

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

研究課題番号 18500491

平成 18 年度 ～ 平成 19 年度科学研究費補助金  
基盤研究(C)研究成果報告書

平成20年5月

研究代表者 樋口 満

早稲田大学スポーツ科学学術院

研究機関番号 : 32689                      研究機関名:早稲田大学  
研究種目名: 基盤研究(C)              研究期間:平成 18 年度 ~ 平成 19 年度  
課題番号                      : 18500491

研究課題名 :  
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

研究組織

研究代表者            : **樋口 満**            (早稲田大学スポーツ科学学術院教授)

研究分担者            : **薄井澄誉子**    (早稲田大学スポーツ科学学術院助手)

研究分担者            : **鈴木 克彦**    (早稲田大学人間科学学術院専任講師)

【交付決定額(配分額)】

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	1,300,000 円	0 円	1,300,000 円
平成 19 年度	1,400,000 円	420,000 円	1,820,000 円
総計	2,700,000 円	420,000 円	3,120,000 円

# 研究題目：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

## I. 緒言

### 【ローイング・トレーニングの歴史】

ローイング競技は、種目ごとに長さ・形の異なるボートに、漕手が1人から最大8人が乗り、一定の距離(国際レースでは直線 2000m)をいかに早く漕ぎきるかを競うタイムレース競技である。カテゴリーによるが、所要競技時間はおよそ6～8分間である。また、ローイングは、strength-endurance type のミドルパワー系の運動であり、そのパフォーマンスを規定する主たる要因は、除脂肪体重(Fat free mass; FFM)および有酸素性能能力である(Mäestu J et al., 2005)。加えて、レースのスタートとラストでのスパートに欠かせない能力である無酸素性能能力や筋力、運動技術に依存する競技パフォーマンスも必要とされる(Mäestu J et al., 2005)。

それらのローイングパフォーマンス向上を目的として、様々なトレーニングの開発に注目が集まっている。ローイング・トレーニングは、血中乳酸濃度( $[La^-]_b$ )を基準として、その強度がカテゴリー化されている(I: 8mmol/L 以上 / II: 4～8mmol/L / III: 2～4mmol/L / IV: 2mmol/L 以下)(Hagerman FC., 1994)。現場では最近に至るまで、ローイング・トレーニングの時間の大半を有酸素性能能力の向上を目的とした低強度(III+IV)の持久性トレーニング(endurance-training)に費やしてきた(Mäestu J et al., 2005)。ナショナルレベルのトップアスリートの場合でも、ローイング・トレーニングとして、主に低強度(III+IV)の持久性トレーニングを行う。週に約12時間、120～150km程の距離を漕ぐが、2000mレースで発揮されるような高強度(I+II)のローイング・トレーニングは、トレーニング期、試合期を通して全体のローイング・トレーニングの4～10%に過ぎないという報告もある(L. Messonnier et al., 2005)。有酸素性能能力の指標である最大酸素摂取量

( $VO_2\max$ )を増加させるためには、持久性トレーニングが最適であると考えられている(L.Messonnier et al.,2005)。そのために、競技レベルの高いボート選手であっても、その多くは無酸素性エネルギー供給機構の能力向上を目的とした高強度ローイング・トレーニングよりも、有酸素性エネルギー供給機構の能力向上を目的とした低・中強度のローイング・トレーニングを重視していると考えられる。

つまり、ローイング・トレーニングによって、無酸素性能力の向上を目的とするのではなく、有酸素性能力をより大きく向上させ、パフォーマンスを向上させようとする傾向がみられる。しかし、一流ボート選手は  $VO_2\max$  が非常に高い(Clark et al., 1983; Mickelson et al., 1982)という報告がある一方、ボート選手の特徴は優れた乳酸処理能力にある(Messonnier et al., 1997)という報告もある。

#### 【高強度間欠的運動トレーニングに関する先行研究】

運動時のエネルギー供給機構は有酸素性と無酸素性の供給機構があり、有酸素性は総酸素摂取量で表し、無酸素性能力の指標は総酸素借とされている。その総酸素借の主な構成要素は筋の緩衝機能と活動筋量が挙げられる(Medboe JJ et al.,1988; 1993)。

高強度間欠的運動の先行研究は、様々な競技で研究され、実践に移されている。自転車エルゴメーターを使った研究では、 $170\%VO_2\max$ の強度で、20秒間の自転車エルゴメーター運動を、10秒間の休息を挟み、疲労困憊に至るまで繰り返す間欠的運動が行われた。その結果、最大酸素借を使いきり、運動後半には酸素摂取レベルが  $VO_2\max$  のレベルに達するということが報告されている(Tabata I et al., 1997)。この高強度間欠的トレーニングは日本のトップスピードスケーターで採用されており、実際このトレーニングにより世界レベルの競技成績を収めていることが報告されている(田畑 泉, 1996)。

Strength-endurance type のミドルパワー系の運動である2000m ボートレースで求められるエネルギー供給機構は、スピードスケートの1500m レースと同様に高

いレベルでの有酸素性及び無酸素性エネルギー供給機構であるにも関わらず、ローイング・トレーニングでこの高強度間欠的トレーニングを検討したものはなかった。その点に着目し、新村ら(2005)はこのトレーニング法の確立を目的として研究を行った。彼らは、大学トップレベルのボート選手、男女計 18 名を対象とし、高強度間欠的トレーニングが身体に及ぼす影響を調査している。実験において、トレーニング(T)群には、ローイング・エルゴメーターによる高強度間欠的トレーニング((20 秒間の全力漕ぎ+10 秒間の休息)×8set)を週 3 回の頻度で 6 週間行わせた。また、コントロール(C)群には、T 群のトレーニング量に見合った低・中強度のトレーニングを実施した。研究の結果、有酸素性能力の有意な上昇は見られなかったものの、T 群の男性において最高血中乳酸値が有意に上昇し( $P<0.01$ )、高強度間欠的運動中の総仕事量についても同様に有意な増加がみられた( $P<0.05$ )。さらに、T 群の男性では、ローイング・エルゴメーターによる 2000m time-trial のタイムが向上傾向を示した( $402.5\pm9.4 \rightarrow 398.6\pm11.2$  秒,  $P=0.05$ )。結論として、有酸素性能力の有意な向上はみられなかったものの、総じて T 群のパフォーマンスは向上し、無酸素性能力は顕著な改善が示唆された。

以上、これらの先行研究の高強度間欠的プロトコルとその実験結果から、ローイング競技においても、高強度間欠的トレーニングの有効性は高いと考えられる。よって、より実践的・効率的なトレーニング法の提案を目的として、本研究は進められた。本論文は、研究①において、新村らの研究を基に、陸上でのローイングエルゴメーターによる高強度間欠的ローイングトレーニング法の確立を目的とした。研究②では水上で実際に乗艇し、高強度間欠的ローイングトレーニングを行う方法の実用性を検証することを目的とした。

## Ⅱ.研究① ローイング・エルゴメーターによる高強度間欠的運動トレーニング

### 【目的】

本研究では、ローイング・エルゴメーターによる高強度間欠的運動トレーニング法を確立すべく、①高強度間欠的ローイング・トレーニングにおいて、生理学的には効果が得られると予測される 5set のプロトコルと、従来の 8set のプロトコルを比較検討し、より実践的なトレーニング設定を確立することを目的とした。また、高強度間欠的ローイング・トレーニングは非常に負担の重いトレーニングである。いかに選手の負担を軽減し、かつ効果のあるトレーニング法を確立するかが課題である。従って、②トレーニング頻度が週 5 回と週 2 回の群でトレーニング効果を比較検討することを目的とした。

### 【方法】

#### a) 予備実験

##### i) 被験者

被験者は大学漕艇部に所属する男子選手 9 名とした。男子選手は艇庫での合宿生活をしており、1 日 2 回(計 3~4 時間)、週 6 日間のトレーニングだけでなく、寝食を共にした生活を送っている。本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て、ヘルシンキ宣言に基づき、被験者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、十分理解したうえで研究に協力する旨の同意を得て実施した。

##### ii) 運動

#### ◆ 漸増負荷試験(incremental test)

高強度間欠的ローイング運動を行う前に、ローイング・エルゴメータ(コンセプトⅡ Model:C)を用いて、incremental protocol により  $VO_2\max$  の測定を行った。測定に当たり、ローイング・エルゴメータのモニターに表示される発揮パワー(Watt/min)を各 set の負荷の目標値とするように各被験者に指示した。測定は 2 分間の強度指定ローイング運動と 15 秒の静止的休息(passive recovery)を 1set とした。強度は 150W からスタートし、set 毎に 50W ずつ付加していった。運動中の HR は心電計を用いて継続的にモニタリングし、各 set の recovery 時には運動直後の主観的運動強度(RPE)を記録した。これらの値と呼吸交換比(R 値)の値を総合的に観察し、次 set で 2 分間の運動を続けられないと判断した時点で時間を短縮し、最後に最大努力をしてローイング運動を行うように指示した。

#### ◆ 高強度間欠的ローイング運動

今回の実験における高強度間欠的ローイング運動の 2 種類のプロトコルを以下に示した。20

秒間の全力ローイング運動の後、すぐに 10 秒間の静止的休息(passive recovery)を挟んだ。これを 1set とし、連続して 8set (protocol①)もしくは 5set (protocol②)繰り返した。

なお、高強度間欠的ローイング運動の Protokol においても、 $VO_{2max}$  測定時と同タイプのローイング・エルゴメータを使用した。

### iii) 測定項目

漸増負荷で  $VO_{2max}$  を測定した。また、protocol①、②は共に同じ項目を測定した。

心拍数(bpm)、換気量(ml/min)、 $VO_2$ (ml/min)、set 毎の仕事量(Watt/min)、 $VCO_2$ (ml/min)は、ローイング中、及び各インターバルにおいても継続的に記録した。また指先から微量の血液を採取し、血中乳酸濃度( $[La^-]$ mmol/L)を①安静時、②運動終了直後、③運動終了 3 分後の計 3 回測定した。なお、呼気ガスの測定は呼吸代謝測定装置 MINATO AE300S(ミナト医科学株式会社製)、心拍数の測定はカルディオスーパ(NEC メディカルシステムズ社製)、血中乳酸値の測定は YSI 社製乳酸分析器を用いて行った。

### iv) 実験手順

《 $VO_{2max}$  測定⇒protocol①⇒protocol②》

本実験は、早稲田大学・所沢キャンパスにある人工気象室で行われた。実験を行なうに当たって、どの被験者も、3 回の実験は同じ日に行なわず、それぞれ数日程度期間を空けてもらった。3 回にわたる実験当日の運動前後は、自由に飲料摂取をしてもらい、運動直前の食物摂取は控えるよう指示した。また、実験室に到着した後は、身体計測を行い、各自でストレッチを自由に行ってもらった。ローイング・エルゴメータを使ったウォーミングアップの強度・量は被験者本人に任せるようにした。服装とローイング・エルゴメータのギア、ストロークレートも被験者本人の自由とした。

## b) 本実験

### i) 被験者

大学漕艇部に属する男子 13 名を被験者とした。トレーニングが週に 2 回の群 (2/w 群;  $n=7$ ) とトレーニング週 5 回群(5/w 群;  $n=6$ )に振り分ける。振り分け方は被験者の希望を優先した。週 5 回は非常に厳しいトレーニングであることが予測でき、途中でドロップアウトされてしまうより、モチベーションを高く保って出来るだけ最後まで遂行してもらうためである。

### ii) トレーニング

トレーニングはローイング・エルゴメータ(コンセプト II Model:C)を用いて高強度間欠的ローイング運動(20 秒間全力運動、10 秒間の passive recovery を 8set 繰り返す運動)を群によって週 2

回もしくは週 5 回行ってもらった。期間は 6 週間とした。

### iii) 測定項目

トレーニングの前後に被験者の身体データ、2000m と 1000m のローイング・エルゴメーターによるタイムトライアルを測定した。また漸増負荷試験(incremental test)を行い、最高血中乳酸値、パワーmax(Pmax)を測定した。なお VO<sub>2</sub>max の測定は、トレーニング後の測定で機械の故障が発生しエラー値しか得られなかったため、結果には入れていない。さらにトレーニング終了後にアンケートを実施した。

#### ◆Incremental test

トレーニング前後に、ローイング・エルゴメータ(コンセプト II Model:C)を用いて、incremental protocol により最大血中乳酸値([La]<sub>b</sub>max)、Pmax の測定を行った。測定に当たり、ローイング・エルゴメータのモニターに表示される発揮パワー(Watt/min)を各 set の負荷の目標値とするように被験者に指示した。測定は 2 分間の強度指定ローイング運動と 15 秒の静止的休息(passive recovery)を 1set とし、強度は 150W からスタートし、set 毎に 50W ずつ付加した。次の set で 2 分間の運動を続けられないと判断した時点で時間を短縮し、最後に最大努力をしてローイング運動を行うように指示した。なお、血中乳酸値の測定は運動終了 3 分後に指先から微量血液を採取し、YSI 社製乳酸分析器を用いて行った。Pmax は以下の式で求めた。

$$P_{\max} = P_{\text{com}} + T/T_{\text{bout}} \cdot \Delta P \text{ (Kuipers et al. 1985; Snoeckx et al. 1983)}$$

$P_{\text{com}}$  : the last work load completed

$T$  : the number of seconds of the final, uncompleted bout

$T_{\text{bout}}$  : the number of seconds of the bout defined in the protocol (i.e., 120 sec)

$\Delta P$  : the final load increment (generally 50 W)

#### ◆Time-Trial

ローイング・エルゴメーターで 2000m 並びに 1000m のタイムを測定した。疲労を考え 1、2 日程度の間隔をあけ測定した。

### iv) 統計

本実験における測定で得られたデータはすべて mean±SD で表記した。有意差検定においては t 検定を用い、5%未満を有意とした。また、データにはずれ値があるときはスルミノフの棄却検定を用いて判断した。

## 【結果】

### a) 予備実験



### i) 身体組成

被験者の身長・体重・体脂肪率・VO<sub>2</sub>max・年齢の平均を Table 1 に示した。

### ii) VO<sub>2</sub> の変化

#### ・protocol①

protocol①における各被験者の VO<sub>2</sub>(ml/min) の変化を Fig. 1、その平均値の変化を Fig. 2 に示した。被験者の VO<sub>2</sub> は、開始直後から 2set 目、3set 目までに急激な上昇を見せ、peak に近い値を示した。3～8set 間では、大きな変化は無く、ほぼ横ばいに推移した。

※なお、1 人アクシデントでプロトコル①の VO<sub>2</sub> のデータが取れなかった。

#### ・protocol②

protocol②における各被験者の VO<sub>2</sub>(ml/min) の変化を Fig. 3、その平均値の変化を Fig. 4 に示した。protocol②では、被験者全員の VO<sub>2</sub> が開始から 2set 目までに急激に上昇し、3set 目までにはほぼ全員が peak、もしくは時に近い値を示した。その後は僅かな上昇・減少傾向はみられたが、値はほぼ横ばいに推移した。なお、8set、5set の protocol の VCO<sub>2</sub> の値は、ともに VO<sub>2</sub> の変化の仕方とほぼ同じ変化であった。

### iii) HR の変化

#### ・protocol①

protocol①における、各被験者の set 毎の心拍数(HR,bpm)の平均値の変化を Fig. 5 に示した。被験者により、HR の軌跡はバラつきがあった。

#### ・protocol②

protocol②における、各被験者の set 毎の心拍数(拍/min)の平均値の変化を Fig. 6 に示した。被験者の心拍数は平均的に、1set 目開始から急上昇し、4set 目には peak、もしくは peak に近い値を示した。

### vi) 血中乳酸値([La<sup>-</sup>]<sub>b</sub>)の変化

protocol①、②における、被験者の安静時、運動終了直後、運動終了 3 分後に測定した平均の [La<sup>-</sup>]<sub>b</sub>(mmol/l) 変化を Fig. 7 に示した。protocol①における安静時の平均 [La<sup>-</sup>]<sub>b</sub> は 1.95±0.69mmol/l であり、運動直後は 11.30±1.59mmol/l、運動 3 分後は 11.15±1.68mmol/l であった。protocol②における安静時の平均 [La<sup>-</sup>]<sub>b</sub> は 1.33±0.47mmol/l であり、運動直後は 8.98±1.19mmol/l、運動 3 分後は 9.57±1.61mmol/l であった。[La<sup>-</sup>]<sub>b</sub> では運動直後において protocol①が有意に高い値を示した(p<0.05)。3 分後は有意な差がなかったが protocol①が高い傾向にあった(p≐0.06)

## b)本実験

### i)身体組成

被験者の年齢・身長・体重の平均を Table.2 に示した。群間、トレーニング前後のいずれも、差はなかった。

### ii)血中乳酸濃度( $[La^-]_b$ max)

トレーニング前後の $[La^-]_b$ max を Fig. 8 に示した。週 2 回の群の pre は  $8.98 \pm 0.76$  mmol/L、post は  $8.19 \pm 1.38$  mmol/L、週 5 回の群の pre は  $8.89 \pm 0.62$  mmol/L、post は  $9.19 \pm 1.12$  mmol/L、であった。週 2 回の群、週 5 回の群、共にトレーニング前後で差はなかった。

### iii)Pmax

トレーニングの前後での Pmax の変化を Fig. 9 に示した。週 2 回の群の pre は  $387.7 \pm 24.1$  W、post は  $390.0 \pm 23.3$  W、週 5 回の群の pre は  $361.5 \pm 19.5$  W、post は  $380.4 \pm 21.9$  W、であった。週 5 回の群で増加傾向にあるが、すべてにおいて有意な差は認められなかった。また各個人の増加量は週 2 回の群は  $2.2 \pm 5.0$  W、週 5 回の群  $19.0 \pm 22.2$  W であり、群間に差はなかった。

### iv)Time-Trial

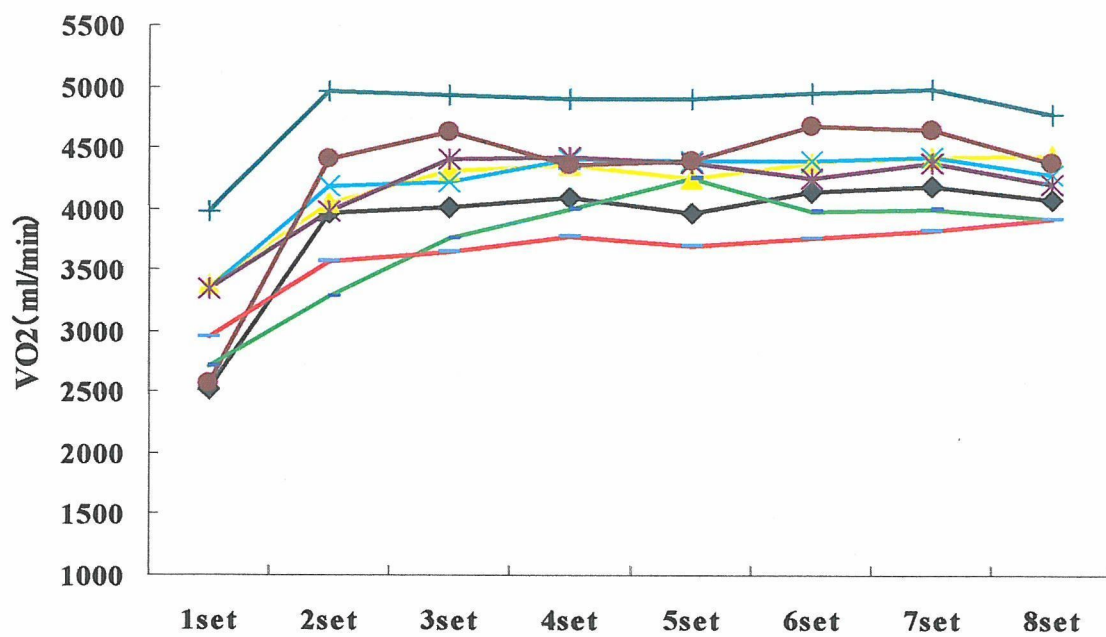
トレーニング前後での Time-Trial(TT)の変化量を以下に示した。

1000m の週 2 回群を Fig. 10 に、1000m の週 5 回群を Fig. 11 に示した。週 2 回は  $3.2 \pm 1.9$  sec の短縮、週 5 回は  $4.5 \pm 2.3$  sec の短縮で、両群とも pre-post で有意にタイムが短縮した(共に  $p < 0.01$ )。そして、群間での短縮タイムの差はなかった。2000m の週 2 回群を Fig. 12 に、2000m の週 5 回群を Fig. 13 に示した。週 2 回は  $8.4 \pm 5.5$  sec の短縮、週 5 回は  $3.1 \pm 6.7$  sec の短縮で、週 2 回の群で pre-post で有意にタイムが短縮した( $p < 0.001$ )。しかしながら、週 5 回の群では差が見られなかった。ただし、群間での短縮タイムの差はなかった。

**Table 1.** Subject characteristics

	Value	Range
Age, yr	19.1 $\pm$ 1.2	18-22
Height, cm	178.5 $\pm$ 5.1	174.8-186.5
Weight, kg	76.8 $\pm$ 9.3	64.6-93.5
Body fat, %	12 $\pm$ 2.6	8.8-16.3
VO <sub>2</sub> max, l·min <sup>-1</sup>	4.3 $\pm$ 0.3	4.0-4.7

Values are mean $\pm$ SD



**Fig. 1** Change of VO<sub>2</sub> for each subject at protocol①

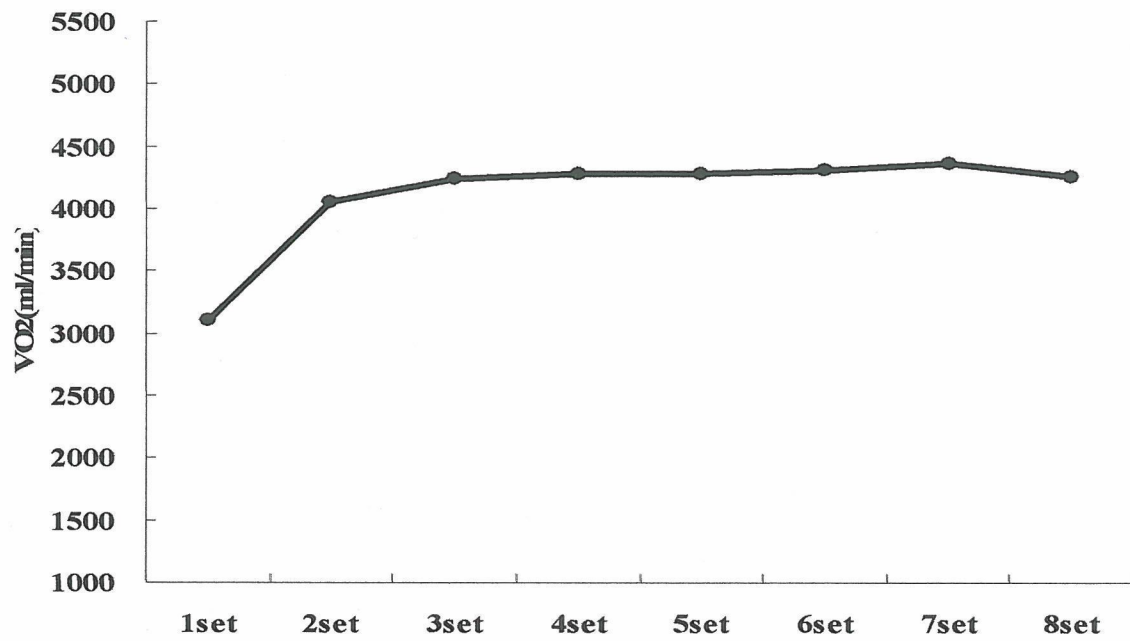


Fig.2 Change of mean VO<sub>2</sub> for subject at protocol①

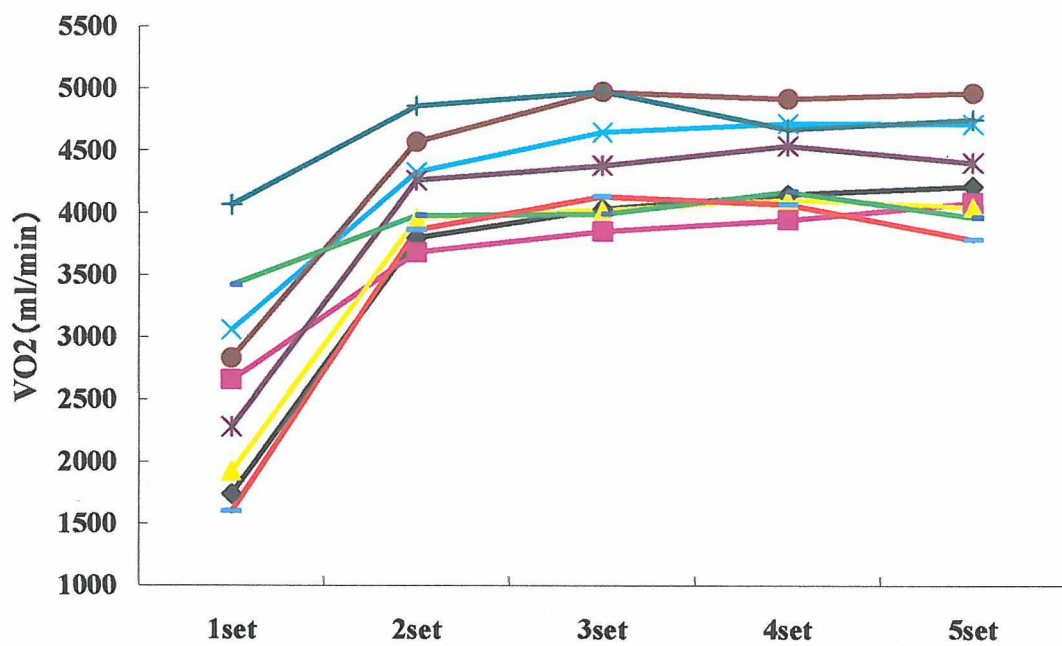


Fig. 3 Change of VO<sub>2</sub> for each subject at protocol②

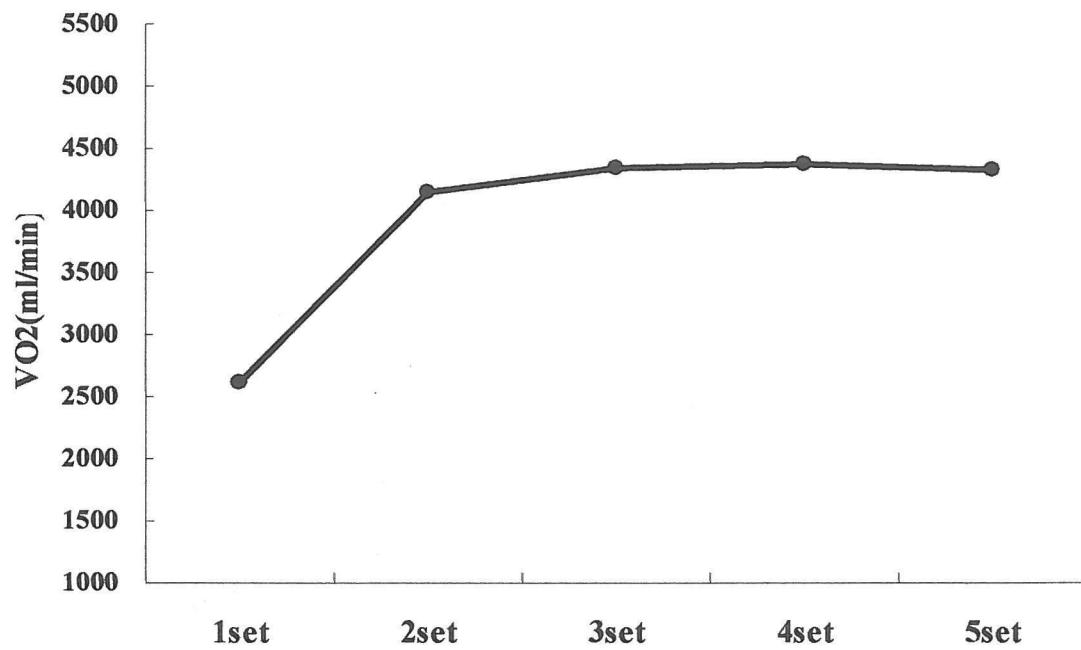


Fig. 4 Change of mean  $\text{VO}_2$  for subject at protocol ②

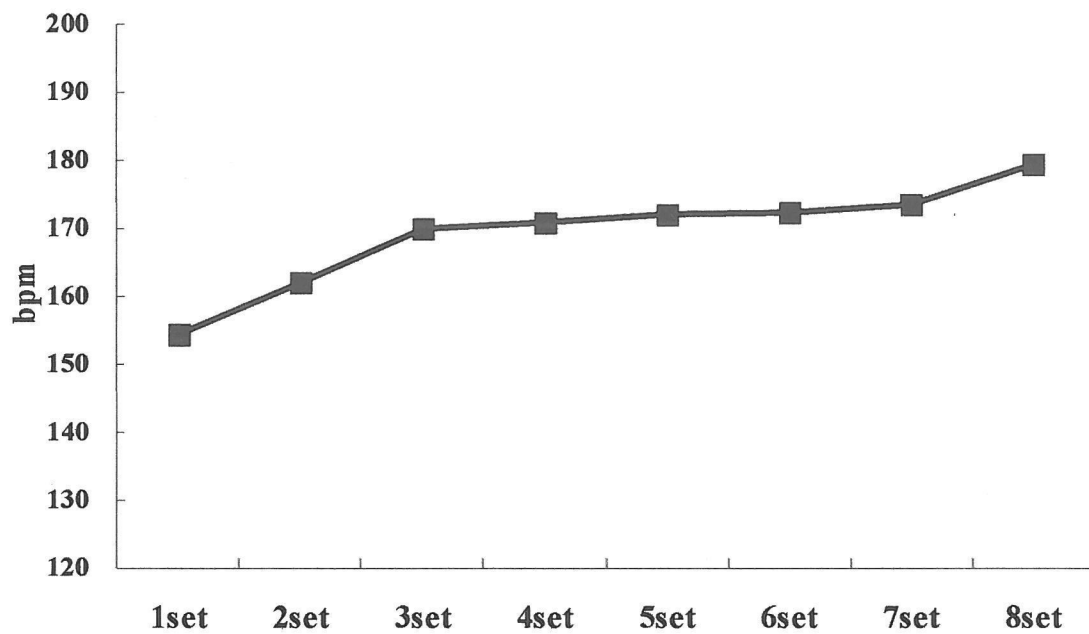


Fig. 5 Change of mean HR for subject at protocol ①

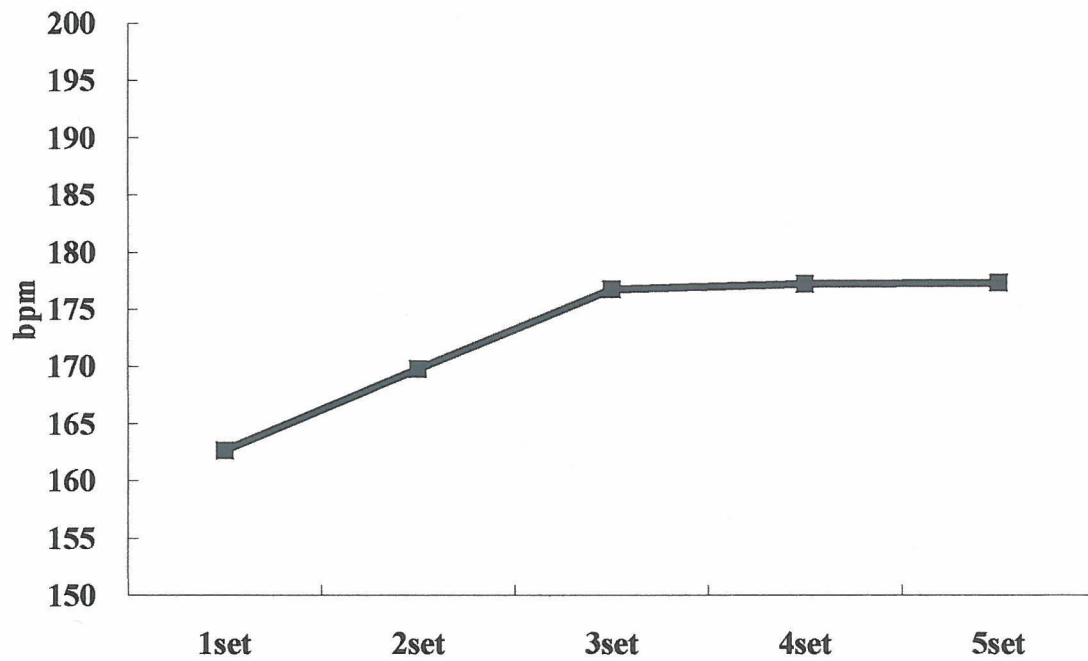


Fig. 6 Change of mean VO<sub>2</sub> for subjects at protocol②

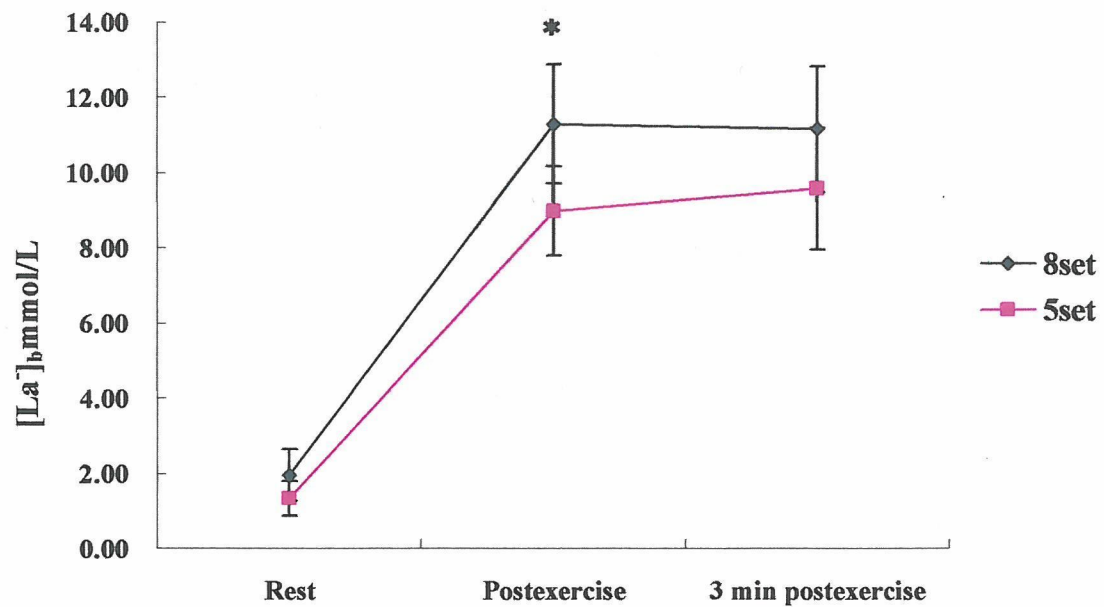


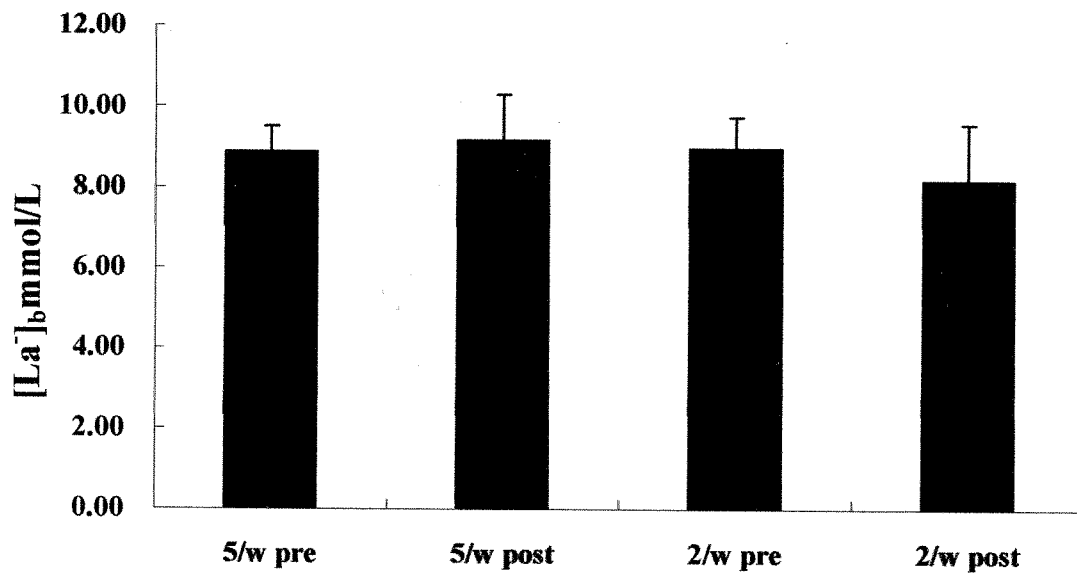
Fig. 7 Blood lactate concentration([La]<sub>b</sub>mmol/L) at rest and after the incremental test for the 8set and 5set. Values are mean±SD.

\* Significantly different from 8set and 5set( $p < 0.05$ )

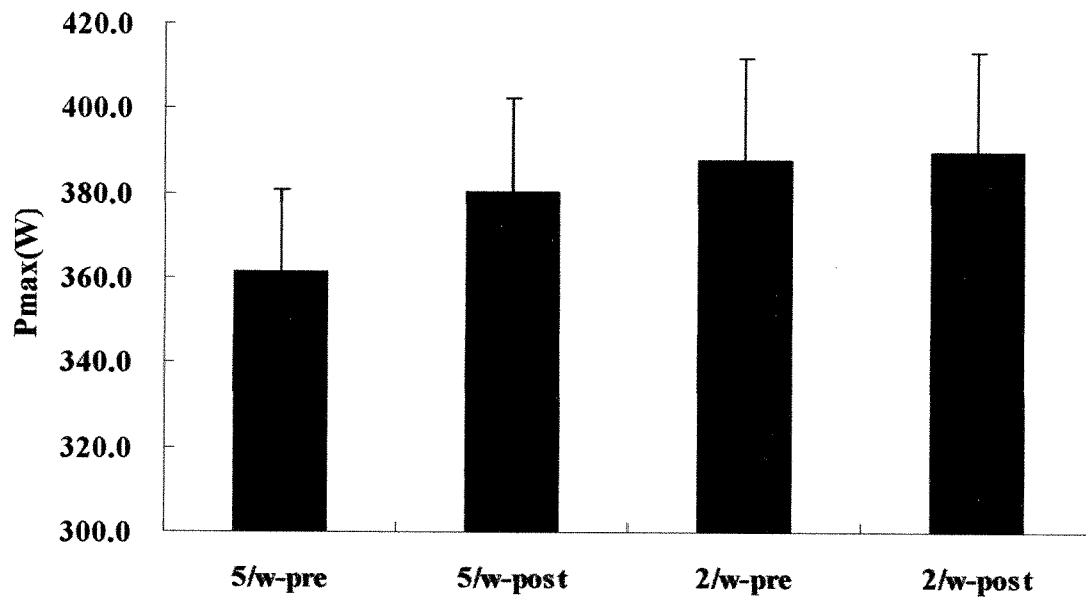
**Table.2** Subject characteristics

	5/w		2/w	
	pre	post	pre	post
Age, yr	19.7 ± 0.8	19.7 ± 0.8	19.4 ± 0.8	19.6 ± 0.8
Height, cm	175.4 ± 4.8	175.6 ± 4.7	180.6 ± 5.1	180.8 ± 5.6
Weight, kg	74.4 ± 6.0	73.8 ± 5.1	81.5 ± 9	80.6 ± 8.4

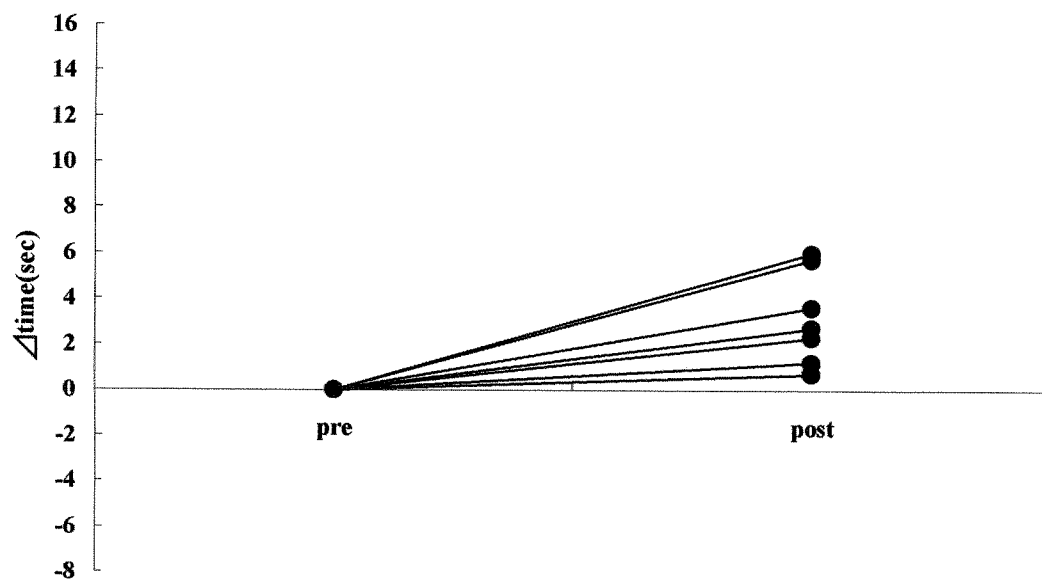
Values are mean±SD



**Fig. 8** Blood lactate concentration([La]<sub>b</sub>,mmol/L) for the 2 training per week (2/w) and 5 training per week (5/w) groups pre and post training. Values are mean±SD.

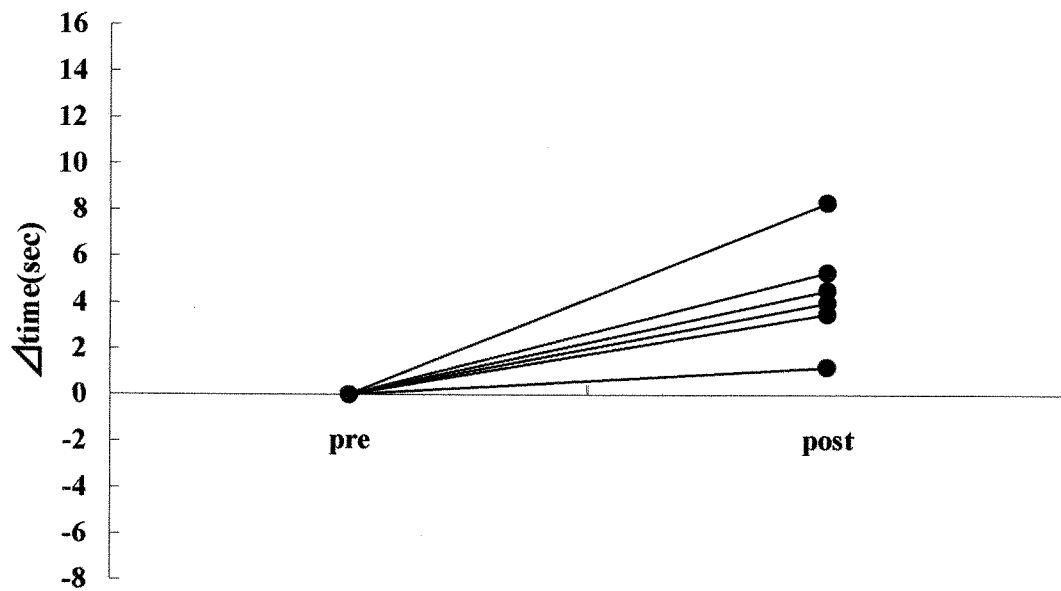


**Fig. 9** Pmax(W) for the 2 training per week (2/w) and 5 training per week (5/w) groups pre and post training. Values are mean±SD.

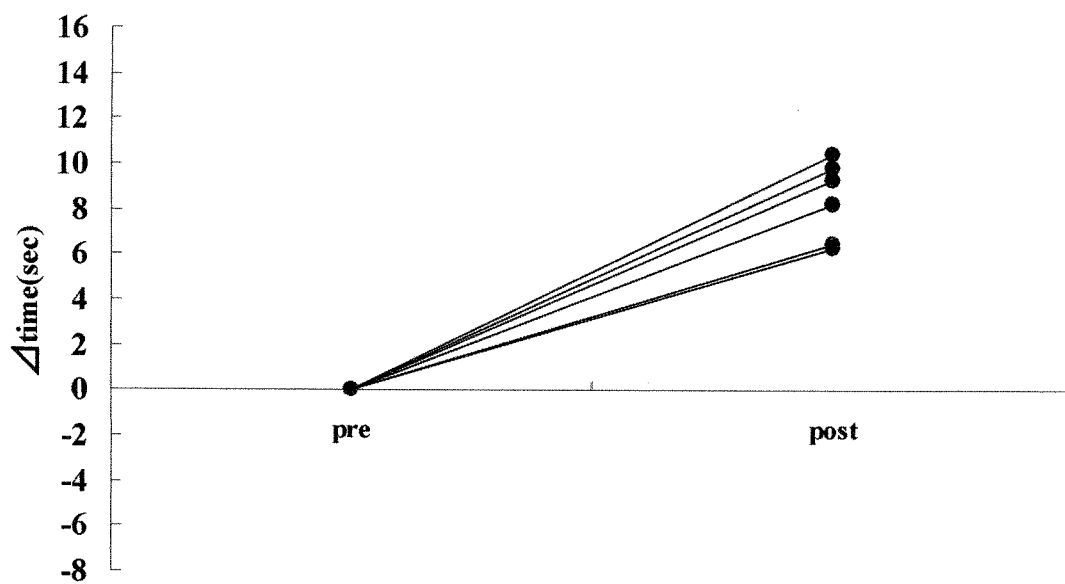


**Fig. 10** Increase and decrease of TT-1000m(sec) pre- and post-training for the 2 training per week group (2/w)

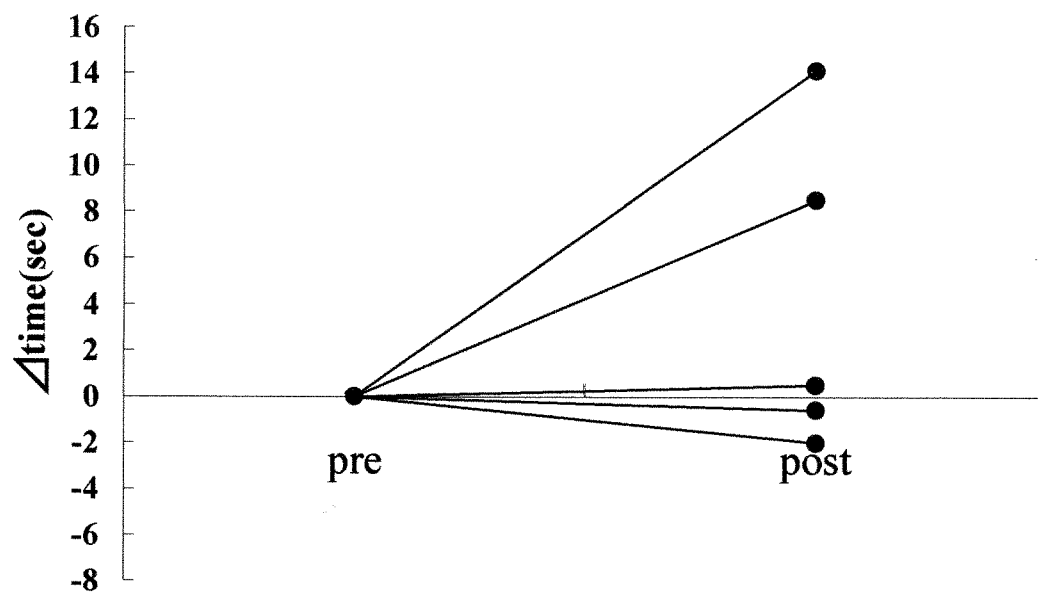




**Fig. 11** Increase and decrease of TT-1000m(sec) pre- and post-training for the 5 training per week group (5/w)



**Fig. 12** Increase and decrease of TT-2000m(sec) pre- and post-training for the 2 training per week group (2/w)



**Fig. 13** Increase and decrease of TT-2000m(sec) pre- and post-training for the 5 training per week group (5/w)

## 【論議】

### a) 予備実験

プロトコル①及び②における  $\text{VO}_2$  の変化において、上昇や減少の度合いは違うものの、被験者全員の値が 1set 目から最終 set の間でほぼ同様の変化を見せた。また、各プロトコルにおける  $\text{VO}_2$  の平均最大値は、プロトコル①;  $4413 \pm 320 (\text{ml/min})$ 、プロトコル②;  $4434 \pm 259 (\text{ml/min})$  であり、有意な差はみられなかった。

プロトコル①の場合、2~3set という早い段階で  $\text{VO}_2$  が急激にピーク近くまで上昇していることが特徴的である。さらに、2set 目には被験者 8 名の平均値が  $\text{VO}_{2\text{max}}$  の 94%、3set 目には 98% まで上昇した。週 5 回、6 週間の高強度間欠的運動のトレーニングで、有酸素性能力と無酸素性能力の両方が有意に向上したと報告している研究(Kouzaki.M et al.1998)の場合、その運動中の  $\text{VO}_2$  のピークは約 95% $\text{VO}_{2\text{max}}$  であったことから、本研究のプロトコルは適正であったと考えられる。

プロトコル②においても、プロトコル①同様に、被験者 9 名とも 2set 目終了までに  $\text{VO}_2$  はピークに近い値まで急激に上昇し、その後はほぼ横ばいに推移した。しかし、9 名の平均値は、2set 目で 97%  $\text{VO}_{2\text{max}}$ 、3set 目では 101%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  を記録した。つまり、プロトコル①よりも、さらに速い段階でピーク値にまで急上昇していることがわかる。これは 8set よりも短い時間で終わる 5set のプロトコルの方が、精神的な負担が少ないからであると考えられる。それは 5set の場合、被験者は後先を考えず、より高い意欲で 1set 目から自分を追い込み易い環境にあるからであろう。そのため、8set よりも早い段階で  $\text{VO}_2$  がピークに達したと捉えることができるのではないだろうか。

次に心拍数の変化についてだが、プロトコル①、②両方において、各被験者の心拍数は set を重ねるに連れて上昇する傾向にあり、ほぼ全員が最終 set で最高値を記録した。最終 set の被験者の平均心拍数は、プロトコル①;  $180 \pm 6 (\text{bpm})$ 、プロトコル②;  $177 \pm 9 (\text{bpm})$  であり、有意な差は見られなかった。プロトコル①及び②における、安静時・運動終了直後・運動終了 3 分後の血中乳酸値の変化については、各プロトコルの間に大きな違いがみられた(Fig. 7)。プロトコル①の運動終了直後、3 分後の値は、プロトコル②の値と比べると高くなっており、特に運動終了直後においては有意な差が認められた(運動終了直後:  $p < 0.05$ , 運動終了 3 分後:  $p = 0.07$ )。

無酸素性の運動を行うことで血中に乳酸が大量に放出される。しかし、今回 5set のプロトコルではその乳酸放出量が最大まで到達しない可能性が高い。今回は最大血中乳酸値を測定していないので明確にはわからないが、8set の方が確実に最大血中乳酸値に近い値に達している。よって筋中及び血中への乳酸の蓄積は、5set に比べ 8set のプロトコルの方が活発に行われている。

るという可能性がある。

#### ・トレーニングの妥当性

本研究の目的は、先行研究で用いられた高強度間欠的ローイング運動における set 数を、8set から 5set へ変更した場合でも、同様に能力の向上が期待できるかどうかを検討することである。

運動中の  $\text{VO}_2$  に関しては、両プロトコルの高強度間欠的ローイング運動時に被験者が、新村ら(2005)や Kouzaki et al.(1998)の研究結果と同程度の上昇をみせ、十分に追い込めていることが示唆された。つまり  $\text{VO}_2$  の観点からすると両プロトコルはトレーニングとして妥当であるとみなすことができる。

しかし、プロトコル①及び②の結果を比較した結果、運動後の血中乳酸値の違いが明らかになった。トレーニング中に、より多くの乳酸や  $\text{H}^+$  が蓄積された方がそれらの緩衝能が上がる (Pilegaard et al., 1999) という報告がある。ローイング・パフォーマンスの向上には乳酸処理能力の向上が必要という意見があるので (Messonnier et al., 1997)、被験者の血中乳酸値の上昇 (Fig. 7) から判断して、5set のプロトコルを妥当とみなすのは難しいであろう。また、レースで重要な耐乳酸能力の向上や精神的な追い込みも考慮し、やはり 8set 行った方が良いと判断できるであろう。

#### b) 本実験

今回の実験で判明したことは、トレーニングの前後で、 $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$ 、 $\text{Pmax}$ 、1000m のタイムトライアルの結果に、週 2 回群と週 5 回群の間で差がなかったことである。

#### ・血中乳酸濃度 ( $[\text{La}^-]_{\text{b}}$ )

高強度間欠的ローイング運動を 8set、週 3 回のトレーニングを 6 週間行った、新村らの研究では  $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$  が有意に上昇した ( $p < 0.01$ )。その他、多くの研究で高強度間欠的運動トレーニングによって  $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$  が上昇するという報告がある。乳酸をより多く産生し蓄積される運動トレーニングであるため、通常  $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$  が上昇することが考えられる。

しかしながら今回の実験では週 2 回はもとより、よりハードな週 5 回という頻度のトレーニングに関わらず  $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$  の上昇が確認できなかったことは説明がつかない。テクニク的なミスなのか、または新たな機序が働いているのかが今回の実験ではわからなかったため今後の研究が必要である。考えうる点は元々  $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$  が十分に高く、伸び代が少なかったことは考えられ期間が少なかったのかもしれない。新村らの研究(2005)ではトレーニング前の被験者  $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$  は  $6.76 \pm 1.00 \text{ mmol/L}$  であった。今回の被験者のトレーニング前の  $[\text{La}^-]_{\text{bmax}}$  は  $8.98 \pm 0.76 \text{ mmol/L}$  であるから元々の伸び代が少なくこれを伸ばすには 6 週間では足りず、より継続したトレーニングが

必要なかもしれない。

#### ・Pmax

今回の研究で、Pmax のトレーニングによる変化は群間で確認されなかった。またそれぞれの群でトレーニング前後での変化もなかった。ローイングの高強度間欠的運動トレーニングを見た研究は皆無に等しく、Pmax を見た研究はない。しかし、これほどの強度の高いトレーニングを続ける事で、Pmax が上昇することは考えられるが、今回の実験では認められなかった。その理由として、被検者の大学選手は非常にレベルが高く、伸び代があまりない選手が多かったために、6週間という期間では変化を起こさず、より長い期間のトレーニングが必要と考えられる。週5回の群に上昇の傾向が見られたのは、群分け時に希望制で振り分けたので週5回を希望した選手の多くは被検者の中でレベルの劣る選手であるということで説明出来るかもしれない。週5回の群はトレーニング前の Pmax 値が週2回の群より低い傾向にあった。

#### ・パフォーマンス

今回のパフォーマンスのテストは 1000m と 2000m のローイング・エルゴメーターによるタイムトライアルで判断した。ローイング・エルゴメーターのタイムと水上での実際のレースでのタイムには相関関係があることが明らかになっているので(Kramer et al., 1994)、ローイング・エルゴメーターでパフォーマンスを測定した。結果は 1000m で両群とも有意にタイムが短縮したが( $p < 0.01$ )、2000m では週2回の群は短縮したのだが( $p < 0.001$ )、週5回群はトレーニング前後での差はなかった。

週5回群で1000mでは有意にタイムが短縮したにもかかわらず、2000mにトレーニング効果が出なかったのは説明ができない。アンケートから週5回の群は、週2回の群に比べ精神的にも身体的にも追い込まれている傾向にあり、トレーニング明けに行ったこのトライアル時に身体的にも精神的にも疲労が溜まっていたと説明できるかもしれない。

今回のトレーニングで両群ともローイング・エルゴメーターによるタイムトライアルでタイムが短縮したと言うことは、先ほど述べた相関関係の研究より、実漕中のパフォーマンスが向上したと言えるのではないだろうか。しかしながら今回のデータでは何が原因となってこの結果が生じたのかはわからない。Pmax の上昇もなければ、 $[La^-]_{b,max}$  の上昇もない。考えうる点はトレーニングによって  $VO_{2max}$  の上昇や、総酸素借の上昇、筋中の buffer 機能の上昇などが挙げられるだろう。

有酸素性エネルギー供給機構の指標である  $VO_{2max}$  の値と実漕中のパフォーマンスの間には高い相関があることは広く知られており(Yoshiga CC., 2003)、今回のトレーニングで上昇していれ

ばパフォーマンス向上を説明できたかもしれない。Tabata et al. (1996)は自転車エルゴメーターを用いた20秒運動10秒休息の今回と同じプロトコルの高強度間欠的運動トレーニングでVO<sub>2</sub>maxが有意に上昇した(48.2±5.5 →55±6ml/kg/min, p<0.01)と報告している。今回の実験では前後でVO<sub>2</sub>maxを測定することが出来なかったが、予備実験の結果から本実験の運動中においても、それぞれのVO<sub>2</sub>maxと同程度のVO<sub>2</sub>を維持しているため、本研究のプロトコルにより被験者のVO<sub>2</sub>maxは増加する可能性は十分に考えられる。それにより、パフォーマンス向上を寄与した可能性がある。またこのTabata et al.(1996)の研究では無酸素性能力の指標である総酸素借の上昇も述べている。これより、今回の実験でも総酸素借が増加した可能性も挙げられる。

またパフォーマンスの向上には乳酸処理能力の向上が必要という意見がある(Messonnier et al., 1997)。高強度間欠的運動トレーニングを行うと、筋中の乳酸 buffer 機能が上昇したり、Na<sup>+</sup>/H<sup>+</sup> 交換輸送体 NHE1 が増加し H<sup>+</sup> が除去されやすい環境が生まれるという報告がある(Juel et al., 2004)。それゆえ、今回筋中の乳酸濃度や、NHE1、筋中・血中 H<sup>+</sup> 値を測定していないが、この機能が強化され、パフォーマンス向上に寄与した可能性がある。

今回の実験の目的は最適なトレーニング頻度を考察することである。もちろん極力、選手の負担を減らし、且つ効果的なトレーニングが望ましいのは言うまでもない。予備実験で1回の運動のset数を考察した。VO<sub>2</sub>や心拍を見ると5setでも良いかと考えられるが、血中乳酸値が5setでは最大まで上昇しておらず、やはり従来どおり8setの運動を行う方がより適切であると判明した。

本実験ではトレーニング頻度を考察した。両群で差があったのは2000mのタイムトライアルだけであり、週5回の群で有意にタイムの短縮が確認されなかった。その他の測定項目で群間における差はなかった。またほとんどの測定項目でトレーニング効果が見られなかったが、一番重要な指標であるタイムトライアルにおいて、1000mで両群が優位にタイムの短縮を見せ、2000mにおいては週2回群でのみ有意にタイムの短縮が確認された。

以上を考えると、1回8setの運動を週2回の頻度でトレーニングを行うことが選手の身体・精神的な疲労も考慮すると適していると考えられる。

### Ⅲ 研究② シングルスカルによる水上の高強度間欠的ローイング・トレーニング

#### 【目的】

新村ら(2005)や、我々の研究①において、高強度間欠的なローイング・トレーニングの研究が行なわれている。しかしながら、これらはすべて陸上でのローイング・エルゴメーターを用いて行うトレーニングである。どの競技にも言えることであるが、その競技に則した環境でトレーニングの方が望ましいことは周知の事実である。ボートで言えば練習・トレーニングは基本的に水上で行われることが望ましいことになる。ローイングのテクニックは非常に複雑であり、オールや艇の感覚、水の感覚をより体に染みこませることが出来る点が理由の一つである(Mäestu J et al.,2005)。それにもかかわらず、ボート選手の陸上での運動トレーニング法に関する研究はいくつかあるが、水上で高強度間欠的ローイング運動を行った研究は未だない。

よって本研究では、①ボートコースでのシングルスカルを用いたローイング運動中の生理学的応答を検討し、水上で高強度間欠的ローイング・トレーニングが可能かを判定する。②実際に乗艇トレーニングを行い、パフォーマンステストとそれに関連する身体的・生理学的諸指標を測定し比較することによりトレーニング効果の有無を判定する。

以上の①②をもってボート競技の成績向上を目的とした、水上での高強度間欠的乗艇ローイング・トレーニング法を確立すべく研究を行う。

#### 【方法】

##### a) 予備実験

###### i) 被験者

大学漕艇部に属する男子 8 名とした。同被験者 8 名はいずれも健康で、中学・高校・大学でボート競技において優秀な成績を収めたトップクラスの選手から、まだ実績をあまり上げられていない選手まで様々な競技歴を持つ選手たちまで、幅広いレベルで構成されている。また、当該大学漕艇部では、選手は学校近くの寮に入っており、パフォーマンス以外の、突発的な身体の変化や生活のリズムなどの違いによる測定データの誤差は比較的少ないと考えられる。また、本研究は早稲田大学スポーツ科学学術院「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て、ヘルシンキ宣言に基づき、被験者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、十分理解したうえで研究に協力する旨の同意を得て実施した。

###### ii) 実験デザイン

水上シングルスカルでの高強度・間欠的ローイング運動中の HR、VO<sub>2</sub> のデータを得る→漸増

負荷試験で HRmax、VO<sub>2</sub>max のデータを得る→両データを比較することによってトレーニングの妥当性を推察した。

### iii)運動

#### ◆水上での高強度・間欠的ローイング運動

今回の実験における高強度・間欠的ローイング運動は基本的に実験①と同じであった。20 秒間の全力ローイング運動の後、すぐに 10 秒間の静止的休息(passive recovery)を挟んだ。これを 1setとし、連続して8set繰り返す、計230秒の短時間かつ極めて強度の高い運動であった。また、運動強度を%VO<sub>2</sub>max に合わせなかったのは、トレーニングとして行った場合に、周期的に VO<sub>2</sub> max を計測し直すことや、それに伴って強度を微調整し直す必要がなく、トレーニングがより実践的に行えると考えられるためである。

実験①との違いはこれを水上でシングルスカルに乗艇し行ってもらう点である。ウォーミングアップについては各自でストレッチを自由に行なってもらった。さらに、普段シングルスカルに乗り慣れていない選手も多かったので、アップを兼ねてシングルスカルに慣れてもらうために、10分ほど自由に漕いでもらった。その後、高強度間欠的ローイング運動を行なってもらった。

測定は岐阜県八百津市川辺町の川辺ダムにて行った。その日のコンディションは良好で被験者は全員ほぼ同じコンディションの中、実験がおこなえた。

#### ◆漸増負荷試験(incremental test)

ローイング・エルゴメータ(コンセプト II Model:D)を用いて、漸進負荷法により VO<sub>2</sub>max(ml/min)の測定を行った。

### iv)測定項目

#### ◆水上での間欠的・高強度トレーニング

心拍数(bpm)と VO<sub>2</sub>(ml/min)をローイング中、及び各インターバルにおいても継続的に記録した。なお、呼気ガスの測定は呼吸代謝測定装置、VO2000(S&ME 社製)を用い、心拍数は POLAR TEAM SYSEM (POLAR 社製)を用いて行った。VO2000 とはブレスバイブレス方式とミキシングチャンバー方式の長所を持ち、両者の欠点を克服した呼吸代謝測定の機器である。またこれはデーターロガー機能を持ちパソコンに繋げなくともメモリーに記録し測定が可能であり、今回の水上での測定を可能にした機器である。

#### ◆incremental test

HR(bpm)と VO<sub>2</sub>(ml/min)、RER、はローイング中、及び各インターバルにおいても継続的に記録した。なお、呼気ガスの測定は呼吸代謝測定装置、VO2000(S&ME 社製)を用いて行い、心拍



数は POLAR TEAM SYSEM(POLAR 社製)を用いて行った。

## **b)本実験**

### **i)被験者**

大学漕艇部に属するの男子 16 名とし、彼らをランダムにトレーニング群(n=8)とコントロール群(n=8)に分けた。ただし実験期間中、コントロール群は n=6 に減少した。

### **ii)実験デザイン**

タイムトライアル、漸増負荷試験でトレーニング前の身体データを測定→トレーニング→トレーニング前と同項目の試験を実施し、トレーニングによる変化を検査した。

### **iii)トレーニング**

今回の実験における高強度・間欠的ローイング・トレーニング法は、20 秒間の全力ローイング運動の後、すぐに 10 秒間の静止的休息(passive recovery)を挟んだ。これを 1set とし、連続して 8set 繰り返した。計 230 秒の短時間かつ極めて強度の高い運動トレーニングであった。これを水上でシングルスカルに乗艇し行ってもらった。トレーニングは実験①を踏まえ、週 2 回とし、期間は 5 週間とした。

### **iv)測定項目**

トレーニングの前後に被験者の身体データ(身長、体重、体脂肪)、2000m と 1000m のローイング・エルゴメーターによるタイムトライアルを測定した。また漸増負荷試験を行い、VO<sub>2</sub>max、HRmax、Pmax を測定した。

#### **◆Time-Trial**

エルゴメーターで 2000m と 1000m のタイムを測定した。疲労を考え 1、2 日程度の間隔をあけ測定した。

#### **◆漸増負荷試験(incremental test)**

高強度・間欠的ローイング運動トレーニングを行う前後 1 週間の間に、ローイングエルゴメータ(コンセプト II Model:D)を用いて、incremental test により VO<sub>2</sub>max(ml/min)、HRmax(bpm)、Pmax(W)の測定を行った。

### **v)統計**

本実験における測定で得られたデータはすべて mean±SD で表記した。有意差検定においては t 検定を用い、5%未満を有意とした。またデータにはずれ値があるときはスルミノフの棄却検定を用いて棄却するか判断した。

## **【結果】**

## a) 予備実験

### i) 身体組成

被験者の年齢・身長・体重・VO<sub>2</sub>max の平均を Table.3 に示した。

### ii) VO<sub>2</sub> の変化・VO<sub>2</sub>max

各被験者の VO<sub>2</sub>(ml/min) の変化を Fig. 14、その平均値の変化を Fig. 15 に示した。

平均して、2もしくは3set 目までに急激にピークに近い状態まで上昇し、5set 目にピークを示し、その後横ばいという結果だった。

Incremental test で測定した VO<sub>2</sub>max の値と比べると、水上での一過性運動中の VO<sub>2</sub> は max 値の 93%という結果であった。被験者 B,E,H の値は 95%を超えるという高い値であり、被験者 E については、110%を超える非常に高い値であった。

### iii) HR の変化

水上での一過性運動中における、各被験者の set 毎の心拍数(bpm)の変化を Fig. 16、その平均値の変化に Fig. 17 に示した。

平均して、4set まで一気に上昇した後、5set 目に一度減少、その後最終 set までゆるやかに上昇し、数名以外の全員が 8set 目にピークをむかえている。

Incremental test で測定した HRmax の値と比べると、水上での一過性運動中の HR は max 値の 96%という結果であった。被験者 D を除いて、全員が 90%を超えるという結果だった。被験者 B,F,Gについては、100%に近い大変高い値だった。

## b) 本実験

### i) 身体組成

被験者の年齢・身長・体重の平均を Table.4 に示した。

### ii) VO<sub>2</sub>max

トレーニング前後の VO<sub>2</sub>max(ml/min)を Fig.18に示した。T 群 pre は 4411±348ml/min、T 群 post は 4615±387ml/min、C 群 pre は 4053±550ml/min、C 群 post は 4650±364ml/min であり、トレーニング前後の変化は認められなかった。群間での差を△値で見たが差はなかった。

### iii) HRmax

トレーニング前後の HRmax(bpm)を Fig. 19 に示した。T 群 pre は 193.4±3.5bpm、T 群 post は 192.9±3.4bpm、C 群 pre は 197.3±7.8bpm、C 群 post は 196.7±4.7bpm であった。VO<sub>2</sub>max と同様にトレーニング前後の増減は認められなかった。群間での差を△値で見たが差はなかった。

### iv) Pmax

トレーニングの前後で Pmax を Fig. 20 に示した。T 群 pre は  $340 \pm 20$  W、T 群 post は  $343 \pm 28$  W、C 群 pre は  $356 \pm 21$  W、C 群 post は  $342 \pm 21$  W であった。トレーニング前後の増減は認められなかった。しかし個人差を考慮して、各個人のトレーニング前後の増減を Fig. 21、Fig. 22 に示した。△ 値で両群間を見ると有意差が認められた(T 群;  $3.5 \pm 12.3$  W vs.C 群;  $-14.0 \pm 12.7$  W ,  $p < 0.05$ )。

#### V) Time-Trial

トレーニング前後での 1000m と 2000m のタイムトライアル(TT)の平均短縮時間を Fig. 23 に示した。1000m の T 群は  $0.4 \pm 3.1$  sec、C 群は  $1.8 \pm 5.2$  sec の短縮であった。2000m の T 群は  $9.9 \pm 5.1$  sec、C 群は  $2.9 \pm 4.8$  sec の短縮であった。2000m の T 群が C 群に比べて有意な短縮時間があった ( $p < 0.05$ )。また 2000m の平均ラップタイムを Fig. 24 に示した。ラップタイムでみると、0-500m は T 群が  $4.1 \pm 1.2$  sec、C 群が  $2.1 \pm 1.9$  sec の短縮、500-1000m は T 群が  $3.2 \pm 1.5$  sec、C 群が  $0.6 \pm 1.4$  sec の短縮、1000-1500m は T 群が  $1.7 \pm 2.1$ 、C 群が  $-0.1 \pm 1.5$  の短縮、1500-2000m は T 群が  $0.4 \pm 3.6$  sec、C 群が  $0.6 \pm 3.2$  sec の短縮が見られた。0-500m で T 群が有意なタイムの短縮を見せ ( $p < 0.05$ )、500-1000m でも T 群が有意なタイムの短縮を見せた ( $p < 0.01$ )。

**Table.3** subject characteristics

	value	range
Age, yr	$19.8 \pm 0.5$	(19-20)
Height, cm	$172.4 \pm 3.3$	(168.5-179.2)
Weight, kg	$69.7 \pm 6.3$	(64.5-82.5)
VO2max, l/min	$4.4 \pm 3.5$	(3.8-4.8)
HRmax, bpm	$193.4 \pm 3.5$	(187-198)

Value are mean $\pm$ SD

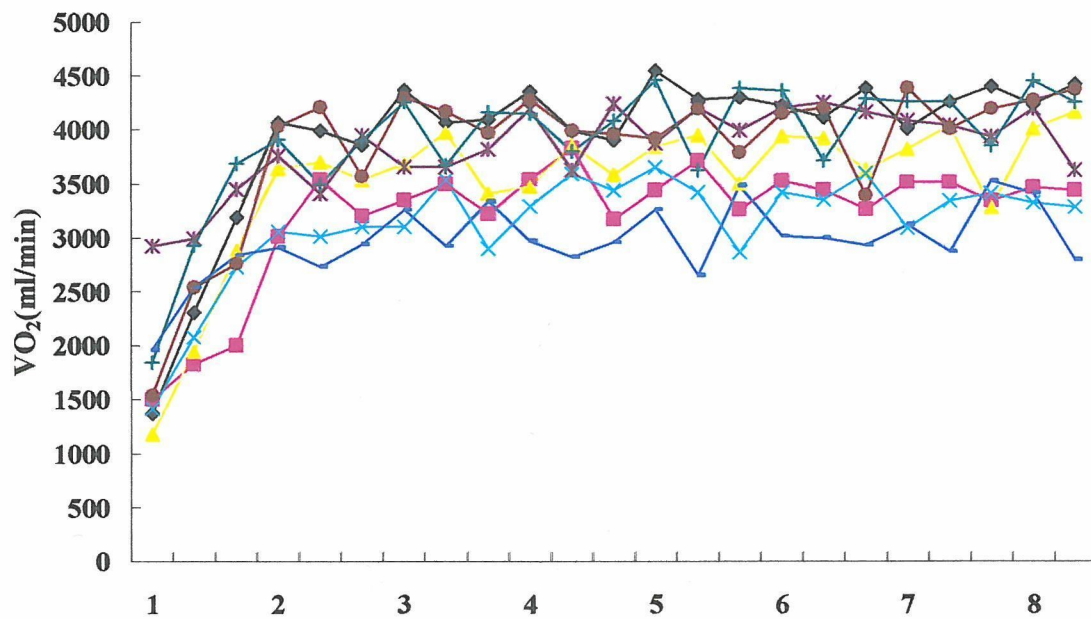


Fig. 14 Change of  $\text{VO}_2$  for each subject at acute bout of high-intensity intermittent rowing on single-scuII.

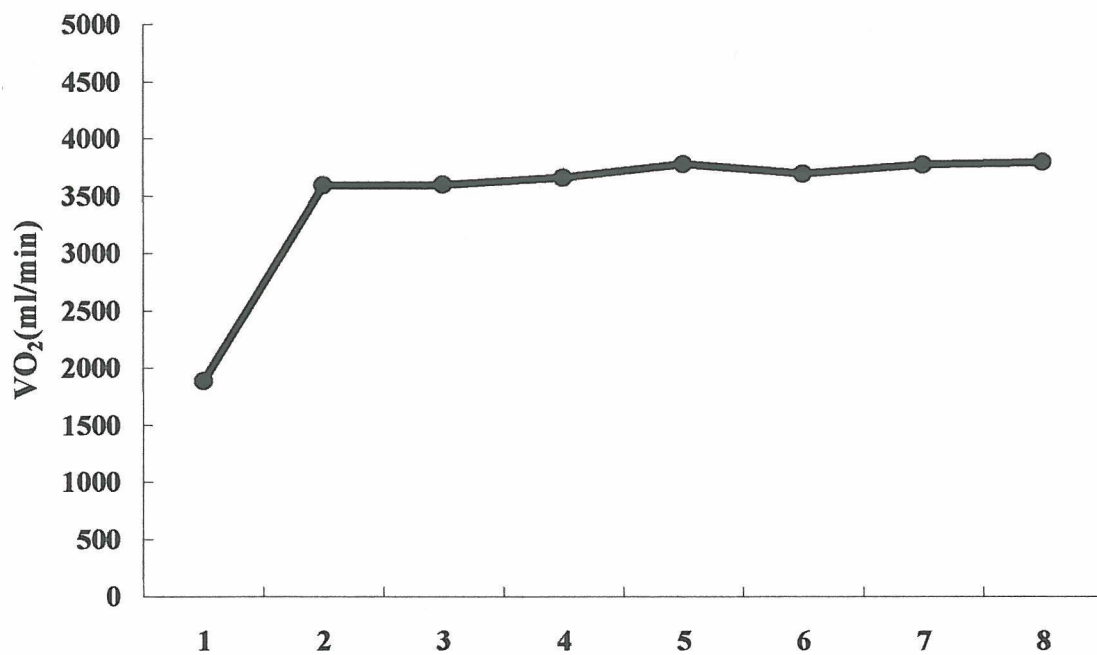
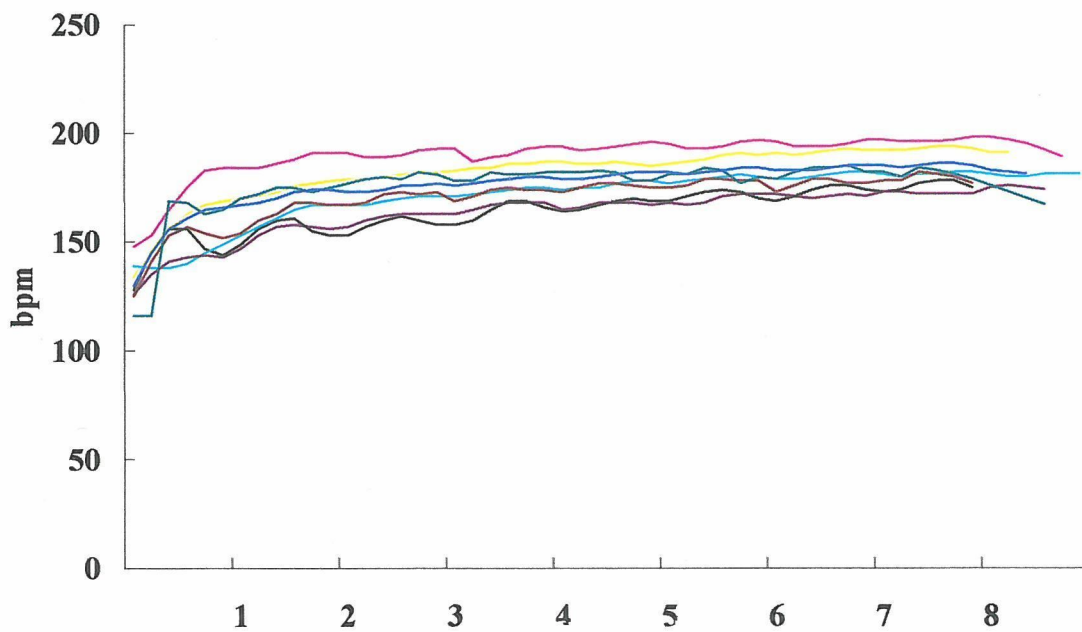
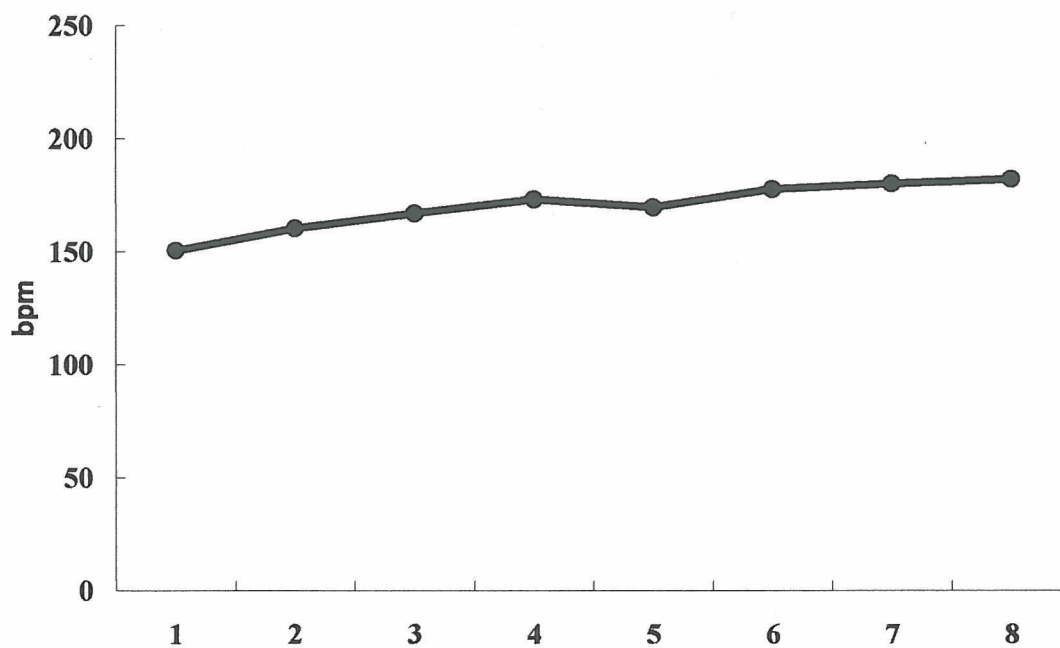


Fig. 15 Change of mean  $\text{VO}_2$  for subject at acute bout of high-intensity intermittent rowing on single-scuII.



**Fig. 16** Change of HR for each subject at acute bout of high-intensity intermittent rowing on single-scuII.

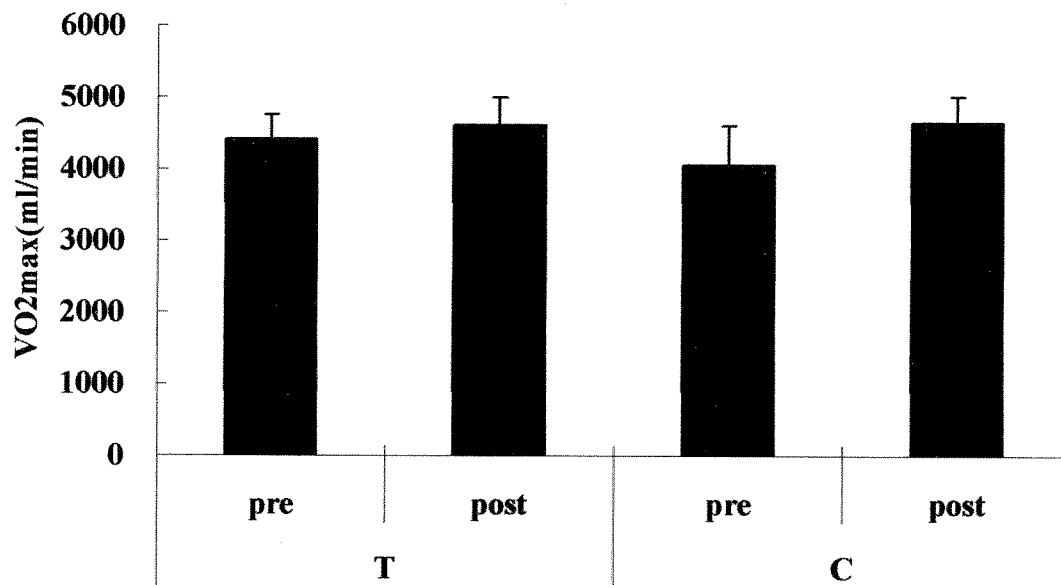


**Fig. 17** Change of mean HR for subject of at acute bout high-intensity intermittent rowing on single-scuII.

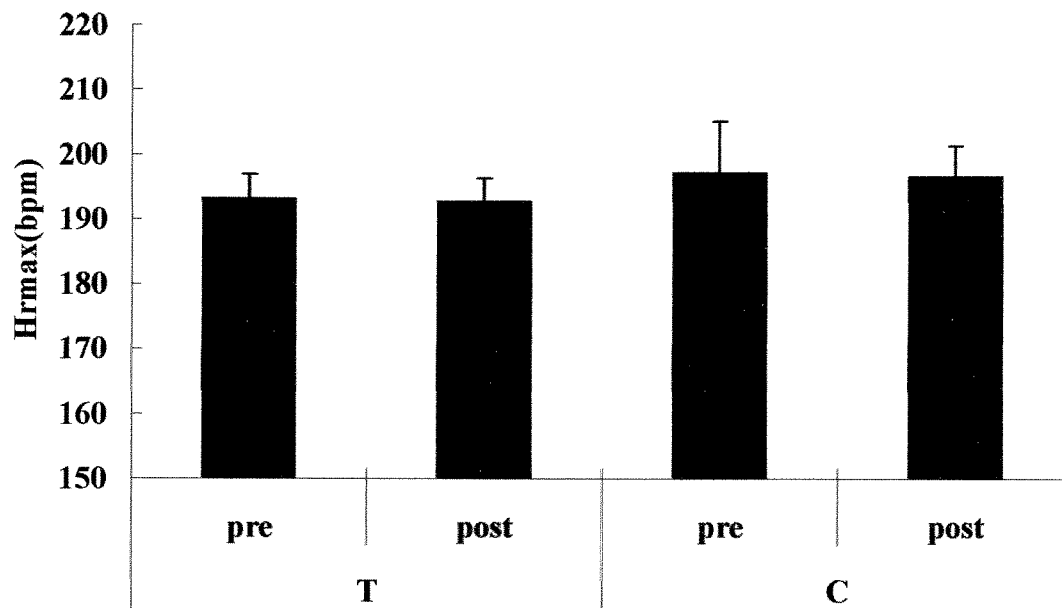
**Table.4** subject characteristics

	Trained		Control	
	pre(n=8)	post(n=8)	pre(n=6)	post(n=6)
Age, yr	19.6 $\pm$ 0.9	19.8 $\pm$ 1.0	19.4 $\pm$ 0.5	19.5 $\pm$ 0.5
Height, cm	172.2 $\pm$ 3.4	172.3 $\pm$ 3.5	177.4 $\pm$ 3.7	176.3 $\pm$ 2.7
Weight, kg	72.5 $\pm$ 6.3	72.4 $\pm$ 6.7	72.4 $\pm$ 6.5	71.2 $\pm$ 4.7
Body fat, %	12.8 $\pm$ 1.9	12.8 $\pm$ 1.7	13.7 $\pm$ 2.6	13.2 $\pm$ 0.7

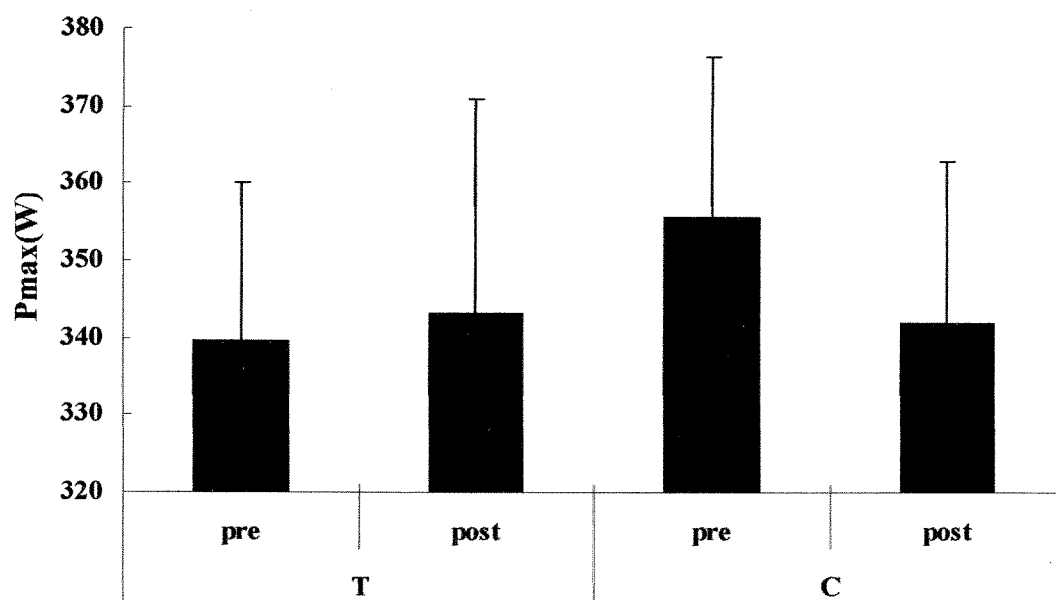
Value are mean $\pm$ SD



**Fig. 18** VO<sub>2</sub>max(ml/min) for the Training (T) and Control(C) groups pre and post training. Values are mean $\pm$ SD.



**Fig. 19** HRmax(bpm) for the Training (T) and Control(C) groups pre and post training. Values are mean $\pm$ SD.



**Fig. 20** Pmax(W) for the Training (T) and Control(C) groups pre and post training. Values are mean $\pm$ SD.

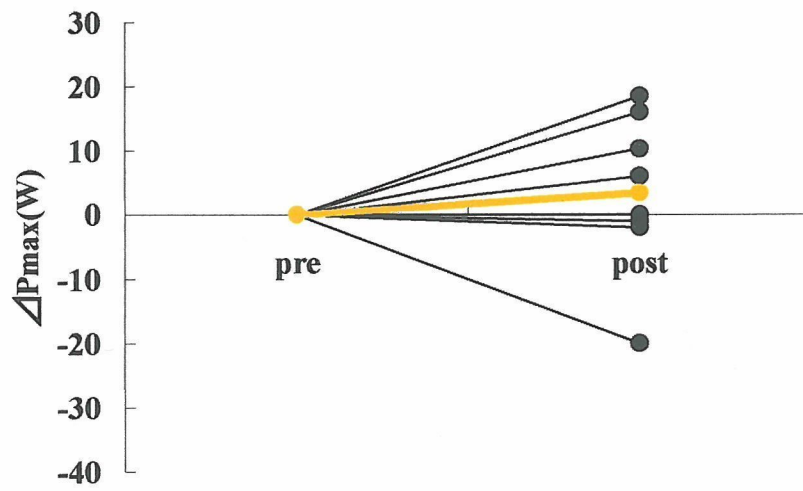


Fig. 21 Increase and decrease of  $P_{max}(W)$  pre- and post-training for the training group (T)

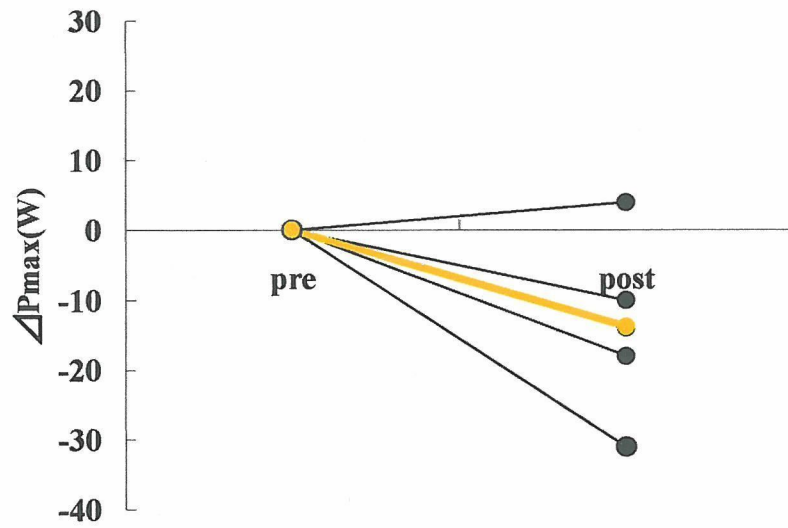
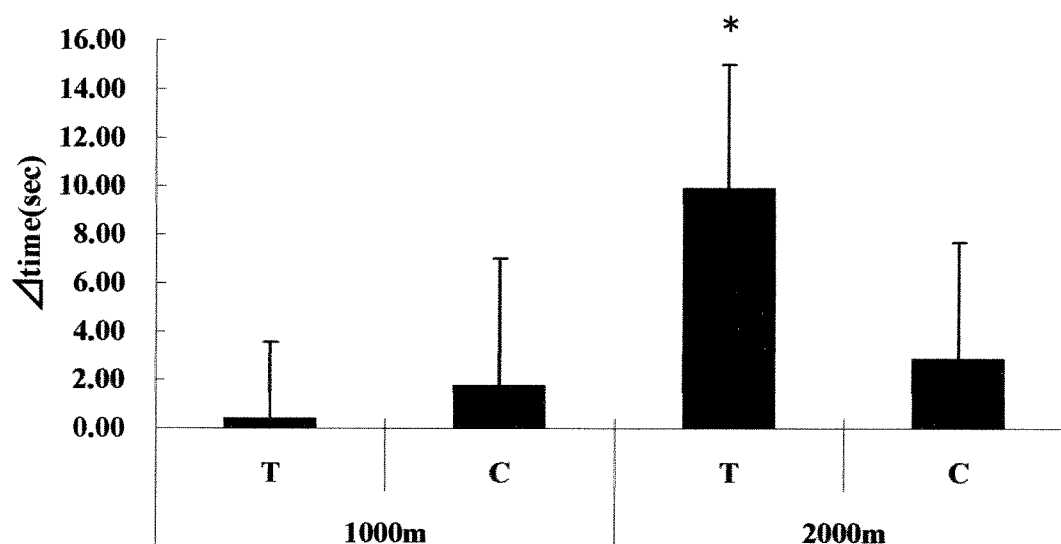


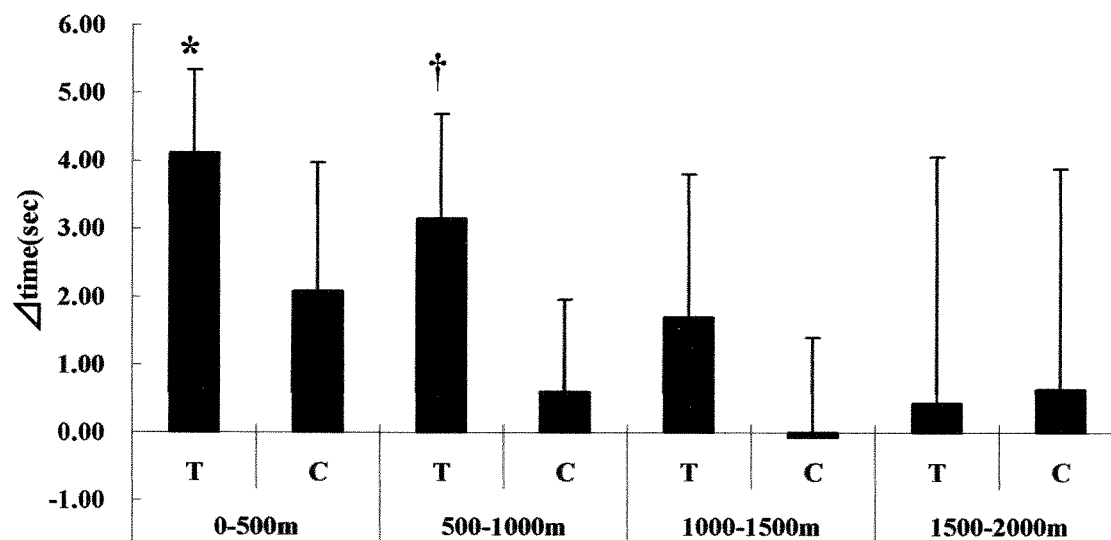
Fig. 22 Increase and decrease of  $P_{max}(W)$  pre- and post-training for the control group (C)





**Fig. 23** Increase and decrease of pre- and post-training TT-1000m and 2000m(sec) for the Training (T) and Control(C) groups. Values are mean±SD.

\* Significantly different from C-2000m(p<0.05)



**Fig. 24** Increase and decrease of pre- and post-training TT-2000m rap time(sec) for the Training (T) and Control(C) groups. Values are mean±SD.

\* Significantly different from C(0-500m) (p<0.05)

† Significantly different from C(500-1000m) (p<0.01)

## 【論議】

### a) 予備実験

今回の実験で初めて水上でシングルスカルを用いた高強度間欠的ローイング中の生理学的指標を確認できた。水上での一過性高強度・間欠的ローイング運動における  $VO_2$  の変化は、上昇や減少の度合いは違うものの、被験者全員の値が 2set までにピーク近くまで急激に上昇し、最終 set まで横ばいという変化を見せた。また、各被験者の  $VO_{2max}$  の平均は  $4411 \pm 470$  (ml/min) であり、シングルスカルでの一過性運動中における  $VO_2$  の最大値平均は  $4100 \pm 405$  (ml/min) であった。ゆえに、一過性運動中の最高  $VO_2$  の割合は  $VO_{2max}$  値の 93% である。また、高強度間欠的運動トレーニングで、有酸素性能と無酸素性能力の両方が有意に向上したと報告している研究(Kouzaki et al., 1998)の場合、その運動中の  $VO_2$  のピークは約 95%  $VO_{2max}$  であった。それは、今回の 93% という値に近いと判断できる。よって本実験のプロトコルは  $VO_2$  の観点からすると高強度間欠的運動として実践可能なものと考えられる。

さらに心拍数の変化についてだが、各被験者の心拍数は set を重ねるに連れて上昇する傾向にあり、ほぼ全員が最終 set で最高値を記録している。平均をみると、被験者全員が一気に下がったり、急激に上昇するなどばらつくこともなく、1set 目から最終 set まで上昇していることから、安定してこのプロトコルを行なえていることが示唆される。

また、水上での一過性運動中における最大 HR の平均値は  $185 \pm 8$  (bpm) であった。漸増負荷試験で得られた  $HR_{max}$  の平均値は  $193.4 \pm 3.5$  (bpm) であり一過性運動中の HR は 96% に達しており、十分に追い込めていると考えられる。

### ・水上での高強度間欠的ローイング運動トレーニングの妥当性について

本実験の目的は、先行研究で用いられたローイング・エルゴメーターを用いた高強度間欠的ローイング運動トレーニングを水上で行った場合でも、同様にトレーニング効果が期待できるかを検討することである。一過性の運動中、その  $VO_2$  は max 値の 93% という高い値を出している。しかし、ローイングエルゴメーターで行った実験①では max 値の 98% にまで達している。この差はどこから来ているのか。今回の実験で被験者は、試合前であったことから、8 人中 5 名の選手がクルーボートで普段練習していた。そのため久々にシングルスカルに乗った被験者がシングルスカルに慣れておらず、特有の微妙なバランスなどを気にして、十分に追い込めなかった可能性が考えられる。

しかし、練習を重ねるにつれて、シングルスカルにも慣れていき、回を重ねることに追い込めるようになり 95%  $VO_{2max}$  を越えるトレーニングが出来るようになると、十分に予想されることであ

る。被験者によると2、3回ですぐ慣れたという声があり、この考え方を支持しているかもしれない。

現時点では、水上の一過性運動の $VO_2$ 値から判断すると、トレーニングとして実用性があるのは、ローイング・エルゴメーターを用いた方法かもしれない。しかし、水上で高強度間欠的ローイング運動プロトコルを行うメリットを考えると、決してエルゴメーターに劣るわけではないだろう。

以上より、水上でシングルスカルに乗艇し高強度間欠的ローイングトレーニングを行ってもローイング・パフォーマンス向上効果があると考えられる。したがって、この研究を基に本実験に進むことにした。

#### b)本実験

今回の実験で初めて、水上シングルスカルの高強度間欠的ローイング・トレーニングでローイングのパフォーマンスが向上することがわかった。

##### ・ $VO_{2max}$

Tabata et al.(1996)は自転車エルゴメーターを用いた20秒運動10秒休息の今回と同じプロトコルの高強度間欠的運動トレーニングで $VO_{2max}$ が有意に上昇したと報告している。予備実験の結果から本実験の運動中においても、それぞれの $VO_{2max}$ と同程度の $VO_2$ を維持しているため、本研究のプロトコルにより被験者の $VO_{2max}$ は増加する可能性は十分に考えられる。しかし、今回の実験で $VO_{2max}$ の向上は確認されなかった。新村らの実験(2005)においてもローイングによる高強度間欠的トレーニングでは $VO_{2max}$ は増加しなかった。このように、トレーニングプロトコルが類似しているにもかかわらず、今回の実験で $VO_{2max}$ の変化がTabata et al.(1996)と異なったのは、今回の被験者のレベルが元々高かったことが原因の一つかもしれない(トレーニング前→今回の実験;  $61.0 \pm 3.7$  ml/kg/min vs. Tabata et al.(1996)の実験;  $48.2 \pm 5.5$  ml/kg/min)。本研究の被験者の方が、 $VO_{2max}$ の伸び代がより少ないと考えられ、 $VO_{2max}$ の増加が難しい状況にあり、より長い期間のトレーニングが必要ではないだろうか。

他の原因としては以下も考えられる。高強度間欠的運動トレーニングで $VO_{2max}$ が有意に上昇した、Tabata et al.(1996)の実験では高強度間欠的運動中の仕事量は $170\%VO_{2max}$ であった。水上でシングルスカルを用いてトレーニングを行っているので高強度間欠的ローイング中の仕事量のデータは得られなかったが、 $170\%$ まで達していない可能性がある(参考としてローイングエルゴメーターでは $130\%$ 程度のため)。Ogita et al.(1998)は2週間の水泳による高強度間欠的運動トレーニングを行ったが、その時の運動強度は $130\%VO_{2max}$ であった。その結果、総酸素量は増加したが $VO_{2max}$ は変化がなかったと報告している。期間の差はあるが今回の実験で $VO_{2max}$ が増加しなかったのは運動強度が十分に足りなかったことも考えられる。

#### ・HR

今回の実験で HRmax の向上は確認されなかった。しかし、HRmax は一般的に“220-年齢”(bpm)とされており、今回の被験者は平均して 190 前半であったからすでに限界付近まで達していたと考えることが出来る。

#### ・Pmax

トレーニングによって向上していないことがわかった。T 群で若干の上昇傾向、C 群で減少傾向が見られた。トレーニング前後の  $\Delta$  値で T 群と C 群で比較すると有意な差があった。これにより、Pmax の低下を抑制することが可能かもしれない。ローイングの高強度間欠的運動トレーニングを見た研究は皆無に等しく、Pmax を見たものはない。しかし、これほどの強度の高いトレーニングを続けるとなると、Pmax が上昇することは考えられるが、今回の実験では認められなかったの、今後の研究によりその理由を解明する必要があるだろう。

#### ・パフォーマンス

実験①と同様にローイング・エルゴメーターを用いてタイムトライアルを行い、ローイングのパフォーマンスを評価した。今回、水上でトレーニングを行ったので、テクニックの向上などを総合的に評価することも考えて水上でのタイムトライアルを行い、パフォーマンスを評価することが最も好ましいことは明白である。しかしながら、風や水面の状態、気温の変化など外部の不安定要素が大きく介入することが想像できたので、室内でのローイング・エルゴメーターによる評価項目のみにした。実験①でも紹介したとおり、ローイング・エルゴメーターのタイムと水上で実際のレースでのタイムに相関関係があることが明らかになっているので(Kramer et al., 1994)、ローイング・エルゴメーターでパフォーマンスを測定した。

今回のトレーニング実験により 1000m のタイムトライアルで両群の差はなかった。しかしながら、2000m では有意な差が確認された(短縮時間; T 群  $-9.9 \pm 5.1$  sec vs. C 群  $-2.9 \pm 4.8$  sec ※ $p < 0.05$ )。この短縮は、トライアルの前半 1000m での短縮によるものであるとわかる。0-500m は T 群が  $4.1 \pm 1.2$  sec、C 群が  $2.1 \pm 1.9$  sec の短縮( $p < 0.05$ )、500-1000m は T 群が  $3.2 \pm 1.5$  sec、C 群が  $0.6 \pm 1.4$  sec の短縮( $p < 0.01$ )であった。今回のトレーニングで両群ともローイングエルゴメーターによるタイムトライアルでタイムが短縮したと言うことは、エルゴメーターと実際のレースとの相関関係の研究(Kramer et al., 1994)より、実漕中のパフォーマンスが向上したと言えるのではないだろうか。しかしながら実験①同様、今回のデータでも何が原因となってこの結果が生じたのかは特定できない。VO<sub>2</sub>max の上昇はなく、HRmax の上昇も確認できなかった。唯一、Pmax が上昇傾向にあるのみであった。

パワーとローイング・パフォーマンスは関係があるので(Peltonen et al., 1993)、Pmax の上昇傾向がパフォーマンス上昇の要因の一つになった可能性は否定できない。しかしながら統計的に有意な差ではなかった。考える点はトレーニングによって総酸素借の上昇、 $[La^-]_{b,max}$  の上昇、筋中の buffer 機能の上昇などではないだろうか。パフォーマンスの向上には乳酸処理能力の向上が必要という意見がある(Messonnier et al., 1997)。高強度間欠的運動トレーニングを行うと、筋中の乳酸 buffer 機能が上昇したり、 $Na^+/H^+$  交換輸送体 NHE1 が増加し  $H^+$  が除去されやすい環境が生まれるという報告がある(Juel et al., 2004)。今回は筋中の乳酸濃度や、NHE1、筋中・血中  $H^+$  値を測定していないが、この機能が強化され、パフォーマンス向上に寄与した可能性がある。

今回の 2000m タイムトライアルでは、T 群は、前半の 0-500 と 500m-1000m で有意に短縮を示し(共に  $p<0.05$ )、そして後半はタイムが落ちることがなかった。これは序盤にいつも以上に速いペースで漕いだにもかかわらず、乳酸や  $H^+$  処理能力が向上したことで後半に急激なペースダウンにならなかったことが原因であると考えられるかもしれない。他には精神的な理由も考えられる。今回の高強度間欠的ローイング運動は非常に過酷な運動である。この極度の体力の限界を数多く経験することで、疲労困憊という運動の最終局面を多く経験しそれに対する意識の耐性が強化されていき、極度の疲労を伴う運動に対しての精神的強さが増したということも考えられる。

今回の実験の主な知見は、予備実験において水上でのシングルスカルを用いた高強度間欠的ローイング・トレーニングは実行してもトレーニング効果が期待できることである。そして本実験において、そのトレーニングを実行に移すとローイング・エルゴメーターによるタイムトライアルの結果が短縮したことだ。今回、そのメカニズムについては説明することが出来なかったが、水上での高強度間欠的ローイング・トレーニングでパフォーマンスが向上することがわかったことは重要であると考えられる。今後はこのメカニズムを説明することが望まれる。

これより、水上でのシングルスカルを用いた高強度間欠的ローイング・トレーニングにより、ローイング・パフォーマンスが向上する可能性が示唆される。

#### IV 総括・今後の展望

今回の研究で明らかとなったことをまとめると、以下の2点である。

- ①ローイング・エルゴメーターを用いて、8setの高強度間欠的ローイング運動を週2回の頻度でトレーニングすることによりローイング・パフォーマンスが向上する。
- ②水上でシングルスカルを用いて、8setの高強度間欠的ローイング運動を週2回の頻度でトレーニングすることによりローイング・パフォーマンスが向上する。

近年のローイング・トレーニングの主流は、有酸素性エネルギー供給機構の能力向上を目的とした運動であった。また、高強度でのローイング練習に費やす時間は非常に少ない。そして、総じて選手はできる限り効率的なトレーニングによりローイング・パフォーマンスを向上させたいと望んでいる。高強度間欠的運動トレーニングは短時間で非常に大きな効果を生むものと期待されており、今後のローイング・トレーニングに大きな変化をもたらすかもしれない。

今回の実験で行った高強度間欠的運動トレーニングでは、残念ながら原因を特定することが出来なかったが、ローイング・エルゴメーターのタイムトライアルを利用したパフォーマンス評価を行った結果、ローイング・パフォーマンスが向上することがわかった。先行研究や今回の研究から、その原因は有酸素性エネルギー供給機構の能力向上と言うよりも無酸素性のエネルギー供給機構の能力向上であると考えられる。よって、この高強度間欠的ローイング・トレーニングを通常の低・中強度のトレーニングに加え、週2回程度行うことでより負担が少なく、パフォーマンス向上に良い効果をもたらすことが出来る可能性が示唆される。今後はそのパフォーマンス向上の主たる因子が何であるか探ると共に、水上での高強度間欠的ローイング・トレーニングにおいて、水上でパフォーマンス評価をすることが必要であると考ええる。

## 参考文献

- **Bonen A, McDermott JC, Tan MH.**;Glycogenesis and glyconeogenesis in skeletal muscle: effects of pH and hormones.*Am J Physiol.* 1990 258:E693-E700.
- **Clark JM, Hagerman FC, Gelfand R.**;Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J Appl Physiol.* 1983 55:440-6.
- **Edge J, Bishop D, Goodman C.**; The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *Eur J Appl Physiol* 2006 96: 97–105
- **Fiskerstrand A, Seiler KS.**; Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001.*Scand J Med Sci Sports.* 2004 14:303-315.
- **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*,1994 vol7. Cooper, Carmer, Ind.,pp1994:221–302
- **JOHANN EDGE, STEPHEN HILL-HAAS, CARMEL GOODMAN, and DAVID BISHOP**;Effects of Resistance Training on H<sup>+</sup> Regulation, Buffer Capacity, and Repeated Sprints. *Med. Sci. Sports Exerc*,2006 38: 2004-2011,
- **Juel C, Bangsbo J, Graham T, Saltin B.**;Lactate and potassium fluxes from human skeletal muscle during and after intense, dynamic, knee extensor exercise.*Acta Physiol Scand.* 1990 140:147-59.
- **Juel C.**;Muscle pH regulation: role of training. *Acta Physiol Scand.* 1998 162:359-366.
- **Juel C, Klarskov C, Nielsen JJ, Krstrup P, Mohr M, Bangsbo J.**;Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H<sup>+</sup> release from human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2004 ;286:E245-E251.
- **Kramer JF, Leger A, Paterson DH, Morrow A.**;Rowing performance and selected descriptive, field, and laboratory variables. *Can J Appl Physiol.* 1994 19:174-184.
- **Kuipers H, Verstappen FT, Keizer HA, Geurten P, van Kranenburg G.**; Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int J Sports Med.* 1985 6:197-201.
- **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.* 1988 64:50-60.
- **Medbø JI, Tabata I.**; Anaerobic energy release in working muscle during 30 s to 3 min of

exhausting bicycling. *J Appl Physiol.* 1993 75:1654-1660.

• **Messonnier L, Freund H, Bourdin M, Belli A, Lacour JR.**; Lactate exchange and removal abilities in rowing performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 29:396-401.

• **Messonnier L, Aranda-Berthouze SE, Bourdin M, Bredel Y, Lacour JR.**; Rowing performance and estimated training load. *Int J Sports Med.* 2005 26 :376-382.

• **Mickelson TC, Hagerman FC.**; Anaerobic threshold measurements of elite oarsmen. *Med Sci Sports Exerc.* 1982 14:440-444.

• **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. 423-428, 1998.*

• **Peltonen J, Rusko H.**; Interrelations between power, force production and energy metabolism in maximal leg work using a modified rowing ergometer. *J Sports Sci.* 1993 11:233-40.

• **Pilegaard H, Domino K, Noland T, Juel C, Hellsten Y, Halestrap AP, Bangsbo J.**; Effect of high-intensity exercise training on lactate/H<sup>+</sup> transport capacity in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 1999 276:255-261

• **Snoeckx LH, Abeling HF, Lambregts JA, Schmitz JJ, Verstappen FT, Reneman RS.**; Cardiac dimensions in athletes in relation to variations in their training program. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983 52:20-28.

• **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.* 1996 28:1327-1330.

• **Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M.**; Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 29:390-395.

• **Twist C, Eston R.**; The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol.* 2005 94:652-658

• **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.* 1998 273:15920-15926.

• **Yoshiga CC, Higuchi M.**; Rowing performance of female and male rowers. *Scand J Med Sci Sports.* 2003 13:317-321.



- ・神崎基樹、田畑 泉;高強度・強度漸減間欠的トレーニングが最大酸素借と最大酸素摂取量に及ぼす影響.トレーニング科学 1998 3:83-94
- ・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 1996 4:27-32.
- ・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.早稲田大学人間科学研究科修士論文,2005