

2008年度 修士論文

ボート競技力の向上を目指した

高強度・間欠的・短時間トレーニング

**High-intensity intermittent short time training  
for the improvement of rowing performance**

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻

5007A067-0

山田 賢治

Y a m a d a K e n j i

研究指導教員：樋口 満 教授

# ボート競技力の向上を目指した高強度・間欠的・短時間トレーニング

スポーツ科学専攻 身体運動

5007A067-0 山田賢治

研究指導教員 樋口 満 教授

## 【緒言】

2000m で行われる公式ボート競技において、ローイングパフォーマンスを規定する因子として①除脂肪体重(LBM)、②最大酸素摂取量( $VO_2\max$ )、③脚伸展力が挙げられている(Yoshiga et al 2003)。戦略上、スタートから 500m までのペースがもっとも速いため、生理的負担が大きい。よって漕手は代謝性アシドーシス(酸血症)の状態となり、アネロビックな(無酸素性)パワーが強く求められる。一方スタートダッシュ後のコンスタントペースではエアロビックな(有酸素性)能力が求められる。したがって、ボート競技では有酸素性エネルギー供給能力と無酸素性エネルギー供給能力の両方を高めるトレーニングが必要である。しかしながら、これまでのボートのトレーニングの多くは持久系(有酸素性)であり、そのため練習時間は比較的長くなっている。

そこで有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構に同時に刺激を与えて効果が期待できる高強度・間欠的・短時間トレーニングに注目した(Tabata et al 1996)。本研究では、ボート競技における体力とパフォーマンスの関係を、特に無酸素性エネルギー供給機構に焦点を当てて明らかにすると共に、高強度・間欠的・短時間トレーニングについて検証した。

## <研究 I> ボート選手の無酸素性体力とローイングパフォーマンスの関係

### 【目的】

本研究の目的は、ボート選手の体力的要素とパフォーマンスの関係を有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構を主として明らかにすると共に、レースシミュレーション中の両エネルギー供給能力を測定し、その貢献比を明らかにすることであった。

### 【方法】

被験者は男子大学生ボート部員 15 名とした。身体特性は、年齢、身長、体重の順で  $18.9 \pm 1.4$  歳、 $173.2 \pm 3.1\text{cm}$ 、 $70.6 \pm 5.6\text{ka}$ (平均±標準偏差)であった。

漸増負荷テスト、2分オールアウトテスト、4分レースシミュレーション、2000m タイムトライアル(TT)をローイングエルゴメーター(Model C Concept II USA)を使用して測定を行った。呼吸代謝測定装置( $VO_2000$ )を用いて  $VO_2\max$ 、各ステージの酸素摂取量( $VO_2$ )、POLAR TEAM SYSTEM(POLAR 社)を用いて

心拍数(HR)、ハンドルパワー(W)のモニター値とロードセル(LER-A-IKNSAL)を用いたハンドルフォース(W)をそれぞれ測定した。身体組成は生体電気インピーダンス法により測定し除脂肪体重(LBM)を求めた。2000mTT 中のラップタイムを 500m 毎に測定した。最大酸素借(MOD)の定量は Medbo et al (1988)の方法に従い行った。

### 【結果】

発揮パワー(W)は2000mTTのタイム(sec)と500mラップタイム(sec)のいずれとの間にも有意な負の相関関係が認められた。LBMは2000mTTのタイム(sec)と有意な負の相関関係が認められた。 $VO_2\max$  (L/min)は2000mTTのタイム(sec)と有意な負の相関関係が認められた。 $VO_2\max$ (L/min)はLBM(kg)、発揮パワー(W)とも有意な正の相関関係が認められた。

絶対値のMOD(L)は2000mTTのタイム(sec)と有意な負の相関関係が認められた(図1)。MOD(L)は2分間の漕距離(m)との間にも正の相関関係のある傾向が認められた。なお相対値  $VO_2\max$ (ml/kg/min)とMOD(ml/kg)には2000mTTのタイム(sec)とは有意な負の相関関係は認められなかった。

4分レースシミュレーションの有酸素性エネルギーと無酸素性エネルギー供給機構の貢献比は全体で75% vs 25%であった。スタートダッシュにおいて無酸素性エネルギー供給機構の貢献比が高く、最初の10secでは75%と著しく高かったが、その後は次第に68%、51%と低下していくことが確認された。コンスタントピッチでは有酸素性エネルギー供給機構の貢献比が高くなり63%から90%へ推移することが確認された(図2)。

### 【考察】

発揮パワーが大きく、LBMが多いとパフォーマンスが高いことが再確認された。ボート選手では  $VO_2\max$ (L/kg)が高いとローイングパフォーマンスが高いといった今回の結果は先行研究を裏付けるものであった。またLBMが多く、発揮パワーが大きいと  $VO_2\max$ (L/min)も大きいことが裏付けられた。なお本研究において、初めてMODと2000mTTのタイムとの有意な負の相関関係が明らかにされた。無酸素性エネルギー供給能力の高い選手は、2000mTTや漕距離においてローイングパフォーマンスの高いことが示された。 $VO_2\max$ 及びMODの絶対値は、相対値よりパフォーマンスと密接な関係のあることが認められ、

ボート競技はミドルパワー系スポーツであると推察された。  
(山地 啓司「最大酸素摂取量の科学」より)

4分レースシミュレーションの総酸素借(AOD)の測定により、レース中の両エネルギー供給機構の貢献比が明らかになった。特にスタートダッシュにおいて、無酸素性エネルギー供給能力が強く求められることが明らかとなった。

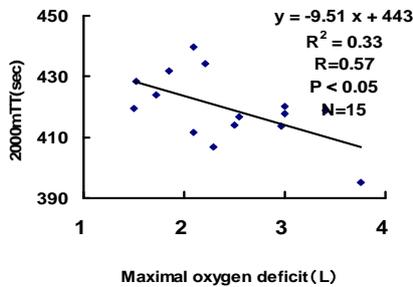


図1. 2000mTT(sec)とMOD(L)の関係

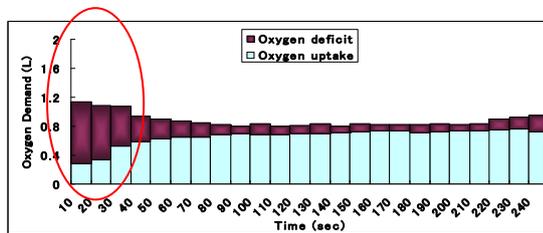


図2. 4分レースシミュレーションの10秒毎のODとVO<sub>2</sub>の推移 (N=15)

### <研究II> ローイングによる高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果

#### 【目的】

本研究の目的は、高度・間欠的・短時間トレーニングが有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構に及ぼす影響を検証し、ローイングのトレーニング現場に如何に導入するかを検討することであった。

#### 【方法】

被験者は男子大学生ボート部員12名とした。身体特性は、年齢、身長、体重、の順で19±1.4歳、174±3.2cm、71.3±6.1kg(平均±標準偏差)であった。トレーニング方法としてローイングエルゴメーターを用いる方法とシングルスカル漕による高強度・間欠的・短時間運動(20秒の全力漕+10秒の休息)×8セットを週2回、7週間を、通常トレーニングに加えて実施した。全ての測定方法は<研究I>と同じであった。

#### 【結果】

VO<sub>2</sub>max(L/min)はトレーニング(T)群とコントロール(C)群でほとんど変化はなかった。MOD(L)はT群で146%と大幅に上昇

し、C群においても128%上昇した(図3)。発揮パワーと2000mTTのタイム(sec)は、両群ともほとんど変化はなかった。

VO<sub>2</sub>maxとMODの変化量において、高い正の相関関係が認められた。しかし、VO<sub>2</sub>max、MOD、LBMおよび発揮パワーと2000mTTのタイムの変化量には負の相関関係が認められなかった。トレーニングの結果、T群では体重-1.8kg、LBMが-1.2kg、大腿周径囲-0.7cmと推移したが、C群ではそれぞれに変化はなかった。

#### 【考察】

高強度・間欠的・短時間トレーニングの実施により、MODが大幅に向上したが、VO<sub>2</sub>maxでは変化がみられなかった。それは測定時期がボート競技のハイシーズンに当たり、強度の高いトレーニングの量が増加したことも重なり、それぞれの群でMODの大幅な増加がもたらされたと考えられる。しかしLBMや発揮パワーと2000mTTのタイムの変化量には負の相関関係が認められなかったことにより、ローイングパフォーマンスに結びつかなかったことが推察された。

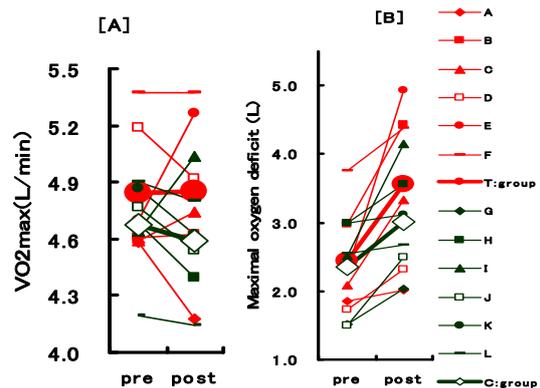


図3. A: VO<sub>2</sub>max、B: MODの推移 (N=12)

#### 【総括論議】

本研究によりVO<sub>2</sub>maxと共に、MODである無酸素性エネルギーの供給能力の高い選手はパフォーマンスが高いことが明らかにされた。また本研究で明らかにしたボート競技レース中の有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構の貢献比は、今後のローイングのトレーニングに活用できると考えられる。

高強度・間欠的・短時間トレーニングは、十分にパフォーマンスの向上には結びつかないことが明らかとなった。高強度のトレーニングを導入する時は、特にLBMを落とさないような栄養面の配慮や、トレーニングの実施時期、メニュー、スケジュール調整等が必要であると考えられた。

## 目次

### 第1章 緒言

1.1 ボート競技の概要と生理特性.....	1
1.2 漕手の特性.....	3
1.3 エアロビック(有酸素性)とアナロビック(無酸素性)な代謝.....	3
1.4 エネルギー代謝及び貢献比.....	4
1.5 有酸素性及び無酸素性エネルギー供給能力.....	4
1.6 有酸素エネルギー：酸素摂取量( $VO_2$ )の測定.....	4
1.7 無酸素エネルギー：酸素借(OD)の測定.....	5
1.8 最大酸素借(MOD).....	6
1.9 ローイングトレーニング.....	7
1.10 高強度・間欠的・短時間トレーニング.....	8

### 第2章 <研究I>ボート選手の無酸素性体力とパフォーマンスの関係

2.1 目的.....	11
2.2 被験者.....	11
2.3 測定内容.....	12
2.4 最大酸素借(MOD)及び総酸素借(AOD)の定量法.....	16
2.5 結果.....	18
2.6 考察.....	27

第 3 章 <研究Ⅱ>ローイングによる高強度・間欠的・短時間トレーニングの 効果	
3.1 目的.....	30
3.2 被験者.....	32
3.3 測定内容.....	32
3.4 トレーニング方法.....	34
3.5 結果.....	35
3.6 考察.....	49
第 4 章 総括論議.....	52
第 5 章 参考文献.....	54
謝辞.....	57

## 第1章 緒言

### 1.1 ボート競技の概要と生理特性

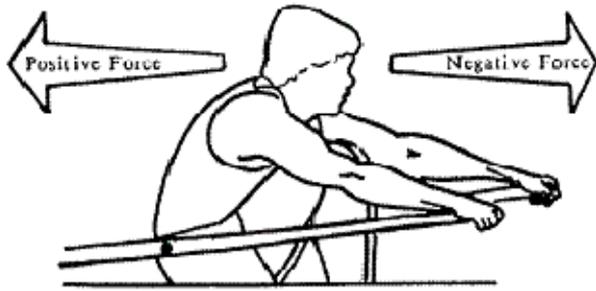
ボート競技は、18世紀初期イングランドのテムズ川でレースを行ったのが始まりとされる。もっとも古くより継続しているオックスフォード：ケンブリッジ・対抗戦、及びイギリス・ヘンレーで各々1829年より開催されている。19世紀にオール受け、アウトリガー、キールなしのボート、スライド・シート等の改良で技術的に向上した。20世紀以降、デザインや流体力学の発達により、軽い材質のボートが生産され、グラスファイバー・オール、ビッグ・ブレード、ローイング・エルゴメーターが開発された。

ボート競技は、1896年に復活したオリンピックの種目に導入され、年1回のワールド・チャンピオンシップの開催と共に、世界的スポーツとして成長した。国際的公式競技の距離は2000mであり、スウィープ（1本オール）とスカル（2本オール）の種目がある。1996年より体重制限の無いオープンクラスに加え、軽量クラス（男子：クルーの平均体重70kg以下。漕手個人は72.5kg以下。女子：クルーの平均体重57kg以下。漕手個人は59kg以下）がオリンピックのカテゴリーに加えられ、日本は主にこのクラスに出場している。

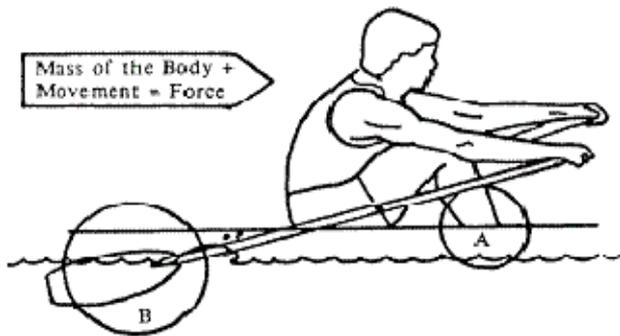
国際レースの男子オープンクラスのタイムは5.5～7.2分で、女子は5.7～7.4分である。これらのタイムの差は、ボートの乗艇人数や環境のコンディションによるものである。これらの環境条件にもかかわらず、競技結果は0.7s/yずつ向上している（Schwanitz,1991）。

ボート競技の主動筋は下肢の大腿四頭筋である（資料1-2）。漕手が艇の進行方向とは逆の、後ろ向きに座った位置でスライド・シートに乗り、オールにより水を掴み、下肢を力強く伸展させ、ストロークの終わりに腕で引き付ける。ランニングやサイクリング、水泳のストロークのように、下肢に交互に力を入れるのではなく同時に伸展させる（資料1.1~4）。

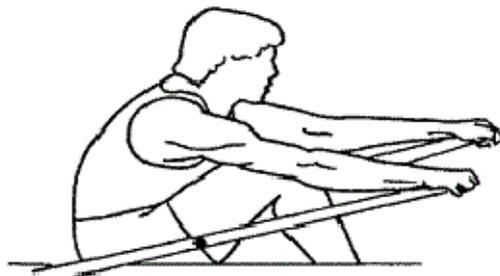
ボート競技において、漕手は進行方向とは逆の後方を向いて、コックス付きの艇ではコックスは前を向いて、ローイングを行う競技である。したがって相手を視野に入れて有利に試合をすすめるためにも、競技の戦略上、スタートダッシュが重要な要素の一つとされる。スタートから500mにおいて最もペースが高く、生理的負担も大きくなる。代謝性アシドーシス（酸血症）の状態となり、アネロビク（無酸素性）なパワーがより多く求められる。（S W Garland, 2005）



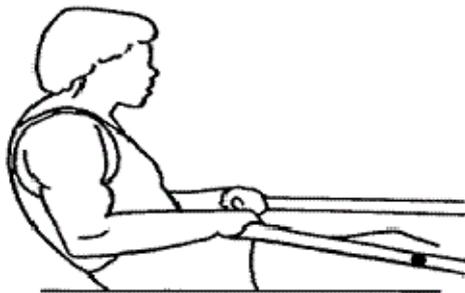
資料 1-1. ローイングの力の方向性



資料 1-2. 力点(A)とキャッチポイント(B)



資料 1-3. ドライブ中の動作



資料 1-4. フィニッシュの動作

## 1.2 漕手の特性

ローイングパフォーマンスを規定する因子として①除脂肪体重 (LBM) ②最大酸素摂取量( $VO_2\max$ ) ③脚伸展力が挙げられている (Yoshiga et al, 2003)

漕手は背が高く、筋肉質であることがローイングパフォーマンスに有効である。筋バイオプシーの結果、良くトレーニングされた男性の漕手では、Type I 型の筋線維の比率が有意に多い。エリート漕手は Type I 型が 62%、Type II A が 30%、Type II B が 3%で、特殊型筋線維の I C, II C, II AB が合計で 5%であった (Hagerman. et al.1993,unpublished data)。

漕手の筋は、トレーニングされていない人の筋と比較し、非常に大きなミトコンドリアのサイズや密度、及び高い酸化酵素活性が観察されている (Hagerman & Staron,1983)。

さらにエリート漕手は、大きな有酸素性能力や無酸素性能力と共に乳酸の有意な酸化能力を持つ (Roth et al,1983)。

ボート競技中に発揮される最大の筋力は、他のスポーツに比べ非常に高いものではないが、2000m 競技中の平均パワーは、高いレベルで維持されなければならない。

アイソメトリック {isometric=等尺性} とアイソキネティック {isokinetic=等張性} な力が必要であり、陸上でのローイングエルゴメーターにおけるパフォーマンスとの関係は相関するが、水上においては、技術等の関係よりボート競技中のパフォーマンスとの相関関係は弱い (Kramer et al,1994)。

競技中、高い筋力発揮を維持することは重要であるが、ローイング・パフォーマンスにおいて決定的ではなく、シングルスカルを除き、クルーメンバー各々のローイング技術の向上と、クルーメンバーの結束によるユニフォーミティがより重要である (Rodriquez et al,1990)。

## 1.3 エアロビック(有酸素性)とアネロビック(無酸素性)な代謝

エリート漕手が高い有酸素性エネルギー能力( $VO_2\max$ )を有することは、現在では常識となっている (Hagerman.1975,1990; Secher.1983,1993)。

国際レベルで優れたパフォーマンスを発揮するためには男性 6L/min 女性 4.5L/min 以上が必要であると言われている。

ローイング中の無酸素性エネルギー供給能力は、さまざまな方法 (酸素借、酸素負債、運動後の血中乳酸濃度) で推定されてきた (Steinaker.et al,1986)。

Koutedakis.& Sharp, (1986) は、漕手の非常に高いエアロビック・キャパシティとアネロビックのクオリティを示した。

#### 1.4 エネルギー代謝と貢献比

Connors. et al, (1974)は、ローイング中のエネルギー代謝を下記のように推定した。

- ① ATP-PCr システム(ATP-PCr 系)=ATP とクレアチンリン酸(PCr)の分解。
- ② Lactic acid システム(解糖系)=グリコーゲン、グルコースがピルビン酸(pyruvic acid)に分解され、それが還元されて乳酸になる経路。  
\*①&②は酸素の介在がなく反応が進み無酸素的過程と言える
- ③ O<sub>2</sub> システム(酸化系)=グルコース、グリコーゲン、脂肪酸などの有酸素的分解。

ローイング中の酸素消費と乳酸値データから、有酸素性エネルギー(③)と無酸素性エネルギー(①と②)の適切な貢献比は、各々70-80%と20-30%と推定された(Connors,1974; Hagerman,1984; Secher,1993)。

#### 1.5 有酸素性及び無酸素性エネルギー供給能力

有酸素性エネルギー供給能力を向上するためには、有酸素的メカニズムからのATPの生成、酸化過程の向上、脂肪酸の利用増大、及び呼吸・循環機能の改善、肺換気量の増大。動静脈酸素較差の増大が挙げられている。

なおこれらの改善には、毛細血管の発達、骨格筋に遅筋の占める割合の増加、ミオグロビンの増加、筋内のミトコンドリアの増加、ミトコンドリア酵素の増大、コハク酸脱水素酵素、酸化酵素の活性化が深く関係している。但し、これらの因子に有意な差が認められない場合もある(山地啓司「最大酸素摂取量の科学」より)。

無酸素性エネルギー供給能力を向上させるためには、無酸素的メカニズムの高いATP利用向上、ATPやクレアチンリン酸の速やかな回復、乳酸の速やかな消去および緩衝能力の向上、活動筋量の増大が挙げられている(Medbo & Tabata et al, 1988,1989,1993)。

#### 1.6 有酸素性エネルギー：酸素摂取量(VO<sub>2</sub>)の測定

ボート選手における有酸素性エネルギー：酸素摂取量(VO<sub>2</sub>)の測定は、初期の頃はローイング・タンクで測定された(Hagerman and Lee,1969)。

その後スウィープエルゴメーターが使用されたが、高価な為、固定式のG-エルゴメーターや、可変式のコンセプトII：ローイングエルゴメーターが広く使用されている。

コンセプトⅡは、弾み車を取り付けたファン・プロペラにより、空気をコンタクトする量でパワー出力を測定し、弾み車のチェンバーで測定値を決定する。現在では正確な測定が可能となっており測定値は安定しているが、間接的に推定する方法である（資料2）。



資料2. コンセプトⅡの一部（ファン・プロペラ部分）

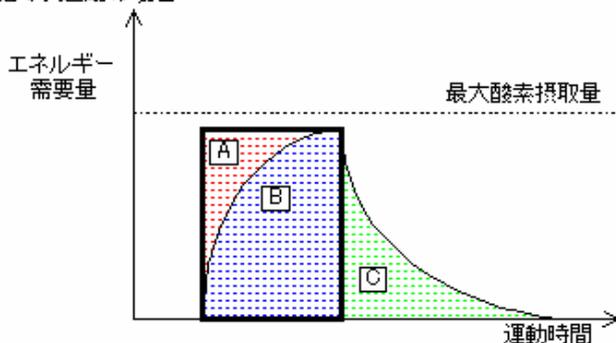
### 1.7 無酸素性エネルギー：酸素借(oxygen deficit=OD)の測定

有酸素性エネルギー供給量は  $VO_2$  を測定すれば、正確に測定できるが、無酸素性エネルギーの供給量を直接定量化することは困難である。当初は、運動後の  $VO_2$  から安静時の  $VO_2$  の値を引いた酸素負債の概念を用いて評価していた (Hill et al, 1924)。

しかしながらその後、運動後に酸素負債量を増加させる可能性のある様々な因子が判明し酸素負債量が OD より大きいことが立証された（資料3）。

運動時の酸素摂取量、酸素借、酸素負債の関係

(1) 最大下運動の場合



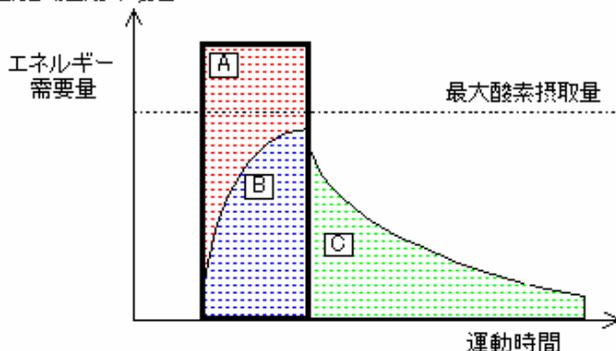
□ 運動に必要な全エネルギー量(all)

A : 酸素借

B : 酸素摂取量

C : 酸素負債

(2) 超最大運動の場合



$A = \text{all} - B$     $A < C$

資料 3. 運動時の酸素摂取量、酸素負債量、酸素借の関係

OD の測定方法を最初に導入したのは Krogh and Lindhard (1920)である。

その後 Hermansen(1969)が測定方法を再導入し、Anaerobic capacity (アネロビック・キャパシティ) と命名した。なお現在日本では、この言葉の正式な日本語訳はなく、“アネロビックキャパシティ” が用いられている(田畑 「日本バイオメカニクス学会」より)。

1.8 最大酸素借 : maximal oxygen deficit(MOD)

MOD は2~4分程度で疲労困憊に至るような運動中の総酸素借(Accumulated oxygen deficit; AOD)として測定され、無酸素性エネルギー供給機構から供給されるエネルギーの最大値を示す(Medbo ,Tabata et al,1988)。

運動中に OD が最大に達すると、無酸素性エネルギー供給機構からのエネルギー供給が停止し疲労困憊に至る。このように最大となる AOD を MOD と定義した。

MOD の定量法は、古くは Karlsson et al,(1971)が報告している。この測定方法を一般化し、超最大運動における酸素需要量を求め、最大下の運動強度と  $VO_2$  の関係により外挿法を使用して推定する方法が確立された (Medbo et al,1988)。この測定方法は、運動強度が異なっても効率は変化しないと言う仮説に基づいており、批判はあるが、実験データは、かなり正確な測定項目であることを示している (Scott et al,1991)。

筋バイオプシー法により、筋中の乳酸やクレアチンリン酸濃度の変化から求めた筋 1kg 当たりの無酸素性 ATP 産生量と、運動における OD との間には高い相関関係があることが明らかになった (Medbo et al,1993)。

その他のオリジナルな MOD の測定方法。

#### <Whipp の方法>

Medbo の方法と同じく外挿法を利用し  $VO_{2max}$  と  $VO_2$  の反応により、指数関数的に推定する (Whipp et al,1986)。

$$VO_{2(t)} = VO_{2(baseline)} + VO_{2(amplitude)} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

#### <Hill の方法>

外挿法を使用せず、酸素需要量と MOD の変化から方程式を用いて推定する (Hill et al,1998)。

$$AccumulatedVO_2 = (O_2demand \cdot speed \cdot time)$$

### 1.9 ローイング・トレーニング

トレーニング効果はトレーニング強度に依存し、エネルギー供給機構に対して高い刺激を与えられることである「overload の原則 (過負荷の原則)」。但し、トレーニングは運動により負荷を与えるだけでなく、負荷によって疲労状態が生じた後に休養を取り、回復過程に適切な栄養補給をすることで、トレーニング前よりも発達した状態 (超回復) にすることが重要である。即ち、運動 (負荷)、休養、栄養の 3 要素をバランスよく取ることが大切である (勝田茂 「運動生理学」より)。

ボート競技は、有酸素性エネルギーと無酸素性エネルギーの発揮パワーによって、パフォーマンスを達成する Strength & Endurance type (ストレンクス & エンデュアランス・タイプ) の競技である (Maestu et al,2005)。有酸素性エネルギー供給機構に対しては  $VO_{2max}$  を向上させる運動 (強度) が、無酸素性エネルギー供給機構に対しては MOD が得られる運動 (強度) である。

一般的に、中等度強度のエンデュアランス・トレーニング (持久的運動) は、有酸素性代謝に働きかけ  $VO_{2max}$  等を向上させる。一方高強度トレーニングは無酸素性代謝に働きかけ MOD を向上させる。ローイングではエンデュアラン

ス・トレーニング（血中乳酸濃度は 4mmol/L 以下でのトレーニング）が主体であり、アネロビック閾値以上の強度のトレーニングは競技シーズンに主として行われているが、トレーニング全体の 10%以下である。Steinacker et al,(1988)らの専門家は、さらに高い強度でのトレーニングの割合を高めるよう推奨している（資料 4）。

なお高強度トレーニングにおける血中乳酸濃度は 12mmol/L 以上とされ、エリート漕手の 6 分間のローイングシミュレーションによる最高血中乳酸濃度は 14-18mmol/L であったと先行研究で測定されている(Hagerman et al,1979)。

資料 4. カテゴリー<血中乳酸濃度(mmol/L)による強度分類>別トレーニング割合。

「Physiology and Nutrition for Competitive Sport」7 巻より抜粋

Training Period	Categories ( % of the total amount of training )				
	IV	III	IV + III	II	I
Preparation Period					
~autumn/winter	90%-94%	8%-5%	98%-99%	1%	1%-0%
~winter/spring	86%-88%	9%-5%	95%-93%	4%	1%-3%
Competition Period	70%-77%	22%-15%	92%-93	6%	2%

<Lactate response Category>  
 I : 8mmol以上      II : 4-8mmol      III : 2-4mmol      IV : 2mmol以下

ボート競技のトレーニングは、さまざま要素（エアロビック、アネロビック、パワー、強さ、技術等）を含んでおり、同時にそれら全てを向上させることはなかなか困難である（Lehmann et al,1992）。

特にエンデュアランス・トレーニングは長時間を要する。したがって、有酸素性と無酸素性エネルギー供給機構のそれぞれに、同時に刺激を与えることができれば効率的であり、トレーニングの質を向上させることが出来る。

以上により両エネルギー供給機構に同時に刺激を与えると考えられている“高強度・間欠的・短時間”トレーニングが注目された。

### 1.10 高強度・間欠的・短時間トレーニング

インターバルトレーニングは、最も頻繁に用いられるトレーニング様式で、運動強度、運動時間、休憩時間、反復回数の組み合わせは多様である。スピードスケートで実際用いられている間欠的運動に着目した先行研究がある（Tabata et al,1996）。170%VO<sub>2</sub>max で 20 秒運動し 10 秒休息する、この間欠的運動は、OD を使い切り、無酸素性エネルギー供給機構に最大の刺激を与えられる運動（強度）である。又休息中に有酸素エネルギー供給機構にも、最大の刺激を与え VO<sub>2</sub>max を増大させる。

この研究では、中程度強度・持久的運動トレーニング(週 5 日 70rpm で 60min. 運動強度 70%VO<sub>2</sub>max) と、上記の高強度・間欠的運動(週 4 日 85rpm を下回ったら終了。7-8 セット。9 セット可能なら 11W 強度を増す) によるトレーニングを、自転車エルゴメーターで 6 週間実施し比較した。中程度強度の持久的運動トレーニングでは VO<sub>2</sub>max で 5mL/kg/min 向上したが、MOD では、ほぼ変化が無かった。高強度・間欠的運動によるトレーニングでは、VO<sub>2</sub>max が 48.2 ± 5.5mL/kg/min から 55.0 ± 6.0mL/kg/min に 7mL/kg/min 向上し、MOD は 60.9 ± 8.6mL/kg から 77.0 ± 9.0mL/kg に +28% と大幅に改善した (Tabata et al, 1996)。以上のように、高強度・間欠的・短時間トレーニングにより、有酸素性エネルギー供給機構の能力 (VO<sub>2</sub>max) と無酸素性エネルギー供給機構の能力 (MOD) の向上が確認された(資料 7-1, 資料 7-2)。

平井らは、Tabata et al,(1996) の高強度・間欠的トレーニングに着目し、同様なトレーニングを 6 週間実施後、ウエイトトレーニングを 6 週間負荷して実施したところ、MOD が 64.3 ± 5.0mL/kg から 86.8 ± 5.9mL/kg に +37.8% と大幅に向上した (平井ら,1996)。

神崎らは、様々な運動強度や運動時間の設定による運動を検証した研究で、200%VO<sub>2</sub>max の漸減 20 秒 + 10 秒の休息による運動を週 5 回 8 週間のトレーニングにより、MOD が 68.2 ± 8.7mL/kg から 90.0 ± 10.4mL/kg に +32.0% 向上した (神崎ら,1998)。

Clare et al は、120%VO<sub>2</sub>max による運動強度指定のトレーニングを実施し、男女比較で検証した研究により、男子 +20.9% と女子 +19.1% とほぼ同様な向上により、性による差の無いことが報告された (Clare et al, 2002)。

以上の点に着目し、ローイング・トレーニング法としての確立を目的に先行研究がなされた。ローイング・エルゴメーターによる 20 秒間の全力運動を 10 秒間の休息を挟んで 8 セット、週 3 回、6 週間実施した。2000m タイムトライアルで、タイムの短縮や、最高血中乳酸値、仕事量に有意差がみられ、MOD (未測定) の増加が予想されたが、VO<sub>2</sub>max には変化が見られなかった (新村ら,2006)。

高田らは、水上でのシングルスカルによる高強度・間欠的運動による 6 週間のトレーニング効果を検証した。6 週間のトレーニング前後に測定した 2000m タイムトライアルでは、タイムの短縮がなされ、トレーニング効果が確認された。但し、MOD (未測定) の増加が予想されるも、VO<sub>2</sub>max、HRmax、パワーmax では変化がみられなかった (高田ら,2008)。

このようにローイング・トレーニングとしての高強度・間欠的・短時間トレーニング法の確立を目的とした研究がなされたが、ローイング競技における有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構についてのメカニズム、また両エネルギー供給機構の改善については明らかにされていない。本研究の目的は、無酸素性エネルギー供給機構に焦点を当て、両エネルギー供給機構とパフォーマンスとの関係を確認する。レースシミュレーションにより両エネルギー供給能力を測定し、競技中のパフォーマンスの状況を確認すると共に、両エネルギー供給機構の貢献比を明らかにすることであった。また、大学のボート選手を対象とし、ハイシーズンにおける実際のトレーニング現場で、高強度・間欠的・短時間トレーニングによる両エネルギー供給能力の向上を検証することであった。更にトレーニング効果を検証した結果、どのようにトレーニング現場に導入するかを検討することであった。

資料 5. 高強度・間欠的・短時間トレーニングによる最大酸素借(MOD)の変化とボート選手等の最大酸素借(MOD)の比較。

文献	性	N	身長 (cm)	体重 (kg)	種目・競技歴	上昇率	MOD(L)		測定方法	トレッドミル or エルゴ
						%	プレ	ポスト		
Tabata et al (1996)	M	7	172.0±3.0	68.5±5.9	各種スポーツ選手	28	4.2±0.6	5.3±0.6	オールアウトテスト2-3分間	自転車エルゴ
神崎ら(1998)	M	9	169.1±3.4	69.0±6.7	各種体育学生	32	4.7±0.6	6.2±0.7	オールアウトテスト2-3分間	自転車エルゴ
Hirai et al (1996)	M	6	172.0±5.0	71.0±8.0	一般成人	38	4.6±0.4	6.1±0.4	オールアウトテスト2-3分間	自転車エルゴ
Clare et al (2002)	M	7	177.1±1.7	80.8±2.3	一般成人	21	3.9±0.2	4.8±0.5	オールアウトテスト2分間	自転車エルゴ
	F	7	168.7±1.8	64.3±1.6		19	2.8±0.2	3.3±0.2		
Pripstein et al (1998)	F	16	175±4	74.1±7.8	ボート選手		3.4±0.7		最大強度の2分間漕	ローイングエルゴ
中垣ら(2008)	M	8	173±4	70.9±10.0	カヌー選手(競技歴7.5±3.3年)		4.7±0.79		オールアウトテスト120s	カヤックエルゴメーター
Bangsbo et al (1993)	M	5	181±6	77.2±5.7	ボート、ワールドチャンピオン		3.7±0.5		4分間走	トレッドミル
							4.9±0.3		6分間漕	ローイングエルゴ
Bourdon et al (2007)	M	2	178.3±7.2	75.0±8.5	ボート、ワールドチャンピオン		3.3±0.3		2-in-1testにおける2000m漕	ローイングエルゴ
	F	8					3.4±0.4		2000m漕	ローイングエルゴ

## 第 2 章 <研究 I>ボート選手の体力とローイングパフォーマンス の関係

### 2.1 目的

ボート競技における体力的要素とパフォーマンスについて多くの先行研究がある。重回帰分析により、国内の漕手のローイング 2000m のタイム(sec)について、①LBM(kg)、②VO<sub>2</sub>max(L/min)、③脚伸展パワー(W) と、その有意な相関関係が示されている (Yoshiga et al,2003)。

しかし無酸素性エネルギー供給機構とパフォーマンスの関係については検証されていない。また、ボート競技中の両エネルギー供給機構の貢献比についても検証がなされていない。

本研究の目的は、有酸素性エネルギーと無酸素性エネルギー供給機構に焦点を当て、体力とパフォーマンスとの関係を検証することであった。また、レースシミュレーション中の両エネルギー供給能力を測定し、競技中のパフォーマンスの状況を確認すると共に、両エネルギー供給機構の貢献比を明らかにすることであった。

### 2.2 被験者

被験者は岐阜経済大学ボート部に属する男子選手 15 名であった。高校時代から全員の選手はボート競技を経験している。大学では強度の高いトレーニングを日常的に行っている。全員寮生活を行っており、週 6 日間のトレーニングだけでなく、寝食共にした生活を送っている。よって、突発的な心身の変化や生活の違いによる測定上の誤差は少ないと考えられた。

大学ボート部員の身体特性は年齢、身長、体重が  $18.9 \pm 1.4$ (歳)、 $173.3 \pm 3.1$ (cm)、 $70.6 \pm 5.6$ (kg)であった。(表 1)。

測定を行うにあたり、測定の趣旨ならびに起こりうる危険性について十分説明し、書面にて同意を得た。本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認 (承認番号 07-84) を得て実施された。

表 1. 身体組成

	N=15
年齢(歳)	18.9±1.4
身長(cm)	173.2±3.1
体重(kg)	70.6±5.6
体脂肪率(%)	12.8±2.9
LBM(kg)	61.4±3.4
漕歴(年)	5.2±1.7
MOD(L)	2.4±0.7
VO <sub>2</sub> max(L/min)	4.7±0.3

### 2.3 測定内容

測定は5種類実施した。漸増負荷テスト、2分間漕オールアウトテスト、4分間漕レースシミュレーション、2000m タイムトライアル(TT)、身体組成の測定を行った。

#### 2.3.1 測定時期と場所

測定は5月27日～5月29日に実施した。測定場所は、岐阜経済大学(岐阜県大垣市)にて行った。

#### 2.3.2 漸増負荷テスト

ローイングエルゴメーター (Model C , Concept II, USA) を用いて、最大酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>max) と各ステージでの酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>) 心拍数 (HR) 及びハンドルパワー(W)を測定した。なおハンドルパワーはローイングエルゴメーターのモニター値と実測値の2種類の測定(下記参照)を行った。

漸増負荷テストは、各ステージでの目標負荷を設定し、その負荷に合わせるよう指示した。負荷が維持できなくなると検者より再三の励ましを行った。負荷は150Wからはじめて3分行い、200Wを3分、250Wを3分行ったら、以後2分ごとに300Wから50Wずつ上げてマックスまで漸増し、設定した負荷を維持できなくなるステップまで測定した。VO<sub>2</sub>のプラトー現象を確認し、漸増負荷テスト終了直後にBorgスケールを用いて主観的運動強度(RPE)を問診した。

呼吸ガスは、呼吸代謝測定装置、VO2000(エスアンドエムイー社)を用いて分析し、1分平均のVO<sub>2</sub>を10秒毎に測定した。漸増負荷テスト中に得られた1分平均のVO<sub>2</sub>の10秒毎に測定した値の30秒平均の最高値をVO<sub>2</sub>maxとした。

心拍数 (HR) は POLAR TEAM SYTEM (POLAR 社) を用いて測定した(写真)。

### 2.3.3 2分オールアウトテスト

MOD の測定は、Pripstein et al, (1999)の先行研究に従って行った。この研究では 16 名の女性漕手 (漕暦 : 3.5 年、身長 : 175±4cm、体重 : 74.1±7.8kg) がローイングエルゴメーターによる 2 分間漕で MOD が得られたと報告されている。

被験者は十分にウォーミングアップをしてから、ローイングエルゴメーターによる 2 分間の全力ローイングを行った。強度は各被験者の発揮できる最大強度とし、2 分間で疲労困憊にいたるよう、検者より再三の励ましを行った。運動中の発揮パワー、VO<sub>2</sub>、HR は漸増負荷テストと同様な方法で測定した ( 写真 )。

### 2.3.4 4分レースシミュレーション

ボートの公式競技は 2000m で、男子のタイムは約 5.5～7.2 分である。レースに近いシミュレーションモデルを作成して、4 分間、距離にして 1000m 余を設定して測定を行った。なお先行研究では 1000m による 12-13 歳を対象にしたローイングパフォーマンスの検証を行っている ( Mikulic et al, 2008 )。

被験者には、十分にウォーミングアップを実施してもらい、レースに近い形式【30 秒間スタートダッシュ (全力漕) +3 分間コンスタント (各自のコンスタントピッチ) +30 秒ラストスパート (全力漕)】で測定を行った ( 図 1 )。

運動中の発揮パワー、VO<sub>2</sub>、HR は漸増負荷テスト及び2分オールアウトテストと同様の方法で測定した ( 写真 )。

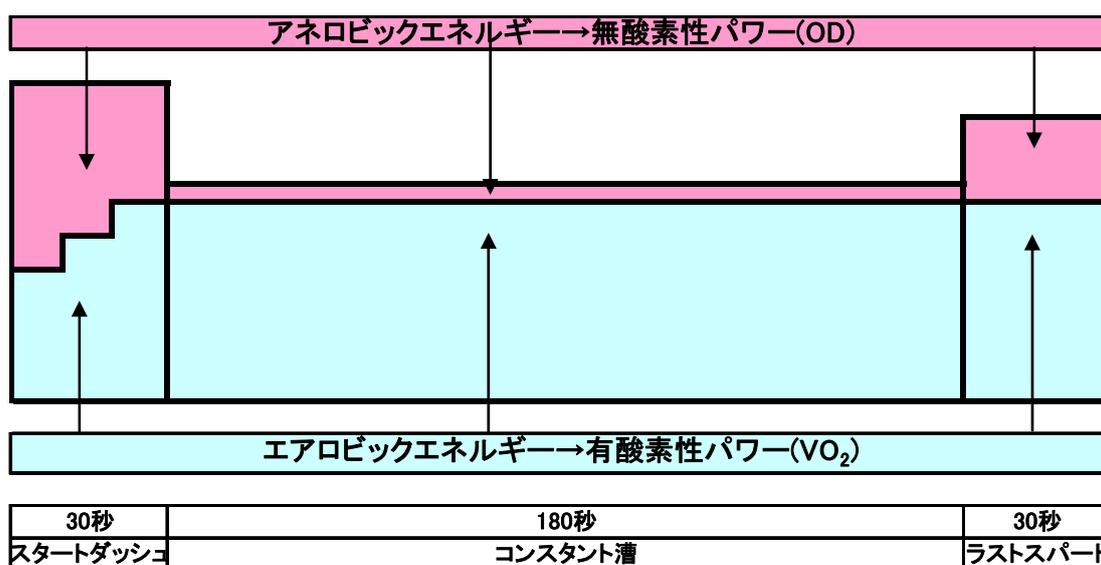


図 1. 4分レースシミュレーションのモデル



写真. ローイングエルゴメーターによる漸増負荷テストと2分オールアウトテスト及び4分レースシミュレーションの測定風景

発揮パワーの測定は、2分オールアウトテストをローイングエルゴメーターのモニター値の計測により行い、4分レースシミュレーションは実態により近い測定が可能なローイングエルゴメーターのハンドル部の実測（下記参照）で行った。

#### <ハンドル部の発揮パワーの実測方法>

ローイングエルゴメーター漕中の発揮パワーを、ハンドル部へ加えられた力と速度を掛け合わせることで算出した。ハンドル部へ加えられた力はハンドルとチェーンの間に挿入したロードセル（LUR-A-1KNSAL、共和電業、日本）によって測定し、出力はストレインアンプ（DPM-611B、共和電業、日本）で増幅した。ロードセルは質量既知の重りを用いてキャリブレーションをおこなった。ハンドル部の速度はローイングエルゴメーターのフライホイールの回転軸にロータリーエンコーダー（E6B2-CWZ3E、オムロン、日本）を接続し測定した。ロータリーエンコーダーは自作のプーリーを介して1cmの移動に対して1パルスを発するようにギア比を設定した。得られた電圧変化をアナログ-デジタル変換器（DAQCard-6024E、National Instrument、USA）を介してサンプリング周波数1kHzでノートPCに取り込んだ（写真）。

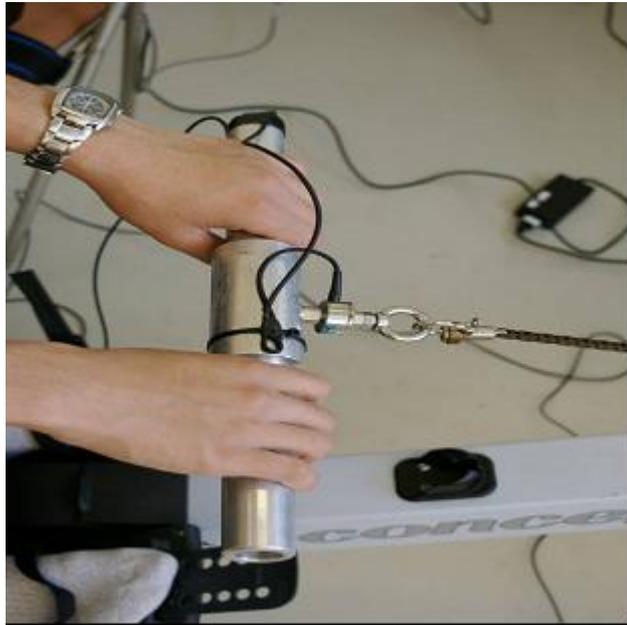


写真. ローイングエルゴメーターのハンドルパワー実測

\*なお MOD の測定では強度(発揮パワー)の測定が重要であるため、モニター値とハンドル部の実測値の 2 通りの方法を行った。

### 2.3.5 2000mTT

ローイングエルゴメーターにより 500m 毎のラップタイム(sec)の測定を行い、2000m タイムトライアル(sec)を実施した。

### 2.3.6 身体組成測定

身体組成は、大腿の最大周径囲測定を含み実施した。測定は生体電気インピーダンス法 (BC-600 TANITA 社) により行った。

### 2.3.7 統計処理

各測定値は、すべて平均値±標準偏差で示した。統計的有意差は適時 t-test を実施し、統計的有意水準は 5%未満とした

## 2.4 最大酸素借(MOD)及び総酸素借(AOD)の定量法。

測定方法は、Medbo et al, (1988) の方法 ( 資料 6 ) に従い算出した。

### < 2分オールアウトテストの MOD >

\* 2分オールアウトテストの発揮パワーはモニター値から得た。安定して測定できるが、推定した値が平均値として表示される為、発揮パワーを持続時間、仕事量より算定する必要がある( 写真 )。

漸増負荷テストにより、各ステージでの  $VO_2$  と実測パワー(W)を測定した。各ステージにおける最も安定したラスト1分間の平均値をそのステージの  $VO_2$  とした。発揮パワー(W)はローイングエルゴメーター(Concept II)のモニター値のパワー(W)を用いて、持続時間、仕事量より各ステージの発揮パワー(W)を算出した。発揮パワー(W)を X 軸とし  $VO_2$  を Y 軸とする関係から、一次回帰直線を求めた。なお Medbo の基本的方法では、 $VO_2$  と W を 6 回から 9 回の各ステージで求めるが、我々は  $VO_2$  と W を 4 回から 5 回の各ステージより求めた。

2分オールアウトテストにより  $VO_2$  とパワー(W)を測定した。1分平均の  $VO_2$  を 10 秒毎に記録した。発揮パワー(W)はモニター値のパワー(W)から、持続時間、仕事量より 10 秒毎の発揮パワー(W)を算出した。

漸増負荷テストで求めた一次回帰直線と、2分オールアウトテストで測定した  $VO_2$  と発揮パワー(W)により外挿して総酸素需要量を算出した。このように求めた総酸素需要量と2分オールアウトテスト時の総酸素摂取量の差を AOD として求め、MOD(L)とした。

### < 4分レースシミュレーションの AOD >

\* 4分レースシミュレーションの発揮パワーは実測値によった。より実態に近い値を測定できるが、安定して測定をできるかどうかは課題である( 写真 )。

漸増負荷テストにより、各ステージでの  $VO_2$  と発揮パワー(W)を実測した。各ステージにおける最も安定したラスト1分間の平均値をそのステージの  $VO_2$  とした。発揮パワー(W)はローイングエルゴメーター(Concept II)のハンドルパワーを実測した。発揮パワー(W)を X 軸とし、 $VO_2$  を Y 軸とする関係から、一次回帰直線を求めた( 図 3-1 )。

漸増負荷テストで求めた一次回帰直線と、4分レースシミュレーション中のハンドルパワーより実測した発揮パワー(W)と  $VO_2$  により、外挿して10秒毎の酸素需要量を求めた。10秒毎の酸素需要量と  $VO_2$  の差を OD として求めた( 図 3-2 )。4分間の合計を平均して、被験者全員の AOD(L)を求めた(表 2-1)。

<AOD : Medbo の基本的定量法>

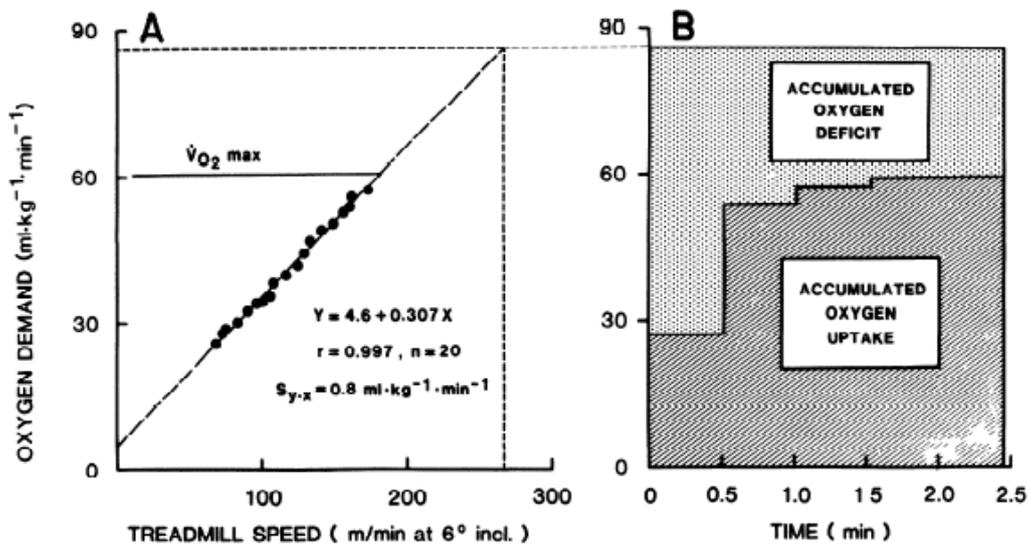
A : 最大下の運動で、10 分間の運動を、各々強度を変えて ( $\dot{V}O_2\max$  の 40% から 90%程度) 6 回から 9 回程度行う。この測定により、運動強度(エルゴメーターなら W)と  $\dot{V}O_2$  との直線的関係を被験者一人一人個別に求める。

B : 超最大運動 (4 分以内で疲労困憊に至る運動) を疲労困憊に至るまで被験者に行わせる。運動強度 (同=W) と  $\dot{V}O_2$  を測定する。

総酸素需要量は、先に求めておいた最大下の運動強度と酸素摂取量の一次回帰直線上に超最大運動の運動強度を外挿することにより推定する。AOD は、総酸素需要量から運動中の総酸素摂取量を差し引いた値とする。(資料 6)

この測定方法は、運動強度が異なっても効率は変化しないという仮説に基づいており、批判はあるが、実験データは、かなり正確な測定項目であることを示している (Scott et al,1991)。

もっとも普及している方法であり理解しやすいが、繊細な測定方法である。最大下の強度で酸素摂取量と強度の関係を個人個人で求める必要があり時間がかかりすぎる。この点が MOD を求める難点であり、多くは実験室の測定に基づいている。現場で簡便に用いることが出来る測定法の開発が必要であるとされている。



資料 6. AOD の測定方法 (Medbo et al, 1988)

## 2.5 結果

### 2.5.1 発揮パワー(W)とパフォーマンスの関係

測定された結果について 図 2-1、図 2-2 に示した。2分オールアウトテストで測定した発揮パワーと 2000mTT のタイムとは高い負の相関関係が認められた( $P < 0.001$ )。発揮パワーと 2000mTT のスタート 500m のラップタイムについても同様に有意な負の相関関係がみられた( $P < 0.05$ )。

### 2.5.2 LBM(kg)と $VO_2\max$ (L/min)及びパフォーマンスの関係

測定された結果については 図 2-3、図 2-4 に示した。LBM と 2000mTT のタイムとは有意な負の相関関係が認められた( $P < 0.05$ )。LBM と  $VO_2\max$ (L/min)について有意な正の相関関係がみられた  $P < 0.05$ 。

### 2.5.3 $VO_2\max$ (L/min)と発揮パワー(W)及びパフォーマンスの関係

被験者の  $VO_2\max$  (L/min)は、絶対値が  $4.7 \pm 0.3$ L/min で、相対値が  $66.8 \pm 5.5$ mL/kg/min であった。測定された結果については図 2-5～図 2-7 に示した。 $VO_2\max$ (L/min)と 2000mTT のタイムには有意な負の相関関係が認められた( $P < 0.05$ )。 $VO_2\max$  (L/min)と 2分オールアウトテストの漕距離(m)に付いて有意な正の相関関係が認められた( $P < 0.05$ )。 $VO_2\max$  (L/min)と発揮パワーについて有意な正の相関関係がみられた( $P < 0.05$ )。

しかし相対値である  $VO_2\max$ (mL/kg/min)と 2000mTT のタイムでは有意な相関関係は示されなかった。即ちローイング競技において、絶対値である  $VO_2\max$ (L/min)と相対値である  $VO_2\max$ (mL/kg/min)では、パフォーマンスとの相関関係に違いがあることが確認された。絶対値の  $VO_2\max$ (L/min)はローイング競技と密接な相関関係のあることが判明した。

### 2.5.4 MOD(L)とパフォーマンスの関係

被験者の MOD は、絶対値が  $2.4 \pm 0.7$ L で、相対値が  $33.6 \pm 9.5$ mL/kg であった (発揮パワーはローイングエルゴメーターのモニター値を用いた)。測定された結果について 図 2-8、図 2-9 に示した。MOD(L)と 2000mTT のタイムには有意な負の相関関係が認められた( $P < 0.05$ )。MOD(L)と 2分オールアウトテストによる漕距離(m)との間には正の相関関係のある傾向が認められた( $P < 0.1$ )。

相対値である MOD(mL/kg/min)と 2000mTT のタイムとの相関関係は負の傾向が認められたが、ボート競技において、MOD においても絶対値である MOD(L)が 2000mTT のタイムとの有意な負の相関関係がみられ、パフォーマンスにおける相関関係に違いがあることが判明した。絶対値の MOD(L)がボート

競技と密接な相関関係があることが判明した。

### 2.5.5 MOD(L)と発揮パワー(W)及びLBM(kg)の関係

MOD においては  $VO_2\max$  の結果と異なり、2分オールアウトテストによる発揮パワー及びLBM との相関関係は確認できなかった。

### 2.5.6 4分レースシミュレーションの結果

ボート競技のレースシミュレーションモデル図 1 を作成し、実際のレースを想定して測定を行った<\*発揮パワーはハンドル部の実測パワーを用いた>。

被験者 A の結果を 図 3-1、図 3-2 に示した。被験者毎に一次回帰直線を作成し、10 秒毎の有酸素性エネルギー及び無酸素性エネルギー供給能力の貢献比を作成した。4 分レースシミュレーションの被験者の総酸素摂取量の平均値は 15.9L を示し、AOD の平均値は 5.2L を示した。その貢献比は 75%対 25%であった(表 2-1)。

全員を平均して 4 分レースシミュレーション図 3-3 を作成した。10 秒と 30 秒毎の有酸素性エネルギー供給機構と無酸素性エネルギー供給機構の貢献比を表 4-2 に示した。スタートダッシュ 30 秒間までは無酸素系エネルギーが 65%と高い比率を示した。その比率は無酸素系エネルギー対有酸素系エネルギーで最初の 10 秒は 75%vs25%、次の 20 秒で 68%vs32%、次の 30 秒で 51%vs49%と推移した。その後 30 秒過ぎの 3 分間のコンスタントピッチでは、無酸素系エネルギーの比率は 37%から 10%へと減少し、有酸素系エネルギーの比率が 63%から 90%へと高くなり推移した。ラストスパート 30 秒間では無酸素系エネルギーの比率が 19%と多少高くなり、最後の 10 秒は、無酸素系エネルギーが 23%で有酸素系エネルギーが 77%であった(表 2-2)(図 3-3)。

### 2.5.7 4分レースシミュレーションと2分オールアウトテストの関係

2分オールアウトテストの  $VO_2\max(L/min)$  と 4分レースシミュレーションの総酸素摂取量(L)は、有意な正の相関関係が認められた( $P < 0.01$ )(図 3-4)。

2分オールアウトテストのモニター値による平均発揮パワー(W)と 4分レースシミュレーションのハンドル実測値による発揮パワー(W)の関係は、正の相関関係が認められた( $P < 0.05$ )(図 3-5)。

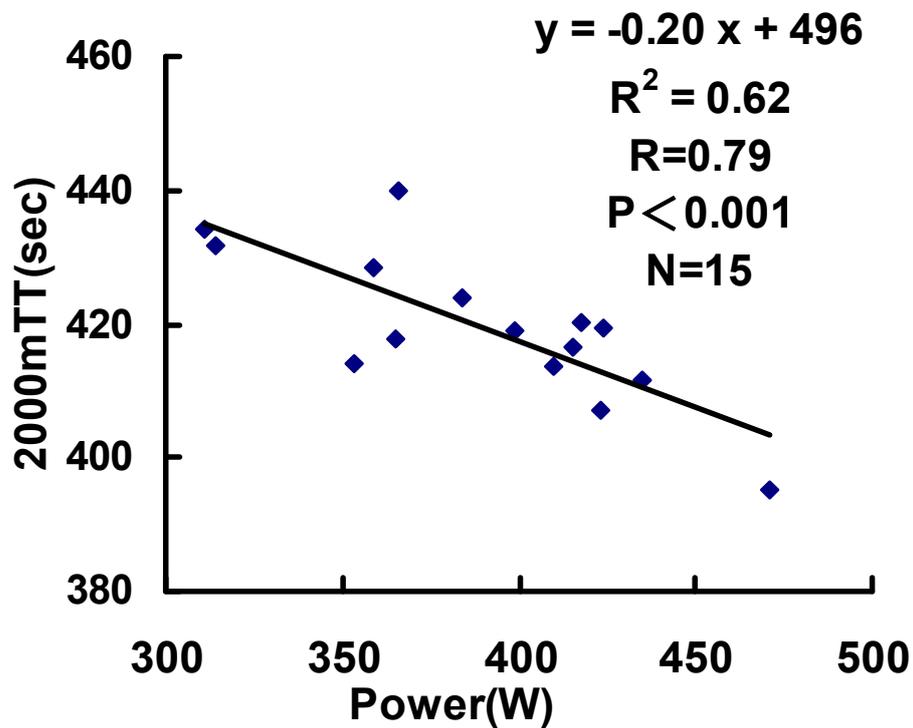


図 2-1. 2000mTT(sec) と発揮パワー(W)の関係

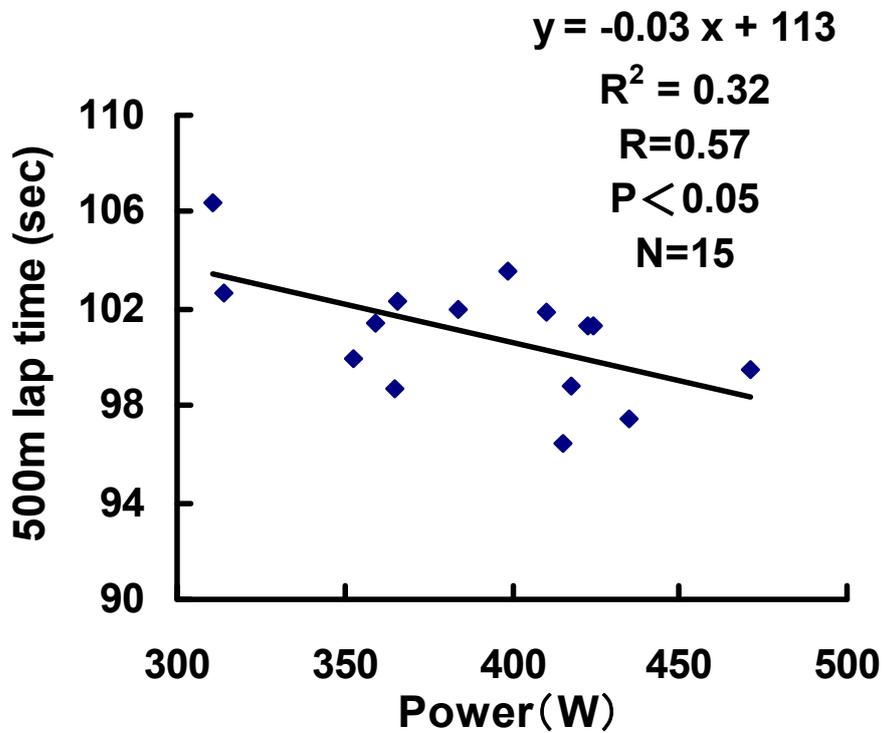


図 2-2. 500m ラップタイム(sec) と発揮パワー(W)の関係

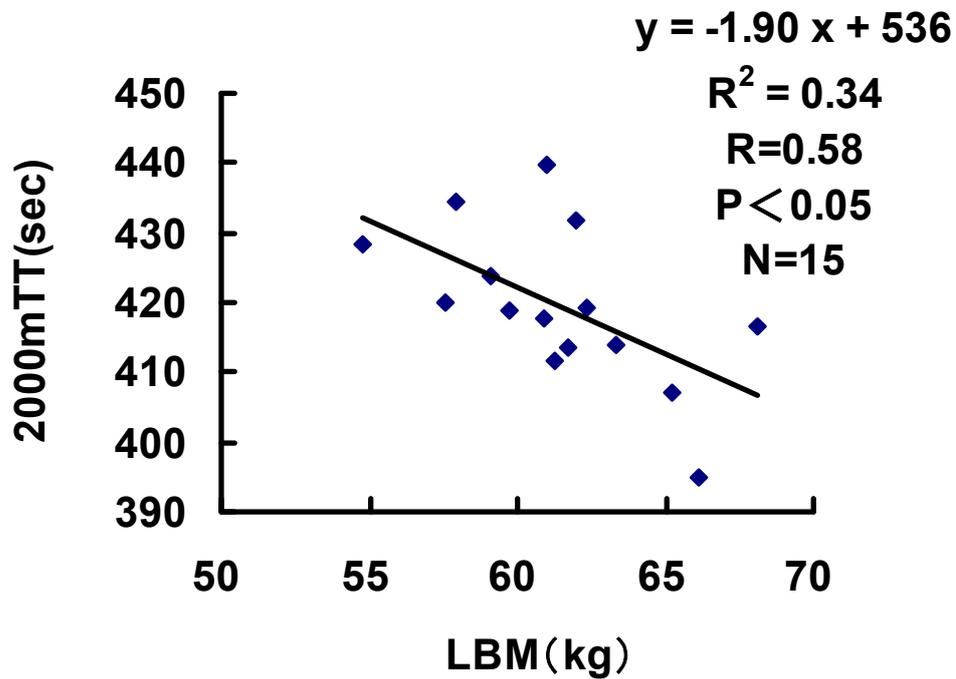


図 2-3. 2000mTT(sec)と LBM(kg)と の関係

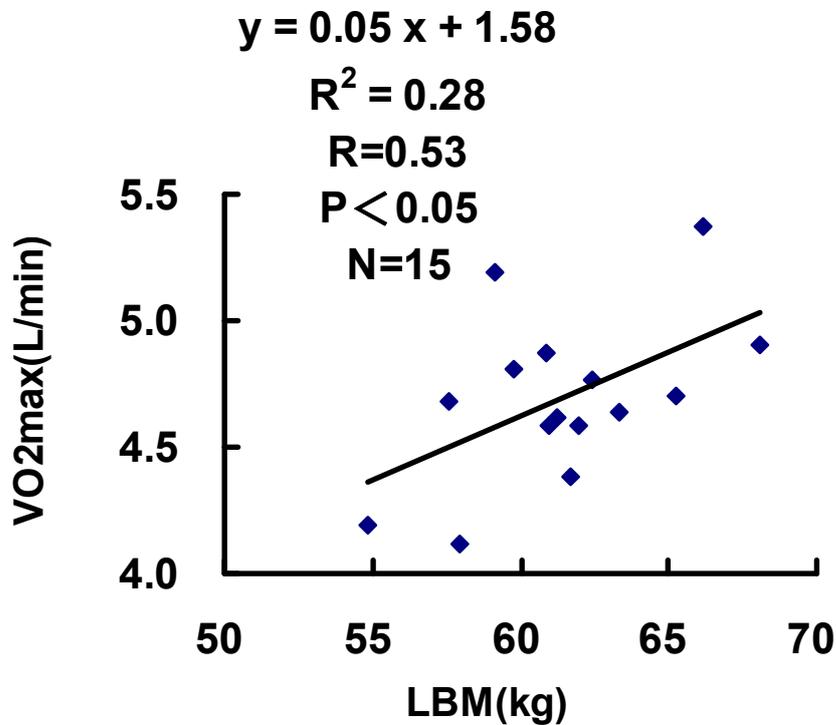


図 2-4. VO<sub>2</sub>max(L/min) と LBM(kg) の関係

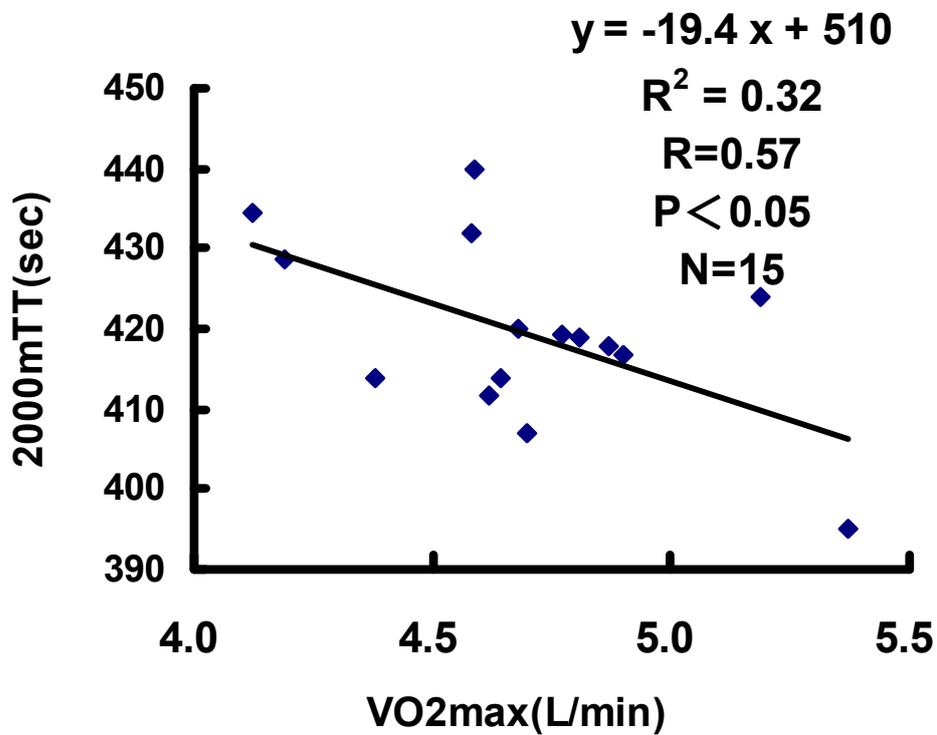


図 2-5. 2000mTT(sec) と VO<sub>2</sub>max(L/min)の関係

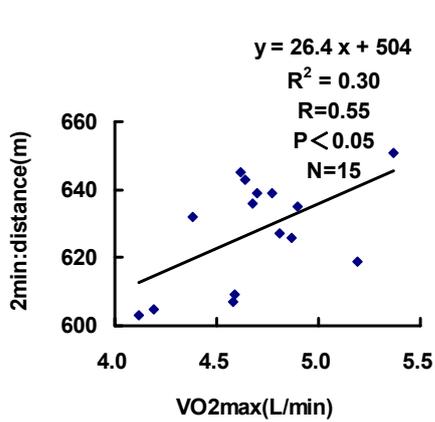


図 2-6. 2分間の漕距離(m)と VO<sub>2</sub>max(L/min)の関係

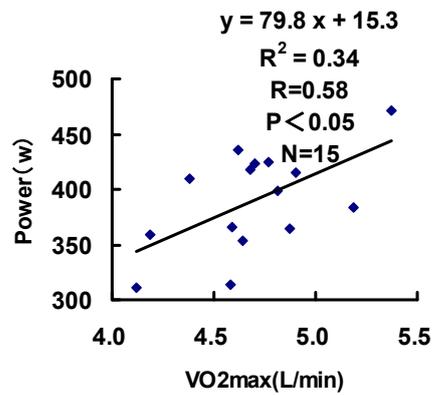


図 2-7. 発揮パワー(W)と VO<sub>2</sub>max(L/min)との関係

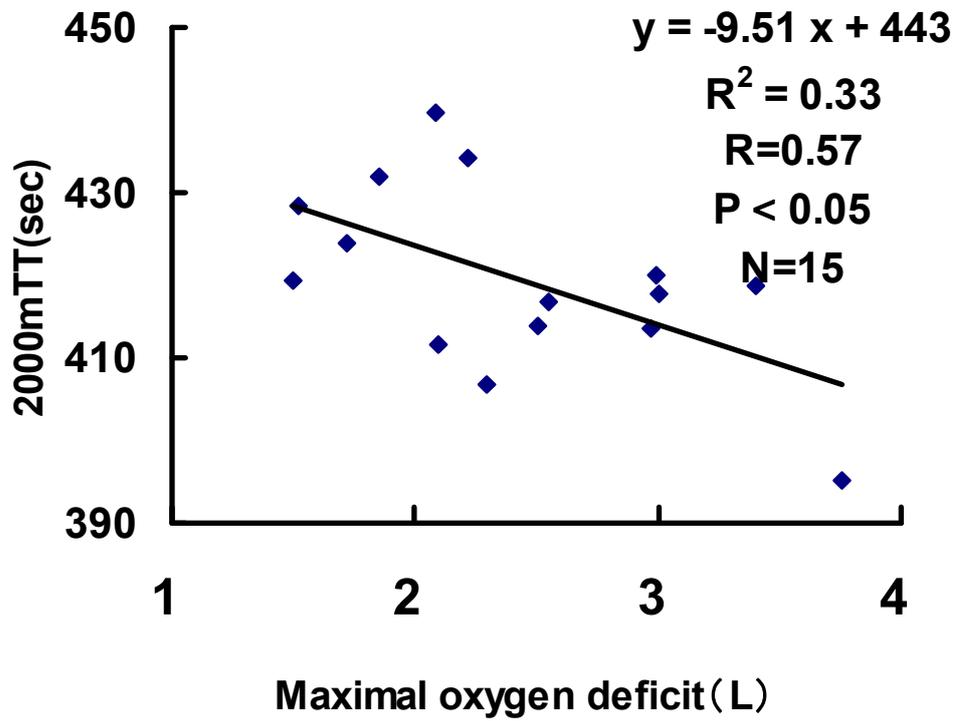


図 2-8. 2000mTT(sec) と MOD(L)の関係

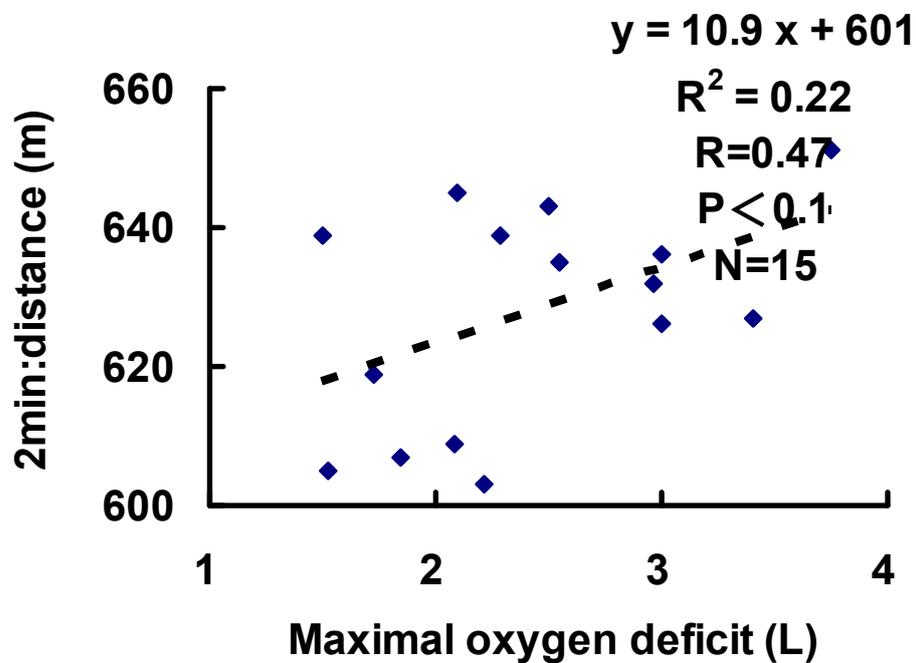


図 2-9. 2分間の漕距離(m)と MOD(L)との関係

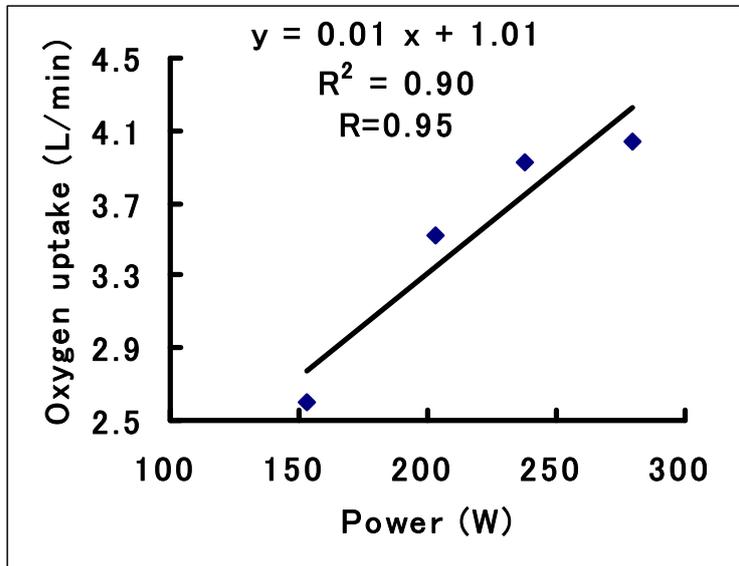


図 3-1. 被験者 A の一次回帰直線

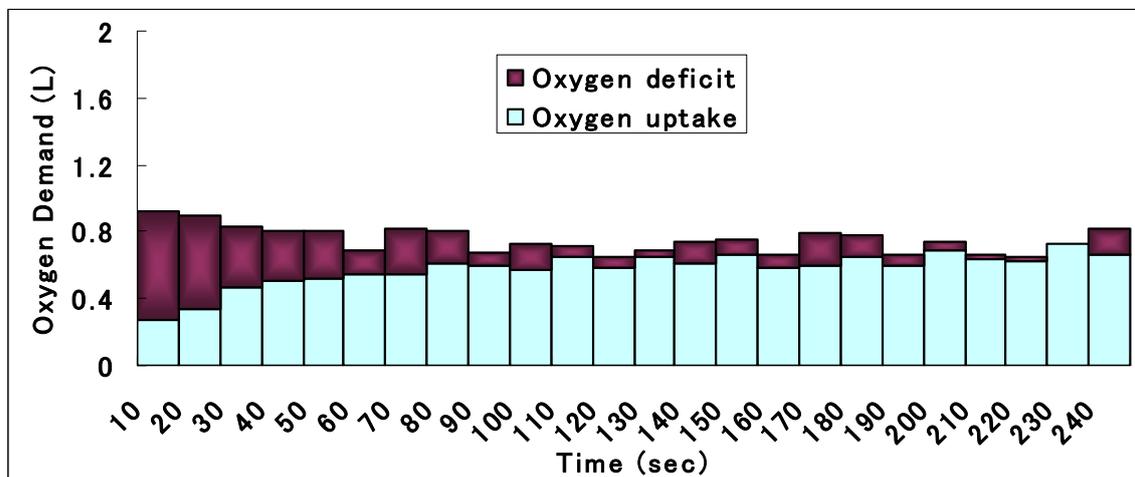


図 3-2. 被験者 A の 4 分レースシミュレーションの OD と VO<sub>2</sub>

表 2-1. 4分レースシミュレーションの AOD と総酸素摂取量の平均値及び貢献比

4分レースシミュレーション貢献比		
項目	代謝量(L)	割合(%)
AOD	5.2	25
総酸素摂取量	15.9	75
総酸素需要量	21.1(L)	100

表 2-2. 4分レースシミュレーションの 10 秒毎の有酸素性エネルギー供給機構 (VO<sub>2</sub>) と無酸素性エネルギー供給機構 (OD) の貢献比

4分レースシミュレーション:ODVSVO <sub>2</sub> <貢献比>																								
	スタートダッシュ			constant 漕																		ラストスパート		
タイム(sec)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240
OD<10sec>(%)	75	68	51	37	30	26	24	16	13	17	13	14	16	12	13	10	10	13	12	10	12	16	17	23
OD<30sec>(%)	65			31			18			15			14			11			12			19		
VO <sub>2</sub> <10sec>(%)	25	32	49	63	70	74	76	84	87	83	87	86	84	88	87	90	90	87	88	90	88	84	83	77
VO <sub>2</sub> <30sec>(%)	35			69			82			85			86			89			88			81		

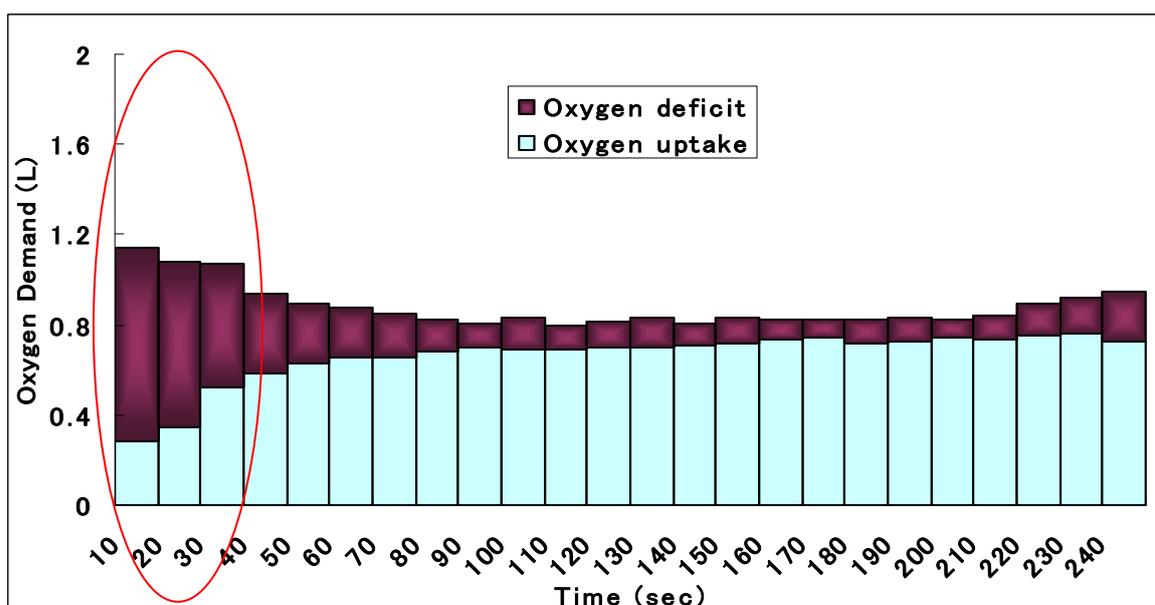


図 3-3. 4分レースシミュレーションの 10 秒毎の OD と VO<sub>2</sub> の推移

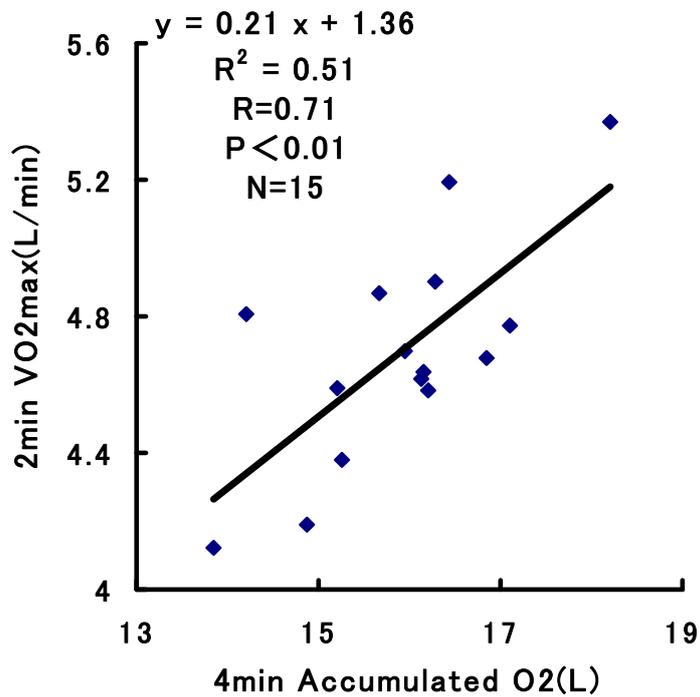


図 3-4. 2分オールアウトテスト VO<sub>2</sub>max(L/min)と4分レースシミュレーション総酸素摂取量(L)の関係

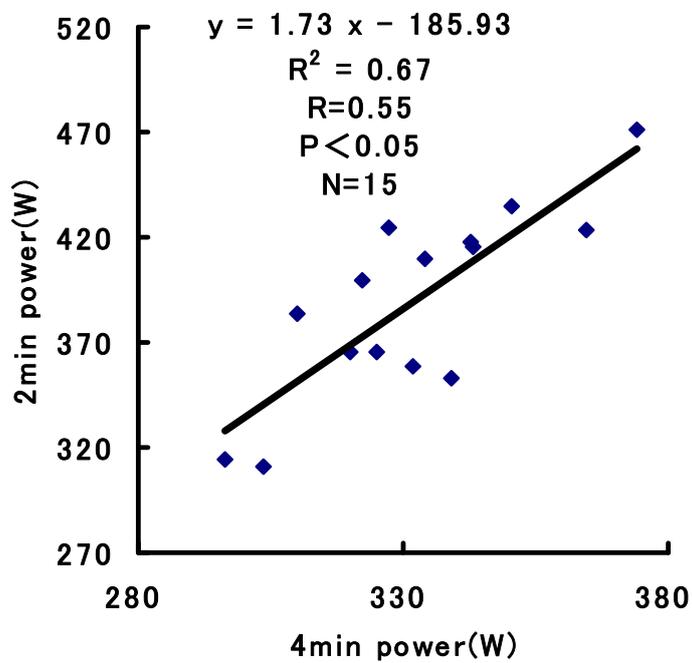


図 3-5. 2分オールアウトテストのモニター値による平均発揮パワー(W)と4分レースシミュレーションのハンドル実測値による発揮パワー(W)の関係

## 2.6 考察

### 2.6.1 発揮パワーとパフォーマンスの関係

発揮パワーとパフォーマンスの関係を、2000mTT のタイムと 500m ラップタイムにおいて検証した。ローイングエルゴメーター 2 分漕により発揮されるパワーと 2000mTT のタイムとの高い負の相関関係が認められた。また、スタートダッシュで重要な 500m についても有意な負の相関関係が認められた。

即ち、発揮パワーの大きい選手は 2000mTT のタイムや 500m ラップタイムが良いことが確認された。発揮パワーの大きい選手はローイングパフォーマンスが高いことを示すものであり、これは先行研究を支持するものであった (Mickelson & Hagerman, 1982)。

### 2.6.2 LBM(kg)と VO<sub>2</sub>max(L/min)及びパフォーマンスの関係

LBM は 2000mTT のタイムと有意な負の相関関係が認められ、VO<sub>2</sub>max とは有意な正の相関関係が認められた。

即ち、LBM の多い選手は 2000mTT のタイムが良く、VO<sub>2</sub>max が大きいことが確認された。LBM の多い選手は高い有酸素性エネルギー供給能力を持ち、高いローイングパフォーマンスを発揮することが確認された。この点も先行研究を支持するものであった (Yoshiga et al, 2003)。

### 2.6.3 VO<sub>2</sub>max (L/min)と発揮パワー(W)及びパフォーマンスの関係

本研究において測定した被験者の VO<sub>2</sub>max は絶対値が  $4.7 \pm 0.3$  L/min で相対値が  $66.8 \pm 5.5$  mL/kg/min であった。日本国内のボート選手の VO<sub>2</sub>max の値は、重量級の強化選手で  $4.9 \pm 0.4$  L/min :  $59.8 \pm 4.7$  mL/kg/min。軽量級の強化選手で  $4.6 \pm 0.5$  L/min :  $65.8 \pm 6.8$  mL/kg/min であり、被験者の VO<sub>2</sub>max 値は強化指定選手並みの値であった。被験者らは高校よりボート競技を行い、また、大学入学後、持久トレーニングを多く積んでいるため VO<sub>2</sub>max は上限値に近い可能性がある (山地啓司「最大酸素摂取の科学」より)。

VO<sub>2</sub>max とパフォーマンスの関係は、他のスポーツ種目においても多くの結果が報告されている。本研究においても VO<sub>2</sub>max は、2000mTT のタイムと有意な負の相関関係が認められ、ローイングエルゴメーター 2 分間の漕距離及び発揮パワーにおいては有意な正の相関関係が認められた。絶対値の VO<sub>2</sub>max の高い選手は 2000mTT のタイムが良いことや発揮パワーが大きいことについても先行研究を裏付けるものであった (Yoshiga et al, 2003)。

即ち、絶対値の VO<sub>2</sub>max(L/min)の大きい選手はローイングパフォーマンスが高いことを再確認した。

#### 2.6.4 MOD(L)とパフォーマンスの関係

被験者の MOD(L)は、絶対値が  $2.4 \pm 0.7L$  で、相対値が  $33.6 \pm 9.5mL/kg$  であった。この値を他のボート選手と比較すると、日本においては測定値のデータが無いため、海外での測定値と比較した。Pripstein et al, (1998) は女子（身長  $175 \pm 4cm$  体重  $74.1 \pm 7.8kg$ ）のボート選手によるローイングエルゴメーターでの最大強度 2 分間漕による MOD を測定し、絶対値  $3.4 \pm 0.7L$  で相対値  $45.9 \pm 9.2mL/kg$  であったと報告している。

被験者の MOD の値はこの研究に近い値であり、世界の女子ボート選手の値に近いことが推定された。被験者らは大学入学後、持久性トレーニングは多く積んでいるが、強度の高いトレーニングが比較的少ないため、無酸素性エネルギー供給能力である MOD が十分に向上していない可能性が考えられた。

MOD(L)と 2000mTT のタイムに有意な負の相関関係があることや、ローイングエルゴメーターの 2 分漕による Distance（距離）と正の相関関係がある傾向が認められた。

即ち、無酸素性エネルギー供給能力である MOD の大きい選手は、ボート競技の 2000mTT において高いローイングパフォーマンスを発揮できることが始めて確認された。MOD の能力がボート競技におけるパフォーマンスにとって重要であることは間接的に論じられてきたが、本研究によって明らかにされた。

#### 2.6.5 ローイングにおける絶対値、相対値の検証

トレーニングにおいて、 $VO_2max$  は対象者の筋肉量にほぼ比例するため、筋肉 1kg あたりの相対値で表すのが好ましいとされる。しかし、スポーツ種目によっては、体重あたりの  $VO_2max(mL/kg/min)$  より、絶対値の  $VO_2max(L/min)$  の方が、作業成績と深い関係があるとされる。マラソンや距離スキーのように長時間運動で比較的体重が軽い方が有利とされる運動では、相対値が記録と密接な関係を有するが、水上をボートに乗って漕ぐボート競技では、体重の大きさ（筋肉量）が直接推進力を生み出すパワー源になるため、絶対値がより密接な関係にある（山地 啓司 「最大酸素摂取量の科学」より）。

本研究において測定した  $VO_2max$  値を絶対値と相対値において比較したところ、絶対値  $VO_2max (L/min)$  と 2000mTT は有意な相関関係が認められたが、相対値  $(mL/kg/min)$  においては相関関係が認められなかった。ボート競技においては絶対値  $VO_2max (L/min)$  がローイングパフォーマンスと密接な関係があることが確認され、体重移動が重要な運動種目 (weight-bearing exercise) であることが改めて確認された。相対値である MOD  $(mL/kg/min)$  と 2000mTT とは有意な相関関係は認められず、 $VO_2max$  と同様に MOD の絶対値(L)が、ボート競技において有意な相関関係が認められた。

### 2.6.6 4分レースシミュレーション

4分レースシミュレーションの結果、総酸素摂取量の平均値は15.9Lを示し、AODの平均値は5.2Lを示した。その貢献比は75%対25%であった。先行研究の2000mTTで試算した有酸素性エネルギーの70-80%対無酸素性エネルギーの20-30%に近い比率であった(Secher et al, 1990, 1993)。また、競技種目は異なるが、カヤックパドリング中4分間のAODの貢献比は $25.5 \pm 5.4\%$ であったと報告されており、我々の測定値とほぼ同じ値であった(中垣ら,2008)。

スタートダッシュにおける無酸素性エネルギーの貢献比の高いことが立証され、レース中の有酸素性及び無酸素性エネルギー供給能力の推移が明らかとなった。

なおローイングエルゴメーターによるTTよりも実際のレースでは、戦略上スタートダッシュの負荷が高まることが先行研究により立証されており、更に無酸素性エネルギー供給機構の比率が高まること示されている(S W Garland, 2005)。

ボート競技において有酸素性エネルギー供給機構の割合は高いものの、ローイングパフォーマンスの効果を高めるためには、無酸素性エネルギー供給能力向上の必要性が確認された。特にボート競技のレースを想定したトレーニングにおいてMODを高める重要性を示すことが出来た。

4分レースシミュレーションと2分オールアウトテストの関係で有酸素性エネルギー供給機構では有意な相関関係が認められた。4分レースシミュレーションのハンドル実測値による発揮パワー(W)と2分オールアウトテストのモニター値による平均発揮パワー(W)は正の相関関係が認められ、発揮パワー(W)の測定方法の関連性が確認された。

## 第3章 <研究Ⅱ>ローイングによる高強度・間欠的・短時間

### トレーニングの効果

#### 3.1 目的

ボート競技は持久力と共に、非常に高い発揮パワーが求められる。したがって、有酸素性エネルギー供給機構と無酸素性エネルギー供給機構によって最大限にエネルギーを供給することが求められるスポーツである( Maestu et al 2005 )。

有酸素性エネルギー供給機構の向上のためには、持久を高めるためにエンデュランストレーニングが行われ、無酸素性エネルギー供給機構を向上させるためには、ウエイトトレーニングや、スプリント形式のペダリングや走トレーニングが行われているが、比較的長時間を要するトレーニングである。

そこで両エネルギー供給機構を同時に向上させることが可能な短時間の高強度・間欠的トレーニングに着目した。この高強度・間欠的運動では、休息時間を 10sec とすることで、両エネルギー供給機構に働きかけて、その供給能を向上させることが確認されている(Tabata et al, 1996) (資料 7-1, 資料 7-2 )。

先行研究により、ボート競技において 2000m タイムトライアルで、タイムの短縮や、最高血中乳酸値、仕事量に有意差がみられ、また週 2 回、8 セットのトレーニングで十分な効果が得られることが検証されている( 新村ら,2006、高田ら,2007 )。しかし、MOD が測定されておらず、十分には確認されていない。更に現在、MOD の測定は Medbo の方法が一般化しているものの、トレーニング現場でそれに対する効果を見たものは少ない。

本研究の目的は、大学のボート選手を対象とし、ハイシーズンにおける実際のトレーニング現場で、高強度・間欠的・短時間トレーニングによる両エネルギー供給能力の向上を検証することであった。また、トレーニング効果を確認した結果、どのようにトレーニング現場に導入するかを検討することであった。

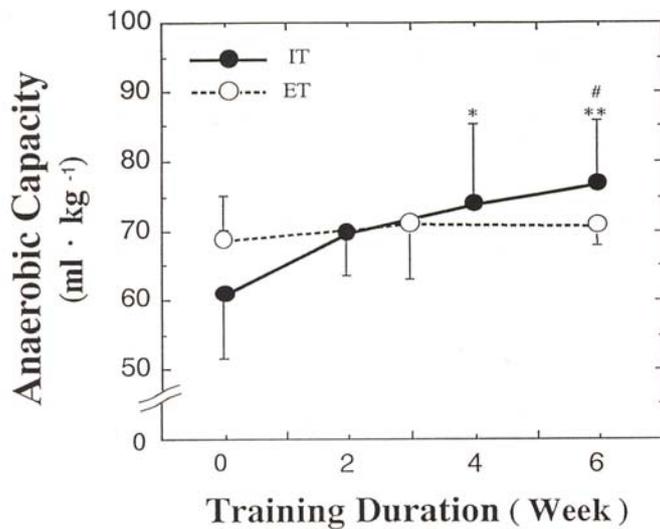


Figure 1—Effect of the endurance training (ET, experiment 1) and the intermittent training (IT, experiment 2) on the anaerobic capacity. Significant increase from the pretraining value at \* $P < 0.05$  and \*\* $P < 0.01$ ; significant increase from the 2-wk value at # $P < 0.05$ .

資料 7-1. 高強度・間欠的運動と中強度・持久運動の比較 ( Tabata et al,1996 )  
無酸素性エネルギー供給機構 (アネロビックキャパシティー) の推移

\* IT : 高強度・間欠的トレーニングで上昇。ET : 中強度・持久トレーニングでは変化無し。

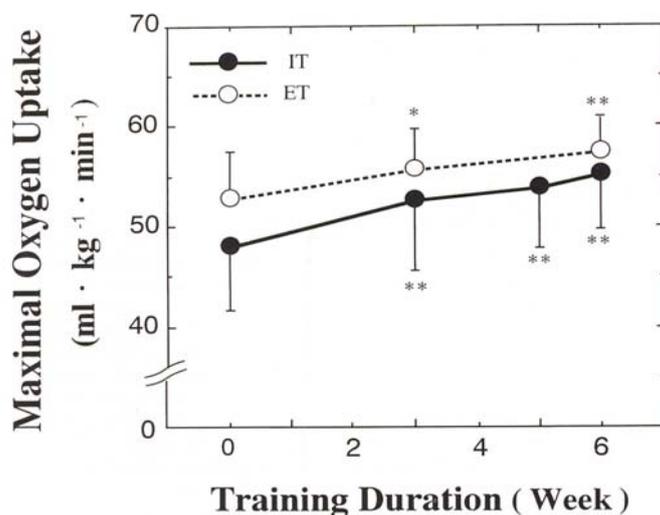


Figure 2—Effect of the endurance training (ET, experiment 1) and the intermittent training (IT, experiment 2) on the maximal oxygen uptake; significant increase from the pretraining value at \* $P < 0.05$  and \*\* $P < 0.01$ , respectively.

資料 7-2. 高強度・間欠的運動と中強度・持久運動の比較 ( Tabata et al,1996 )  
有酸素性エネルギー供給機構 (VO<sub>2</sub>max) の推移

\* IT : 高強度・間欠的トレーニング & ET : 中強度・持久トレーニングとも上昇。

### 3.2 被験者

被験者は岐阜経済大学のボート部に所属する健康な男子選手 12 名であった。高校時代にボート部に所属し 4 年～5 年漕歴はあるが、トップクラスからまだ実績を上げていない選手まで競技歴は様々である。測定を行うにあたり測定の趣旨ならびに起こりうる危険性について説明し、書面にて同意を得た。なお、本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院倫理委員会の承認（承認番号 07-84）を得て行われた。

大学のボート部員の身体特性は年齢、身長、体重、の順で  $19 \pm 1.4$  歳、 $174 \pm 3.2$ cm、 $71.3 \pm 6.1$ kg であった（表 3）。被験者は無作為にトレーニング群(T)とコントロール群(C)に分けられた。

表 3 被験者特性

	全員(n=12)	T群(n=6)	C群(n=6)
年齢(歳)	$19 \pm 1.4$	$19 \pm 1.5$	$19 \pm 1.5$
身長(cm)	$174 \pm 3.2$	$174 \pm 3.8$	$173 \pm 2.8$
体重(kg)	$71.3 \pm 6.1$	$72.3 \pm 3.3$	$70.2 \pm 8.3$
体脂肪率(%)	$13.0 \pm 3.2$	$13.6 \pm 1.4$	$12.5 \pm 4.4$
LBM(kg)	$61.8 \pm 3.7$	$62.5 \pm 2.7$	$61.2 \pm 4.7$
漕歴(年)	$4.9 \pm 1.5$	$4.8 \pm 1.0$	$5.0 \pm 2.0$
MOD(L)	$2.4 \pm 0.7$	$2.4 \pm 0.8$	$2.3 \pm 0.7$
VO <sub>2</sub> max(L/min)	$4.8 \pm 0.3$	$4.8 \pm 0.3$	$4.7 \pm 0.3$

平均値±標準偏差

### 3.3 測定内容

測定は 4 種類実施した。漸増負荷テスト、2分オールアウトテスト、2000m タイムトライアル(TT)、身体組成の測定を行った。なお T 群にはトレーニング後、アンケート調査を実施した。

#### 3.3.1 測定時期と場所

測定はトップシーズン期と考えられる 5 月～7 月にトレーニング期間前後で行った。プレ測定は 5 月 27 日～5 月 29 日に実施し、ポスト測定は 7 月 26 日～7 月 27 日に実施した。測定は、岐阜経済大学（岐阜県大垣市）にて行った。

#### 3.3.2 漸増負荷テスト

ローイングエルゴメーター（Model C , Concept II , USA）を用いて、最大酸素摂取量（VO<sub>2</sub>max）と各ステージでの酸素摂取量（VO<sub>2</sub>）、心拍数（HR）及びハンドパワー(W)を測定した。

漸増負荷テストは、各ステージでの目標負荷を設定し、その負荷に合わせるよう指示し、負荷が維持できなくなると検者より再三の励ましを行った。

負荷は 150W からはじめて 3 分を行い、200W を 3 分、250W を 3 分行った後、以後 2 分ごとに 300W より 50W ずつ上げてマックスまで漸増し、設定した負荷を維持できなくなるステップまで測定し、プラトー現象を確認した。漸増負荷テスト終了直後に Borg スケールを用いて主観的運動強度 (RPE) を問診した。

呼気ガスは呼吸代謝測定装置 VO2000 (エスアンドエムイー社) を用いて行い、1 分平均の  $VO_2$  を 10 秒毎に測定した。漸増負荷テスト中に得られた  $VO_2$  の 30 秒平均の最高値を  $VO_{2max}$  とした。心拍数 (HR) は POLAR TEAM SYSEM (POLAR 社) を用いて測定した。

### 3.3.3 2分オールアウトテスト

MOD の測定は Pripstein et al, (1999) の先行研究に従い測定した。この研究では 16 名の女性漕手 (漕暦 : 3.5 年、身長 :  $175 \pm 4$ cm、体重 :  $74.1 \pm 7.8$ kg) がローイングエルゴメーターによる 2 分間漕で MOD が得られたと報告されている。被験者には十分にウォーミングアップをしてもらい、ローイングエルゴメーターによる 2 分間の全力ローイングを行った。強度は各被験者の発揮できる最大強度とし、2 分間で疲労困憊にいたるよう、検者より再三の励ましを行った。運動中の発揮パワー、 $VO_2$ 、HR は漸増負荷テストと同様な方法で測定した。

### 3.3.4 MOD の算定

MOD は、Medbo et al, (1988) の方法 (資料 6) に従い算出した。

漸増負荷テストにより、各ステージでの  $VO_2$  と実測パワー(W)を測定した。各ステージにおける一番安定したラスト 1 分間の平均値をそのステージの  $VO_2$  とした。発揮パワー(W)はローイングエルゴメーター (Concept II) においてモニター値(W)を計測し、持続時間、仕事量より各ステージの発揮パワー(W)を算出した。発揮パワー(W)を X 軸とし、 $VO_2$  を Y 軸とする関係から、一次回帰直線を求めた。

なお Medbo の基本的な方法では、 $VO_2$  と W を 6 回から 9 回の各ステージで求めるが、我々は  $VO_2$  と W を 4 回から 5 回の各ステージより求めた。

2 分オールアウトテストにより  $VO_2$  と発揮パワー(W) (測定方法は漸増負荷テストと同じ) を測定した。 $VO_2$  は 1 分平均の  $VO_2$  を 10 秒毎に記録した。

発揮パワー(W)から、持続時間、仕事量より 10 秒毎の発揮パワー(W)を算出した。

漸増負荷テストで求めた一次回帰直線と 2 分間オールアウトテストによる  $VO_2$  と発揮パワー(W)より、外挿法により総酸素需要量を算出した。このように

求めた総酸素需要量と2分オールアウトテスト時の総酸素摂取量の差をAODとして求め、MOD(L)とした。

### 3.3.5 身体組成

身体組成の測定は、大腿の最大周径囲測定を含み実施した。測定は生体電気インピーダンス法 (BC-600 TANITA 社) により行った。

### 3.3.6 2000mTT

ローイングエルゴメーターで500mごとのラップと2000mのタイム(sec)を測定した。測定日はプレとポストに実施した。

### 3.3.7 統計処理

結果は全て平均±標準偏差で示した。トレーニング経過に伴う変化はt検定を行い、危険率5%未満を有意とした。

## 3.4 トレーニング方法

トレーニング期間を7週間として、高強度・間欠的・短時間トレーニング【(20秒の全力漕ぎ運動+10秒の休息)×8セット】を行わせた。20秒間の全力運動終了後10秒間休息し、20秒間の全力運動を開始した。この運動を8回繰り返す、計230秒間実施した。短時間であるが、疲労困憊に至る極めて高強度な運動である。

20秒の高強度の運動開始直後は無酸素性エネルギー供給機構によって多くのエネルギーが供給されるが、運動後半では有酸素性エネルギー供給機構によって多くのエネルギーが供給される。高強度な運動により無酸素性エネルギー供給機構に多くの刺激が与えられる。また、短い10秒の休息においては有酸素性エネルギーで無酸素性エネルギー(ATP-CP系)を回復し、更に酸素ストアを回復することで、有酸素性エネルギー供給機構にも刺激を与える。このように両エネルギー供給機構に刺激を与えて能力向上を図る(図4)。

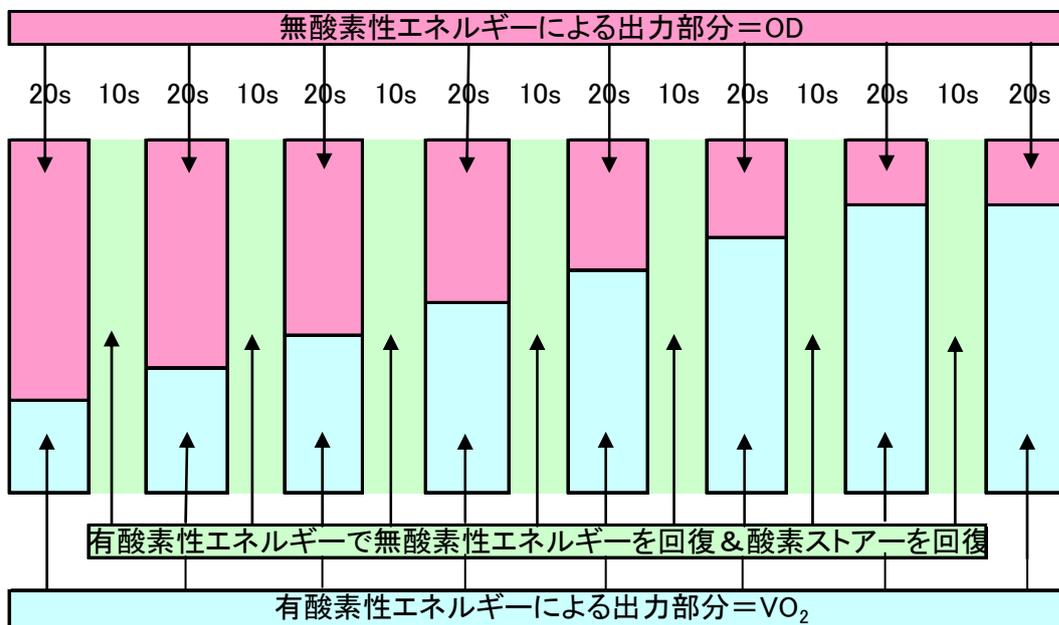


図 4. 山本正嘉氏 作図の一部改変

トレーニングは週 2 回とし、1 回はローイングエルゴメーター、もう 1 回は水上のシングルスカル漕で実施した。極力 2 人で実施し、トレーニング・カレンダーに記録した。トレーニング期間はボートのハイシーズンの 6 月 9 日～7 月 25 日とした。中間には検者がトレーニング状況を視察した。

C 群は通常のトレーニングメニューを実施した。なおこのトレーニングもボートのハイシーズンに実施されるものであり強度の高いものであった。T 群は通常のトレーニングメニュー終了後、高強度・間欠的・短時間トレーニングを週 2 回実施した。

### 3.5 結果

#### 3.5.1 VO<sub>2</sub>max

VO<sub>2</sub>max の変化を表 4-1 と変化率を表 4-2 に示した。両群における VO<sub>2</sub>max の変化に有意差はなかった。T 群は 4.8±0.3L/min から 4.8±0.4L/min と全く変化がなかった。C 群は 4.7±0.3L/min から 4.6±0.3L/min と推移した。変化率において T 群は 100.2±7.2% と変化がなかったが、C 群は 98.2±5.4% となった。T 群 C 群の変化の結果及び変化率を示した( 図 5-1, 図 5-2)。被験者毎の推移にはばらつきが認められた( 図 5-3)。

### 3.5.2 MOD

MOD の変化を 表 4-3 と変化率を 表 4-4 に示した。両群における MOD の変化に有意差はなかった。T 群は  $2.4 \pm 0.8L$  から  $3.6 \pm 1.2L$  と推移した。C 群は  $2.3 \pm 0.7L$  から  $3.0 \pm 0.8L$  と推移した。

変化率において T 群は  $145.9 \pm 38.2\%$  と推移し、C 群においても  $128.2 \pm 28.1\%$  と推移した。T 群 C 群の変化の結果及び変化率を示した( 図 5-4 図 5-5)。被験者全員がトレーニング前後で値が上昇していた( 図 5-6)。

### 3.5.3 発揮パワー

ローイングエルゴメーターの 2 分漕オールアウトテストにおける発揮パワーの変化の結果を 図 5-7 と変化率を 図 5-8 に示した。両群における発揮パワーの変化に有意差はなかった。T 群は  $324.8 \pm 56.9W$  から  $335.7 \pm 48.2W$  と推移した。C 群は  $309.0 \pm 23.5W$  から  $324.9 \pm 29.9W$  と推移した。両群とも変化は無かった。

### 3.5.4 2000mTT

ローイングエルゴメーターによる 2000mTT のタイム(sec) の変化を 図 5-9 と変化率を 図 5-10 に示した。両群における 2000mTT のタイム(sec) に有意差は示されなかった。T 群は  $418.5 \pm 16.5sec$  から  $416.6 \pm 12.7sec$  に推移した。C 群も  $419.4 \pm 5.1sec$  から  $414.6 \pm 5.1sec$  に推移した。両群とも変化は無かった。

### 3.5.5 変化量の関係

本研究における高強度・間欠的・短時間トレーニングによる測定結果は  $VO_2max$  と MOD に有意な差は認められず、被験者ごとの変化の大きいことが認められた。また、T 群の高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果が、発揮パワーや 2000mTT のタイムの向上に十分に結びついていない可能性が示唆された。よって、両エネルギー供給機構の変化がどのような要素の変化によるものか、変化量の相関関係により検討した。

$VO_2max$  の変化量と MOD の変化量には高い正の相関関係が認められた。 $VO_2max$  の変化量が増加すると共に、MOD の変化量が増加することが確認された ( $P < 0.001$ )( 図 6-1)。

$VO_2max$  の変化量及び MOD の変化量と 2000mTT のタイムの変化量には負の相関関係が認められなかった。LBM の変化量及び発揮パワーの変化量と 2000mTT のタイムの変化量には相関関係が認められなかった。

### 3.5.6 身体組成の推移

体重、除脂肪体重、大腿周径圍のトレーニング前後を比較したが、有意差はなかった。体重は、T群において  $72.3 \pm 3.3\text{kg}$  から  $70.5 \pm 4.1\text{kg}$  と推移したが、C群は  $70.2 \pm 8.38\text{kg}$  から  $70.2 \pm 7.7\text{kg}$  と変化がなかった。除脂肪体重はT群において  $62.5 \pm 2.7\text{kg}$  から  $61.3 \pm 2.9\text{kg}$  と推移したが、C群は  $61.2 \pm 4.7\text{kg}$  から  $61.3 \pm 4.5\text{kg}$  と変化はなかった。大腿周径圍はT群において  $53.9 \pm 2.0\text{cm}$  から  $53.2 \pm 2.2\text{cm}$  と推移し、C群においても  $53.9 \pm 2.9\text{cm}$  から  $53.5 \pm 2.\text{cm}$  と変化がなかった。以上の結果、T群において全ての値が変化していた。(図 7-1～図 7-3)。

### 3.5.7 アンケート結果

T群のアンケート結果は、パフォーマンス向上に対してトレーニング効果があると被験者6名中5名が感じていた。疲労感では2名が強く感じ、3名も感じていた。精神的負担感では1名が強く感じ、他の被験者もほぼ感じていた。

以上、被験者はトレーニング効果があると感じていたが、疲労感、精神的負担感を強く訴えていた(図 8)。

表 4-1. VO<sub>2</sub>max (L/min)の推移

T群 (n=6)			C群 (n=6)		
被験者	プレ	ポスト	被験者	プレ	ポスト
A	4.6	4.2	G	4.2	4.1
B	4.6	4.6	H	4.7	4.4
C	4.6	4.7	I	4.6	5.0
D	5.2	4.9	G	4.8	4.5
E	4.7	5.3	K	4.9	4.6
F	5.4	5.4	L	4.9	4.8
平均	4.8	4.8	平均	4.7	4.6
標準偏差	0.3	0.4	標準偏差	0.3	0.3

平均値±標準偏差

表 4-2. VO<sub>2</sub>max(L/min)の変化率(%)の推移

T群 (n=6)			C群 (n=6)		
被験者	プレ	ポスト	被験者	プレ	ポスト
A	100	91.3	G	100	98.8
B	100	100.2	H	100	94.0
C	100	103.3	I	100	108.6
D	100	94.8	G	100	95.2
E	100	111.9	K	100	94.9
F	100	100.0	L	100	98.0
平均	100	100.2	平均	100	98.2
標準偏差	0	7.2	標準偏差	0	5.4

平均値±標準偏差

表 4-3. MOD(L)の推移

T群 (n=6)			C群 (n=6)		
被験者	プレ	ポスト	被験者	プレ	ポスト
A	1.8	2.0	G	1.5	2.0
B	3.0	4.4	H	3.0	3.6
C	2.1	3.3	I	2.5	4.1
D	1.7	2.3	G	1.5	2.5
E	2.3	4.9	K	3.0	3.1
F	3.8	4.4	L	2.5	2.7
平均	2.4	3.6	平均	2.3	3.0
標準偏差	0.8	1.2	標準偏差	0.7	0.8

平均値±標準偏差

表 4-4. MOD(L)の変化率(%)の推移

T群 (n=6)			C群 (n=6)		
被験者	プレ	ポスト	被験者	プレ	ポスト
A	100	108.7	G	100	133.7
B	100	149.2	H	100	119.0
C	100	159.7	I	100	165.4
D	100	134.7	G	100	166.0
E	100	214.9	K	100	104.1
F	100	116.9	L	100	105.2
平均	100	145.9	平均	100	128.2
標準偏差	0	38.2	標準偏差	0	28.1

平均値±標準偏差

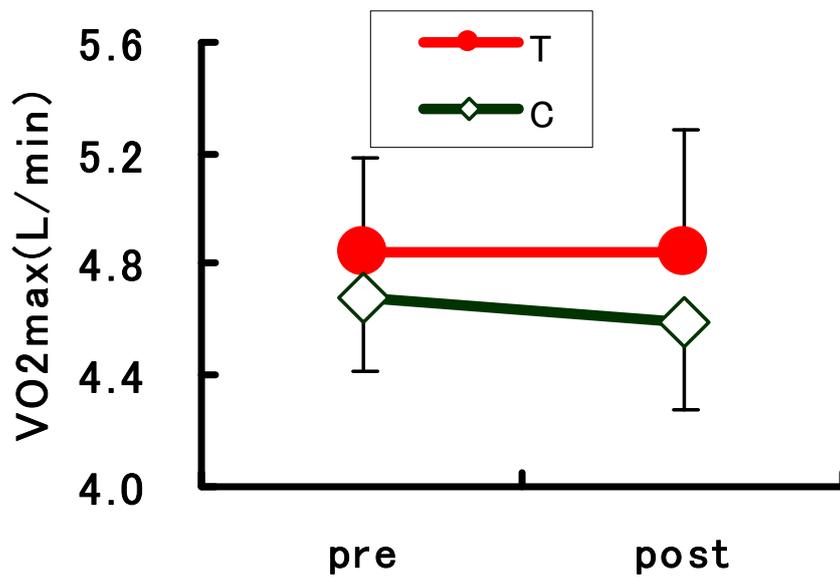


図 5-1. VO<sub>2</sub>max(L/min)の結果

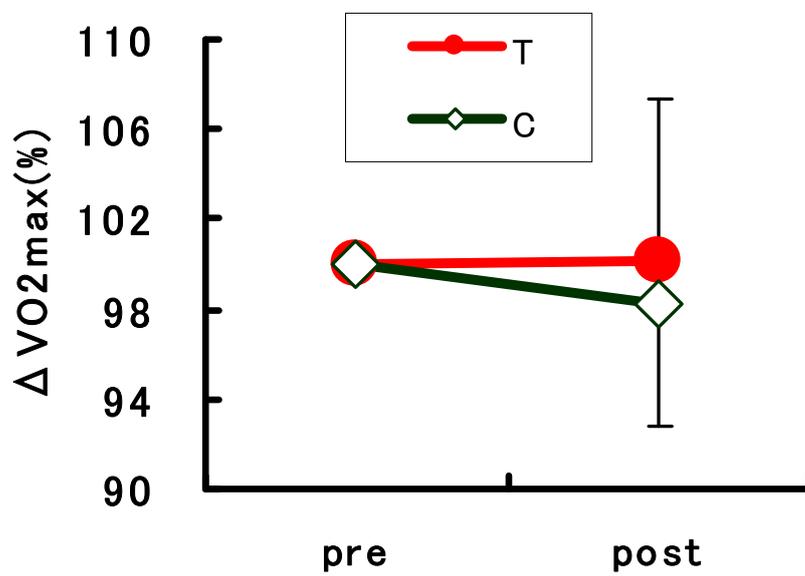


図 5-2. VO<sub>2</sub>max(L/min)の変化率(%)の結果

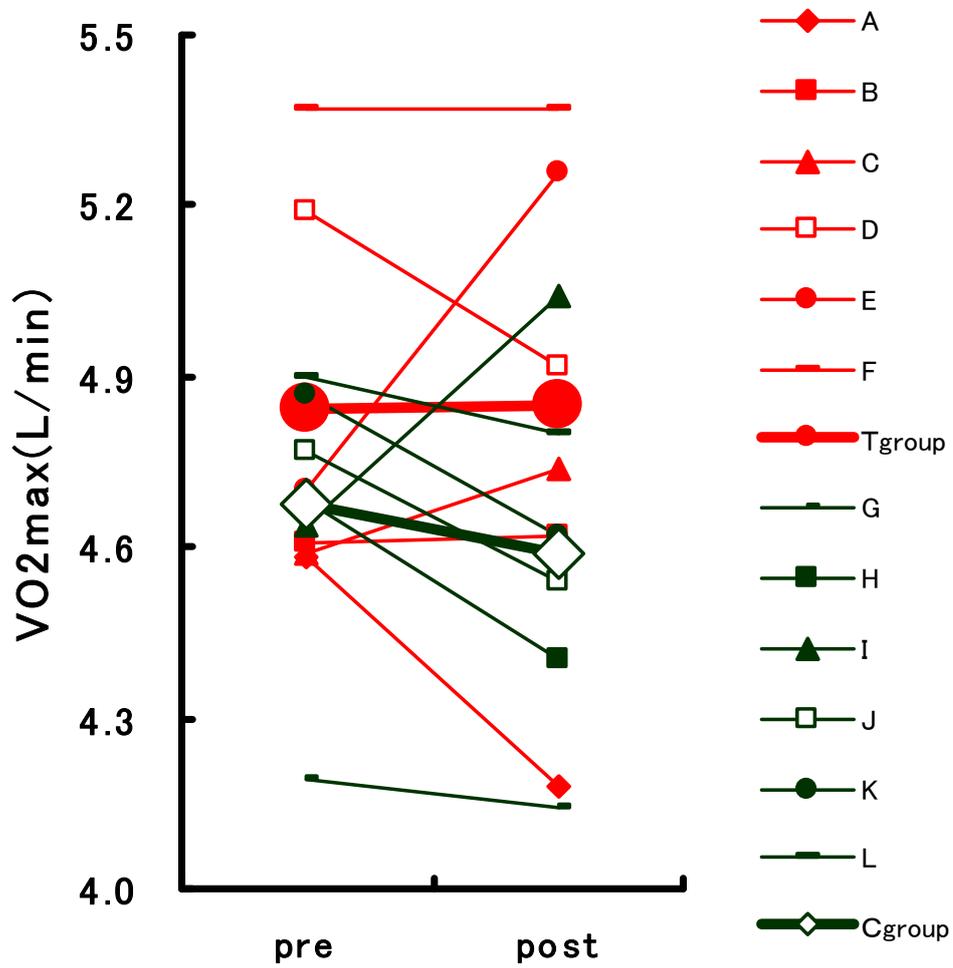


図 5-3. VO<sub>2</sub>max (L/min) の各被験者推移

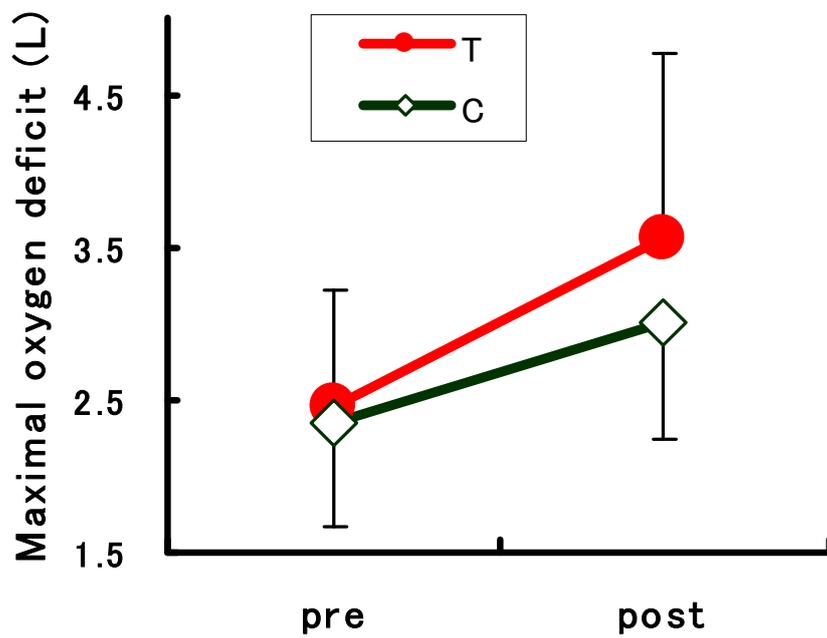


図 5-4. MOD(L)の結果

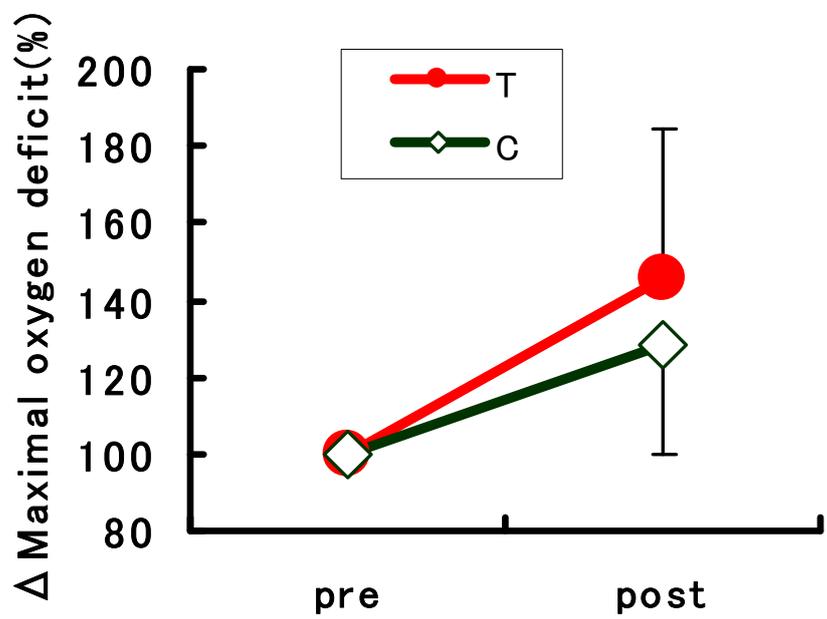


図 5-5. MOD(L)の変化率(%)の結果

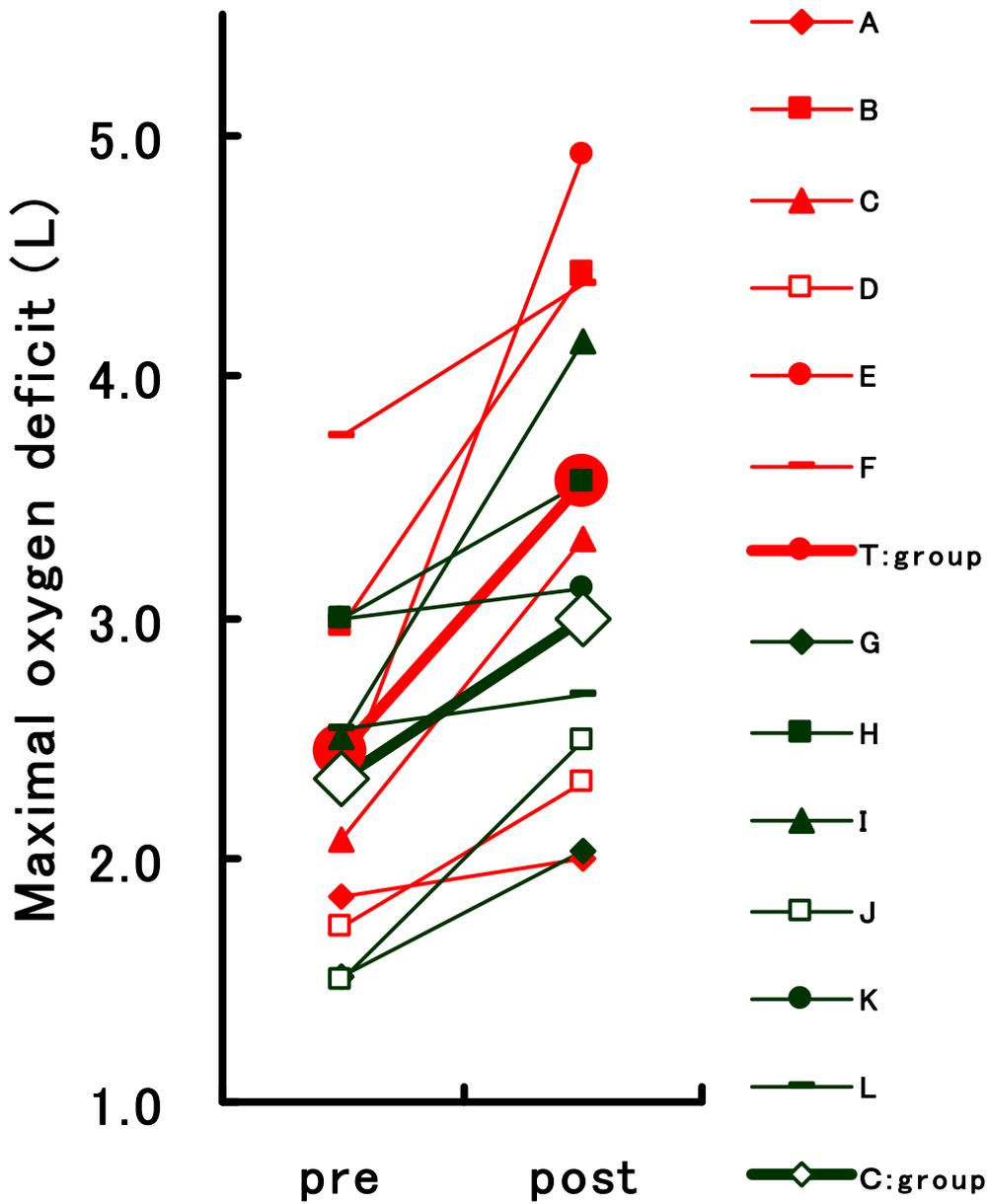


図 5-6. MOD(L) の各被験者推移

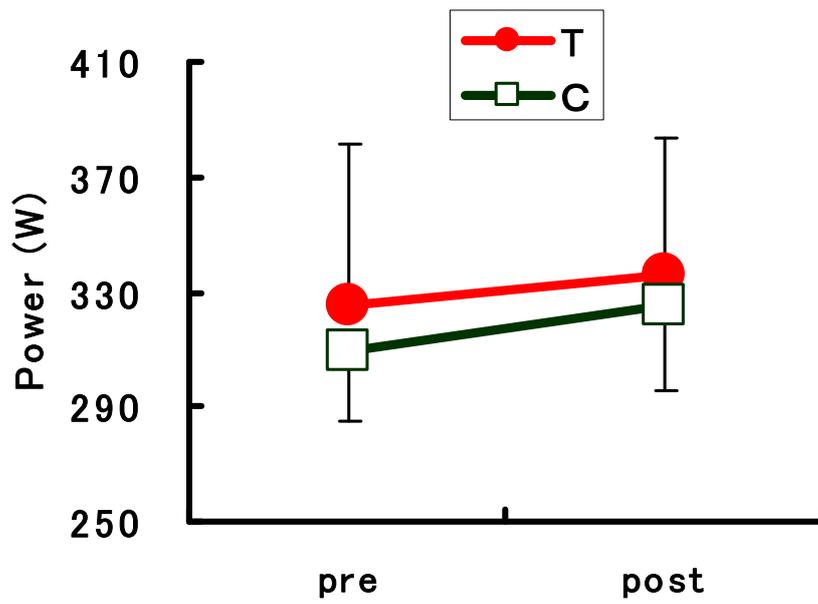


図 5-7. 発揮パワー(W)の結果

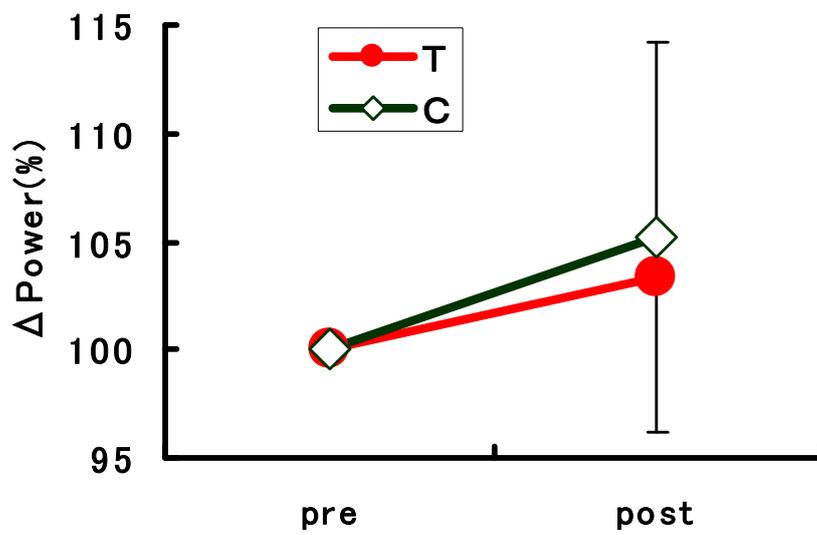


図 5-8. 発揮パワー(W)の変化率(%)の結果

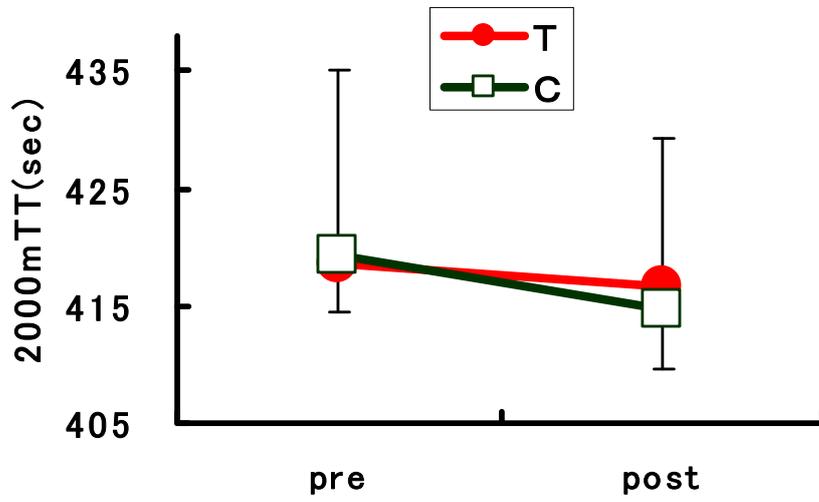


図 5-9. 2000mTT(sec)の結果

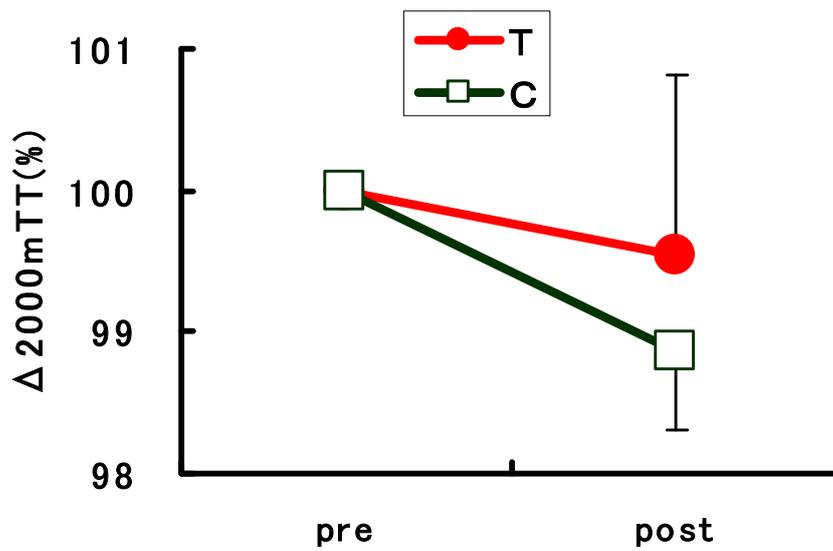


図 5-10. 2000mTT(sec) の変化率(%)の結果

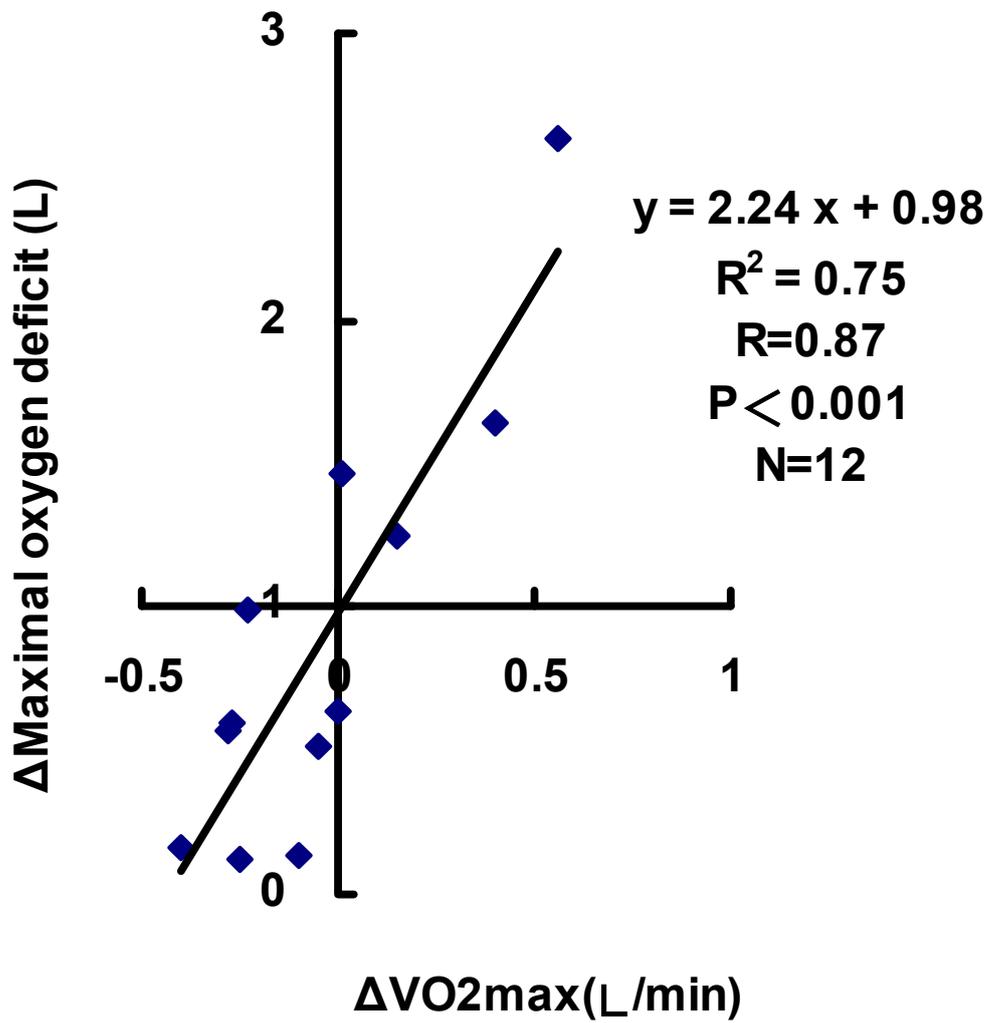


図 6-1. MOD(L)の変化量と VO<sub>2</sub>max(L/min)の変化量の関係

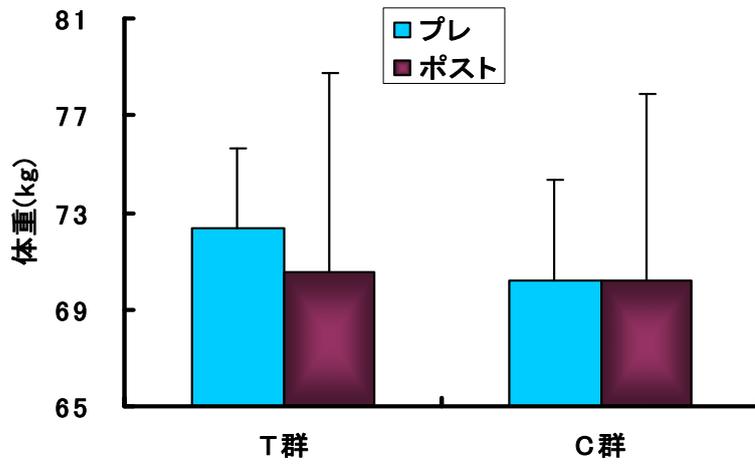


図 7-1. 体重(kg)の推移

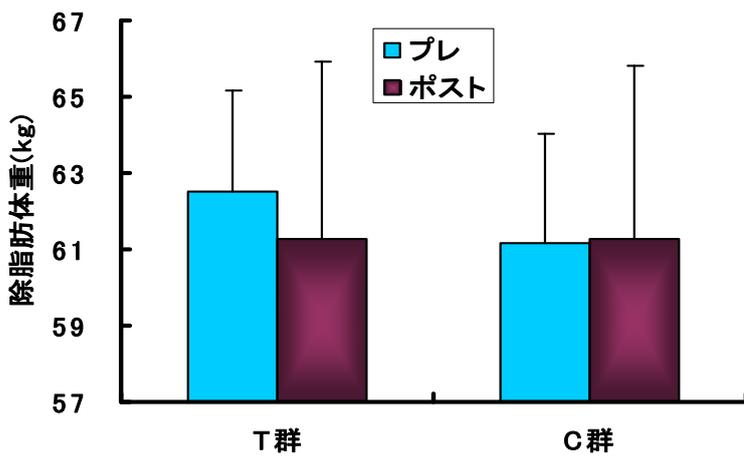


図 7-2. 除脂肪体重(kg)の推移

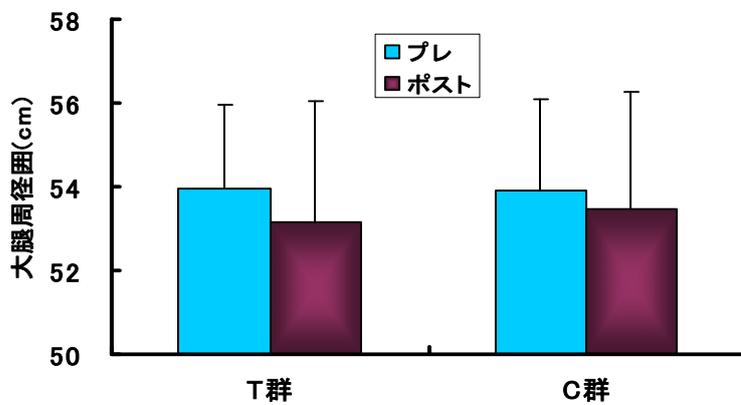


図 7-3. 大腿周径(cm)の推移

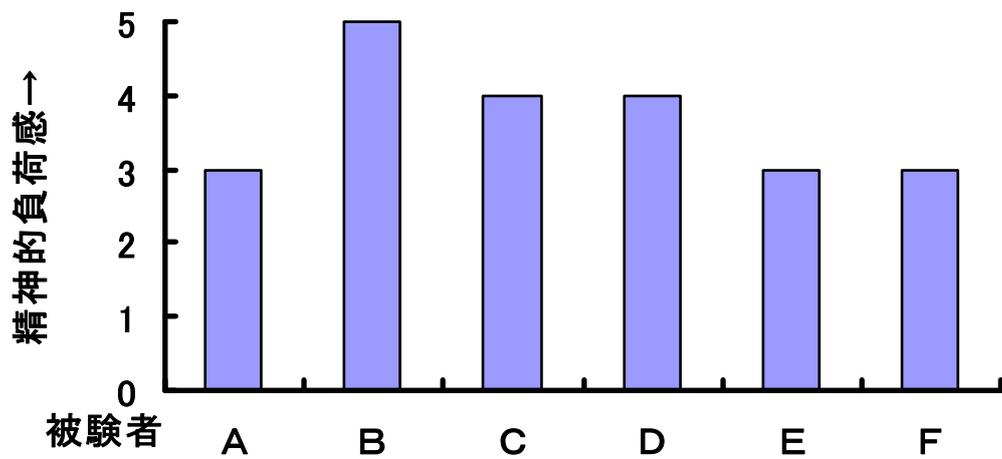
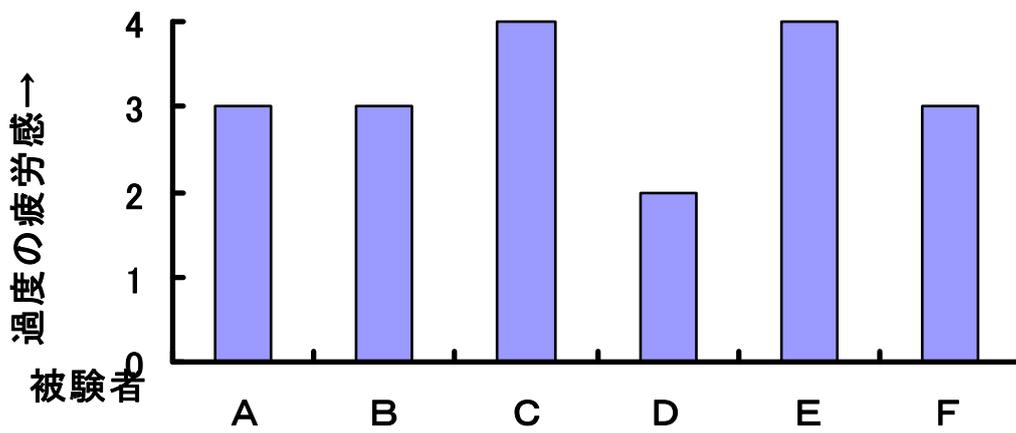
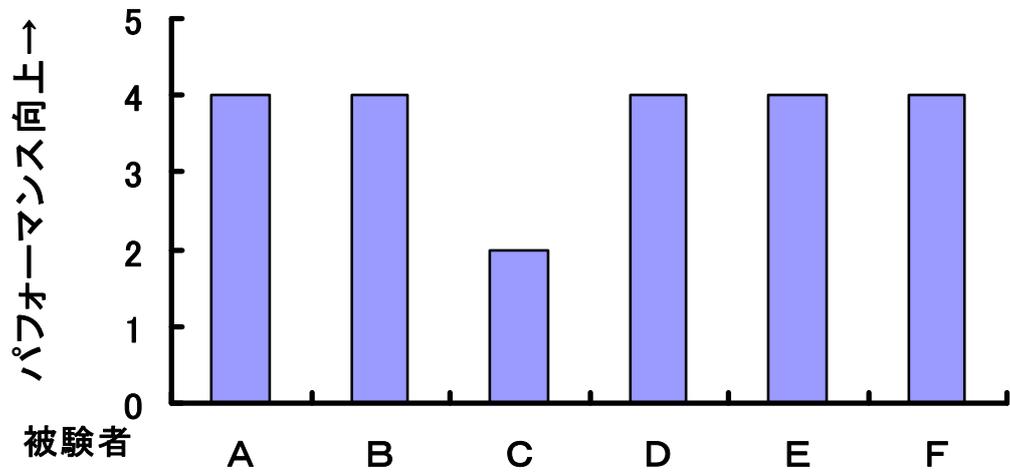


図 8. 高強度・間欠的・短時間トレーニングのアンケート

## 3.6 考察

### 3.6.1 有酸素性エネルギー供給能力への影響

Fox et al, (1973) はトレーニングにおいて運動強度が高いほど  $VO_2\max$  の増大が大きく、トレーニングの頻度や期間には左右されないことを報告している。

本研究では、T 群の変化率は 100% で  $VO_2\max$  は維持されたが、C 群の変化率は 98% であり両群に差が無く、高強度・間欠的・短時間トレーニングによる効果を確認することはできなかった。

被験者毎の  $VO_2\max$  の推移において、ばらつきが認められた。個人の  $VO_2\max$  の素質的上限値に近づくとその上昇率は低下し、更に  $VO_2\max$  を向上させるためには、その運動強度を高める必要がある(Eisenman et al, 1975)。上昇しなかった被験者や減少した被験者は、すでに素質的上限値に達している可能性があるとして唆された。

### 3.6.2 無酸素性エネルギー供給能力への影響

無酸素性エネルギー供給能力の最大値の指標となる MOD は、T 群で 146% と大幅な上昇率を示した。C 群においても 128% の高い上昇率であった。その上昇理由は、トレーニング時期がボート競技のハイシーズンであり、最も運動強度の高い時期のためと推察された。MOD においても  $VO_2\max$  と同様、運動高度が高いほど MOD も高いと報告されている(Calbet et al, 2003)。当研究においては、30 秒のワンゲット運動によるスプリントトレーニングの AOD は  $5.0 \pm 0.8L$  と高いのに対して、持久性トレーニング： $3.4 \pm 0.2L$  は低く、運動強度が高いと AOD も高かったと報告している。

本研究では、両群においてその上昇率が高いものであったため、高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果であることの確認はできなかった。

国内ではボート競技において MOD の測定や、そのトレーニング効果を検証した例が無い。したがって、本研究によるトレーニング前後における MOD の測定値の比較検証を海外の文献にて行った。今回の研究に近い値は、Pripstein et al, (1998) の女子ローイング経験者による最大強度 2 分漕の MOD： $3.4 \pm 0.7L$  が該当する。本研究の MOD はプレ： $2.4 \pm 0.7L$  からポスト  $3.3 \pm 1.0L$  に変化した。したがって、高強度・間欠的・短時間トレーニングにより、今回の被験者は、ほぼ世界の女子ローイング選手と同程度の値に近づいたと推察された(資料 5)。

### 3.6.3 発揮パワーへの影響

両群に発揮パワーの変化はなく、高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果を確認することはできなかった。被験者毎の変化は T 群、C 群ともばらつきがあり、当トレーニングの効果が発揮パワーに及んでいない原因は、はっきり

としなかった。

#### 3.6.4 2000mTT への影響

両群に 2000mTT のタイムのトレーニング前後での変化はなく、発揮パワーと同様に、高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果を確認することはできなかった。

2000mTT でタイムの良い選手の伸びはあまり期待できないことは知られているが、当トレーニングの効果がパフォーマンス発揮にまで及んでいない原因は、はっきりとしなかった。

#### 3.6.5 変化量との関係

$VO_2\max$  の変化量と MOD の変化量との有意な相関関係が確認されたが、高強度・間欠的・短時間トレーニングによる効果は確認できなかった。

$VO_2\max$  及び MOD の変化量と 2000mTT のタイムとの変化量には負の相関関係が認められなかった。また、LBM の変化量及び発揮パワーと 2000mTT のタイムの変化量において相関関係は認められなかった。

即ち、 $VO_2\max$  と MOD の変化量がローイングパフォーマンスの改善に結びついていないことが明らかになった。この結果は、トレーニングによる  $VO_2\max$  や MOD の変化量と 2000mTT のタイムの変化量が <研究 I > で確認された  $VO_2\max$ 、MOD、LBM、及び発揮パワーと 2000mTT のタイムとの有意な負の相関関係と必ずしも一致しないことを示している。したがって、LBM の減少やその他の因子により、MOD の大幅の上昇率が、ローイングパフォーマンスに結びついていないと考えられた。

#### 3.6.6 高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果

今回の高強度・間欠的・短時間トレーニングは、週 2 回で約 4 分間の短時間トレーニングであったが、ボート競技のハイシーズンという时期的な影響もあり、T 群の選手で特に疲労度が高まったことや LBM の減少などの因子により、パフォーマンスの向上に結びつかなかったことが考えられた。その因子は特定できていないが、身体組成の推移で体重、LBM、大腿周径囲が T 群で変化しており、摂取エネルギーより消費エネルギーが上回ったことの可能性も一因と考えられる。またアンケートより被験者はトレーニング効果があることを認識しているが、疲労感、精神的負担感を訴えていた。

### 3.6.7 トレーニング効果の活用

高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果は、いくつかの先行研究により MOD が上昇したことが報告されている(資料 5)。しかし、本研究はハイシーズンに実施したため、トレーニングが 2000mTT などのローイングパフォーマンス向上に結びつかなかったと考えられた。

栄養や休養、更には心理面のバックアップと共に選手のモニタリングを行い、適切にトレーニングメニューを導入することが先行研究で報告されており (Maestu et al, 2005)、この点を含み、トレーニングの実施時期、メニュー、スケジュール調整等に配慮して、高強度、間欠的。短時間トレーニングを導入することが必要であると推察された。

## 第4章 総括論議

本研究は、＜研究Ⅰ＞では、ボート選手の無酸素性体力とローイングパフォーマンスとの関係、及びボート競技における有酸素性エネルギー供給機構と無酸素性エネルギー供給機構の貢献比をレースシミュレーションにより明らかにした。

＜研究Ⅱ＞では、ローイングによる高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果を両エネルギー供給機構より測定した。しかし、十分にローイングパフォーマンスに結びつかないことが明らかとなったが、当トレーニングをトレーニング現場でいかに導入するかを検討した。

本研究の意義と課題をそれぞれ以下のごとく考察する。

### 4.1 ボート選手の無酸素性体力とローイングパフォーマンス

ボート競技において従来、体力及び有酸素性エネルギー供給機構とローイングパフォーマンスの関係については明らかにされてきた。本研究においてもLBM、発揮パワー、及び $VO_2\max$ と2000mTTとの有意な負の相関関係が確認された。体力及び有酸素性エネルギー供給機構の大きい選手はローイングパフォーマンスが高いことは先行研究を裏付けるものであった。

しかし有酸素性エネルギー供給機構は $VO_2$ を直接測定できるのに対して、無酸素性エネルギー供給機構の大きさを直接的に測定するが出来ないため、ボート競技におけるパフォーマンスとの関係について十分には明らかにされていなかった。

本研究において初めて無酸素性エネルギー供給機構の指標であるMODと2000mTTとの有意な負の相関関係が明らかとなった。即ち、無酸素性エネルギー供給能力(MOD)の高い選手はローイングパフォーマンスが高いことが立証された。

### 4.2 4分レースシミュレーション中の有酸素性&無酸素性エネルギー供給機構の貢献比

本研究によりレースシミュレーションにおける両エネルギー供給機構の全体の貢献比を測定し、先行研究を裏付けることが出来た。また10秒毎の両エネルギー供給能力の推移や、特にスターダッシュにおける無酸素性エネルギー供給機構(OD)の高い貢献比が明らかになり、今後のトレーニングやレース戦略に活用できると考えられる。本研究は貢献比に焦点を当てたため、4分間漕にて測定を行ったが、今後は公式距離である2000mや水上での、より実戦に近い測定が求められる。

### 4.3 ローイングによる高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果

高強度・間欠的・短時間トレーニングにより、高強度運動時には無酸素性エネルギー供給能力向上に対して高い効果があることのみならず、間欠的な運動における休息時に有酸素性エネルギー供給能力も合わせて向上が期待できることは、先行研究により示されている。トレーニング時期がハイシーズンであった影響も考えられるが、LBMの減少などの因子によりローイングパフォーマンスの効果は確認できなかった。

MODは筋の緩衝能力や解糖系酵素の活性の向上による乳酸産生能力の改善により質的要因では上昇した可能性はあるが、ローイングパフォーマンスに結びつかなかったことが考えられる。

### 4.4 トレーニング現場への導入

本研究の最終的な目的は、高強度・間欠的・短時間トレーニングを如何にトレーニング現場に導入するかということを検討することであった。当トレーニングを実施するためには、ハイシーズンにおいてLBMを落とさないことの必要性が示唆された。高強度・間欠的・短時間トレーニングの効果は期待できるが、その導入においてはタイミング等を配慮する必要があることを示している。

栄養や休養、更には心理面のバックアップと共に選手のモニタリングを行い、各種のトレーニングとの組み合わせにより適切にトレーニングメニューを導入することや、当トレーニングの実施時期等のタイミングに配慮して行い、その効果をぜひともローイングパフォーマンスに結びつけることが出来るよう期待したい。

## 第5章 引用·参考文献

- **Calbet.J.A.L,Depaz.J.A,Garatachea.N,Cabeza.De.Vaca.S,Chavarren.J**,Anaerobic energy does not limit Wingate exercise performance in endurance-trained cyclists. *J Appl Physiol.* 94:668-676,2003.
- **Clare L.Weber and Donald A.Schneider.** Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *J Appl Physiol.* 92:1795-1801,2002.
- **Clark JM, Hagerman FC, Gelfand R.;**Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J Appl Physiol.* Aug;55(2):440-6,1983.
- **Connors,M.C.**An energetic analysis of rowing.(*Unppublished Doctoral Dissertation*).OhioUniversity,Athens,Ohio.1974.
- **Eisenman.P.A,Golding.L.A,**Comparison of effects of training on VO<sub>2</sub>max and young women. *Med.Sci.Sports.*7:136-138,1975.
- **Fox.E.L,Bartels.R.L,Billings.C.E,Mathews.D.K,Bason.R,Webb.W.M,**intensity and distance of interval training programs and change in aerobic power . *Med.Sci.Sports.*5:18-22,1973.
- **Garland,s.w.** An analysis of the pacing the strategy adopted by elite competitors in 2000m rowing . *Br.J. Spors Med.*39:39-42.2005.
- **Hermansen,L.**Anaerobic energy release.*Medicine and Science in Sport.*1, 32-38,1969.
- **Hagerman, F.C.,and R.S.Staron.** Seasonal variations among physiological variables in elite rowers.*Can.j.Appl.Sport.Sci.*8-3:143-148,1983.
- **Hagerman FC, Lamb DR, Knuttgen HG, Muray R;** Physiology and nutrition for rowing. *Physiology and nutrition for competitive sport: perspectives in exercise science and sports medicine, vol 7. Cooper, Carmer, Ind., pp 221–302.*
- **Hill,A.V.,et.al.**Muscular exercise ,lactic and the supply and utilization of oxygen .*Pt. IV- V.Proc.Roy.Soc.B,*97:155-176,1924.
- **Hill,D.W.,Ferguson,C.S.,&Ehier,K.L.** An alternative method to determine maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit in runners .*European Journal of Applied Physiology* ,79,114-117,1998.
- **Hirai,I and Izumi,T.** Effect of high-intensity intermittent and resistance training on the maximal oxygen deficit and VO<sub>2</sub>max. *体力科学* 45,495-502,1996.
- **Koutdakis,Y., and N.CC.Sharp .** A modified Wingate test for measuring anaerobic work of the body in junior rowers. *Brit. J .Sports Med.*20:153-156,1986
- **Kouzaki M and Tabata I.;**Effects of high intensity intermittent training on maximal

- oxygen deficit and maximal oxygen uptake. *トレーニング科学* Vol.9 No.3, 1998
- **Karlsson, J.** Lactate and phosphagen concentrations in working muscle of man *Acta physiol. Scand Suppl.*, 358, 1971.
  - **Kramer JF, Leger A, Paterson DH, Morrow A.** Rowing performance and selected descriptive, field, and laboratory variables. *Can J Appl Physiol. Jun; 19(2):174-84, 1994.*
  - **Krogh, A., & Lindhard, J.** The changes in respiration at the transition from work to rest. *Journal of Physiology*, 53:431-437, 1920.
  - **Lehman, M., C. Foster, and J. Keul.** Overtraining in endurance athletes: a brief review. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:854-862, 1993.
  - **Maestu J, Jurimae J, Jurimae T.** Monitoring of performance and training in rowing *Sports Med* 35(7) :597-617, 2005.
  - **Medbø JI, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM.** Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sub>2</sub> deficit. *J Appl Physiol. Jan; 64(1):50-60, 1988.*
  - **Medbø JI, Tabata I.** Relative importance of aerobic and anaerobic energy release short-lasting exhausting bicycle exercise. *J Appl Physiol. Nov; 67(5):1881-6, 1989.*
  - **Medbø JI, Tabata I.** Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of exhausting bicycling. *J Appl Physiol. Oct; 75(4):1654-60, 1993.*
  - **Mickelson TC, Hagerman FC.** Anaerobic threshold measurements of elite oarsmen. *Med Sci Sports Exerc.* 14(6):440-4, 1982.
  - **Mikulic, P., Ruzic, L.** Predicting the 1000m rowing ergometer performance in 12-13-year-old rowers: the basis for selection process? *J Sci Med Sport* 11(2):218-226, 2008.
  - **Ogita F and Tabata I.** The effect of high-intensity intermittent training under a hypobaric hypoxic condition on anaerobic capacity and maximal oxygen uptake. *Biomechanics and Medicine in Swimming.* Gummerus Printing, pp. 423-8, 1998.
  - **Pripstein, L. P., Rhodes, E. C., McKenzie, D. C.** Aerobic and anaerobic energy in a 2-km race simulation in female rowers. *Eur J Appl Physiol* 79:491-494, 1999.
  - **Rodriguez, R. J., R. P. Rodriguez, S. D. Cook, and P. M. Sandbom.** Electromyographic analysis of rowing stroke biomechanics *J. Sports Med Phys. Fit* 30:103-108, 1990.
  - **Roth, W., E. Hasart, W. Wolf, and B. Pansold.** Untersuchungen zur Dynamik der Energiebereitstellung während maximaler Zieldauerleistung. *Med Sport* 23:107-114, 1983
  - **Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G., & Bunt, J. C.** The maximally accumulated oxygen deficit as an indicator of anaerobic capacity. *Medicine and science in Sports and exercise* 23, 618-624, 1991.

- **Schwanitz, P.** Applying biomechanics to improve rowing performance. *FISA Coach* 2:1-7,1991.
- **Secher, N.H.** The physiology of rowing *J.Sports Sci* 1:23-53,1983.
- **Secher, N.H.** Physiological and biomechanical aspects of rowing. *Sports Med*.15:24-42,1993.
- **Steinacker, J.M.** Methoden für die Leistungsdagnostik und Trainingsteuerung im Rudern und ihre Anwendung. In J.M.Steinacker(ed.) Rudern Berlin:Springer Verlag, pp.39-54,1998.
- **S W Garland** .;An analysis of the pacing strategy adopted by elite competitors in 2000m rowing.*Br j Sports Med* .39:39-42,2005.
- **Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K.;** Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc*. Oct;28(10):1327-30,1996.
- **Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M.;** Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 1997. Mar;29(3):390-5.
- **Whipp, B.J., Waed, S.A., & Wasserman, K.** Respiratory markers of the anaerobic threshold. *Advances in Cardiology*, 35, 47-64, 1986.
- **Wilson MC, Jackson VN, Heddle C, Price NT, Pilegaard H, Juel C, Bonen A, Montgomery I, Hutter OF, Halestrap AP.;** Lactic acid efflux from white skeletal muscle is catalyzed by the monocarboxylate transporter isoform MCT3. *J Biol Chem*. Jun 26;273(26):15920-6,1998.
- **Yoshiga CC, Higuchi M.;** Rowing performance of female and male rowers. *Scand J Med Sci Sports*. Oct;13(5):317-321,2003.
  
- **勝田茂**; 運動生理学20講 第2版
- **田畑 泉**; スピードスケート競技の医科学スタッフの支援活動. *体育の科学* 46(1),27-32,1996
- **中垣 康平**ら; カヤックパドリング中の無酸素性及び有酸素性エネルギー代謝の貢献比. *体力科学* 57,261-270,2008
- **山地 啓司**; 改訂 最大酸素摂取量の科学
- **新村優**; ローイングにおける高強度・間欠的トレーニングに関する研究及び6週間の高強度間欠的トレーニングがローイング・パフォーマンスに与える影響. *早稲田大学大学院人間科学研究科修士論文*, 2006
- **高田英宣**; 高強度・間欠的な短時間トレーニングがローイング・パフォーマンス向上に及ぼす効果. *早稲田大学大学院スポーツ科学研究科修士論文*, 2008

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、始終多大なるご指導、ご鞭撻を賜りました早稲田大学 スポーツ科学学術院 教授 樋口 満先生に厚く御礼申し上げます。

副査を務めていただきました早稲田大学スポーツ科学学術院 村岡 功先生、坂本静男先生や、ボート研究の口火を切っていただいた川上泰雄先生には、授業や大学院生活等、多々ご指導いただきまして心より御礼申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、有益な助言や実験指導を受けました、早稲田大学大学院、青山友子さん、四谷高広さんには厚く御礼申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、実験にご協力いただいた岐阜経済大学の岩崎洋三氏、武良誠氏、濱崎正人氏や、激しいトレーニングに被験者を快く引き受けていただいたボート部の皆様に厚く御礼申し上げます。

また、本研究を進めるにあたり、御助言や、御指導、激励を賜り、年齢を越えて支援をしていただいた早稲田大学大学院、樋口研究室の皆様に厚く御礼申し上げます。

最後に、2年間の大学院生活を支え、私のわがママを笑ってこらえてくれた妻に深く感謝をしてこの本文を終えさせていただきます。

2009年 1月 吉日  
山田賢治