

回流水槽を用いた平泳ぎ中の心拍数-酸素摂取量関係

堀田, 昇
Institute of Health Science Kyushu University

大柿, 哲朗
Institute of Health Science Kyushu University

藤島, 和孝
Institute of Health Science Kyushu University

金谷, 庄藏
Institute of Health Science Kyushu University

他

<https://doi.org/10.15017/615>

出版情報 : 健康科学. 16, pp.105-108, 1994-03-15. 九州大学健康科学センター
バージョン :
権利関係 :



回流水槽を用いた平泳ぎ中の 心拍数—酸素摂取量関係

堀 田 昇 大 柿 哲 朗 藤 島 和 孝
金 谷 庄 藏 清 水 富 弘* 正 野 知 基**

Relationship Between Heart Rate and Oxygen Intake during Breast Stroke in Swimming Flume

Noboru HOTTA, Tetsuro OGAKI, Kazutaka FUJISHIMA,
Shozo, KANAYA, Tomihiro SHIMIZU*, Tomoki SHONO**

Summary

The purpose of the present study was designed to examine the relationship between heart rate and oxygen intake during breast stroke swimming in swimming flume. Six male college swimmers were participated in this study.

$\dot{V}_{E_{max}}$ during swimming was 128.3 ± 20.6 l/min. Maximal heart rate and maximal oxygen intake were 191 ± 8 beats/min and 53.9 ± 2.4 ml/kg · min, respectively.

Relationship between heart rate and oxygen intake was linear. So, it would be suggested that intensity of breast stroke could be estimated by using the regression equation ($HR \cdot \dot{V}_{O_2}$) measured in swimming flume previously.

Key words : Heart rate- \dot{V}_{O_2} , Swimming,

(Journal of Health Science, Kyushu University 16 : 105-108, 1994)

心拍数と酸素摂取量との間に直線関係が成り立つことから³⁾, あらかじめ実験室で両者の関係を求めておき, 運動中の心拍数を測定することによって種々の種目の運動強度が推定されてきた¹⁾²⁾⁷⁾¹⁴⁾。

これらの方法は, トレッドミルまたは自転車エルゴメータを用いて心拍数—酸素摂取量関係を得たものであり, 強度推定の対象となった運動はいずれも陸上運動に限られている。水中運動に関しては主としてクロール泳に関するわずかな報告しかみられない⁵⁾¹²⁾。

また, 水泳運動の効率はクロール泳がもっとも効率

的であり, 次いで背泳, もっとも効率の悪い種目が平泳ぎである⁵⁾。これは平泳ぎでは流速の増加に対して, 他の種目にくらべ抵抗が急増するためである。そのためクロール泳のように心拍数と酸素摂取量とに直線関係が成り立つのかどうかほとんど知られていない。事実, Holmer⁵⁾は同一論文の中でわずか2名の被験者を用いて両者の関係を調べたところ, 1名は両者に直線関係が得られたが, 他の1名は非直線関係であり, 必ずしも両者の関係が明確ではない。これは被験者の人数が少ないだけでなく, 彼等の被験者が非鍛錬者であ

* Faculty of Education, Oita University, Oita 870-11, Japan.

** Beppu Women's Junior College, Beppu 874-01, Japan.

り技術が未熟であったことが結果の解釈を困難にしている。

そこで、本研究では競泳選手を対象として回流水槽を用いて、水流漸増法の平泳ぎ運動での最大酸素摂取量を測定するとともに平泳ぎ運動中の心拍数-酸素摂取量関係が直線関係にあるかどうかを調べるために行なった。

研究方法

1) 被験者

被験者は大学水泳部に所属する男子学生6名であった。彼等の身長、体重および上腕背部および肩甲骨下角部の2か所の皮下脂肪厚から長嶺の式⁹⁾より求めた体脂肪率を表1に示した。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

| subj. | Age yr | Stature cm | Weight kg | % Fat % |
|-----------|-----------|---------------|--------------|------------|
| KT | 18 | 169.2 | 68.82 | 15.8 |
| FN | 18 | 166.9 | 59.43 | 12.7 |
| MI | 19 | 170.3 | 71.98 | 18.4 |
| SN | 20 | 167.8 | 65.71 | 11.8 |
| SK | 20 | 166.1 | 65.95 | 14.6 |
| SF | 21 | 171.5 | 68.62 | 14.6 |
| \bar{X} | 19 | 168.3 | 66.75 | 14.7 |
| SD | 1 | 1.9 | 3.88 | 2.1 |

2) 回流水槽を用いた運動

回流漸増による exhaustion テストは、水温 $30.1 \pm 0.1^\circ\text{C}$ の回流水槽(ジャパンアクアティック社製: スイムマスター)で行なった。初めの流速を毎秒0.2m, 第2段階の流速を0.4m とし、それぞれ2分間泳いだ後に1分毎に毎秒0.1m づつ流速を漸増していき疲労困憊に至らしめた¹³⁾。

運動中、既知の濃度の標準ガスで校正した自動呼吸ガス測定システム(ミナト医科学社製: AE-10)を用いて連続して、30秒ごとに酸素摂取量を求めた。また、同時にCM5誘導により得られた心電図のアナログ信号を呼吸ガス分析器に入力して心拍数を打ち出させた。同時に心電図をホルター式心電図記録装置(フクダ電子社製)に記録し、その記録を再生して心拍数の確認を行なった。

同一流速に対する心拍数と酸素摂取量から一次回帰により各被験者ごとに心拍数-酸素摂取量関係を求めた。測定時の室内の温度および湿度は、それぞれ $29.7 \pm 1.2^\circ\text{C}$ および $88.3 \pm 3.0\%$ であった。

研究結果

本研究での exhaustion プロトコールでの運動時間は、10分51秒 3 ± 49 秒9(範囲10分17秒~12分25秒)であった。平泳ぎでの呼吸循環系の最大ハラメータを表2に示した。最大換気量は 128.3 ± 20.61 /分(範囲: $100.6 \sim 158.71$ /分)でいずれの被験者においても毎分100lを越える値を示した。さらに、最高心拍数は 191 ± 8 拍/分(範囲: $181 \sim 203$ 拍/分)も年齢から推定してほぼ最大であった。最大酸素摂取量は毎分 3628 ± 228 ml(範囲: $3313 \sim 3938$ ml/分)、体重当たり 53.9 ml/分($49.4 \sim 57.5$ ml/分)であった。

Table 2. Cardiovascular parameters at exhaustion exercise.

| Subj. | $\dot{V}_{I\max}$ l/min | RR n/min | HR _{max} bpm | $\dot{V}_{O_2\max}$ ml/min | $\dot{V}_{O_2\max}$ ml/kg·min | R _{max} |
|-----------|----------------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------|
| KT | 140.1 | 54 | 190 | 3425 | 49.4 | 1.32 |
| FN | 110.5 | 66 | 182 | 3313 | 55.1 | 1.30 |
| MI | 143.8 | 60 | 203 | 3938 | 54.2 | 1.36 |
| SN | 100.6 | 68 | 195 | 3493 | 53.0 | 1.36 |
| SK | 116.0 | 51 | 195 | 3810 | 57.5 | 1.21 |
| SF | 158.7 | 66 | 181 | 3787 | 54.1 | 1.32 |
| \bar{X} | 128.3 | 61 | 191 | 3628 | 53.9 | 1.31 |
| SD | 20.6 | 6 | 8 | 228 | 2.4 | 0.05 |

また、回流水槽での各スピード時の心拍数と酸素摂取量との関係を表3に示した。いずれの被験者においても両者の相関係数は0.94以上、決定係数でも0.96以上の非常に高い相関関係がみられ、平泳ぎ泳法でもクロール泳法と同様に心拍数と酸素摂取量は、一時回帰式で表わすことができた。

Table 3. Relationship between heart rate and oxygen intake during breast stroke swimming.

| Subj. | regression equation | r | r ² |
|---------|-------------------------|--------|----------------|
| KT | $y = 0.5073x - 47.7820$ | 0.9909 | 0.9820 |
| FN | $y = 0.6059x - 56.6950$ | 0.9727 | 0.9863 |
| MI | $y = 0.3748x - 25.4779$ | 0.9856 | 0.9715 |
| SN | $y = 0.5676x - 57.0405$ | 0.9874 | 0.9750 |
| SK | $y = 0.5254x - 50.3492$ | 0.9405 | 0.9698 |
| SF | $y = 0.5684x - 48.6977$ | 0.9940 | 0.9881 |
| Overall | $y = 0.5108x - 45.4990$ | 0.9970 | 0.9941 |

x : heart rate (beats/min)

y : oxygen intake (ml/kg·min)

考 察

本実験で用いた被験者は大学で競技を行っている現役選手であり、体脂肪率も平均15%未満であった。わ

が国のオリンピック代表の競泳選手の体脂肪率(12.3±2.41%)¹⁰⁾よりわずかに高い値であったが、平均値13.2±3.4%は一流選手の標準偏差内にあった。

本研究の回流水槽での平泳ぎによる exhaustion プロトコルでの運動時間は、10分51秒3±49秒9であり、この運動時間はこれまで陸上での最大酸素摂取量を求めるプロトコルでの運動時間とほぼ等しい運動時間であった¹⁴⁾。Exhaustion 時のスピードは平均1.3m/秒(範囲:1.2~1.4m/秒)に相当した。

Holmer⁵⁾は高校一流水泳選手に本研究と初期スピードが等しいスピードから平泳ぎでの流速漸増法により疲労困憊に至らしめたところ、最終流速は1.1~1.2m/秒であり、本研究の最終流速とほぼ等しかった。

負荷漸増時の最大換気量は128.3±20.6l/分であった。この値は、先の Holmer⁵⁾の平泳ぎでの最大換気量83.3l/分(範囲71.6~100.2l/分)を、さらに一流選手を用いた Holmer⁶⁾の111.0l/分という値を大きく上回る値であった。また、最高心拍数も同様の回流水槽での平泳ぎで得られた Galbo⁴⁾の値(169拍/分)を上回り、陸上運動で得られた最高心拍数に匹敵する⁸⁾¹⁵⁾値であった。

これらの最大換気量、最高心拍数および最大呼吸交換比から判断して、本実験のプロトコルでの運動は疲労困憊に至った最大運動であったと思われる¹⁴⁾。その結果、得られた最大酸素摂取量は3628±228ml/分、体重1kg 当たり53.9±2.4ml/分であった。本研究で得られた最大酸素摂取量は、同じ平泳ぎで得られた Galbo⁴⁾の選手の絶対値の値3.74l/分に比べるとやや低いが、体重1kg 当たりの最大酸素摂取量は彼等の値(51.2ml/分)より大きい値であった。しかし、Holmer⁵⁾の一流選手の値と比べると絶対値で約0.6l/分、体重当たりで約2ml/分低い値であった。

一般に陸上のランニングで得られた最大酸素摂取量に対して、水泳での最大酸素摂取量は約15%低値であるといわれている⁶⁾。日本体育協会の競技力向上委員会¹⁰⁾が発表しているトレッドミルを用いた一流競泳選手の最大酸素摂取量は、体重1kg 当たり65.9±6.43ml/分であった。本研究の方法で得られた53.9ml/kg・分という値は仮にトレッドミルの値に換算すると先のトレッドミルを用いた値とほぼ等しい。したがって、本研究で用いた被験者はその生理学的特性からみると一流選手とほぼ同等の資質を持ち、さらに得られた生理学的指標から本実験の exhaustion プロトコルは一流選手の最大能力を引き出すうえで有用な方法であったと思われる。

0.2m/秒の速度から流速を漸増させた時の各個人および全員の心拍数-酸素摂取量関係を図1に示した。

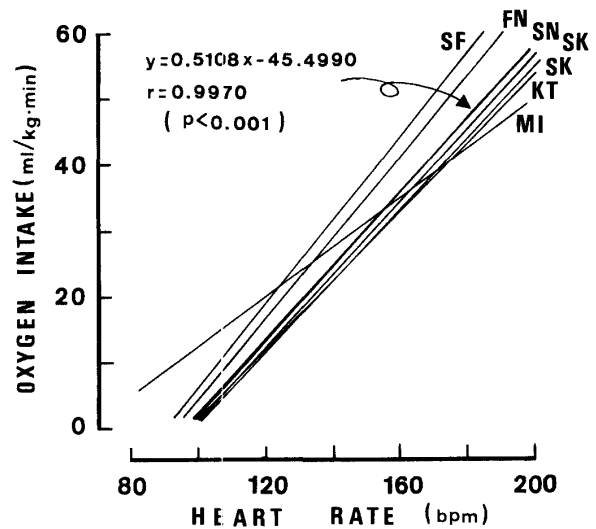


Fig. 1. Relationship between heart rate and oxygen intake during swimming.

いずれの被験者においても両者の間には有意な正の相関が得られ、さらに全体でも

$$y = 0.5108x - 45.4990 (r = 0.997, p < 0.001)$$

ただし、x:心拍数(拍/分) y:酸素摂取量(ml/kg・分)

という関係が得られた。すなわち、流速が0.2m/秒という低速から大きく水の抵抗を受ける1.3m/秒の範囲まで両者の関係は直線関係にあった。これまで牽引クロール泳においては、心拍数と酸素摂取量との間には直線関係($y = 0.27x - 6.450, r = 0.86$, ただし x:心拍数 y:酸素摂取量)¹²⁾が成立することが報告されている。この直線と本研究で得られた直線式とを比較すると平泳ぎでの両者の関係式は、クロール泳に比べて切片と傾きが大きい。このことは同一心拍数の運動に対してより多くの酸素を必要とする。これは流速の増加に対して水の抵抗に打ち勝つためのエネルギーが必要であるという平泳ぎ競技の特性であると思われる。

また、平泳ぎでの心拍数-酸素摂取量関係式の切片が大きいことから運動強度の低い100拍/分までのところの強度の推測値は実測値とは異なり過小評価してしまう。そのため本研究での平泳ぎ運動の心拍数-酸素摂取量関係式は中等度以上(少なくとも100拍/分)の強度のところであれば推定が可能である。

本研究でのプロトコルにより得られた平泳ぎ運動中の心拍数-酸素摂取量関係はこれまで陸上種目で得られている両者の関係式と同様に直線関係が認められた。したがって、あらかじめ両者の関係式を実験室的

に求めておけば、平泳ぎ中の心拍数を測定することによってエネルギー消費量が推定できることを示した。

引用文献

- 1) 青木純一郎：心拍数-運動強度の指標としての意義と限界。新体育, 46(8)：42-47, 1976.
- 2) 青木純一, 堀田昇, 国井実, 鈴木陽二, 石河利寛：幼児水泳教室の運動強度。体育科学, 17：85-89, 1989.
- 3) Åstrand, P. O., I. Rhyming : A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J. Appl. Physiol.* 7 : 218-221, 1954.
- 4) Galbo, H., M. E. Houston, N. J. Christensen, J. J. Holst, B. Nielsen, E. Nygaard, and J. Suzuki : The effect of water temperature on the hormonal responses to prolonged swimming. *Acta. physiol. scand.* 105 : 326-337, 1979.
- 5) Holmer, I. : Oxygen uptake during swimming in man. *J. Appl. Physiol.* 33 : 502-509, 1972.
- 6) Holmer, I., E. M. Stein, B. Saltin, B. Ekblom, and P. O. Åstrand : Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running. *J. Appl. Physiol.* 37 : 49-54, 1974.
- 7) 堀田昇, 藤田茂幸, 柳沢昭夫, 青木俊輔, 青木純一郎：唐沢岳幕岩登はんの心拍数およびエネルギー出納。登山研修, 3 : 86-95, 1988.
- 8) 堀田昇, 堀田朋基, 石河利寛：炭水化物ローディングが健康な日本青年男子の筋グリコーゲン量および自転車エルゴメータによる持久的能力に及ぼす影響。体力科学, 33 : 184-191, 1984.
- 9) 長嶺晋吉：肥満の判定法。クリニカ, 2 : 550-555, 1975.
- 10) 日本体育協会：オリンピック強化指定選手制度(昭和62~63年度)報告書。76-77, 1989.
- 11) 大柿哲朗：Vo2maxの判定基準(criteria)。体育の科学, 27 : 360-364, 1977.
- 12) 大迫正文, 青木純一郎：水中負荷牽引(tethered swimming)法による心拍数-酸素摂取量関係。東京体育学研究, 8 : 141-148, 1981.
- 13) 正野知基, 堀田昇, 大柿哲朗, 清水富弘, 藤島和孝, 金谷庄藏：水泳選手の水泳時および走行時の呼吸循環系の応答。Ann. Physiol. Anthropol., 12 : 145-150, 1993.
- 14) 高橋信彦, 堀田昇, 青木純一郎：トライアングルコートによるミニ・バスケットボールの運動強度。日本体育学会第40回大会号, 259, 1989.
- 15) 山本久徳, 堀田昇, 青木純一郎：食事提供方式による肥満成人の減量に及ぼす運動の効果。体育学研究33 : 193-199, 1988.