

## 最大酸素摂取量と身体組成の関係からみた年少者スイマーの特性

原田 隆, 桜井佳世, 宮城 修, 石河利寛, 北川 薫

Relationship between maximal oxygen uptake and body composition. :  
Comparison of prepubertal and adult male swimmers

Takashi HARADA, Kayo SAKURAI, Osamu MIYAGI  
Toshihiro ISHIKO and Kaoru KITAGAWA

### Abstract

Purposes of this study were to investigate how maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) relates to body weight and lean body weight in male swimmers, and to clarify characteristics of prepubertal male swimmers. 17 prepubertal male swimmers with a mean age of  $11.3 \pm 0.6$  years and 19 college male swimmers of  $20.4 \pm 0.9$  years old were measured for lean body weight by underwater-weighing method and  $\dot{V}O_2\text{max}$  by flume swimming. They all were well trained swimmers. Correlation between  $\dot{V}O_2\text{max}$  and lean body weight for prepubertal swimmers was found to be higher ( $r=0.898$ ,  $p<0.001$ ) than for college swimmers ( $r=0.604$ ,  $p<0.01$ ). In addition, correlation between  $\dot{V}O_2\text{max}$  and body weight for prepubertal swimmers was found to be higher ( $r=0.825$ ,  $p<0.001$ ) than for college swimmers ( $r=0.588$ ,  $p<0.01$ ). It was also shown that prepubertal swimmers had a significantly smaller  $\dot{V}O_2\text{max}$  per 1 kg of lean body weight than college swimmers. Therefore, it was concluded that the respiratory-cardiovascular system of prepubertal male swimmers was not matured or improved enough for  $\dot{V}O_2\text{max}$  measurement even when they were well trained for their age.

### I. 緒 言

最大酸素摂取量 (以下  $\dot{V}O_2\text{max}$ ) はスポーツ選手のみならず, 一般人にとっても有酸素的作業能力を表す重要な指標である。その  $\dot{V}O_2\text{max}$  を規定する因子としては大きく分けて二つ考えられている。一つは酸素の運搬の場である呼吸循環器系であり, もう一つは酸素を消費する場である筋である。前者については, 最大心拍出量や肺拡散容量等が  $\dot{V}O_2\text{max}$  に大きく関係していることが明らかにされている<sup>1-3)</sup>。これに対し, 後者では酸素の消費の場の大きさとしてと

らえることにより,  $\dot{V}O_2\text{max}$  と体重および除脂肪体重 (lean body weight 以下, LBW) との間に高い相関関係があることが報告されている<sup>4-9)</sup>。しかし, その関係は性, 肥満およびトレーニング度の違いにより異なることが報告され<sup>5-8)</sup>,  $\dot{V}O_2\text{max}$  の消費の場としての議論は必ずしも決結してはいない。また, これらの報告のいずれもが成人についてであって, 年少者についての検討はなされていない。そこで, 本研究では相対的に同様な技能水準にある小学生と大学生の男子泳者を測定することにより,  $\dot{V}O_2\text{max}$  と体重および LBW の関係についての検

**Table 1.** Comparison of physical characteristics of prepubertal male swimmers and college male swimmers.

		Group P	Group C	Diff.
N		17	19	
Age	(years)	11.3±0.6	20.4±0.9	p<0.001
Height	(cm)	148.0±6.4	174.8±5.3	p<0.001
Body Weight	(kg)	38.6±4.7	65.8±4.8	p<0.001
Body Density	(g·ml <sup>-1</sup> )	1.0632±0.0235	1.0747±0.0074	p<0.05
%fat	(%)	12.3±4.8	11.0±3.0	NS
Fat	(kg)	4.8±2.0	7.3±2.0	p<0.01
LBW <sup>*1</sup>	(kg)	33.9±4.3	58.5±4.8	p<0.001

Values are means±S.D.

Group P:Prepubertal male swimmers, Group C:College male swimmers

\*1 LBW:lean body weight

**Table 2.** Swimming training level and performance level of the subjects.

	Group P	Group C	Diff.
Swimming experiences (years)	6.5±1.8	13.1±2.2	p<0.001
Swimming distance of training (km·week <sup>-1</sup> )	23.4±7.0	48.0±2.4	p<0.001
Best time of 100m FR <sup>*1</sup> (sec)	67.6±2.3	54.7±0.9	p<0.001
Performance level of 100m FR <sup>*1</sup> (grade <sup>*2</sup> )	6.7±1.1	7.0±0.7	NS

Values are means±S.D.

Group P:Prepubertal male swimmers, Group C:College male swimmers

\*1 Fr: Front crawl, \*2 approved by Japan Amateur Swimming Federation

討を加え、小学生スイマーの特性を明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### A. 被検者

被検者は、愛知県内のスイミングクラブに所属し、選手育成コースにてトレーニングを行なっている9.0～12.0歳の思春期前の男子水泳選手17名(以下、小学生)と18.0～21.0歳の大学男子水泳選手19名(以下、大学生)であった。競技レベルは小学生では17名中9名の者が全国大会出場経験者であり、大学生は全員が全日本大学水泳選手権出場者であった。表2に示した100mクロール泳のベストタイムおよび日本水泳連盟の定める資格級<sup>10)</sup>からも分るように、いずれも比較的競技レベルの高い被検者

であった。また、両群における資格級には有意な差はみられず、両群の被検者は相対的に同様な技能水準にあったと考えられる。しかし、トレーニング年数と週当たりのトレーニング量には、大学生と小学生との間には有意な差がみられた。なお、身体組成測定上、年少者は思春期前であることが条件となる<sup>11)</sup>。そこで思春期前であることの確認はアンケート調査をもとに①声変わりをしていないこと、②陰毛がはえていないこと、③急激な身長伸びがないことより行った<sup>12)</sup>。

研究に先だち被検者および被検者の保護者とスイミングクラブのコーチに対して、実験内容について十分な説明を行なった。そして、その内容を理解した上、承諾書への署名を得た。また、被検者には12誘導による安静心電図を測定

し、心機能に異常のないことを医師が確認したうえで測定を行なった。表1に被検者の身体的特徴を表2に被検者のトレーニング度と競技レベルを示した。

## B. 測定方法

### 1) $\dot{V}O_2\max$ の測定

測定はすべて、中京大学水泳科学研究施設内にある垂直循環型回流水槽であるアクアジム（石川島播磨重工業社製）を用いて行なった。

呼気ガスの測定は、特製採気マスクを用いてミナト医科学社製ガスアナライザー（MG 360, RM 300）にて30秒間毎に連続的に行なった。なお、特製採気マスクは異なる大きさのマスクを用意し、小学生には小さいマスクを大学生には大きいマスクを使用した。心拍数はフクダ電子社製テレメーター送信器（ST 17）およびフクダ電子社製ダイナスコープ（DS 502）を用いて胸部双極誘導法にて水泳中連続記録した。なお、測定値の採用は疲労困憊時において得られた値を採用した。以上より求めた呼吸循環応答の項目は酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2$ ）、体重あたりの酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2 \cdot Wt^{-1}$ ）および心拍数（以下、HR）であった。

なお、実験時の水温は $28.3 \pm 1.4^\circ\text{C}$ 、室温は $29.6 \pm 2.7^\circ\text{C}$ 、相対湿度は $66.6 \pm 9.4\%$ であった。

### 2) 運動負荷

測定はまず5分間の水中立位安静を行なった後、最大運動としてクロール泳を疲労困憊まで行なわせた。そのプロトコールは、小学生には流速 $0.6 \sim 1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ まで、大学生には $0.8 \sim 1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ まで、2分毎に $0.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ スピードを漸増させ、その後は1分毎に $0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ スピードを漸増して疲労困憊に至らせる内容であった。測定の終了は被検者が所定の位置から2m後退した時、および検者の動機付けにもかかわらず、被検者自身がそれ以上泳ぎ続けることができないと意志表示し、検者がそのことを認められた時<sup>13)</sup>とした。 $\dot{V}O_2\max$ の決定にあたっては、呼吸交換比（RER）が1.1以上、HRが $185 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$ 以上、 $\dot{V}O_2$ のleveling off<sup>14)</sup>のう

ち1項目以上観察されることを条件とした。

### 3) 身体組成の測定

体脂肪率は北川たち<sup>8)</sup>による水中体重秤量法によって身体密度を求め、思春期前にある小学生はLohmanたち<sup>11)</sup>の式、成人である大学生はBrožekたち<sup>15)</sup>の式に代入して算出した。さらに、体重に体脂肪率を乗じて体脂肪量を、体重から体脂肪量を減じてLBWを求めた。

### 4) 統計処理

統計処理は、群間における平均値間の有意差は対応のないStudent-t-testにより検定を行なった。また、 $\dot{V}O_2\max$ との相関関係についてはピアソンの相関関係を用い、危険率5%未満を有意水準として採用した。

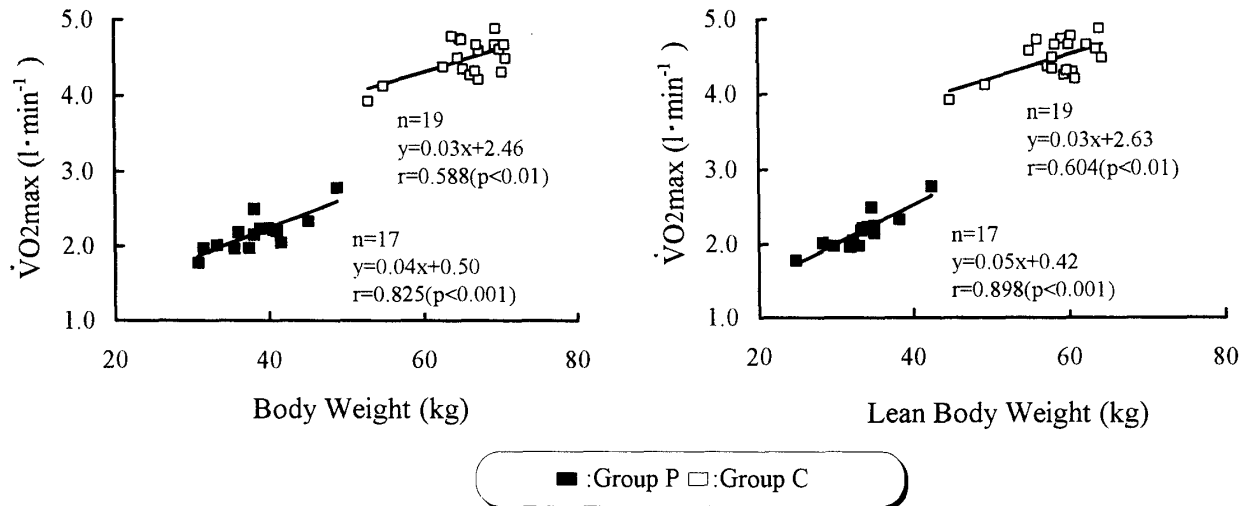
## III. 結 果

$\dot{V}O_2\max$ と体重、LBWとの関係を図1に示した。 $\dot{V}O_2\max$ と体重との関係は小学生では $r=0.825$  ( $p<0.001$ )、大学生では $r=0.588$  ( $p<0.01$ )であった。また、 $\dot{V}O_2\max$ とLBWとの関係は小学生では $r=0.898$  ( $p<0.001$ )、大学生では $r=0.604$  ( $p<0.01$ )となり、いずれの群においても、体重よりもLBWとの相関関係が高かった。また、 $\dot{V}O_2\max$ と体重、LBWとの関係はともに小学生は大学生に比べて高い相関関係が得られた。

$\dot{V}O_2\max$ と体重およびLBW 1kgあたりの $\dot{V}O_2\max$ の平均値と標準偏差を表3に示した。2群間ではいずれも、0.1%水準の有意差をもって大学生が小学生よりもまさっていることがわかった。

## IV. 考 察

$\dot{V}O_2\max$ と体重、LBWとの関係について、Buskirk and Taylor<sup>4)</sup>は、18-29歳の健康な大学生46名と兵士13名を被検者として、 $\dot{V}O_2\max$ と体重との間には $r=0.63$ 、LBWとでは $r=0.85$ の相関があったと報告している。また、他の研究においても非肥満男子の $\dot{V}O_2\max$ は体重よりむしろLBWと密接な関係にあることが明らかにされている<sup>5,7-9)</sup>。しかし、Dill et al.<sup>5)</sup>やKitagawa et al.<sup>7)</sup>は女子において、またGitin



**Fig. 1** Relationships between  $\dot{V}O_2\max$  and body weight, lean body weight.  
Group P : Prepubertal male swimmers, Group C : College male swimmers.

**Table 3.** Comparison of aerobic power and HRmax of prepubertal male swimmers and college male swimmers.

		Group P	Group C	Diff.
$\dot{V}O_2\max$	( $l \cdot \min^{-1}$ )	$2.20 \pm 0.25$	$4.46 \pm 0.24$	$p < 0.001$
$\dot{V}O_2\max \cdot Wt^{-1}$	( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ )	$56.3 \pm 4.0$	$67.9 \pm 4.2$	$p < 0.001$
$\dot{V}O_2\max \cdot LBW^{-1}^{*1}$	( $ml \cdot kg^{-1} \cdot \min^{-1}$ )	$65.1 \pm 3.8$	$76.8 \pm 5.2$	$p < 0.001$
HRmax	( $beats \cdot \min^{-1}$ )	$186.4 \pm 7.2$	$182.3 \pm 10.2$	NS

Values are means  $\pm$  S.D.

Group P : Prepubertal male swimmers, Group C : College male swimmers

\*<sup>1</sup> LBW : Lean Body Weight

et al.<sup>6)</sup> は男子の肥満者においては  $\dot{V}O_2\max$  は LBW よりも体重と密接な関係にあることを示している。このことから、 $\dot{V}O_2\max$  と体重や LBW との関係において、脂肪の多い女子や、男子であっても肥満者では脂肪組織の代謝量の大きさは無視できないと考えられている<sup>6)</sup>。

一方、Welch et al.<sup>9)</sup> は  $\dot{V}O_2\max$  と体重、LBW との関係には、トレーニングの実施程度による呼吸循環器系機能の良否が影響を与えることを指摘している。この点について、北川たち<sup>8)</sup> は、18-23 歳の特別なトレーニングを行っていない一般人 17 名と、19-21 歳のサッ

カー選手 17 名を被検者として、 $\dot{V}O_2\max$  と体重の間には一般人では  $r=0.763$ 、サッカー選手では  $r=0.527$  の相関関係を得ている。さらに、LBW との間には、一般人で  $r=0.821$  と高い相関関係にあるものの、サッカー選手では  $r=0.595$  と一般人に比べて低い相関関係しかなかったと報告している。このことより、 $\dot{V}O_2\max$  の規定因子としての LBW は一般人では強く作用するが、サッカー選手の場合、 $\dot{V}O_2\max$  に対しては LBW よりもトレーニングが強く関与しているものと北川たちも考えている<sup>8)</sup>。したがって、酸素を消費する場の大きさだ

けから  $\dot{V}O_2\max$  と体重や LBW との関係について論ずることは十分とはいえない。さらに、このような報告は成人を対象とした報告がほとんどであり、年少者を対象とした報告はこれまではなされておらず、ここに示した過去の報告結果が年少者にもあてはまるか否かは不明である。

以上のことをふまえて本研究結果を考えてみると、図 1 に示したように小学生、大学生のいずれにおいても  $\dot{V}O_2\max$  と体重、LBW との相関関係は体重よりも LBW との方が高く、これまでに報告されている成人男子の先行研究<sup>4,5,7-9)</sup> の結果と一致するものであった。しかし、 $\dot{V}O_2\max$  と体重、LBW との相関関係は小学生が大学生に比べて高い値を示した。その原因として、小学生ではトレーニング年数と週当たりのトレーニング量の違いに起因するトレーニング度の低さが考えられる。すなわち、本研究での小学生と大学生の関係は、成人の一般人とサッカー選手の関係<sup>8)</sup> に相当していると考えられる。本研究での小学生は日常的にトレーニングを行っており、その年齢では優れた競技成績を持つ者とはいえ、成人の特別なトレーニングを行っていない一般人と同じように、呼吸循環器系機能の発達は不十分であるために、体重および LBW といった量的な要因が  $\dot{V}O_2\max$  に及ぼす影響が大きいものと推察される。

次に表 3 に有酸素的能力としての LBW 1 kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  を示した。LBW 1 kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  は、Buskirk and Taylor<sup>4)</sup> によって呼吸循環器系機能の能力を表す指標となることが指摘されている。本研究における、LBW 1 kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  は小学生では  $65.1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 、大学生では  $75.7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  と 0.1%水準の有意差をもって、大学生の LBW 1 kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  は小学生よりも高い値を示した。これについて、北川たち<sup>8)</sup> は成人男性の一般人とサッカー選手の LBW 1 kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  を比較し、LBW 1 kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  の増加は、トレーニングによる筋の質が変化したことが原因ではないかと推測している。この点

について、Gollnick たち<sup>16)</sup> は筋の線維組成、酵素活性などへのトレーニング効果を検討して、トレーニングによって  $\dot{V}O_2\max$  は 3.6-25% 増加し、その背景にはコハク酸脱水素酵素が 95% 増加したことを報告し、筋の質的向上による  $\dot{V}O_2\max$  の増加を裏付けている。

以上より、 $\dot{V}O_2\max$  と体重、LBW との関係からみると、トレーニングを積み優れた競技成績をあげている小学生であっても、成人の鍛練者と比較すると呼吸循環器系機能が未だ不十分であるものと推察される。

## V. ま と め

本研究の目的は、 $\dot{V}O_2\max$  の規定因子となる体重、LBW との関係を思春期前の男子水泳選手 17 名 ( $11.3 \pm 0.6$  歳) と大学男子水泳選手 19 名 ( $20.4 \pm 0.9$  歳) とで比較検討し、小学生スイマーの特性を明らかにすることであった。 $\dot{V}O_2\max$  は流水プールを用いた水泳運動により、LBW は水中体重秤量法により測定した。その結果、 $\dot{V}O_2\max$  と体重との関係は小学生では  $r=0.825$  ( $p<0.001$ )、大学生では  $r=0.588$  ( $p<0.01$ ) であった。また、 $\dot{V}O_2\max$  と LBW との関係は小学生では  $r=0.898$  ( $p<0.001$ )、大学生では  $r=0.604$  ( $p<0.01$ ) となり、いずれの群においても体重よりも LBW との相関関係が高かった。また、 $\dot{V}O_2\max$  と体重、LBW との関係はともに小学生は大学生に比べて高い相関関係が得られた。一方、LBW 1 kg 当りの  $\dot{V}O_2\max$  は大学生が小学生よりもまさっていることがわかった。これらのことから、 $\dot{V}O_2\max$  と体重、LBW との関係からみると、トレーニングを積み優れた競技成績をあげている小学生であっても、成人の鍛練者と比較すると呼吸循環器系機能が未だ不十分であるものと推察された。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたって KL スポーツ、名古屋スイミングクラブ、NAS スイムスクーム、名鉄スイミングスクール、ピープルズスポーツクラブ鳴子、ピープルズスポーツクラブ天白、

豊田スイミングスクールおよびVトピアスポーツクラブの選手，コーチ，保護者の皆様ならびに中京大学水泳部員，中京大学アクアジムスタッフの多大なる御協力を得たことをここに記し感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) Ekblom B. Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol Scand Suppl* 328, 1969.
- 2) Hartley LH, Grimby G, Kilbom A, Nilsson NJ, Astrand I, Bjure J, Ekblom B, Saltin B. Physical training in sedentary middle-aged and older men. *Scand J Clin Lab Invest* 24 : 335-344, 1969.
- 3) Holmgren A, Åstrand PO. D<sub>I</sub> and the dimensions and functional capacities of the O<sub>2</sub> transport system in humans. *J Appl Physiol* 21 : 1463-1470, 1966.
- 4) Buskirk E, Taylor HL. Maximal oxygen intake and its relation to body composition, with special reference to chronic physical activity and obesity. *J Appl Physiol* 2 : 72-78, 1957.
- 5) Dill DB, Myhre LG, Greer SM, Richardson JC, Singleton KJ. Body composition and aerobic capacity of youth of both sexes. *Med Sci Sports* 4 : 198-204, 1972.
- 6) Gitin EL, Olerud JE, Carroll HW. Maximal oxygen uptake based on lean body mass : a meaningful measure of physical fitness? *J Appl Physiol* 36 : 757-760, 1974.
- 7) Kitagawa K, Miyashita M, Yamamoto K. Maximal oxygen uptake, body composition, and running performance in young Japanese adults of both sexes. *Jap J Phys Educ* 21 : 335-340, 1977.
- 8) 北川 薫, 生田香明, 広田公一, 原 優子 最大酸素摂取量の規定因子としての除脂肪体重の検討. *体力科学* 23 : 96-100, 1974.
- 9) Welch BE, Riendeau RP, Crisp CE, Isenstein RS. Relationship of maximal oxygen consumption to various components of body composition. *J Appl Physiol* 12 : 395-398, 1958.
- 10) 日本水泳連盟水泳資格表 スイミング・マガジン ベースボールマガジン社 東京 14 : 70-71, 1990.
- 11) Lohman T, Slaughter G, Boileau RA, Bunt J, Lussier L. Bone mineral measurements and their relation to body density in children, youth and adults. *Human Biol* 54 : 667-679, 1984.
- 12) Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity and the stages of puberty. *Arch Dis Childhood* 51 : 170-179, 1976.
- 13) 小林寛道 八木規夫 脇田裕久 水谷四郎 桜井伸二 蛭田秀一 桜井佳世 幼児の Aerobic Power とトレッドミル走行中の呼吸循環機能 *体育科学* 6 : 77-85, 1988.
- 14) 小林寛道 日本人のエアロビック・パワー : 14-102, 杏林書院, 東京, 1982.
- 15) Brožek J, Grande F, Anderson JT, Keys A. Densitometric analysis of body composition : Revision of some quantitative assumption. *Ann N Y Acad Sci* 110 : 113-140, 1963.
- 16) Gollnick PD, Armstrong RB, Saltin B, Saubert IV CW, Sembrowich WL, Shepherd RE. Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 34 : 107-111, 1973.