

# ジュニア競泳選手の4スピードテスト

酒 井 達 郎  
儀 繁 雄

## I. 緒 言

競泳のトレーニングでは種目特性にあわせた有酸素性能力、無酸素性パワー、有酸素性と無酸素性の筋持久力、柔軟性、さらに、ストローク技術、レースペースが実施されている。これらのトレーニングは、生理的側面と技術的側面に分けられ、生理的側面のトレーニングにおいて有酸素能力向上および耐乳酸性作業能力を高めるトレーニングが多くおこなわれる。その中でスピード系の競泳選手に必要とされる耐乳酸トレーニングは、筋肉中に多量の乳酸を産生させ疲労状態であっても乳酸除去・緩衝能力を向上させる負荷が必要となる。トレーニングはATスピード、OBLAスピード、スプリント等のカテゴリーに分類され、距離、泳速、休息時間がそれぞれに設定される。このようなトレーニングを効果的に実施するには、負荷の妥当性を検討することや強度の再設定といったトレーニングプログラムの見直しが欠かせない。現在、選手のトレーニング効果を評価するために「5本×300 m」、「5本×200 m」、「8本×100 m」、「6本×400 m」、「200 m ペース泳」等の血中乳酸濃度測定が利用されている。これらの測定法はプロトコールも様々であり、それぞれに評価の特徴を持っている<sup>5)</sup>。

本研究の目的は、4段階で泳速度を漸増させる4スピードテスト泳の血中乳酸濃度から約半年間のトレーニング効果を分析し、テストの妥当性を検討することである。

## Ⅱ. 被験者と方法

### A. 被験者

研究の対象者は、全国大会への出場経験を有するスイミングクラブ所属のジュニア選手男子5名(年齢 $16.4 \pm 0.9$ )である。いずれの被験者も週4回以上の定期的なトレーニングを実施しており、1日当たり平均 $4,875 \text{ m} (\pm 1,320)$ 、約 $101.2 (\pm 29.1)$ 分の水中トレーニングをおこなっている。

今回の実験に際し、各被験者とその保護者からは、事前に測定趣旨と危険性を文書により伝え、測定に参加する同意書を得た。

### B. 測定項目

#### 1. 形態および身体組成

計測項目は、各被験者の身長、体重、皮脂厚を測定した。

#### 2. 血中乳酸濃度測定

各被験者は、専門種目(100 m 自由形: 3名, 200 m 自由形: 2名)を4本泳いだ。それぞれの速さを1本目が約70%, 2本目80%, 3本目90%, 4本目は全力のスピードで泳ぐように指示し、各休息は10分間とした。1~4本目のそれぞれについてタイムと心拍数を計測した後、3分、5分の時点で血中乳酸をLactate Pro (ARKRAY社製)を用いて測定し、血中乳酸値を求めた。なお、3分値より5分値が高い場合に限り7分後の値を採用した。テスト1回目はシーズン後の10月、2回目をシーズン直前の4月に実施した。

## Ⅲ. 結 果

### A. 被験者の身体的特徴

今回実験に参加した選手の身長は平均で $174.8 \text{ cm} \pm 4.1$ 、体重 $67.2 \text{ kg} \pm 5.1$ 、体脂肪率 $12.2\% \pm 2.0$ であった。各被験者の測定値を(表1)に示す。

表1 被験者の身体的特徴

被 験 者	A	B	C	D	E
身 長 (cm)	178.0	171.0	180.0	171.0	174.0
体 重 (kg)	72.0	59.0	70.0	66.0	69.0
上腕三頭筋中部 (mm)	6.0	6.0	6.5	9.5	9.0
肩甲骨下部 (mm)	6.0	7.5	12.5	7.5	14.0

## B. 4スピードテストの記録, 血中乳酸濃度, 心拍数

表2は各被験者の4スピードテスト泳の結果である。

表2-1 1回目の結果 (10月)

被 験 者	本 数	記 録	血中乳酸値 (mmol)	心拍数 (b/m)
A	1	1分11秒1	2.6	139
	2	1分05秒4	3.0	159
	3	1分00秒0	5.3	164
	4	53秒5	14.2	181
B	1	1分23秒5	3.1	128
	2	1分10秒0	3.7	159
	3	1分00秒1	10.2	177
	4	1分00秒1	14.7	178
C	1	1分16秒0	2.8	136
	2	1分07秒3	3.9	155
	3	1分00秒2	6.4	167
	4	54秒9	14.3	188
D	1	2分37秒1	2.7	135
	2	2分27秒9	3.6	168
	3	2分19秒0	5.1	183
	4	2分06秒6	11.7	179
E	1	2分34秒1	1.8	126
	2	2分23秒4	1.4	153
	3	2分14秒1	2.4	164
	4	2分01秒2	8.0	173

表2-2 2回目の結果(4月)

被 験 者	本 数	記 録	血中乳酸値 (mmol)	心拍数 (b/m)
A	1	1分08秒9	3.7	160
	2	1分05秒2	4.1	160
	3	59秒1	6.8	168
	4	53秒0	16.4	172
B	1	1分12秒2	3.7	122
	2	1分06秒0	5.2	149
	3	1分00秒7	9.7	173
	4	57秒6	17.2	177
C	1	1分10秒2	3.6	132
	2	1分08秒0	3.6	142
	3	59秒8	6.0	162
	4	53秒3	14.6	179
D	1	2分23秒7	4.1	168
	2	2分16秒6	5.6	169
	3	2分11秒7	7.9	178
	4	2分02秒7	16.1	190
E	1	2分24秒0	1.7	143
	2	2分13秒6	2.1	155
	3	2分11秒6	3.3	166
	4	1分57秒6	13.1	186

テストでは4本目が最大スピード(最大努力泳)となるよう指示し、1本毎に10%程度スピードを上げていった。その結果を最大努力泳(4本目)に対する割合でみると、1本目は $70.7\% \pm 9.6$ 、2本目 $80.8\% \pm 7.7$ 、3本目 $91.9\% \pm 4.1$ であり2回目のテストでは $79.2\% \pm 3.8$ 、 $83.9\% \pm 4.5$ 、 $90.3\% \pm 3.3$ であり、ほぼ指示通りのスピードで泳いだことになる。(図1)

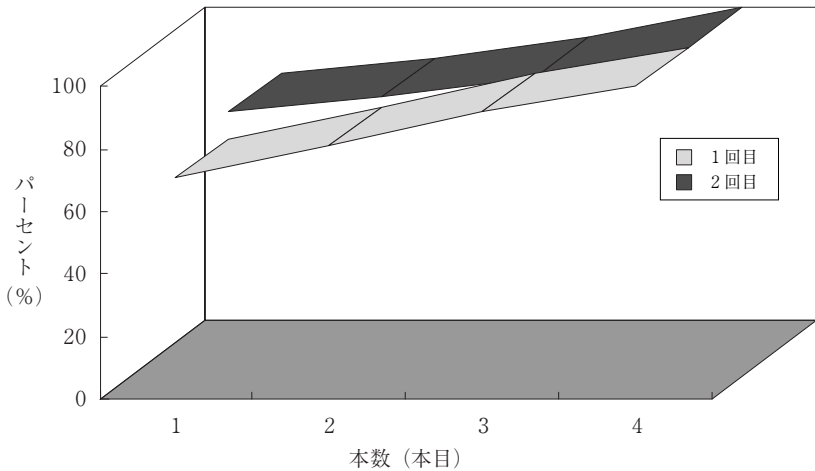


図1 4本目の泳速を最大泳速とした比率で表している

#### Ⅳ. 考 察

競泳における乳酸値の測定は、簡便に有酸素性能力を知る方法として採用された<sup>6)</sup>。血中乳酸値測定は、筋線維の乳酸が増加すると血液中の乳酸濃度も増加することを前提としており<sup>13)</sup>、乳酸が発生しその除去が均衡する強度の運動が「乳酸閾値」といわれている。アシドーシスを起こさずに運動を継続できる最大の強度が、乳酸閾値である。競泳の場合、疲労困憊とならずに競技を続行できる最大スピードのことを意味する。持久力が向上すれば、特定のスピードで泳いでいるときの血中乳酸値も低下する。つまり、アシドーシスを起こさずに高いスピードを発揮できることは、競技力の向上に役立つことになる。そこで、高いスピードを必要とする短距離選手とスピード持久力が要求される中距離選手の血中乳酸濃度について比較した。

### A. 短距離選手と中距離選手の比較

今回実験に参加した選手は、50・100 mを専門とする短距離選手（被験者 A, B, C）と 200・400 mの中距離選手（被験者 D, E）である。まず、専門とする競技距離別に乳酸値の平均値を比較すると、1回目のテストにおける最大速度泳（4本目）の血中乳酸濃度の平均値は、1回目、2回目とも短距離を専門とする選手が中距離選手より高い値を示している。（表3）

表3 最大泳速時（4本目）の血中乳酸濃度

	種 目	泳 速 (m/sec)	血中乳酸濃度 (mmol)	心拍数 (b/min)
1 回目	短距離	1.784	14.4	182
	中距離	1.614	9.9	176
2 回目	短距離	1.832	16.0	176
	中距離	1.665	14.6	188

また、短距離選手のほうが中距離を専門とする選手より血中乳酸濃度の値は1本目から4本目においても高い傾向がみられた。（図2）

血中乳酸濃度の最大値は、スプリント能力と高い相関関係があることを示す研究報告も多い<sup>2),3),8)</sup>。こうした傾向の要因には、短距離選手のほうが速筋線維の比率が高く、無酸素代謝能力も高いことが関係していよう。中距離選手は、遅筋の比率が高く無酸素代謝の能力が低いとも考えられる。このため、短距離選手よりも血中乳酸値が低い値となったと推察される。今回の実験では筋組成が明らかにされていないが、泳ぎに使われる筋は速筋線維と遅筋線維とが混在しているはずである。これらの筋線維それぞれで乳酸などの代謝も異なっており、筋全体で見れば乳酸を産生している場合でも、同じ筋が乳酸を放出すると同時にまた乳酸を取り込んで利用している。すなわち、乳酸を産生している組織と利用している組織が存在し、全身でみればエネルギー供給量が保たれているといえるであろう。最大努力泳時に現れた血中乳酸値の差は、中距離選手のペース配分やトレーニング形態を含めた競技種目特性といえるかもしれない。

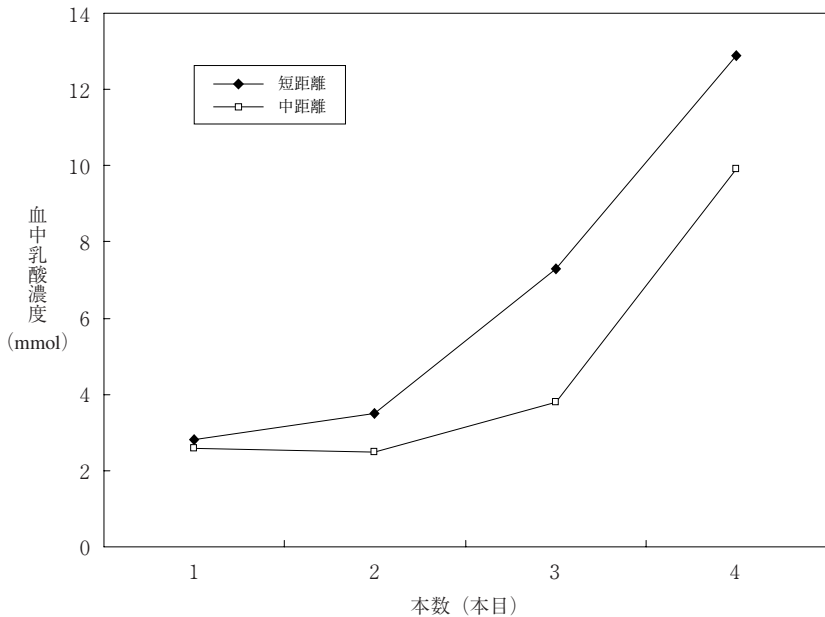


図2 4スピードテストでの短距離、中距離選手の血中乳酸濃度変化

## B. トレーニング効果

4スピードテストにおける速度変化(図3)と血中乳酸値の変化(図4)からトレーニング効果を検討してみた。2回目の結果は、前回と比較して泳速と血中乳酸値濃度のいずれも高い値であり、泳速と血中乳酸濃度値の上昇から選手の無酸素代謝の効率が向上したと判断できるだろう。この期間のトレーニングは、持久力向上のトレーニングを中心におこない有酸素性能力を高めた後のスピードを獲得する練習期間(スプリントトレーニング期)にあたる。今回実験に参加した選手は、9月中旬で試合を終え来シーズンに向け10月から持久性能力を向上させるトレーニングをおこなっている。その後、2月頃より試合に向けスピード能力すなわち無酸素性能力を高めていく。2回目のテストをおこなった時期は、レーススピードに近い速さのトレーニングを実施していたた

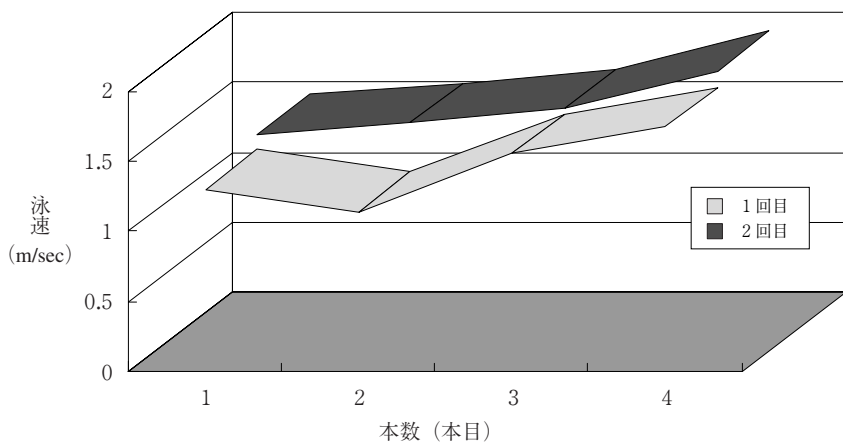


図3 4スピードテストにおける1回目(10月)と2回目(4月)の泳速変化  
(平均値  $n = 5$ )

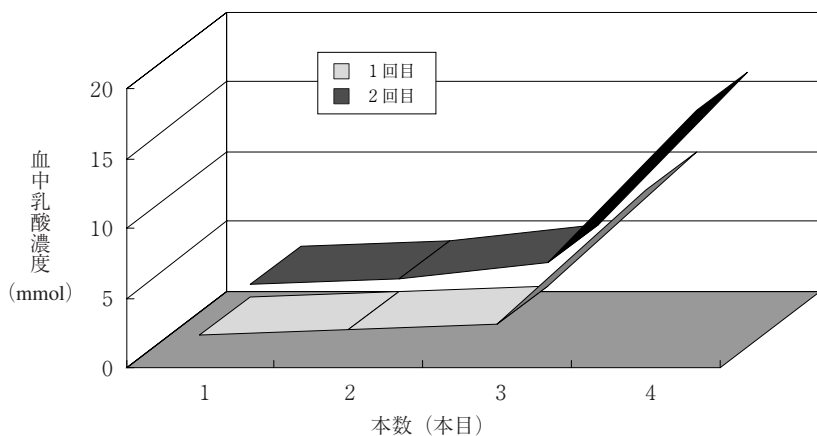


図4 4スピードテストにおける血中乳酸濃度変化 (平均値  $n = 5$ )



め、トレーニング効果として泳速と血中乳酸濃度が上がったと思われる。他の研究で無酸素性トレーニングにより効率が20%向上したという報告<sup>9)</sup>や、その一方で、最大値は変化しないという報告<sup>12)</sup>もあるが、さまざまな研究報告からスプリント能力が向上すれば、血中乳酸濃度の最大値も上昇すると考えてよいであろう。有酸素代謝能力に変化がなくとも、スプリントトレーニングの量が増えると有酸素閾値やATにおける乳酸値は高くなる傾向がある。しかし、このときは乳酸生成能力が向上しただけで、有酸素閾値やATの強度におけるペースは変化していないことも多い。いずれにせよ、どのトレーニングが血中乳酸濃度の最大値を上昇させるのかは明らかになっていない<sup>11)</sup>。泳速としてのトレーニング強度、量および質を定量化することは容易ではなく、血中乳酸濃度の伸びを水中トレーニングと正確に対応づけるのは難しい。

### C. 4スピードテストの妥当性

血中乳酸値の意味は、無酸素性代謝の効率が上がれば筋肉の中で発生する乳酸の量も増えるということである。全力泳直後の乳酸値を計測すれば、無酸素代謝の効率が予測できる。筋肉内で発生した乳酸のほとんどは血液へ浸透することから、無酸素性代謝の効率が高ければ血中乳酸値も高いということになる。しかし実際には、血中乳酸値が泳ぎの筋収縮に対して無酸素代謝のどのような側面を表しているのか、はっきりしたことはわかっていない。通常、乳酸値がピークに達するのは、全力で泳いだあと1～2分ほど経過してからであり、全力で泳いだとしても距離が短いとあまり乳酸は蓄積しない。しかも全力を発揮するため、乳酸を除去する時間は長くなる。今回の4スピードテストは、段階的に泳速を上げていき無酸素性代謝を活発に働かせ、最後の1～2分間（4本目）を全力で泳ぐことで乳酸が最大限に蓄積する。これにより泳ぎの無酸素性代謝能力をある程度知ることができよう。今回のテストで最大泳速70～80%（1～2本目）の比較的ゆっくり泳いだ後は血中乳酸濃度が低く、90%以上（3～4本目）の速い時点で高い傾向にある。（図4）また、被験者の乳

酸性閾値の出現は、最大泳速の90%以上で観察される。したがって、血中乳酸値によって、泳いでいるときの無酸素性代謝の様子が間接的に推測できるのは間違いないであろう<sup>4)</sup>。しかしながら、選手に十分な乳酸耐性が備わっていないと、無酸素性代謝が活発な状態は長続きせず疲労してしまうか、能力を発揮できない。無酸素代謝の効率と乳酸耐性の両方が血中乳酸濃度の最大値に影響を与えると考えてよい。競技距離特性について Bonifazi<sup>1)</sup> はトップレベルの水泳選手の競技後の血中乳酸濃度を調べている。そこで最小の血中乳酸濃度値は、最長の長距離選手から得られたとしている。男子では200, 400, 1500 m, 女子では400, 800 m のフリースタイル選手において4 mmol になる泳速度と競技速度に相関関係が観察され、血中乳酸濃度値は選手適性の指標として有用であることを示唆する報告をしている。今回も、泳速度と血中乳酸濃度に相関関係がみられた。(図5) また、専門とする競技距離において泳速および乳酸値に違いがあることがわかった。

次に、乳酸速度曲線が右側に移動した選手のテスト結果を(図6)に示す。

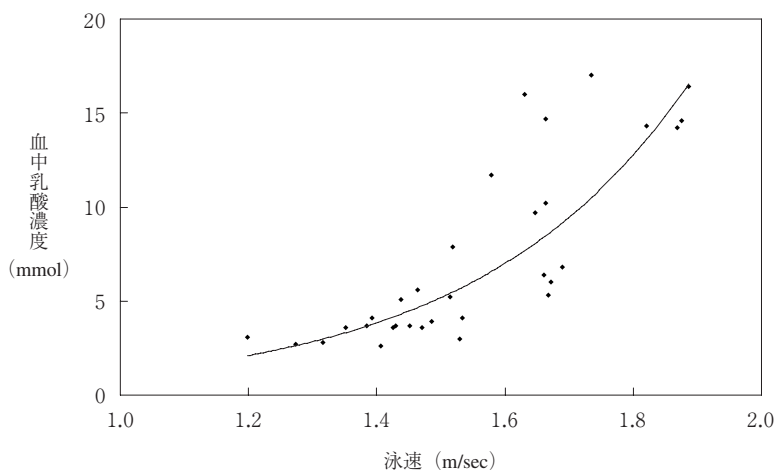


図5 4スピードテストで得られた泳速と血中乳酸濃度の関係

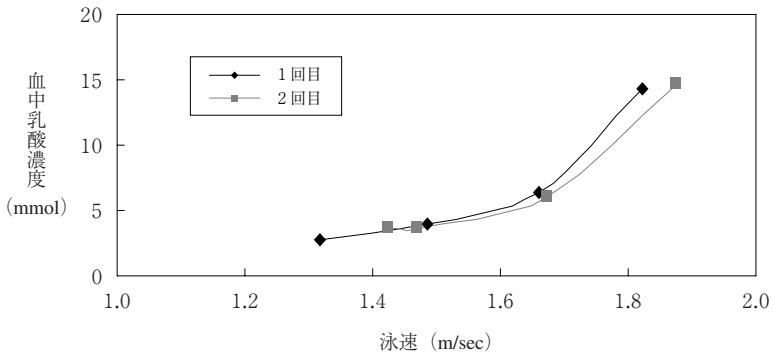


図6 短距離選手Cの4スピードテストにおける泳速と血中乳酸濃度の関係

乳酸速度曲線が右側に移動するのは、有酸素代謝能力と無酸素代謝能力の両方が向上したと判断できる。この選手Cの場合、自己記録が53秒80（100m自由形）から52秒77へと向上した。選手の筋持久力が向上し、スピードを上げて泳いだときは、タイムが向上し、乳酸値も高くなっている。これは選手の無酸素性パワーの向上を示している。他の選手についても同様の結果が得られており、4スピードテストの結果は、競技成績を反映すると考えてもよいであろう。しかしながら、短水路でおこなうテストのため、長水路よりも高ペースになることが多い。長水路が平均で5.6%（100mあたり3～5秒）遅くなるという研究報告<sup>10)</sup>もある。正確な最大値の測定には、長水路での4スピードテスト比較やジュニア選手が成長過程にあること<sup>7)</sup>、最大努力で泳ぎきることが課題となるだろう。

#### D. まとめ

簡単な方法で有酸素性能力と無酸素性能力を評価するために4スピードテストで血中乳酸測定をおこなった。水泳のトレーニングに過負荷の原則と漸進性の原則を適用するには、有酸素性・無酸素性能力の向上の確認からトレーニング強度を設定する必要がある。テスト結果から、有酸素性と無酸素性代謝を予

測でき、トレーニング効果や競技成績について推察できることがわかった。

## 謝 辞

長年にわたり教育、研究への助言をいただいた五島昌明先生に深く感謝申し上げる。

## 引 用 文 献

- 1) Bonifazi, M., et al. (1993) : Blood lactate accumulation in top level swimmers following competition : J. Sports Med. Physical Fitness 33 : 13-18
- 2) Fitts, R. H., et, al. (1989) : Effect of swim exercise training on human muscle fiber function. Appl. Physiol. 66 : 465-475
- 3) Gleim G. W., et al. (1984) : Plasma osmolality, volume, and rennin activity at the "anaerobic threshold" : J. Appl. Physiol. 56 : 57-63
- 4) Hughson R. L. and H. L. Green (1982) : Blood acid-base and lactate relationship studied by rump work test : Med. Sci. Sports Exer. 14 : 303-307
- 5) マグリシオ E. W. (2005) : スイミング・ファステスト : ベースボール・マガジン社
- 6) Mader, A., Heck, H., et. al. (1978) : Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of post-exercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle distance runners and swimmers : Exer. Physiol. 4 : 187
- 7) Mero, A. (1988) : Blood lactate production and recovery from anaerobic exercise in trained and untrained boys : Eur. J. Apply. Physiol. 57 : 660-666
- 8) Mickelson T. C. and F. C. Hangerman (1982) : Anaerobic threshold measurements of elite oarsman : Med. Sci. Sports Exer. 14 : 440-444
- 9) Nevill, M. E., et al. (1989) : Effect of muscle metabolism during treadmill sprinting : J. Appl. Physiol. 58 : 2376-2382
- 10) Olbercht, J., A. Mader, et. al (1988) : Relation between lactate and swimming speed depending on the test conditions : Int. J. sports Med. 9 : 379
- 11) Poole D. C. and G. A. Gaesser (1985) : Response of ventilatory and lactae thresholds to continuous and interval training : J. Appl. Physiol. 58 : 1115-1121
- 12) Trappe, S. W., (1996) : Metabolic demands for swimming. In Proceedings : Biomecha. and Med. in Swimming : E & FN Spon
- 13) Wasserman K., et al. (1985) : Lactate pyruvate, and lactate-to-pyruvate ratio during exercise and recovery : J. Appl. Physiol. 59 : 935-940