

## シングルスカルの艇速に ストロークレートと漕手の発揮する力とパワーが及ぼす影響

Effects of stroke rate, rowing force and power on the velocity of a single scull

下田 学、福永哲夫\*、川上泰雄\*

Manabu Shimoda, Tetsuo Fukunaga\*, Yasuo Kawakami\*

\*早稲田大学スポーツ科学学術院

\*Faculty of Sport Sciences, Waseda University

キーワード: シングルスカル、艇速、オールを牽引する力とパワー、  
オールの牽引時間と牽引速度

Key words: single scull, boat velocity, rowing force and power,  
duration and velocity of pulling the oars

### 抄 録

漕手の力とパワーの発揮及び艇速とストロークレートの関係を明らかにするため、水上での実測を通して、シングルスカルの艇速にストロークレートと漕手の発揮する力とパワーが及ぼす影響を検討した。大学生及び社会人ボート選手(n = 16)が毎分 20、24、26 及び 28 ストロークのストロークレートで 300m 間を漕ぎ、ボート上で漕手がオールを牽引する力及びオールの移動角度を計測した。そして、中間の 100m について、オール牽引中のトルク、オールの移動角度、パワー、牽引時間及びフォワード時間を求めた。ストロークレートの増加に伴い艇速及び漕手のパワーが増大した。毎分 28 ストロークにおいて、艇速は毎分 20 ストロークから  $16.1 \pm 5.3\%$ 、パワーは  $28.9 \pm 17.0\%$  増大した。ストロークレート-平均艇速関係とストロークレート-パワー関係はほぼ同じ様相を示した。しかし、ストロークレートが増加しても漕手がオールを牽引する力及びオールの移動角度に差異が認められなかった。そして、ストロークレートの増加に伴い牽引時間が短縮し、毎分 28 ストロークでは毎分 20 ストロークより  $13.2 \pm 3.5\%$  短くなった。本結果から、シングルスカルにおいて、艇速の増大は、漕手のパワーの増大によってストロークサイクルの最大艇速が高められた結果、生じたものと考えられた。そして、ストロークレートの増加は漕手の発揮する力の変化を生じさせることなく、オールの牽引速度を速め、その結果、漕手の発揮するパワーを増大させると考えられた。そこで、漕手のパワーを増大させるためにオールの牽引速度を増大させることの重要性が指摘される。さらに、ストロークレートの増加は漕手のエネルギー消費を増大させることにも注意を要する。

## 1. はじめに

ボート競技では一定距離の所要時間、すなわち艇速が競われる。艇速は、ストロークの長さ(オール的一端が水中を移動する距離)とストロークレート(単位時間当たりのオールの牽引回数)で決まると考えられている(Martin and Bernfield (1980), Schneider and Hauser (1981))。しかし、水上のボートの計測を行った先行研究は少なく、艇速、ストロークレート、漕手の発揮する力及びパワーの互いの関係については不明な点が多い。

舵手付きペア(舵手及び漕手 2 名)の計測では、ストロークレートを増加させても漕手がオールを牽引する力のピーク値と牽引時間に差異が生じないことが報告されている(Schneider (1980), Schneider et al. (1978))。これらのことは、漕手の力の発揮にストロークレートが及ぼす影響が小さいことを示唆する。ストロークレートと艇速の関係について、シミュレーション(Pope (1973), Senator (1981))や水上のボートの計測(Celentano et al. (1974), Martin and Bernfield (1980))を通して、ストロークレートの増加に伴う艇速の増大が報告されている。漕手はボート上でオールの牽引(オールを牽引しながら艇首から艇尾へ移動)とフォワード(オールの牽引終了後に漕手がオールを空中に保持して艇尾から艇首へ移動)を繰り返す(ストロークサイクル)。このストロークサイクルにおける平均艇速の約 3 乗が漕手のパワーに比例して増加する(Di Prampero et al. (1971), Celentano et al. (1974))。これらのことから、漕手がストロークレートを高めて艇速を上げるなかで、発揮パワーを増やしていくことが必要であると予想される。

しかし、漕手が複数の場合、クルーのユニフォーミティー(力発揮や動作における漕手間の均一性)が艇速に影響を及ぼすことが示されており(川上ら (1987))、厳密にストロークレートと艇速の関係を論じることができない。そこで、本研究では、水上での実測を通して、シングルスカルの艇速にストロークレート

と漕手の発揮する力とパワーが及ぼす影響を検討することを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

本研究では、大学生 14 名及び社会人 2 名、合計 16 名のボート競技選手を被験者とした。被験者の年齢、身長及び体重は  $21.7 \pm 1.9$  歳、 $177.5 \pm 2.3$  cm、 $71.6 \pm 3.1$  kg であった。実験内容について、早稲田大学スポーツ科学部研究倫理委員会において承認を受けた。被験者には研究の目的と実験方法について十分な説明を行い、実験参加に対する同意を得た。

### 2.2 実験方法

本研究では、ボート専用コースで、シングルスカルによる測定を行った。事前に 500m 間を安定して漕げる最大および最小レートを調べた結果、すべての被験者が安定して漕げる最大レートは毎分 28 ストローク、最小レートは毎分 20 ストロークであった。毎分 28 ストロークはシングルスカルのレースの中盤におけるレート、いわゆるコンスタントレートとしてよく認められるレートである。

そこで、測定するレートとして、20、24、26 及び 28 ストロークの 4 段階のストロークレートを設定した。コース上に 100m の測定区間を設定し、各被験者は、測定区間の前後 100m を含む 300m 間をそれぞれのストロークレートで、最大努力の出力を維持して漕ぐように指示された。

測定中の風やコース上の波はわずかであり、被験者の動作やボートのバランスに影響を及ぼすものではなかった。

ボートの底(竜骨部分)に加速度計(AS-TG、共和電業株式会社)を固定し、ボートの進行方向の加速度(ボートの加速度)を計測した。被験者は、ボートを漕ぎ始める前の 1 分間、ボートを静止させた。この時、

加速度  $0\text{ m s}^{-2}$  のデータを得た。被験者は、漕ぎ始めから測定区間の手前 100m までの間で、設定されたストロークレート(20、24、26 及び 28)までレートを上げ、その後、100m の間、各ストロークレートを維持した。この間、験者が並走して 100m のラップタイムを計測し、測定区間のボートの平均艇速を求めた。

漕手がオールを牽引する力は、オールのクラッチ(オールトリガーの接続部)から 10cm ハンドル(漕手が手をかける部分)側の位置に貼付したストレインゲージによって計測した。ストレインゲージは、ブレード(オール的一端に付随した水に入れられる板状の部分)を前後に押した時の歪を検出するものであった。また、オールの移動角度を得るために、クラッチ上に設置されたポテンシオメーターによってクラッチの角度変化を計測した。角度データは、オールがボートの長軸に対して垂直に位置した時に  $0^\circ$ 、この位置よりハンドルがボートの艇尾側に位置した時にマイナス、艇首側に位置した時にプラスを示した。ボート上に設置したパーソナルコンピュータ(Libretto30、株式会社東芝)に、PC カード式 A/D 変換器(DAQ Card-700、ナショナルインストルメンツ株式会社)を通して、加速度計、ストレインゲージ及びポテンシオメーターのデータを 50Hz のサンプリングレートで取り込んだ(川上ら(2001)、下田と川上(2004))。

オールが牽引された時にオールに加えられる力に対するストレインゲージの電圧の較正值を得るため、予め、陸上でオールのクラッチ接続部とブレードを支柱に固定し、オールのハンドル部分に既知のウェイトを吊り下げてデータを取得した。ストレインゲージの電圧とオールに加えられる力との間には直線関係が認められ、この回帰式によって、測定中のストレインゲージの電圧をオールに加えられる力に換算した(下田と川上(2004))。

## 2.3 分析

100m 間に被験者が漕いだすべてのストロークを分析した。ストロークサイクルは、ストロークサイドのオールの角度から決定した。そして、1 ストロークにおけるオールの角度の最小値と最大値から、それぞれ、キャッチ(ブレードの入水)とフィニッシュ(離水)を識別した。ボートの加速度を積分して、1 ストロークの艇速変動(最大艇速・最小艇速)を求めた。キャッチからフィニッシュまでの時間をオールの牽引時間(牽引時間)、フィニッシュから次のストロークのキャッチまでの時間をフォワード時間とした。

両舷(ストロークサイドとバウサイド)のオールについて、漕手がオールを牽引するパワー(パワー)を求めた。パワーは、漕手がオールを牽引する力にハンドル部分からクラッチまでの距離を乗じた値、すなわち、クラッチの軸を回転中心としたトルクとオールの移動角度の角速度の積で算出した。オールの角速度は、時間に対して、オールの角度変化を微分して求めた。

1ストローク毎にストロークサイドとバウサイドのそれぞれのオールについて、平均パワーを求め、両オールの合計値を 1ストロークのパワーとした。また、平均パワーと牽引時間から 1ストロークの平均仕事量を求めると共にその値にストローク回数を乗じて 100m 間の総仕事量を求めた。また、本研究ではストロークレートの増加が艇速及び漕手の力発揮に及ぼす影響を検討するため、毎分 24、26 及び 28 ストロークの 100m 間の総仕事量及び艇速について、毎分 20 ストローク(最小レート)に対する増加率を求めた。

## 2.4 統計処理

結果は、特に記述しない限り、すべて平均値と標準偏差で示した。各分析項目について、それぞれのストロークレートを要因とした場合の比較を一元配置分散分析で検定し、有意であった場合は Fisher's PLSD の多重比較検定を行った。また、毎分 24、26 及び 28 ストロークの 100m 間の総仕事量及び艇

速の増加率について、対応のない t 検定を用いて総仕事量と艇速の間の検定を行った。有意水準は危険率 5%未満とした。

### 3. 結果

100m 間の平均艇速、パワー、牽引時のオール移動角度、トルク及び牽引時間とストロークレートの関係を図 1 に示した。100m 間の平均艇速について(図 1a)、毎分 20 ストロークとすべてのレートの間、及び毎分 24 ストロークと毎分 28 ストロークの間に有意差が認められた。すなわち、ストロークレートの増加に伴い艇速が増加する傾向が認められた。各ストロークレートにおける艇速変動は、2.2、2.1、2.1 及び 2.1m s<sup>-1</sup>(毎分 20、24、26 及び 28 ストローク)で、ストロークレート間に差異は認められなかった。

パワーについて(図 1b)、毎分 20 ストロークとすべてのレートの間、及び毎分 24 ストロークと毎分 28 ストロークの間に有意差があり、ストロークレートの増加に伴いパワーが増加する傾向が認められた。ストロークレート-パワー関係はストロークレート-平均艇速関係とほぼ同じ様相を示した。

牽引時のオール移動角度の平均値(図 1c)とトルク

の平均値(図 1d)について、両者ともストロークレート間に差異は認められず、ストロークレートに関わらず、一定の値であった。

牽引時間(図 1e)について、毎分 20 ストロークとすべてのレートの間、及び毎分 24 ストロークと毎分 28 ストロークの間に有意差があり、ストロークレートの増加に伴い牽引時間が低下する傾向が認められた。

ストロークレートと 1 ストロークの仕事量及び 100m 間の総仕事量の関係を図 2 に示した。1 ストロークの仕事量については、ストロークレート間の差異が認められず、ストロークレートに関わらず、一定の値を示した。100m 間の総仕事量について、毎分 20 ストロークと他のすべてのレートとの間に有意差が認められた。また、毎分 28 ストロークレートと他のすべてのレートとの間にも、有意差が認められた。

毎分 24、26 及び 28 ストロークの 100m 間の総仕事量及び艇速について、毎分 20 ストロークに対する増加率を図 3 に示した。毎分 26 及び 28 ストロークにおいて、仕事量の増加率は艇速の増加率よりも有意に高い値であった。そして、高いストロークレートほど仕事量と艇速の間の差が拡大する傾向を示した。

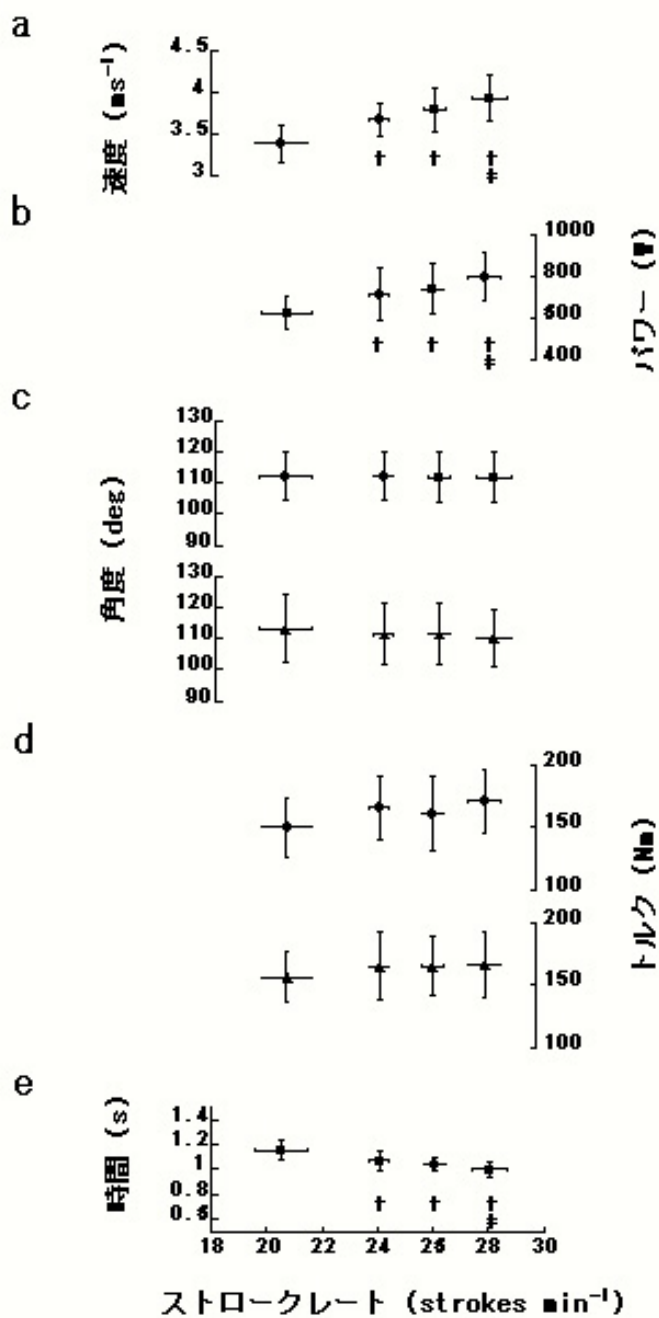


図 1. 100m 間の平均艇速、パワー、牽引時のオール移動角度、トルク及び牽引時間とストロークレートの関係

- a : ストロークレートと 100m 間の平均艇速の関係
- b : ストロークレートと漕手のパワー(平均値)の関係  
 パワーは左右のオールについて求めた 1 ストロークの平均値の合計
- c : ストロークレートとオールの移動角度(平均値)の関係 ●:右手 ▲:左手
- d : ストロークレートとオール牽引時のトルク(平均値)の関係 ●:右手 ▲:左手
- e : ストロークレートと牽引時間の関係
- † : 毎分 20 ストロークとの間の有意差
- ‡ : 毎分 24 ストロークとの間の有意差

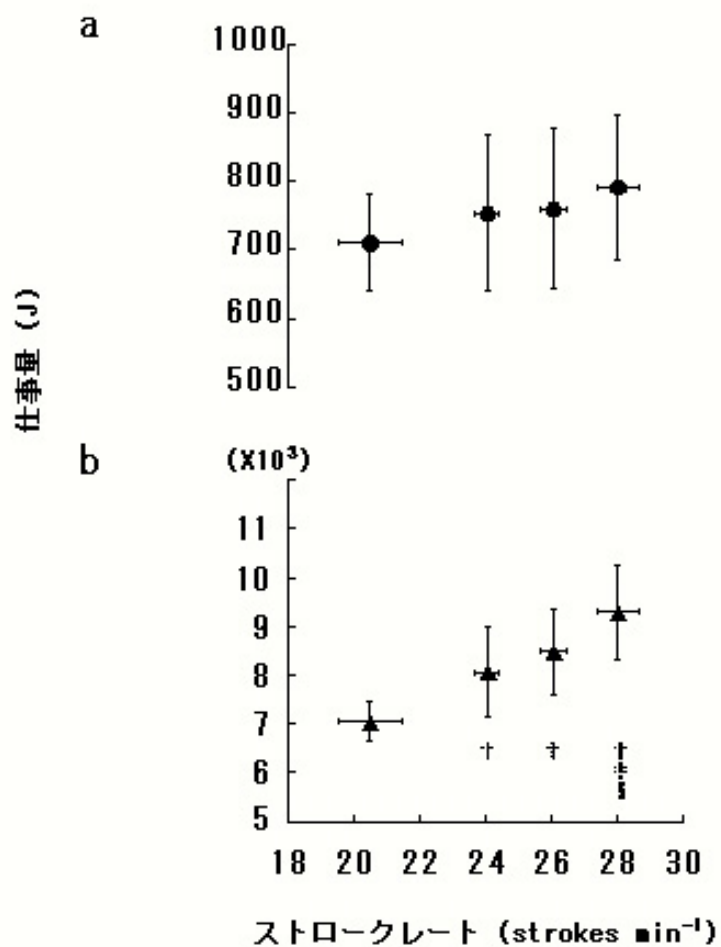


図 2. ストロークレートと 1 ストロークの仕事量及び 100m 間の総仕事量の関係

100m 間の総仕事量は 1 ストロークの平均仕事量にストローク回数を乗じた値

a : 1 ストロークの仕事量 b:100m 間の総仕事量

† : 毎分 20 ストロークとの間の有意差

‡ : 毎分 24 ストロークとの間の有意差

§ : 毎分 26 ストロークとの間の有意差

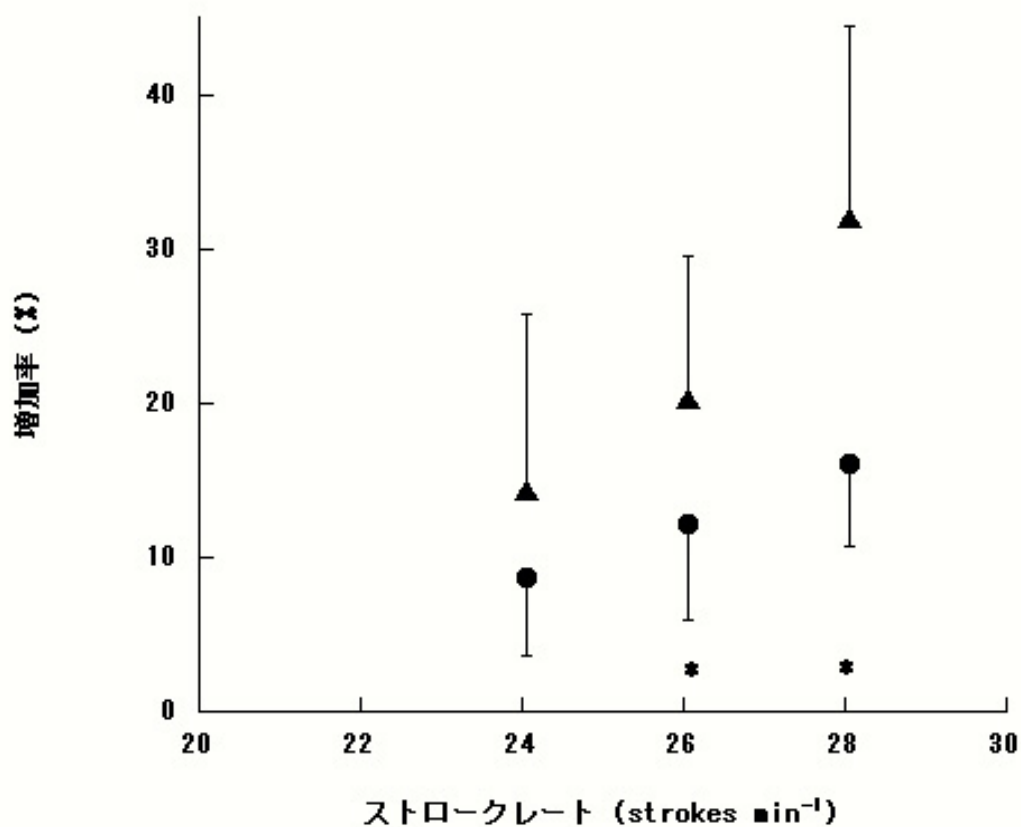


図 3. ストロークレートと 100m 間の総仕事量及び艇速の増加率の関係

各値は毎分 20 ストロークの値に対する増加率を示す

▲ : 仕事量

● : 艇速

\* : 仕事量と艇速の間の有意差

#### 4. 考察

本結果は、ストロークレートの増加に伴い漕手のパワーが増大することを示すものであった。しかし、ストロークレートが増加しても漕手がオールを牽引するトルク及びオールの移動角度に差異は認められなかった。一方、ストロークレートの増加に伴う牽引時間の短縮が認められた。これらのことは、シングルスカルでは、ストロークレートの増加は漕手の発揮する力の変化を生じさせることなく、オールの牽引速度を高め、その結果、漕手の発揮するパワーを増大させることを示している。

漕手の力発揮について、舵手付きペアの計測を通して、ストロークレートに関わらず、漕手がオールを牽引する力のピーク値に変化がなかったことが報告されている(Schneider et al. (1978))。そして、オールの牽引時間について、舵手付きペアでは、ストロークレートに関わらず、ほぼ一定であると報告され(Celentano et al. (1974), Schneider et al. (1978))、エイト(漕手 8 名)では、ストロークレートの増加に伴い短縮すると報告されている(Martin and Bernfield (1980))。水上を進むボートにはボートと水の間に摩擦抵抗が生じる (Celentano et al. (1974), Secher (1993))。これらのことは、種目によってボートに生じる抵抗と漕手の力発揮を通じてボートに作用する推進力の関わる度合いが異なることを示唆する。さらに、先行研究では、複数漕手の種目が対象とされており、その結果に含まれるクルーのユニフォーミティーの影響が無視できない。また、ボートと水の間の摩擦抵抗の大きさはボートの接水面積に依存するので、軽量、小型のシングルスカルは他の種目よりボートが水から受ける影響が小さい。したがって、本結果は、漕手の力発揮、オール移動角度及び牽引時間とストロークレートの関係を示していると考えられる。そのなかで、本研究において、ストロークレートに関わらず、漕手がオールを牽引するトルク及びオールの移動角度が一定であったことは、舵手付きペアの先行研究

(Celentano et al. (1974))と同様の傾向である。このことは、どのストロークレートでも漕手の力発揮が一定に保たれることが、本競技における漕手の力発揮の一般的特性を表していることを示唆している。しかし、一般的特性を明らかにするためには、各種目で計測する必要がある。

ストロークレートに関わらず、1 ストロークの仕事量は一定であった。しかし、100m 間の総仕事量は、ストロークレートの増加に伴って増大した。これらのことは、ストロークレートを増加させる時、1 ストローク当たりのエネルギー消費は同じであるが、増加するストローク数に必要なエネルギー消費が付加されることを示唆している。Di Prampero et al. (1971)は、実漕中の効率(Gross efficiency)を求め、高いストロークレート(毎分 25~37 ストローク:23%)の方が低いストロークレート(<毎分 25 ストローク:18%)より高いことを示している。これによれば、毎分 25 ストローク以上のストロークレートではレートが増加しても効率は同じである。したがって、毎分 25 ストローク以上において、レートを増加させる時、それに伴って増加するストローク数で発揮される仕事量に見合ったエネルギーが必要になる。また、本研究において、毎分 24, 26 及び 28 ストロークの 100m の艇速と仕事量について、1 ストローク当たりの仕事量はレートによらず変化しなかったが、100mを漕ぐ間の総仕事量はレートの増加とともに増大した。その増加率は艇速の増加率よりも高く、高いストロークレートほど仕事量と艇速の間の差が拡大する傾向を示した。このことは、漕手のエネルギー消費の観点からみると、高いストロークレートで漕ぐ場合、1 ストローク当たりのエネルギー消費量はほぼ変わらないが、ボートを漕いでいる間のエネルギーの総消費量が大きくなる、そして、エネルギーの総消費量増加の程度よりも艇速増大の程度が小さく、艇速の変化に対して顕著にエネルギー総消費量が増加することを示唆している。したがって、先行研究が示すように漕手の力学的エネルギー発揮効率



(Gross efficiency)はストロークレートによって増加もしくは不変であっても、ボートに加えられた力学的エネルギーが艇速に変換される効率はレートを増加させることによって低下すると考えられる。ストロークレートを上げることは艇速を高めることにつながるが、漕手にはストロークレートの増加による仕事量の増大をまかなうための体力が必要とされ、レースレートは漕手の体力レベルに応じて決定されると考えられる。

ストロークサイクル中、漕手のオールの牽引及びフォワード運動、また、ボートが受ける外界からの抵抗の影響によって艇速変動が生じる。水上を進行するボートには艇速の約 2 乗に比例して抵抗力が増大するので、艇速変動が増大するとボートの推進効率が低下する(Celentano et al. (1974), Sanderson and Martindale (1986))。Celentano et al. (1974) は、力学的モデルによって艇速変動の幅を平均艇速に対する割合 (%) として算出した値が、低いレートより高いストロークレートで小さく、ストロークレートの増加がボートの推進効率を向上させると考察している。本研究においても、同様の計算では高いストロークレートの方が低いストロークレートよりも艇速変動率が低い傾向を示した。しかし、ボートのパフォーマンスによってより重要であると考えられる艇速変動の絶対値においては、ストロークレート間での差異は認められなかった( $2.1 \sim 2.2 \text{ m s}^{-1}$ )。

ボートの抵抗力は艇速の絶対値の関数であるから、ストロークレート増加による艇速増大は上述の先行研究で指摘されたボートの推進効率の寄与によるものと単純に結論することはできない。艇速変動とボートの推進効率の関係については、今後詳細な実験と検討が必要であろう。むしろ本研究では、ストロークレートの増加に伴うストロークサイクル中の最大艇速の増大が注目される( $4.5, 4.8, 4.9$  及び  $5.1 \text{ m s}^{-1}$ )。艇速の約 3 乗が漕手のパワーに比例して増加する(Di Prampero et al. (1971), Celentano et al. (1974))。そこで、ストロークレートの増加に伴う漕手のパワー

の増大が最大艇速を高め、その結果として、平均艇速が引き上げられたと推察される。

本結果は、シングルスカルにおいて、ストロークレートの増加に伴い艇速と漕手のパワーが増大することを示すものであった。そして、艇速の増大は、漕手のパワーの増大によってストロークサイクルの最大艇速が高められた結果、生じたものと考えられた。また、ストロークレートの増加は漕手の発揮する力の変化を生じさせることなく、オールの牽引速度を高め、その結果、漕手の発揮するパワーを増大させると考えられた。これらのことから、ストロークレートの増加による艇速の増大に漕手のパワーの増大が大きく影響を及ぼすことが示唆される。そして、漕手のパワーを増大させるためにオールの牽引速度を増大させることの重要性が挙げられる。しかし、ストロークレートの増加は漕手のエネルギー消費を増大させることに留意する必要がある。

## 文 献

- 1) Celentano, F., Cortili, G., Di Prampero, P.E., Cerretelli, P. (1974) Mechanical aspects of rowing. *J Appl Physiol.* 36, 642-647.
- 2) Di Prampero, P.E., Cortili, G., Celentano, F., Cerretelli, P. (1971) Physiological aspects of rowing. *J Appl Physiol.* 31, 853-857.
- 3) 川上泰雄, 松尾彰文, 山本恵三, 福永哲夫, 宮下充正 (1987) 実漕中のオールに作用する力がボートの加速度におよぼす効果について. 昭和 61 年度日本体育協会スポーツ・医科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究-第 10 報-, 311-317.
- 4) 川上泰雄, 下田学, 福永哲夫 (2001) ボート競技の競技力向上を目的とした艇の力学量測定システムの開発. *トレーニング科学* 13, 21-30.
- 5) Martin, T.P. and Bernfield, Y.S. (1980) Effect of stroke rate on velocity of a rowing shell. *Med Sci*

- Sports Exerc. 12, 250-256.
- 6) Pope, D.L. (1973) On the dynamics of men and boats and oars. *Mechanics and Sport*, Am. Soc. Mech. Eng. 113.
- 7) Sanderson, B. and Martindale, W. (1986) Towards optimizing rowing technique. *Med Sci Sports Exerc.* 18, 454-468.
- 8) Schneider, E. (1980) *Leistungsanalyse bei Rudermannschaften*. Limbert Verlag, Bad Homburg.
- 9) Schneider, E., Angst, F., Brandt, J.D. (1978) Biomechanics in rowing. In *Biomechanics VI-B* (edited by E. Asmussen and K. Jorgensen), University Park Press, Baltimore, 115-119.
- 10) Schneider, E. and Hauser, M. (1981) Biomechanical analysis of performance in rowing. In *Biomechanics VII-B*, University Park Press, Baltimore, 430-435.
- 11) Secher, N.H. (1993) Physiological and biomechanical aspects of rowing, Implications for training. *Sports Med.* 15, 24-42.
- 12) Senator, M. (1981) Why sliding seats and short stroke intervals are used for racing shells. *J Biomech Eng.* 103, 151.
- 13) 下田学と川上泰雄 (2004) ローイングパワーの安定性がボートの艇速に及ぼす効果-大学ボート選手を対象として-. *トレーニング科学* 16, 19-26.