

博士（人間科学）学位論文

ボート競技におけるローイングパワーの安定性
漕手の体力特性および艇速との関係

**Power consistency in rowing: relation to
physical capacity of rowers and boat speed**

2007年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

下田 学
Shimoda, Manabu

目次

第1章 序	
1.1 緒言	-----3
1.2 研究小史	-----6
1.3 目的	-----31
第2章 ローイングパワーの安定性と艇速の関係	-----32
第3章 ローイングパワーの安定性と最大酸素摂取量，機械的効率および 脚伸展パワーの関係	-----58
第4章 ローイングパワーの安定性とクリティカルパワーの関係	---84
第5章 総括論議	----- 104
文献	----- 116

第 1 章 序

1.1 緒言

ボート競技は、ローボート（手漕ぎボート）による 2000 m のレースである。ローボートでは、脚伸展による上体の移動とともにオールを水中で動かすドライブと次のドライブのために姿勢を戻すフォワードから成る一連の運動（ストローク）が繰り返される（図 1.1）（川上ほか, 2001）。そして、ボート選手（漕手）がストロークで発揮するパワー（ローイングパワー）が、漕手 オール ボート機構を通してボートの推進力に変換される。

これまで、本競技のパフォーマンスに対しては、エネルギー消費や漕手が発揮する力やパワーの大きさが検討されてきた。その結果、漕手の有酸素性代謝によるエネルギーが本競技のパフォーマンスに貢献することが明らかになっている。そして、競技中の各ストロークにおいて、漕手は、ほぼ最大努力のパワー発揮を繰り返し行っていることから、有酸素性のパワー発揮能力や単発の脚伸展パワーと競技パフォーマンスの関連性が調べられてきた。

また、レース全体では 200 回を超えるストロークが繰り返される。そこで、漕手が発揮する力やパワーについて、ストローク毎に生じる変化が注目される。ストローク毎に生じる変動は、consistency（安定性）と呼ばれ、エリート漕手はストローク毎のオールの運動やローイングパワーの変動が小さく、安定性が高いことが指摘されている（Henry et al., 1995; Smith and Spinks, 1995）。ボート漕ぎ

運動は間欠的なパワー発揮であり，ランニングやサイクリングのように，絶えず出力している運動よりも力やパワーに変動が生じ易い．そして，本競技におけるパワーは，水をオールで押すことによって発揮される．オールが動くとも動き，その抵抗が一定ではない．さらに，水上ではボートの姿勢も変化するため，漕手のパワー発揮をする姿勢，すなわち，動作にも影響が生じる．このように，本競技は，必ずしもパワー発揮や動作を一定に保つことに適しているとはいえない．それにも係わらず，漕手のパワー発揮や動作の安定性と本競技の熟練度の対応が観察されることは，安定性に本競技の特性が現れていると推察される．

身体エネルギーをどのように外部に出力するか，すなわち，エネルギーの活用の仕方は個人によって異なり，安定性にはこうしたエネルギーの活用に見られる本競技の特性が表れていると考えられる．そこで，本研究では，ローイングパワーの安定性を研究対象に選び，パフォーマンスとの関連性について検討を加えた．

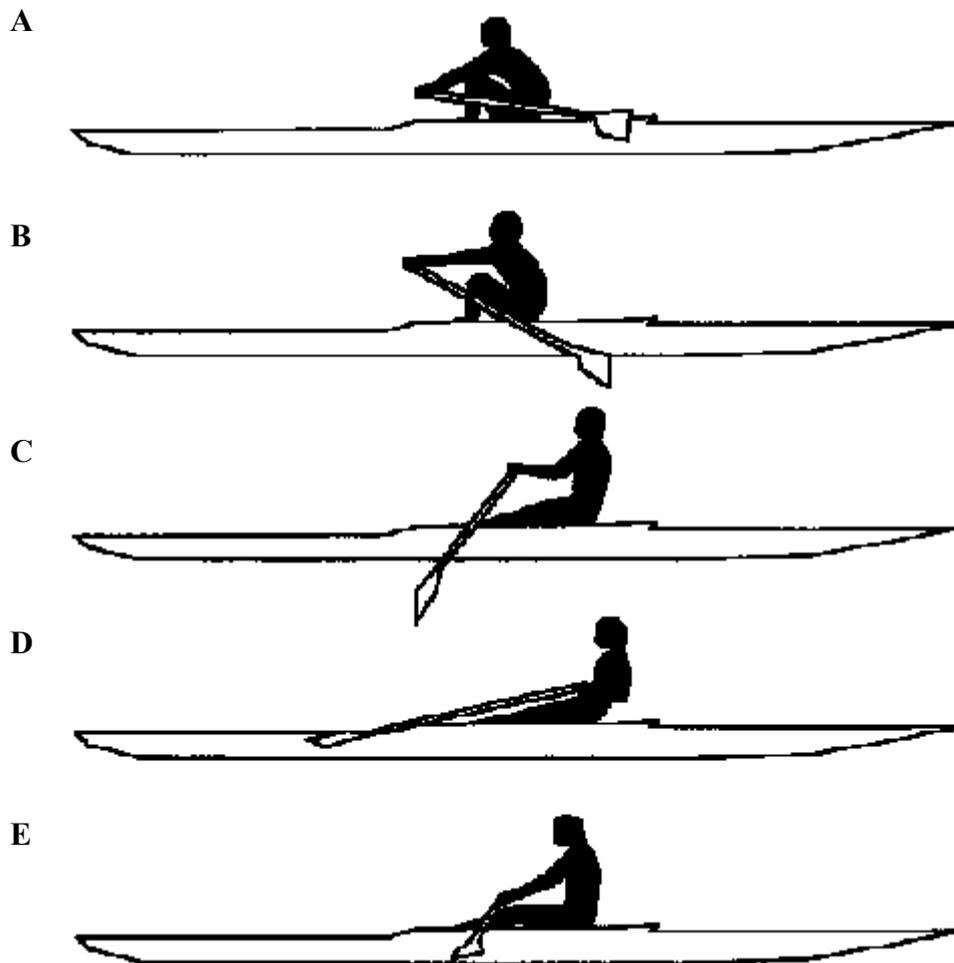


図 1.1 ボート漕ぎ運動

A: フォワード後半, B: キャッチ, C: ドライブ中盤, D: フィニッシュ,

E: フォワード前半 B~Cの間オールブレードは水中に没している

(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.)

1.2 研究小史

1.2.1 ローイングのエナジェティクス

1.2.1.1 ローイングのパワーおよびエネルギー

ボート競技の 2000 m レースにおいて、漕手がストロークで発揮するパワー(ローイングパワー)は、スタートからおよそ 1 分までの間に最大値に達する。そして、1500 m(スタートからおよそ 5 分)まで徐々に低下し、レースの終盤(ラストスパート)で増加する(Hagerman et al., 1978; Mahler et al., 1984; Nolte, 1985; Schabort et al., 1999; Schneider, 1980; Secher et al., 1982)。ストロークで発揮する力は、スタートからおよそ 15 ストロークまでの間に最大値を示し、レースを通して低下し続ける。ラストスパートにおけるローイングパワーの増加は、オールを牽引する速度の増加による(Hartmann et al., 1993)(図 1.2.1)。

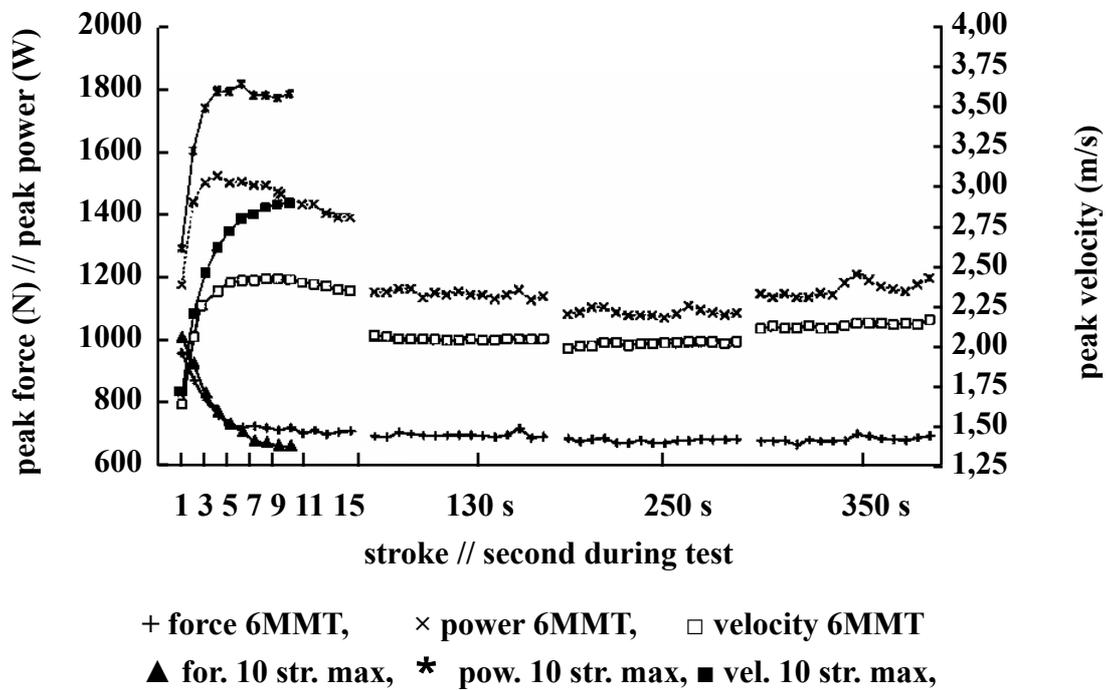


図 1.2.1 10 ストロークの全力漕およびレースにおけるオールを牽引する力 ,速度およびローイングパワーのピーク値の推移 (女子漕手 n=20)

(Hartmann, U., Mader, A., Wasser, K. and Klauer, I. (1993) Peak force, velocity, and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. International Journal of Sports Medicine 14: S42-S45.)

レース中の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$), 二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$), 換気量 ($\dot{V}E$) および心拍数 (Heart rate: HR) は, スタートからおよそ 1 分の間, ローイングパワーの推移に並行して大きく増加し, その後, レース終了まで低下しない (Hagerman et al., 1978; Mahler et al., 1984). これは, レースを通して, 一定の有酸素性代謝によるエネルギー供給が持続されることを示唆する. アメリカとニュージーランド代表選手 ($n=310$) では, 6 分エルゴメーター漕 (2000 m レースのシミュレーション) のスタート後, 1~5 分の間, 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の 96~98% の $\dot{V}O_2$ が持続されたと報告されている (Hagerman et al., 1978). また, Hagerman et al. (1978) は, 6 分エルゴメーター漕中の $\dot{V}O_2$ と運動後, 30 分の回復期間の $\dot{V}O_2$, いわゆる酸素負債量から, 6 分漕 (2000 m レース) の総消費エネルギー量のおよそ 70% が有酸素性, 30% が無酸素性代謝によると算出している (図 1.2.2). 酸素負債量は, 運動中の酸素需要量と酸素摂取量との差異として捉えられる無酸素性代謝によるエネルギー量より大きいため, 実際の無酸素性代謝の貢献度はもっと低いかもしれない. これらのことは, レースに要するエネルギーの大部分が, 有酸素性代謝によるエネルギー供給によって賄われることを示している.

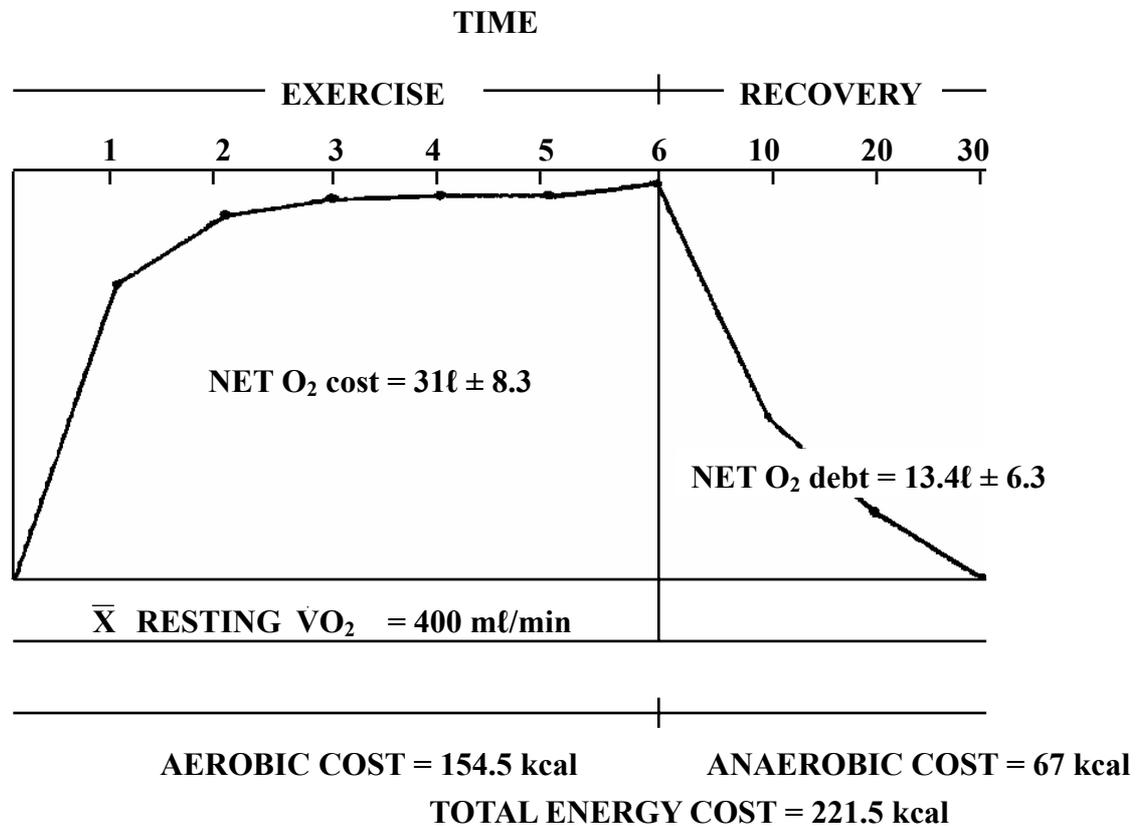


図 1.2.2 6分エルゴメーター漕中の酸素摂取量の推移

30分の回復期の酸素摂取量の計測を通して、総エネルギーコストに占める有酸素性および無酸素性のエネルギーコストが見積もられた

(Hagerman, F.C., Connors, M.C., Gault, J.A., Hagerman, G.R. and Polinski, W.J.

(1978) Energy expenditure during simulated rowing. Journal of Applied Physiology 45:

87-93.)

先行研究において、漕手の $\dot{V}O_{2max}$ が調べられ、漕手の $\dot{V}O_{2max}$ と本競技のパフォーマンスの間に密接な関係があると指摘されてきた。競技成績の良い漕手は高い $\dot{V}O_{2max}$ を示し、オープンクラスの男性エリート選手の $\dot{V}O_{2max}$ は 6 l min^{-1} を超える(表 1.2.1)。最近では、1970~2000年の国際レースにおけるオープンクラスのノルウェー選手28名(体重は90kgを超える)のメダリストの $\dot{V}O_{2max}$ について、 $6.5\sim 7.0\text{ l min}^{-1}$ が報告されている(Fiskerstrand and Seiler, 2004)。そして、漕手の $\dot{V}O_{2max}$ と2000mエルゴメーター漕の成績の間の相関関係も認められている(Cosgrove et al., 1999; Kramer et al., 1994)。しかし、体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ はおよそ $70\text{ ml kg}^{-1}\text{ min}^{-1}$ で、他の持久性競技の選手に比べて、それほど高くない(Jensen et al., 1984)。漕手の高い $\dot{V}O_{2max}$ には、身体のサイズによる影響も含まれている。

表 1.2.1 漕手の最大酸素摂取量

著者	n=	身長 (cm)	体重 (kg)	方法	VO _{2max} (l min ⁻¹)	備考
Strømme et al., 1977	8			ローイングエルゴメーター	5.71	エリート選手
Novak et al., 1978	9	189.7	88.7	トレッドミル	5.51	オーストラリア オリンピックチーム
Hagerman et al., 1978	310			ローイングエルゴメーター	6.6	アメリカ代表選手 ニュージーランド代表選手
Mickelson and Hagerman, 1982	25	192.7	89.9	トレッドミル	5.63	アメリカ人選手
Secher et al., 1983	14	192	93	サイクリングエルゴメーター	5.89	オランダ代表選手
Clark et al., 1983			90		6.6	ナショナルクラス
Grujic, 1989					5.5	ナショナルクラス
Secher, 1990	41	193	94		6.1	ナショナルクラス
Stupnicki et al., 1995	41		91		5.6	経験者
Fiskerstrand and Seiler, 2004	28		90 超		6.5 ~ 7.0	ノルウェー人選手 国際レースメダリスト

1.2.1.2 ボート競技における効率

運動中の出力，すなわち，実際になされた機械的仕事量とこれを遂行するために必要とされるエネルギー量（エネルギーコスト）の比は機械的効率と呼ばれ，次式の通り計算される．

$$\text{機械的効率} = \frac{\text{実際になされた機械的仕事量}}{\text{エネルギー入力量}} \times 100 (\%)$$

ここで，エネルギー入力量は，一般に，一定強度で運動中の VO_2 をエネルギー量に換算した値である（酸素 1ℓ = 5kcal）（マッカードルほか，1994）．とりわけ，本競技が類別される持久性競技では，運動の効率は重要な要素である．ボート漕ぎ運動の機械的効率は，オールの牽引における漕手の仕事量およびその仕事を行っている間の VO_2 から求められるエネルギー量の比になる（Fukunaga et al., 1986）．また，機械的効率には，次式の通り，Gross，Net，WorkおよびDeltaの異なる算出方法がある（山本ほか，1986; Gaesser and Brooks, 1975）．

$$\text{Gross efficiency} = \frac{W_t}{E_t} \times 100 (\%)$$

$$\text{Net efficiency} = \frac{W_t}{E_t - E_r} \times 100 (\%)$$

$$\text{Work efficiency} = \frac{W_t}{E_t - E_u f} \times 100 (\%)$$

$$\text{Delta efficiency} = \frac{dW_t}{dE} \times 100 (\%)$$

ここで， W_t は機械的仕事量， E_t は安静時の代謝を含む全消費エネルギー量， E_r は安静時の消費エネルギー量， E_u は空振りにおけるストロークあたりの消費エ

エネルギー量， f は 1 分間のストローク数， dW_t は機械的仕事の変化量， dE は全消費エネルギーの変化量である．

また， dW_t と dE が直線関係の場合，直線の傾きから，Apparent efficiency が求められる（金子，2001）．これらのなかでは，Gross efficiency が最も低く，Delta efficiency が最も高い値を示す（Gaesser and Brooks, 1975）．

先行研究において，エルゴメーター漕，ローイングタンク漕および実漕によって求められたボート漕ぎ運動の機械的効率（Gross efficiency）は，14～29%（表 1.2.2）．また，エネルギーコストは艇速（平均値）のおよそ 2 乗に比例することが報告されている（Secher, 1983; Thorner, 1959）（図 1.2.3）．そして，毎分 25～37 ストロークで漕いだ舵手付きペアの計測から（ $n=3$ ），単位時間内にボートを漕ぐ回数（ストロークレート）および艇速の増加に伴い機械的効率も増加することも報告されている（Di Prampero et al., 1971）（図 1.2.4）．

漕手 オール ボート機構では，漕手がストロークで発揮する力によってボートの推進力が生じる．そこで，力学的観点から，漕手が発揮する力とボートに加えられる力の比率およびボートに対する入力と出力の比率としての効率も考案されている（表 1.2.3）．

表 1.2.2 ボート競技における機械的効率

著者	方法	GE (%)	NE (%)	WE (%)	ΔE (%)
Di Prampero et al., 1971	舵手付きペアの実漕	18-23			
Cunningham et al., 1975	エルゴメーター	18.1 ± 1.9			
Hagerman et al., 1978	エルゴメーター	14			
Fukunaga et al., 1986	水槽	15.5 - 18.6	17.8 - 21.0	24.2 - 30.9	20.7 - 25.6
Steinacker et al., 1986	エルゴメーター		19		
Jensen et al., 1996	水槽	19.5 - 29.0			

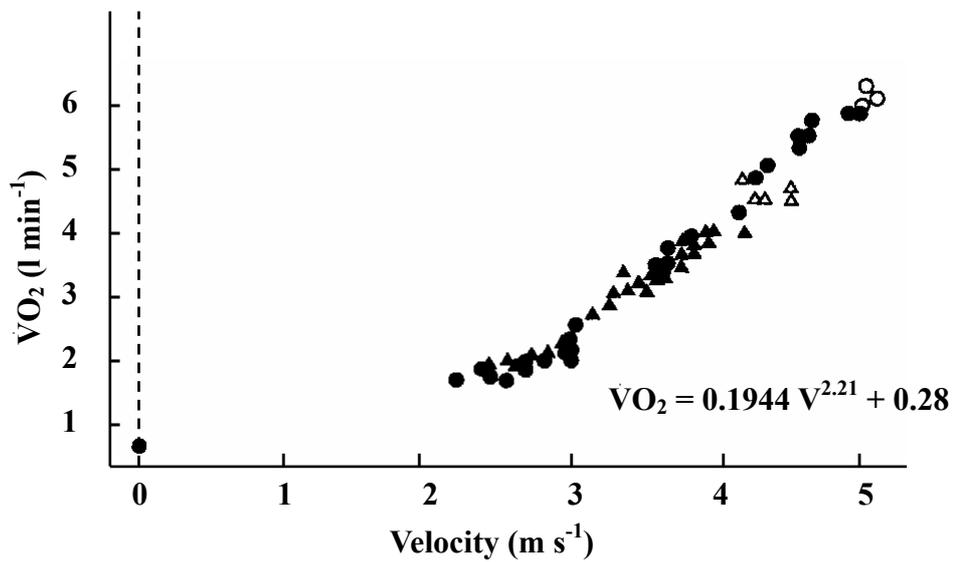


図 1.2.3 艇速とエネルギーコスト（酸素摂取量）の関係

(Secher, N.H. (1983) The physiology of rowing. Journal of Sports Sciences 1: 23-53.)

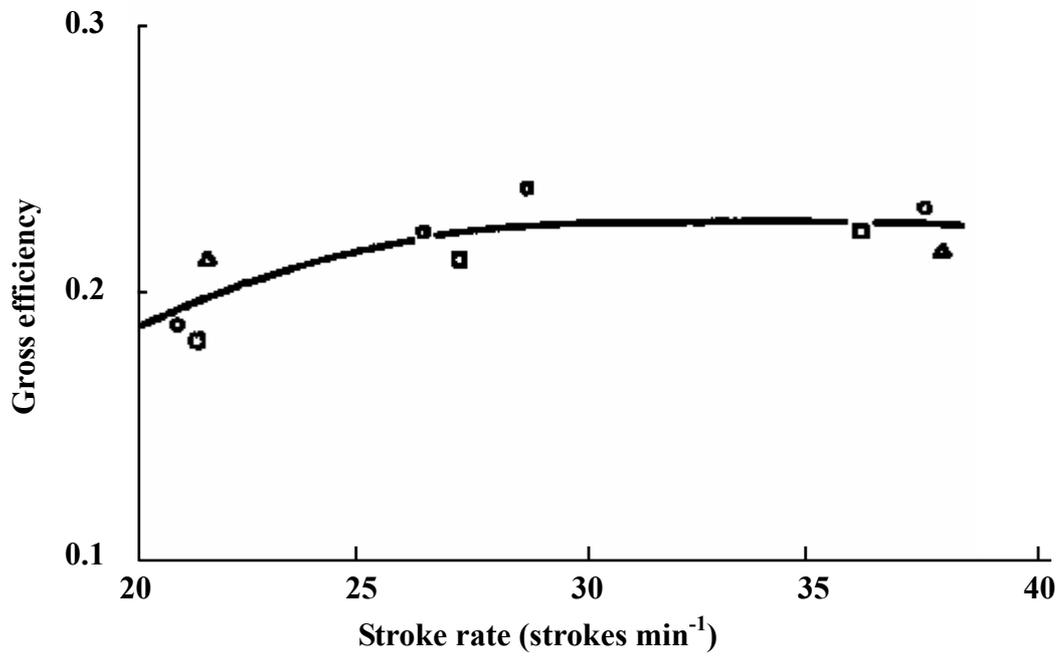


図 1.2.4 ストロークレートと機械的効率 (Gross efficiency) の関係

(Di Prampero, P.E., Cortili, G., Celentano, F. and Cerretelli, P. (1971) Physiological aspects of rowing. Journal of Applied Physiology 31: 853-857.)

表 1.2.3 力学的効率

(1) 漕手が発揮する力とボートに加えられる力の比率としての効率

著者	指標	
Morzhevikov and Shlyakov, 1982	Stroke efficiency = $\frac{\bar{F}'_h}{F'_h(\max)}$	\bar{F}'_h : ドライブ中にハンドルでオールの高軸に対して垂直方向に加えられる力の平均値, $F'_h(\max)$: ドライブ中にハンドルでオールの高軸に対して垂直方向に加えられる力の最大値
Tamuliavichus and Yankauskas, 1984	Efficient stroke force = $\frac{I_{F'_h}}{t_c}$	$I_{F'_h}$: ドライブ中にハンドルでオールの高軸に対して垂直方向に加えられる力積, t_c : ストロークサイクルの所要時間
Dworak et al., 1975	Dynamic efficiency index $= \frac{\int_0^{t_p} F_h(t) dt}{F_{h\max} t_p}$	F_h : ドライブ中にハンドルでオールの高軸に対して垂直方向に加えられる力, t_p : ドライブの所要時間

表 1.2.3 力学的効率 (つづき)

(2) ボートに対する入力と出力の比率としての効率

著者	指標	
Zatziorski and Jakunin, 1980	<p>Relative boat and oar blade velocities index</p> $= \frac{\bar{V}_B}{(\bar{V}_B + \bar{V}_b)} \cdot \frac{1}{2}$	\bar{V}_B : 艇速の平均値, \bar{V}_b : オールの水中部分 (ブレード) の速度の平均値
Zatziorski and Jakunin, 1980	<p>Relative velocities coefficient including blade drag</p> $= \frac{V_B}{V_{brdB}} \frac{(D_{bp} - D_{br})}{(D_{bp} + D_{br})}$	V_B : 艇速, V_{brdB} : ボートに対するブレードの速度, D_{bp} : ドライブ中にブレードに働く抗力の平均値, V_{br} : フォワード中にブレードに働く抗力の平均値
Zatziorski and Jakunin, 1980	<p>Overall propulsion coefficient</p> $= \eta_b \eta_f = \eta_b \frac{1}{\int_0^{t_s} (1 + \bar{V}_B)^3 dt}$	η_b : ブレードの流体力学上の効率を表す係数, η_f : 艇速変動のエネルギーコストを表す係数, t_s : 所要時間, \bar{V}_B : 艇速の平均値

表 1.2.3 力学的効率 (つづき)

(2)ボートに対する入力と出力の比率としての効率

著者	指標
Sanderson and Martindale, 1986	Boat speed efficiency = $\frac{E_D}{E_M}$
	E_D : ストローク中, ブレードにおいて抗力によって消失するエネルギー, E_M : 漕手の質量の運動エネルギー

1.2.2 力学的考察

1.2.2.1 ボートに加わる抵抗力

水上を進行するボートには、空気および水抵抗から成る抵抗力が生じる。艇速 4.75 m s^{-1} のシングルスカルで 10%、艇速 5.85 m s^{-1} のエイトで 15% の空気抵抗（ボートに生じる全抵抗力に占める比率）が生じる（Schatte, 1976）。そして、艇速 5.50 m s^{-1} のエイトが受ける水抵抗の 88% はボートの表面と水の間が生じる摩擦抵抗、8% はボートの形状に基づく抵抗と造波抵抗、そして、4% はボートの動揺によって生じる抵抗である（Herberger et al., 1977）。したがって、ボートに生じる抵抗力の大部分はボートの表面と水の間が生じる摩擦抵抗が占める（Millward et al., 1987; Sanderson and Martindale, 1986）。摩擦抵抗は、表面積、表面の性質、表面の長さおよび水の密度に関係し、速度の n 乗に比例する。そして、理論的に摩擦抵抗（ R_f ） $= k \times f \times S \times V^n$ （kg）で表される。ここで、 k は定数、 f は摩擦係数、 S は浸水表面積（ m^2 ）、 V は艇速である（佐藤, 1981）。

Di Prampero et al. (1971) および Celentano et al. (1974) は、舵手付きペアの計測から、理論的に抵抗力（ R ） $= k v^n$ を計算して $n = 2.2 \pm 0.98$ および 1.95 ± 0.49 を報告している。ここで、 k は定数、 v は艇速の平均値を示す。また、パワー（ \dot{W} ） $= v R = 2.8 v^{3.2}$ および $4.7 v^{2.95}$ も得られている。シングルスカルおよびエイトにおいても、抵抗力は艇速のおよそ 2 乗に比例する（Balukov, 1971; Henderson and

Haggard, 1925; Wellicome, 1967). これらの研究から, 抵抗力は艇速のおよそ 2 乗に比例し(図 1.2.5), ローイングパワーは艇速のおよそ 3 乗に比例するとされる(図 1.2.6).

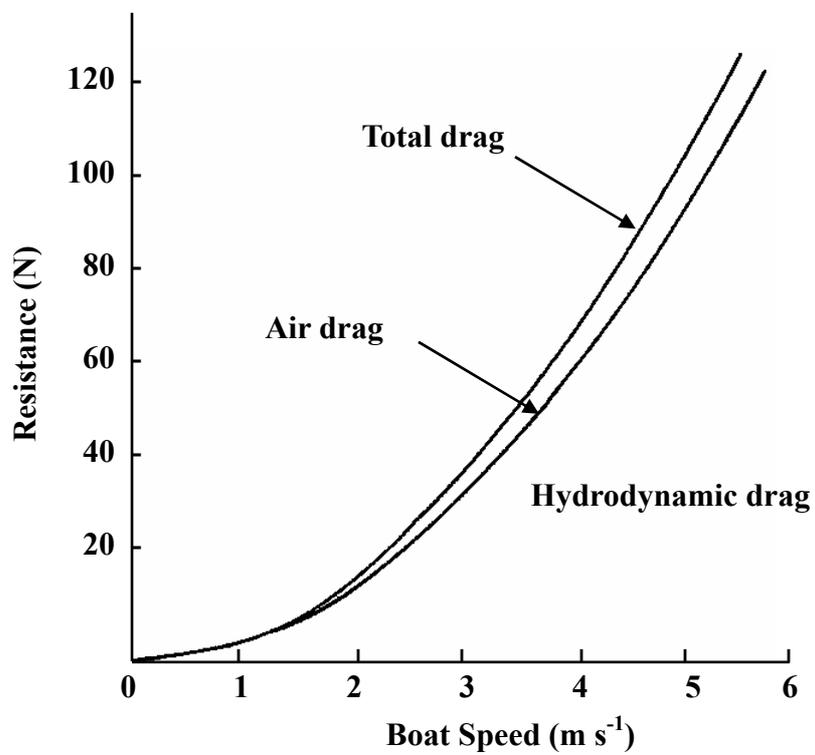


図 1.2.5 艇速とボートに作用する抵抗力の関係

(Millward, A. (1987) A study of the force exerted by an oarsman and the effect on boat speed. Journal of Sports Sciences 5: 93-103.)

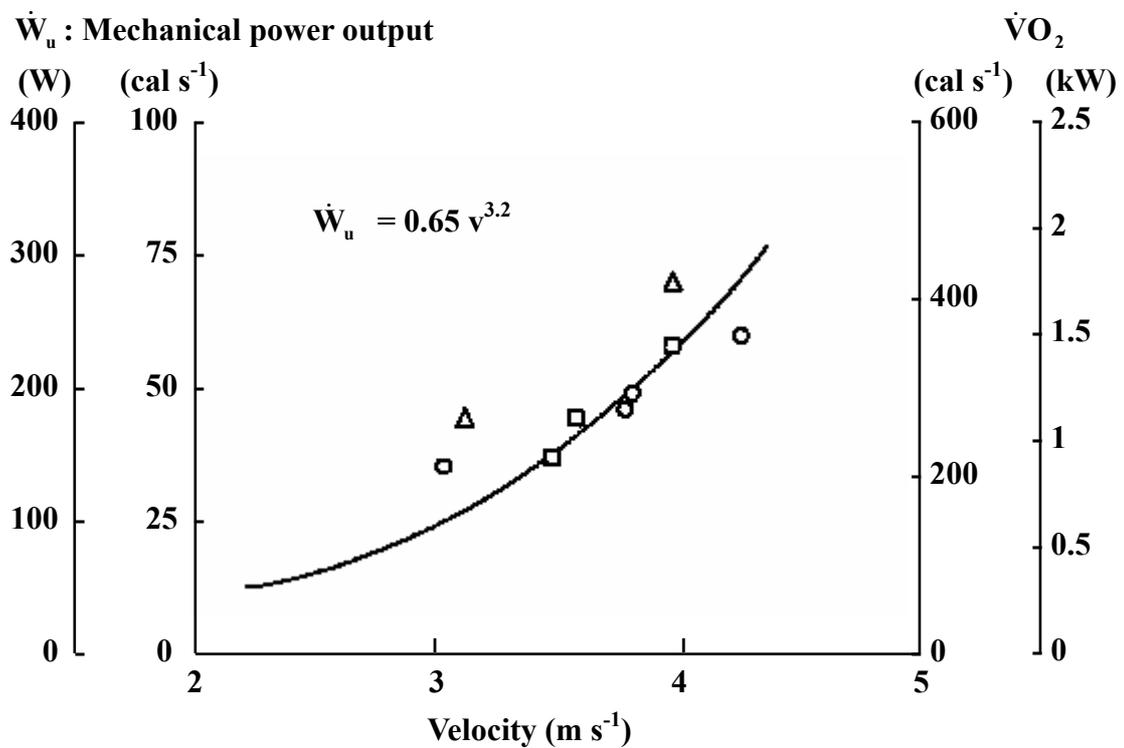


図 1.2.6 艇速とローイングパワーの関係

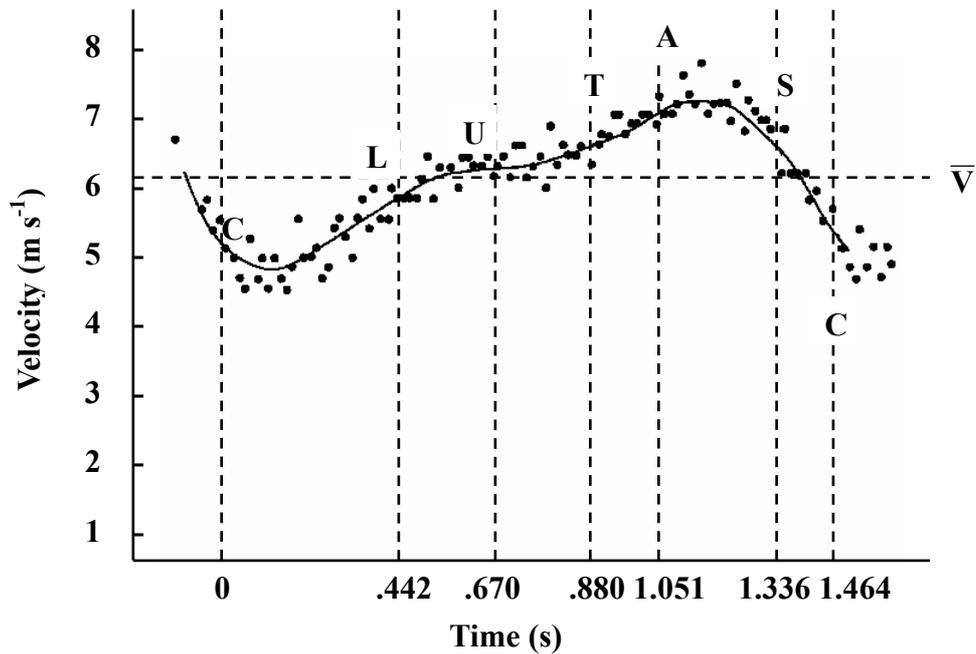
(Di Prampero, P.E., Cortili, G., Celentano, F. and Cerretelli, P. (1971) Physiological aspects of rowing. Journal of Applied Physiology 31: 853-857.)

1.2.2.2 ボートに対して漕手が加える力

ボートの運動には、漕手 オール ボート機構で生じる推進力の変化が反映される。ストロークサイクルにおいて、ボートはドライブで加速し、フォワード中、艇速はしばらく定常状態で推移して減速する。フォワード中、漕手がボート上を艇首から艇尾へ移動することによって生じる力の反作用がボートの進行方向に働くため、一定の時間、艇速は低下しない (Dal Monte and Komor, 1989; Sanderson and Martindale, 1986)。

エイトの艇速と漕手の動作の分析において、キャッチ直後、ドライブの 27% 付近で艇速が最小になり、フォワード中、漕手が半分移動した時点で最大になることが報告されている (Martin and Bernfield, 1980) (図 1.2.7)。これは、ボートがドライブの前半に減速から加速に転じること、そして、フォワード中も加速していることを示している。また、艇速 (平均値) とドライブ中の脚伸展、上体の移動およびドライブ全体の所要時間の間に相関関係が認められている。実漕 (シングルスカル) とエルゴメーター漕の動作分析においても、熟練者は未熟練者より脚力の貢献度が高いこと (Martindale et al., 1984)、そして、熟練者は未熟練者よりドライブ中の膝伸展速度が高いことが報告されている (Nelson and Widule, 1983; Martindale and Robertson, 1984)。これらは、ドライブ中の漕手の運動速度が艇速の獲得に貢献することを示唆している。エルゴメーター漕

(Dal Monte et al., 1985)とローイングタンク漕 (Asami et al., 1985) において , ストローク中の足の固定板 (ストレッチャー) に加えられる力が調べられ , クラッチに加えられる力とオールと反対側のストレッチャーに加えられる力の間に相関関係が認められている . また , 熟練者は左右両方の足の力が大きいと報告されている (Asami et al., 1985) . また , 漕手がドライブで発揮する力の一部は , 水中のオールの周りの水抵抗 (Affeld et al., 1993) やボートのバランスの乱れ (Mester et al., 1982; Wagner et al., 1993) の影響を受けて , すべてが推進力として使われないことも指摘されている .



C: Catch, C-L: Leg Drive, L-U: Upper Body Drive, U-T: Transition,

T-A: Hands and Upper Body Away, A-S: Seat Movement, S-C: Blades to Water

VEL MIN = 4.90, VEL MAX = 7.43, AMPLITUDE = 2.53, VEL AVE = 6.28 m/sec,

STROKE RATE = 40.80

図 1.2.7 ストロークサイクルにおける艇速変化とローイング動作の対応

(Martin, T.P. and Bernfield, Y.S. (1980) Effect of stroke rate on velocity of a rowing shell. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 12: 250-256.)

1.2.2.3 艇速変動

ストロークサイクルにおいて，ボートには艇速変動（最大値-最小値）が生じる．先行研究において，1 ストロークの艇速変動は，次式を用いて理論的に算出されてきた．

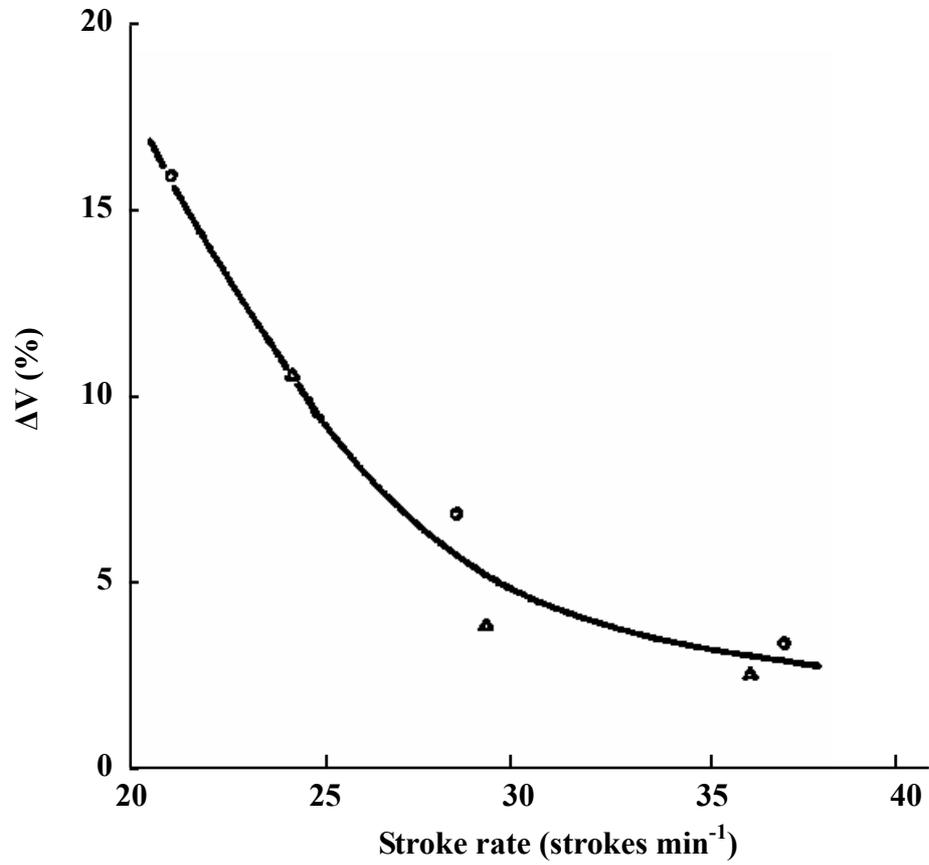
$$\text{艇速変動} = \frac{V_{B\max} - V_{B\min}}{\bar{V}B} \times 100 (\%)$$

ここで， $V_{B\max}$ はストロークサイクルにおける艇速の最大値， $V_{B\min}$ はストロークサイクルにおける艇速の最小値， $\bar{V}B$ はストロークサイクルにおける艇速の平均値である．これまで，エイトで 9.5 ~ 24.4% (Skorohodova, 1959)，舵手なしフォアで 30.7 ~ 39.8% (Morzhevikov, 1978) が報告されている．Martin and Bernfield (1980) は，オリンピックアメリカ代表エイトの動作分析を通して $2.41 \sim 2.96 \text{ m s}^{-1}$ (毎分 36.9 ~ 41.6 ストロークおよび艇速 $5.97 \sim 6.46 \text{ m s}^{-1}$) の艇速変動を報告している．艇速の 2 乗に比例してボートに作用する抗力が増加するため，1 ストロークの艇速変動の増加は，ボートを推進させる効果を低下させる (Sanderson and Martindale, 1986)．そこで，ボートを推進させる効果を向上させるために，艇速変動を抑えることが必要とされる (Celentano et al., 1974; Dal Monte and Komor, 1989; Sanderson and Martindale, 1986)．艇速変動には，ボート上での漕手の移動の状態も反映される (Dal Monte and Komor, 1989; Gutschow, 1955)．ボートを漕ぐ時，漕手 オール ボート機構全質量のおよそ 70 ~ 80% の質量が動く．ボート

上の漕手が 1 mの幅で動く時，漕手の下のボートはおよそ 80 cmの幅で動くことになる．そこで，ドライブ後にボートに生じる運動量をなるべく維持するために，とりわけ，フォワード中の漕手の運動の重要性が指摘されている (Baudouin and Hawkins, 2002)．また，Celentano et al. (1974)は，舵手付きペアを毎分 21.2 ~ 37.2 ストロークのストロークレートで漕いだ時の計測値を次式の力学的モデルに当てはめ，2.9 ~ 16.6%の艇速変動を算出している (n=2)．

$$\text{艇速変動} = \int_{t'}^{t''} R dt = R_m (t'' - t') \quad \text{そして,} \quad R_m = k v_m^n$$

ここで， t' はドライブの終了時間， t'' はストロークサイクルの所要時間， R はボートに作用する抵抗力， R_m はボートに作用する抵抗力のストロークサイクルにおける平均値， k は定数， v_m はストロークサイクルにおける艇速の平均値を示す．計測値から $k = 4.7 \pm 1.0$ ， $n = 1.95 \pm 0.49$ になる．そして，ストロークレートと 1 ストロークの艇速変動の関係を求め，ストロークレートの増加に伴って艇速変動が低下したことを報告している (図 1.2.8)．



V : 艇速の平均値に対する割合 (%) として算出した 1 ストロークの艇速変動

図 1.2.8 ストロークレートと 1 ストロークの艇速変動の関係

(Celentano, F., Cortili, G., Di Prampero, P.E. and Cerretelli, P. (1974) Mechanical aspects of rowing. *Journal of Applied Physiology* 36: 642-647.)

1.2.3 まとめ

本競技では、艇速を高くすること、そして、艇速を持続することが求められる。艇速の獲得について、艇速 抵抗力関係および艇速 パワー関係が求められてきた。その結果、艇速と漕手がオールを牽引する力およびローイングパワーの間の関係が明らかにされている。そして、ストロークサイクルの分析から、艇速の獲得に貢献する漕手の力およびパワー発揮についても明らかにされてきている。

艇速を持続することについて、漕手がパワー発揮を持続するために要するエネルギーが検討されてきた。そして、漕手の VO_{2max} やレースシミュレーション中の漕手の VO_2 の計測結果から、本競技における漕手のエネルギーが有酸素性代謝による供給に依存することが明らかにされている。また、本競技における効率として、漕手のエネルギー消費と発揮されるパワーの比率、すなわち、機械的効率および漕手が発揮する力とオールやボートに作用する力の比率が調べられてきた。さらに、ボートを推進させる効果に係わるものとして艇速変動が挙げられている。しかし、艇速変動については、実測した研究も少なく、艇速変動に影響を及ぼす要因や艇速変動と本競技のパフォーマンスの間の関係など、検討を要する課題が残されている。

1.3 目的

本研究では、ローイングパワーの安定性が艇速に及ぼす影響およびローイングパワーの安定性に影響を及ぼす因子を検討し、ローイングパワーの安定性と本競技のパフォーマンスの間関係を明らかにすることを目的とした。

この目的を達成するために、「1. ローイングパワーの安定性と艇速の関係」を検討した。そして、ローイングパワーの安定性に影響を及ぼす因子について、「2. ローイングパワーの安定性と最大酸素摂取量、機械的効率および脚伸展パワーの関係」および「3. ローイングパワーの安定性とクリティカルパワーの関係」を検討した。

第 2 章

ローイングパワーの安定性と艇速の関係

2.1 緒言

ボート競技において、漕手がオールを牽引する力は、クラッチ（オールとボートの接続部）を通してボートに伝えられる。そして、オールからクラッチに加えられる力がボートの推進に作用する（Celentano et al., 1974; Dal Monte and Komor, 1989; Secher, 1993）。本競技は艇速を競う競技である。漕手 オール ボート機構において、漕手がオールに加える力がボートに効率的に伝えられるほど、ボートには大きな推進力が与えられて艇速が増大する。そこで、オールに加えられる力やオールの動きとボートの推進の関係が注目される。そして、先行研究において指摘されてきた、オールに加えられる力、オールの動きおよびローイングパワーの安定性は、漕手 オール ボート機構における力の伝達の効果に関連すると考えられる（Celentano et al., 1974; Henry et al., 1995; Martin and Bernfield, 1980; Smith and Spinks, 1995; Spinks and Smith, 1994; Spinks, 1996）。すなわち、ストロークの安定性が艇速に影響を及ぼすことが推察される。しかし、水上のボートにおける計測の困難さから、これまで、ストロークの安定性が艇速に及ぼす効果については明らかにされていない。

先行研究の知見から、水上でのストロークが安定し、ローイングパワーの安定性が高いほど艇速が高いと考えられる。この仮説を検証するため、本研究では、水上のボートにおいて、ローイングパワー、クラッチに加えられる力および艇速を分析した。そして、ローイングパワーの安定性が艇速に及ぼす効果を明らかにすることを目的とした。

2.2 方法

2.2.1 被験者

被験者は大学生 14 名及び社会人 2 名の男性ボート選手 ,合計 16 名であった . 被験者の年齢 , 身長および体重は , 21.7 ± 1.9 歳 , 177.5 ± 2.3 cm および 71.6 ± 3.1 kg であった . 大学生 4 名を除き , 被験者は , シングルスカルの 2000 m レース経験をもっていた . レース経験のない大学生 4 名も , 平生より , シングルスカルでトレーニングを行い , 2000 m レースに出場できるレベルであった .

2.2.2 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 500 m 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 300 m の測定区間を設定し , 測定区間の前後 100 m を含む 500 m 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 , 被験者に指示した .

測定中の風やコース上の波はわずかで , 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 .

2.2.3 測定機器の設定

ボートの底に加速度計（共和電業社製AS-TG）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 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 100 m 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，300 mの間，各ストロークレートを持続した．この間，験者が並走して 100 m 毎のラップタイムを計測し，測定区間のボートの艇速の平均値を求めた．

漕手がオールを牽引する力は，オールのクラッチ接続部から 10 cm 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° ，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（東芝社製 Libretto30）に，PC カード式 A/D 変換器（ナショナルインストルメンツ社製 DAQ Card-700）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 50 Hz のサンプリングレートで取り込んだ（川上ほか, 2001）（図 2.1）．

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、陸上でオール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。

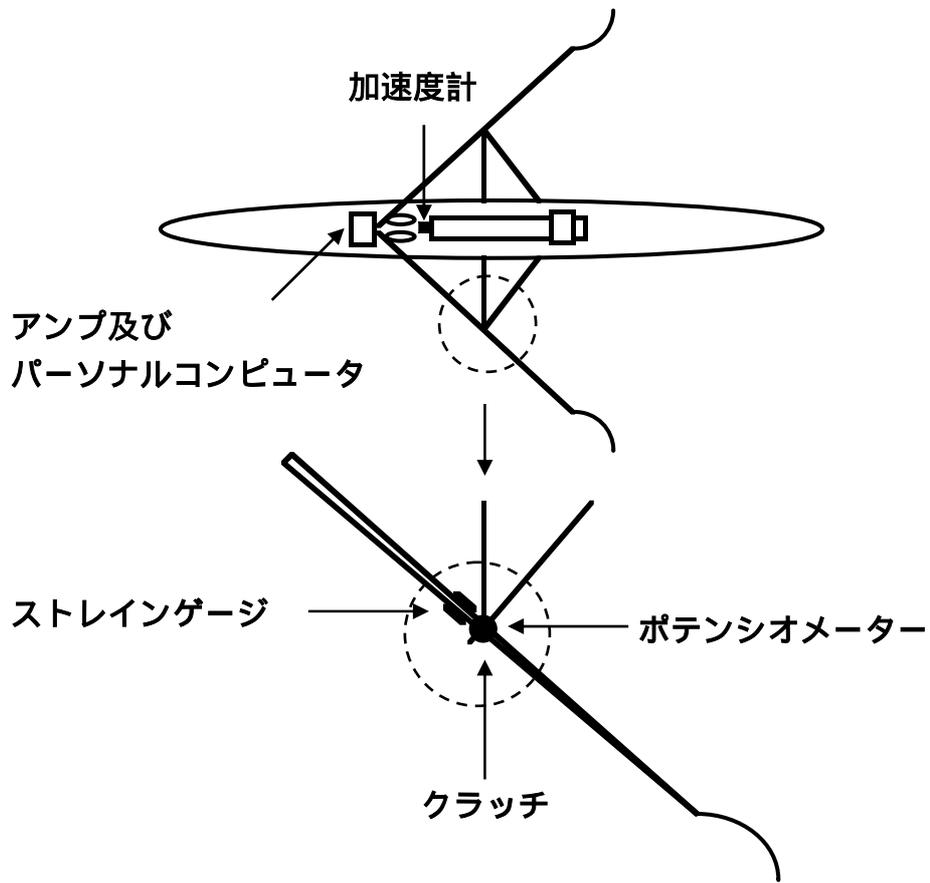


図 2.1 測定機器の配置

2.2.4 分析

300 m 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角度から決定した。そして、ストロークサイクルにおけるオール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。また、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（図 2.2）。

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（ローイングパワー）を求めた。ローイングパワーは、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として算出した。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。また、次式により、クラッチに加えられるボートの進行方向の力積（クラッチの力積）を求めた。

$$\text{クラッチの力積} = \int_{t_c}^{t_f} F_c(t) \cos \theta(t) dt$$

ここで、 F_c はクラッチに作用する力の大きさ、 θ はオールの角度、 t_f はフィニッシュ時の時間、 t_c はキャッチ時の時間、 t は時間である。ストロークサイクル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、ローイングパワー及びクラッチの力積を求めた。そして、両オールの合計値をストロークサイクルのローイングパワー及びクラッチの力積とした。また、ストロークサイクル毎にオールの角度の移動範囲を求めた。ローイングパワー、クラッチの力積及びオールの移動範囲について、300 m 間のすべてのストロークの平均値及

び標準偏差を求めた。ローイングパワー、クラッチの力積および1ストロークの平均艇速について変動係数を求め、それぞれローイングパワーの安定性 (coefficient of variance of power: CVP)、クラッチの力積の安定性 (coefficient of variance of impulse: CVI) および艇速の安定性 (coefficient of variance of velocity: CVV) とした (Smith and Spinks, 1995)。また、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300m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求めた。

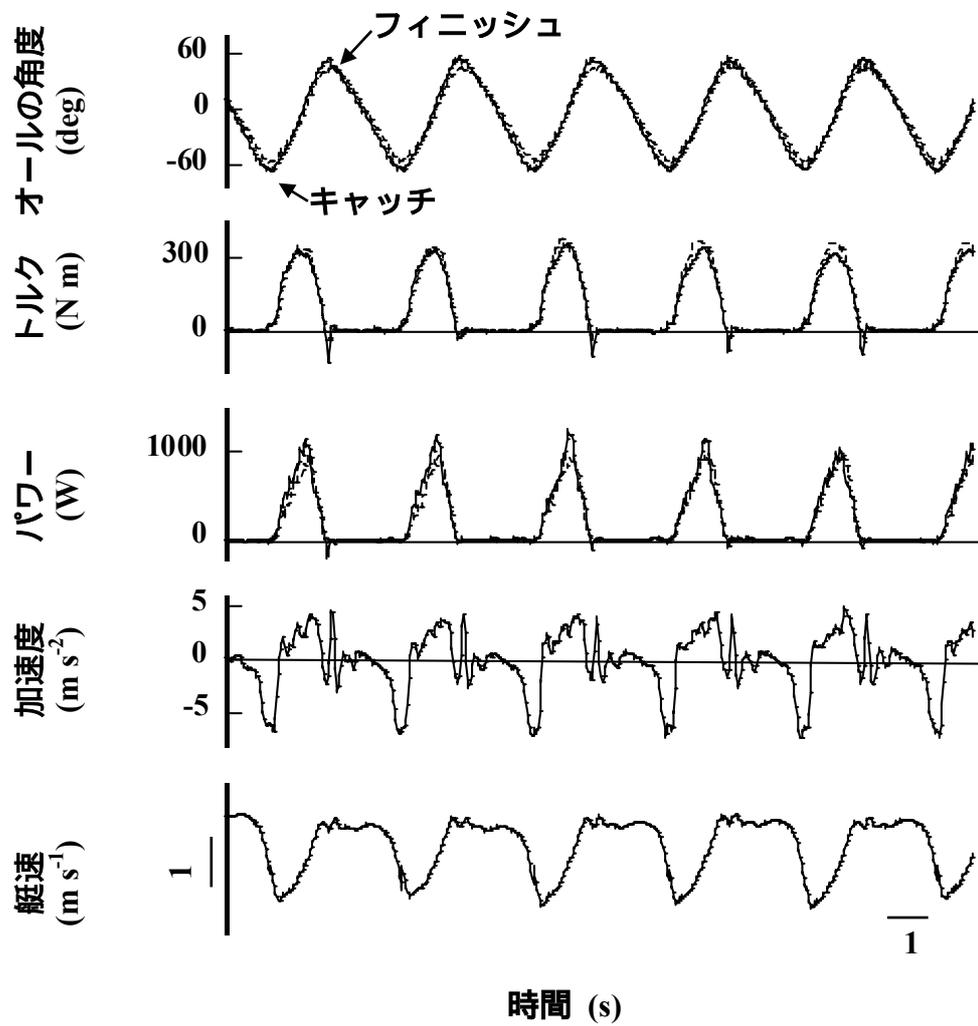


図 2.2 計測及び分析データの例
 オールの角度,トルクおよびパワーにおいて,実線は右手(ストロークサイド),
 点線は左手(バウサイド)のオールの値を示す

2.2.5 統計処理

特に記述しない限り，結果はすべて平均値と標準偏差で示した．すべての変数の分布について，正規性を検定し，正規分布であることを確認した．各分析項目について，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 Tukey の多重比較検定を行った．そして，変数間の相関関係を単回帰分析によって求めた．有意水準は危険率 5%未満とした．

2.3 結果

300 m 間の艇速の平均値，ローイングパワーの平均値およびクラッチの力積の平均値とストロークレートとの関係を図 2.3 に示した．

300 m 間の艇速の平均値について，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な差異が認められ，ストロークレートの増加に伴い艇速が増加したことが示された（図 2.3.3a）．ローイングパワーの平均値について，毎分 20 ストロークとすべてのレートの間および毎分 24 ストロークと毎分 28 ストロークの間に有意な差異が認められ，ストロークレートの増加に伴いローイングパワーが増加したことが示された（図 2.3.3b）．クラッチの力積の平均値について，ストロークレート間に差異は認められなかった（図 2.3.3c）．CVP，CVI，CVV および 1 ストロークの艇速変動について，どのストロークレート間にも有意な差異は認められなかった．

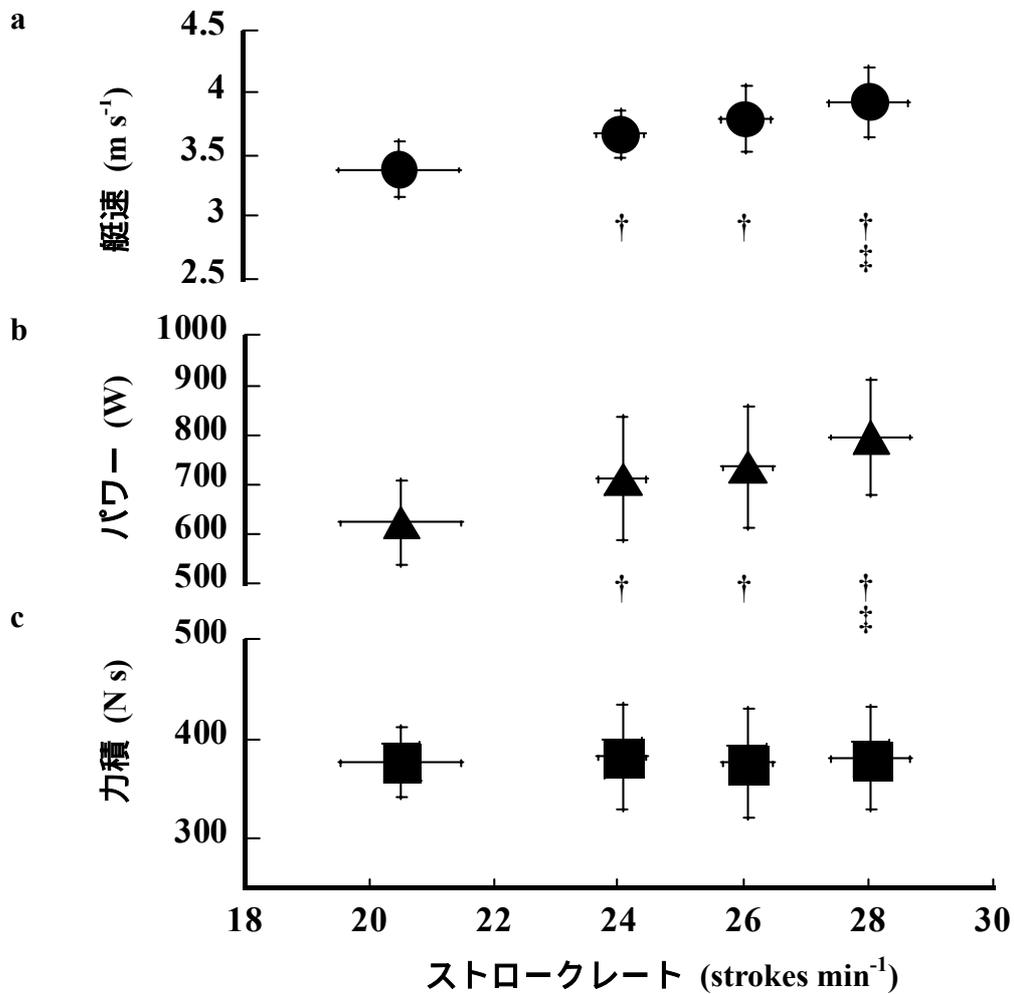


図 2.3 300 m 間の艇速の平均値，ローイングパワーの平均値およびクラッチの力積の平均値とストロークレートの関係

a : 300 m 間の艇速，b : ローイングパワー，c : クラッチの力積

†は毎分 20 ストロークとの間，‡は毎分 24 ストロークとの間の有意差を示す

すべてのストロークレートにおいて、300 m の艇速の平均値とローイングパワーの平均値、クラッチの力積の平均値、CVP、CVI、CVV および 1 ストロークの艇速変動の間に、有意な相関関係が認められた。また、すべてのストロークレートにおいて、CVP とクラッチの力積の平均値、CVV および 1 ストロークの艇速変動との間に有意な相関関係が認められた。そして、CVP とローイングパワーの平均値および CVI の間には、有意な関係が認められなかった（表 2.1）。

表 2.1 各変数間の相関係数（毎分 20 ストローク）*P<0.05

	300 m の艇速	パワー	力積	CVP	CVI	CVV	艇速変動
300 m の艇速	1	0.64*	0.60*	-0.61*	-0.49	-0.66*	-0.56*
パワー		1	0.31	-0.48	-0.41	-0.42	-0.92*
力積			1	-0.60*	0.14	-0.02	-0.16
CVP				1	0.41	0.68*	0.66*
CVI					1	0.72*	-0.40
CVV						1	0.48
艇速変動							1

300 m の艇速：300 m 間の艇速の平均値，パワー：1 ストロークのローイングパワーの平均値，力積：1 ストロークのクラッチの力積の平均値，CVP：ローイングパワーの変動係数，CVI：クラッチの力積の変動係数，CVV：300 m 間の平均艇速の変動係数，艇速変動：1 ストロークの艇速変動

表 2.1 各変数間の相関係数（毎分 24 ストローク）*P<0.05

	300 m の艇速	パワー	力積	CVP	CVI	CVV	艇速変動
300 m の艇速	1	0.73*	0.68*	-0.68*	-0.40	-0.64*	-0.70*
パワー		1	0.72*	-0.28	-0.36	-0.13	-0.36
力積			1	-0.60*	0.34	-0.19	-0.20
CVP				1	0.37	0.62*	0.59*
CVI					1	0.77*	0.40
CVV						1	0.77*
艇速変動							1

300 m の艇速：300 m 間の艇速の平均値，パワー：1 ストロークのローイングパワーの平均値，力積：1 ストロークのクラッチの力積の平均値，CVP：ローイングパワーの変動係数，CVI：クラッチの力積の変動係数，CVV：300 m 間の平均艇速の変動係数，艇速変動：1 ストロークの艇速変動

表 2.1 各変数間の相関係数（毎分 26 ストローク）*P<0.05

	300 m の艇速	パワー	力積	CVP	CVI	CVV	艇速変動
300 m の艇速	1	0.81*	0.68*	-0.65*	-0.41	-0.63*	-0.57*
パワー		1	0.72*	-0.38	-0.42	-0.51*	-0.40
力積			1	-0.66*	0.23	-0.34	-0.30
CVP				1	0.47	0.62*	0.65*
CVI					1	0.77*	0.37
CVV						1	0.38
艇速変動							1

300 m の艇速：300 m 間の艇速の平均値，パワー：1 ストロークのローイングパワーの平均値，力積：1 ストロークのクラッチの力積の平均値，CVP：ローイングパワーの変動係数，CVI：クラッチの力積の変動係数，CVV：300 m 間の平均艇速の変動係数，艇速変動：1 ストロークの艇速変動

表 2.1 各変数間の相関係数（毎分 28 ストローク）*P<0.05

	300 m の艇速	パワー	力積	CVP	CVI	CVV	艇速変動
300 m の艇速	1	0.78*	0.57*	-0.67*	-0.39	-0.61*	-0.62*
パワー		1	0.68*	-0.32	-0.05	-0.52*	-0.46
力積			1	-0.65*	0.37	-0.37	-0.49
CVP				1	0.42	0.62*	0.60*
CVI					1	0.24	0.18
CVV						1	0.34
艇速変動							1

300 m の艇速：300 m 間の艇速の平均値，パワー：1 ストロークのローイングパワーの平均値，力積：1 ストロークのクラッチの力積の平均値，CVP：ローイングパワーの変動係数，CVI：クラッチの力積の変動係数，CVV：300 m 間の平均艇速の変動係数，艇速変動：1 ストロークの艇速変動

ストロークレートと1ストロークの仕事量の平均値及び300 m間の総仕事量
の関係を図 2.4 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、ほぼ一定の値であった。300 m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、有意な差異が認められた。
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、有意な差異
が認められた。毎分 24、26 及び 28 ストロークの 300 m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 2.5 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く、さ
らに、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。

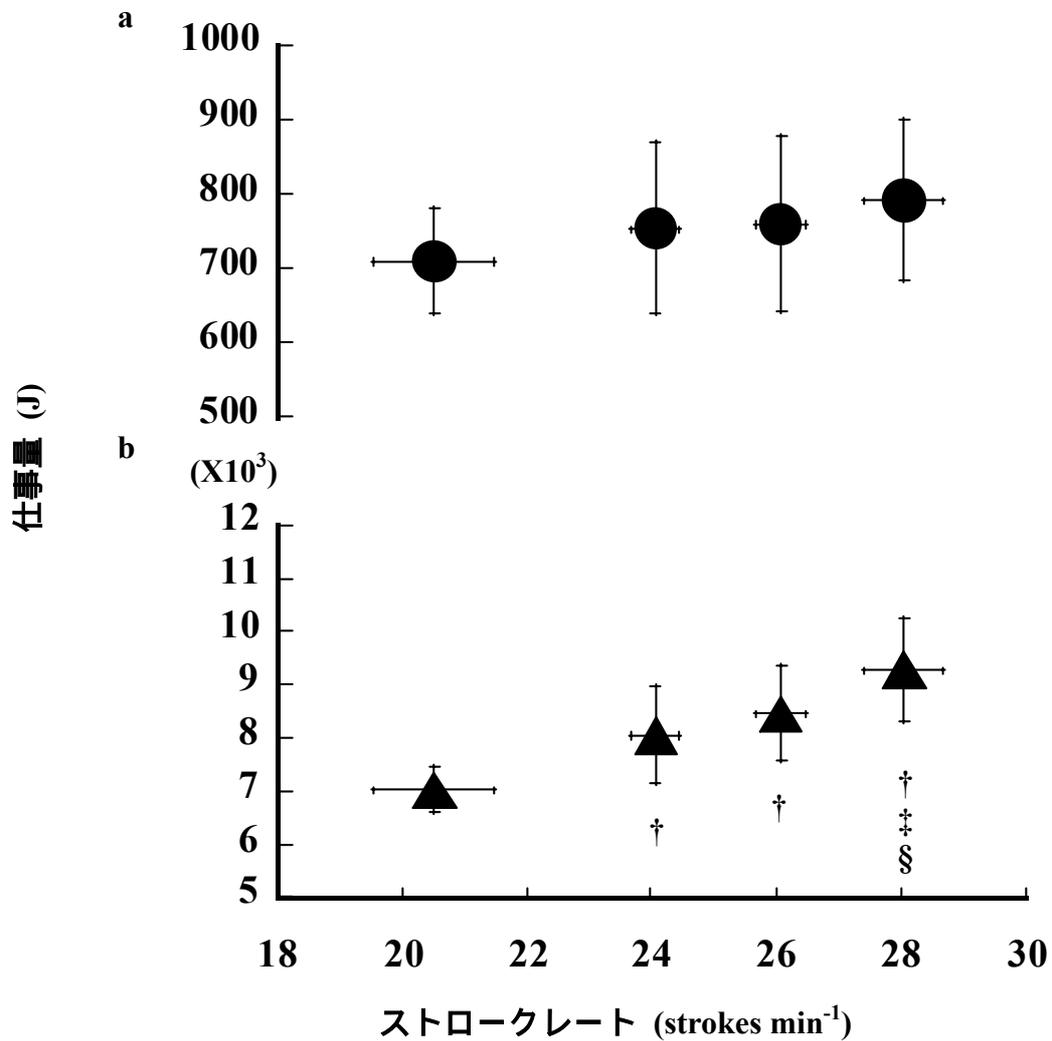


図 2.4 ストロークレートと 1 ストロークの仕事量の平均値及び 300 m 間の総仕事量の関係

300 m 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 : 300 m 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

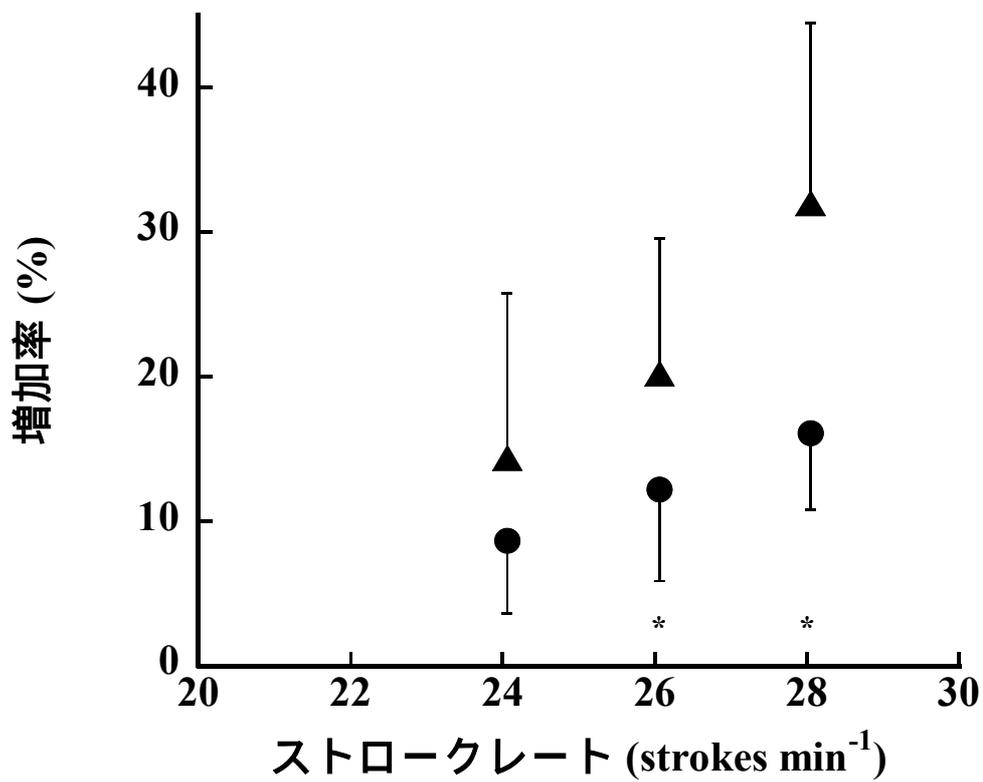


図 2.5 ストロークレートと 300 m 間の総仕事量及び艇速の増加率の関係

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

2.4 論議

本研究では、次の知見が得られた。艇速とローイングパワーの平均値およびローイングパワーの安定性（CVP）の間に相関関係が認められた。これは、艇速がローイングパワーの大きさのみならず、ローイングパワーの安定性の影響を受けることを示している。また、ローイングパワーの安定性（CVP）とクラッチの力積の平均値、1 ストロークの艇速変動および 300 m 間の艇速の安定性（CVV）の間に相関関係が認められた。これは、ローイングパワーの安定性がボートに作用する力に影響を及ぼし、1 ストロークの艇速変動およびボートを漕いだ全体の艇速変動を抑えることに貢献することを示唆している。

4.4.1 ローイングパワーの安定性と艇速の関係

艇速はローイングパワーのおよそ 3 乗に比例して増加する。すなわち、艇速はローイングパワーの大きさに依存する（Celentano et al., 1974; Di Prampero et al., 1971）。これは、300 mの艇速の平均値とローイングパワーの平均値の間に認められた相関関係に現れている。そして、300 mの艇速の平均値とローイングパワーの安定性（CVP）の間に認められた相関関係は、ローイングパワーの安定性が艇速の獲得に貢献することを示唆している。1 ストロークの艇速変動が艇速の低下を引き起こす要因である（Celentano et al., 1974; Martin and Bernfield, 1980; Sanderson and Martindale, 1986）ことを考慮すると、ローイングパワーの安定性が高いと艇速変動が減少して艇速の低下が抑えられることが考えられる。その結果、漕手のパワー発揮によって得られる艇速が維持されると推察される。ま

た，ローイングパワーの安定性が高かった被験者と低かった被験者を比較した場合，安定性が高かった被験者では，オールを牽引している間に，ストロークサイクルのほぼ最大艇速が得られていた．これに対して，安定性が低かった被験者では，ボートの加速が遅く，オールを牽引している間に得られる艇速が小さかった（オールの牽引後に最大艇速が表れた）（図 2.6）．先行研究において，ストロークサイクルの初期に漕手がオールを牽引する力がボートの推進に効果的に作用すると指摘されている（Dal Monte and Komor, 1989; Schwanitz, 1991）．そこで，ローイングパワーの安定性が，オールからクラッチに伝わる力をボートの推進に効果的に作用させることに貢献することも考えられる．また，ローイングパワーの平均値とローイングパワーの安定性（CVP）の間には相関関係が認められなかったことから，ローイングパワーの大きさとローイングパワーの安定性は，独立の変数であると考えられる．

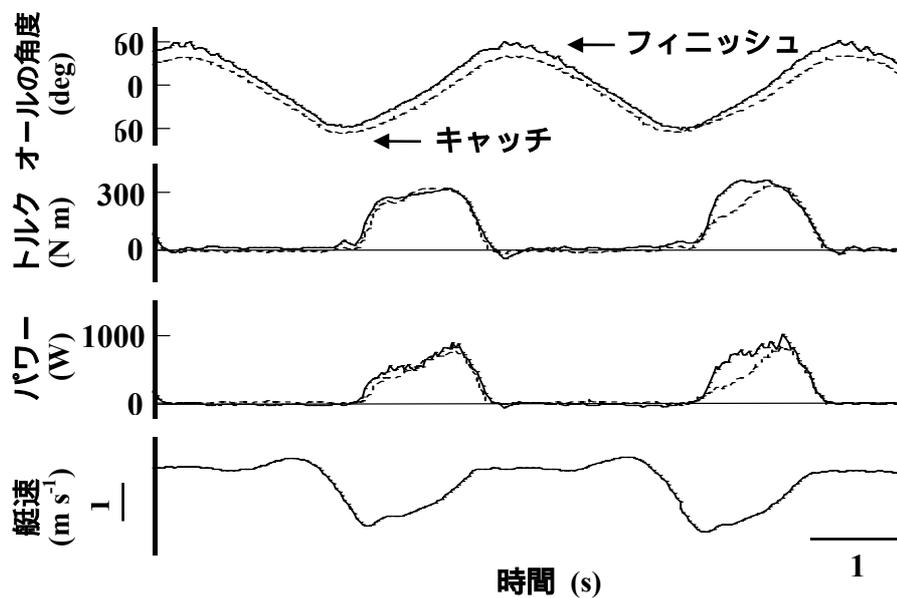


図 2.6a ローイングパワーの安定性が低い被験者のデータ

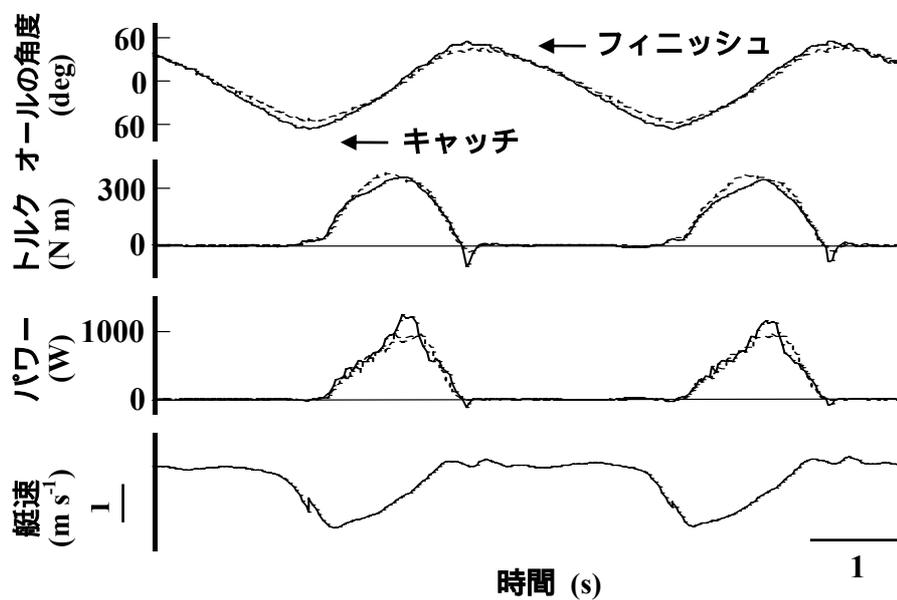


図 2.6b ローイングパワーの安定性が高い被験者のデータ

オールの角度 ,トルクおよびパワーにおいて ,実線は右手(ストロークサイド) ,
点線は左手 (バウサイド) のオールの値を示す

2.4.2 ローイングパワーの安定性とボートに作用する力の関係

クラッチの力積は漕手 オール ボート機構によってボートに作用する力である。したがって、本結果は、ローイングパワーの安定性がボートに作用する力にも影響を及ぼすことを示している。しかし、クラッチの力積の安定性(CVI)とクラッチの力積の平均値および300 mの艇速の平均値の間に相関関係は認められなかった。また、ローイングパワーの安定性(CVP)とクラッチの力積の安定性(CVI)の間にも相関関係は認められなかった。これらの結果から、ローイングパワーの安定性とクラッチの力積の平均値の間に認められた相関関係の因子として、クラッチの力積の安定性を認めることは困難である。そこで、漕手の不安定なパワー発揮によってボートの推進に作用する力が不安定になること、その結果、ボートが受ける水の抵抗が複雑に変化するためにボートの動揺が増大することが推察される。ボートの動揺の増大はオールからクラッチへ伝えられる力を減少させ(Wagner et al., 1993)、クラッチに作用する力積を低下させる。したがって、ローイングパワーの安定性は、漕手 オール ボート機構によって生じるボートの推進に作用する力の損失を抑えることにも貢献すると考えられる。

2.4.3 ローイングパワーの安定性と漕手のエネルギー消費の関係

ストロークレートの係わらず、1ストロークの仕事量は一定であった。しかし、300 m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。これらは、ストロークレートを増加させる時、1ストロークあ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 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 300 m の艇速の平均値と仕事量について、1 ストロークあたりの仕事量はレートによらず変化しなかったが、300 m を漕ぐ間の総仕事量はレートの増加とともに増大した。そして、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。これは、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 ストロークあたりのエネルギー消費量は、ほぼ変わらない。しかし、ボートを漕いでいる間のエネルギーの総消費量は大きくなる。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の増加に伴って低下すると考えられる。また、ローイングパワーの安定性が、ストロークレートを増加させても変わらなかったこと

は、ローイングパワーの安定性が漕手のエネルギー消費に関連しないことを示唆している。しかし、各試行の所要時間が2~3分で、エネルギー消費を検討するためには、運動時間が不十分だったことも考えられる。したがって、本研究だけではローイングパワーの安定性と漕手のエネルギー消費の間の関連について結論付けられない。今後、検討を要する課題である。

2.5 要約

本研究において、300 mの艇速の平均値とローイングパワーの平均値および安定性の間に相関関係が認められた。これは、艇速がローイングパワーの大きさのみならず、ローイングパワーの安定性の影響を受けることを示している。また、ローイングパワーの安定性はクラッチの力積の平均値と相関し、1ストローク艇速変動および艇速の安定性の間に負の相関関係が認められたことから、ローイングパワーの安定性がボートに作用する力に影響を及ぼし、1ストロークの艇速変動およびボートを漕ぐ全体の艇速に生じる変動を抑えることに貢献すると推察される。ローイングパワーの安定性が高いと艇速変動が減少して艇速低下が抑えられるため、漕手のパワー発揮によって得られる艇速が維持されることが考えられる。

また、クラッチの力積の安定性とクラッチの力積の平均値および艇速の平均値の間に、相関関係は認められなかったことから、漕手の不安定なパワー発揮によってボートの推進に作用する力が不安定になり、ボートが受ける水の抵抗が複雑に変化してボートの動揺が増大する。その結果、オールからクラッチへ

伝えられる力が減衰すると推察される。したがって、ローイングパワーの安定性は、漕手 オール ボート機構によって生じるボートの推進に作用する力の損失を抑えることにも貢献すると考えられる。

ストロークレイトに係わらず、1 ストロークの仕事量は一定であった。しかし、300 mを漕ぐ間の総仕事量はレイトの増加とともに増大した。これは、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。しかし、ローイングパワーの安定性は、ストロークレイトが増加しても変わらず、ローイングパワーの安定性と漕手のエネルギー消費の間に、明らかな関連は認められなかった。

第3章

ローイングパワーの安定性と最大酸素摂取量，
機械的効率および脚伸展パワーの関係

3.1 緒言

ボート競技の競技時間は5~7分間である。その競技時間から、本競技は持久性競技に類別される。そこで、先行研究において、漕手の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、乳酸および換気閾値などの生理学的指標が調べられてきた。そして、漕手は、高い $\dot{V}O_{2max}$ 、乳酸および換気閾値を示すことが報告されている。これは、漕手が高い有酸素性運動能力を持つことを示している (Secher, 1993; Shephard, 1998)。とりわけ、本競技のパフォーマンスと漕手の $\dot{V}O_{2max}$ の相関関係が指摘されている (Cosgrove et al., 1999; Secher, 1993; Shephard, 1998)。

ランニング、サイクリングおよびボート競技のような持久性運動において、効率 (酸素摂取量、または、エネルギー消費量に対する仕事量) は、選手の持久性運動能力の指標とされる $\dot{V}O_{2max}$ と同様に注目される。筋収縮によって消費されるエネルギーと機械的仕事の間比率は、機械的効率と定義される。本競技では、ボートの速度(艇速)が競われる。艇速は、主に、漕手がオールを牽引する仕事によって生み出される。その仕事は漕手の筋収縮によって行われる。そこで、ボート競技における機械的効率は、オールを牽引するときの仕事量と $\dot{V}O_2$ の仕事等価量の間比率になる (Fukunaga et al., 1986; Gaesser and Brooks, 1975)。機械的効率が高いことは、低いエネルギー消費で漕手が運動を持続できることを表し、持久性運動における有利さを示唆する。したがって、機械的効率は漕手のパフォーマンスを評価する重要な指標である。漕手の有酸素性運動能力が、ローイングパワーの産生と持続に貢献することを考慮すると、 $\dot{V}O_{2max}$ や機械的効率が高い漕手は、ローイングパワーの安定性が高いと考えられる。また、等速

性脚伸展 (Pyke et al., 1979), 等尺性脚伸展 (Secher, 1975) および脚伸展パワー (Yoshiga et al., 2000) が本競技のパフォーマンスに関係することも報告されている。そこで, ローイングパワーの安定性は, 漕手の有酸素性運動能力, 機械的効率および脚伸展パワーに関連すると推察される。

本研究では, この仮説を検証するために, エルゴメーター漕によって, 漕手のローイングパワーの安定性, $\dot{V}O_{2max}$ および機械的効率を計測した。そして, 漕手の $\dot{V}O_{2max}$ 機械的効率および脚伸展パワーがローイングパワーの安定性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

3.2 方法

3.2.1 被験者

被験者は大学生男性ボート選手 16 名であった。被験者の年齢, 身長, 体重, $\dot{V}O_{2max}$, 機械的効率, 2000 m 漕のタイムおよび脚伸展パワーを表 3.1 に示した。被験者の本競技の経験年数は 1~3 年で, 全員に 2000 m レースの経験があった。そして, 全員, 平生より, ローイングエルゴメーターを用いたトレーニングを行っていた。

表 3.1 被験者の特徴 (平均値 ± 標準偏差 ; n=16)

年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (l min ⁻¹)	体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	AE (%)	GE _{high load} (%)	2000m 漕 タイム (s)	脚伸展 パワー (W)
20.7	176.2	72.5	4.1	57.6	22.7	24.5	409.3	2241
± 0.9	± 7.3	± 6.4	± 0.4	± 3.8	± 3.3	± 1.7	± 12.2	± 286

AE : Apparent efficiency

GE_{high load} : 被験者がパワーを維持できた最も高い負荷におけるGross efficiency

3.2.2 実験方法

ローイングエルゴメーター（Concept2 社製 Concept2, Model C）を用い、疲労困憊に至る漸増負荷試験を行った。被験者は、ローイングエルゴメーターに乗って、1 分間の安静を保った後、最初に 150 W の負荷で漕ぎ始めた。運動開始から疲労困憊に至るまで、2 分毎に 50 W ずつ負荷を増加した。被験者は休みなく運動を続け、全員が疲労困憊に至った。ストロークレートは被験者の自由に任せた。そして、各負荷において、一定のパワーを維持して漕ぐように、被験者に指示した。試験中、被験者は、エルゴメーターのディスプレイに表示されるパワーを見て、発揮するパワーを調節した。そして、プレスバイプレス法により連続して呼気を採取し、電子スパイロメーター（ミナト医科学社製 Aeromonitor AE-300S）を用いて $\dot{V}O_2$ 、二酸化炭素排出量（ $\dot{V}CO_2$ ）および換気量（ $\dot{V}E$ ）を計測した。また、心電図計（ECG）（NECメディカルシステムズ社製 Cardiosuper 2E32）を用い、3 極誘導によって計測された心拍数（Heart rate: HR）を監視した。そして、10 s 毎に $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ および HR の平均値を求めた。また、試験中、ディスプレイに表示された 10 秒毎のパワーを記録した。

脚伸展パワー計測器（コンビ社製 Anaeropress 3500）によって、最大脚伸展パワーを計測した。被験者に 3 回の最大努力で脚伸展を行わせ、最大値を最大脚伸展パワーとした。

漸増負荷試験および脚伸展パワー計測の前、被験者は、2000 m エルゴメーター漕を行った。ストロークレートは被験者の自由とし、被験者は最大努力で 2000 m を漕いだ。そして 2000 m エルゴメーター漕のタイムを記録した。

3.2.3 $\dot{V}O_{2\max}$ の計測方法

漸増負荷試験において、(1) 負荷の増加に伴う $\dot{V}O_2$ の増加が生じず、 $\dot{V}O_2$ の推移に定常状態が認められ、かつ、(2) 1.2 以上の呼吸商 (R) が確認された時の $\dot{V}O_2$ を $\dot{V}O_{2\max}$ とした。同時に、最大二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_{2\max}$)、最大換気量 ($\dot{V}E_{\max}$) および最大HR (HR_{\max}) も計測した。各被験者の試験の前後で、校正用の手動ポンプを用いて、呼気の気流レートを校正した。また、基準の混合ガスを用いて、スパイロメーターを校正した。試験を行った室内の温度は 24℃、湿度は 46%であった。

3.2.4 分析

各負荷の終了前の 1 分間について、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ 、HR およびパワーを平均した。そして、Gaesser and Brooks (1975)の報告に従い、次式により各負荷の Gross efficiency (GE) を算出した。

$$\text{Gross efficiency (GE)} = \frac{W}{E} \times 100 (\%)$$

ここで、 W はパワーから換算した仕事量、 E は $\dot{V}O_2$ から求められる安静の代謝を含む仕事等価量である。そして、被験者がパワーを維持できた最も高い負荷におけるGEを $GE_{\text{high load}}$ とした。また、 W と E を直線回帰し、回帰直線の傾きから Apparent efficiency (AE) を求めた。 W と E の回帰直線の決定係数 (R^2) は 0.86 ~ 0.98 だった (金子, 2001)。

ローイングパワーの安定性について、各負荷において、パワーの変動係数 (coefficient of variance of power: CVP) を求めた (Smith and Spinks, 1995)。そし

て、被験者がパワーを維持できた最も高い負荷におけるCVP ($CVP_{\text{high load}}$)およびすべての負荷を通じて認められた最小のCVP (CVP_{min})の2つの指標により、ローイングパワーの安定性を評価した。

3.2.5 統計処理

特に記述しない限り、結果はすべて平均値と標準偏差で示した。すべての変数の分布について、正規性を検定し、正規分布であることを確認した。各負荷における $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、体重あたりの $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、GEおよびCVPについて、負荷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Tukeyの多重比較検定を行った。そして、変数間の相関関係を単回帰分析によって求めた。2000 mエルゴメーター漕のタイムを目的変数、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 、機械的効率 (AEおよび $GE_{\text{high load}}$)、脚伸展パワーおよびCVP ($CVP_{\text{high load}}$ および CVP_{min})を説明変数とした重回帰分析を実施した。このとき、ステップワイズ法を用い、変数追加の基準はF値の確率が0.05未満、変数削除の基準はF値の確率が0.1以上の項目とした。有意水準は危険率5%未満とした。

3.3 結果

すべての被験者が、300 Wの負荷まで、それぞれの負荷において、2 分間、パワーを維持した。そして、その後、 $\dot{V}O_{2max}$ が現れた。16 名の被験者の内、3 名が 350 Wの負荷まで、1 名が 400 Wの負荷までパワーを維持できた。

$\dot{V}O_2$ 、GEおよびCVPについて、すべての被験者が、2 分間、パワーを維持した 300 Wの負荷まで、各負荷における変化を図 3.1 に示した。 $\dot{V}O_2$ は、 1.9 ± 0.2 から 3.8 ± 0.3 l min⁻¹まで、有意に増加した。そして、体重あたりの $\dot{V}O_2$ も、 26.4 ± 3.2 から 52.7 ± 4.8 ml kg⁻¹ min⁻¹まで、有意に増加した。GEは 300 Wとその他の負荷の間に有意な差異が認められた。また、CVPは高い負荷で低い値を示した。CVP は 200 W以下と 250 W以上の間に有意な差異が認められた。そして 150 と 200 Wの間および 250 と 300 Wの間には、有意な差異が認められなかった。

2000 m漕のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ 、脚伸展パワー、 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の関係を図 3.2 に示した。2000 m漕のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ 、脚伸展パワー、 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の間に有意な相関関係が認められた。2000 m漕のタイムとAEおよび $GE_{high\ load}$ の間に有意な関係は認められなかった。2000 mエルゴメーター漕のタイムを目的変数、 $\dot{V}O_{2max}$ 、機械的効率 (AEおよび $GE_{high\ load}$)、脚伸展パワーおよびCVP ($CVP_{high\ load}$ および CVP_{min}) を説明変数としてステップワイズ法を用いた重回帰分析を実施した結果、 $\dot{V}O_{2max}$ 、脚伸展パワーおよびCVP ($CVP_{high\ load}$ および CVP_{min}) が採用された。AEおよび $GE_{high\ load}$ は採用されなかった (表 3.2)。

$\dot{V}O_{2max}$ および体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ と $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の関係を図 3.3 に示した。 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の両方とも $\dot{V}O_{2max}$ の間に有意な関係は認められな

かった。しかし、体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意な相関関係が認められた。

図 3.4 に 2000 mエルゴメーター漕のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ の単回帰モデルにおける残差と $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の関係を示した。 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の両方とも、2000 mエルゴメーター漕のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ の単回帰モデルにおける残差との間に相関関係が認められた。これは、本競技のパフォーマンスについて、 $\dot{V}O_{2max}$ では説明し尽されない要因に、ローイングパワーの安定性が関係していることを示していると考えられる。

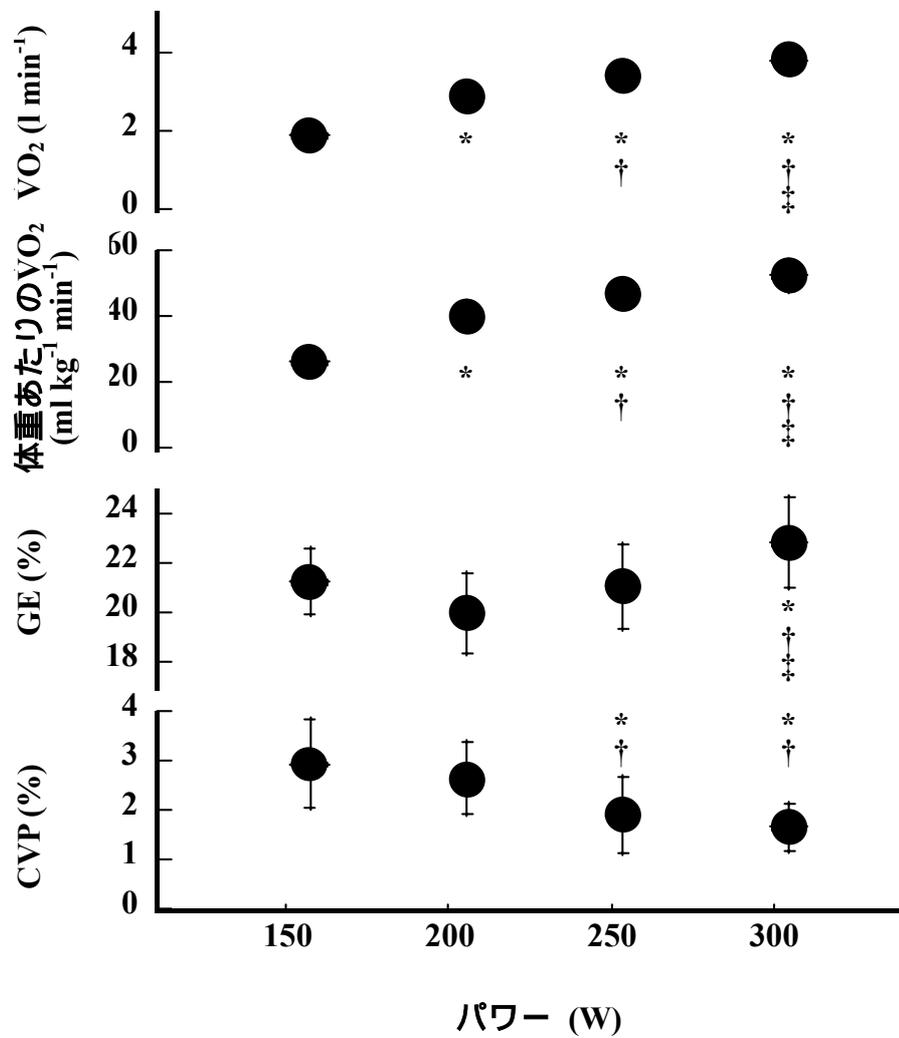


図 3.1 各負荷における酸素摂取量，機械的効率（GE）および CVP

*は 150 W の値との有意差，†は 200 W の値との有意差，‡は 250 W の値との有意差を示す（ $P < 0.05$ ）

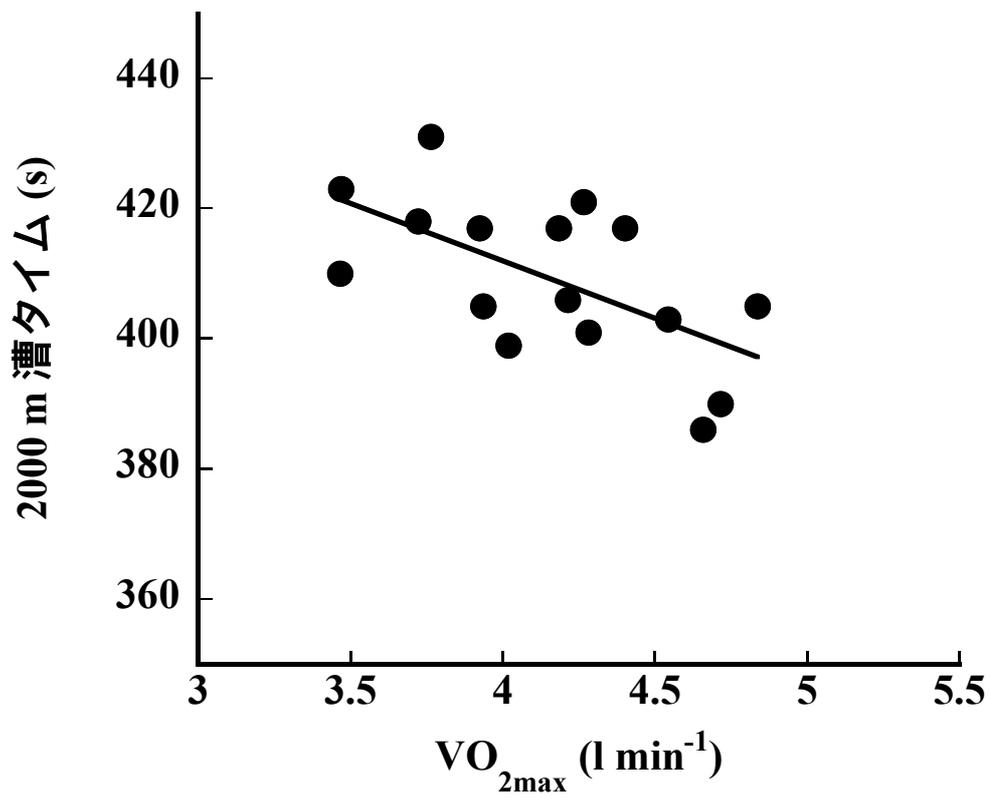


図 3.2a 2000 mエルゴメーター漕タイムとVO_{2max}の関係

$y = 483 - 17.6x$ $r = -0.61$ 推定値の標準誤差 = 10.0 (s)

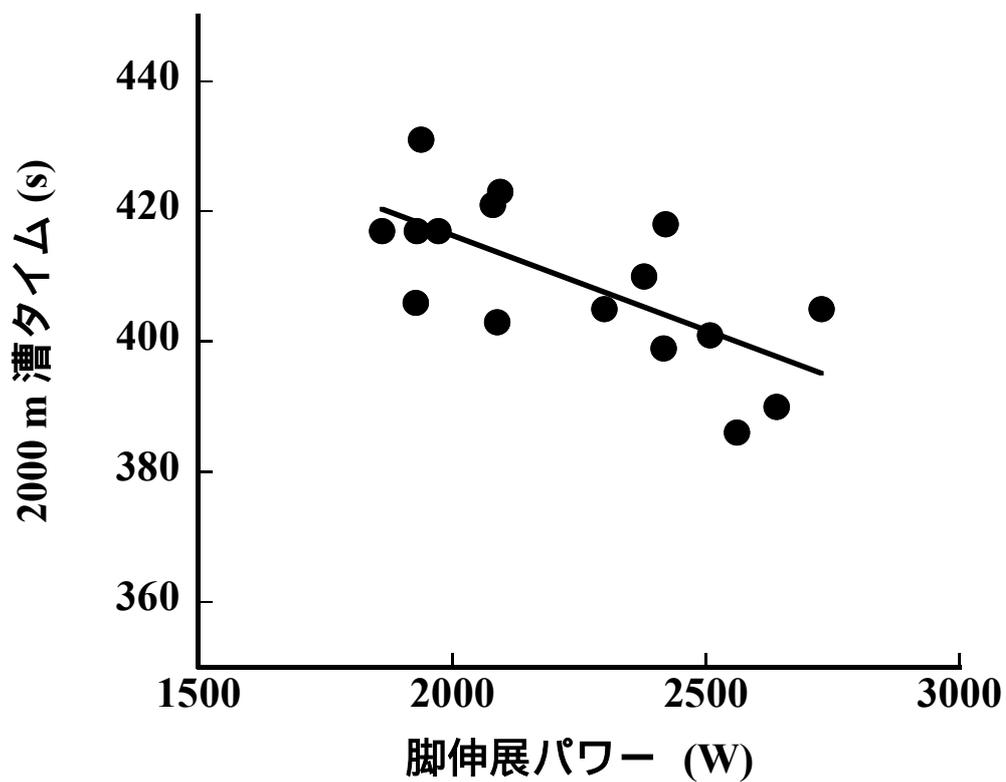


図 3.2b 2000 m エルゴメーター漕タイムと脚伸展パワーの関係

$y = 474 - 0.029x$ $r = -0.68$ 推定値の標準誤差 = 9.2 (s)

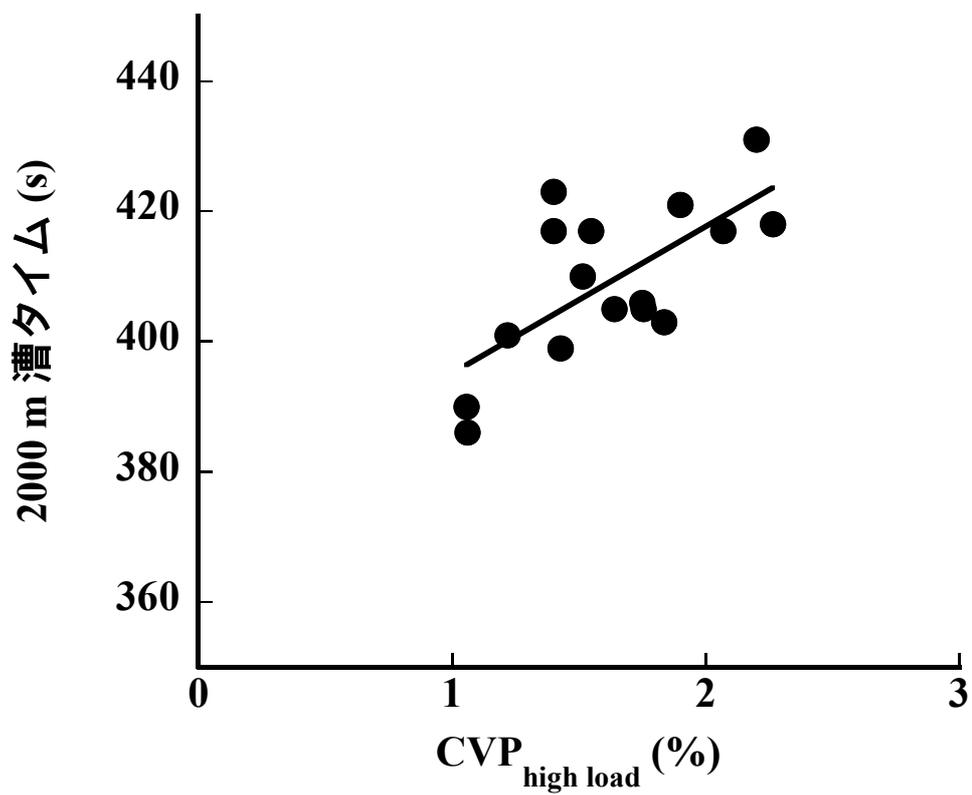


図 3.2c 2000 mエルゴメーター漕タイムとCVP_{high load}の関係

$y = 373 + 22.6x$ $r = 0.69$ 推定値の標準誤差 = 9.2 (s)

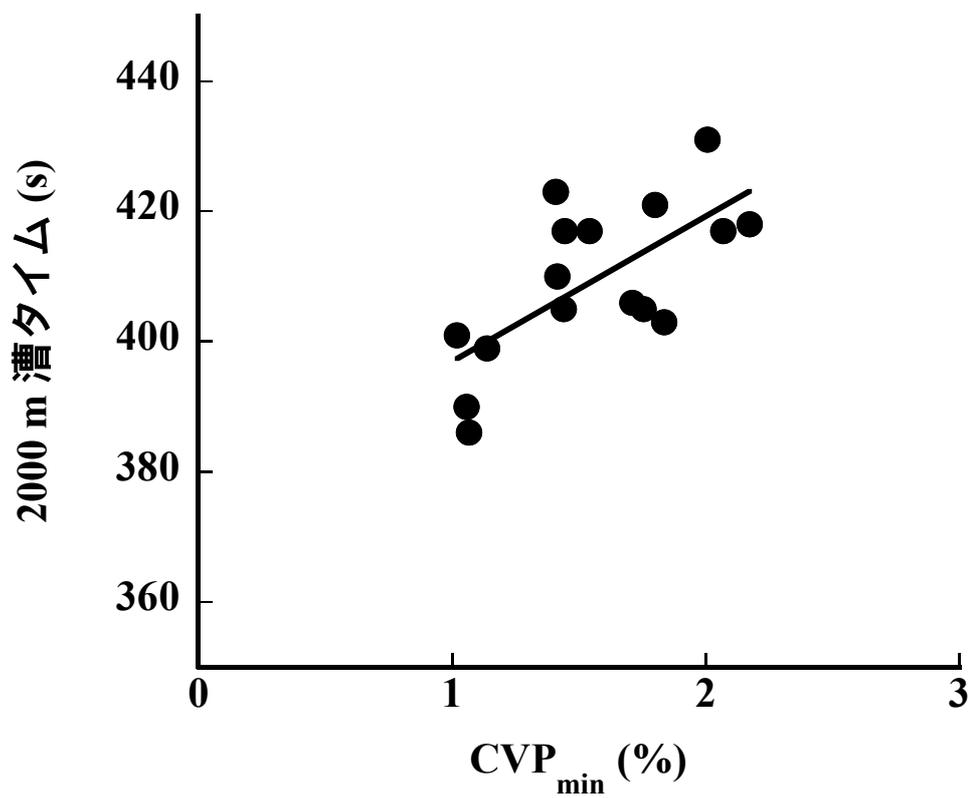


図 3.2d 2000 mエルゴメーター漕タイムとCVP_{min}の関係

$y = 375 + 22.2x$ $r = 0.68$ 推定値の標準誤差 = 9.3 (s)

表 3.2 2000 mエルゴメーター漕タイムと $\dot{V}O_{2max}$ ，脚伸展パワーおよびCVPの重回帰モデル (n=16, *P<0.05)

目的変数	説明変数	非標準化係数		標準化偏回 帰係数	定数 (s)	重相関 係数 (r)	決定係数 (R ²)	調整済み 決定係数 (R ²)	推定値の 標準誤差 (s)
		偏回帰係数	標準誤差						
2000 m 漕 (s)	$\dot{V}O_{2max}$	(l min ⁻¹)	-13.0	3.57	490	0.91*	0.83	0.79	5.6
	脚伸展パワー	(W)	-0.020	0.006					
	CVP _{high load}	(%)	11.3	4.54					
2000 m 漕 (s)	$\dot{V}O_{2max}$	(l min ⁻¹)	-13.4	3.68	492	0.91*	0.82	0.77	5.8
	脚伸展パワー	(W)	-0.020	0.006					
	CVP _{min}	(%)	10.6	4.79					

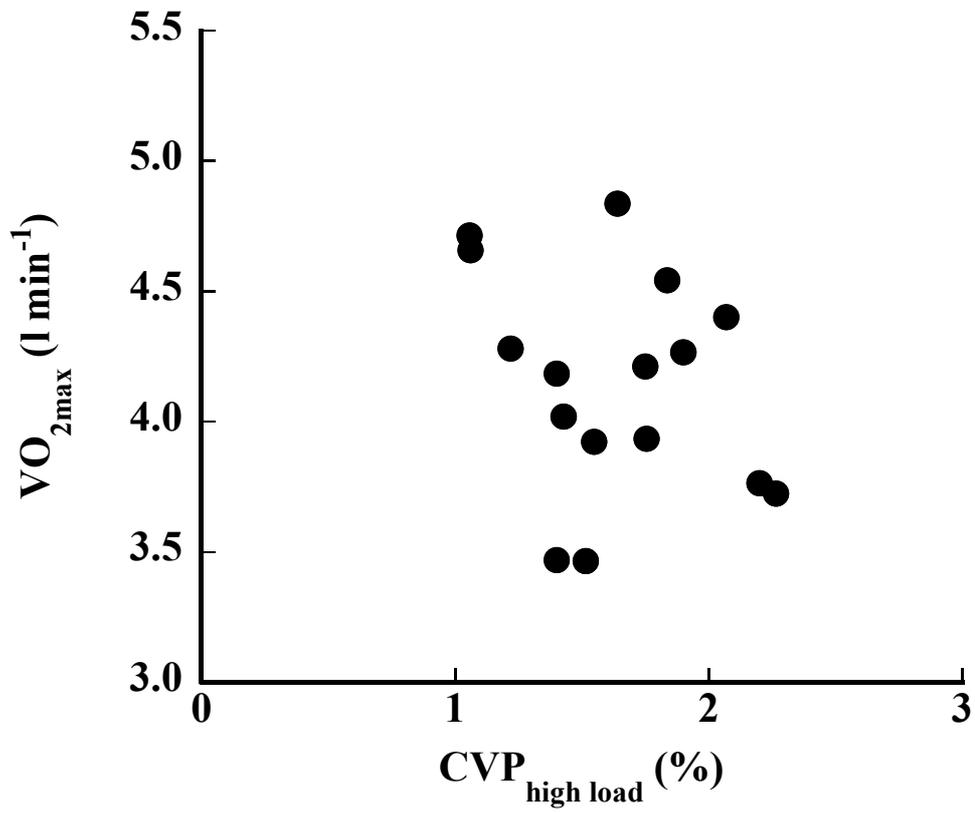


図 3.3a VO_{2max} と $CVP_{high\ load}$ の間の関係

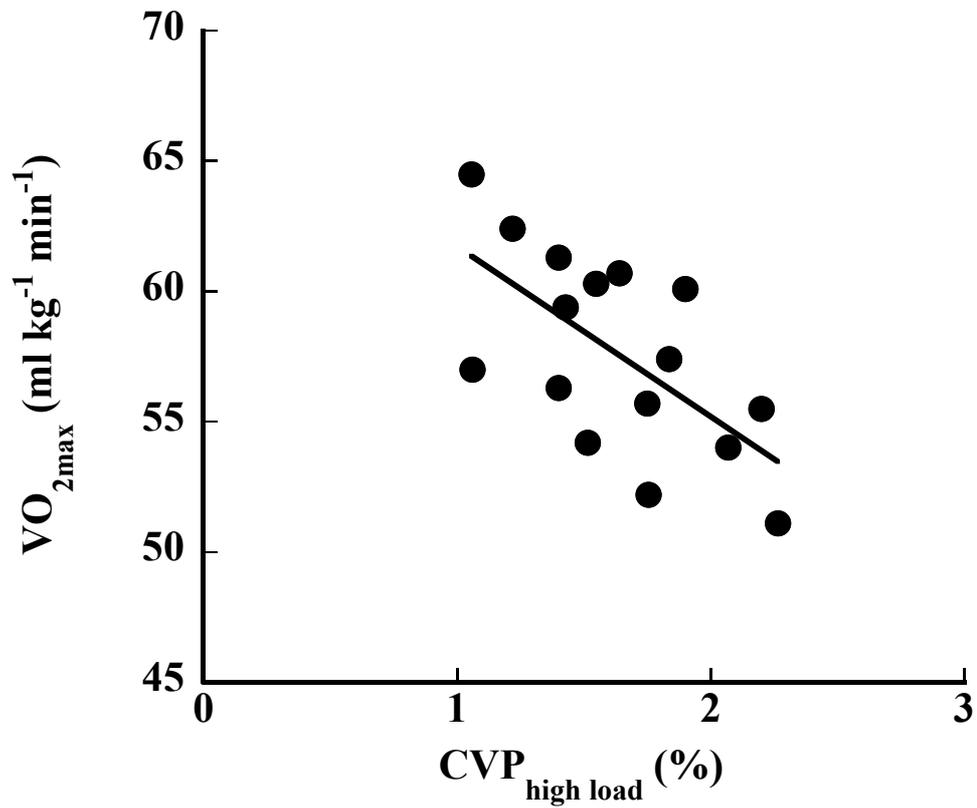


図 3.3b 体重あたりのVO_{2max}とCVP_{high load}の関係

$y = 68.3 - 6.55x$ $r = -0.64$ 推定値の標準誤差 = 3.03 (ml kg⁻¹ min⁻¹)

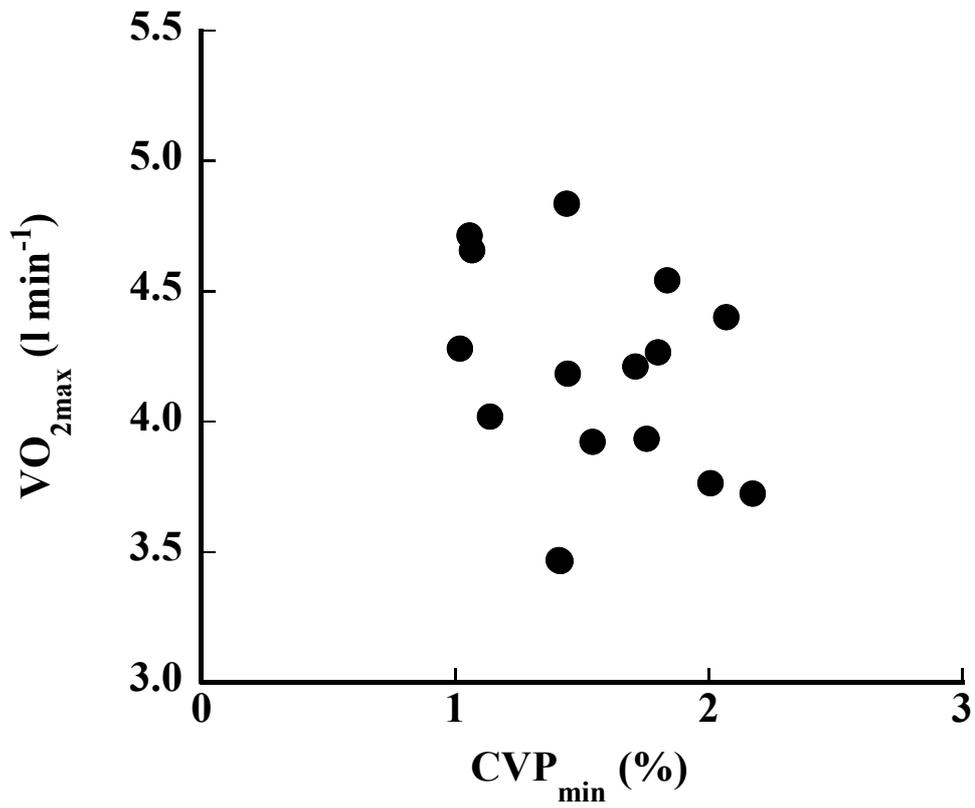


図 3.3c VO_{2max} と CVP_{min} の関係

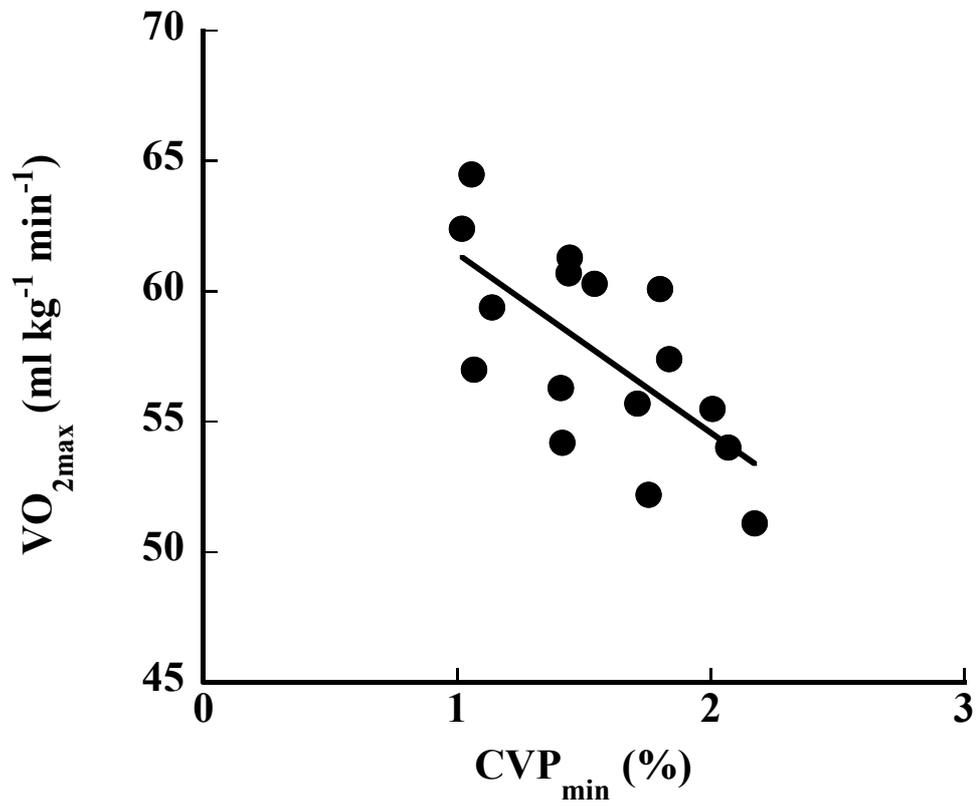


図 3.3d 体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ と CVP_{min} の関係

$y = 68.3 - 6.88x$ $r = -0.67$ 推定値の標準誤差 = 2.91 (ml kg⁻¹ min⁻¹)

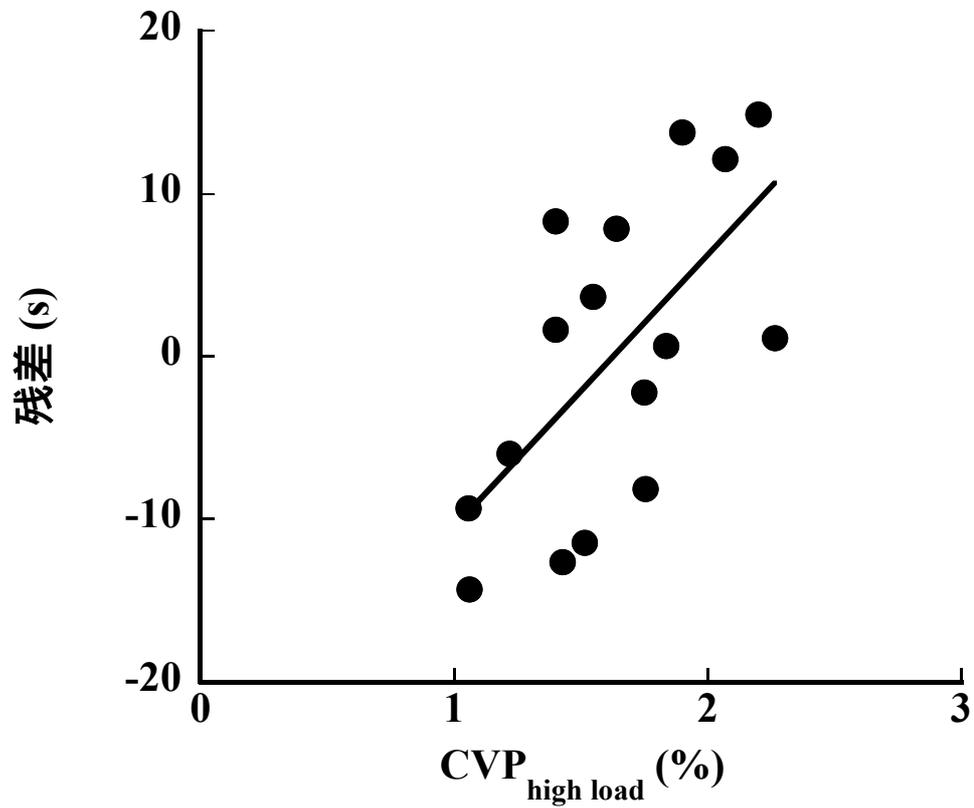


図 3.4a 2000 mエルゴメーター漕のタイムとVO_{2max}の単回帰モデルにおける残差とCVP_{high load}の関係

$$y = -27.3 + 16.8x \quad r = 0.64 \quad \text{推定値の標準誤差} = 7.6 \text{ (s)}$$

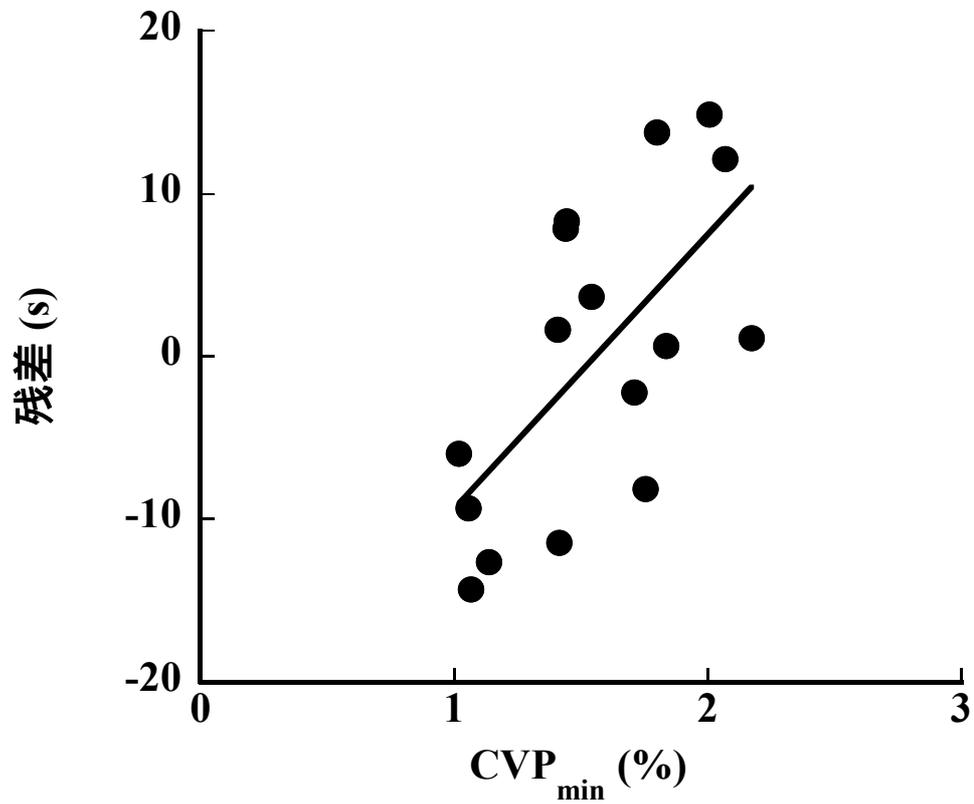


図 3.4b 2000 mエルゴメーター漕のタイムとVO_{2max}の単回帰モデルにおける残差とCVP_{min}の関係

$$y = -26.2 + 16.8x \quad r = 0.65 \quad \text{推定値の標準誤差} = 7.6 \text{ (s)}$$

3.4 論議

本研究では、次の知見が得られた。2000 mエルゴメーター漕のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ 、脚伸展パワー、 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の間に相関関係が認められた。そこで、 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} が本競技のパフォーマンスに関連することが示唆された。 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の両方とAE、 $GE_{high\ load}$ および脚伸展パワーの間には有意な関係が認められなかった。また、 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の両方とも、 $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意な関係は認められなかった。しかし、 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の両方とも、体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ との間に相関関係が認められた。そして、 $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の両方とも、2000 mエルゴメーター漕のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ の単回帰モデルにおける残差との間に相関関係が認められた。これは、本競技のパフォーマンスについて、 $\dot{V}O_{2max}$ では説明し尽されない要因に、ローイングパワーの安定性が関係することを示している。

3.4.1 ローイングパワーの安定性と2000 mエルゴメーター漕の関係

先行研究では、漕手がオールを牽引する力の安定性について、漕手の競技レベルとの間の関連が報告されている (Smith and Spinks, 1995)。本研究において、ほぼ同じ競技レベルの大学生漕手でさえ、ローイングパワーの安定性と2000 mエルゴメーター漕のタイムの間に相関関係が認められたことから、ローイングパワーの安定性が本競技のパフォーマンスに貢献することが確認された。

本競技のパフォーマンスが漕手の $\dot{V}O_{2max}$ と関係することは広く認められている (Cosgrove et al., 1999; Kramer et al., 1994; Secher, 1983)。しかし、 $\dot{V}O_{2max}$ が同等の漕手においてもパフォーマンスは異なる (Schwanitz, 1991; Steinacker et al., 1986)。これは、本研究における2000 mエルゴメーター漕と $\dot{V}O_{2max}$ の間の単回帰モデルにおいても認

められた。2000 mエルゴメーター漕のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ の単回帰モデルにおける残差と $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の間に相関関係が認められたことは、ローイングパワーの安定性が、 $\dot{V}O_{2max}$ が同等の漕手間におけるパフォーマンスに差異を生じさせる因子であることを示唆している。エルゴメーター漕では、空気抵抗を受ける回転板の回転状態がパフォーマンスに反映される。漕手が安定したローイングパワーを発揮するとき、抵抗の変化が小さく、回転板は一定の回転を続ける。これが、回転板の回転を持続させることに有利にはたらくと考えられる。Dal Monte and Komor (1989)は、ドライブ中の力のピーク値について、ストローク毎に生じるドライブの力のピーク値の変動がパフォーマンスに影響を及ぼすことを指摘している。漕手が持続して発揮するローイングパワーの大きさは $\dot{V}O_{2max}$ に規定される。しかし、同等のローイングパワーが発揮されても、エルゴメーターに伝えられる力は、ローイングパワーの安定性によって異なると考えられる。

3.4.2 ローイングパワーの安定性と最大酸素摂取量および脚伸展パワーの関係

2000 m漕中に消費されるエネルギーのおよそ70~80%は有酸素性代謝により、残りは無酸素性代謝によって供給される(Hagerman et al., 1978; Steinacker, 1993)。これは、2000 m漕が漕手の有酸素性エネルギー供給能力に依存することを示している。本研究において、体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ とCVPの間に認められた相関関係($CVP_{high\ load}$: $r = -0.64$, $P < 0.05$ および CVP_{min} : $r = -0.67$, $P < 0.05$)は、有酸素性エネルギー供給能力の高い被験者がローイングパワーの安定性が高いことを示唆している。本研究において、 $\dot{V}O_{2max}$ と $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} 間には有意な関係が認められなかった。先行研究において、本競技のパフォーマンスと漕手の $\dot{V}O_{2max}$ の間には相関関係が認められる。しかし、体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ との間の関係は弱い。これは、優秀な漕手には体重が重い漕手が多

いことに起因する (Secher, 1993; Shephard, 1998; Steinnacker, 1993). 本研究の被験者は先行研究で報告された被験者より体重が軽かった . そこで , ローイングパワーの安定性と $\dot{V}O_{2max}$ の関係において , 体重の重い , いわゆる重量級クラスの被験者では異なる結果が得られることが考えられ , 今後 , 研究が必要である . しかし , 有酸素性エネルギー供給能力の高い漕手は , ボート漕ぎ運動を行っている間 , エネルギー供給が安定しているため , 変動の少ない安定したローイングパワーの発揮を繰り返すことができると考えられる .

また , CVP と脚伸展パワーの間に有意な関係が認められなかったことは , ローイングパワーの安定性が脚伸展で発揮されるパワーの大きさとの関係が弱いことを示唆している . 競技中のストロークで発揮される力のピーク値は , 瞬発的な力を発揮するスポーツやスプリント系のスポーツに比べて低い . しかし , 大きな力発揮を持続することが漕手の力発揮特性に挙げられる (Hagerman, 1994). 先行研究では , 脚伸展パワーの大きさと持続力の関係は明らかでないが , ローイングパワーの安定性は脚伸展パワーの大きさと異なる能力 , すなわち , ローイングパワーの持続力に関係すると推察される .

3.4.3 ローイングパワーの安定性と機械的効率の関係

Anderson et al. (2005)は , 理論上 , ローイングパワーの変動が大きい場合に比べて小さい場合の方が , 運動全体におけるパワーの合計が低くなり , 効率的であると考察している . また , Minetti et al. (2001)は , 歩行において , 歩行速度の変動がある範囲を超えるとエネルギー消費が増加することを示している . これらから , 本競技において , CVPが小さい , すなわち , ローイングパワーの安定性が高いことが効率を高めることに貢献することが推察される . しかし , $CVP_{high\ load}$ および CVP_{min} の両方とAEおよび

GE_{high load}の間に相関関係は認められなかった。機械的効率は、筋の収縮様式（コンセントリック、または、エキセントリック）や機械的仕事およびエネルギー消費量の計測方法といった様々な要因の影響を受ける（Fukunaga et al., 1986）。本研究では、ローイングエルゴメーターによる連続した漸増負荷試験によって機械的効率を求めた。その結果、AEは 18.3 ~ 27.7%、GE_{high load}は 21.1 ~ 26.1%で、先行研究に近い値であった（Cunningham et al., 1975; Di Prampero et al., 1971; Fukunaga et al., 1986; Hagerman et al., 1978; Jensen et al., 1996; Steinacker et al., 1986）。そこで、機械的効率の計測および計算方法に大きな問題はなかったと考えられる。

本研究において、AEおよびGE_{high load}と 2000 m漕のタイムの間に有意な関係は認められなかった。Jensen et al.(1996)は、6 分間のローイングタンク漕における平均パワー（すべてのストロークのパワー（キャッチ フィニッシュ）の平均値）とGEの間に有意な関係が認められなかったことを報告している。彼らは、その原因について、ストロークサイクル（ドライブとフォワードの両方）の漕手の動作が一様でないことを指摘している（Jensen et al., 1996）。また、ボート漕ぎ運動は間欠的な運動である。さらに、ストロークにおけるエネルギー消費量は、キャッチ フィニッシュ フォワードで計算される。一方、仕事量は、フォワードでオールに力が加えられないため、キャッチ フィニッシュで計算される。しかし、フォワード中、漕手は、次のストロークに備えるために膝や腰の屈曲を行う。このようなボート漕ぎ運動の特性は、AEおよびGEの計算に反映されていない。したがって、本研究において、ローイングパワーの安定性とAEおよびGE_{high load}の間に有意な関係が認められなかったことから、ローイングパワーの安定性がボート漕ぎ運動の効率と関係しないとは、単純に結論付けられない。ローイングパワーの安定性と機械的効率については、さらに研究が必要であ

る。

3.5 要約

多くの先行研究において、漕手の $\dot{V}O_{2max}$ と本競技のパフォーマンスの間の相関関係は報告されている。また、等速性脚伸展(Pyke et al., 1979)、等尺性脚伸展(Secher, 1975)および脚伸展パワー(Yoshiga et al., 2000)が本競技のパフォーマンスに関係することも報告されている。本結果は、これらの先行研究と一致するものであった。先行研究では、漕手がオールを牽引する力の安定性について、漕手の競技レベルとの間の関連が報告されている(Smith and Spinks, 1995)。しかし、競技パフォーマンスとの間の関係は調べられていない。本研究において、ほぼ同じ競技レベルの大学生漕手でさえ、ローイングパワーの安定性と2000 mエルゴメーター漕のタイムの間に相関関係が認められたことから、ローイングパワーの安定性が本競技のパフォーマンスに貢献することが確認された。そして、ステップワイズ法による2000 mエルゴメーター漕のタイムの重回帰モデルにおいて、CVP、 $\dot{V}O_{2max}$ および脚伸展パワーの3つの変数が採用されたことから、ローイングパワーの安定性が、漕手の $\dot{V}O_{2max}$ および脚伸展パワーと同様に本競技のパフォーマンスに関係することが明らかにされた。そして、ローイングパワーの安定性と体重あたりの $\dot{V}O_{2max}$ の間に相関関係が認められ、脚伸展パワーとの間に有意な関係が認められなかったことから、ローイングパワーの安定性はローイングパワーの持続力に関係すると推察される。

第 4 章

ローイングパワーの安定性とクリティカルパワー の関係

4.1 緒言

持続的な運動において、遂行した仕事と疲労困憊に至るまでの所要時間の間には直線関係が認められる（仕事 時間関係）。この関係に基づいて、クリティカルパワー (Critical power: CP) という概念が提唱されている (Monod and Scherrer, 1965)。仕事 時間関係の回帰直線の傾きが CP と呼ばれ、理論的に疲労を引き起こさないで持続されるパワーの最大値と定義される (Monod and Scherrer, 1965)。そして、CP は有酸素性代謝によるエネルギー供給の ATP 合成率を表している (Poole et al., 1990; Housh et al., 1991; McLellan and Cheung, 1992)。また、仕事 時間関係において、もうひとつのパラメーターである y 切片は、個人の無酸素性運動能力 (anaerobic work capacity: AWC) を表している (Monod and Scherrer, 1965; Poole et al., 1988; Jenkins and Quigley, 1991)。AWC には、リン酸化反応や無酸素性代謝によって産生されるエネルギーが反映されている (Bishop et al., 1998)。したがって、仕事 時間関係を求めることにより、個人の有酸素性および無酸素性代謝によるエネルギー供給能力が同時に推定される。

クリティカルパワーの概念は、様々なスポーツに適用できる。ランニング (Kachouri et al., 1996; Pepper et al., 1992)、サイクリング (Jenkins and Quigley, 1990; McLellan and Cheung, 1992) および水泳 (Wakayoshi et al., 1992; Wakayoshi et al., 1993) では、有酸素性の運動と CP の関連および無酸素性の運動と AWC の関連が報告されている。しかし、ボート競技では、ほとんど研究されていない (Kennedy and Bell, 2000)。そのため、本競技のパフォーマンスと CP および AWC の間の関係はよく分かっていない。先行研究において、本競技のパフォーマンスと漕手の有酸素性運動能力が密接に関連すると示唆されている (Cosgrove et al., 1999; Secher, 1993; Shephard, 1998)。また、ボートレースのスタートにおいて、無酸素性代謝によるエネルギー供給が重要であるこ

とも指摘されている (Secher, 1993; Shephard, 1998) .

先行研究の知見から , ローイングパワーの安定性は , CP および AWC , とりわけ CP と関係することが考えられる . この仮説を検証するため、本研究では , エルゴメーター漕による仕事 時間関係から CP および AWC を求めた . そして , ローイングパワーの安定性と CP , AWC および 2000 m エルゴメーター漕の成績の間関係を明らかにすることを目的とした .

4.2 方法

4.2.1 被験者

被験者は大学生男性ボート選手 9 名であった . 被験者の年齢 , 身長および体重は , 19.8 ± 0.8 歳 , 177.2 ± 4.1 cm および 73.9 ± 7.4 kg であった . 被験者の本競技の経験年数は 1 ~ 3 年で , 全員 2000 m レースの経験をもっていた . そして , 全員が , 平生より , ローイングエルゴメーターを用いたトレーニングを行っていた . 本研究では , ローイングエルゴメーターを用いて , (1) 3 つの強度 , それぞれを持続するエルゴメーター漕 , (2) 2000 m エルゴメーター漕および (3) サイクリングエルゴメーターによる最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の計測を行った .

4.2.2 クリティカルパワーテストおよびローイングパワーの安定性の計測

被験者は , 事前に行った最大ローイングパワー (パワー) テストによって設定された 3 つの強度 , それぞれを持続するエルゴメーター漕 (Concept2 社製 Concept2 , Model C) を行った . 最大パワーテストにおいて , 被験者は最大努力による 10 ストロークを 3 回漕いだ . そして , エルゴメーターのディスプレイに表示されたパワーの最大値を最大パワーとした . 最大パワーの 50 , 60 および 70% の値を算出し , それぞれの値を

目標値とした (50 , 60 および 70% MAX). 60 および 70% MAX 試行は , 試行間に 30 分の休息を挟んで同じ日に行った . 事前の試験において , 50% MAX 試行を行うと被験者は疲労困憊に至り , 他の試行を行うことができなかった . そこで , 50% MAX 試行は他の 2 つの試行から 1 ~ 3 日後に行った . 本研究では , 試行後の被験者の回復状態に合わせて , 試行の順序を決定した . 試行の順序が CP および AWC の推定に及ぼす影響については , 今後 , 検討を要する課題である . 試行中 , ディスプレイに表示された 10 秒毎のパワー , 500 m 毎のパワーの平均値 (平均パワー) とスプリットタイムを記録した .

各試行において , パワーの目標値を維持して , できるだけ長く漕ぐように被験者に指示した . 各試行とも , 目標値の 10% を下回るパワーが , 3 回ディスプレイに表示された時点を終了時点とした . 運動開始から終了時点までを , 被験者が疲労困憊に至るまでの所要時間とした .

疲労困憊に至るまでの所要時間に対する仕事 (パワー \times 疲労困憊に至るまでの所要時間) を図示し , 仕事 時間関係を直線回帰した (図 4.1). そして , 回帰直線の傾きから CP を , y 切片から AWC を求めた (Monod and Scherrer, 1965; Hill, 1993) .

ローイングパワーの安定性は 50 および 60% MAX 試行のパワーについて分析した . パワーに生じる低下のトレンドを除去するために , パワーの階差 (隣り合ったデータの間の差) を求めた . そして , 運動開始の 30 秒後から運動終了時点の 30 秒前までの間のデータについて , 変動係数 (coefficient of variance of power: CVP) を求めて評価した (Smith and Spinks, 1995) . また , 50 および 60% MAX 試行の CVP をそれぞれ $CVP_{50\% \text{ MAX}}$ および $CVP_{60\% \text{ MAX}}$ とした .

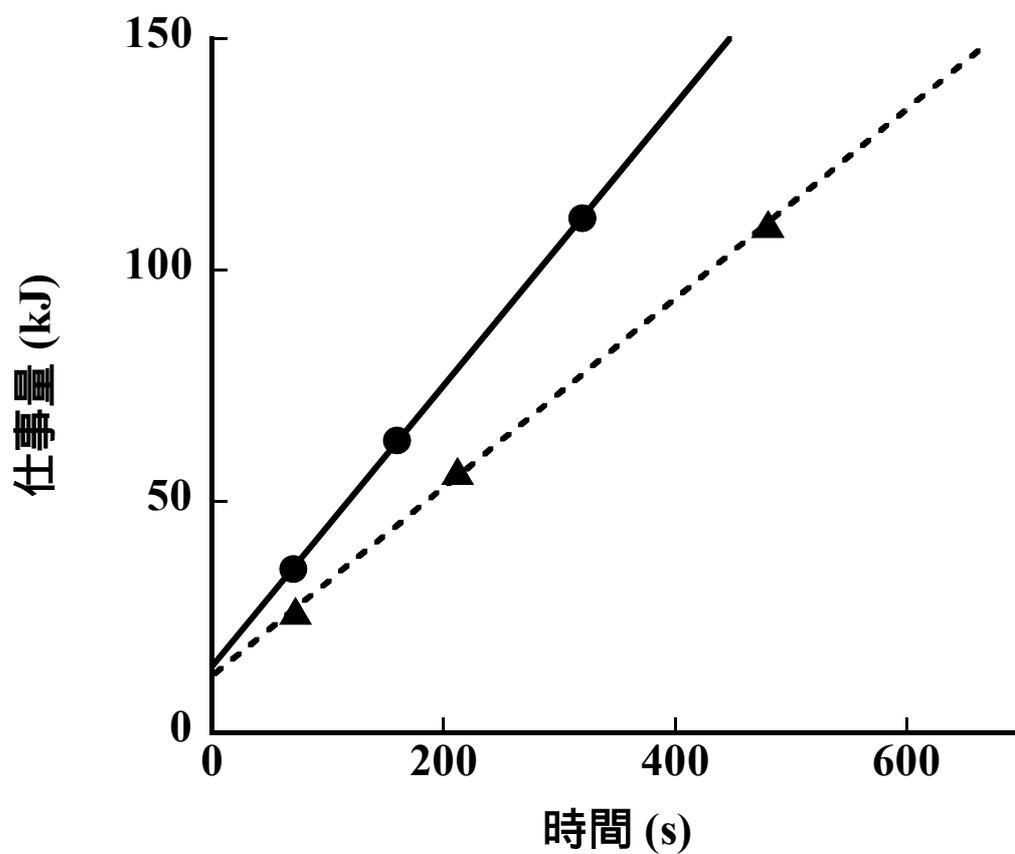


図 4.1 2 名の被験者の仕事-時間関係

実線はCP が最も高かった被験者(CPは 0.303 kJ s^{-1} あるいは 303 W , AWCは 14.3 kJ) ,

点線は最も低かった被験者(CP は 0.238 kJ s^{-1} あるいは 238 W , AWCは 13.7 kJ)の

仕事-時間関係

4.2.3 ローイングパフォーマンステスト

ローイングパフォーマンステストとして、2000 m エルゴメーター漕を行った。10分間のウォーミングアップの後、被験者は最大努力で2000 m を漕いだ。被験者には、レースをシミュレーションし、スタートダッシュおよびラストスパートを加えて漕ぐように指示した。ストロークレートは被験者の自由に任せた。試行中、ディスプレイに表示された500 m 毎の平均パワーとスプリットタイムを記録した。

4.2.4 $\dot{V}O_{2max}$ の計測

被験者は、サイクリングエルゴメーター（Monark社製 814E）により疲労困憊に至る連続した漸増負荷運動を行った。本研究ではローイングエルゴメーターを利用できなかったため、サイクリングエルゴメーターを用いて $\dot{V}O_{2max}$ を計測した。先行研究において、ローイングエルゴメーターを用いて計測した $\dot{V}O_{2max}$ とサイクリングエルゴメーターを用いて計測した $\dot{V}O_{2max}$ の間に、有意な差異は認められなかったと報告されている（Cunningham et al., 1975）。本研究で得られた $\dot{V}O_{2max}$ は、ローイングメーターを用いて計測した値（Secher, 1993）と同じか、それより低いかもしれない。試験中、プレスバイプレス法により連続して呼気を採取し（ミナト医科学社製Respiromonitor RM300i）、ガス分析器（ミナト医科学社製Medical gas analyzer MG360）を用いて酸素摂取量を計測した。心電図計（ECG）（フクダ電子社製Bio-scope 5211）を用いて、3極誘導によって計測された心拍数（Heart rate: HR）を監視した。15 s毎に酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）およびHRの平均値を求めた。試験の前後で、較正用の手動ポンプを用いて、呼気の気流レートを較正した。また、基準の混合ガスを用いて、ガス分析器を較正した。

被験者は、サイクリングエルゴメーターに乗って、1分間の安静を保った後、最初

に 0.5 kp の負荷でサイクリングを始めた。運動開始から 12 分まで、4 分毎に 0.5 kp ずつ負荷を増加した。その後、疲労困憊に至るまで、さらに 1 分毎に 0.5 kp ずつ負荷を増加した。被験者は休みなく運動を続け、全員が疲労困憊に至った。試験を通して、60 rpm のペダリングレートを維持するように被験者に指示した。試験を行った室内の温度は 17.8℃、湿度は 38% であった。(1) 負荷の増加に伴う $\dot{V}O_2$ の増加が生じず、 $\dot{V}O_2$ の推移に定常状態が認められ、かつ、(2) 1.2 以上の呼吸商 (R) が確認された時の $\dot{V}O_2$ を $\dot{V}O_{2max}$ とした。同時に、最大 HR (HR_{max})、最大換気量 (VE_{max}) および最大二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_{2max}$) も計測した。

4.2.5 統計処理

特に記述しない限り、結果はすべて平均値と標準偏差で示した。すべての変数の分布について、正規性を検定し、正規分布であることを確認した。そして、変数間の相関関係を単回帰分析によって求めた。2000 m 漕における 500 m 毎の平均パワーとスプリットタイムについて、距離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 Tukey の多重比較検定を行った。有意水準は危険率 5% 未満とした。

4.3 結果

4.3.1 クリティカルパワー

最大パワーの平均値は、 633 ± 63 W だった。3つの試行における疲労困憊に至るまでの所要時間、平均パワーおよび仕事を表 4.1 に示した。すべての被験者の仕事時間関係において、高い直線関係が認められた。そして、CP は 271 ± 21 W、AWC は 13.4 ± 3.9 kJ であった。また、CP の推定値の標準誤差、すなわち、回帰直線の傾きの平均値の標準誤差は 8 ± 5 W、AWC の推定値の標準誤差すなわち、y 切片の平均値の標準誤差は 1.7 ± 1.8 kJ であった。

4.3.2 $\dot{V}O_{2\max}$

被験者の $\dot{V}O_{2\max}$ は 4.0 ± 0.3 l min⁻¹、体重あたりの $\dot{V}O_{2\max}$ は 53.8 ± 5.7 ml kg⁻¹ min⁻¹ であった。CP と $\dot{V}O_{2\max}$ および体重あたりの $\dot{V}O_{2\max}$ の間には有意な相関関係が認められた ($\dot{V}O_{2\max}$: $r = 0.68$ および体重あたりの $\dot{V}O_{2\max}$: $r = 0.67$) (図 4.2)。

4.3.3 2000 m エルゴメーター漕

2000 m 漕における 500 m 毎の平均パワーおよびスプリットタイムを表 4.2 に示した。1000 ~ 1500 m まで 500 m の平均パワーおよびスプリットタイムは低下した。しかし、1000 ~ 1500 m と 1500 ~ 2000 m の平均パワー間には有意な差異が認められなかった。0 ~ 500 m と 1000 ~ 1500 m の間で、500 m の平均パワーが最も大きく低下した。

2000 m 漕全体のパワーの平均値は、CP との間には有意な相関関係が認められ、AWC との間には有意な関係が認められなかった (表 4.3)。また、2000 m 漕全体のパワーの平均値と $\dot{V}O_{2\max}$ の間にも有意な相関関係が認められた ($r = 0.84$)。2000 m 漕中のすべての 500 m の平均パワーおよびスプリットタイムと CP との間には有意な相関関係が認

められた（平均パワー： $r=0.69 \sim 0.87$ およびスプリットタイム： $r=0.68 \sim 0.89$ ）。

4.2.3.4 ローイングパワーの安定性

$CVP_{50\% MAX}$ および $CVP_{60\% MAX}$ は、CP および 2000 m 漕全体のパワーの平均値との間に相関関係が認められた。そして、 $CVP_{50\% MAX}$ および $CVP_{60\% MAX}$ と AWC の間には、有意な関係は認められなかった（表 4.3）。

表 4.1 3 つの試行で求められた疲労困憊までの所要時間，パワーの平均値および仕事量

	70% MAX	60% MAX	50% MAX
所要時間 (s)	64.4 ± 15.9	153.3 ± 41.8	395.6 ± 129.4
パワー (W)	480.9 ± 53.7	356.1 ± 41.1	301.3 ± 45.0
仕事量 (kJ)	30.7 ± 7.1	53.9 ± 13.8	115.1 ± 24.2

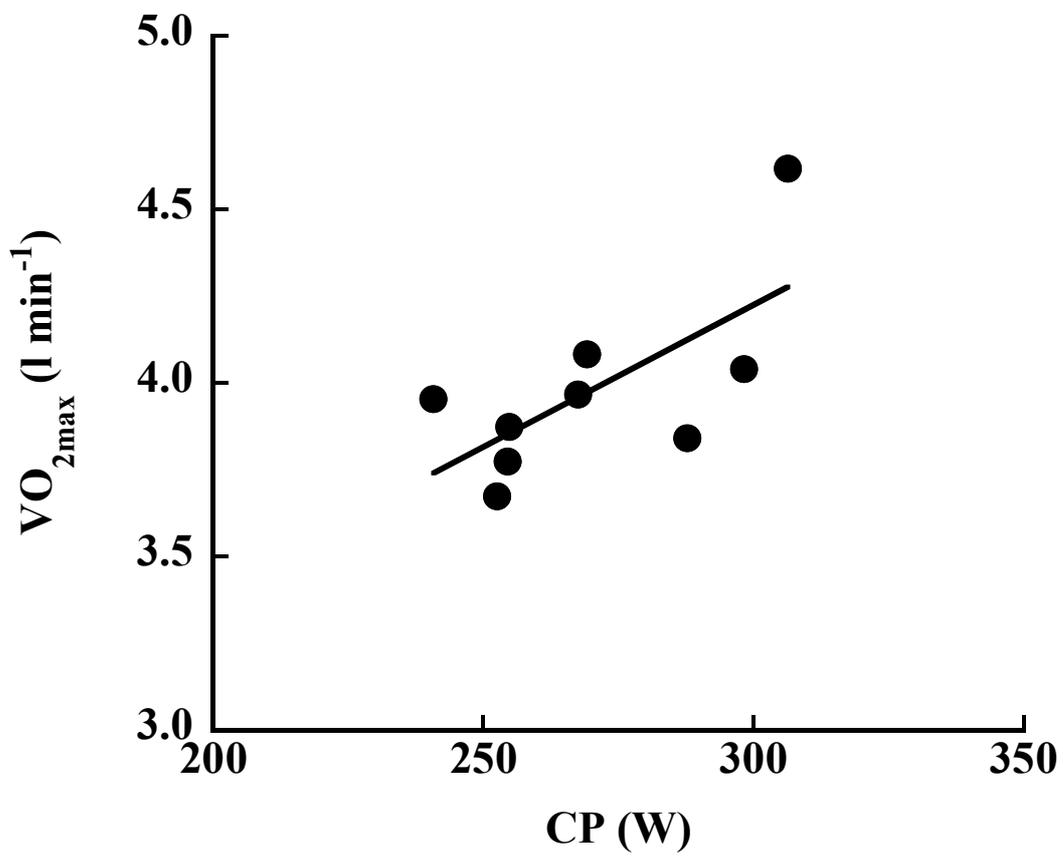


図 4.2a $\text{VO}_{2\text{max}}$ と CP の間の相関関係

$y = 1.77 + 0.01x$ $r = 0.68$ 推定値の標準誤差 = $0.21 \text{ (l min}^{-1}\text{)}$

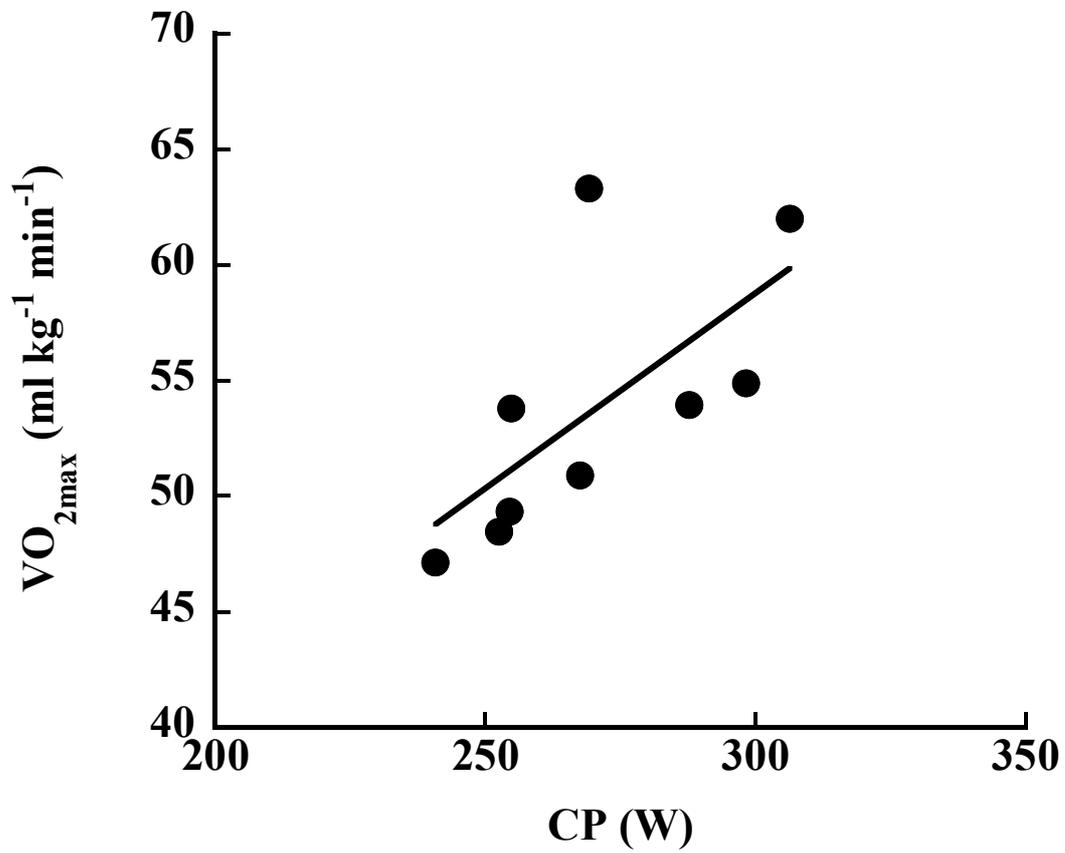


図 4.2b 体重あたりの VO_{2max} とCPの間の相関関係

$y = 8.20 + 0.17x$ $r = 0.67$ 推定値の標準誤差 = $4.53 (l\ kg^{-1}\ min^{-1})$

表 4.2 2000 m 漕の各 500 m 間における平均パワーとスプリットタイム

距離 (m)	0-500	500-1000	1000-1500	1500-2000
スプリットタイム (s)	99.3 ± 2.9	103.2 ± 3.3	105.7 ± 4.7	105.9 ± 5.6
パワー (W)	359 ± 31	320 ± 31	300 ± 40	297 ± 51

表 4.3 ローイングパワーの安定性 (CVP), CP, AWC および 2000 m 漕のパワーの平均値における各変数間の相関係数

*P < 0.05

	CP	AWC	2000 m 漕のパワーの平均値
CVP_{50% MAX}	-0.76*	0.13	0.68*
CVP_{60% MAX}	-0.74*	0.01	0.67*
CP			0.92*
AWC			0.11

4.4 論議

本研究では、次の知見が得られた。CPと $\dot{V}O_{2max}$ および2000 m漕全体のパワーの平均値の間に有意な相関関係が認められた。2000 m漕中のすべての500 mの平均パワーおよびスプリットタイムは、AWCとの間に有意な関係が認められず、CPとの間に有意な相関関係が認められた。ローイングパワーの安定性（60および50% MAX試行のCVP）は、CPおよび2000 m漕全体のパワーの平均値との間に相関関係が認められ、AWCとの間には、有意な関係が認められなかった。

4.4.1 ローイングエルゴメーター漕によるCPとAWCの推定

本研究では、ローイングエルゴメーター漕によって仕事 時間関係を求めた。そして、仕事 時間関係からCPとAWCを推定した。本研究では、70、60および50% MAX の3つの試行によって仕事 時間関係を求めた。これまで、仕事 時間関係を求めるために行われる試行の所要時間について、CPとAWCの値に及ぼす影響が調べられてきた。その結果、試行の所要時間が1~10分であれば、仕事 時間関係が良好に直線回帰されるとして、その所要時間の試行を設定することが推奨されている（Carnevale and Gaesser, 1991; Jenkins and Quigley, 1992, 1993; Hill, 1993）本研究において、すべての試行の所要時間は1~10分であった。そして、最小二乗法によって求められた仕事 時間関係の回帰直線において、高い決定係数が得られた（ $R^2 = 0.997 \sim 1$ ）。そこで、最大パワーの70、60および50%は、妥当な値であったと考えられる。

また、仕事 時間関係を求めるために行われる試行について、AWCの信頼性

と正確性に及ぼす影響が検討されている。AWC の信頼性と正確性は AWC の推定値，すなわち，仕事 時間関係の回帰直線における y 切片の平均値の標準誤差によって判断される。そして，AWC の推定値の標準誤差は 10%より低い値が望ましいとされる (Hill, 1993)。本研究において，AWC の推定値の標準誤差は，この値よりわずかに高い値であった (10.5%)。運動中，無酸素性代謝による ATP の産生が最大に達するまでに，およそ 3 分を要すること (Bangsbo et al., 1990)，そして，仕事 時間関係を求めるために行われる試行の所要時間が AWC に影響を及ぼすこと (Bishop et al., 1998) が報告されている。そこで，長い所要時間の試行を通して仕事 時間関係を求めることにより，AWC の標準誤差が低下すると考えられる。エルゴメーター漕による CP と AWC の推定方法は，今後，さらに検討されるべき課題である。

4.4.2 2000 m エルゴメーター漕と CP および AWC の関係

CP と 2000 m エルゴメーター漕のパワーの平均値および所要時間との間に強い相関関係が認められた。そして，CP と $\dot{V}O_{2max}$ の間にも相関関係が認められた。CP と $\dot{V}O_{2max}$ の間の相関関係は，漕手の有酸素性運動能力が本競技のパフォーマンスに密接に関連していることを示唆している。CP とエルゴメーター漕の結果および $\dot{V}O_{2max}$ の間に認められた相関関係は，先行研究と一致するものであった (Cosgrove et al., 1999; Kramer et al., 1994)。さらに，AWC に係わらず，高い CP を示した被験者は，2000 m エルゴメーター漕のパワーの平均値が高かった。これは，本競技のパフォーマンスが AWC より CP の影響を強く受けることを示してい

る．そして，本研究の結果は，ボートレースでは，レースを通じて，主に漕手の有酸素性運動能力が必要とされるという報告を支持するものである（Hagerman et al., 1978）．また，パワーの代わりに速度について求めたcritical velocityと本競技のパフォーマンスの間に相関関係が認められたという報告にも一致する（Kennedy and Bell, 2000）．これらの知見は，本競技のパフォーマンスが，これまで行われてきた VO_{2max} による漕手の有酸素性運動能力の評価によらず，CPからも推定されることを示唆している．

レースをシミュレーションした時の観察から，スタート時のスパートが，レース中の漕手の仕事を増加させることに貢献すると推察されている（Secher, 1993）．しかし，本研究において，スタート直後の500 mのパワーの平均値およびスプリットタイムは，AWCとの間に相関関係は認められず，CPとの間に相関関係が認められた．そこで，スタート直後の500 mも，主に有酸素性代謝によるエネルギー供給が利用されると思われる．しかし，スタート時のスパート（スタートから10ストロークまで）では，有酸素性と無酸素性の両方の代謝によるエネルギー供給が利用されると考えられる．本競技のパフォーマンスに対するAWCの貢献について，生理学的な説明を加えるためには，今後，さらに検討されなければならない．ボート競技におけるCPとAWCの生理学的なメカニズムを明らかにするために，長期にわたってトレーニングの影響を検討することが求められる．

4.4.3 ローイングパワーの安定性とCP，AWCおよび2000 mエルゴメーター漕

の関係

50%MAX および 60%MAX の両方の CVP は、CP との間に相関関係が認められた。しかし、AWC との間には相関関係が認められなかった。これは、ローイングパワーの安定性が、AWC に関係なく、CP と関連することを示している。そして、2章におけるローイングパワーの安定性が、漕手の有酸素性代謝によるエネルギー供給能力およびローイングパワーの持続力に関係するという考察を支持するものである。ボート漕ぎ運動において、漕手はストローク毎に、間欠的にローイングパワーを発揮する。そこで、ストローク毎にエルゴメーターに加えられる力が変化し、エルゴメーターの回転板にストローク毎に異なる抵抗がはたらく。ローイングパワーの安定性が低い、すなわち、ローイングパワーが大きく変動する場合、回転板にはたらく抵抗の変化が大きくなることがローイングパワーを持続することを妨げる要因になると推察される。

持続的なサイクリング運動において、サイクリングパワーを変動させた場合は、変動を抑えた場合よりサイクリングパワーが運動を通じて低い値を示したことが報告され、パワーの変動とパワーの持続力の関連が示唆されている (Palmer et al., 1999)。また、ペダリング速度を高くした場合のサイクリングパワーが、速度が低い場合より大きく低下したことから、ペダリング速度がパワーの持続力に関連することが示唆されている (Jones et al., 1985)。ボート漕ぎ運動において、ストロークで発揮されるローイングパワーは、オールを牽引する力よりもオールを牽引する速度に影響される (Dal Monte and Komor, 1989; Hartmann et al., 1993)。そこで、ローイングパワーの変動はオールを牽引する速

度の変動によることが推察される。ローイングパワーの安定性がローイングパワーの持続力に関係する一因として、オールを牽引する速度の変動がローイングパワーの持続に及ぼす影響が考えられる。

本研究では、2000 mエルゴメーター漕中のCVPを計測できなかった。しかし、2000 mエルゴメーター漕のローイングパワーの平均値は、 $CVP_{50\% \text{ MAX}}$ 、または、 $CVP_{60\% \text{ MAX}}$ のローイングパワーの平均値に近い値であった。そこで、 $CVP_{50\% \text{ MAX}}$ および $CVP_{60\% \text{ MAX}}$ と2000 mエルゴメーター漕のローイングパワーの平均値の間に相関関係が認められたことから、本競技のパフォーマンスにローイングパワーの安定性が関連することが示唆される。また、CPは最大下運動、2000 mエルゴメーター漕は最大運動のパフォーマンスを反映している。このような運動強度の違いに係わらず、 $CVP_{50\% \text{ MAX}}$ および $CVP_{60\% \text{ MAX}}$ がCPおよび2000 mエルゴメーター漕の両方との間で相関関係が認められことは、ローイングパワーの安定性が漕手のボート漕ぎ運動の特徴を反映する指標と考えられる。今後、さまざまな運動強度とローイングパワーの安定性の関係について調べる必要がある。

4.5 要約

本研究において、CPと2000 m漕全体のパワーの平均値および $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の間に、相関関係が認められた。そして、AWCと2000 m漕全体のパワーの平均値の間には、相関関係が認められなかった。これらから、CPが本競技のパフォーマンスに関連することが明らかになった。そして、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ と同様にCPによっても、本競技のパフォーマンスが推定されることが示唆された。また、ローイングパワ

一の安定性とCPとの間に、相関関係が認められた。しかし、AWCとの間には、相関関係が認められなかった。これらから、パワーの安定性が、漕手の有酸素性代謝によるエネルギー供給能力およびローイングパワーの持続力に関係することが示唆された。そして、ローイングパワーの安定性とCPおよび2000 m漕の間に認められた相関関係から、ローイングパワーの安定性に漕手のボート漕ぎ運動の特徴が反映されることが推察された。

第 5 章

総括論議

5.1 ボート競技におけるローイングパワーの安定性の役割

ボート漕ぎでは、漕手は全身を使って間欠的にローイングパワーを発揮するため、ボートおよびエルゴメーターに加えられる力は、ストローク毎に変動する。この力の変動は、ボートおよびエルゴメーターにはたらく抵抗の変化を引き起こす。実漕において、1ストロークの艇速変動の増大はストロークの平均艇速を低下させる (Celentano et al., 1974; Martin and Bernfield, 1980; Sanderson and Martindale, 1986)。そして、本研究の結果、ストローク間に生じる艇速の変動もボートを漕いだ距離の平均艇速に影響を及ぼすことが確認された。また、エルゴメーター漕において、エルゴメーターの回転板にはたらく抵抗の増加を引き起こすことが推察される。ボート競技において、漕手には大きなローイングパワーを発揮し続け、かつ、発揮されたローイングパワーによって得られた艇速を維持することが要求される。漕手の $\dot{V}O_{2max}$ 、また、脚伸展で発揮される力や脚伸展パワーはローイングパワーの大きさに関連する指標である。一方、ローイングパワーの安定性は、ボートおよびエルゴメーターに対するローイングパワーの伝達に関連する指標である。すなわち、ローイングパワーの安定性は、実漕では艇速の維持、エルゴメーター漕ではローイングパワーの維持を有利にすると考えられる。

先行研究において、本競技のパフォーマンスと漕手の身長および体重の関係

が示唆されている (Shephard, 1998). すなわち , 身長が高く , 体重が重い漕手が有利だとされる (McMahon, 1971; Sanderson and Martindale, 1986; Secher and Vaage, 1983)(図 5.1). 優秀な漕手の VO_{2max} で確認される高い VO_{2max} の値も漕手の体重の重さに起因する (Secher, 1993; Shephard, 1998; Steinacker, 1993). また , 脚伸展パワーも体重に関係すると推察される . したがって , ローイングパワーの大きさは , 漕手の体格 , とりわけ , 体重の影響が大きい . 本研究において , ローイングパワーの安定性と体重あたりの VO_{2max} の関連が認められたことから , ローイングパワーの大きさと異なり安定性は , 漕手の体格の影響をあまり受けないことが推察される . これは , 先行研究で報告されてきた本競技のパフォーマンスと関係する指標の多くが漕手の体格の影響を受けるものあるのに対し , ローイングパワーの安定性によって , 異なる観点から漕手のパフォーマンスが検討される可能性を示唆している .

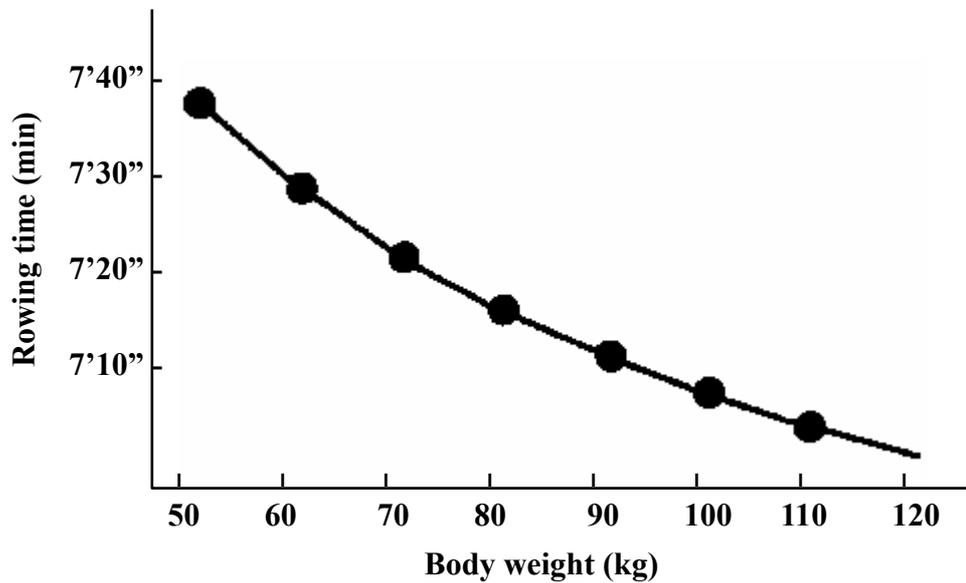


図 5.1 漕手の体重と 2000 m 漕のタイムの関係

(Secher, N.H. and Vaage, O. (1983) Rowing performance, a mathematical model based on analysis of body dimensions as exemplified by body weight. European Journal of Applied Physiology 52: 88-93.)

また、ローイングパワーは艇速のおよそ3乗に比例する(Celentano et al., 1974; Di Prampero et al., 1971)。これは、ある大きさのパワーを超えると、パワーを増加させても、ほとんど艇速を増加させる効果がないことを示している。したがって、そこでは、ボートにはたらく抵抗力を最小にするために、艇速の変動を抑えることが必要になる。すなわち、艇速が高くなるほど、艇速の変動の影響が高まる。ストロークサイクルにおいて、ボートの運動には漕手の力やパワーの状態が反映され、漕手の力やパワーにおける急激な変化は、艇速を低下させることになると指摘されている(川上ほか, 2001; 下田と川上, 2003)。これは、ローイングパワーの安定性が、艇速の維持に影響を及ぼすことを示している。これらから、ローイングパワーの安定性はボートの推進に関連する因子と考えられる。

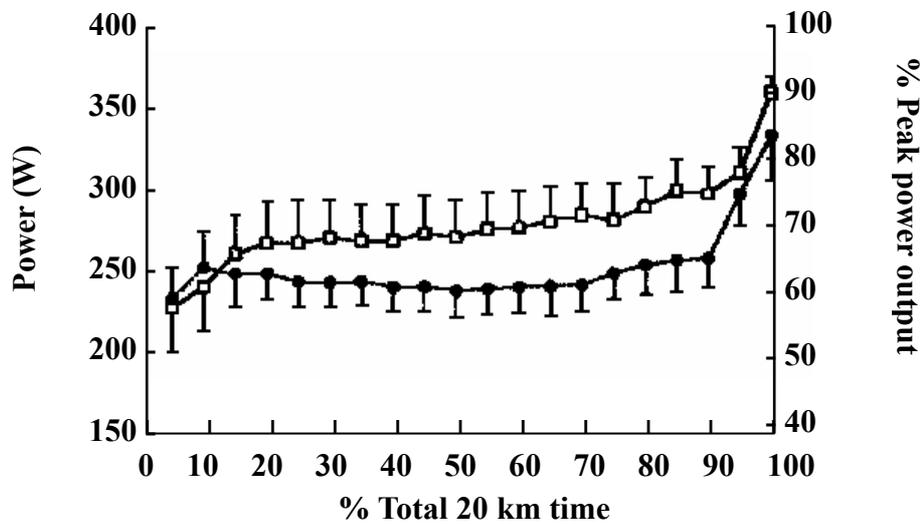
5.2 ローイングパワーの安定性と漕手の体力特性の関係

本研究の結果は、漕手の持久性運動能力が、ある決まった時間中に発揮されるローイングパワーの大きさ、または、一定のローイングパワーを発揮する時の持続時間に関連するだけでなく、繰り返されるローイングパワーの発揮状態にも関連することを示している。運動を継続する時、活動している筋における酸化の亢進、また、呼吸循環系における酸素運搬能を超える酸素の需要が生じ

ることにより力の持続が妨げられる (MacLaren et al., 1989). そして, 筋におけるエネルギーの産生率と利用率の間の不均衡も力の産生の低下を引き起こす要因である (Green, 1997). これらから, 運動およびパワーの持続を妨げる要因として, 運動中に生じる酸素やエネルギーの需要と供給の不均衡が挙げられる.

膝伸展運動において, 運動全体で発揮されるパワーが同じ大きさであっても, 高い運動頻度では, 低い頻度よりも酸素摂取量が高くなる (Ferguson et al., 2001). また, 電気刺激による大腿四頭筋の収縮において, 全刺激での力の合計と収縮時間の合計に差異がなくても, 高い収縮頻度では, 低い頻度よりも ATP の利用率が高くなることが報告されている (Bergström and Hultman, 1988). これらは, 運動や筋収縮の頻度が変化しただけでも, 酸素およびエネルギー需要量に変化することを示唆している. また, 歩行において, 歩行速度の変動がある範囲を超えるとエネルギー消費が増加したという報告 (Minetti et al., 2001) は, 運動中に生じる変動によっても酸素およびエネルギー需要量に変化することを示唆している. これらから, 運動中の運動および筋活動の状態が酸素やエネルギーの需要量に影響を及ぼすため, 運動中に生じるパワー発揮の変動は, 酸素やエネルギーの需要と供給に不均衡を生じさせると推察される. そこで, 運動中に生じるパワー発揮の変動を抑えることが, 疲労の進行を抑えてパワーを持続させることに貢献すると考えられる.

20km サイクリングにおいて、サイクリングパワーを変動させた場合は、変動を抑えた場合より所要時間がおよそ 6%延長したこと (Palmer et al., 1997) やパワーを変動させた場合のパワーが、変動を抑えた場合のパワーを下回って推移したことが報告され (Palmer et al., 1999) (図 5.2), 安定したパワー発揮の効果が示唆されている。本研究では、ローイングパワーの安定性と本競技のパフォーマンスの関係について同一被験者による比較を行っていない。しかし、2000 m エルゴメーター漕のローイングパワーの安定性とローイングパワーの変化率 (スタート ~ 500 m のパワーの平均値と 1500 m ~ 2000 m のパワーの平均値の間の比率) の関係において、ローイングパワーの安定性が高い漕手は、2000 m 漕中に生じるローイングパワーの低下率が小さい傾向を示した (図 5.3)。これらから、安定したパワー発揮をすることが、パワーを持続させることに貢献する、または、パワーを持続することを有利にするように運動が調整され、その結果、パワー発揮の安定性が高まると考えられる。



□ Steady state , ● Variable intensity

図 5.2 20 km サイクリングにおいて , サイクリングパワーを一定に維持した場合と変動させた場合の比較

パワーを変動させた場合のパワーは一定に維持した場合のパワーを下回る

(Palmer, G.S., Borghouts, L.B., Noakes, T.D. and Hawley, J.A. (1999) Metabolic and performance responses to constant-load vs. variable-intensity exercise in trained cyclists. Journal of Applied Physiology 87: 1186-1196.)

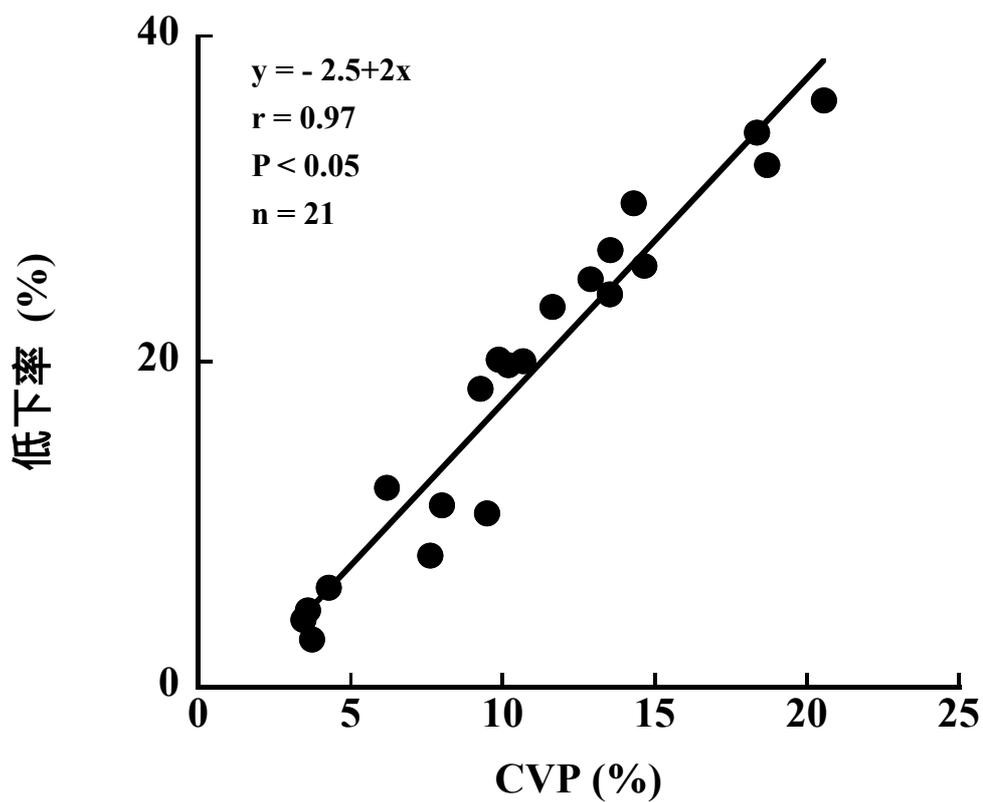


図 5.3 ローイングパワーの安定性と 2000 m 漕のパワーの低下率の関係

0-500 m の平均パワーを a , 1500-2000 m の平均パワーを b として

$$\text{低下率} = \frac{a-b}{a} \times 100 (\%)$$

10 秒毎に記録したローイングパワーの階差の変動係数 (coefficient of variance of power: CVP) をローイングパワー安定性の指標とした

5.3 ローイングパワーの安定性を検討することの有効性

そもそも、本競技において、ボートの運動に生じる変動、とりわけ、艇速変動がボートを推進させる効率を低下させるということから、その変動を抑える効果を期待して漕手の運動およびローイングパワーの安定性に注意が向けられてきた。しかし、これまで、漕手の運動およびローイングパワーの安定性は主観的に評価されることに止まり、詳細に検討されてこなかった。本研究によって、ローイングパワーの安定性と有酸素性エネルギー供給能力およびローイングパワーの持続力の関連が明らかにされた。これは、ローイングパワーの安定性が生理学的な意味をもつことを示唆している。また、実漕において、ローイングパワーの安定性とローイングパワーの大きさ（ストロークの平均パワー）の間に有意な関係が認められなかったことから、パフォーマンスに対する外的要因の影響が大きい実漕においては、ローイングパワーの安定性がローイングパワーの大きさに依存しない、独立した艇速への影響因子と考えられる。

CVP(coefficient of variance of power)と機械的効率(AE および GE)の間には、明らかな関係が認められなかった。また、ストロークレートの増加に伴って漕手の仕事が増加するにも係わらず、CVP は、ストロークレートが増加しても変わらなかった。これらから、CVP、すなわち、ローイングパワーの安定性と漕手のエネルギー消費の関係は明らかにされなかった。しかし、本研究では、い

ずれの実験においても、2~3分の試行で、エネルギー消費を検討するためには、
運動時間が不十分だったことが考えられる。したがって、本研究だけではロー
イングパワーの安定性と漕手のエネルギー消費の間の関連を結論付けられない。
今後、検討を要する課題である。

5.4 結論

本研究では、ローイングパワーの安定性が本競技のパフォーマンスに関連するという仮説に基づき、艇速との関係および漕手の体力特性との関係を検討した。その結果、ローイングパワーの安定性が艇速に影響を及ぼすこと、また、艇速の変動と関係することが確かめられた。そして、ローイングパワーの安定性と体重あたりの $\text{VO}_{2\text{max}}$ およびクリティカルパワーの関係から、ローイングパワーの安定性が漕手の有酸素性代謝によるエネルギー供給能力およびローイングパワーの持続力に関係することが明らかになった。

多くの研究で、漕手の有酸素性エネルギー供給能力に焦点が当てられ、エネルギーの需要・供給の関係から本競技の特性が検討されている。それに対して、ローイングパワーの安定性には、エネルギーの活用における本競技の特性が現れていると考えられる。すなわち、本研究の結果は、安定してローイングパワーを発揮することが、本競技に必要とされる持続的なパワー発揮を有利にすることを示している。さらに、安定したローイングパワーの発揮が、ボートを推進させる効果をも高めることに貢献することを示唆している。これらから、ローイングパワーの安定性が本競技のパフォーマンスに係わる重要な要素であると結論付けられる。

文献

1. Affeld, K., Schichl, K. and Ziemann, A. (1993) Assessment of rowing efficiency. *International Journal of Sports Medicine* 14: S39-S41.
2. Anderson, S., Harrison, A. and Lyons, G.M. (2005) Accelerometry-based feedback – Can it improve movement consistency and performance in rowing? *Sports Biomechanics* 4: 179-195.
3. Asami T., Yamamoto K., Matsuo A. and Fukunaga T. (1985) Some biomechanical factors of rowing performance. *Biomechanics X-B*. p. 477.
4. Balukov, G.N. (1971) *Hydrodynamische Charakteristik der Sportsruderboote* (German translation by Schatte, E.). *Katera i Yachti*. pp. 187-191.
5. Bangsbo, J., Gollnick, P.D., Graham, T.E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M. and Saltin, B. (1990) Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *Journal of Physiology* 42; 539-559.
6. Baudouin, A. and Hawkins, D. (2002) A biomechanical review of factors affecting rowing performance. *British Journal of Sports Medicine* 36: 396-402.
7. Bergström, M. and Hultman, E. (1988) Energy cost and fatigue during intermittent electrical stimulation of human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology* 65: 1500-1505.
8. Bishop, D., Jenkins, D.G. and Howard, A. (1998) The critical power function is

- dependent on the duration of the predictive exercise tests chosen. *International Journal of Sports Medicine* 19; 125-129.
9. Carnevale, T.J. and Gaesser, G.A. (1991) Effects of pedaling speed on the power-duration relationship for high-intensity exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23: 242-246.
 10. Celentano, F., Cortili, G., Di Prampero, P.E. and Cerretelli, P. (1974) Mechanical aspects of rowing. *Journal of Applied Physiology* 36: 642-647.
 11. Clark, J.M., Hagerman, F.C., Gelfand, R. (1983) Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *Journal of Applied Physiology* 55: 440-446.
 12. Cosgrove, N.J., Wilson, J., Watt, D. and Grant, S.F. (1999) The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000m ergometer test. *Journal of Sports Sciences* 17: 845-852.
 13. Cunningham, D.A., Goode, P.B. and Critz, J.B. (1975) Cardiorespiratory response to exercise on a rowing and bicycle ergometer. *Medicine and Science in Sports* 7: 37-43.
 14. Dal Monte, A., Faina, M., Cecioni, N. and Leonardi, L.M. (1985) Analysis of the inertial force in rowing using a force platform. *Biomechanics IX-B*. pp. 481-485.

15. Dal Monte, A. and Komor, A. (1989) Rowing and sculling mechanics. In: Vaughan, C.L. (Ed) Biomechanics of sport. CRC Press: Boca Raton. pp. 53-119.
16. Di Prampero, P.E., Cortili, G., Celentano, F. and Cerretelli, P. (1971) Physiological aspects of rowing. *Journal of Applied Physiology* 31: 853-857.
17. Dworak, L., Kabsch, A., Lambui, W. and Lisiecki, A. (1975) Charakterystyka wybranych parametrow dynamicznych u zawodnikow centralnego szkolenia (Characteristics of selected dynamic parameters of top-level oarsmen). *Monografie AWF, Poznan, Poland* 61: 29-36.
18. Ferguson, R.A., Ball, D., Krstrup, P., Aagaard, P., Kjær, M., Sargeant, A.J., Hellsten, Y. and Bangsbo, J. (2001) Muscle oxygen uptake and energy turnover during dynamic exercise at different contraction frequencies in humans. *Journal of Physiology* 536: 261-271.
19. Fiskerstrand, A. and Seiler, K.S. (2004) Training and performance characteristics among Norwegian International Rowers 1970-2001. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* 14: 303-310.
20. Fukunaga, T., Matsuo, A., Yamamoto, K., Asami, T. (1986) Mechanical efficiency in rowing. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 471-475.
21. Gaesser, G.A. and Brooks, G.A. (1975) Muscular efficiency during steady-rate

- exercise: effects of speed and work rate. *Journal of Applied Physiology* 38: 1132-1139.
22. Green, H.J. (1997) Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *Journal of Sports Sciences* 15: 247-256.
23. Grujic, N. (1989) The long-term follow up of the physical working capacity of rowers. In: Karvonen (ed). *The physiological follow up methods of sports training*. Varala: Helsinki. pp. 20-37.
24. Gutschow, W. (1955) *Mechanik des Getriebes Ruderer/Ruder Schiffstechnik* 3: 128.
25. Hagerman, F.C. (1994) Physiology and nutrition for rowing. In: Lamb, D.R., Knuttgen, H.G. and Murray, R. (eds). *Physiology and Nutrition for Competitive Sport: Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine* 7; 221-302.
26. Hagerman, F.C., Connors, M.C., Gault, J.A., Hagerman, G.R. and Polinski, W.J. (1978) Energy expenditure during simulated rowing. *Journal of Applied Physiology* 45: 87-93.
27. Hartmann, U., Mader, A., Wasser, K. and Klauer, I. (1993) Peak force, velocity, and power during five and ten maximal rowing ergometer strokes by world class female and male rowers. *International Journal of Sports Medicine* 14: S42-S45.
28. Henderson, Y. (1925) The maximum of human power and its fuel. *American Journal*

- of Physiology 72: 264-282.
29. Henry, J.C., Clark, R.R., McCabe, R.P. and Vanderby Jr., R. (1995) An evaluation of instrumented tank rowing for objective assessment of rowing performance. *Journal of Sports Sciences* 13: 199-206.
 30. Herberger, E., Beyer, G., Kruger, H.O., Querg, H. and Sieler, G. (1990) *Rudern* (4th ed.). Sports Books Publisher: Toronto.
 31. Hill, D.W. (1993) The critical power concept: A review. *Sports Medicine* 16: 237-254.
 32. Housh, T.J., Johnson, G.O., McDowell, S.L., Housh, D.J. and Pepper, M.L. (1991) Physiological responses at the fatigue threshold. *International Journal of Sports Medicine* 12: 305-308.
 33. Jenkins, D.G. and Quigley, B.M. (1990) Blood lactate in trained cyclists during cycle ergometry at critical power. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 61: 278-283.
 34. Jenkins, D.G. and Quigley, B.M. (1991) The y-intercept of the critical power function as a measure of anaerobic work capacity. *Ergonomics* 34: 13-22.
 35. Jenkins, D.G. and Quigley, B.M. (1992) Endurance training enhances critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24: 1283-1289.

36. Jenkins, D.G. and Quigley, B.M. (1993) The influence of high intensity exercise training on the Wlim-Tlim relationship. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25: 275-282.
37. Jensen, K., Secher, N.H. Fiskestrand, A., Christensen, N.J. and Lund, J.O. (1984) Influence of body weight on physiologic variables measured during maximal dynamic exercise. *Acta Physiologica Scandinavica* 212: 39A.
38. Jensen, R.L., Freedson, P.S. and Hamill, J. (1996) The prediction of power and efficiency during near-maximal rowing. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 73: 98-104.
39. Jones, G.C., McCartney, N., Graham, T., Spriet, L.L., Kowalchuk, J.M., Heigenhauser, G.J.F. and Sutton, J.R. (1985) Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds. *Journal of Applied Physiology* 59: 132-136.
40. Kachouri, M., Vandewalle, H., Billat, V., Huet, M., Thomaidis, M., Jousselin, E. and Monod, H. (1996) Critical velocity of continuous and intermittent running exercise: An example of the limits of the critical power concept. *European Journal of Applied Physiology* 73: 484-487.
41. 金子公宥 (2001) パワーアップの科学. 朝倉書店: 東京. pp.169-174.

42. 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.
43. Kennedy, M.D.J. and Bell, G.J. (2000) A comparison of critical velocity estimates to actual velocities in predicting simulated rowing performance. *Canadian Journal of Applied Physiology* 25: 223-235.
44. Kramer, J.F., Leger, A., Paterson, D.H. and Morrow, A. (1994) Rowing performance and selected descriptive, field and laboratory variables. *Canadian Journal of Applied Physiology* 19: 174-184.
45. Lamb, D.H. (1989) A kinematic comparison of ergometer and on-water rowing. *American Journal of Sports Medicine* 17: 367-373.
46. マッカードルほか: 田口貞善ほか監訳 (1994) *運動生理学 エネルギー・栄養・ヒューマンパフォーマンス 第2版*. 杏林書院: 東京. pp.151-153.
<McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L. (1986) *Exercise Physiology -Energy, Nutrition, and Human Performance-* (2nd Edition). Lea & Febiger: Philadelphia.>
47. MacLaren, D.P.M., Gibson, H., Parry-Billings, M. and Edwards, R.H.T. (1989) A review of metabolic and physiological factors in fatigue. *Exercise and Sport Sciences Reviews* 17: 29-66.
48. Mahler, D.A., Andrea, B.E. and Andresen, D.C. (1984) Comparison of 6-min

- "all-out" and incremental exercise tests in elite oarsmen. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 16: 567-571.
49. Martin, T.P. and Bernfield, Y.S. (1980) Effect of stroke rate on velocity of a rowing shell. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 12: 250-256.
50. Martindale, W.O. and Robertson, D.G.E. (1984) Mechanical energy in sculling and in rowing an ergometer. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences* 9: 153-163.
51. McLellan, T.M. and Cheung, K.S.Y. (1992). A comparative evaluation of the individual anaerobic threshold and the critical power. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 24: 543-550.
52. McMahon, T.A. (1971) Rowing: a similarity analysis. *Science* 173: 349-351.
53. Mester, J., Grabow, V. and De Marees, H. (1982) Physiologic and anthropometric aspects of vestibular regulation in rowing. *International Journal of Sports Medicine* 3: 174-176.
54. Mickelson, T.C. and Hagerman, F.C. (1982) Anaerobic threshold measurements of elite oarsman. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 14: 440-444.
55. Millward, A. (1987) A study of the force exerted by an oarsman and the effect on boat speed. *Journal of Sports Sciences* 5: 93-103.
56. Minetti, A.E., Ardigò, L.P., Capodaglio, E.M. and Saibene, F. (2001) Energetics and

- mechanics of human walking at oscillating speeds. *American Zoologist* 41: 205-210.
57. Monod, H. and Scherrer, J. (1965) The work capacity of synergic muscle group. *Ergonomics* 8: 329-338.
58. Morzhevikov, N.V. (1978) Dependence of biodynamic parameters and boat velocity on stroke rate in rowing. *Metodika i tehnika podgotovki grebcov. Sportcommittee of the USSR: Leningrad.* pp. 33-39.
59. Morzhevikov, N.V. and Shlyakov, S.K. (1982) Technical training of oarsmen in rowing. *Teoriya i praktika fizicheskoy kulturi* 9: 6-7.
60. Nelson, W.N. and Widule, C.J. (1983) Kinematic analysis and efficiency estimate of intercollegiate female rowers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 15: 535-541.
61. Nolte, V. (1985) *Die Effektivität des Ruderschlages.* Bartels & Wernitz.
62. Novak, L.P., Bestit, C., Mellerowicz, H., Woodward, W.A. (1978) Maximal oxygen consumption, body composition and anthropometry of selected olympic male athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 18: 139-151.
63. Palmer, G.S., Borghouts, L.B., Noakes, T.D. and Hawley, J.A. (1999) Metabolic and performance responses to constant-load vs. variable-intensity exercise in trained cyclists. *Journal of Applied Physiology* 87: 1186-1196.

64. Palmer, G.S., Dennis, S.C., Noakes, T.D. and Hawley, J.A. (1997) Effects of steady-state and stochastic exercise on subsequent cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 29: 684-687.
65. Pepper, M.L., Housh, T.J. and Johnson, G.O. (1992) The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *International Journal of Sports Medicine* 13: 121-124.
66. Poole, D.C., Ward, S.A. and Whipp, B.J. (1990) The effects of training on the metabolic and respiratory profile of high-intensity cycle ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 59: 421-429.
67. Poole, D.C., Ward, S.A., Gardner, G.W. and Whipp, B.J. (1988) A metabolic and respiratory profile of the upper limit for prolonged exercise in man. *Ergonomics* 31: 1265-1279.
68. Pyke, F.S., Minikin, B.R., Woodman, L.R., Roberts, A.D. and Wright, T.G. (1979) Isokinetic strength and maximal oxygen uptake. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences* 4: 277-279.
69. Sanderson, B. and Martindale, W. (1986) Towards optimizing rowing technique. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 18: 454-468.
70. 佐藤利蔵 (1981) 初等船舶理論. 成山堂書店: 東京. pp. 199-200.

71. Schabort, E.J., Hawley, J.A., Hopkins, W.G. and Blum, H. (1999) High reliability of performance of well-trained rowers on a rowing ergometer. *Journal of Sports Sciences* 17: 627-632.
72. Scatte, E. (1976) Rudern mit PS. *Rudersport* 11: 6.
73. Schneider, E. (1980) *Leistungsanalyse bei Rudermannschaften*. Limbert Verlag: Bad Homburg.
74. Schwanitz, P. (1991) Applying biomechanics to improve rowing performance. *FISA Coach* 2: 1-7.
75. Secher, N.H. (1975) Isometric rowing strength of experienced oarsmen. *Medicine and Science in Sports* 7: 280-283.
76. Secher, N.H. (1983) The physiology of rowing. *Journal of Sports Sciences* 1: 23-53.
77. Secher, N.H. (1990) Rowing. In: Reilly, T., Secher, N., Snell, P. and Williams, C. (eds). *Physiology of Sports*. E & FN Spon: London. pp. 259-286.
78. Secher, N.H. (1993) Physiological and biomechanical aspects of rowing, Implications for training. *Sports Medicine* 15: 24-42.
79. Secher, N.H. and Vaage, O. (1983) Rowing performance, a mathematical model based on analysis of body dimensions as exemplified by body weight. *European Journal of Applied Physiology* 52: 88-93.

80. Secher, N.H., Espersen, M., Binkhorst, R.A., Andersen, P.A. and Rube, N. (1982) Aerobic power at the onset of maximal exercise. *Scandinavian Journal of Sports Sciences* 4: 12-16.
81. Secher, N.H., Vaage, P., Jensen, K., Jackson, R.C. (1983) Maximal aerobic power in oarsmen. *European Journal of Applied Physiology* 51: 155-162.
82. Shephard, R.J. (1998) Science and medicine of rowing; A review. *Journal of Sports Sciences* 16: 603-620.
83. 下田学・川上泰雄 (2003) ローイング中のボートに作用する力の検討. *トレーニング科学* 14: 147-152.
84. Skorohodova, M.A. (1959) Analysis of rowing technique in men's eights. *Teoriya i praktika fizicheskoy kulturi* 7: 578-582.
85. Smith, R.M. and Spinks, W.L. (1995) Discriminant analysis of biomechanical differences between novice, good and elite rowers. *Journal of Sports Sciences* 13: 377-385.
86. Spinks, W.L. (1996) Force-angle profile analysis in rowing. *Journal of Human Movement Studies* 31: 211-233.
87. Spinks, W.L. and Smith, R.M. (1994) The effects of kinetic information feedback on maximal rowing performance. *Journal of Human Movement Studies* 27: 17-35.

88. Steinacker, J.M. (1993) Physiological aspects of training in rowing. *International Journal of Sports Medicine* 14: S3-S10.
89. Steinacker, J.M., Marx, T.R., Marx, U. and Lormes, W. (1986) Oxygen consumption and metabolic strain in rowing ergometer exercise. *European Journal of Applied Physiology* 55: 240-247.
90. Strømme, S.B., Ingier, F. and Meen, H.D. (1977) Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *Journal of Applied Physiology* 42: 833-837.
91. Stupnicki, R., Obminski, Z., Klusiewicz, A. and Viru, A. (1995) Pre-exercise serum cortisol concentration and responses to laboratory exercise. *European Journal of Applied Physiology* 71: 439-445.
92. Tamuliavichus, R.S. and Yankauskas, Y.M. (1984) The assessment of racing in rowing. In: *Problemu sportivnoi trenirovki*. Sportcommittee of the USSR: Vilnuys. pp. 275-278.
93. Thorner, W. (1959) *Biologische Grundlagen den Leiberziehung*. Dummler: Bonn. p. 459.
94. Wagner, J., Bartmus, U. and de Marèes, H. (1993) Three-axes gyro system quantifying the specific balance of rowing. *International Journal of Sports Medicine* 14: S35-S38.

95. Wakayoshi, K., Ikuta, K., Yoshida, T., Udo, M., Moritani, T., Mutoh, Y. and Miyashita, M. (1992) Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. *European Journal of Applied Physiology* 64: 153-157.
96. Wakayoshi, K., Yoshida, T., Udo, M., Harada, T., Moritani, T., Mutoh, Y. and Miyashita, M. (1993) Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *European Journal of Applied Physiology* 66: 90-95.
97. Wellicome, J.F. (1967) Some hydrodynamics aspects of rowing. In: Williams and Scott (Eds.) *Rowing: a scientific approach*. Kaye and Ward Ltd.: London. pp. 22-63.
98. 山本恵三・松尾彰文・小野晃・浅見俊雄・福永哲夫 (1986) 漕運動の機械的仕事と効率. *Japanese Journal of Sports Sciences* 5: 818-822.
99. Yoshiga, C., Kawakami, Y., Fukunaga, T., Okamura, K. and Higuchi, M. (2000) Anthropometric and physiological factors predicting 2000 m rowing ergometer performance time. *Advances in Exercise and Sports Physiology* 6: 51-57.
100. Zatziorski, V.M. and Jakunin, N. (1980) Biomechanika akademiceskoj grebli - obzor (Biomechanics of rowing - review) *Teor. Prakt. Fiz. Kult.* 1: 8.

謝辞

早稲田大学 川上泰雄先生，福永哲夫先生，樋口満先生および東京大学 金久博昭先生の懇切丁寧なご指導のもと，本論文をまとめることができました．
また，先生方には，論文中のそれぞれの研究につきましても，実験の企画およびデータの分析に多大なご協力と貴重なご助言をいただきました．謹んで，ここに感謝の意を表します．