

ローイング・エルゴメータを用いた“Maximal Interval Training”が漕艇競技選手の身体作業能力に及ぼす効果

楠本恭介¹⁾, 国分俊輔¹⁾, 前川剛輝²⁾, 山本正嘉³⁾

鹿屋体育大学 ¹⁾大学院 ²⁾スポーツパフォーマンス系 ³⁾スポーツトレーニング教育研究センター

1. 研究目的

漕艇競技は全身の筋群を動員し、かつ短時間のうちに多量のエネルギーを消費する種目である¹⁰⁾。競技時間は種目やコンディションによっても異なるが、公式2000mレースで6~8分間程度であり、そのエネルギーのおよそ80%が有酸素性機構によって供給される^{5,6,9)}。たとえばMaderらは、7分間のローイングにおける各エネルギー獲得機構の貢献度が、有酸素性機構82.1%、乳酸性機構12.7%、非乳酸(ATP-CP)性機構5.2%であると報告している⁸⁾。

また漕艇競技では、推進力を生み出すパワーに対して、筋肉量の大小が直接影響する。このため、必要な体力は体重当たりの相対値ではなく、絶対値の方がより重要視される。一流の漕艇選手の最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)の絶対値は、男子で4.77~6.16 l/min, 女子で3.60~4.26 l/minであり、他の種目に比べて高い部類に属する¹¹⁾。つまり、漕艇選手の競技力向上にとって、 $\dot{V}O_2\max$ の絶対値を向上させることは不可欠の条件といえる。

$\dot{V}O_2\max$ を改善させるトレーニングについては過去多くの報告があるが、大別すると一定の負荷で休息なしに運動を持続するcontinuous training (持続トレーニング)と、より高強度の作業負荷で休息をはさみながら運動を繰り返すinterval training (インターバル・トレーニング)の2つがある。しかし今日では、後者の方がより効果が大きいと見なす研究者が多い^{1,2,3,4,7)}。その理由を山本¹²⁾は、高強度の運動を休みなしに続けようとする、乳酸が蓄積してすぐに疲労してしまいトレーニングの量をこなせないが、

休息をはさめば「高強度」と「量」という本来両立しにくい要素を両立させることができるため、と説明している。

これまでの研究を見ると、 $\dot{V}O_2\max$ を効果的に増加させたインターバルトレーニングの方法は多数あるが、その一つとして片山と宮地⁶⁾が行った自転車エルゴメータによる“Maximal Interval Training”があげられる。このトレーニングは、100% $\dot{V}O_2\max$ 強度の運動をインターバル形式で行うものである。彼らによれば、対象者は一般人(男子)ではあるが、10週間のトレーニング期間において、トレーニング開始後3週目に $\dot{V}O_2\max$ はすでに最高値まで増加しており、その伸び率も約14%と大きかったと報告している。

そこで本研究では、漕艇競技選手を対象にローイング・エルゴメータを用いてMaximal Interval Trainingを行わせ、身体作業能力に及ぼす効果を検討した。

2. 研究方法

(1) 被験者

鹿屋体育大学の女子漕艇競技選手を被験者とした。この漕艇部は部員数が少なく、さらに故障者もいたため、それらを除く6名(年齢:20.2±1.2歳, 身長:163.4±6.0cm, 体重:60.5±2.7kg)全員がこのトレーニングに参加した。このため、対照グループは設けていない。

各被験者にはトレーニングの目的と内容、トレーニングに伴う危険性を説明したのち、本人の意思でいつでもトレーニングへの参加を辞退できることを理解させたうえでトレーニング参加への同意を得た。

(2) Maximal Interval Training

ローイング・エルゴメータ (Concept II, Concept社製, USA) を使用し (図1-a), 各被験者の60% $\dot{V}O_{2max}$ の運動強度で5分間のウォーミングアップを行った後, 100% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で3分間, つづいて50% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で2分間の運動を行うことを5回反復した (図1-b)。トータルの運動時間は30分間であった。非常に高強度のトレーニングとなるため, 被験者に目標の運動強度を維持させるよう検者が絶えず勇気づけた。

トレーニング頻度は週に3~4回, 期間は6週間とした。なお2週間に1度は漸増運動負荷試験を行って各被験者の $\dot{V}O_{2max}$ を測定し, その

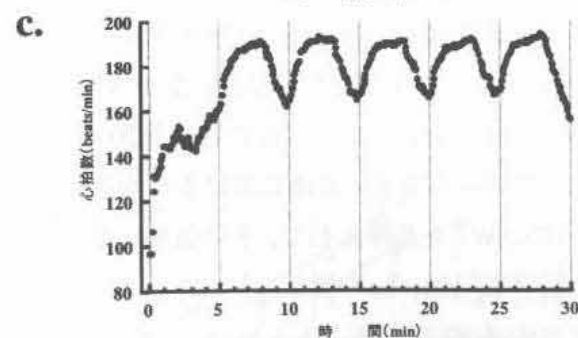
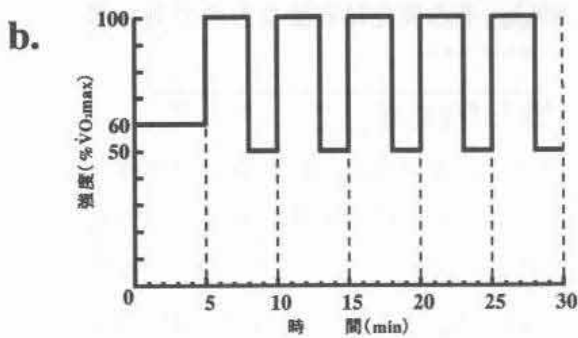


図1. Maximal Interval Trainingの様子 (a), トレーニングプロトコル (b), およびトレーニング中のHRの一例 (c)

結果に基づいて絶えず運動強度が100% $\dot{V}O_{2max}$ に維持されるように調節した。

(3) その他のトレーニング

本研究の期間中には, 表1に示すように, このトレーニング (d) と併行してa, b, cのようなトレーニングも行った。

表1. トレーニング期間中の主な練習メニュー

| | トレーニング種目 | トレーニング内容 | 時間 (分) | 頻度 (回/週) |
|---|---------------------------|-----------------------------|--------|----------|
| a | 乗艇 | 12~16km | 90~120 | 3~4 |
| b | ウエイトトレーニング | 最大筋力の増大を目的としたトレーニング | 90~120 | 2 |
| c | ランニング | 7~10km | 40~60 | 1 |
| d | Maximal Interval Training | ローイングエルゴメータを用いたインターバルトレーニング | 30 | 3~4 |

(4) 測定項目

トレーニング前後で, 以下の2種類の身体作業能力テストを行い, その効果を見た。

A. 漸増運動負荷試験

ローイング・エルゴメータを用いて漸増運動負荷試験を行い, 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$), 換気量 ($\dot{V}E$), 心拍数 (HR), 血中乳酸濃度 (La) を測定した。

運動は, 5分間の座位安静の後, 初期負荷を150Wとして開始し, 2分毎に25Wずつ漸増させていき, 指示された負荷での運動継続が不可能になるまで行わせた。ストロークレイト (SR) は自由設定とした。なお, 各セット間には1分間の休息をとり, Laの測定を行った。

採気は運動終了直前の1分間を30秒間ずつに分割して行い, それぞれを1分値に換算した。呼気ガスはフェイスマスク (RUDOLPH MASK 2-WAY, HANS Rudolph) を介してダグラスバッグに集めた。乾式ガスメータ (DC-5A型, 品川製作所製) により呼気ガスの体積を, またガス濃度分析器 (1H21B型, 日本電気三栄社製) に

より酸素および二酸化炭素濃度を測定した。そして、オールアウト直前に得られた $\dot{V}O_2$ の最高値を、レベリングオフを確認したうえで $\dot{V}O_{2max}$ とした。また運動中の $\dot{V}E$ の最大値を $\dot{V}E_{max}$ とした。

HRは、携帯型心拍計 (Accurex Plus, Polar社製, Finland) を用いて5秒毎に測定した。また運動中のHRの最高値をHRmaxとした。

Laは、安静時および各セットの運動終了直後に手の指先をブラッドランセットで穿孔し、簡易血中乳酸測定器 (ラクテートプロ, アークレイファクトリー社製) を用いて測定した。またLaの最高値を最高血中乳酸濃度 (Lamax) とした。

B. 2000mローイング・エルゴメータ漕

A. で用いたものと同じローイング・エルゴメータを用いて2000mのタイムトライアルを行い、そのタイムを測定した。またこの他に、平均仕事率 (W) および250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000mの通過時点でのSRも記録した。

(5) 統計処理

トレーニング前後で、各種の生理指標や物理指標の値を比較する際には、対応のあるt検定を用い、5%水準で有意差の有無を判断した。

3. 結果

(1) トレーニング中の生理応答

図1-cはMaximal Interval Training中のHRの一例を示したものである。100% $\dot{V}O_{2max}$ の設定強度で運動した3分間の運動期における平均心拍数は約190beats/min (95%HRmax) と、トレーニングにより高強度の負荷がかかっていることがうかがえる。またこのトレーニング終了直前の主観的運動強度 (RPE) の値は、ほぼ全員で20となった。

(2) 漸増運動負荷試験時の生理応答

A. 最大運動時

表2は、オールアウト時に観察された各種生理指標の最高値が、トレーニング前後でどのように変化したかを示したものである。 $\dot{V}O_{2max}$ の絶対値および体重当たりの値は、平均値で見ると10%程度増加していたが、有意な変化ではなかった。また、 $\dot{V}E_{max}$, HRmax, Lamaxについても、有意な変化は見られなかった。

表2. トレーニング前後における漸増運動負荷試験時の各種生理指標(最大値)の変化(n=6)

| 生理指標 | トレーニング前 | トレーニング後 | 変化率 (%) |
|-------------------------------------|-----------|-----------|----------|
| $\dot{V}O_{2max}$ (l/min) | 3.01±0.40 | 3.42±0.20 | +12.0 ns |
| 体重当たり $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) | 50.2±7.6 | 56.2±3.3 | +10.6 ns |
| $\dot{V}E_{max}$ (l/min) | 93.6±6.9 | 95.8±7.0 | +2.3 ns |
| HRmax (beats/min) | 192±10.7 | 187±7.23 | -2.7 ns |
| Lamax (mmol/l) | 15.8±0.86 | 13.9±2.43 | -13.7 ns |

ns:p≥0.05

図2-aは最大作業強度の変化を示したものである。全ての被験者で向上し (平均値で7.8%), その変化は有意なものであった。

B. 最大下運動時

図3は、漸増運動負荷試験時の作業負荷の増加にともなう、最大下運動領域での $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, HR, Laの変化を示したものである。最大下運動時の同一負荷に対する値は、HRとLaではトレーニング後に低下する傾向を示したが、 $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}E$ についてはほとんど変化しなかった。

表3は、トレーニング前に行った2000mローイング・エルゴメータ漕における平均運動強度 (195.5W) を基準として、その強度に対応する $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, HR, Laの値を、トレーニング前後で比べたものである。トレーニング後でHRは182beats/minから167beats/minへと9.0%減少した。またLaは7.5mmol/lから4.7mmol/lへと37.3%減少した。そしてこれらはいずれも有意な変化

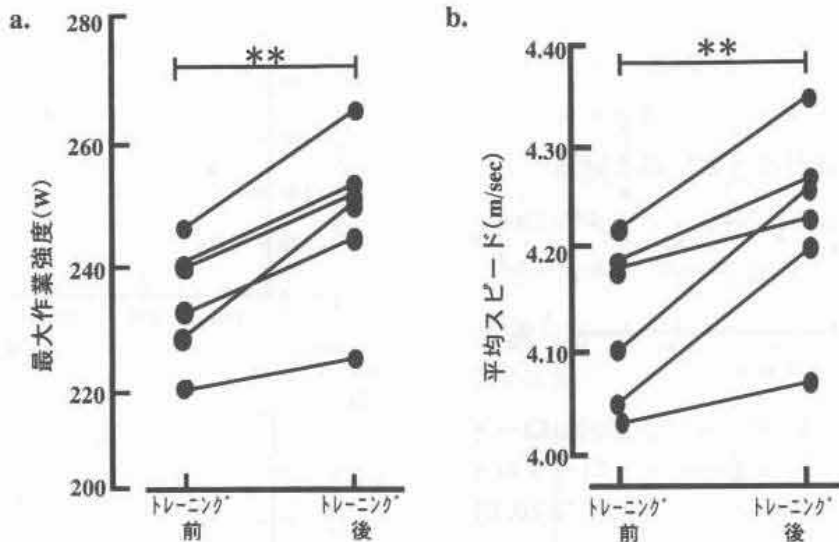


図2. トレーニング前後における漸増運動負荷試験時の最大作業強度および2000mローイング・エルゴメータ漕時の平均スピードの変化 (n=6) ** p<0.01

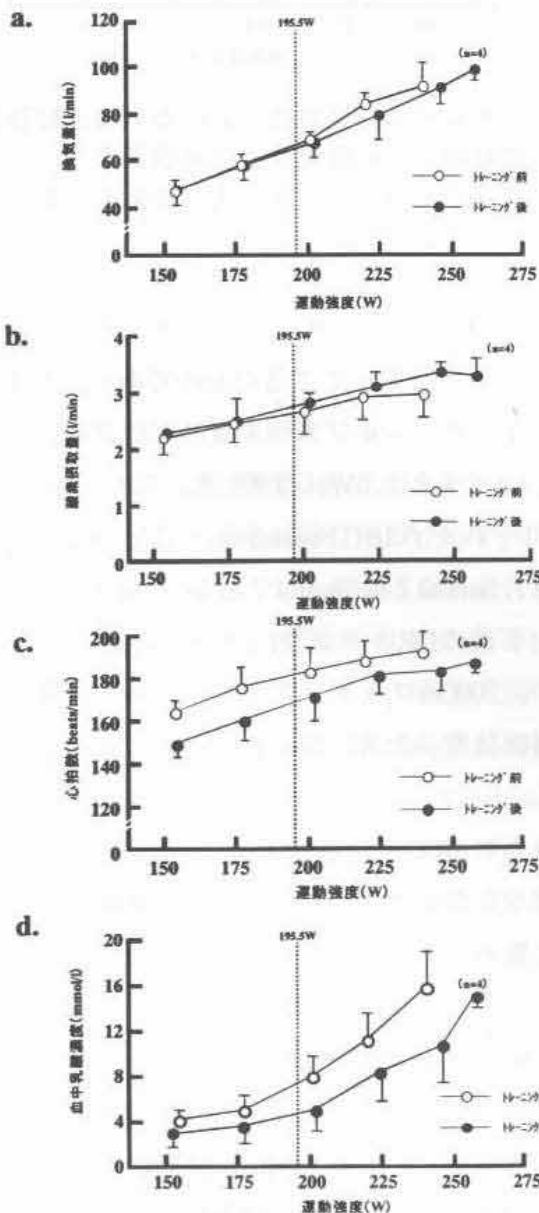


図3. トレーニング前後における漸増運動負荷試験時の最大下生理応答の変化 (n=6)

表3. トレーニング前後での195.5Wに相当する作業時の生理指標の変化 (n=6)

| 生理指標 | トレーニング前 | トレーニング後 | 変化率 (%) |
|--------------------------------|-----------|-----------|---------|
| $\dot{V}O_2$ (l/min) | 2.64±0.39 | 2.75±0.22 | +4.0 ns |
| 体重当たり $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min) | 44.1±8.2 | 46.5±4.5 | +5.4 ns |
| $\dot{V}E$ (l/min) | 66.6±4.1 | 65.9±7.1 | -1.1 ns |
| HR (beats/min) | 182±11 | 167±11 | -9.0 * |
| La (mmol/l) | 7.5±1.8 | 4.7±1.8 | -37.3 * |

ns:p≥0.05 *p<0.05

であった。しかし $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}E$ には有意な変化は見られなかった。

(3) 2000mローイング・エルゴメータ漕時の作業成績

図2-bは、2000mローイング・エルゴメータ漕のタイムから計算した平均スピードが、トレーニング前後でどのように変化したかを示したものである。トレーニング後には全被験者で向上し(平均値で2.4%),その変化は有意であった。

図4は、2000mローイング・エルゴメータ漕時の250m毎のSRの変化を示したものである。トレーニング後でSRの平均値は有意に増加した(平均値で7.9%)。

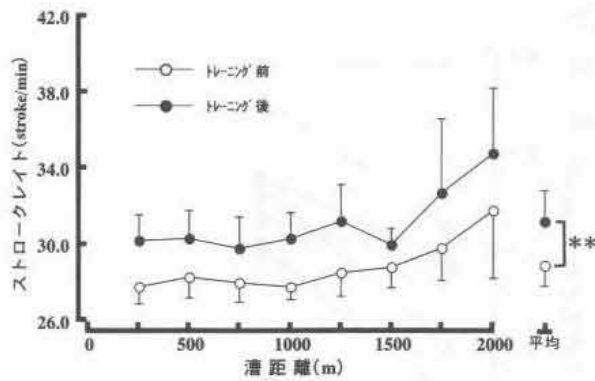


図4. トレーニング前後における2000mローイング・エルゴメータ漕時のストロークレイトの変化 (n=6) **p<0.01

4. 考察

(1) Maximal Interval Trainingによる身体作業能力の変化について

本研究ではローイング・エルゴメータを用いて、漕艇競技選手にMaximal Interval Trainingを行わせ、その効果を検討した。その結果、ローイング・エルゴメータを用いた漸増運動負荷試験時の最大作業強度や2000mローイング・エルゴメータ漕のスピードといった、機械的な作業能力は全被験者で向上し、統計的にも有意な変化であった(図2)。

なおトレーニング前後で、 $\dot{V}O_2\max$ (絶対値, 相対値), $\dot{V}E\max$, $HR\max$, $Lamax$ など最大作業能力に関わる生理指標には、統計的にも有意な変化は認められなかった(表2)。しかし、最大下運動時の同一負荷に対するHRおよび La は、トレーニング後に全員が低下し(図3-c, d), その変化は有意であった(表3)。

$\dot{V}O_2\max$, $\dot{V}E\max$, $HR\max$, $Lamax$ といった生理的指標がトレーニング後に有意な変化を示していないことを考えると、機械的なローイング・パフォーマンスが全被験者で向上した理由として、図3-c, dで観察されたような最大下運動領域でのHRや La の改善が関わっていると考えられる。

図5は、トレーニング前後の漸増運動負荷試験時のHRおよび La を、トレーニング前後にお

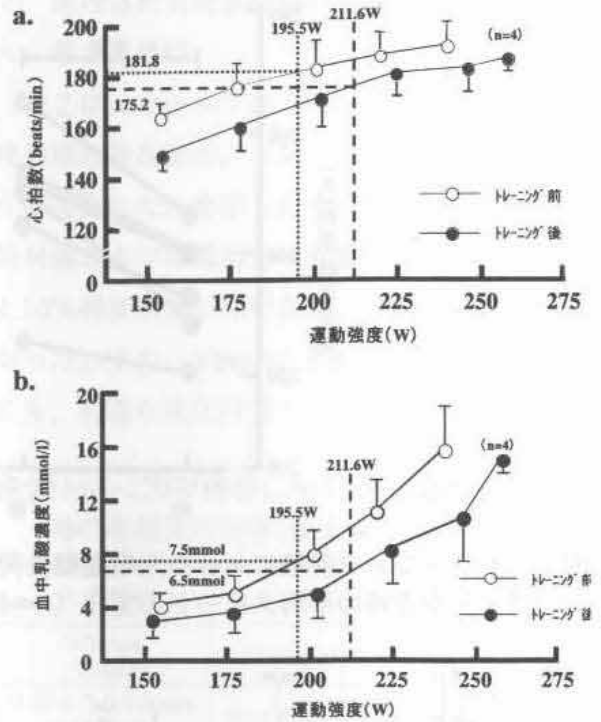


図5. トレーニング前後における漸増運動負荷試験時の心拍数及び血中乳酸濃度と、ローイング・パフォーマンスの変化との関係 (n=6)

ける2000mローイング・エルゴメータ漕の平均運動強度と対応させて見たものである。2000mローイング・エルゴメータ漕の平均運動強度は195.5Wから211.6Wに改善した。これに対応するHRはそれぞれ181.8beats/minと175.2beats/min, La は7.5mmolと6.5mmolである。つまり、トレーニング後のHRカーブや La カーブの右方への移動が、2000mローイング・エルゴメータ漕の平均運動強度の改善に関係していることがうかがえる。

さらにSRの平均値がトレーニング後で有意に増加したこと(図4)も、平均運動強度の改善に関わっていると考えられる。

(2) Maximal Interval Trainingによる生理指標の改善について

本研究で実施したMaximal Interval Trainingは、 $\dot{V}O_2\max$ の向上に効果があると報告されている⁶⁾。しかし本研究の被験者の場合、平均値で見るとトレーニング後に増加傾向は示したもの

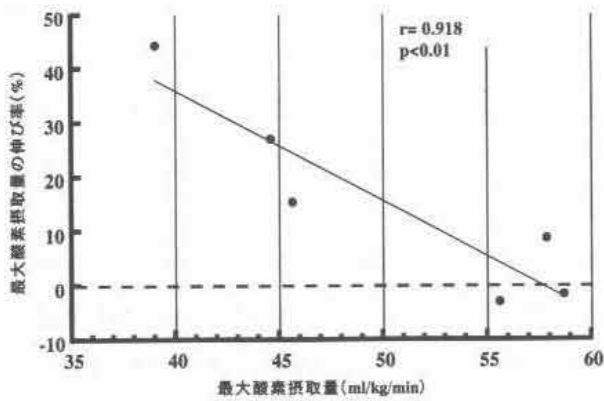


図6. 被験者毎にみたトレーニング前の最大酸素摂取量（相対値）とトレーニング後の伸び率

の、有意な改善ではなかった。この理由として以下のことが考えられる。

図6は、トレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ （相対値）と、トレーニング後の $\dot{V}O_{2max}$ の伸び率との関係を表したものである。これを見ると、トレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ が低い者ほど伸び率は大きいですが、高い者では伸び率は小さくなり、中にはやや減少した被験者もいたことがわかる。トレーニングによる $\dot{V}O_{2max}$ の改善の大きさは、トレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ の大きさに反比例するとされる¹¹⁾。したがって本研究でも、トレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ が比較的低い者では大きく向上したが、すでに高い者では伸び率が小さかったものと考えられる。しかしこのような者も含め、全ての被験者で最大下運動時のHRおよびLaははっきりと低下していた（図3，表3，図5）。

したがってMaximal Interval Trainingは、 $\dot{V}O_{2max}$ が低い者にとっては最大作業能力（ $\dot{V}O_{2max}$ ）および最大下作業能力（HR, La）の両方の改善に作用し、 $\dot{V}O_{2max}$ が高い者にとっては最大下作業能力（HR, La）のみの改善に作用すると考えられる。

(3) 対照群の問題について

本実験では、2-(1)で述べたような事情により対照グループは設けていない。このため、今回実施したMaximal Interval Trainingが各被験者にとって最善のトレーニングであったと断定す

ることはできない。そこでこの問題について検討するため、参考として、今回とは異なるトレーニングを行っていた前年度における同一被験者の記録の伸び率との比較を行った。図7は、各年度のトレーニング前の記録（2000mローイング・エルゴメータ漕時の平均スピード）を100%として、それぞれトレーニング後での伸び率を比較したものである。

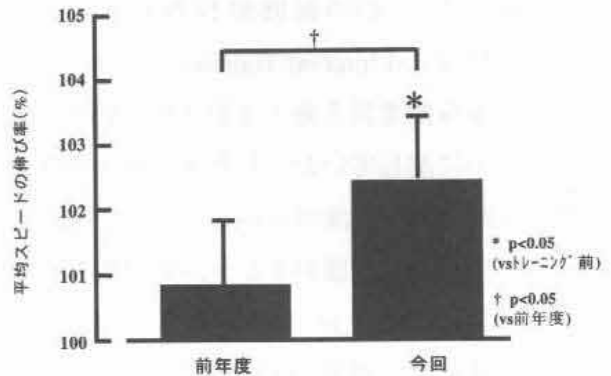


図7. 前年度と今回のトレーニングによる2000mローイング・エルゴメータ漕の平均スピード(m/sec)の伸び率の比較 (n=6)

表4. 前年度に行っていた60分間サーキットトレーニングの内容

| | | | |
|-----------------|--|---|-------------|
| ランニング (10分) | RPE15~17で走る | | ×2セット (60分) |
| 補強 (10分) | 縄飛び (1分) 縄飛び (1分) 縄飛び (1分) 縄飛び (1分) 縄飛び (1分) | スクワット (1分) 腹筋 (1分) 背筋 (1分) 腕立て伏せ (1分) バーピー (1分) | |
| ローイングエルゴ漕 (10分) | RPE15~17で漕ぐ | | |

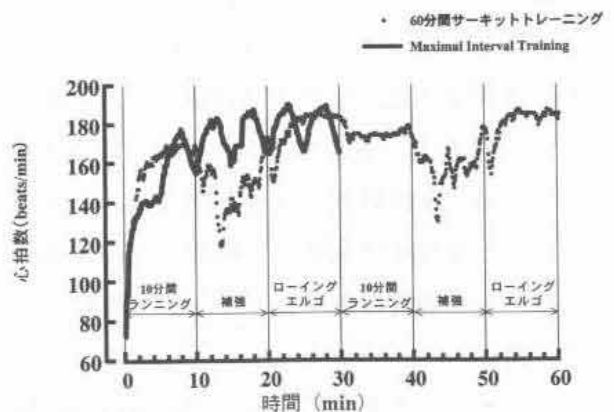


図8. 前年度に行っていた60分間サーキットトレーニング、および今回行ったMaximal Interval Training時のHRの比較（被験者：K.K.の例）

なお前年度は、表1のdのMaximal Interval Training (30分間) のかわりに表4のようなサーキットトレーニング (60分間) を行い、a~cのトレーニングについては同一のものを行っていた。図8は、このサーキットトレーニングとMaximal Interval Trainingを、同じ被験者 (1名) が行った際のHRを比べたものである。前年度のトレーニング時間は60分間で、主観的運動強度 (RPE) は15~17の範囲で行われていた。いっぽうMaximal Interval Trainingのトレーニング時間は30分間で、5セット終了時のRPEはほぼ全員で20に達していた。したがって、前年度はより長時間で低強度のトレーニング、今年度はより短時間で高強度のトレーニングを行ったといえる。

図7を見ると、前年度はトレーニング後にローイング・パフォーマンスの有意な改善は見られなかったが、今回は有意な改善が見られた。また、前年度と今回のローイング・パフォーマンスの記録の伸び率を比較すると、今回のほうがより大きく、両者の間には有意差もみられた。

したがって、ローイング・パフォーマンスを向上させる上では、前年度に用いたような長時間・低強度のトレーニングよりも、今回用いた短時間・高強度のトレーニングの方がより効果的と考えられる。

(4) 競技パフォーマンスへの影響について

このトレーニングの4ヶ月後に行われた全日本大学選手権では、女子4種目中の全てにおいて入賞を果たし (8位以内)、そのうちの3種目では決勝 (4位以内) まで進出した。一方前年度は、4種目中で入賞が3種目、そのうち決勝に進出した種目は舵手付きフォア1種目のみであった。

このようなことを考えると、競技成績は前年度に比べて明らかに向上したといえる。今回行ったMaximal Interval Trainingからは4カ月が経過しているため、このトレーニングが直接の

影響を与えたと断定することはできない。しかし、このトレーニングを行ったことでローイングを行うための基礎体力が向上し、水上での1回の練習量は前年度に比べ距離にして2~4km程度増加した。したがって、今回のトレーニングを行うことにより、ローイングを行うための基礎体力が改善され、これが水上での練習量の増加をもたらし、4ヶ月後の競技力の向上につながったという意味で、間接的には大きな影響を与えたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、ローイング・エルゴメータを用いて、女子漕艇競技選手にMaximal Interval Trainingを行わせ、その効果を検討した。主な結果は以下の通りである。

- (1) トレーニング後で $\dot{V}O_2\max$ (絶対値, 相対値) や、 $\dot{V}E_{\max}$, HR_{\max} , La_{\max} といった最大作業能力は、有意な変化を示さなかった。しかし、最大下運動時の同一負荷に対するHRと La は全員で有意に低下した。これにより、2000mローイング・エルゴメータ漕時の作業能力や漸増運動負荷試験時の最大作業強度が全ての被験者で向上したと考えられる。
- (2) Maximal Interval Trainingは、 $\dot{V}O_2\max$ が低い者にとっては最大作業能力 ($\dot{V}O_2\max$) および最大下作業能力 (HR, La) の両方の改善に作用するが、 $\dot{V}O_2\max$ が高い者にとっては最大下作業能力 (HR, La) のみの改善に作用すると考えられる。
- (3) 前年度と今回とで、トレーニング後のローイング・パフォーマンスの改善を比べてみると、主として長時間で低強度のトレーニングを行っていた前年度の場合は有意な変化は見られなかった。しかし短時間で高強度のMaximal Interval Trainingを行った今回は、トレーニング後にパフォーマンスの有意な改善が見られ、その伸び率も今回の方がより大きかった。

- (4) Maximal Interval Trainingを行うことにより、ローイングのための基礎体力が改善し、これが競技シーズンにおける水上での練習量を増加させ、4ヶ月後の競技会での成績の向上に貢献した可能性がある。

以上のことから、ローイング・エルゴメータを用いたMaximal Interval Trainingは、漕艇選手の身体作業能力の改善にとって有効なトレーニングの1つであると考えられる。

引用文献

1. Davies CT, Knibbs AV: Effects of intensity, duration and frequency of effort on maximum aerobic power output. *Int. Z. angew. Physiol.*, 29: 299-305, 1971.
2. Fox EL, Bartels RL, Billings CE, O'Brien R, Bason R, Mathews DK: Frequency and duration of interval training programs and changes in aerobic power. *J. Appl. Physiol.*, 38: 481-484, 1975.
3. Gaiga MC, Docherty D: The effect of an aerobic interval training program on intermittent anaerobic performance. *Can. J. Appl. Physiol.*, 20: 452-464, 1995.
4. Gorostiaga EM, Walter CB, Foster C, Hickson RC: Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 63:101-107, 1991.
5. Hagerman FC, Connors MC, Gault JA, Hagerman GR, Polinski WJ: Energy expenditure during simulated rowing. *J. Appl. Physiol.*, 45: 87-93, 1978.
6. 片山敬章, 宮地元彦: 10週間の最大インターバルトレーニングが高強度運動中の動脈血酸素飽和度に及ぼす影響. *体力科学*, 45: 219-226, 1996.
7. MacDougall D, Sale, D: Continuous vs interval training: a review for the athletes and the coach. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, 6:93-97, 1981.
8. Mader A und Hollman W: Zur beleutung der Stoffwrchselleistungsfahigkeit des eliteruderers im training und Wettkampf. *Beihelf zur Leistungssport*, 3:8-62, 1977.
9. Mickelson TC and Hagerman FC: Anerobic threshold measurements of elite oarsmen. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14:440-444, 1982.
10. Secher NH: The physiology of rowing. *J. Sports Sci.*, 1:23-53, 1983.
11. 山地啓司: 改訂・最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 2001.
12. 山本正嘉: AnaerobicsとAerobicsの二面性をもつ運動をとらえる; 間欠的運動のエナジェティクス. *Jpn. J. Sports Sciences*, 13:607-615, 1994.