最大下泳速度におけるフロントクロールおよび ブレストストロークの経済性について

杉山 康司*, 形本 静夫

順天堂大学体育学部運動生理学研究室

*現在 静岡大学教養部保健体育教室

Comparison of Submaximal Front Crawl and Breast Stroke Swimming in Relation to Energy Expenditure

Koji SUGIYAMA* and Shizuo KATAMOTO

Department of Exercise Physiology, School of Health and Physical Education, Juntendo University

**Department of Physical Education, of Liberal Arts, Shizuoka University*

The purpose of this study was to compare the energy expenditure during submaximal front crawl (Fr) and breast stroke (Br) swimming.

Six male college swimmers performed submaximal and maximal exercise tests in both styles in a swimming flume. In submaximal exercise tests, they swam at the following given velocities for 5 min, Br: 0.3, 0.5 and 0.7 m/sec; Fr: 0.3, 0.5, 0.7 and 0.9 m/sec. In maximal exercise tests, following submaximal swimming at 0.9 m/sec in Br and 1.1 m/sec in Fr, swimming velocity was increased progressively by 0.1 m/sec every 1 min until the subjects reached to voluntary exhaustion.

$\dot{V}O_{2max}$ obtained from the maximal swimming tests in Br and Fr were 4.27 and 4.18 l/min, respectively. And there was no significant difference between these two values. $\dot{V}O_2$ during Br and Fr swimming at four and five submaximal velocities were 1.06, 1.30, 1.79, 2.65 l/min and 1.17, 1.34, 1.63, 2.04, 3.05 l/min, respectively. And, it was found that $\dot{V}O_2$ at 0.3 and 0.9 m/sec were significantly different ($p < 0.05$ and $p < 0.01$) between Fr and Br. $\dot{V}O_2$ in both styles curvilinearly increased with swimming velocity, and these relationships were well fitted for the regression equation of the second order (Br: $y = 3.84625x^2 - 1.95914x + 1.310463$, $r^2 = 0.999$ ($p < 0.05$), Fr: $y = 3.233446x^2 - 2.28136x + 1.611524$, $r^2 = 0.979$ ($p < 0.05$)). It was calculated that the two curves crossed at a point on 0.49 m/sec, and that $\dot{V}O_2$ at this point was 1.27 l/min. This value equivalented to 30.4 % $\dot{V}O_{2max}$ in Br and 29.7 % $\dot{V}O_{2max}$ in Fr.

From these results, it was concluded that the difference Fr and Br on energy expenditure became smaller as the swimming velocity was set slower, and Br would be more economical than Fr at swimming velocity below 0.49 m/sec (Ann. Physiol. Anthropol. 11(6): 635-640, 1992)

Key words: Swimming, Energy expenditure, $\dot{V}O_{2max}$

Zunt, et al. (1906) が初めて遊泳時のエネルギー消費量を測定して以来、水泳時のエネルギー代謝については、主に泳速度—エネルギー消費量関係および泳ぎの経済性の面から多くの研究がなされてきた。これまでに集積されている知見によれば、水泳時のエネルギー消費量は、泳法には関係なく泳速度の増加とともに指数関数的に増大する (Holmér, 1974; McArdle, et al., 1974)。また、各種泳法による泳ぎの経済性 (一定泳速度におけるエネルギー消費量の大小関係) はフロントクロール (Fr) が最も優れ、長距離泳においてよく利用されるブレストストローク (Br) よりも高いことが指摘されている (阿久津, 1964; Holmér, 1972; Kalpovich and Millman, 1964; 山岡, 1958)。しかし、これらの研究において用いられた最も遅い速度は0.6 m/秒であり、Fr の Br よりも高い経済性がさらに遅い泳速度においても認められるかどうかは明らかではない。

山岡 (1958) は泳速度—酸素需要量関係から約0.6 m/秒の速度で Fr と Br の経済性がほぼ等しくなり、これ以下の速度では Br の方が経済的な泳ぎになると推定している。しかし、Fr については0.6m/秒以下における泳速度の測定はなされていない。さらに、用いられた被験者も泳法ごとに異なっており、個人差の影響を否定することはできない。

そこで、本研究では同一被験者に0.3m/秒までの遅い泳速度による Fr および Br を行わせ、両泳法の経済性が逆転するかどうか、逆転するとすればどの程度の速度でおこるのかを明らかにしようとした。

実験方法

1. 被験者

被験者は大学競泳選手6名であった。研究開始に先だって、彼らに対し本研究の目的および方法について説明を行った。彼らは全員実験に参加することを同意した。被験者の身体特性、経験年数および得意種目を表1に示した。

2. 実験手順

被験者は実験室に入室したのち少なくとも30分間椅座位安静を保ち、その後スイムミル (C-12: 五十嵐社製) に入水し、テストを受けた。実験時におけるスイムミルの水温は常に $27 \pm 0.2^\circ\text{C}$ を保つようにした。

1) 最大下運動テスト

Table 1 Characteristics of subjects.

Subject	Age yr	Career yr	Stature cm	Weight kg	Specialty
1	19	7	176.9	75.0	Breast
2	20	7	180.7	71.4	Free
3	19	5	175.4	65.5	I.M.*
4	19	5	175.1	73.0	Breast
5	21	7	169.1	62.4	Free
6	23	11	169.5	59.6	Back
Mean	20	7	174.5	67.8	—
SD	1	2	4.5	9.0	—

* I.M.: Individual medley

各被験者に対し、両泳法による5分間の最大下泳を断続的に行わせた。用いた泳速度は、Br が0.3, 0.5および0.7m/秒、Fr が0.3, 0.5, 0.7および0.9m/秒であった。テストはいずれの場合も遅い泳速度から始め、それぞれの泳速度間には心拍数が安静水準に戻るまでの十分な休息時間を設けた。また、各泳法の試行順序は無作為とした。このとき、安静時および運動時に心拍数ならびに酸素摂取量の測定を行った。

心拍数は胸部双極導出により記録した心電図のR波数を1分間毎に数えて求めた。また、酸素摂取量は被験者に水泳用に工夫した採気マスク—蛇管システムを装着させ、その呼気をJaeger社製の呼気流量計および医用ガス分析計に導くことによって1分毎に連続して測定した。

なお、医用ガス分析計内の酸素計および二酸化炭素計は、あらかじめショランダー微量ガス分析器 (Scholander, 1947) によって分析された既知濃度の商用ガスを用いて校正した。各泳速度における心拍数および酸素摂取量は、運動の4～5分までの1分間の値より求めた。

2) 最大運動テスト

テストは各泳法ごとに別な日に行った。Br 時は0.9 m/秒で、Fr 時は1.1m/秒の泳速度で5分間泳がせたのち、被験者が疲労困憊に至るまで1分毎に0.1m/秒ずつ泳速度を漸増させた。このときの安静時および運動時の心拍数および酸素摂取量の測定は、最大下テスト時と同様にして行った。最高心拍数および最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2\max}$) は、テスト時に得られた毎分心拍数および酸素摂取量の最大値とした。

水泳時の代謝能力は浮力の作用が関与するため、絶

対値で評価したほうがより適切であると考えられており(黒川ら, 1985), 諸外国の $\dot{V}O_2\max$ に関する研究報告もほとんど絶対値で処理されている (Holmér, 1972; Holmér, 1974; Holmér, et al., 1974; Magell and Faulkner, 1967; McArdle, et al., 1974). そこで, 本研究においても, それぞれの条件下で得られた酸素摂取量は全て絶対値で処理した。

3. 統計処理

同一泳速度における泳法間の測定値の平均値の差の有意性は, 対応のある Student の t テストを用いて検定した。有意水準は, 危険率 5%未満に設定した。

実験結果

1. $\dot{V}O_2\max$

Br および Fr による最大泳テスト時に得られた被験者の $\dot{V}O_2\max$ を表 2 に示した。Br および Fr で得られた $\dot{V}O_2\max$ は, それぞれ 4.18 ± 0.51 l/分および 4.27 ± 0.20 l/分であった。両泳法間の平均値に統計的な有意差は認められなかった。

2. 一定泳速度における酸素摂取量

Table 2 $\dot{V}O_2\max$ obtained from maximal swimming tests in Br and Fr.

Subject	$\dot{V}O_2\max$	l/min
	Br	Fr
1	3.43	4.10
2	4.28	4.23
3	4.25	4.51
4	3.68	4.29
5	5.00	4.53
6	4.41	3.97
Mean	4.18	4.27
SD	0.51	0.20

一定泳速度に対する Br および Fr 時の平均の酸素摂取量を図 1 に示した。

泳速度 0.3, 0.5, 0.7 および 0.9 m/秒における Br 時の酸素摂取量は, それぞれ 1.06 ± 0.20 , 1.30 ± 0.17 , 1.79 ± 0.18 および 2.65 ± 0.27 l/分であった。また, Fr の各泳速度 (0.3, 0.5, 0.7, 0.9 および 1.1 m/秒)

Fig. 1 Change of $\dot{V}O_2$ at submaximal swimming velocity. Black symbol (●) is Br and white symbol (○) is Fr. Asterisks are significantly difference between Fr and Br: **p < 0.01, *p < 0.05.

時の酸素摂取量はそれぞれ 1.17 ± 0.20 , 1.34 ± 0.18 , 1.63 ± 0.30 , 2.04 ± 0.41 および 3.05 ± 0.44 l/分であった。最も遅い泳速度時 (0.3 m/秒) の酸素摂取量は Br の方が有意に低く (p < 0.05), 0.9 m/秒時のそれは Fr の方が有意に低い値を示した (p < 0.01)。また, 両泳法における酸素摂取量 (y) は泳速度 (x) の増加とともに曲線的に増加し, 両者の関係は二次回帰式に極めてよく適合した (Br: $y = 3.840625x^2 - 1.95914x + 1.310463$, $r^2 = 0.999$ (p < 0.05), Fr: $y = 3.233446x^2 - 2.28136x + 1.611524$, $r^2 = 0.979$ (p < 0.05))。両泳法の回帰式は, 速度が毎秒 0.49 m の時に交差した。この点における酸素摂取量は 1.27 l/分で, Br および Fr による $\dot{V}O_2\max$ のそれぞれ 30.4% および 29.7% に相当した。

考 察

本研究においては, 各泳速度時のエネルギー消費量を定常状態時の酸素摂取量を指標として評価した。しかし, 水泳も含めて運動のエネルギー消費量は, 酸素摂取量と酸素負債量の和として求められる酸素需要量に等しい。したがって, 運動のエネルギー消費量を評価するためには, 本来は酸素摂取量のほかに運動後の酸素負債量を測定することが必要である。しかしながら, 運動のエネルギー消費量は強度が最大下であれば,

再現性の高い定常状態時の酸素摂取量と運動時間の積として求めることが可能である (Fox and Mathews, 1981).

そこで、本研究では最大下泳時の酸素摂取量を測定することによって、Br と Fr 時の泳速度—エネルギー消費量関係を評価しようとした。

本研究の被験者が Br および Fr による最も速い最大下泳 (Br : 0.9m/秒, Fr : 1.1m/秒) において示した心拍数および酸素摂取量は、それぞれ139および151拍/分ならびに2.65および3.05 l/分であった。これらの酸素摂取水準は、被験者のそれぞれの泳法による $\dot{V}O_{2max}$ のそれぞれ63%および71%に相当する強度であり、このときの心拍数水準から考えて、運動はいずれの速度条件においても有酸素的に行われたと考えられる。したがって、本研究の定常状態時 (運動開始後4~5分) に得られた酸素摂取量は、いずれもその速度におけるエネルギー消費量をよく反映しているものと解釈してよいであろう。

また、泳ぎの経済性は熟練度や鍛度によって影響され、技能程度あるいは鍛錬度が低い場合には経済性に劣ることが指摘されている (Holmér, 1972; Holmér, 1974; 黒川ら, 1985)。したがって、両泳法の経済性を検討する場合には、被験者の各泳法に対する熟練度や鍛度に差のないことが必要である。本研究に参加した被験者の得意種目は、表1に示したように様々であった。しかし、被験者の競技経験は平均7年と長く、また Fr と Br で得られた $\dot{V}O_{2max}$ の平均値 (それぞれ4.27および4.18 l/分) は、外国一流水泳選手の 5.05 ± 0.53 l/分 (Holmér, et al., 1974) よりは小さかったが、回流水槽を用いて我が国の一流水泳選手および大学水泳選手 (黒川ら, 1985) あるいは男子オリンピック候補選手 (野村ら, 1980) について報告されている平均値 (それぞれ、4.04 l/分, 3.63 l/分および4.15 l/分) や、外国男子大学水泳選手について報告されている 3.36 ± 0.50 l/分 (McArdle, et al., 1974) および 4.14 ± 0.40 l/分 (Magel and Faulkner, 1967) よりも大きかった。したがって、本研究の被験者の持久性能力は一流選手の水準までに達しており、よく鍛錬された水泳選手であると考えられる。また、水泳運動による $\dot{V}O_{2max}$ は泳法に対する熟練度によって影響を受け、不得意な泳法を用いた場合には大きな測定値は得られないと推察される (Holmér, 1972)。しかし、

本研究の被験者の Fr および Br による $\dot{V}O_{2max}$ の平均値はほぼ等しく、統計的な有意差は認められなかった。したがって、各泳速度における酸素摂取量はそれぞれの泳ぎの経済性を示す指標として、妥当に評価しうるものと思われる。

本研究の被験者の Br および Fr 時の酸素摂取量は毎秒0.3mから泳速度の増加とともに曲線的に増加し、両者の関係はいずれの泳法の場合も2次回帰式によく適合した。これらの知見は、先行研究の知見 (Holmér, et al., 1974; Pendergast, et al., 1978) と一致していた。

一方、Fr および Br の各泳速度における酸素摂取量は、0.7m/秒以上の速度では Br が、0.5m/秒以下の速度では Fr の方が高い酸素摂取量を示し、特に0.3m/秒および0.9m/秒における両泳法間の差は統計的にも有意であった ($p < 0.05$, $p < 0.01$)。2つの泳法による泳速度—酸素摂取量関係式が交差する点、すなわち両泳法の経済性が等しくなる速度は毎秒0.49mであった。この速度を境として両泳法の経済性は逆転し、これを越える速度では Fr が、これより遅い速度では Br が経済的な泳ぎになることになる。なお、回帰式から予測される両泳法の経済性が等しくなる泳速度時の酸素摂取水準は、1.27 l/分であった。これらの酸素摂取水準を Br および Fr による $\dot{V}O_{2max}$ に対する相対的割合として表すと、それぞれ30.4%および29.7%であった。したがって、両泳法の経済性の逆転は、生理学的にもきわめて低い強度水準において起こるといえよう。このような結果は、0.6m/秒以下の遅い泳速度で Fr と Br の経済性の逆転が起こるとした山岡 (1958) の推測に支持を与えるものである。しかし、本研究において統計的に求められた両泳法の経済性が一致する速度 (0.49m/秒) は、山岡 (1958) の推測値に比べて約18%低かった。このような違いには、実験に用いられた被験者の水泳技能が影響しているように思われる。なぜならば、先の推測値を導き出した実験 (山岡, 1958) では全て Br を得意とする被験者を用いており、本研究では Fr および Br とも技能水準に大きな差がないと思われる被験者を用いているからである。

ところで、2つの泳ぎの間にこのような経済性の逆転が起こる背景としてはつぎのような泳法上の違いが影響していると考えられる。

まず, Fr は身体を水面と常に水平になるように泳ぐ泳法であるため, 下肢部を水面方向に持ち上げる力を得ることが必要であることである。下肢が流体力学的に水面方向に受動的に押し上げられる力は, 泳速度が高いほど大きくなる (Di Prampero, et al., 1974)。したがって, 下肢を浮かすための動作に費やされるエネルギーは泳速度が高いほど少なく, 逆に遅いほど大きくなると考えられる。

一方, Br では, 泳速度が遅い場合はグライド時間を用いて十分に浮き身を取った泳ぎが可能である。しかし, リカバリ時に膝関節の屈曲動作を必要とすることから流線形の犠牲が必然的に生ずる。このため, Br では泳速度が増すにつれて Fr よりも大きな抵抗を受ける (Counsilman, 1977; Maglischo, 1984)。逆に言えば, 泳速度が遅くなるほどその持つ意味は小さくなると考えてよい。

これらのような泳ぎの違いが, 泳速度が遅くなるほど Br と Fr の経済性の差を小さくさせ, 遅い速度において Br が Fr よりも有意に経済的な泳ぎとなることに寄与しているものと思われる。本研究の場合, 被験者の両泳法による $\dot{V}O_2\text{max}$ には差がなく, 泳法に対する熟練度の差が各速度における酸素摂取量に影響していた可能性は少ない。それゆえ, ある泳速度を境として Br が Fr よりも経済的になるという結果は, それぞれの泳法の持つ本質的な特性の違いを反映しているものと考えられる。

したがって, 先行研究が指摘する Fr の Br より高い経済性はいずれの泳速度についても存在するものではなく, より遅い泳速度までは拡張できない泳ぎの一面を表していたにしか過ぎないのではないかと考えられる。すなわち, 0.3m/分の遅い泳速度までの泳速度-酸素摂取量関係から両泳法の経済性を検討すると, Br と Fr の経済性は生理学的強度にして約30% $\dot{V}O_2\text{max}$, 速度にして約0.49m/秒以下の遅い泳速度では逆転し, 前者の泳ぎの経済性の方が高くなると結論される。

摘 要

本研究の目的は, 0.3m/秒までの遅い速度を含めた最大下泳速度における Br および Fr の酸素摂取量を測定し, 2つの泳ぎの経済性を比較検討することであった。6名の男子大学水泳選手がスイムミルを用い

て, Br: 4速度 (0.3, 0.5, 0.7および0.9m/秒) および Fr: 5速度 (0.3, 0.5, 0.7, 0.9および1.1m/秒) の最大下泳テストならびに両泳法による $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定のための速度漸増最大泳テストを行った。被験者の Br および Fr による $\dot{V}O_2\text{max}$ に有意な差は見られなかった (それぞれ, 4.18および4.27 l/分)。一定泳速度における酸素摂取量は, 両泳法の場合とも, 0.3m/秒から泳速度の増加とともに曲線的に増加し, 両者の関係は二次回帰式によく適合した (Br: $y=3.840625^2x-1.95914x+1.310463$, $r^2=0.999$ ($p<0.05$), Fr: $y=3.233446^2x-2.28136x+1.611524$, $r^2=0.979$ ($p<0.05$)). 両泳法における酸素摂取量は泳速度0.3m/秒では Fr の方 (Br: 1.06 l/分, Fr: 1.17 l/分, $p<0.05$) が, 0.9m/秒では Br の方 (Br: 2.65 l/分, Fr: 2.04 l/分, $p<0.01$) が有意に高かった。両泳法の回帰式は泳速度が0.49m/秒において交差し, このときの酸素摂取水準は, 各泳法による $\dot{V}O_2\text{max}$ のそれぞれ30.4%および29.7%に相当した。これらの結果から, 泳速度の低下とともに Br と Fr の経済性の差は小さくなり, 生理学的強度にして約30% $\dot{V}O_2\text{max}$, 速度にして毎秒0.49mの遅い泳速度においては Br の方が Fr よりも経済的な泳法となることが結論された。

謝 辞

稿を終えるにあたり, スイムミルの使用をはじめ, 多くの研究上の便宜ならびに御助力を頂きましたセントラルスポーツ研究所, 鈴木陽二所長および国井実副所長に心より感謝致します。

文 献

- 阿久津邦男, 1964: 水泳のエネルギー代謝に関する研究 (その1) 水泳のスピードと酸素需要量の関係. 体力科学, 13: 173-179
- Counsilman, J. E., 1977: Competitive swimming manual for coaches and swimmers., Bloomington, Indiana, pp. 156-262
- Di Prampero, P. E., D. R. Pendergast, D. W. Wilson and D. W. Rennie, 1974: Energetics of swimming in man. J. Appl. Physiol., 37: 1-5
- Fox, E. L. and D. K. Mathews, 1981: The physiological basis of physical education and athletics., 3rd ed., W. B. Saunders, Philadelphia, pp. 64-66

- Holmér, I., 1972: Oxygen uptake during swimming in man. *J. Appl. Physiol.*, 33: 502-509
- Holmér, I., 1974: Energy cost of arm stroke, leg kick, and the whole stroke in competitive swimming styles. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 33: 105-118
- Holmér, I., A. Lundin and B. O. Eriksson., 1974: Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J. Appl. Physiol.*, 36: 711-714
- Holmér, I., 1974: Physiology of swimming man. *Acta Physiol. Scand.*, 407 (suppl.): 1-53
- Kalpovich, P. V. and N. Millman, 1964: Energy expenditure in swimming. *Am. J. Appl. Physiol.*, 4: 140-144
- 黒川隆志, 富樫泰一, 野村武男, 池上晴夫, 1985: 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
- Magel, J. R. and J. A. Faulkner, 1967: Maximum oxygen uptakes of college swimmers. *J. Appl. Physiol.*, 22: 929-938
- Maglischo, E. W., 1984: A Comprehensive guide to the science of swimming., *Swimming faster*, 1st ed., Mayfield, California, pp. 59-101
- McArdle, W. D., R. M. Glaser and J. R. Magel, 1974: Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J. Appl. Physiol.*, 30: 733-738
- 野村武男, 黒川隆志, 池上晴夫, 1980: モスクワオリンピック候補選手の最大酸素摂取量一回流水槽を用いた水泳時における $\dot{V}O_2\text{max}$ —. *日本体育協会スポーツ科学研究報告集*, pp.32-35
- Pendergast, D. R., P. Di Prampero, A. B. Craig and D. W. Rennie, 1978: Energetics of locomotion in man. In F. Landry & W. A. R. Orban, Eds., *Exercise Physiology*, Miami, Symposia Specialists, pp. 61-70
- Scholander, P. F., 1947: Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. *J. Biol. Chem.*, 167: 235-250
- 山岡誠一, 1958: 遊泳スピードと酸素需要量の関係 — スポーツのエネルギー代謝に関する研究 第9報 —. *体育学研究*, 3: 42-17
- Zuntz, Mueller, Loewy and Caspari, 1906: *Hühnenlima u. Berwanderungen* [阿久津邦男, 1964: 水泳のエネルギー代謝に関する研究 (その1) 水泳のスピードと酸素需要量の関係. *体力科学*, 13: 173-179 より引用]

(Received July 10, 1992)

杉 山 康 司
Koji SUGIYAMA

〒422 静岡市大谷836 静岡大学教養部保健体育教室
Department Physical Education, Faculty of Liberal Arts, Shizuoka University,
Ohya 836, Shizuoka 422, Japan