

若年からの水泳トレーニングが最大酸素摂取量に及ぼす影響

北村 潔和・鳥海 清司

Effect of Swimming Training from Youth on Maximum Oxygen Uptake

Kiyokazu KITAMURA and Kiyoshi TORIUMI

キーワード: 若年, 最大酸素摂取量, 水泳, トレーニング

Key words: youth, maximum oxygen uptake, swimming, training

1. 緒言

全国的に児童生徒の体力の低下が認められ, これを防止する方策の一つとして, 若年からの定期的なトレーニングの必要性が指摘されてきている¹⁹⁾。しかし, 全身持久性能力を表す最も信頼できる指標の一つである体重当りの最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max/w$) は, 個々の持つ遺伝的要因などによってトレーニングの効果が制限されるとの指摘がある^{9,14)}。仮に, 遺伝的要因などによって制限を受けると考えると, 若年からのハードなトレーニングが, 将来的に高い $\dot{V}O_2\max/w$ を獲得するのに有利になるかは気になるところであろう。

加賀谷ら⁴⁾はジュニア選手(スピードスケート, テニス, ウェイトリフティング, 新体操, 陸上中長距離)の最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) を3年間追跡し, $\dot{V}O_2\max$ は体重の増加に伴って増大したが, $\dot{V}O_2\max/w$ にすると変化なく, むしろ $\dot{V}O_2\max$ の増大しなかった選手では低下したことを報告している。また, 豊岡¹⁷⁾はジュニアの陸上中長距離選手を3年間追跡し, $\dot{V}O_2\max$ は増大したが, $\dot{V}O_2\max/w$ では低下したことを報告し, 遺伝的要因の関与を示唆している。しかし, $\dot{V}O_2\max$ に対するトレーニング効果は, 運動の条件(強度, 時間, 頻度)や種類などによって異なることが考えられることから, 先に報告された陸上での運動種目以外によるトレーニングについての検討も必要であろう。

本研究は5歳から7歳の間に民間のスイミングスクールの競技選手養成コースに所属し, ハードな水泳トレーニングを5年から8年の間行ってきたジュニア選手に, さらに2年間のトレーニングを行わせて $\dot{V}O_2\max$ を測定することから, 若年からのハードなトレーニングが, $\dot{V}O_2\max$ と $\dot{V}O_2\max/w$ に及ぼす影響を検討するために企画した。

2. 実験方法

被検者は男子7人, 女子10人の合計17人であり, 年齢,

身体的及び生理学的特徴は表1に示した。被検者たちは実験開始前に, すでに5年から8年の間, スイミングスクールに所属して泳ぐトレーニングを積んでいた。

実験期間中のトレーニングメニューは, 推定の最高心拍数(HRmax: 220-年齢)に対する相対的心拍数(%HRmax)を指標にして行われていた。例えば, 70%HRmaxは(HRmax-安静時HR)×0.7+安静時HRとして求められる。1年間に実施された1週間当りのトレーニング量は, 70%HRmax未満で6,800m, 70~80%HRmaxで11,000m, 80~90%HRmaxで8,000m, 90%HRmax以上で4,700mであった。

除脂肪体重(LBM), 脂肪量(Fat), 体脂肪率(%Fat)は, インピーダンスによる体脂肪測定装置(セルコ株式会社)によって測定した。この測定装置の信頼性は, 水中密度法と比較検討されている^{13,20)}。

$\dot{V}O_2\max$ の測定は, トレッドミル上のランニングによる速度漸増方法で行った。すなわち, トレッドミルの走行盤の傾斜を0%にし, 男子では10km/h, 女子では8km/hのスピードから開始し, 2分毎に2km/hずつスピードを漸増することで被検者を疲労困憊まで導いた。運動中の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)はMMC4400tc(日本光電株式会社)を用い, breath-by-breathでランニング開始から終了までの呼気の計量と呼気中の O_2 と CO_2 濃度の分析を自動的に行うことにより測定した。得られた1回呼吸毎の $\dot{V}O_2$ は30秒毎に平均し, さらに, 1分間値に換算した。また, $\dot{V}O_2\max$ は疲労困憊直前に得られた最も高い $\dot{V}O_2$ とした。

運動中の心拍数(HR)は胸部双極誘導法にて心電図を導出し, 得られた心電図のR波を30秒間隔で数え, それを2倍することにより1分間値に換算して求めた。

なお, 疲労困憊の判定は規定の速度でランニングできなくなること, 最高心拍数(HRmax)が同年代のHRに達していること, 呼吸交換比が1.1を越えることを目安にして検者が行った⁶⁾。

トレーニング効果を検討するための'93年と'95年の2回の測定は、いずれも4月の第1週の日曜日に実施した。2回の測定の差の検定には student の対応のある t 検定を用い、5%をもって有意とした。

3. 結果

表1には全被検者の身長、体重、身体組成、生理学的特徴を、また、表2にはそれらの統計的な差の検定結果を男女別に示した。実験期間中の2年間の平均値でみると、男子の身長は7.5cm (4.69%) 伸び、体重は8.67kg (17.69%)、LBMは6.25kg (16.28%)、Fatは1.62kg (29.91%) といずれも統計的に有意に増大した。%Fatは1.57% (9.47%) 増大したが統計的に有意でなかった。

また、女子の身長は4.5cm (2.90%) 伸び、体重は6.04kg

(13.32%)、LBMは2.90kg (8.24%)、Fatは2.45kg (23.79%)、%Fatは1.99% (8.80%) 増大し、いずれも統計的に有意であった。

男子の $\dot{V}O_2 \max$ は2.611/minから2.991/minへ、0.381/min (14.56%) 増大し、統計的に有意であった。 $\dot{V}O_2 \max/w$ は53.67ml/kg・minから51.78ml/kg・minへ、1.89ml/kg・min (3.53%) 低下したが統計的に有意でなかった。

女子の $\dot{V}O_2 \max$ は2.311/minから2.211/minへ、0.101/min (4.33%) 低下したが統計的には有意でなかった。 $\dot{V}O_2 \max/w$ は51.42ml/kg・minから44.54ml/kg・minへ、6.88ml/kg・min (13.38%) 低下し、統計的に有意であった。

男子の'93年と'95年のHRmaxは、それぞれ199.7beats/minと199.3beats/min、女子では200.4beats/minと197.6beats/minであり、いずれも統計的に有意差は認められなかった。

表1 被験者の年齢、体格、身体組成及び生理的パラメータ

測定項目	年齢 (yr.)		身長 (cm)		体重 (kg)		除脂肪体重 (kg)		脂肪量 (kg)		体脂肪率 (%)		最大酸素摂取量 (l/min) (ml/kg・min)				最高心拍数 (beats/min)	
	'93	'95	'93	'95	'93	'95	'93	'95	'93	'95	'93	'95	'93	'95	'93	'95	'93	'95
被験者(男子)																		
1	15	17	168.0	169.6	54.5	60.4	47.0	50.3	7.5	10.1	13.8	16.7	2.52	2.88	46.2	47.6	206	196
2	13	15	163.0	167.5	56.8	63.7	48.0	50.4	8.8	13.3	15.5	20.9	3.45	3.34	60.6	52.5	196	193
3	13	15	154.3	166.0	42.1	51.6	34.7	41.5	7.3	10.1	17.3	19.6	2.69	2.79	64.0	54.1	208	206
4	13	15	167.6	175.0	60.3	66.4	48.9	53.4	11.3	13.0	18.7	19.6	3.13	3.40	52.0	51.2	196	202
5	13	15	163.8	171.0	46.3	55.7	39.6	46.8	6.7	8.9	14.5	16.0	2.49	2.91	53.7	52.3	198	192
6	12	14	161.2	169.1	48.4	59.5	39.9	49.2	8.5	10.3	17.6	17.3	2.33	3.32	48.2	55.8	200	206
7	12	14	142.1	154.6	34.8	46.5	26.6	39.4	6.5	7.9	18.7	17.0	1.69	2.32	51.0	49.0	194	200
平均値	13	15	160.0	167.5	49.02	57.69	40.67	47.29	8.09	10.51	16.6	18.1	2.61	2.99	53.67	51.78	199.7	199.3
標準偏差	1.0	1.0	9.1	6.4	8.90	6.94	8.13	5.09	1.65	1.99	2.0	1.8	0.57	0.39	6.46	2.82	5.3	5.8
被験者(女子)																		
1	14	16	164.4	165.4	56.0	60.0	42.3	42.8	13.7	17.2	24.5	28.7	2.57	2.39	45.8	39.9	194	195
2	14	16	156.3	157.9	55.3	56.2	39.8	38.0	15.5	18.2	28.0	32.4	3.00	2.58	54.2	45.9	200	196
3	13	15	158.5	163.1	45.7	50.2	36.6	40.5	9.0	9.7	19.7	19.3	2.38	2.28	52.1	45.3	192	188
4	13	15	160.5	164.3	44.6	50.6	36.2	39.6	8.4	11.0	18.8	21.7	2.43	2.46	54.5	48.7	200	195
5	13	15	158.5	163.7	45.0	54.3	35.1	40.2	9.8	14.1	21.8	26.0	2.47	2.33	54.9	42.9	204	203
6	13	15	160.2	161.0	45.5	46.9	35.8	35.5	9.6	11.3	21.1	24.1	2.23	1.87	49.1	39.9	202	188
7	13	15	151.2	154.4	42.9	49.2	35.0	34.5	7.9	10.0	18.4	20.3	2.30	2.22	53.5	45.1	204	202
8	13	15	146.6	150.9	40.4	47.0	30.1	35.0	10.3	12.0	25.5	25.5	1.87	1.72	53.7	52.3	204	194
9	12	14	159.6	162.6	45.0	52.3	34.5	38.6	10.5	13.7	23.3	26.2	2.09	2.14	46.3	40.9	200	206
10	11	13	137.5	154.2	33.2	47.3	26.5	36.2	8.3	10.3	25.0	21.8	1.74	2.07	50.1	44.5	204	209
平均値	12.9	14.9	155.3	159.8	45.36	51.40	35.19	38.09	10.30	12.75	22.6	24.6	2.31	2.21	51.42	44.54	200.4	197.6
標準偏差	0.9	0.9	8.1	5.1	6.59	4.34	4.43	2.74	2.46	3.00	3.2	4.0	0.36	0.26	3.40	3.93	4.3	7.2

表2 '93年と'95年間の有意差検定

検定項目	身長 (cm)	体重 (kg)	除脂肪体重 (kg)	脂肪量 (kg)	体脂肪率 (%)	最大酸素摂取量 (l/min)	(ml/kg・min)	最高心拍数 (beats/min)
「男子」								
有意水準	↑	↑	↑	↑	→	↑	→	→
	0.01	0.01	0.01	0.01	NS	0.05	NS	NS
「女子」								
有意水準	↑	↑	↑	↑	↑	→	↓	→
	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05	NS	0.01	NS

ただし矢印は向上(↑)、変化なし(→)、低下(↓)を示す。

4. 考 察

本研究の被検者の実験開始時の年齢は、最年少が11歳、最年長が16歳であった。いずれも発育のみられる年齢であり、男女共に体重、LBM、Fatは実験期間の2年間で有意に増大し、身長は有意に伸びた。

トレーニング者は非トレーニング者よりもLBMが大きく、%Fatが低いことが知られている。しかし、本研究の男女の被検者の%Fatはトレーニング者（陸上での競技種目）よりも高く、非トレーニング者とほぼ同じであった。これまでの報告でも、水泳選手の%Fatは陸上での競技選手よりも高いことが知られている¹⁰⁾。このような結果は、水泳が浮力を伴う運動であり、また、外気温よりも低い水温中での運動といった運動特性が関係しているのであろう。

LBMは男子で16.28%、女子で8.24%増えた。しかし、LBMは脂肪を除いた組織量であるので、身長が伸び、筋以外の組織が増えても増大する。本研究でも身長は男子で7.5cm、女子で4.5cm伸びた。このことは、発育期のトレーニングによるLBMの増大を検討する場合は、身長当りのLBMが目安となることを示している。本研究の男子の身長当りのLBMは、0.251kg/cmから0.281kg/cmへ有意に増大した($P<0.01$)。女子では0.225kg/cmから0.258kg/cmへ変化したが有意でなかった($P>0.05$)。これらのことは、男子のLBMの増大は身長の伸びと泳ぐトレーニングによる筋量の増大が関係し、女子では身長の伸びによる増大に負うところが大きであったことを示している。

本研究のように最大運動を行なわせてトレーニング効果を検討する場合、疲労困憊の判定が正しく行われていたか、トレーニングと $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定のための運動様式に妥当性があったかどうかが問題になる¹²⁾。本研究では男女ともに2回の測定のHRmaxに有意差は認められず、また、同年代のこれまでに報告されている値とほぼ一致した⁶⁾。本研究ではトレーニングが泳ぐことで、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定がランニングで行われたことから、トレーニングされた筋群と測定に使用された筋群の異なることが考えられる。しかし、MagelとFalkner¹¹⁾は、スイムミルで泳いで測定した $\dot{V}O_2\text{max}$ とトレッドミルのランニングで測定した $\dot{V}O_2\text{max}$ の間に有意差のないことを報告している。

本研究の男子の $\dot{V}O_2\text{max}$ は有意に増大し、女子では変化なく、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ にすると男子で変化なく、女子では有意に低下した。各種競技の男女ジュニア選手を3年間追跡した加賀谷ら⁴⁾、豊岡¹⁷⁾は、 $\dot{V}O_2\text{max}$ は増大したが、その増大には体重が関係し、体重の増大に見合った $\dot{V}O_2\text{max}$ の増大の見られなかった選手の $\dot{V}O_2\text{max}/w$ は低下したことを報告し、本研究とほぼ一致した。また、本研究の $\dot{V}O_2\text{max}$ が男子で有意に増大し、女子で変化なかったことは、豊岡¹⁷⁾も示唆しているように、LBMの増大が男子では女子の2倍程度であったことが関係しているのであろう。

一般に $\dot{V}O_2\text{max}$ や $\dot{V}O_2\text{max}/w$ を高めるためのトレーニングの強度は、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の70%以上、運動時間は5分以上、頻

度は週3回以上であるとされている¹⁶⁾。本研究ではトレーニング中の $\dot{V}O_2$ を測定していないが、Kitamuraら⁵⁾の報告から $\dot{V}O_2\text{max}$ の70%に相当する強度を%HRmaxで推定すると、80%HRmax程度になる。先に示したように、本研究の被検者はこれ以上の強度での水泳を、1週間に4回以上行っており、 $\dot{V}O_2\text{max}$ や $\dot{V}O_2\text{max}/w$ を増大させるためのトレーニング条件を満たしていた。

また、成人のトレーニング効果は、トレーニング前の $\dot{V}O_2\text{max}/w$ の大きさに影響を受けることが報告されている^{1,3,15)}。さらに、これまでに報告されてきた成人の $\dot{V}O_2\text{max}/w$ に及ぼすトレーニング効果を検討した山地と横山¹⁸⁾の報告によると、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ の向上はトレーニング前の0~30%の範囲にあるとしている。しかし、これらの報告の被検者の多くは、実験開始前には定期的な運動を実施せずに、むしろ不活発な生活を送っていた。本研究や加賀谷ら⁴⁾、豊岡¹⁷⁾の被検者は、実験開始までにハードなトレーニングを積んできており、いずれの被検者も実験開始時の $\dot{V}O_2\text{max}/w$ は高い水準にあった¹⁶⁾。少なくとも、これらの報告では、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ を増大させるのに十分なトレーニングであったにもかかわらず、また、実験開始前の $\dot{V}O_2\text{max}/w$ の大小に関係なく低下や停滞する傾向がみられ、実験開始前にすでに個々のトレーニング限界の上限にあったことが推測される。

一方、Kobayashiら⁸⁾、小林ら⁷⁾は発育期のトレーニング効果は、身長の発育速度がピークに達する前では小さく、発育速度がピークに達した後に顕著に現れることを示唆している。小林⁶⁾の報告では、身長の発育速度がピークになる年齢は、男子では12.00~14.33歳、女子では10.25~13.50歳である。本研究や豊岡¹⁷⁾、加賀谷ら⁴⁾の被検者は中学生から高校生であり、身長の発育速度がピークを越えた者とそうでない者が混在する。したがって、発育速度を基準にさらに検討する必要はある。しかし、本研究の女子や加賀谷ら⁴⁾の高校生の $\dot{V}O_2\text{max}/w$ の変動をみても、これ以上のトレーニング効果を期待することは難しいように思える。

これを支持する双子を対象にした報告が、数人の研究者によって行われている^{9,14)}。Prud'hommeら¹⁴⁾は、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ はトレーニングによって増大し続けるものでなく、遺伝的要因などによって制限を受けることを指摘している。また、Klissouras⁹⁾は、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ の93.4%が遺伝的に決定されていることを示唆している。一方、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ に対する遺伝因子の寄与は、およそ40%とする報告もあるが²⁾、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ に改善が見られなかった本研究や先の加賀谷ら⁴⁾、豊岡¹⁷⁾の報告は、若年からのハードな陸上や水中のトレーニングが、必ずしも $\dot{V}O_2\text{max}/w$ の継続的な向上をもたらさないことを示している。したがって、若年からのハードなトレーニングは、早期に個々の遺伝的限界に近付けるように働き、発育期を終えてからの高い $\dot{V}O_2\text{max}/w$ を獲得するために有利になるとは考えにくいのではないかと筆者らは考えている。

以上の結果は、若年からのハードなトレーニングは、 $\dot{V}O_2\text{max}/w$ を個々の持つ遺伝的限界へ、早期に近付けるように

働くことを示していよう。仮に、それ以上の効果を上げるには、筋の質的变化が期待できるようなトレーニングの工夫が必要であろう。

5. 要約

5～8年間のハードな水泳トレーニングを積んできた年齢11～15歳の男女の水泳選手を対象に、さらに2年間の水泳トレーニングを行わせて、身長、体重、LBM、%Fat、Fat、 $\dot{V}O_2\max$ を測定した。男女ともに身長は有意に伸び、体重、LBM、%Fat、Fatは有意に増大した。男子の $\dot{V}O_2\max$ は有意に増大し、女子では変化なく、 $\dot{V}O_2\max/w$ でみると男子は変化なく、女子で有意に低下した。これらの結果は、若年からのハードなトレーニングは、個々の持つ遺伝的上限に早期に近付けるように働き、発育期を終えてからの高い $\dot{V}O_2\max/w$ を獲得するために有利に働くとは考えにくいことを示していると、筆者らは考えた。

文献

- 1) 浅見俊雄ほか：全身持久性のトレーニング処方に関する研究(2)強度と時間の違いによるトレーニングについて. 体育科学, 2: 117-122, 1974.
- 2) Bouchard, C. et al.: Aerobic performance in brothers, dizygotic and monozygotic twins. Med. Sci. Sports Exerc. 18: 639-646, 1986.
- 3) Ekblom, B.: Effect of physical training on circulation during prolonged severe exercise. Acta Physiol. Scand., 78: 145-158, 1970.
- 4) 加賀谷淳子ほか：ジュニア選手の有酸素性作業能の縦断的变化. 日本体育協会スポーツ科学研究報告集 Vol. 2, 37-40, 1994
- 5) Kitamura K. et al.: Heart rate predictions of exercise intensity during arm, leg and combined arm/leg exercise. J. Human Ergol. 10: 151-160, 1981.
- 6) 小林寛道：日本人のエアロビック・パワー—加齢による体力推移とトレーニングの影響—. 杏林書院, 1982.
- 7) 小林寛道ほか：縦断的測定からみた女子生徒の Aerobic Power の発達と、トレーニングの影響. 体育学研究, 24(2): 149-158, 1979.
- 8) Kobayashi K. et al.: Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys: a longitudinal study. J. Appl. Physiol. 44(5): 666-672, 1978.
- 9) Klissouras, V.: Heritability of adaptive variation. J. Appl. Physiol. 31: 338-344, 1971.
- 10) 黒田善雄ほか：第23回ロサンゼルス・オリンピック大会日本代表選手健康診断・体力測定報告. 昭和59年度日本体育協会スポーツ科学研究報告. 1-34, 1985.
- 11) Magel, J. and J. A. Faulkner: Maximum oxygen uptakes of college swimmers. J. Appl. Physiol., 22: 929-938, 1967.
- 12) Miyamura, M. et al.: Cardiorespiratory responses to maximal treadmill and bicycle exercise in trained and untrained subjects. J. Sports Med., 18: 25-32, 1978.
- 13) 中糖二三生ほか：成人女性の身体組成評価における Bioelectrical Impedance 法およびその交差妥当性. 体力科学, 41: 467-476, 1992.
- 14) Prud'homme, D., et al.: Sensitivity of maximal aerobic power to training is genotype-dependent. Med. Sci. Sports Exerc., 16: 489-493, 1984.
- 15) Sharkey, B. J.: Intensity and duration of training and the development of cardio-respiratory endurance. Med. Sci. Sports, 2: 197-202, 1970.
- 16) 鈴木真次郎：運動処方専門委員会初年度研究概要. 体育科学, 1: 1-4, 1973.
- 17) 豊岡示朗：ジュニア中長距離選手における有酸素性作業能の逐年的変化. 日本体育協会スポーツ科学研究報告集, 64-68, 1993.
- 18) 山地啓司, 横山泰行：持久性トレーニング(強度, 時間, 頻度, 期間)の最大酸素摂取量への影響. 体育学研究 32(3): 167-179, 1987.
- 19) 脇田裕久：今, 子どもの体力はこんなに低下している. 体育の科学, 46: 286-291, 1996.
- 20) 渡辺完児ほか：Bioelectrical Impedance Method による中学生の身体組成評価. 体力科学, 42: 350-359, 1993.