

## ローイング運動のエネルギー代謝特性

錦井利臣・小澤雄二・小郷克敏・遠藤雅子\*・  
福岡義之\*\*・宮川誠司\*\*\*

### The Metabolic Characteristics of Rowing Exercise

Toshiomi NISHIKI, Yuji OZAWA, Katsutoshi OGO, Masako ENDOU\*,  
Yoshiyuki FUKUOKA\*\*, Seiji MIYAGAWA\*\*\*

(Received October 4, 2004)

This study was designed to investigate the metabolic characteristics during exercise using rowing ergometer in human as compared to that using the other exercise equipments e.g., treadmill and cycling ergometer. Five college male students underwent the progressive incremental exercises on three occasions: once on a rowing ergometer (R/E), once on treadmill (T/M), and once on cycling ergometer (B/E). Exercise protocols were set up the three different work rates. The breath-by-breath pulmonary  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , and heart rate (HR) were monitored continuously. Blood lactate ([La]b) concentrations were measured before and after exercises. The  $\dot{V}O_2$  at a given HR on R/E, being similar on T/M, was significantly higher compared with than that on B/E. The blood lactate concentration difference ( $\Delta$  [La]b) between rest and end of exercise tended to be higher on R/E than on T/M. It suggests that the rowing exercise recruit not only aerobic metabolism but also anaerobic metabolism related to the higher isotonic and isometric demands in trunk and upper extremities.

**Key word :** rowing exercise, metabolic characteristics, exercise in trunk and upper extremities

#### 1. 緒 言

近年、自転車エルゴメーター、ランニングマシーン、さらには筋力トレーニング機器を用いたフィットネスエクササイズが近隣のスポーツジム等で盛んに行われている。我々は、フィットネスジムやスポーツジムにある自転車エルゴメーター (B/E) やトレッドミル (T/M) 等と同様、健康増進の目的で使う新たな機材として、これまでボート選手が冬季のトレーニングに用いているローイングエルゴメーター (R/E) の特性に着目した。ボート選手用の陸上でのトレーニングマシーンとしての R/E は、漕手個人の艇推進能力の指標として、パワーあるいは持久力に関する情報を機械上に設置されたディスプレイ画面の数値で観察できる特徴がある。この機能は、実行中の運動の出力状況を

モニターしながら実施することを要求される健康増進運動負荷装置として適しているといえる。

これまでの R/E に関する報告では、まず、Jensen ら<sup>1)</sup> は水を循環させるローイングタンクを用いて、ローイングパワーを増大させるには脚筋力を高めることと、ローイング中に蓄積する乳酸レベルを低く保つようなトレーニングが必要であると述べている。Messonnier ら<sup>2)</sup> は R/E を用いて 2500m all-out テストを行い、ローイング動作の習熟によって、乳酸代謝と除去能力が改善され、その程度にそった運動効率の向上がもたらされたと述べている。また、Russell ら<sup>3)</sup> は 2000m ローイングテストのローイングタイムと強い関連性をもっている体力測定項目としては、体重、最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\max$ )、および膝伸展力であるとし、Cosgrove ら<sup>4)</sup> は、2000m ローイングテストの平均こぎ速度と関連の強いパラメータは  $\dot{V}O_2\max$  出現時のこぎ

\* 広島県立広島女子大学生生活科学部  
\*\* 熊本県立大学環境共生学部  
\*\*\* 鹿本郡植木町立鹿南中学校

速度と除脂肪体重であったと報告した。このように、これまでの知見では競技パフォーマンスとの関連に重点が置かれ、健康増進運動機器としてのR/E利用の生理的な意義については殆ど見られず、検討の余地がある。Fox<sup>5)</sup>によると、ローイング競技時のエネルギー代謝は、ATP-CP系が20%、乳酸系が30%、および有酸素系が50%であると示唆し、いずれのエネルギー代謝機構も関与することを示唆した。このことから、ローイング運動は全身運動としての高いエネルギー消費が見込まれ、比較的乳酸産生も高くなることが考えられる。

そこで本研究では、自転車、ランニング、およびローイング運動時の酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )、心拍数 (HR)、血中乳酸濃度変化を比較することで、ローイング運動の代謝特性を明らかにし、健康増進のための機器としてのローイングエルゴメーターの妥当性を考察した。

## 2. 方法

### 2.1 被検者

被検者は大学生男子ボート選手5名であり、年齢  $20 \pm 2$  (mean  $\pm$  SD) 歳、身長  $169.1 \pm 4.8$ cm、および体重  $63.0 \pm 6.8$ kgであった。いずれも非喫煙者であり、健康診断の結果は特に問題なかった。なお、被験者は実験の意義や起こりうる危険性等について説明を受け、実験参加に同意した者である。

### 2.2 運動のプロトコール

本研究は、自転車エルゴメーター (コンビ社製, RC-232C)、トレッドミル走 (日本光電社製, STM-1500)、およびローイングエルゴメーター (コンセプト社製, モデルC) を用いて、3種類の運動様式で行った。3種の運動とも運動強度はHRを基準に低強度 (125 ~ 135beats/min)、中強度 (140 ~ 150beats/min)、高強度 (155 ~ 165beats/min) と設定し、運動時間は各強度とも5分間とし、各運動の間には回復期として40分間の休憩を取りながら、1日で測定した。運動時間を5分間に設定したのは、運動実施に対する呼吸循環系の適応が3分間前後要することから、それ以後の定常状態出現後の運動特性を見るのが妥当と考えたからである<sup>6)</sup>。

実際の負荷強度は、事前の試験から絶対強度を採用した。自転車エルゴメーターでは、低強度 (100watt)、中強度 (150watt)、高強度 (200watt) とし、ペダルの回転数は常に60rpmとした。トレッドミル走では、スピードを低強度 (130m/min)、中強度 (170m/min)、高強度 (210m/min) とした。ローイングエル

ゴメーターにおいては、低強度 (100watt)、中強度 (140watt)、高強度 (180watt) とした (Fig. 1)。

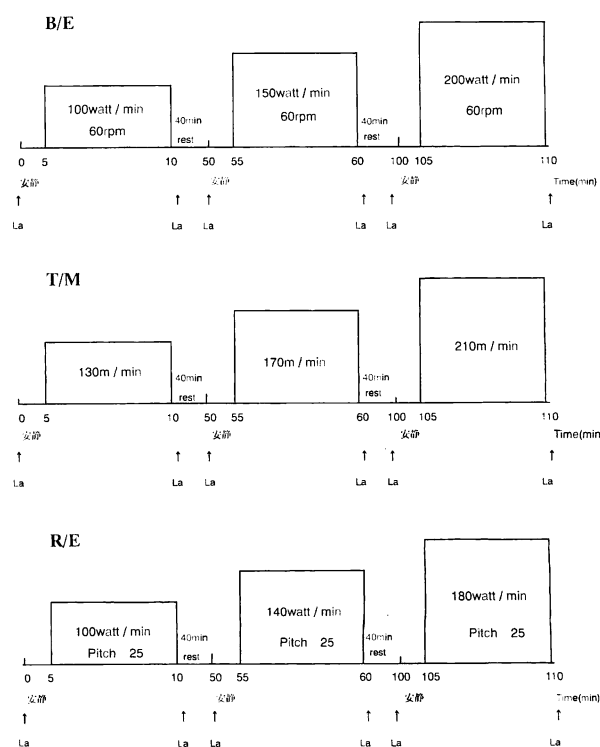


Fig.1 B/E, T/E, R/Eの運動プロトコールと採血時間  
[La: 乳酸測定を示す]

### 2.3 測定方法

呼気の酸素と二酸化炭素濃度の測定には質量分析計 (アルコシステム社製, WSMR-1400) を、呼気量の測定には、熱線式気流量計 (ミナト医科学社製, Type-AB) を用いた。これらのアナログ信号をレスピロモニター (ミナト医科学社製, RM-300) に転送し、A/D変換した後、酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )、二酸化炭素排泄量 ( $\dot{V}CO_2$ ) と換気量 ( $\dot{V}E$ ) を一呼吸ごとに測定し、算出した。また、双極導出 (CM5) により心電図を誘導し、1呼吸毎の平均心拍数 (HR) を測定した。データは連続的にパーソナルコンピューター (Sharp NV) に転送し、ハードディスクに保存した。なお、各運動強度で各指標の平均は、運動負荷終了1分間の平均値を用いた。血中乳酸濃度 ( $[La]$  b:mmol/L) の測定は、第3指の指尖部から血液を採取し、乳酸分析器 (YSI社製, model 1500SPORT) を用いて測定した。採血時間は Fig. 1 に示すとおり、安静時と運動終了直後とし、その変化量 ( $\Delta [La]$  b:mmol/L) を算出した。

### 2.4 統計処理

B/E, T/M, および R/E 各条件間における平均値の差の検定には、一要因分散分析を用いて、3条件間

に有意差がみられたときには、多重比較検定を行った。全ての検定の有意水準を危険率5%未満とした。

### 3. 結 果

#### 3.1 HRの増加に伴う $\dot{V}O_2$ の動態

運動様式別に、HRの増加に伴う $\dot{V}O_2$ の変化をFig. 2に示した。

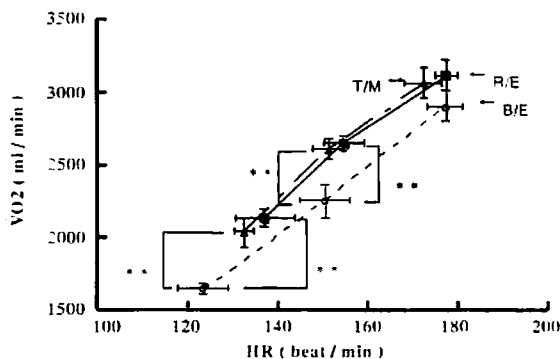


Fig.2 B/E, T/MおよびR/Eにおける運動強度の増加による $\dot{V}O_2$ の動態

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

本研究では、運動強度はHRを基準に低強度 (125 ~ 135beats/min)、中強度 (140 ~ 150beats/min)、および高強度 (155 ~ 165beats/min) となるように設定したが、運動様式別に実際のHRをみると、3種目とも高強度において、設定値より若干高い値を示した。

$\dot{V}O_2$ を運動様式別にみると、3種目ともにHRの増加に伴って $\dot{V}O_2$ は比例的に増加した。 $\dot{V}O_2$ を運動強度毎に運動様式間で比較すると、低・中強度ではT/MとR/EはB/Eに対し有意に高かったが ( $p < 0.01$ )、T/MとR/Eの間では差がなかった。高強度では、R/Eの $\dot{V}O_2$ は $3107 \pm 108$ ml/min, T/Mでは $3050 \pm 108$ ml/min, B/Eでは $2894 \pm 110$ ml/minと、種目間には有意差がなくなった。運動様式毎の $\dot{V}O_2$ (Y)-HR (X)の回帰式を示すとB/Eでは $Y = 1281.814 + 23.462 X$   $r = 1.000$ , T/Mでは $Y = 1307.359 + 25.379 X$   $r = 0.995$ , R/Eでは $Y = 1172.963 + 24.205 X$   $r = 0.995$ であった。 $\dot{V}O_2$ -HRの回帰直線の傾きは、B/Eでは23.5, T/Mでは25.4, R/Eでは24.2と3種目とも類似した値を示した。

#### 3.2 HRの増加に伴う血中乳酸濃度の動態

各運動によるHRの増加に伴う ( $\Delta$  [La])<sub>b</sub>の変化をみるとR/EとB/Eがほぼ同じ増加傾向を示し、T/Mよりも高い値を示した (Fig. 3)。2mmol/L以上の変化量を示すのは、R/EとB/EではHRが150beats/min付近であったが、T/Mでは170beats/min付近

と乳酸産生の遅延が認められた。

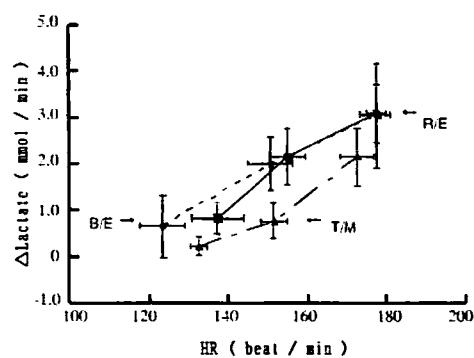


Fig.3 B/E, T/MおよびR/Eにおける運動強度の増加による血中乳酸濃度の動態

### 4. 考 察

#### 4.1 各運動における $\dot{V}O_2$ 動態

B/Eに比べてT/M, R/Eの運動では、同じHRに対して有意に高い $\dot{V}O_2$ が観察された。一般に、トレッドミル走で得られる最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) は自転車エルゴメーターによって得られる値に比較して5 ~ 15%程度高いことが示されている<sup>7,8,9)</sup>。これは運動に動員される筋量の違いに起因するものと考えられる<sup>10)</sup>。最大下運動でも同様であり、ほぼ同じHRに対して $\dot{V}O_2$ はT/MとR/EではB/Eより5 ~ 23%程度高かった。また、T/MとR/Eの比較では、HRに対応する $\dot{V}O_2$ の応答はほぼ一致した。B/Eが主として下肢 (大腿部) に限局された運動に対して、R/Eが下半身 (下肢) に加えて体幹部ならびに上肢を使った運動によってもたらされた特徴を示した。このことから、R/EはT/M運動より広範な範囲の筋群を使う全身性の運動であったと判断できる。

一方、HR- $\dot{V}O_2$ の回帰直線の傾きは、運動様式にかかわらずかなり類似していた (Fig. 2)。つまり、この運動負荷強度範囲内の各設定強度による心拍数変化に対する酸素摂取量変化の比 ( $\Delta \dot{V}O_2 / \Delta HR$ ) として捉えると23.5 ~ 25.4ml/beatとなり、酸素運搬効率としてみた場合は運動の様式が違ってもほぼ一定であり、1回拍出量当たりの酸素摂取量の変化率は殆ど差がないと考えられる。

今回は最大パフォーマンスに関してふれなかったが、ボート選手を対象にT/M, およびR/Eを用いた $\dot{V}O_{2max}$ の比較では、エリート選手はT/MよりもR/Eの方が4 ~ 5%高くなることが報告されている<sup>11)</sup>。一方、大学生ボート選手はR/EよりもB/Eの方が高かった<sup>12)</sup>。しかし、今回の最大下での仕事量との関係からはT/MとR/Eは殆ど同じであり、B/Eは設定した3つの運動強度で $\dot{V}O_2$ が全体的に低く、運動強度

が低いほど他種目との差は大きい、このことは、B/Eにおいては、運動に対する呼吸循環系の応答が他の負荷法より遅く、循環効率としての酸素脈が低値であることを示している。その要因は、運動に動員される筋量の違いであると考えられる。

#### 4.2 種目別にみた乳酸生産量の比較

B/EとT/Mについて血中乳酸濃度の変化量 ( $\Delta$  [La] b) 平均値をみると、B/Eは低強度で0.6mmol/L、中強度で2.0mmol/L、高強度で3.0mmol/Lであった。

それに対しT/Mは低強度で0.2mmol/L、中強度で0.7mmol/L、高強度で2.1mmol/Lと血中乳酸濃度の変化は小さいものであった。この原因として、T/M運動での有効な筋ポンプ作用 (muscle pump) が挙げられる。ランニングの時にはこの筋ポンプが血液循環の30%以上を行っているという報告もある<sup>13</sup>。筋ポンプは静脈還流を促進させ、心臓からの心拍出量を増大させる。つまり、筋への酸素供給を増やし<sup>14</sup>、活動組織でのエネルギー代謝が有酸素過程でまかなわれ、乳酸の生産が抑制される。あるいは乳酸をピルビン酸に再合成するために必要な酸素供給量が十分であったため、乳酸の貯留が少なくなると考えられる。今回の結果からもT/M運動で筋ポンプ作用が有効に作用し、乳酸生産量が低く抑えられたと推察される。B/Eでも筋ポンプ作用は働くと考えられるが、T/Mほどの効果が働かなかつたために、活動組織でのエネルギー代謝に占める無酸素過程の関与が増加し、乳酸生産量が高くなったと推察される。

さらにR/Eの血中乳酸濃度の変化量 ( $\Delta$  [La] b) をみると、低強度では0.8mmol/L、中強度では2.1mmol/L、高強度では3.1mmol/Lであり、B/Eと近い値を示した。R/Eは下肢のリズミカルな運動を伴うため、筋ポンプ作用は働くと考えられる。しかしながら、T/Mより乳酸生産量が高かったのは、リズミカルな運動であってもアイソメトリックな筋収縮が多く、実質T/Mほど筋ポンプ作用が有効に働かなかつた可能性もある。さらに、R/E特有の小筋群を多く含む上肢の運動も多用することから、筋群の無酸素過程への依存度が高くなったため、結果的に乳酸生産量が増加した<sup>15</sup>と推察される。このことはR/Eが、多くの筋群をT/MやR/Eより高いレベルで発揮していることを物語っている。

#### 4.3 R/Eのトレーニング機器としての特徴について

R/EのHR- $\dot{V}O_2$ 関係から明らかのように、全身運動によるエネルギー消費は大きいことから、体重減量時等の運動負荷装置としてはかなり有効であると考えら

れる。ただ、乳酸産生が比較的多いことから、脂質代謝の遅延について懸念することもあるが、これは障害とはならない。その理由は、健常者のための運動処方方を考える場合、運動強度のガイドラインは若年者で60~80%  $\dot{V}O_2$ max (HR140~170)、中年で50~70%  $\dot{V}O_2$ max (HR120~140)、高年者で40~60% (HR100~120)  $\dot{V}O_2$ maxであり<sup>16</sup>、これに従うと、今回のHR- ( $\Delta$  [La] b) 関係から血中乳酸濃度が飛躍的に増加することは少ないと考えられるからである。活動に参加する筋量が多いというR/Eの運動特性からすると、短時間で多くの筋肉に効果的な刺激を与えることができると推察される。またR/Eの場合、特に下肢筋群だけでなく、体幹部ならびに上肢筋群も総合的にかなりの強度レベルで直接に力を発揮すると考えられる。つまりR/Eには、呼吸・循環系に刺激を与えながら、同時にレジスタンス運動のような筋肉の増加や骨密度の維持・増加を促す、といった多様なトレーニング効果を望めると考えられる。烏岡<sup>17</sup>は中・高齢者の健康づくりのためのトレーニング方法として、有酸素運動だけでなく、柔軟運動や適度なレジスタンス運動を併用したトレーニングの重要性を指摘している。昨今、高齢者においてもレジスタンストレーニングによって筋力や筋量を維持・増強させることや、一般人においてもLBW(除脂肪体重)を増加させ、身体の代謝を活性化することから健康維持・増進に有効であることが報告されている<sup>18,19,20</sup>。また、アメリカスポーツ医学会(ACSM)では有酸素運動は心臓血管系の機能発達には効果があるが、その多くは特に上体の筋力や筋持久力にはほとんど効果がないとして、日常生活活動(ADL)にも必ず幾分か筋力を必要とすることからレジスタンストレーニングの有効性をあげ、高齢者のレジスタンストレーニングのガイドラインを示している<sup>21</sup>。以上のようなことから、一台のトレーニング機器でありながら、有酸素運動とレジスタンス運動の両面のトレーニング効果を期待できることから、R/Eは総合的なトレーニング機器として、また、健康増進のための機器として有効であると考えられる。さらに、R/E機器による負荷の前に身体の柔軟性などを見込んだトレーニングと組み合わせることによって、運動実施時間の延長による脂質からのエネルギー供給量の増加も十分に期待できるものと考えられる。

## 5. 総括

本研究では、大学生ボート選手5名を対象に自転車エルゴメーター(B/E)、トレッドミル走(T/M)、ローイングエルゴメーター(R/E)を用いて3つの強度の運動を行わせ、酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )、心拍数

(HR)、および血中乳酸濃度の変化からローイング運動の代謝特性について検討し、健康増進のための機器としての妥当性を考察した。

以下が得られた所見である。

1. HR- $\dot{V}O_2$ の関係から、R/Eの $\dot{V}O_2$ はT/Mのそれに匹敵するエネルギー消費であった。  
これは、T/M運動と同様に R/E 運動が全身運動に起因するものと考えられる。
2. R/Eの血中乳酸生産量はT/Mよりも高くなりやすく、B/Eと近い値を示し、エネルギー代謝機構が無酸素系のエネルギーの割合が高かったことを示唆している。この要因としては、上肢や体幹による作業の多いことやアイソメトリック筋収縮の関与が挙げられる。

以上の結果から、R/E運動はB/E運動と同様、T/M走より無酸素エネルギーの関与が高く、かつ、機械的効率が低い運動であるが、有酸素運動とレジスタンス運動の両面のトレーニング効果を期待できることから、R/Eは総合的なトレーニング機器として、また健康増進のための運動機器として有効であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) Jensen RL, Freedson PS, and Hamill J : The prediction of power and efficiency during near-maximal rowing. *Eur J Appl Physiol* 73: 98-104, 1996.
- 2) Messonnier L, Freund H, Bourdin M, Belli A, and Lacour JR: Lactate exchange and removal abilities in rowing performance. *Med Sci Sports Exerc* 29: 396-401, 1997.
- 3) Russell AP, Le Rossignol PF, and Sparrow WA : Prediction of elite schoolboy 2000m rowing ergometer performance from metabolic, anthropometric, and strength variables. *J Sports Sci* 16 (8) : 749-754, 1998.
- 4) Cosgrove MJ, Wilson J, Watt D, and Grant SF : The relationship between selected physiological variables of rowers and rowing performance as determined by a 2000m ergometer test. *J Sports Sci* 17 (11) : 845-852, 1999.
- 5) Fox E.L : *Sports Physiology*. Saunders College : 197-204, 1979.
- 6) McArdle W., Katch F., and Katch V.: Human energy transfer during exercise. in *Essentials of Exercise Physiology 2<sup>nd</sup> Ed.*, Lippincott Williams & Wilkins, 124-141, 2000.
- 7) Hermanson L, and Saltin B : Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol* 26: 31, 1969.
- 8) 宮下充正, 石井喜八 : 新訂運動生理学概論, 大修館書店 : 75-77 136-139, 1983.
- 9) 黒田善雄, 井川幸雄, 高澤晴夫, 中嶋寛之, 村山正博 : 最新スポーツ医学, 文光堂 : 68-85, 1990.
- 10) 山地啓司 : 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院 : 26-33, 1992.
- 11) Strömme SB, Ingjer F, and Meen HD : Assessment of maximal aerobic power in specifically trained athletes. *J Appl Physiol* 42 : 833-837, 1977.
- 12) Mahler DA, Andrea BE, and Ward JL : Comparison of exercise performance on rowing and cycle ergometers. *Res. Quart. Exerc. Sport* 58 : 41-46, 1987.
- 13) 宮村実晴 : 最新運動生理学, 真興交易 (株) 医書出版部, 221-246, 1996.
- 14) 石川利寛, 竹宮 隆 : 持久力の科学, 杏林書店, 53-75, 1994.
- 15) Astrand PO, and Rodahl K : *Textbook of Work Physiology*, McGraw-Hill, 579-613, 1977.
- 16) 池上晴夫 : 運動処方指針 : 新版運動処方 理論と実際, 朝倉書店, 218-219, 1990.
- 17) 島岡 清 : イラストでみる健康づくり運動指導, 市村出版, 3-39, 2001.
- 18) W.R. Frontera, C.N. Meredith, K.P. O'Reilly, H.G. Knuttgen, and W.J. Evans: Strength conditioning in older men: skeletal muscle hypertrophy and improved function. *J. Appl. Physiol.* 64: 1038-1044, 1988.
- 19) G.R. Hunter, C.J. Wetzstein, D.A. Field, A. Brown, and M.M. Bamman: Resistance training increases total energy expenditure and free-living physical activity in older adults. *J. Appl. Physiol.* 89: 977-984, 2000.
- 20) W.W. Campbell, M.C. Crim, V.R. Young and W.J. Evans: Increased energy requirements and changes in body composition with resistance training in older adults. *Am. J. Clin Nutr* 60: 167-175, 1995.
- 21) D. Mahler, V. Froelicher, N. H. Miller, T. York: *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 5<sup>th</sup> Ed.*, (Ed. W. Kenney, R. Humphrey, C. Bryant), Williams & Wilkins, 153-176, 1995.