

9-18歳男子水泳選手における無酸素的パワーの特徴

高橋繁浩, ジョン P. トループ, マーク・ボーン,  
スー・スプライ, スコット・トラッピー

**CHARACTERISTICS OF ANAEROBIC POWER IN  
SWIMMING OF 9-18 YEARS OLD MALES.**

SHIGEHIRO TAKAHASHI, JOHN P. TROUP, MARK BONE  
SUE SPRY, SCOTT TRAPPE

Abstract

The purpose of this study was to investigate the characteristics of anaerobic capacity from pre-puberty to adolescence. Twenty eight well trained swimmers were divided into five groups following age of 9 to 10 yrs (AG1), 11 to 12 yrs (AG2), 13 to 14 yrs (AG3), 15 to 16 yrs (AG4) and 17 to 18 (AG5). All swimmers first completed a series of four submaximal and one maximal effort swims for determination of swimming economy profile. The linear relationship ( $VO_2$  vs. velocity<sup>3</sup>) was extrapolated to 140% of max  $VO_2$  for each swimmer and a corresponding velocity selected. The following day, swimmers completed a freestyle swim at the pace selected from the economy profile. During this test, accumulated  $O_2$  uptake was measured continuously and the accumulated  $O_2$  deficit calculated following the swim (Hermansen, 1984). A two minute post swim blood sample was taken for analysis of lactate. Girth measurements of the upper arm were taken for determination of muscle area. A swim bench test was also administered for determination of peak muscle power and total muscular work.

The results were as follows ;

- 1) The values of  $O_2$  deficit, % anaerobic contribution, and lactate acid showed increases with age.
- 2) Power/muscle and total muscular work displayed higher values with age.
- 3) A significant increase was found from AG2 to AG3 in all the items.

目 的

水泳競技におけるスプリント種目といえは 50 m や 100 m の距離であり、およそ 20 秒から 70 秒の間に勝負がつく。このような短時間の最大運動は無酸素的運動種目であり、エネルギー供給系からみると乳酸系に属している。このような運動能力を評価する指標としては、最大酸素負債量<sup>8),9),14),17)</sup>、最大酸素不足量<sup>5),10),12),13)</sup>、血

中乳酸濃度<sup>1),6),7),8),10),12),14),17),18)</sup>などが用いられている。水泳に関しては、運動後の酸素負債量<sup>8),9),14)</sup>や運動直後の採血による血中乳酸濃度<sup>4),8),18)</sup>を測定した報告はみられる。しかし水泳における最大酸素不足量を指標とした報告はみられない。また、報告の多くが、成人やトップスイマーを対象としている。加齢に伴う変化については、酸素摂取量などを用いた有酸素的能力<sup>2),15),16)</sup>をみたものは多いが、水泳中の無酸

Table 1 Subject Characteristics

	AG1 (9-10yrs)	AG2 (11-12yrs)	AG3 (13-14yrs)	AG4 (15-16yrs)	AG5 (17-18yrs)
n	6	6	6	5	5
Height (cm)	140.2±6.0	152.9±2.6*	161.1±7.4*	172.6±2.0*	178.2±6.9
Weight (kg)	32.78±2.51	39.87±4.57*	51.70±5.96*	68.15±6.55*	72.11±1.86
Body fat (%)	15.02±3.66	13.84±2.12	11.18±0.84*	11.59±1.76	11.35±1.20

Mean±SEM

\*denotes significant difference (P&lt;0.05) from the groups listed before.

素的能力との関係についての報告はみられない。そこで、本研究では水泳中の酸素不足量を測定し、加齢にともなう無酸素的能力の発達の特徴を明らかにすることを目的とした。

#### 実験方法：

##### 一被検者一

本研究の被検者は、アメリカ・コロラドスプリングス市のスイミングスクールに属している9歳から18歳までの自由形を専門としている男子競泳選手28名であった。彼らを年齢によって5つのグループ（AG～AG5）に分けた。各グループの年齢および身体的特徴は表1に示した。なお、被検者らは研究目的に同意し、参加を承諾してくれた者達であった。

##### 一測定項目および測定方法一

###### 1) エコノミーテスト

被検者は、流水プール(Flume)において、最大下水泳テストと最大水泳テストを行った。最大下水泳テストでの流水速度は、200m自由形ベストタイムに対する60%、70%、80%、および、90%の計4種類であった。最大水泳テストでは、運動開始から2分までを90%の流水速度で行い、以後30秒ごとに0.05m/secずつ漸増させ、疲労困憊に至らせた。

これらの各流水速度における水泳中の酸素摂取量を求めるために、被検者は特製呼気採集マスクとノーズクリップを装着し、呼気ガスを採集した。分析にはモーガン社製の呼気ガス分析

器を用いた。また、心拍数は、各試行直後に触診法によって測定した。さらに、各最大下水泳テスト直後および最大水泳テスト終了2分後に指先より採血を行い、血中乳酸値を求めた。この分析には、Lactate Analyzer (YSI社製)を使用した。

###### 2) 酸素不足テスト

エコノミーテストより求められた酸素摂取量と流水速度との関係式より、最大酸素摂取量の140%に相当する流水速度を求め、酸素不足テストの流水速度として規定した。これはICAR(アメリカ水泳連盟・アクアティック研究所: International Center for Aquatic Research)によって考えられた方法(1990)で、200mベストスピードに相当するものとされている。酸素不足テストは、各被検者の規定スピードで、疲労困憊に至るまで泳ぎ続けるように指示した。エコノミーテストと同様の方法で水泳中の呼気ガスを採集し、酸素摂取量を求めた。この酸素摂取量を用いて、Harmansen(1984)の算出法に基づき、水泳中の酸素不足量を算出した。テスト終了2分後に指先より採血を行い、乳酸値を求めた。

###### 3) スイムベンチテスト

ストローク中の最大パワー値を求めるためにスイムベンチテストを行った。テストはPaser 2A Biokinetics Swim Ergometer (Isokinetic社製)を用いて行った。被検者は、ベンチに伏

臥位姿勢をとり、4種類の負荷（0, 3, 6, 9 KPM）を用い、両腕同時に3回のフルストロークを行った。このうちの最大値を最大パワー値とした。また、筋の総作業量を求めるために、45秒間のフルストロークを行った。この時の負荷は3 KPMとした。

4) 形態計測

右上腕背部, 右肩甲骨下部, へそ右側部の3点より皮下脂肪厚計を用いて皮下脂肪厚を計測し, 体脂肪率を求めた。また上腕筋の断面積を推測するために下記の算出式<sup>1)</sup>を用いた。

$$\text{Arm MBA}(\text{cm}^2) = G - 0.517 \times (S_B + S_T)$$

G : 最大上腕周経囲

S<sub>B</sub> : 上腕二頭筋皮下脂肪厚

S<sub>T</sub> : 上腕三頭筋皮下脂肪厚

—統計—

有意差検定は, T-Test法を用いた。なお, 有意水準は5%以上とした。

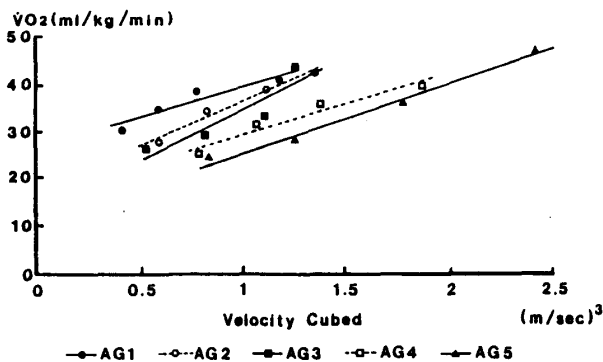


Fig. 1 A Comparison of Elite Age Group Swimming Economies.

結 果

図1に, 最大下水泳テストにおける流水速度と酸素摂取量との関係を示した。なお, 流水速度については3乗値を用いた。いずれの年齢グループも流水速度が速くなるにつれ, 酸素摂取量は増加する傾向を示した。

最大水泳テストにおける各年齢グループの最大流水速度と体重あたりの最大酸素摂取量を表2に示した。加齢に伴い最大流水速度は高くなった。年齢グループ間で有意な差がみられたのはAG3とAG4との間であった。体重あたりの最大酸素摂取量では, AG1とAG2, AG4とAG5との間に有意な差がみられた。しかし, AG2, AG3, AG4の値は約47 ml/kg/minであった。

図2は, 酸素不足テストより得られた最大酸

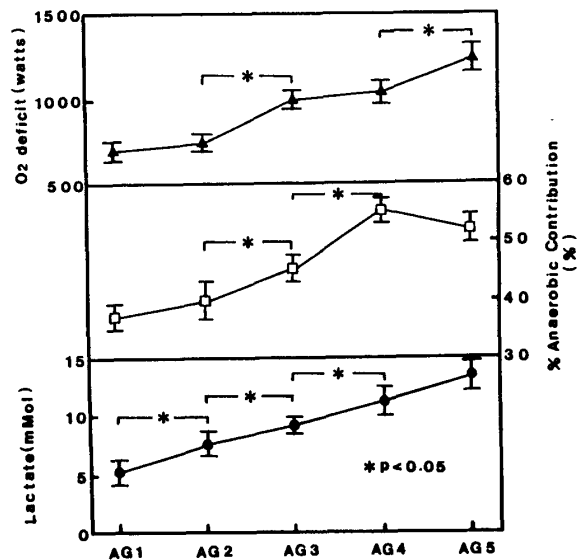


Fig. 2 O<sub>2</sub> deficit, % Anaerobic Contribution and Lactate in O<sub>2</sub> deficit Swim Test.

Valves are Means±SEM: \* P<0.05: Significant difference from the before group.

Table 2 Swim velocity, and VO<sub>2max</sub> in Economy Test.

	AG1	AG2	AG3	AG4	AG5
Swim Velocity (m/sec)	1.33±0.09	1.44±0.05	1.56±0.01	1.70±0.02*	1.74±0.02
VO <sub>2max</sub> (ml/kg/min)	35.14±1.20	47.49±1.67*	47.90±1.50	47.90±0.73	51.66±0.89*

Mean±SEM

\*denotes significant difference (p<0.05) from the groups listed before.

素不足量，無酸素的能力寄与率，血中乳酸値を示したものである。このテストにおける平均持続泳時間は  $112.8 \pm 8.5$  秒であった。最大酸素不足量および血中乳酸値は加齢に伴い高くなる傾向がみられた。AG2 から AG3 にかけては，すべての項目で有意な増加を示した。無酸素的能力寄与率は，AG1 から AG4 までは加齢に伴い増加し，AG4 と AG5 では 50% を上回った。

筋断面積，筋断面積あたりの最大パワーおよび 45 秒間の筋作業量を図 3 に示した。いずれの項目においても加齢にともない増加しており，AG1 と AG2，AG2 と AG3 の間には有意な差がみられた。

## 考 察

従来，乳酸系の無酸素的能力を評価するためには，主に酸素負債量が測定されていた<sup>8),9),14),17)</sup>。運動中の酸素不足量を測定するようになったのは最近であり，トレッドミルによるランニング<sup>13)</sup> や自転車エルゴメーターによるペダリング<sup>5),10),12)</sup> についての報告はあるが，水泳については行われていない。本研究での酸素負債量を見ると加齢に伴い増加していた。これは，乳酸系による無酸素的能力が加齢に伴い向

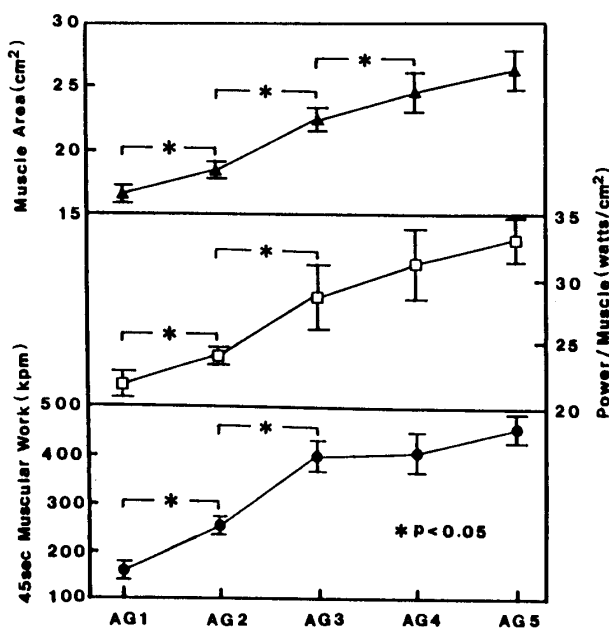


Fig. 3 Muscle Area, Power/Muscle and 45sec Muscular Work in Swim Bench Test.

Valves are Means  $\pm$  SEM: \*  $P < 0.05$ : Significant difference from the before group.

上したことを示唆している。

次に無酸素的能力の寄与率をみると，AG2 から AG4 にかけて有意に増加し，AG4 と AG5 では 50% を上回っていた。今回の実験は，約 2 分の運動で疲労困憊に至るような無酸素的運動とした。しかし，AG1 から AG3 (9~14 歳) においては，無酸素的運動であるにもかかわらず寄与率は 50% に足りていない。つまり，これらの年齢における無酸素的能力は，まだ発達段階にあるか，あるいは，その能力を十分に発揮できないものと考えられる。特に AG2 から AG4 (11~16 歳) にかけては，無酸素的能力は著しく向上することがうかがえた。

血中乳酸値をみると加齢に伴い増加する傾向がみられた。無酸素的運動では，乳酸が蓄積されることによって疲労困憊に至る。そして，血中乳酸値が大きくなることは，蓄積される乳酸の量が増えることを意味する。つまり，本研究結果は加齢に伴って筋の耐乳酸性能力が向上することを示唆している。特に 9 歳から 16 歳 (AG1 から AG4) にかけて著しく発達することが明らかとなった。

本研究では，水泳動作に近いスイムベンチテストを行い，腕の最大筋パワーを測定し，単位断面積あたりで表した。ここに示した筋断面積とは，上腕の周径囲より算出<sup>11)</sup> したものであり，これには骨断面積も含まれている。しかし，福永<sup>3)</sup> は加齢に伴い筋断面積も骨断面積も増加することを報告している。よって，今回求めた筋断面積あたりの筋パワー値は，加齢による変化傾向を検討する場合には，支障がないと考えた。測定の結果，筋断面積も筋断面積あたりの筋パワーも加齢に伴い増加した。しかし，福永<sup>3)</sup> によると絶対筋力は年齢に関係なくほぼ一定であると述べている。つまり加齢に伴う筋断面積あたりのパワー増加は，筋の収縮速度の発達によってもたらされることを示唆するものと考えられる。

以上の結果より，水泳における無酸素的能力は加齢に伴い向上することが明らかになった。また，すべての測定項目において，AG2 から AG3 にかけて有意な増加がみられたことは，12

から13歳の頃に無酸素的能力が著しく発達することを示すものであった。

## ま と め

本研究の目的は、加齢に伴う無酸素的能力の特徴を明らかにすることであった。被検者は、アメリカ・コロラドスプリングス市のスイミングスクールに属している9歳から18歳までの男子競泳選手28名であった。被検者は流水プールにおいて酸素不足テストを行い、酸素不足量、無酸素的能力の寄与率、血中乳酸値を測定した。また、スイムベンチテストにより筋パワーと45秒間仕事量を求めた。本研究で得られた結果は次の通りであった。

- 1) 酸素不足テストにより得られた最大酸素不足量、無酸素的能力の寄与率、血中乳酸値は、加齢に伴って高くなる傾向を示した。
- 2) 筋断面積あたりの最大パワー、および45秒間の筋作業量は、加齢に伴い高い値を示した。
- 3) AG2 から AG3 にかけて全ての項目に有意な増加がみられた。

本研究は、1988年10月から1990年9月まで日本オリンピック委員会在外研修員として、アメリカ水泳連盟アクアティック研究所で研修活動をしていた時に行った実験である。また、この論文は The 6th International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming に投稿中のデータを使ったものである。

## 謝 辞

本研究をまとめるにあたり、御協力いただいたアメリカ水泳連盟アクアティック研究所所長のジョン P. トルupp氏をはじめ、スタッフの皆様に深く感謝致します。

## 引用・参考文献

- 1) Blinkie, C. R., P. Roache and O. Bar-Or. The aerobic-to-anaerobic power ratio in adolescent boys and girls., In Children and Exercise (International Series on sports sciences vol. 17, Eds. Rutenfranz, J., R. Mocellin, and F. Klimt), Human Kinetics Pub. Champaign, 31-37, 1986.
- 2) Cunningham, D. A., and Eynon, R. B. The work capacity of young competitive swimmers, 10-16 years of age. Med. Sci. Sports 5: 227-231, 1973.
- 3) 福永哲夫：発育期の体力とスポーツ，*体育の科学* 36：770-777, 1976.
- 4) Green, H. J., R. Hugson, G. Orr, and D. Ranney. Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolites in progressive exercise. J. Appl. Physiol. 154 (4): 1032-1038, 1983.
- 5) Hermansen, L. J., I. Medbo, A.-C. Mohn, I. Tabata, and R. Bahr. Oxygen deficit during maximal exercise of short duration (abstract). Acta Physiol. Scand. 121: 39A, 1984.
- 6) Karlsson, J., and B. Saltin. Lactate, ATP, and CrP in working muscles during exhausting exercise in man. J. Appl. Physiol. 29: 598-602, 1972.
- 7) Karlsson, J., L. O. Nordesjo, L. orfeldt, and B. Saltin. Muscle lactate, ATP and CrP levels during exercise after physical training in man. J. Appl. Physiol. 33: 192-203, 1972.
- 8) 黒川隆志, 野村武男, 池上晴夫：モスクワオリンピック水泳候補選手及びエージグループ水泳選手の最大酸素負債量，*日本体育協会スポーツ科学研究報告集*：36-46, 1980,
- 9) 黒川隆志, 富樫泰一, 野村武男, 池上晴夫：最大酸素負債量，最大酸素摂取量および酸素需要量と水泳記録との関係，*体育学研究* 29：295-305, 1985,
- 10) Linnersson, J. Karlsson, L. Fagraers, and B. Saltin. Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. J. Appl. Physiol. 36: 399

- 402, 1974.
- 11) Malina, R. M. Unpublished lecture. 1989.
  - 12) Medb, J. L., and O. M. Sejersted. Acid-base and electrolyte balance after exhausting exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects. *Acta Physiol. Scand.* 125 : 97-109, 1985.
  - 13) Medbo, J. I., A. C. Mohn, I. Tabata, R. Bahr, O. Vaage, and O. M. sejersted. Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J. Appl. Physiol.* 64 (1) : 50-60, 1988.
  - 14) 宮下充正：ハイスピード持続能力の解明——水泳選手にトレーニングを課すことによって得られた知見——, 昭和46年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. II : 30-34, 1971.
  - 15) 宮下充正, 袖山鉦一：日本人水泳選手の最大酸素摂取量, *体育学研究* 16 : 253-257, 1971,
  - 16) Nomura, T. The influence of training and age on VO<sub>2</sub>max during swimming in Japanese elite age group and olympic swimming. *Bio. and Med. in swimming.* In : A. P. Hollander., P. A. Huijing ., G. de Groot Inc. 114, 251-257, 1983.
  - 17) Parerson, D. H., D. A. Cunningham, L. A. Bumstead : Development of anaerobic capacity in boys aged 11 to 15 year, *Can. Appl. Sports Sci.* 6 : 134, 1981.
  - 18) Sharp, R. L., Vitelli, C. A., Costill, D. L., and Thomas. R. Comparison between blood lactate and heart rate profile during a season of competitive swimming. *Jurnal of swimming Research.* 1 : 17-20, 1984.