漕運動の機械的パワーと競技記録

松 尾 彰 文 (東京大学教養学部)

福 永 哲 夫 (東京大学教養学部)

山 本 恵 三 (東京都立医療技術短期大学)

(昭和62年3月2日 受付)

Effects of mechanical power on successful performance in rowing

Akifumi Matsuo¹

Tetsuo Fukunaga¹

Keizo Yamamoto²

Abstract

The purpose of this study was to calculate the ratios between energy consumption and the following two variables; mechanical power exerted to the oar and to the boat shell. A third ratio between mechanical power exerted to the oar and the mechanical power exerted to the boat shell was also calculated. The subjects of the study were 64 male oarsmen; 8 crews of eight, (mean performance 6'20" ranged from 6'04" to 6'35") including a Japanese champion crew in 1985. The energy consumption (EC) and mechanical power exerted to oar by oarsman (P_o) were measured using a rowing tank in which water was circulated at $3.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ by motor driven pump. The subject were requested to row for 6 minutes with maximum effort in the rowing tank. EC was estimated by averaging the $\dot{V}O_2$ during 4 minutes to 6 minutes period from the beginning of the rowing exercise. P_o was calculated from the force applied to the oarlock pin and its angular displacement in all strokes during 6 minutes of maximum effort rowing. The progressive power of the shell (P_s) was estimated from the mean velocity of the boat over 2,000 meters and the total boat mass including all oarsmen, coxswain, and rowing apparatus using a equation introduced by Secher and Vaage (1980). $\overline{EC}$, $\overline{P_o}$, and $\overline{P_s}$ of a crew were obtained by averaging the values of 8 oarsmen in EC, P_o , P_s , respectively. Performance time was related significantly to the following ratios, $\overline{P_s}/\overline{P_o}$, $\overline{P_s}/\overline{EC}$, and $\overline{P_o}/\overline{EC}$. From these results, it was suggested that the better skilled crews are consisted of those individuals with similar rowing patterns, and are able to better transfer the force exerted to the oar by the oarsmen to the shell. A crew with a higher mechanical efficiency will obtain a more successful performance, and those ratios reflect as the important factors on successful rowing performance.

(Akifumi Matsuo, Tetsuo Fukunaga and Keizo Yamamoto, "Effects of mechanical power on successful performance in rowing", *Jap. J. Phys. Educ.*, 32—3: 195—205, December, 1987)

1 Department of Sports Sciences, College of Arts and Sciences, University of Tokyo, 3-8-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo

2 Tokyo Metropolitan College of Allied Medical Sciences, 7-2-10, Higashioku, Arakawa-ku, Tokyo

結 言

ボート競技は2,000mのコースでスピードを競う競技である。漕手が消費したエネルギーの一部は筋収縮のエネルギーに変換されオールに伝達される。さらに、オールに伝達された機械的エネルギーはその大部分が艇を加速するため利用されるが、一部はオールの摩擦あるいは水とオールのあいだの滑りなどで摂取される^{3),11),12)} (Fig. 1)。また、両舷にオールを取り付けた艇を用いたボート競技では、オールに作用するそれぞれの力の差やずれにより艇に無駄な動きを生じさせることがある¹²⁾。これらのエネルギーの損失量の大小は漕技術によって影響されるであろう。エネルギーの損失量の少ない漕ぎ方が優れた漕技術であるとする、消費したエネルギーおよび艇と漕手の発揮した機械的エネルギーを比較することで漕運動の技術水準を評価できると考えられる。

本研究の目的は漕手の消費エネルギーおよびオールと艇の機械的エネルギーを測定し、それぞれのエネルギーの比率を求め競技記録との関係について明らかにすることである。

方 法

1. 被験者

本研究の被験者は1985年の大学選手権および全日本選手権に出場したエイトの8クルー（64名）であった。この中には1984年のロスアンゼルスオリンピック出場選手ならびに1985年全日本選手権獲得クルーが含まれている。被験者の身体特性と競技記録をみたものがTable 1である。

2. 消費エネルギーおよびオールの機械的パワーの測定

漕手の消費エネルギーおよびオールの機械的パワーはローイングタンクを用いて、水の流速 $3.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ にて測定された。実験に先立ち被験者はローイングタンクでの漕運動に慣れるための練習を十分に行なった。その後、実際の競技会のつもりで最大努力で6分間の漕運動を実施した。

a. 摂取エネルギーの測定

6分間の全力漕運動の開始から終了まで1分ご

Fig. 1 Energy flow in rowing competition.

Table 1. Characteristics of subjects. Values of body height and weight are means and S.D. in each crew.

	Body Height (cm)	Body Weight (kg)	Best record (sec)
1	178.6±3.8	75.97±4.20	363.7
2	177.8±4.7	76.23±3.46	369.4
3	180.4±4.9	75.85±6.54	369.6
4	170.1±3.7	70.03±5.35	377.9
5	179.9±5.8	74.76±2.76	383.9
6	175.3±5.5	71.86±6.18	389.4
7	170.9±4.4	68.10±4.22	390.9
8	177.5±6.9	72.64±5.49	395.2
Mean	176.3	73.18	380.0
S.D.	3.9	3.03	11.6

とに呼気ガスをダグラスバッグ法で採気した。酸素摂取量は呼気量と呼気中の酸素および二酸化炭素の濃度から算出された。呼気量の測定には乾式のガスメーターを用い、酸素および二酸化炭素の濃度の測定には瞬時ガス分析器（日本電気三栄1 H21B）を用いた。本研究においては6分間の全力漕運動時の4分から6分までの1分ごとの酸素摂取量の平均値から各選手の漕運動中のエネルギー消費量（EC）を算出した。各クルーのそれぞれの選手のECを平均しそのクルーのエネルギー消費量（ $\overline{EC}$ ）として表した。

b. オールの機械的パワーの測定

ローイングタンクでの力学量の測定には特別に製作された測定装置⁶⁾¹⁵⁾が用いられた。この装置はポテンシオメーターとストレインゲージ製の圧力トランスデューサーを用い、Fig. 2-A にしめしたようにオールの水平面の角度（ θ ）およびクラッチ（オールを固定する装置）に作用した力の推進方向

Fig. 2 Schematic representations of forces exerted on oar and on oarlock pin (A) and the calculation of the mechanical work of rowing (B).

の成分 (F_c) を測定できるように設計されている。 F_c と θ の信号は測定の開始から終了までデータレコーダー (TEAC XR-710) をもちい磁気テープに記録された。

オールの機械的パワー (P_o) は次式をもちいて算出した。

$$P_o = \frac{a \cdot b}{a + b} \cdot \left(\frac{\sin \theta_1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} F_c dt + \frac{\sin \theta_2}{t_3 - t_2} \cdot \int_{t_2}^{t_3} F_c dt \right) \cdot SF \dots \dots \dots 1)$$

ここで a は漕手がオールに発揮した力の作用点からクラッチまでの距離, b はクラッチからブレード (オールの水をかく部分) の中心点までの距離, t_1 はキャッチの時点 (ブレードが水に入った時), t_2 はオールが水流の方向に対して直角になった時点, t_3 はフィニッシュの時点 (ブレードが水から出た時), θ_1 は t_1 から t_2 までの θ の変位, θ_2 は t_2 から t_3 までの θ の変位, SF はピッチ (1 秒間のストローク数) である。なお, SF は t_1 から次の t_1 までの時間から算出された。 F_c と θ の電気信号は A/D コンバーターで数値化され, P_o はマイクロコンピュータにより算出された。 P_o の計算は 6 分間の全力漕運動中のすべてのストロークについておこない, その平均値を各被検者の代表値とした。各クルーのそれぞれの選手の P_o の平均値をクルーの代表値とし, $\overline{P_o}$ と表した。

3. 艇の機械的パワーの計算

本研究では艇の機械的パワー (P_s) は Secher と Vaage ら¹³⁾の方法に従って艇の平均速度 (V) および艇と漕手がそれぞれに水と空気から受ける抵抗

力 (R) から次の式をもちいて求められた。

$$P_s = R \cdot V \dots \dots \dots 2)$$

$$V = \frac{d}{T}$$

ここで, d は競技の距離 (2,000m), T は競技記録である。なお, 本研究で用いた競技記録は静水, 無風状態のものである。 R は V の 1.95 乗に比例し, 艇および漕手の質量の 0.56 乗に比例する¹³⁾ことから,

$$R = r \cdot V^{1.95} \cdot ((w + wb) \cdot n)^{0.56} \dots \dots \dots 3)$$

と表せる。ここで r は係数 (0.2632; Balukow²¹⁾), w は漕手の平均体重, wb は漕手ひとりあたりの艇の重量, n は漕手の数である。漕手ひとりあたりの P_s を $\overline{P_s}$ として表わした。

$$\overline{P_s} = \frac{P_s}{n} \dots \dots \dots 4)$$

結 果

ローイングタンクでの漕運動中のエネルギー消費量 (EC) は全被験者の平均で 1,300W (1,100—1,560W) であった。一方, オールの機械的パワー (P_o) は全被検者の平均で 350W (240—430W) であった。競技記録から算出した艇の機械的パワー ($\overline{P_s}$) は平均では 180W (160—210W) であった。

Fig. 3 は, 被験者 MYS の 6 分間全力漕運動中の 1 ストロークごとの SF , レンジ (1 ストローク内の θ の振幅), F_c の最大値 ($F_c \max$) および P_o を経時的にみたものである。 SF は運動開始後 2 分 30 秒くらいまではほぼ 0.47 stroke $\cdot$ s⁻¹ であるが, それ以後時間経過にともない増大し, 運動の終了付近では 0.58 stroke $\cdot$ s⁻¹ に達した。 $F_c \max$ は時間経過にともない次第に減少する傾向がみられた。一方, レンジは運動中にわたりほぼ一定の値約 95 度を示す傾向がみられ, P_o もほぼ一定の値約 330W を維持する傾向がみられた。

Fig. 4 は全被験者について EC と P_o との関係をもたものである。両者の間には有意な正の相関々係 ($r = 0.381$, $p < 0.01$) がみられた。

各クルーの $\overline{EC}$, $\overline{P_o}$ および $\overline{P_s}$ との関係について

Fig. 3 Computer display of stroke frequency (SF), range, force exerted to oarlock pin (F_c max) and power exerted to oar (P_o) during 6 minutes maximum tank rowing, as subject MYS.

Fig. 4 Mechanical Power exerted to oarlock pin (P_o) plotted as a function of energy consumption (EC).

Fig. 5 Relationship between $\overline{P_o}$, progressive power of shell ($\overline{P_s}$), and $\overline{EC}$.

みたものが Fig. 5 である。 $\overline{EC}$ と $\overline{P_o}$ および $\overline{P_o}$ と $\overline{P_s}$ との間にはそれぞれ有意な正の相関々係がみられたが、 $\overline{EC}$ と $\overline{P_s}$ との間の相関は有意ではなかった。

Fig. 6 Ratio of $\overline{P_o}/\overline{EC}$, $\overline{P_s}/\overline{EC}$, and $\overline{P_s}/\overline{P_o}$ as a function of performance time (T).

Fig. 6 は、 T と各パワー比率 ($\overline{P_o}/\overline{EC}$, $\overline{P_s}/\overline{EC}$, $\overline{P_s}/\overline{P_o}$) との関係についてみたものである。各指標ともに競技記録との間には、統計的に有意な負の相関々係があった。 T との間の相関係数は $\overline{P_s}/\overline{EC}$ が最も高く ($r = -0.944$, $p < 0.001$)、次いで $\overline{P_s}/\overline{P_o}$ ($r = -0.869$, $p < 0.01$) であり、および $\overline{P_o}/\overline{EC}$ ($r = -0.793$, $p < 0.05$) であった。

考 察

1. オールの機械的パワー

漕運動におけるオールの機械的パワー (P_o) については Di Prampero ら⁵⁾, Schneider E. と M. Hauser¹²⁾, Asami, T ら¹⁾, 山本ら¹⁴⁾の報告がある。Di Prampero らや Schneider と Hauser は実漕中のオールに作用する力とオールの角度から P_o を求めた。Di Prampero らはコックス付のペア (二人乗り) で P_o は最大速度で 400W に達すると報告している。一方, Schneider と Hauser は, コックスなしのペア 12 クルーの P_o は 2,000m の平均で 330W であったと報告している。Asami らと山本らは本研究と同様にローイングタンクでの漕運動でオールに作用する力とオールの角度から P_o を算出し, P_o は 200—370W に分布したことを報告している。本研究で得られた P_o の値 (240—430W) は従来に報告されたこれらの値とほぼ一致した。

2. 艇とオールの機械的パワーの比率

Schneider と Hauser¹²⁾ は 2,000m の漕運動のスタートからゴールまでの全ストロークについてブレードに作用する力とオールの角度を無線搬送法を用い測定し, $\overline{P_o}$ を求めた。また, 艇のスピードから $\overline{P_s}$ を計算した。その結果, 2,000m の平均値でみると $\overline{P_s}$ は 220W であり, この値は $\overline{P_o}$ (330W) のおよそ 70—90% であることを報告した。彼等は $\overline{P_o}$ と $\overline{P_s}$ の差を引起こす要素としてブレードに作用した力の推進方向以外の分力とかクルー内での漕ぎ方の差等により損失されるエネルギー等を考察した。一方, 本研究の $\overline{P_o}$ に対する $\overline{P_s}$ の比率 ($\overline{P_s}/\overline{P_o}$) は 45—60% であり, この値は Schneider と Hauser の比率よりも低い値であった。両報告間にみられた差を引起こした原因としてクルーの人数 (エイトとペア) の差などが考えられる。

McMahon¹⁰⁾ は力学的相似の法則をもちい漕手のパワー出力が等しい場合には艇の速度は漕手の人数の 1/9 乗に比例することを明らかにした。かれの報告をもとにエイトとペアの艇の速度を比較するとエイトはペアの艇の速度の 1.16 倍になる。この値を 2 および 3 式に代入し $\overline{P_s}$ を求めるとエ

イトの値はペアの値の 0.85 倍になる。一方, 本研究で得られたエイトの $\overline{P_s}$ (190W) は Schneider と Hauser が報告したペアの $\overline{P_s}$ (220W) の 0.85 倍に相当した。すなわち, $\overline{P_s}/\overline{P_o}$ における本研究と Schneider たちとの差異は主にエイトとペアの差つまり漕手の人数の差により引起こされたものと考えられる。

本研究では競技記録と $\overline{P_s}/\overline{P_o}$ との間には有意な相関々係が見られた。このことは Schneider と Hauser の報告にみられるように記録の良いクルーはどクルー内での漕ぎ方の差がより少なく, したがってブレードに作用した力が艇の速度により良く生かされている結果の表われであろう。

3. 艇の機械的パワーとエネルギー消費量の比率

Secher と Vaage¹³⁾ はローイングエルゴメーターでの 6 分間の最大努力時の $\overline{EC}$ に対する $\overline{P_s}$ の比率 ($\overline{P_s}/\overline{EC}$) を算出し (14%), その値にクルー間で顕著な差がなかったことを報告している。しかし, 本研究で求めた $\overline{P_s}/\overline{EC}$ は各クルーにより異なり (11—17%), 記録が良いクルーほどこの値は高くなる傾向をしめした。 $\overline{P_s}/\overline{EC}$ とは消費エネルギーに対する艇の機械的エネルギーの比率を表わすものである。この比率が高いことは漕運動におけるエネルギーの伝達効率が良いことを表わすのであろう。本研究結果からこのエネルギーの伝達効率が競技記録を左右する重要な因子であることが示唆される。

4. 漕運動における機械的効率

漕運動における機械的効率 (機械の仕事量/エネルギー消費量) は Henderson と Haggard (20—26%)⁹⁾, Di Prampero ら (10—23%)⁵⁾, Hagerman ら (14%)⁸⁾, Asami ら (16%)¹⁾, Cunningham ら (18%)⁴⁾, Fukunaga ら (18%)⁶⁾ および山本ら (18%)¹⁵⁾ たちの報告がある。機械的効率は運動様式, 機械の仕事量, エネルギー消費量の測定方法および算出方法により異なる⁷⁾。先に述べた報告のなかで Henderson と Haggard および Cunningham らと Hagerman らはローイングエルゴメーターで漕手の機械の仕事量を求めた。Di Prampero ら, Asami ら, Fukunaga らおよび

山本らはローイングタンクで漕手の機械的仕事量を算出した。その結果, Di Prampero らは最大努力で実漕中の漕手の機械的効率 (Gross efficiency; GE) は18—23%, 静水のローイングタンクでの GE は10—20%であることを報告している。Asami らは水の流速が $3.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ のローイングタンクで6分間の最大努力時の GE は16%であったと報告し, また, Fukunaga らと山本らは無酸素的作業強度以下での GE は18%であったことを報告している。ここで本研究で求めた $\overline{P_o}/\overline{EC}$ は機械的効率を表わす指標と考えられるが, EC は全力漕運動時の1分間の値でありその運動に要した全エネルギー量とは異なる。このことが他の報告の GE よりも $\overline{P_o}/\overline{EC}$ が高く算出された原因である。本研究では $\overline{P_o}/\overline{EC}$ と競技記録との間に有意な相関々係 ($r = -0.793$, $p < 0.05$) がみられ, 記録の良いクルーほど $\overline{P_o}/\overline{EC}$ は高い値を示した。このことは, 漕動作の技術水準が高く, 従って動作に無駄の少ないクルーほど記録が良いことを示すものであろう。

要 約

本研究では漕運動中のエネルギー消費量 (EC), オールの機械的パワー (P_o) および艇の機械的パワー (P_s) を測定し, それぞれの比率と競技記録 (T) との関係について検討した。被験者は大学選手権および全日本選手権に出場したエイトの8クルー (64名) であった。EC と P_o はローイングタンクを用いて, 水の流速 $3.2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ にて測定された。被験者はローイングタンクで最大努力で6分間の漕運動を実施した。6分間の全力漕運動時の4分から6分までの1分ごとの酸素摂取量の平均値からエネルギー消費量 EC を算出した。 P_o はオールに作用する力とオールの角度から6分間の全ストロークについて算出された。 P_s は Secher と Vaage¹³⁾ の式を用いて艇の平均速度, 漕手の体重および漕手ひとりあたりの艇の重量から算出された。艇の平均速度は静水, 無風状態での競技記録から算出された。クルーごとの EC, P_o および P_s の平均値がクルーの代表値として用いられ, それぞれ, $\overline{EC}$, $\overline{P_o}$ および $\overline{P_s}$ と表わされた。T と $\overline{P_o}/$

$\overline{EC}$, $\overline{P_s}/\overline{P_o}$ および $\overline{P_s}/\overline{EC}$ との間には有意な相関々係がみられた。これらの結果から, 1) 競技記録が良いクルーほどクルー内での漕ぎ方の差がより少なく, ブレードに作用した力をより良く艇の速度に生かすことができている, 2) 漕運動中の摂取エネルギーから機械の仕事への伝達効率が良いクルーほど競技記録が良いことおよび 3) $\overline{P_o}/\overline{EC}$, $\overline{P_s}/\overline{P_o}$ および $\overline{P_s}/\overline{EC}$ は漕技術の指標だけではなくより良い競技記録を出すための重要な要因のひとつであることが示唆された。

引用・参考文献

- 1) Asami, T., Adachi, N. and Yamamoto, K., "Biomechanical analysis of rowing performance," in: Morechi, A. et al. (Eds.) Biomechanics VII-B, 442—46, University Park Press: Baltimore, 1981.
- 2) Balukow, G.N., "Characteristics of sports rowing boats," Katera i rachti, 3: 187—91, 1964.
- 3) Celentano, F., Cortili, G., Di Prampero, P.E. and Cerretelli, P., "Mechanical aspects of rowing," J. Appl. Physiol., 36(6): 642—47, 1974.
- 4) Cuningham, D.A., Goode, P.B. and Critz, J.B., "Cardiorespiratory response of exercise on a rowing and bicycle ergometer," Med. Sci. Sports, 7: 37—43, 1975.
- 5) Di Prampero, P.E., Cortili, G., Celentano, F. and Cerretelli, P., "Physiological aspects of rowing," J. Appl. Physiol., 31(6): 853—57, 1971.
- 6) Fukunaga, T., Matsuo, A., Yamamoto, K. and Asami, T., "Mechanical efficiency in rowing," Eur. J. Appl. Physiol., 55: 471—75, 1986.
- 7) Gaesser, G.A. and Brooks, G.A., "Muscular efficiency during steady rate exercise: Effects of speed and work rate," J. Appl. Physiol., 38: 1132—39, 1975.
- 8) Hagerman, F.C., Conners, M.C., Gault, J.A., Hagerman, G.R. and Plinski, W.J., "Energy expenditure during simulated rowing," J. Appl. Physiol., 45: 87—93, 1978.
- 9) Henderson, Y. and Haggard, H.W., "The maximum of human power and its fuel," Am. J. Physiol., 72: 264—82, 1925.
- 10) McMahon, T.A., "Rowing: A similarity analysis," Science, 173: 349—51, 1971.
- 11) Sanderson, B. and Marindale, W., "Towards optimizing rowing technique," Med. Sci. Sports Exerc., 18(4): 454—68, 1986.
- 12) Schneider, E. and Hauser, M., "Biomechanical analysis of performances in rowing," in: Morechi, A., et al. (Eds.) Biomechanics VII-B, 430—35, University

- Park Press: Baltimore, 1981.
- 13) Secher, N.H. and Vaage, O., "Rowing performance, a mathematical model based on analysis of body dimensions as exemplified by body weight," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52: 88-93, 1983.
- 14) 山本恵三・松尾彰文・小野 晃・浅見俊雄・福永哲夫,
「ローイング運動におけるエネルギー出力特性からみた
ボート選手の能力評価」星川 保・豊島進太郎(編), 第
7回日本バイオメカニクス学会大会論集, 走, 跳, 投,
打, 泳運動における“よい動き”とは, 名古屋大学出版
会, 1984. pp. 223-27.
- 15) 山本恵三・松尾彰文・小野 晃・浅見俊雄・福永哲夫
「漕運動の機械的仕事と効率」*J. J. Sports Sci.*, 5(11): 818
-22, 1986.
-