

2007 年度 修士論文

**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**

**Effect of high -intensity intermittent short time training
on 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

5006a043-9

高田 英宣

Hidenori TAKADA

研究指導員 (主査) 樋口 満 教授
(副査) 村岡 功 教授
(副査) 坂本 静男 教授

【目次】

I. 緒言

【ローイングトレーニングの歴史】 1

【高強度間欠的運動に関する先行研究】 3

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

【背景・目的】 9

【方法】 12

a) 予備実験 12

i) 被験者 12

ii) 運動 12

iii) 測定項目 13

iv) 実験手順 14

b) 本実験 14

i) 被験者 14

ii) トレーニング 14

iii) 測定項目 15

iv) 統計 16

【結果】 17

a) 予備実験 17

i) 身体組成 17

ii) VO_2 の変化 17

iii) HR の変化 17

vi) 血中乳酸値 ($[La^-]_b$) の変化 18

b) 本実験 19

i) 身体組成 19

ii) 血中乳酸濃度 ($[La^-]_b \max$)	19
iii) Pmax	19
iv) Time-Trial	19
【議論】	31
a) 予備実験	31
b) 本実験	33
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	
【背景・目的】	37
【方法】	39
a) 予備実験	39
i) 被験者	39
ii) 実験デザイン	39
iii) 運動	39
iv) 測定項目	41
b) 本実験	41
i) 被験者	41
ii) 実験デザイン	42
iii) トレーニング	42
iv) 測定項目	43
v) 統計	44
【結果】	45
a) 予備実験	45
i) 身体組成	45
ii) VO_2 の変化・ $VO_{2 \max}$	45
iii) HR の変化	45

b)本実験	46
i)身体組成	46
ii)VO2max	46
iii)Hrmax	46
iv)Pmax	46
v)Time-Trial	47
【考察】	54
a)予備実験	54
b)本実験	55
IV 総括・今後の展望	61
謝辞	63
文献	64

I. 緒言

【ローイングトレーニングの歴史】

スポーツは大別して以下の 2 種類が考えられる。健康維持・増進やレクリエーションとしての運動などの愛好者レベルと、自己を極限まで追い込み競技能力を高め、他者と競い勝利を勝ち取る競技者レベルの 2 つである。いずれの場合においても、近年のスポーツ科学やトレーニング科学の発達に伴い、より目的に沿った効率的で的確なアプローチができるようになってきた。特にトップアスリートレベルでスポーツを捉えた場合、的確で綿密なトレーニング方法、競技特性を考慮したトレーニング機器の開発によって、数々の分野で著しい競技力向上がみられるようになってきた。他の競技と同様に、ローイング競技においても、トレーニング内容の変化、トレーニング機器の改良など、著しい変化がみられる。

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 以上/II:4~8mmol/III:2~4mmol/IV:2mmol 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がされている(L.Messonnier et al,2005)。有酸素性能の指標である最大酸素摂取量(VO_2max)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。

ここ数十年で、トップアスリートだけでなく、各国のボート界全体においても、競技力向上のために様々なトレーニング方法や情報が取り入れられ、その内容や量は少なからず変化してきている。Fiskerstrand(2004)らは、1970~2000 年の間に国際大会でメダルを取ったノルウェー人ボート選手 27 名を対象とした研究を行った。そこでは、1970 年代の選手と比較して、1990 年代の選手では VO_2max が約 12%増加している($5.8 \pm 0.2l/min \rightarrow 6.5 \pm 0.4l/min$)ことを示した。さらに同研究では 6min-rowing test(6 分間の全力漕ぎ運動)の場合でも、そのパフォーマンスは 70 年代の選手と比較して、90 年代の選手では 12%向上したと報告されている。同様に、1970 年代と 2000 年代のローイング・トレーニングを比較した研究では、双方のトレーニング強度に差異がみられた。 $[La^-]_b$ が $2mmol/l$ 以下の強度(カテゴリーⅣ)でのトレーニング量では、[1970 年代:30h/月 → 2000 年代:50h/月]と増加する一方で、2000m レースで発揮される強度や最大強度($[La^-]_b$ 8~14mmol/l;カテゴリーⅠ)でのトレーニング量では、[1970 年代:23h/月 → 2000

年代：7h/月]と減少していることが報告されている。さらに総トレーニング時間では、[1970年代：924h/月 → 2000年代：1128h/月]と大幅に増加しているという報告もある。ただし、これは単にトレーニング量が増えたということではなく、短時間・高強度のトレーニングが減少し、長時間・低強度のトレーニングが増えたことによる、必然的な増加だともいえる。

これらの研究結果から、ここ数十年で、ローイング・トレーニングの主軸が高強度でのローイングに置かれるのではなく、低・中強度での長時間のローイング・トレーニングに置かれてきた背景がうかがえる。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。

しかしながら、科学的にはローイングパフォーマンスの規定因子は何か、そして主なエネルギー供給経路は有酸素性代謝か、無酸素性代謝かといった点については不明な点が多いのも事実である。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(Messonier et al., 1997)という報告もあり、明確な結論は出ていないのが現状である。

【高強度間欠的運動トレーニングに関する先行研究】

高強度運動中、筋肉内に乳酸や H^+ が蓄積する。筋収縮によって産生される La^- や H^+ は筋中 pH を下げ、様々な代謝経路を阻害することが知られている(Juel C., 1998)。

筋に蓄積した乳酸は筋中で酸化や糖新生によって除去されるか、血液によって運搬され(Bonen A et al., 1990; Juel C et al., 1990)、乳酸の細胞膜間の流れはMCT1とMCT4というモノカルボン酸輸送タンパクによって促進される(Wilson MC et al., 1998)。これらの輸送体は高強度運動中の筋のpH調整によってコント

ロールされる。また筋中 H^+ の流出は Na^+ / H^+ ポンプもしくは HCO_3^- (重炭酸イオン) によって調整されている。これらの機序により pH の低下を抑制し、解糖系の律速酵素である PFK の活性を維持する。

高強度間欠的運動は非常に多くの乳酸を蓄積させる。また、トレーニング中に、より多くの乳酸や H^+ が蓄積された方がそれらの緩衝能が上がるという報告がある (Pilegaard et al., 1999)。ゆえに高強度間欠的運動を行うことで、筋の緩衝能が上昇し、ボート競技のスタートやラストスパート時に効果を発揮する可能性があると考えられる。

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。運動中の酸素摂取量と酸素借の関係を Fig.1 に示した。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 (Medbø JI et al., 1988; 1993)。つまり、乳酸産生に伴うプロトンを緩衝し、pH の低下を防ぐ能力と ATP 及びクレアチンリン酸を貯蔵しておく筋の大きさである。

つまり、高強度運動を行うと緩衝機能が向上し、総酸素借が向上することが考えられる。

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を使った研究では、 $170\%VO_{2max}$ の強度で、20 秒間の自転車エルゴメータ運動を、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_{2max} 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が採用しており、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)。

例えば Tabata et al.(1996)は、男子大学生 14 名を対象に、それを7名ずつ、moderate-intensity(MI)と high-intensity intermittent(HII)の 2 グループに分類し、それぞれの無酸素性能と有酸素性能の変化を観察した。MI のプロトコルは、70%VO₂max の強度で 60 分間の自転車エルゴメータ運動を行い、HII のプロトコルは、20 秒間 170%VO₂max の強度で自転車エルゴメータ運動後に 10 秒間の休息を挟み、それを連続で 7~8set 繰り返し行う、というものであった。どちらの運動も週 5 回の頻度で 6 週間かけて行われた。6 週間のトレーニング後、MI 群の総酸素借の変化はみられず、HII 群の総酸素借はトレーニング前に比べて 28%有意に増加した(60.9±8.6 → 77±9ml/kg, P<0.01)と報告している。また、6 週間のトレーニング後、MI 群の VO₂max はトレーニング前に比べて有意に増加し(P<0.01)、同様に、HII 群の VO₂max も有意に増加した(48.2±5.5→55±6ml/kg/min, P<0.01)と報告している。その結論として、高強度間欠的運動(170%VO₂max の強度で 20 秒間運動+10 秒間の休息)で 7~8set のプロトコルを、週 5 回の頻度で 6 週間トレーニングを行うことによって無酸素性能が有意に向上し、さらに有酸素性能も有意に向上するとしている。

また、Kouzaki et al.(1998)は、男子学生 9 名を対象に、週 5 回の頻度で 8 週間の高強度間欠的トレーニングを行わせ、トレーニング前後で無酸素性能と有酸素性能の変化を観察した。運動プロトコルとして、200%VO₂max の強度で 20 秒間の運動を、10 秒間の休息を挟んで 2set 行い、引き続き 180%VO₂max の強度で 20 秒間の運動を、10 秒間の休息を挟んで 2set 行い、さらに 160%VO₂max の強度で 20 秒間の運動を、10 秒間の休息を挟んで疲労困憊に至るまで繰り返し行う運動を用いた。運動には自転車エルゴメータを用い、回転数は 90 回/分とした。その結果、8 週間のトレーニングによって最大酸素借がトレーニング前に比べて 32%増加した(68.2±8.7 → 90.0±10.4ml/kg, P<0.01)と報告している。さらに、8 週間のトレーニングによって、VO₂max がトレーニング前と比較

して有意に増加した($52.6 \pm 5.4 \rightarrow 60.0 \pm 4.9 \text{ ml/kg/min}$, $P < 0.01$)とも報告している。その結論として、高強度間欠的運動における週 5 回、8 週間のトレーニングによって無酸素性能力が有意に向上し、さらに有酸素性能力も有意に向上すると報告している。

さらに、Ogita et al. (1998)は、9 名の鍛錬された男子学生スイマーを対象に、高強度間欠的トレーニングに関する研究を行っている。被験者全員が水中でのクロール運動での高強度間欠的運動を 1 日に 2 回、週 5 回の頻度で 2 週間行い、運動プロトコルは $130\% \text{VO}_2\text{max}$ の強度で、20 秒間の水泳運動を 10 秒間の休息を挟んで 7~8set を行うものであった。この実験は実験室内で行われ、海拔 3000m と同条件になるように、実験室の気圧は 526mmHg に設定された。その結果、2 週間のトレーニングによって、総酸素借がトレーニング前に比べて 10% 増加した($65.1 \pm 15.8 \rightarrow 71.2 \pm 15.8 \text{ ml/kg}$, $P < 0.05$)と報告している。そして、2 週間のトレーニングによって、 VO_2max が有意に増加しなかった ($56.8 \pm 7.1 \rightarrow 57.1 \pm 5.6 \text{ ml/kg/min}$)ことも報告している。結論として、1 日 2 回、週 5 回の高強度間欠的運動での 2 週間のトレーニングによって、無酸素性能力は有意に向上したが、有酸素性能力の有意な向上はみられなかったと報告している。

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施した。研究の結果、有酸素性能力の有意な向上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向上し($P<0.01$)、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向上がみられた($P<0.05$)。さらに、T 群の男性では、ローイング・エルゴメータによる 2000m time-trial のタイムが向上傾向 ($402.5\pm 9.4 \rightarrow 398.6\pm 11.2$ 秒, $P\div 0.05$)を示した。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に向上したと報告している。

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唱を目的として、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。

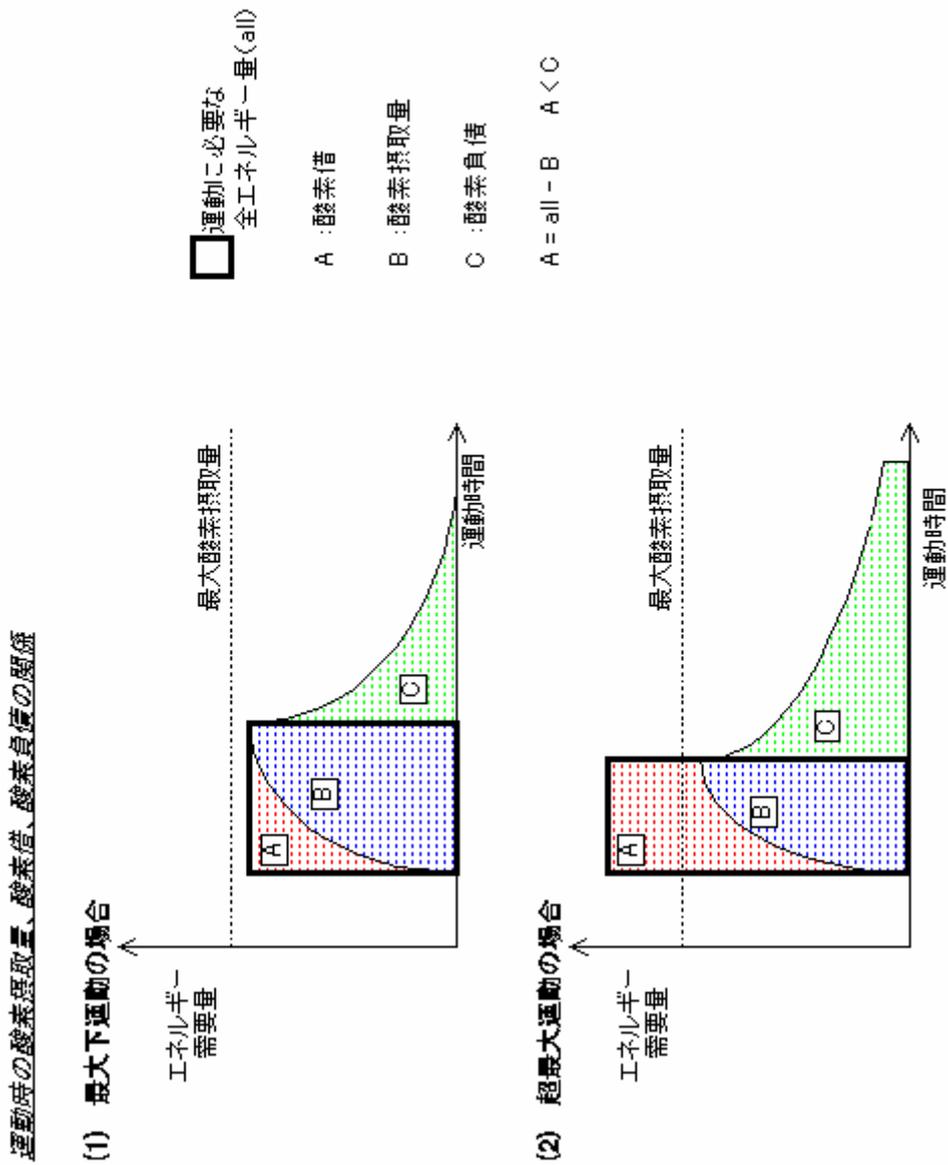


Fig.1 Relationship of O_2 uptake, O_2 deficit and excess postexercise oxygen consumption(EPOC) in exercise

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

【背景・目的】

近年になって、ボートやオール、その他道具類は次々に改良され、トレーニング科学とともに大きく進歩してきた。なかでも、水上でのローイングを陸上でも行える「ローイング・エルゴメーター」は、今ではボート界に広く浸透し、トレーニングやローイング・テストなどで幅広く使用されるようになった。また、ローイング・エルゴメーターによる 2000m-time と水上でのローイング・パフォーマンスとの間には非常に高い相関があり、ローイング・エルゴメーターによるトレーニングは、ローイング・パフォーマンス向上を目的としたトレーニング法として適しているとされている(L.Messonnier et al.,2005)。ローイング・エルゴメーターの利用方法としては、あらゆる強度のローイング・トレーニングやパフォーマンステスト、ローイングの技術指導、クルー選考の指標、天候不良時の室内でのトレーニングなどがある。

ローイング競技は、無酸素性能力と有酸素性能力の両方を必要とするミドルパワー系の競技である。ローイング・トレーニングの目的の多くが有酸素性能力の向上とされる一方、大半のボート選手達はレジスタンス・トレーニングによって無酸素性の能力を向上させようとしている。確かにレジスタンス・トレーニングを継続して行うことによって無酸素性能力も向上する。ただし、レジスタンス・トレーニングだけで無酸素性エネルギー供給機構の能力の指標である総酸素借が十分に増加するか、という点について、その真意は明らかになっていない。しかしながら、ローイング・エルゴメーターを用いた高強度トレーニングはそれが可能であり、2000m ローイング・パフォーマンスにおいてより重要であるという報告もある(Mäestu J et al,2005)。

2000m ボートレースで求められるエネルギー供給機構と同様に、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の両方が求められる競技に、ス

スピードスケートの 1500m レースがある。日本のトップスピードスケーターは、高強度間欠的運動についての先行研究を基にしたトレーニング法を採用している。そして、実際にそのトレーニングによって世界的レベルでの大会でも成果を残していることが報告されている(田畑 泉,1996)。

ローイング・トレーニングにおいても、こういった高強度間欠的運動トレーニングについての研究が行なわれている(新村ら, 2005)。研究の結果、 VO_2max の変化は見られなかったものの、ローイング1本あたりに発揮されるパワー、最高血中乳酸値において有意な増加を示し、2000m のタイムが短縮の傾向を示した。この研究は、実践的なプロトコルである可能性は示したが、同時に、set 数や頻度といった内容に改善の余地を多く残し、高強度間欠的ローイング・トレーニング法に大きな可能性も残している。

ローイング・パフォーマンスを向上させた要因のひとつとされる総酸素借を向上させるには、総酸素借を使い切るような運動をすることが望ましい。先行研究では、「最終 set まで 100% VO_2max 以上の強度が維持されるが、既に 6set 目で、最終 set 同様に 100% VO_2max 程度の仕事量まで減少しており、5set 目には総酸素借を使い切っている可能性がある」、ということが示唆された。つまり、8set 同様、5set のプロトコルにおいても効果が期待できるのであれば、より負担が少なく、モチベーションを維持し、継続し易いトレーニング法として活用できる可能性がある。

さらに、頻度についても議論の余地が残っている。Tabata et al.(1996)や kouzaki et al.(1998)は週 5 回でトレーニングを行ったが、新村らは週 3 回で行った。また、トレーニングを行う選手の精神的、身体的疲労を考慮すると更に頻度を減らすべきかも知れない。

よって本研究では、新村らの研究を基に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

被験者は早稲田大学漕艇部に属する男子選手 9 名とした。同被験者 9 名は、高校・大学のローイング競技において優秀な成績を収めてきたトップクラスの競技者から、大学からボートを始めた競技者まで、幅広い競技歴を持つ人材で構成されている。また、早稲田大学漕艇部の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。よって、パフォーマンス以外の、突発的な心身の変化や生活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。

また被験者全員には、事前に早稲田大学漕艇部合宿所へ赴き、本研究の内容と趣旨を詳細に説明し、十分理解したうえで研究に協力する旨の署名をしてもらい実験に参加していただいた。

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 1 set 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秒間の全カ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。計230秒もしくは140秒の、短時間かつ極めて強度の高い運動である。また、運動強度を%VO₂max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VO₂max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。

なお、高強度間欠的ローイング運動のプロトコルにおいても、VO₂max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

incremental testではVO₂max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)、VO₂ (ml/min)、set毎の仕事量 (Watt/min)、VCO₂ (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

《VO₂max 測定⇒protocol①⇒protocol②》

本実験は、早稲田大学・所沢キャンパス構内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

早稲田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。

また被験者全員には、事前に早稲田大学漕艇部合宿所へ赴き、本研究の内容と趣旨を詳細に説明し、十分理解したうえで研究に協力する旨の署名をしてもらい実験に参加していただいた。

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ー(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 VO₂max 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 ($[La^-]_{bmax}$)、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。

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

P_{com} is the last work load completed. T is the number of seconds of the final, uncompleted bout. T_{bout} the number of seconds of the bout defined in the

protocol (i.e., 120 sec). ΔP is the final load increment (generally 50 W).

◆Time-Trial

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。

◆アンケート

トレーニングを終えてみての感想を被験者に回答してもらった。

質問項目は、身体的疲労度と精神的疲労度に関して評価するものにした。また内容は新村ら(2005)と同様にした。

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。こちらも 5%以下を有効とした。

【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_{2max} ・年齢の平均を **Table.1** に示した。

ii) VO_2 の変化

・protocol①

protocol①における各被験者の VO_2 (ml/min) の変化を **Fig.2**、その平均値の変化を **Fig.3** 示した。

被験者の VO_2 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_2 のデータが取れなかった。

・protocol②

protocol②における各被験者の VO_2 (ml/min) の変化を **Fig.4**、その平均値の変化を **Fig.5** に示した。

protocol②では、被験者全員の VO_2 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_2 の値は、ともに VO_2 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(拍/min)の変化を Fig.6、その平均値の変化を Fig.7 に示した。

被験者により、HR の軌跡はバラつきがあった。被験者 A,G は 3set 目、被験者 D,E は 4set 目まで心拍数は急激に上昇した。その後は多少の変動はあるものの、ほぼ横ばいに推移し、8set 目で peak (被験者 D は 4set、被験者 E は 7set 目で peak)を迎えた。

・protocol②

protocol②における、各被験者の set 毎の心拍数(拍/min)の変化を Fig.8、その平均値の変化を Fig.9 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 ($[La^-]_b$) 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 $[La^-]_b$ (mmol/l) 変化を Fig.10 に示した。

protocol①における安静時の平均 $[La^-]_b$ は 1.95 ± 0.69 mmol/l であり、運動直後は 11.30 ± 1.59 mmol/l、運動 3 分後は 11.15 ± 1.68 mmol/l であった。protocol②における安静時の平均 $[La^-]_b$ は 1.33 ± 0.47 mmol/l であり、運動直後は 8.98 ± 1.19 mmol/l、運動 3 分後は 9.57 ± 1.61 mmol/l であった。

$[La^-]_b$ 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($p \doteq 0.06$)

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.11 に示した。週 2 回の群の pre は 8.98 ± 0.76 mmol/l、post は 8.19 ± 1.38 mmol/l、週 5 回の群の pre は 8.89 ± 0.62 mmol/l、post は 9.19 ± 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.12 に示した。週 2 回の群の pre は 387.7 ± 24.1 W、post は 390.0 ± 23.3 W、週 5 回の群の pre は 361.5 ± 19.5 W、post は 380.4 ± 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。また各個人のトレーニング前後での変化量を Fig.13(週 2 回の群)、Fig.14(週 5 回の群) で示した。増加量は週 2 回の群は 2.2 ± 5.0 W、週 5 回の群 19.0 ± 22.2 W であった。群間での差はなかった。

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.15 に、1000m の週 5 回群を Fig.16 に示した。週 2 回は 3.2 ± 1.9 sec の短縮、週 5 回は 4.5 ± 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.17 に、2000m の週 5 回群を Fig.18 に示した。週 2 回は 8.4 ± 5.5 sec の短縮、週 5 回は 3.1 ± 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 Exercise subject characteristics

	Value	Range
Age, yr	19.1 ± 1.2	18-22
Height, cm	178.5 ± 5.1	174.8-186.5
Weight, kg	76.8 ± 9.3	64.6-93.5
body fat, %	12 ± 2.6	8.8-16.3
VO ₂ max, l·min ⁻¹	4.3 ± 0.3	4.0-4.7

Values are mean±SD

エラー！ 編集 中のフィールド コードからは、オブジェクトを作成できません。 Fig.2

Change of VO_2 for each subjects at protocol①

エラー！ 編集 中のフィールド コードからは、オブジェクトを作成できません。 Fig.3

Change of mean VO_2 for subjects at protocol①

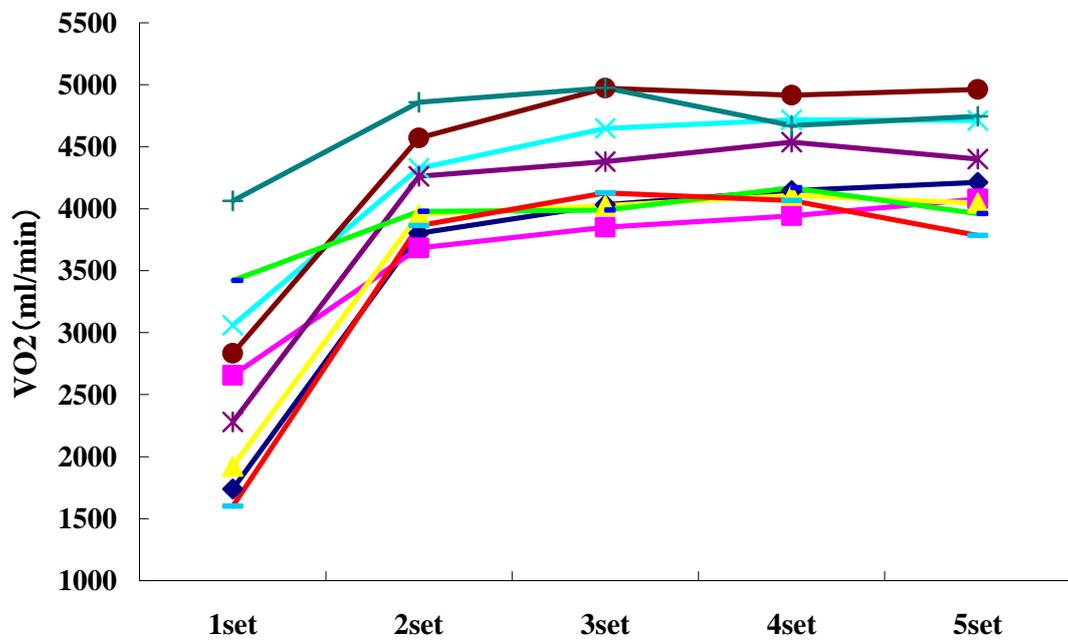


Fig.4 Change of VO_2 for each subjects at protocol②

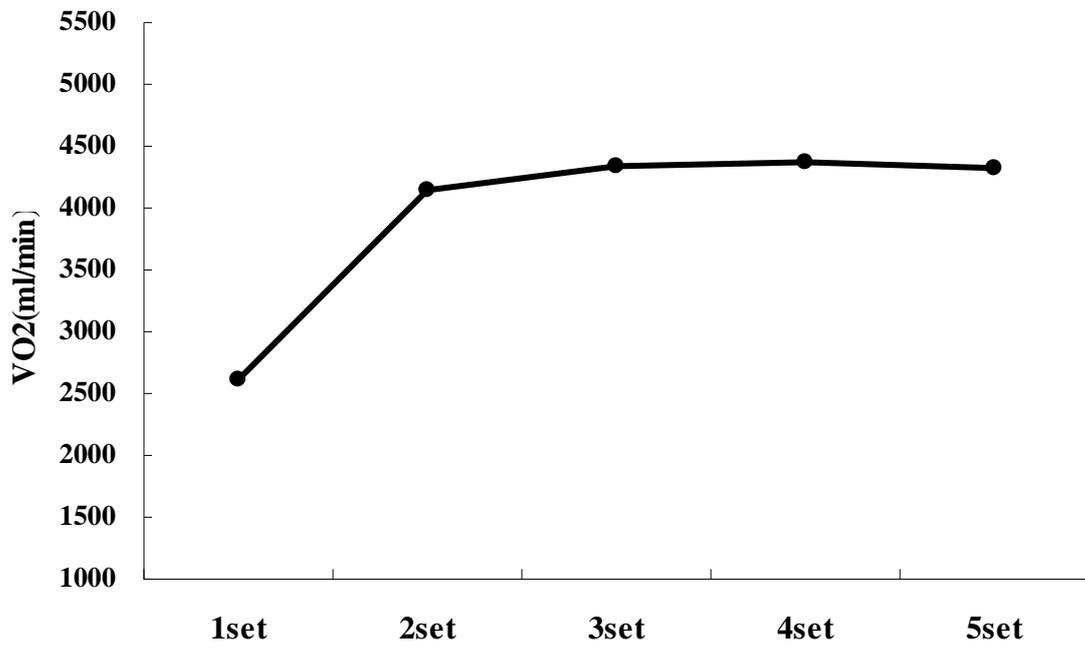


Fig.5 Change of mean VO₂ for subjects at protocol②

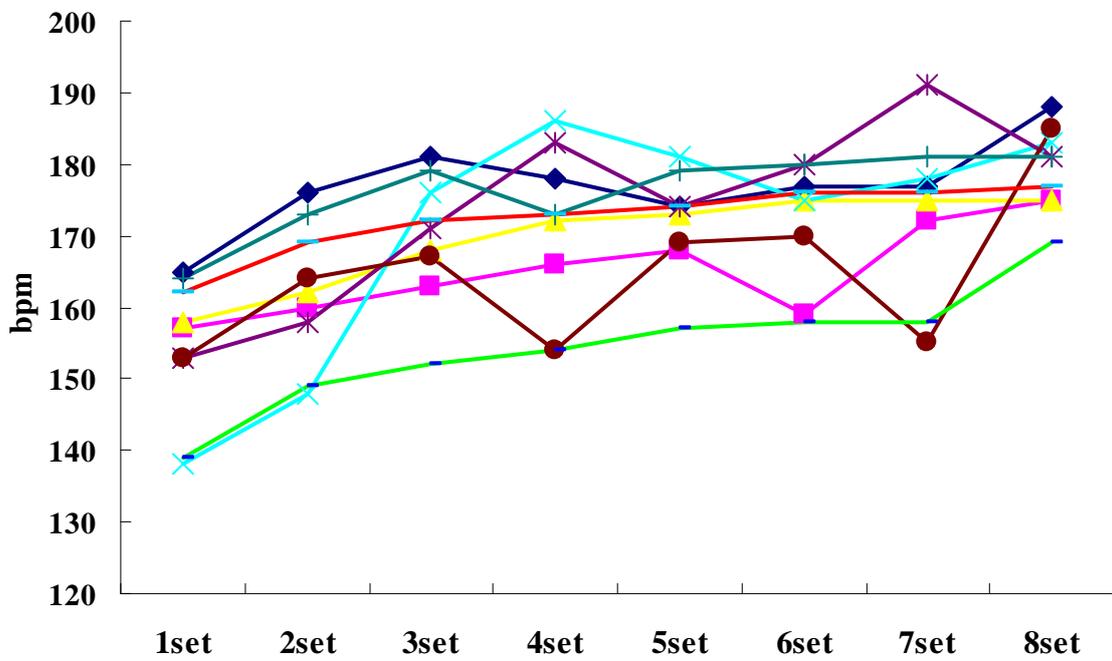


Fig.6 Change of HR for each subjects at protocol①

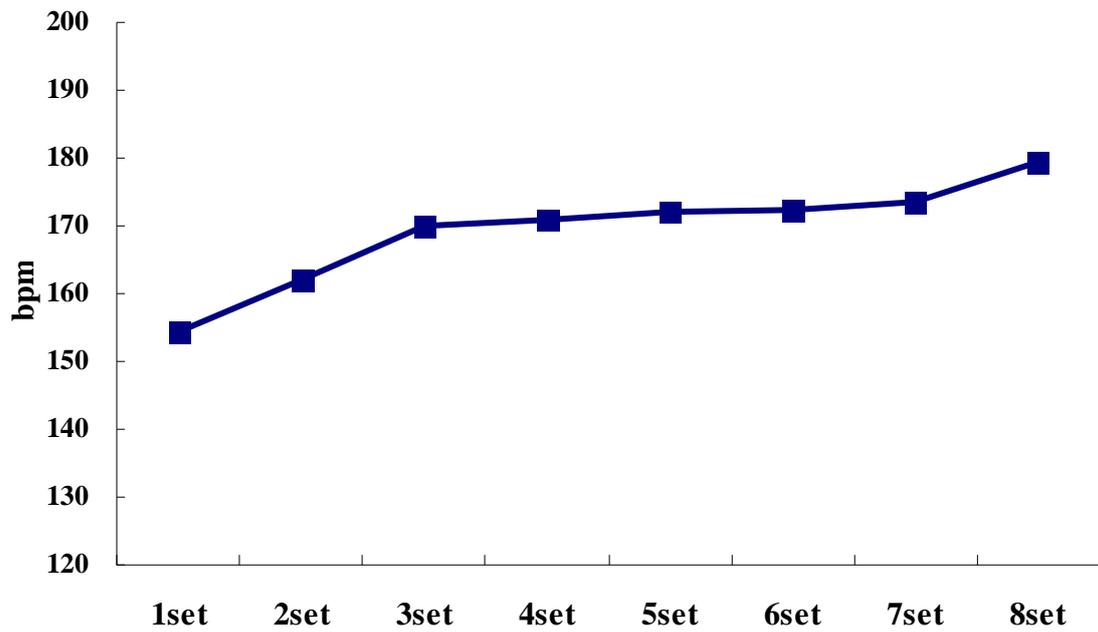


Fig.7 Change of mean HR for subjects at protocol①

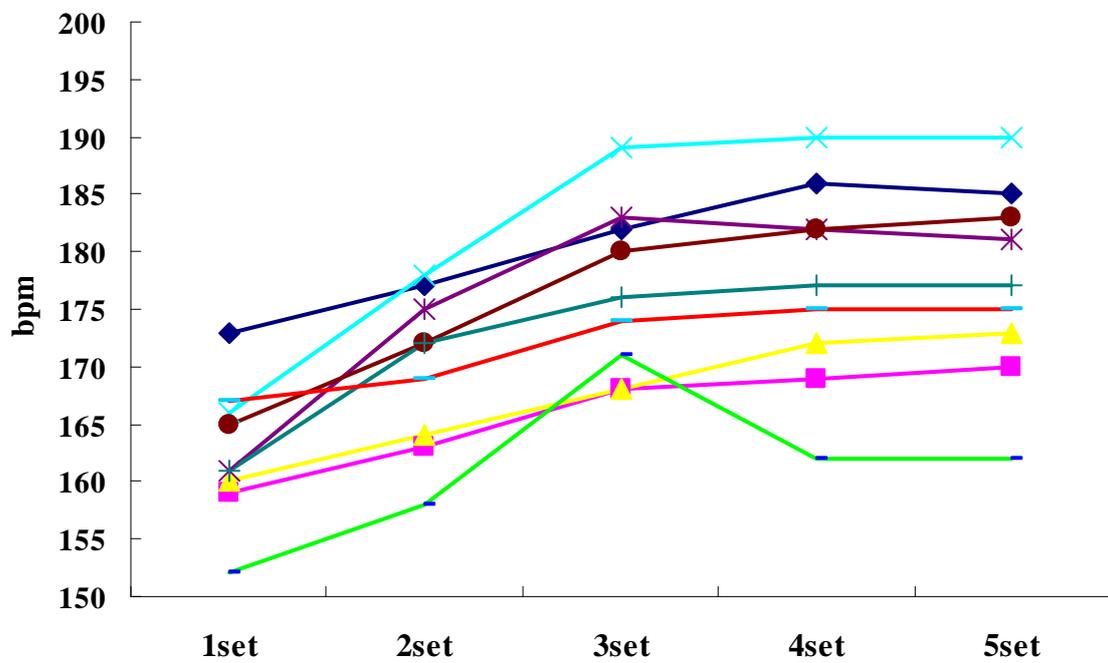


Fig.8 Change of HR for each subjects at protocol②

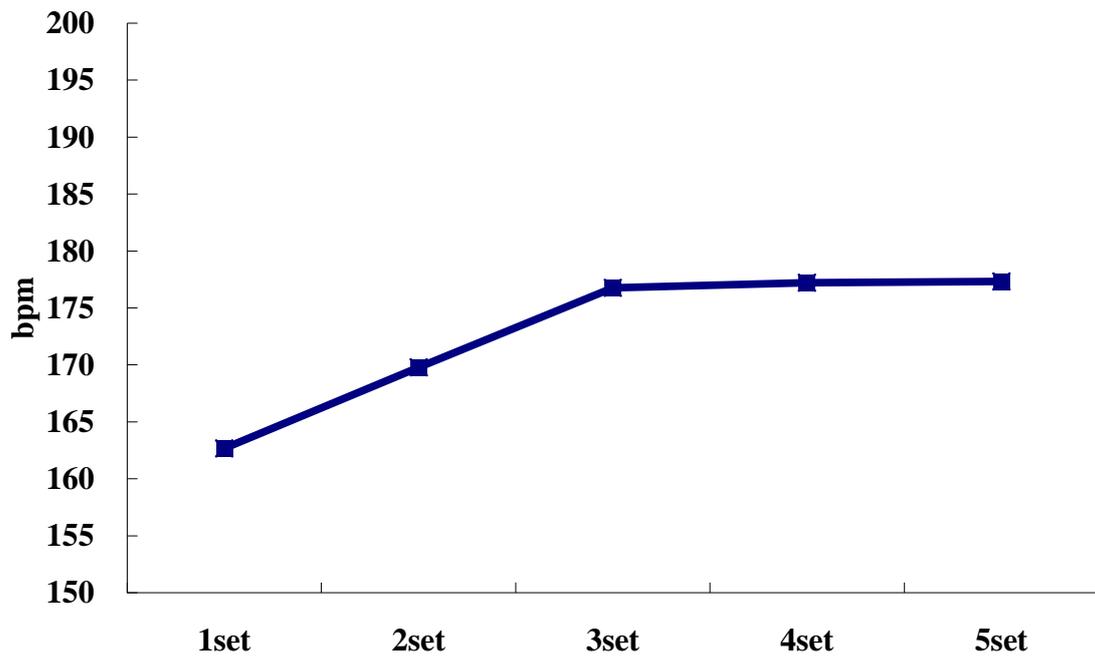


Fig.9 Change of mean VO₂ for subjects at protocol②

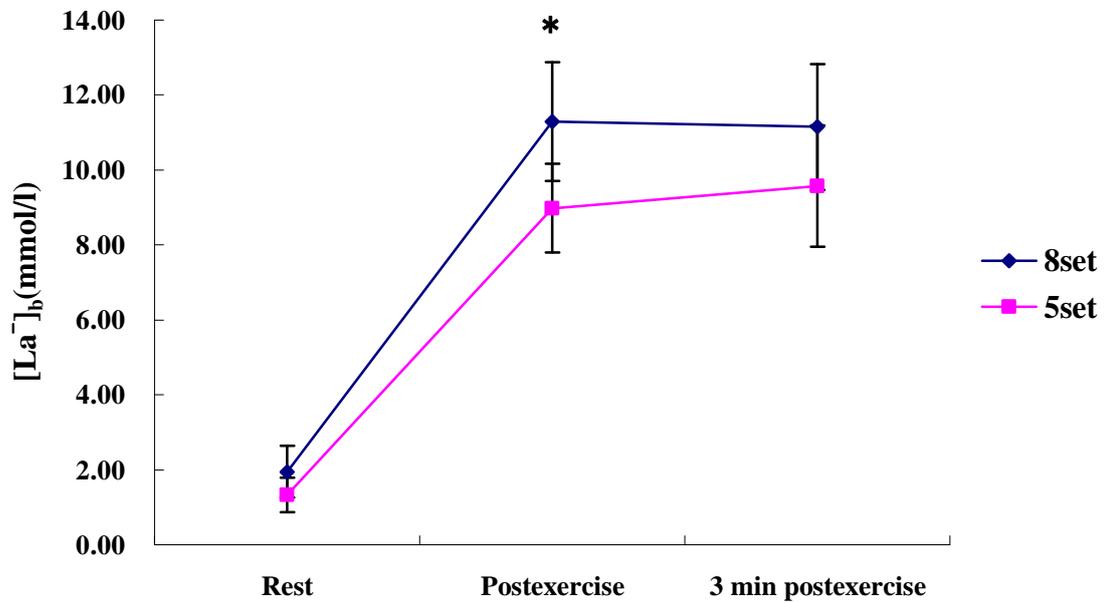


Fig.10 Blood lactate concentration([La⁻]_bmmol/l) at rest and after the

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

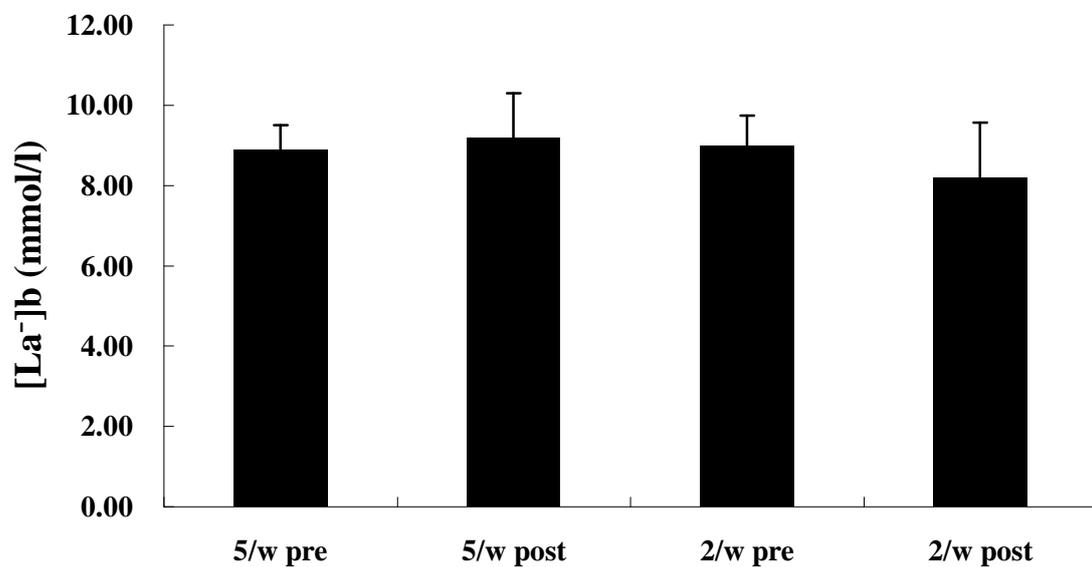


Fig.11 Blood lactate concentration([La⁻]_bmmol/l) for the 2 training per a week (2/w) and 5 training per a week (5/w) groups pre and post training.

Values are mean±SD.

エラー! 編集 中のフィールド コードからは、オブジェクトを作成できません。 Fig.12
Pmax(W) for the 2 training per a week (2/w) and 5 training per a week (5/w)
groups pre and post training. Values are mean±SD.

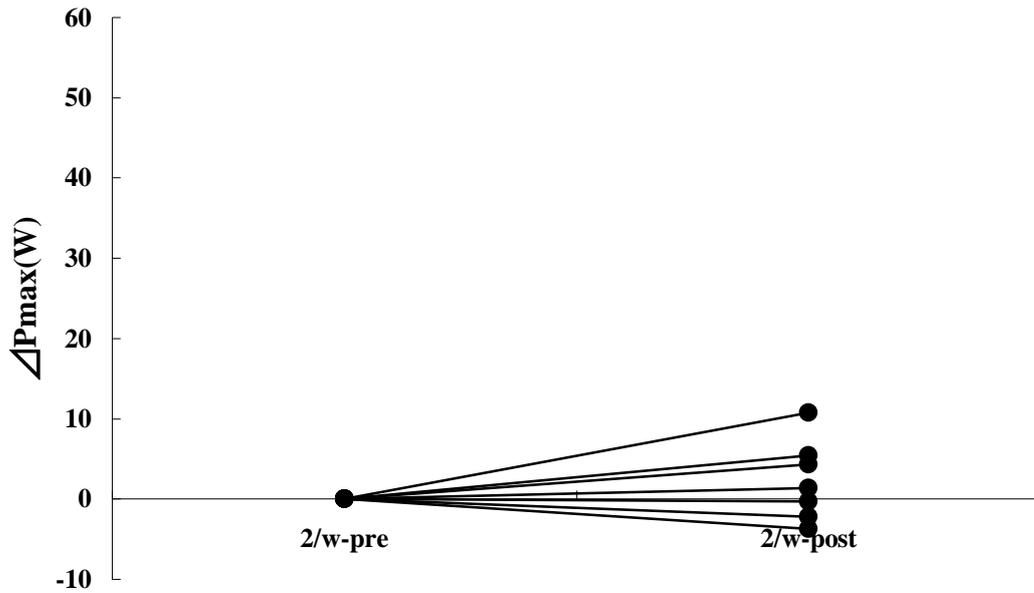


Fig.13 Increase and decrease of Pmax(W) pre- and post-training for the 2
training per a week group (2/w)

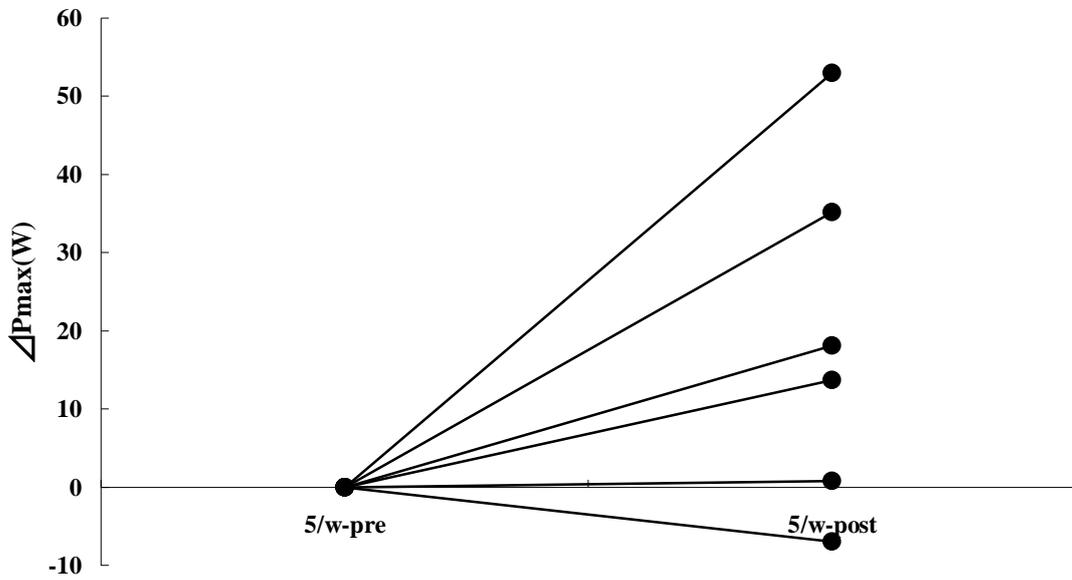


Fig.14 Increase and decrease of Pmax(W) pre- and post-training for the 5 training per a week group (5/w)

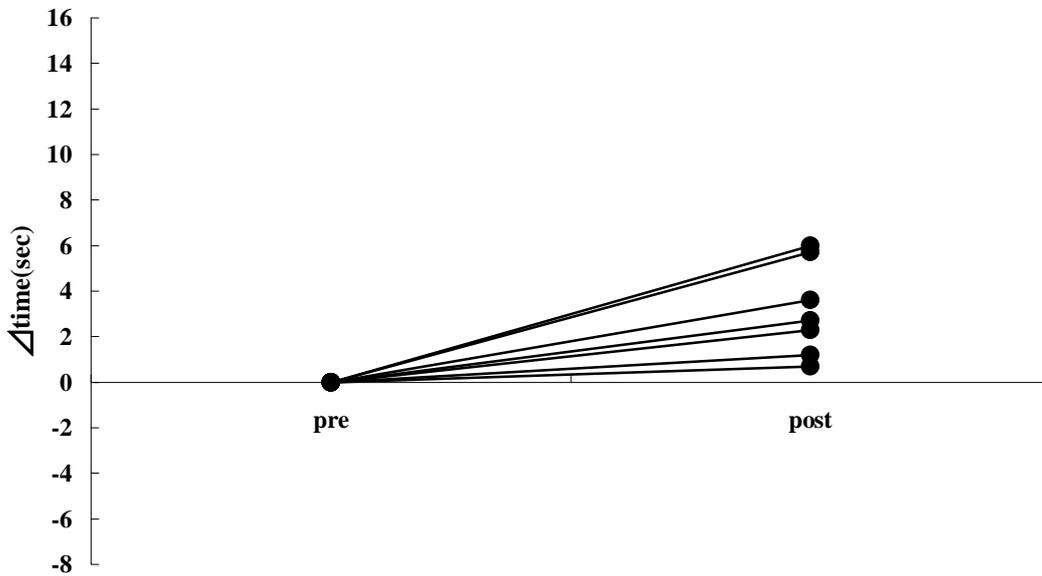


Fig.15 Increase and decrease of TT-1000m(sec) pre- and post-training for the 2 training per a week group (2/w)

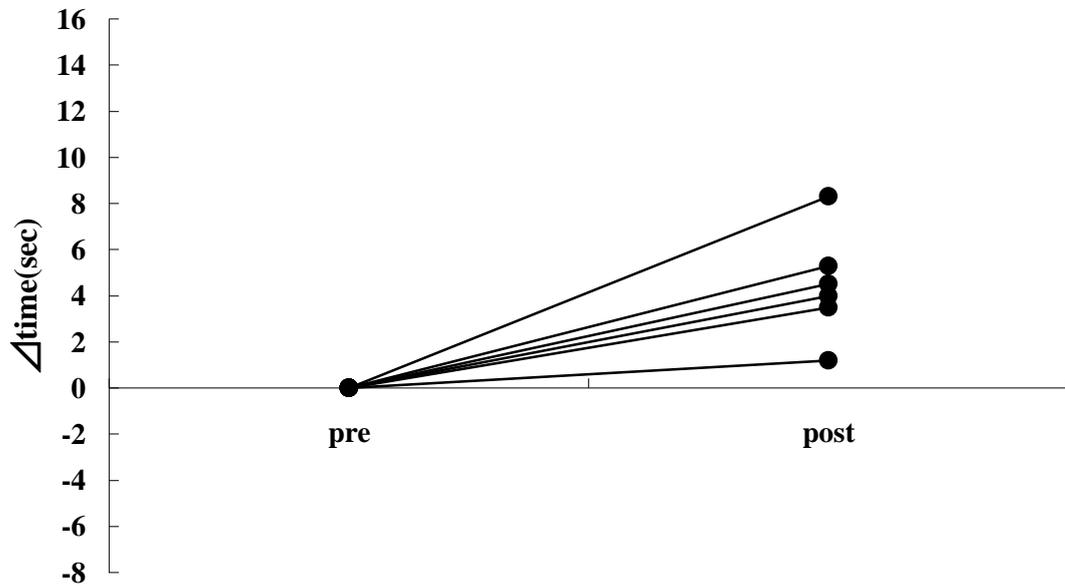


Fig.16 Increase and decrease of TT-1000m(sec) pre- and post-training for the 5 training per a week group (5/w)

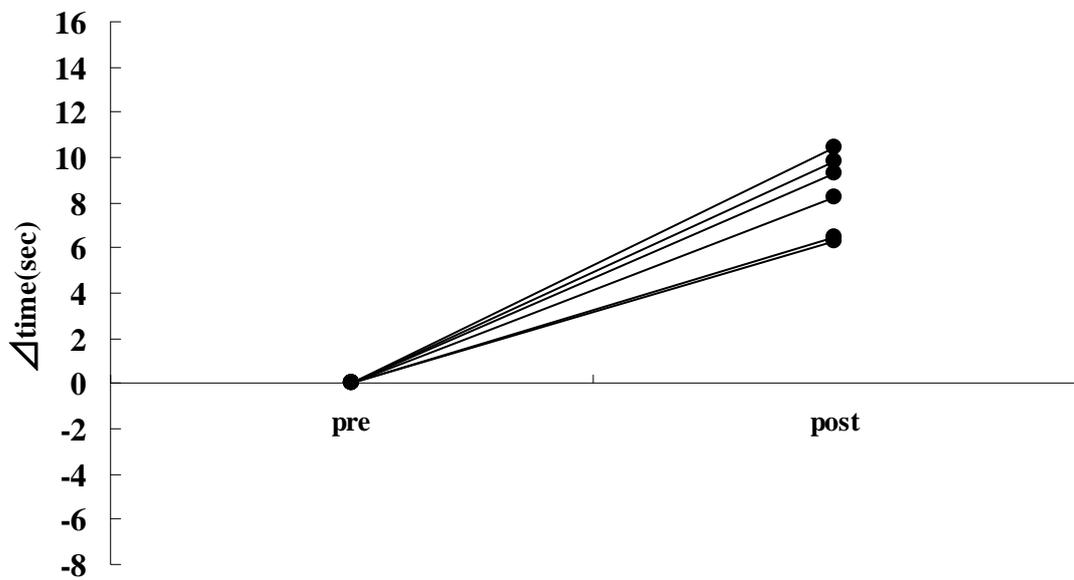


Fig.17 Increase and decrease of TT-2000m(sec) pre- and post-training for the 2 training per a week group (2/w)

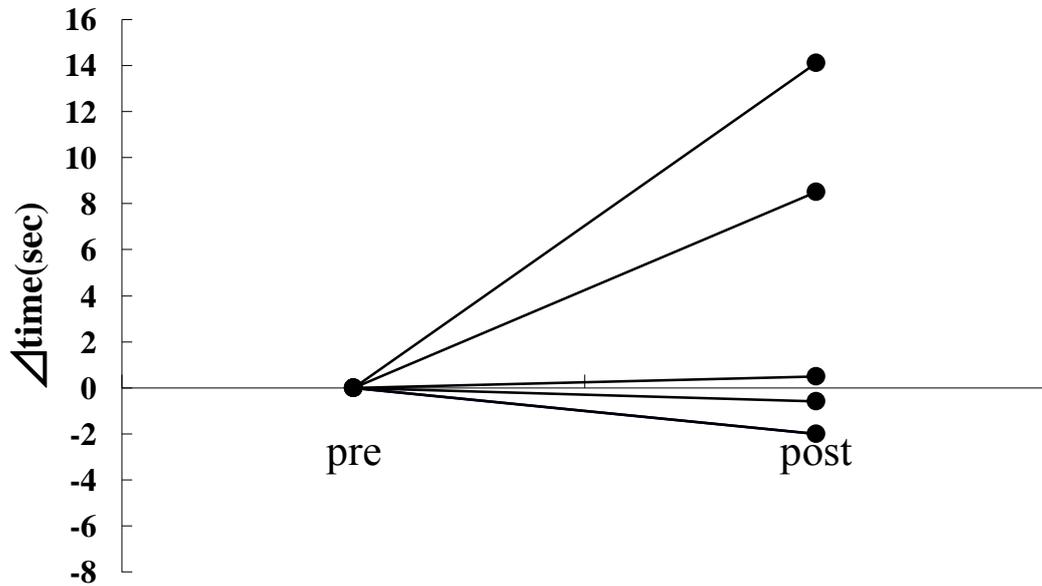


Fig.18 Increase and decrease of TT-2000m(sec) pre- and post-training for the 5 training per a week group (5/w)

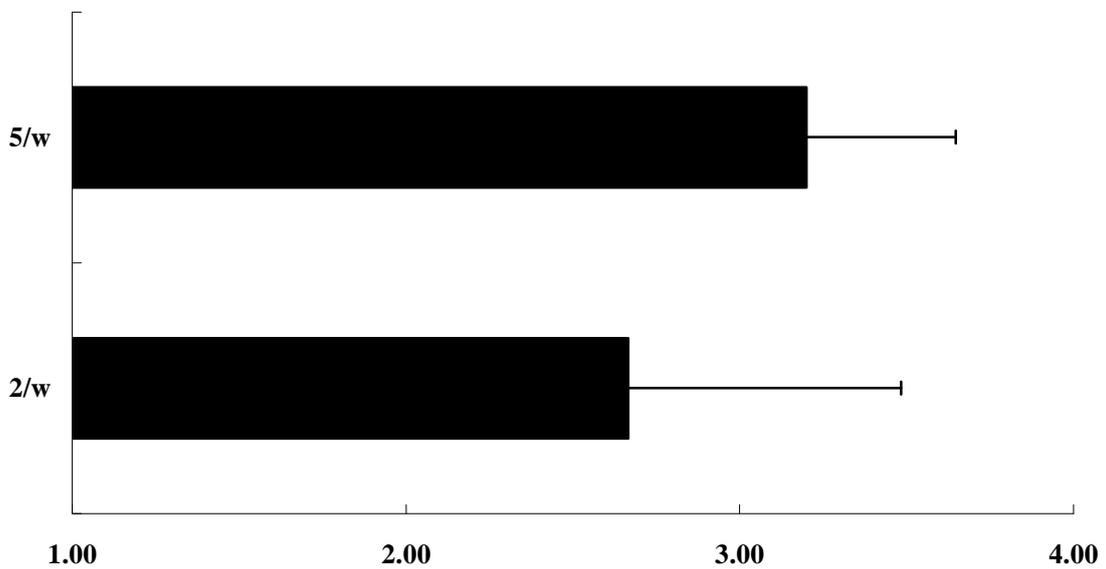


Fig.19 Questionnaire -physical fatigue. Values are mean±SD.

高強度間欠的ローイングトレーニングを付加することで疲労を感じたか？

- 1.まったく疲労は生まれない 2.やや疲労を感じる 3.疲労を感じる 4.極度の疲労を感じる

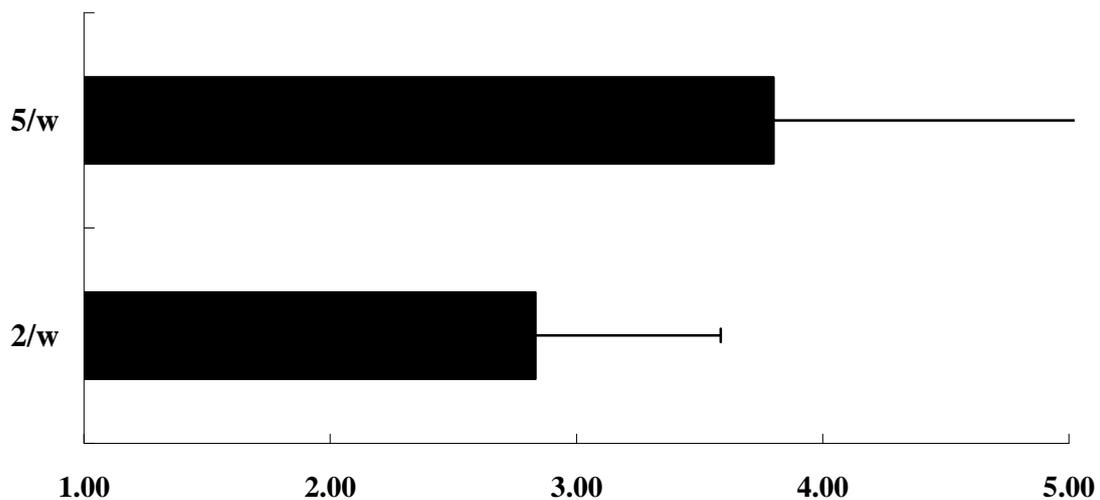


Fig.20 Questionnaire – mental fatigue. Values are mean±SD.

高強度間欠的ローイングトレーニングを付加することを重荷に感じたか？

1.全く感じない 2.ほとんど感じない 3. 少し感じる 4.感じる 5.非常に感じる

【論議】

a) 予備実験

プロトコル①及び②における 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 VO_2 の平均最大値は、プロトコル①； 4413 ± 320 (ml/min)、プロトコル②； 4434 ± 259 (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 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 VO_{2max} の93.8%、3set目には98.2%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、有酸素性能と無酸素性能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 VO_2 のピークは約95% VO_{2max} 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 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 96.8% VO_{2max} 、3set 目では 101.2% VO_{2max} 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やす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 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(Fig.6, Fig.8)。最終 set の被験者の平均心拍数は、プロトコル①; 180 ± 6 (bpm)、プロトコル②; 177 ± 9 (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.10)。

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 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 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 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.10)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のではないだろうか。

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、 $[La^-]_b$ max、 P_{max} 、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 ($[La^-]_b$)

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 $[La^-]_{bmax}$ 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 $[La^-]_{bmax}$ 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 $[La^-]_{bmax}$ 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も関わらず $[La^-]_{bmax}$ 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ので今後の研究が必要である。考える点は元々 $[La^-]_{bmax}$ 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 $[La^-]_{bmax}$ 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 $[La^-]_{bmax}$ 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。週 5 回の群で増加傾向にあったのみで週 2 回の群ではどんな変化も認められなかった。

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 を見たものはないので、どのような変化を表すかはわからない。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 が上昇することは容易に考えつくが、今回の実験では認められなかった。考えられることは、今回参加してくれた早稲田大学の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

が必要なかもしれない。傾向として週 5 回の群が上昇したと言うのは、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部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。事実、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(Fig.19, Fig.20)、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、 $[La^-]_{bmax}$ の上昇もない。考え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るかもしれない。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VO₂max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VO₂max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VO₂maxと同程度のVO₂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VO₂max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に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(Messonier 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)。それゆえ、今回筋中の乳酸濃度や、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。

他にも精神生理学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きつい運動である。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ましていったということも考えられる

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。VO₂ 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 【背景・目的】

高強度間欠的運動はその運動中、総酸素借を使いきり、運動後半で VO₂ が max レベルに達すると報告されている (Tabata et al., 1997)。日本のトップスピードスケーターは、高強度・間欠的運動トレーニング法を採用している。そのトレーニングによって世界的レベルでの大会でも成果を残していることが報告されている (田畑 泉, 1996)。

2000m ボートレースで求められるエネルギー供給機構は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の両方であり、スピードスケートの 1500m レースと類似している。

先にも紹介した通り、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

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

岐阜経済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、岐阜経済大学漕艇部では、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。

事前に岐阜経済大学漕艇部の監督・コーチ・選手に会い、本研究の内容と趣旨を詳細に説明し、被験者全員に十分理解したうえで研究に協力する旨の署名をしてもらい実験に参加してもらった。

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、VO₂ のデータを得る→漸増負荷試験で HR_{max}、VO_{2max} 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 秒間の全カ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_{2max} 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_{2max} 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_{2max}(ml/min)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の静止的休息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。ローイング・エルゴメータのギア(負荷)、ストロークレートは被験者本人の自由とした。

ウォーミングアップについては各自でストレッチ等、自由に行ってもらった。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。

また、測定は岐阜経済大学の体育館で行った。

2回の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、両運動を行う前に被験者全員の身体計測を行った。

iv)測定項目

◆水上での間欠的・高強度トレーニング

心拍数(拍/min)と VO_2 (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(エスアンドエムイー社製)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_2 (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(エスアンドエムイー社製)を用いて行い、心拍数はPOLAR TEAM SYSEM(POLAR社製)用いて行った。

b)本実験

i)被験者

岐阜経済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。

同被験者はいずれも健康で、中学・高校・大学でボート競技において優秀な成績を取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、岐阜経済大学漕艇部では、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。

事前に岐阜経済大学漕艇部の監督・コーチ・選手に会い、本研究の内容と趣旨を詳細に説明し、被験者全員に十分理解したうえで研究に協力する旨の署名をしてもらい実験に参加してもらった。

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秒間の全カ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。また、運動強度を%VO₂max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VO₂max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。

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、VO₂max、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ー(コンセプトII Model:D)を用いて、incremental testによりVO₂max(ml/min)、HRmax(bpm)、Pmax(W)の測定を行った。

測定に当たり、ローイングエルゴメーター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 1 set とし、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、呼気ガスはガス分析器で計測した。各 set の静止的休息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。

運動中の呼気ガスは、VO2000 (エスアンドエムイー社製) を用いて分析し、心拍数は POLAR TEAM SYSEM (POLAR 社製) を用いた。

また、 P_{max} は研究 ① と同様の式で求めた。

v) 統計

本実験における測定で得られたデータはすべて $mean \pm SD$ 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。こちらも 5% 以下を有効とした。

【結果】

a) 予備実験

i) 身体組成

被験者の年齢・身長・体重・ $VO_2\max$ の平均を Table.3 に示した。

ii) VO_2 の変化・ $VO_2\max$

各被験者の VO_2 (ml/min) の変化を fig.21、その平均値の変化を Fig.22 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 $VO_2\max$ の値と比べると、水上での一過性運動中の VO_2 は max 値の 93.2%という結果であった。被験者 B,E,H の値は全員 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.23、その平均値の変化に fig.24 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 95.7%という結果であった。被験者 D の選手を除いて、全員が 90%を超えるという結果だった。被験者 B,F,G,の差については、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。群間、トレーニング前後のいずれも、差はなかった。

ii)VO2max

トレーニング前後の VO2max(ml/min)を Fig.25 に示した。T 群 pre は 4411 ± 348 ml/min、T 群 post は 4615 ± 387 ml/min、C 群 pre は 4053 ± 550 ml/min、C 群 post は 4650 ± 364 ml/min であり、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。

iii)HRmax

トレーニング前後の HRmax(bpm)を Fig.26 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。VO₂max 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.27 に示した。T 群 pre は 339.8±20.3W、T 群 post は 343.2±27.8W、C 群 pre は 355.8±20.7W、C 群 post は 342±21W 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.28、fig.29 に示した。△値で両群間を見ると有意差が認められた(T 群 ; 3.48±12.3w vs. C 群 ; -14±12.7w , 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.30 に示した。1000m の T 群は 0.43±3.1sec、C 群は 1.79±5.2sec の短縮であった。2000m の T 群は 9.90±5.1sec、C 群は 2.87±4.8sec 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.31 に示した。ラップタイムで見ると、0-500m は T 群が 4.12±1.23sec、C 群が 2.08±1.89sec の短縮、500-1000m は T 群が 3.15±1.54sec、C 群が 0.60±1.35sec の短縮、1000-1500m は T 群が 1.70±2.11、C 群が -0.07±1.47 の短縮、1500-2000m は T 群が 0.43±3.63sec、C 群が 0.64±3.24sec 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 ± 0.5	(19-20)
Height, cm	172.4 ± 3.3	(168.5-179.2)
Weight, kg	69.7 ± 6.3	(64.5-82.5)
VO ₂ max, l/min	4.4 ± 3.5	(3.8-4.8)
HRmax, bpm	193.4 ± 3.5	(187-198)

Value are mean±SD

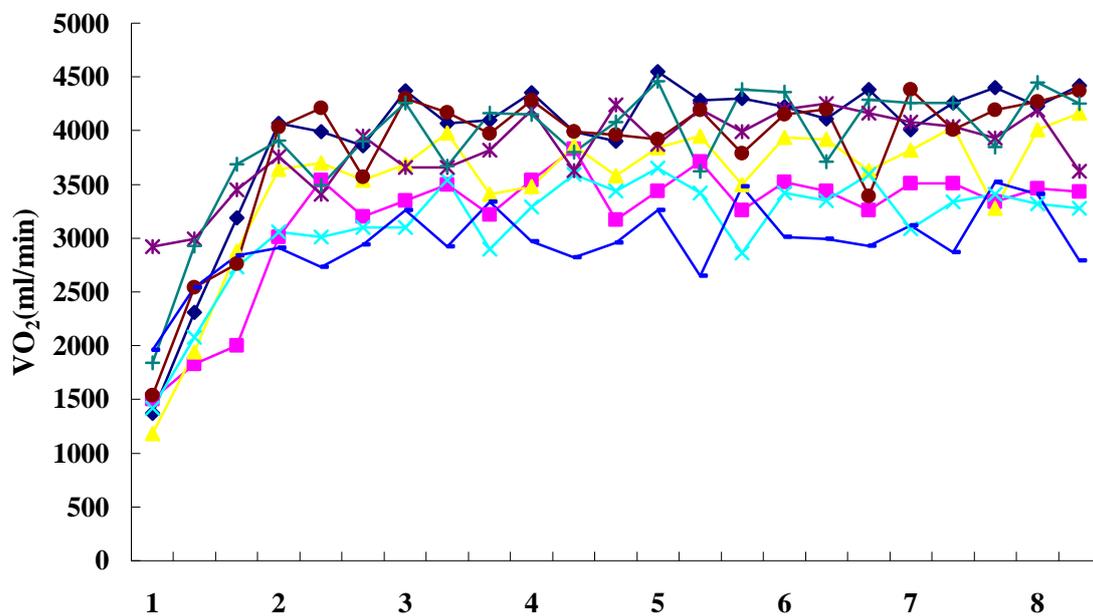


Fig.21 Change of VO₂ for each subject at acute bout high-intensity intermittent rowing on single-sculls.

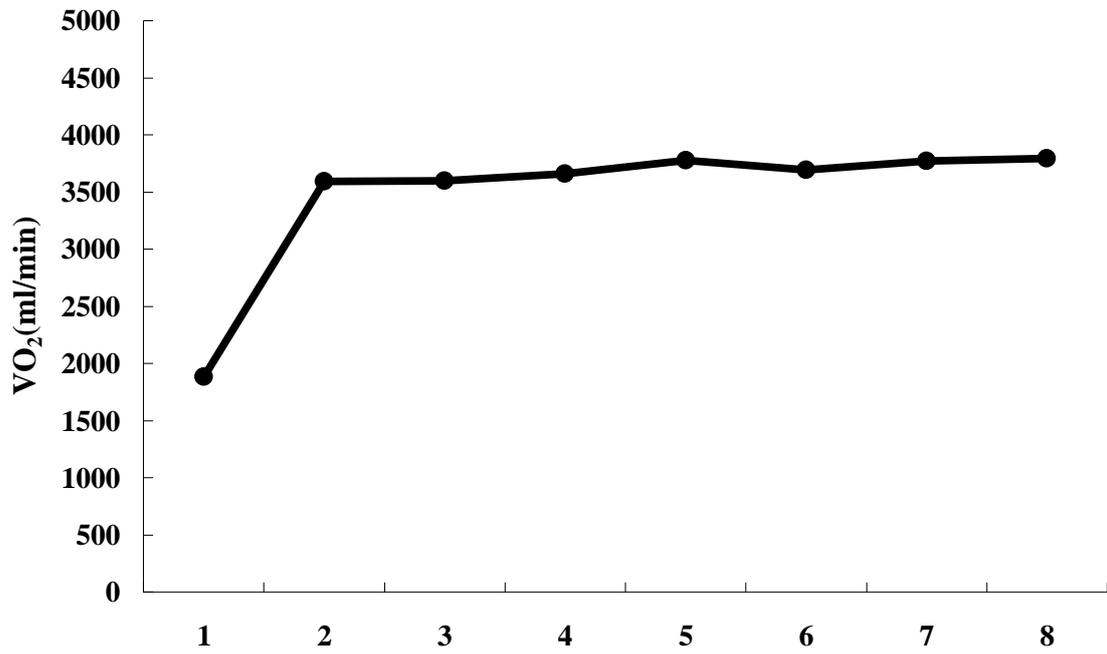


Fig.22 Change of mean VO₂ for subject at acute bout high-intensity intermittent rowing on single-sculls.

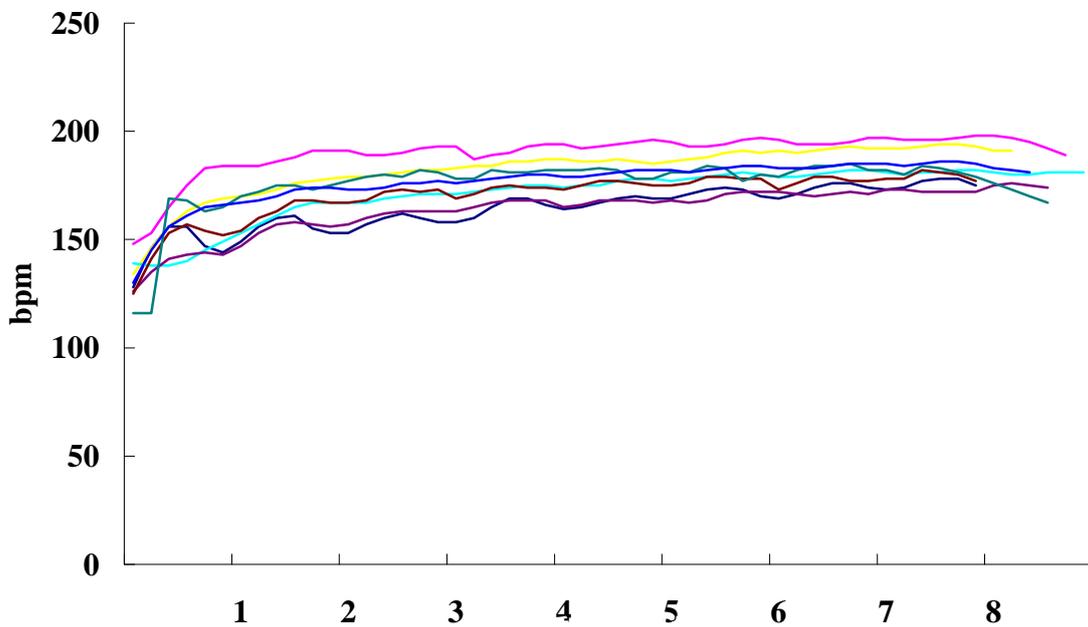


Fig.23 Change of HR for each subject at acute bout high-intensity intermittent rowing on single-sculls.

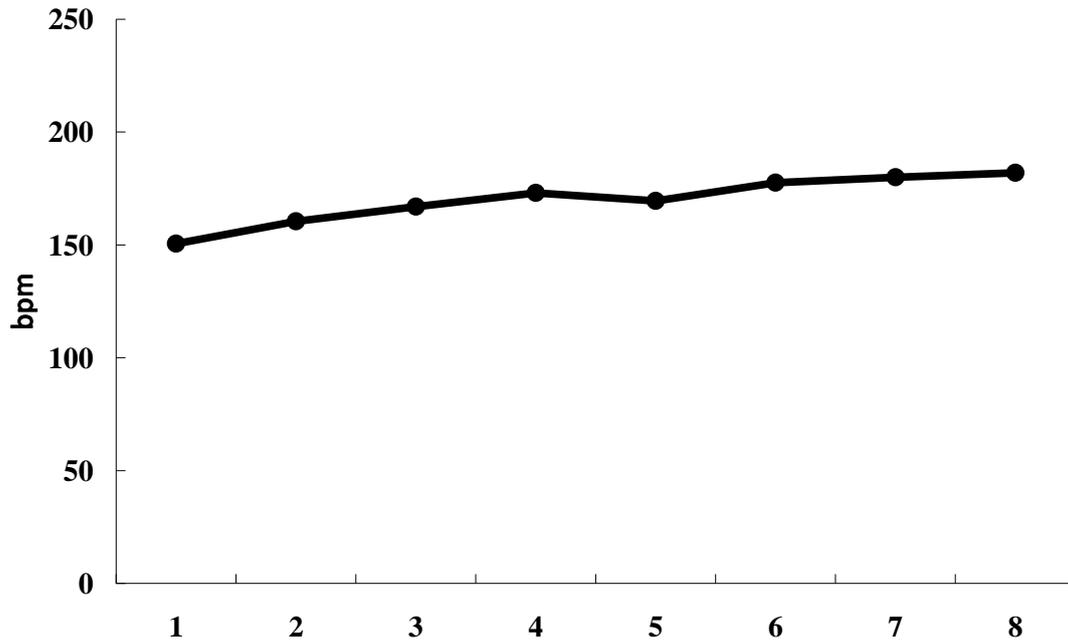


Fig.24 Change of mean HR for subject at acute bout high-intensity intermittent rowing on single-sculls.

Table.4 subject characteristics

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

Value are mean±SD

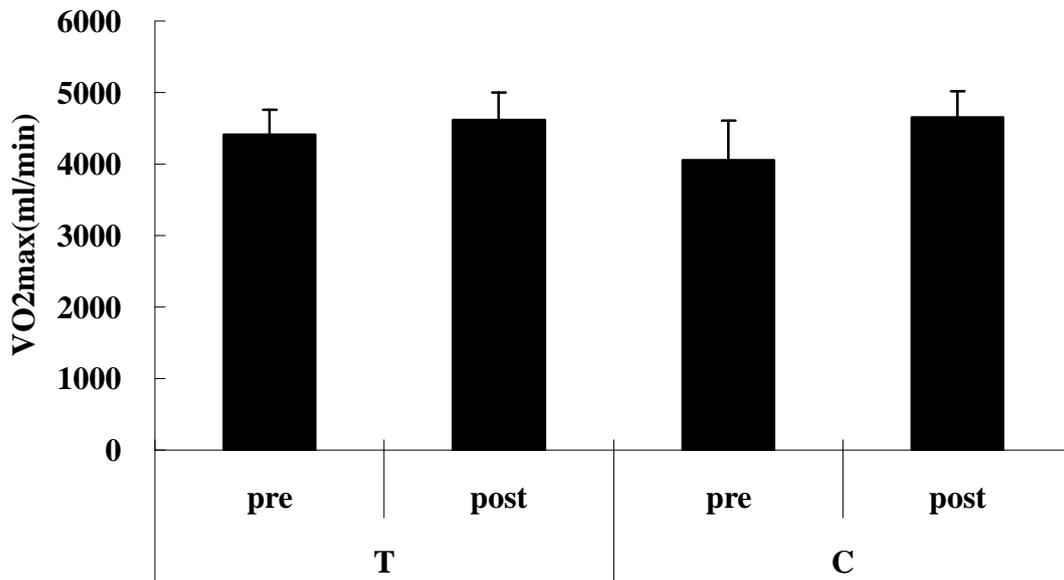


Fig.25 VO₂max(ml/min) for the Training (T) and Control(C) groups pre and post training. Values are mean±SD.

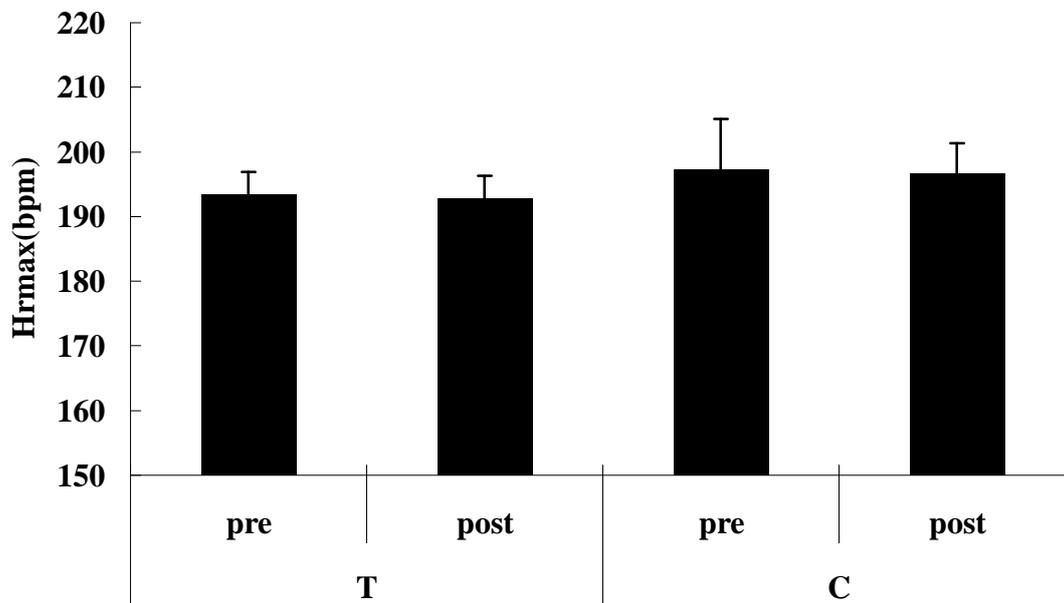


Fig.26 HRmax(bpm) for the Training (T) and Control(C) groups pre and post training. Values are mean±SD.

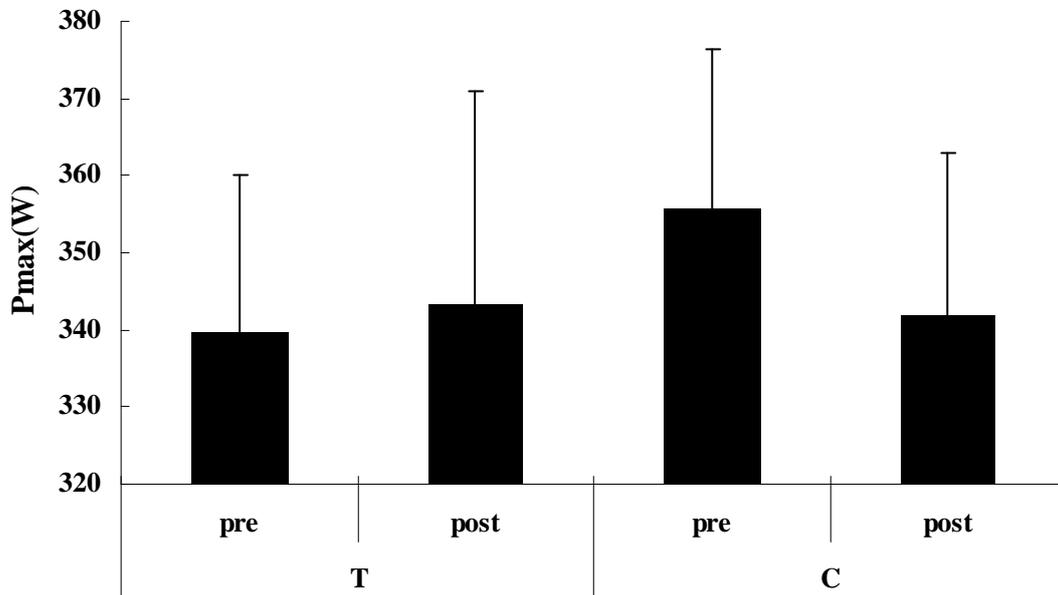


Fig.27 Pmax(W) for the Training (T) and Control(C) groups pre and post training. Values are mean±SD.

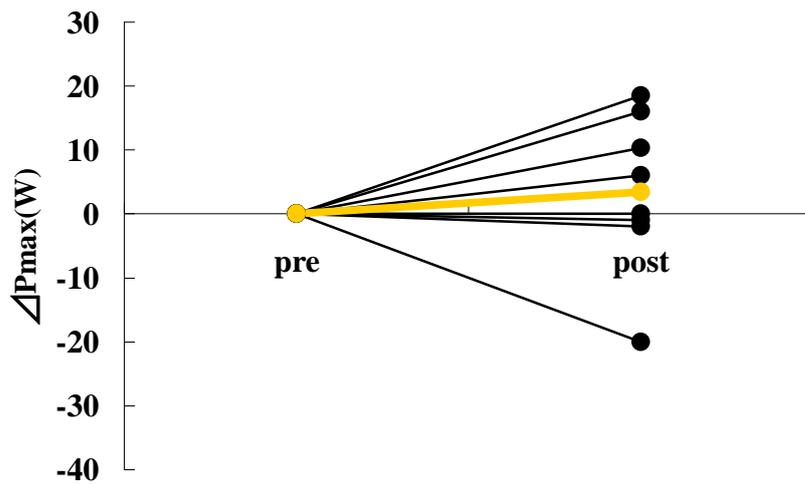


Fig.28 Increase and decrease of Pmax(W) pre- and post-training for the training group (T)

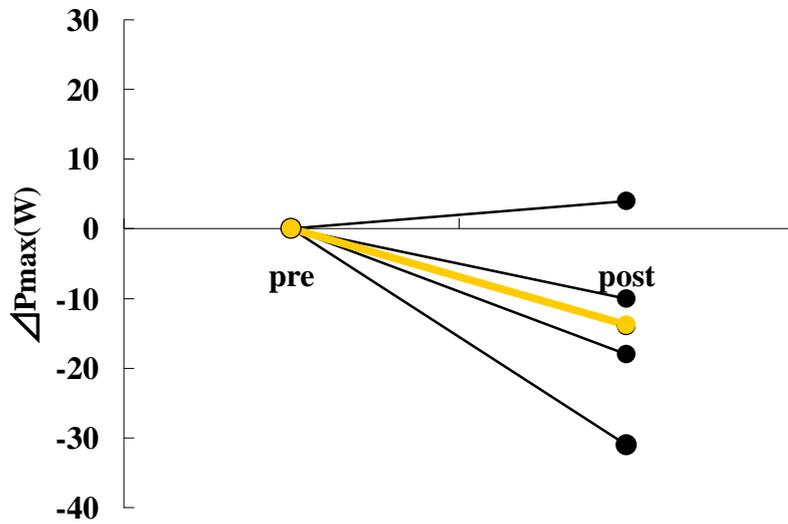


Fig.29 Increase and decrease of Pmax(W) pre- and post-training for the control group (C)

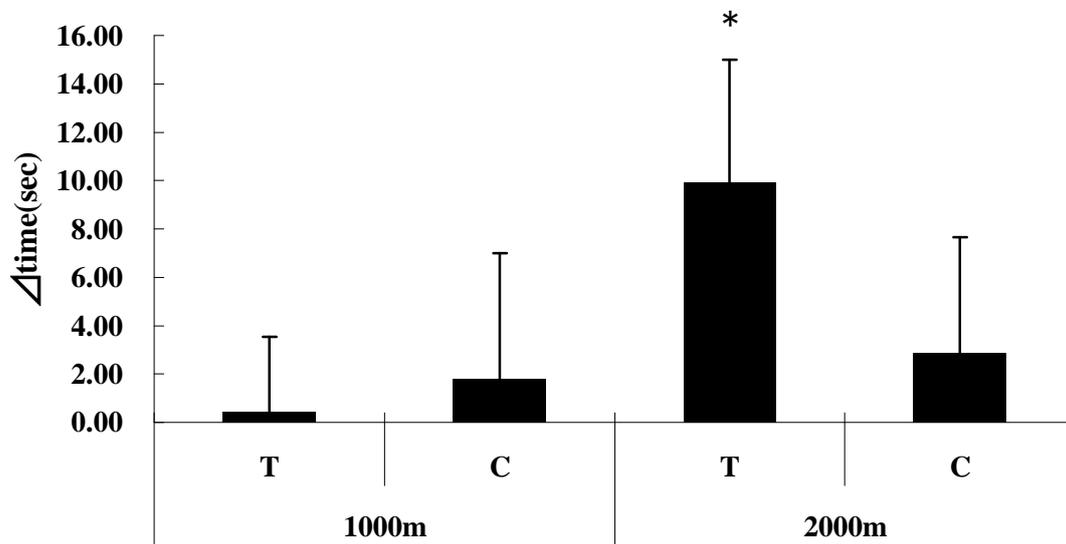


Fig.30 Increase and decrease of pre- and post-training TT-1000m and 2000m(sec) for the Training (T) and Control(C) groups. Values are mean±SD.

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

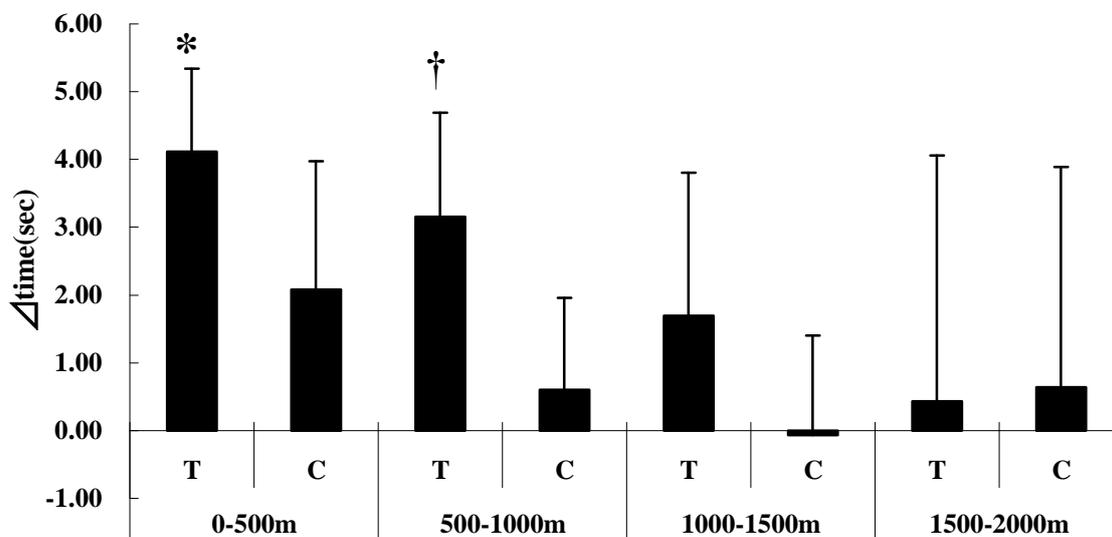


Fig.31 Increase and decrease of pre- and post-training TT-2000m rap time(sec) for the Training (T) and Control(C) groups. Values are mean±SD.

* 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 ± 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 ± 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max値の93.2%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%

VO₂max であった。それは、今回の 93.2%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 VO₂ 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、5setで若干下がってしまっているが、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 HR の最大平均値は 185.1±7.5(bpm) であった。漸増負荷試験で得られた HRmax の平均値は 193.4±3.5(bpm)であり一過性運動中の HR は 95.7%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 VO₂ は max 値の 93.2%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 98.2%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。そのため徐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、回を重ねることで追い込めるようになっていき 95%VO₂max 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、これを支持するかもしれない。

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。

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 ($48.2 \pm 5.5 \text{ ml/kg/min} \rightarrow 55 \pm 6 \text{ ml/kg/min}$, $p < 0.01$) と報告した。

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うる。しかし、今回の実験で VO_{2max} の向上は確認されなかった。

先行研究の新村らの実験(2005)からもこのローイングによる高強度間欠的トレーニングでは VO_{2max} はもしかしたら増加しない可能性もある。しかし、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.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 ± 3.7 ml/kg/min vs. Tabata et al.の実験; 48.2 ± 5.5 ml/kg/min)。本研究の被験者の方が、 $VO_2\max$ の伸びしろがより少ないと考えられ、 $VO_2\max$ の伸びが期待することは難しい状況にあったと考えることが出来る。より長い期間のトレーニングが必要なかもしれない。

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 $VO_2\max$ 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 $170\%VO_2\max$ 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 $130\%VO_2\max$ であった。その結果、総酸素借は増加したが $VO_2\max$ 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 $VO_2\max$ 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 $HR\max$ の向上は確認されなかった。しかし、 $HR\max$ は一般的に“ $220 - \text{年齢}$ ”(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かもしれない。この付近まで上昇すると数値的に変化が起きづらく統計的な差が出にくいことが考えられる。

・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 Δ 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、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、 P_{max} を見たものはないので、どのような変化を表すかはわからない。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、 P_{max} が上昇することは容易に考えがつかうが、今回の実験では認められなかった。これについては説明がつかないため、今後の研究により解明を期待する。

・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 $-9.90 \pm 5.1 \text{sec}$ vs. C 群 $-2.87 \pm 4.8 \text{sec}$ ※ $p < 0.05$)。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 $4.12 \pm 1.23 \text{sec}$ 、C群が $2.08 \pm 1.89 \text{sec}$ の短縮($p < 0.05$)、500-1000mはT群が $3.15 \pm 1.54 \text{sec}$ 、C群が

0.60±1.35sec 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。VO₂max 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いのでこれで説明することはできないであろう。

考える点はトレーニングによって総酸素借の上昇、[La⁻]_bmax の上昇、筋中の buffer 機能の上昇などではなかろうか。

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。

他にも精神生理学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

動は非常にきつい運動である。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ましていっ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

今回の研究でわかったことは、

- 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。
- ということがわかった。

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、もしかしたら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ということがわかった。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かもしれない。

よって、この高強度間欠的ローイングトレーニングは通常の低・中強度のトレーニングにサブリメント的に週2回程度処方する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する。風や水面の状況など難しい要素が多いのは事実であるが、それがなされて初めて水上の高強度間欠的ローイングトレーニングの本当の効果が確認できるであろう。今回は実験①でのエルゴメーターによるトレーニングと実験②での水上のトレーニングを別の被験者で行い、測定項目も異なる。よって正確な比較が出来ず、実際にどちらが推奨されるべきなのか証明できないという問題がある。両プロトコルでのトレーニングを1番重要な水上でのパフォーマンス評価で比較することで、さらに良いトレーニングプロトコルが考案されるのではなかろうか。

将来この高強度間欠的ローイングトレーニングに関する研究が進み、日本のボート選手がオリンピックや世界選手権などで活躍する日が来ることを願いたい。

謝辞

本論文の主査を務めていただいた樋口満先生、副査を務めていただいた村岡功先生、坂本静男先生に心から御礼申し上げます。とりわけ、主査の樋口満先生には公私にわたり優しく、そして厳しくご指導いただきましたこと、心より感謝いたします。

また、本論文を製作する上で幾度の厳しいトレーニングをやり遂げ、実験に被験者として御協力いただいた、早稲田大学漕艇部員並びに岐阜経済大学漕艇部員の方々に対して深く感謝いたします。

そして本研究作成や、大学院生活を様々な面から支えてくださった、早稲田大学スポーツ科学学術院 薄井澄誉子助手、緒方知徳助手、早稲田大学先端科学・健康医療融合研究機構 寺田新講師を初め、樋口研究室の皆さんに深く感謝いたします。

最後に大学 4 年間、大学院での 2 年間、私のわがままを突き通させてもらった
両親に深く感謝し本文を終えさせていただきます。

文献

- **Bonen A, McDermott JC, Tan MH.**;Glycogenesis and glyconeogenesis in skeletal muscle: effects of pH and hormones.*Am J Physiol.* 1990 Apr;258(4 Pt 1):E693-700.
- **Clark JM, Hagerman FC, Gelfand R.**;Breathing patterns during submaximal and maximal exercise in elite oarsmen. *J Appl Physiol.* 1983 Aug;55(2):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 Oct;14(5):303-10.

- **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*
- **JOHANN EDGE, STEPHEN HILL-HAAS, CARMEL GOODMAN, and DAVID BISHOP;** Effects of Resistance Training on H⁺ Regulation, Buffer Capacity, and Repeated Sprints. *Med. Sci. Sports Exerc., Vol. 38, No. 11, pp. 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 Oct;140(2):147-59.*
- **Juel C.;** Muscle pH regulation: role of training. *Acta Physiol Scand. 1998 Mar;162(3):359-66.*
- **Juel C, Klarskov C, Nielsen JJ, Krustrup P, Mohr M, Bangsbo J.;** Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab. 2004 Feb;286(2):E245-51.*
- **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*
- **Kramer JF, Leger A, Paterson DH, Morrow A.;** Rowing performance and selected descriptive, field, and laboratory variables. *Can J Appl Physiol. 1994 Jun;19(2):174-84.*
- **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 Aug;6(4):197-201.*

- **Medbø JI, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM.;** Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J Appl Physiol.* 1988 Jan;64(1):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 Oct;75(4):1654-60.
- **Messonnier L, Freund H, Bourdin M, Belli A, Lacour JR. ;** Lactate exchange and removal abilities in rowing performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Mar;29(3):396-401.
- **Messonnier L, Aranda-Berthouze SE, Bourdin M, Bredel Y, Lacour JR.;** Rowing performance and estimated training load. *Int J Sports Med.* 2005 Jun;26(5):376-82.
- **Mickelson TC, Hagerman FC.;** Anaerobic threshold measurements of elite oarsmen. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(6):440-4.
- **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.
- **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 Jun;11(3):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⁺ transport capacity in human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 276:255-261, 1999.

- **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(1):20-8.
- **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 VO₂max. *Med Sci Sports Exerc.* 1996 Oct;28(10):1327-30.
- **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.
- **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 Jun 26;273(26):15920-6.
- **Yoshiga CC, Higuchi M.**; Rowing performance of female and male rowers. *Scand J Med Sci Sports.* 2003 Oct;13(5):317-21.
- **田畑 泉**; スピ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
- **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