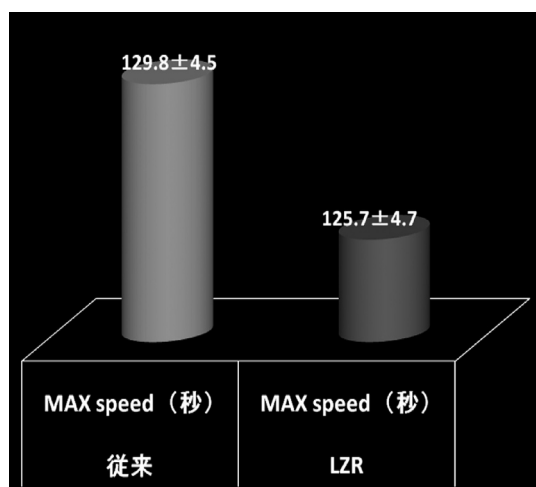


図8 最大努力泳での所要時間

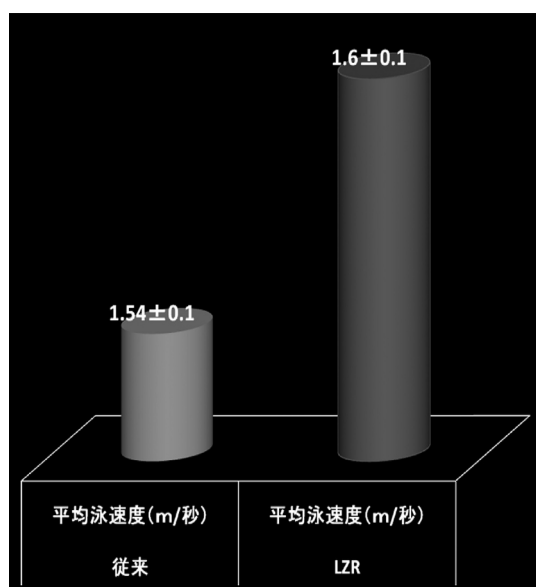


図9 最大努力泳での平均泳速度

## 考 察

今回、結果1で示したように高速水着は、血中乳酸濃度が6mmol/Lを超える領域では全例でラクテートカーブを右方移動させる結果が得られた。今回の測定においては、8名をランダムに2群に分け、4日間の間隔で2回ラクテートカーブテストを行ったものである。若吉ら<sup>12)</sup>は、トレーニングの効果を判定する指標としてのラクテートカーブテストは年に4回程度、すなわち3カ月に1回程度行いトレーニング効果をみるとしているように、今回のプロトコルで行った4日間の間隔では、乳酸の代謝が改善し、ラクテートカーブが右方移動をするということは考えにくい。よって、今回のラクテートカーブの右方移動はトレーニング効果というより、水着による効果と考えられる。また、このラクテートカーブは、OBLA相当である乳酸値4mmol/Lまで蓄積する領域までは右方移動を示していると判定しにくく、むしろ選手によっては、高速水着のラクテートカーブが左方に存在する選手がいる。実際、足立<sup>13)</sup>が指摘しているように自転車競技のラクテートカーブテストでは、被験者によって低強度の1本目の測定では乳酸が高く出ることもであるとされている。また、岩原ら<sup>14)</sup>が指摘したように、OBLA相当に蓄積される乳酸領域以降が、疲労と大きくかかわってくる。結果2で示したように、8名の被験者のラクテートカーブから算出される乳酸値2、4、6、8mmol/Lに相応する泳速の平均値をとり、高速水着と通常水着の比較を行ったところ、血中乳酸2mmol/L、OBLAとされる4mmol/Lに相応する泳速の平均値には、水着間の有意差は認められず、乳酸が急激に増加し解糖系のエネルギー代謝が活発になる領域である乳酸値が6、8mmol/Lに相応する泳速の平均値に有意差がみられ、8名の平均値で考えた場合、この領域でのラクテートカーブが有意に右方移動していることが示された。この領域では、Nielsen<sup>15)</sup>が指摘しているように、乳酸の産生が促され、血液のpHが

酸性に傾き、血中乳酸が8-10mmol/Lをこえ筋内のpHが低下して筋収縮に影響を与え、いわゆる「疲労」状態がうまれる。本研究によりこの8mmol/Lという高い血中乳酸値の状態で、高速水着がやはり名の通り通常水着より早い泳速で泳ぐことが可能であることが示された。すなわち、高速水着は体内の血中乳酸濃度が筋疲労を起こす濃度でも早く泳ぐことができることを示している。その理由として、水着メーカーが指摘しているように、表面素材の改善、縫製の工夫による流水抵抗の減少、また、水着が身体を締め付けることによる体積の減少がもたらす流水抵抗の減弱がその要因として考えられる。水着の素材の工夫や泳者の体積を減らすことにより、また、抵抗を減弱させることにより泳速が向上するとする報告は多数に上る<sup>16)-18)</sup>。表面素材による抵抗減弱によりどの程度の泳速向上をもたらし、またどの程度の乳酸代謝に影響を与えるのかは今後の検討の課題である。また、身体の体積の減少が同様に、どの程度の泳速向上をもたらし、かつ乳酸の代謝に影響を与えるのかも今後の課題であるが、現在その研究を継続中である。

以上指摘してきたように、乳酸値が上昇するにつれラクトートカーブがさらに右方移動することから、結果3で示したように最大努力泳における所要時間の平均値と、平均泳速度も、やはり、高速水着のほうが有意に、より短いタイムで、より早く泳ぐことが可能であることが明らかになった。これは、結果2と同様、高速水着(LZR<sup>®</sup>)自体の特性と着用による身体の体積の減少がもたらす作用によるものと推察できる。実際、結果4で示したように、最大努力泳直後の乳酸値と心拍数には高速水着高速水着(LZR<sup>®</sup>)と通常水着との差は認められなかった。すなわち、身体が発揮できる最大努力の負荷において、心拍数ならびに血中乳酸値に差が認められなくても高速水着(LZR<sup>®</sup>)は、通常水着よりも有意に早く泳ぐことができることが示された。

なお、この研究は、平成21年度国士館大学体

育研究所の助成金によって行われ、かつ水着メーカーからの研究費の助成は受けていない。

## ま と め

高速水着(LZR<sup>®</sup>)を着用することにより、ラクトートカーブは、乳酸値が6mmol/Lを超える領域で有意に右方移動を示した。

また、高速水着高速水着(LZR<sup>®</sup>)を着用することにより、通常水着で産生される筋収縮に影響を生じる高濃度の血中乳酸値に相応した泳速よりも有意に早い泳速で泳ぐことができ、最大努力泳においても、所要時間が短縮し、早い平均泳速度で泳ぐことができ、明らかに高速水着高速水着(LZR<sup>®</sup>)は、従来の水着とは異なる機能を有していると考えられた。

## 引用・参考文献

- 1) Chatared J.C., X. Senegas, M. Selles, P. Doreanot, A. Geysat. Wet suit effect : a comparison between competitive swimmers and triathlites. *Med. Sci. Sports Exerc.* **27** : 580-586, 1995
- 2) 富樫泰一、野村武男、藤本昌則 競泳用低抵抗：水着に関する研究 デサントスポーツ科学、**10** : 75-82. 1989
- 3) Chatared J.C., Wilson B. : Effect of Fastskin suits on performance, drag, and energy cost of swimming *Med. Sci. Sports Exerc.* **41** : 1149-1154 2008
- 4) Benjamin S.R., Khaled S. K., Clay E. H., Scott P. M., Rick L. S., Effect of a Fastskin suit on submaximal freestyle swimming *Med. Sci. Sports Exerc.* **35** : 519-524. 2003
- 5) 高木英樹：日本人競泳選手の抵抗係数. *体育研究* : 41 (6) 484-491. 1997
- 6) 田古里哲夫：水泳における人体まわりの水流および水着の影響の実験的研究. *デサントスポーツ科学* **15** 173-184. 1984
- 7) 野村武男、大庭昌昭、富樫泰一 水着が水中牽引抵抗力に及ぼす影響について 筑波大学・運動学研究 **14**21-27, 1998
- 8) 清水幸丸、鈴木利明、松崎 健、森健次郎：競泳用水着に関する研究（境界層制御による水着抵抗の削減について）日本機械学会論文集（B編）**64**, 2644-2651



- 9) 和田匡史、大浦邦彦、小崎充 松本高明ら：競泳の水中ドルフィンキックの動作解析 平成21年度電気学会電子情報システム部門大会OS5-1. 2009
- 10) 水着の新規制施行がもたらす現実：SWIMMING MAGAZINE 34 (1) ベースボールマガジン社 78-79. 2010
- 11) 高性能スイムウェア最前線：SWIM (株)ランナーズ10 (3) 29-34. 2008
- 12) 若吉浩二：水泳のトレーニングにおける血中乳酸濃度の活用 乳酸をどう活かすか 八田秀雄編著 杏林書院 135-148. 2008
- 13) 足立哲司：乳酸分析の測定精度を高める測定手法 乳酸をどう活かすか 八田秀雄編著 杏林書院 27-40. 2008
- 14) 岩原文彦、松本高明、浅見俊雄：4m MOBLAを基準としたターニングダウン泳について、トレーニング科学, 12 (1), 1-8, 2000
- 15) Nielsen OB, de Paoli F, Overgard K Protective effects of lactic acid on force production in rat skeletal muscle, J. Physiol., 536 : 161-166. 2001
- 16) Zamparo P, Pendergast DR, Termin A, Minetti AE : Economy and efficiency of swimming at the surface with fins of different size and stiffness. European Journal of Applied Physiology 96 (4) : 459-470. 2005
- 17) 中橋美幸、諸岡晴美、眞鍋郁代：競泳用水着のサイズが水泳時の衣服圧 水泳前後の体表面温度および圧快適感評価に及ぼす影響 富山大学教育学部研究論 63-66. 2002
- 18) 田古里哲夫：水泳における人体の姿勢と水着に関する流体力学的研究 デサントスポーツ科学V 16 185-203. 1985