

---

## 正弦波変動負荷運動後の Active recovery が換気特性に及ぼす影響

長尾義典<sup>1</sup> 小泉佳右<sup>2</sup> 藤田幸雄<sup>3</sup>

<sup>1</sup>鳥取県立米子西高等学校 <sup>2</sup>植草学園短期大学 <sup>3</sup>千葉大学教育学部

### The Effect of Ventilation on Active Recovery after an Intensive Exercise Loaded Sinusoidal Change

Yoshinori NAGAO<sup>1</sup> Keisuke KOIZUMI<sup>2</sup> Yukio FUJITA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Yonago-nishi High School <sup>2</sup>Uekusa Gakuen Junior College

<sup>3</sup>Faculty of Education, Chiba University

---

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of active recovery after an intensive cycle exercise in a sinusoidally loaded mode (sinusoidal exercise: SE). Ten physically fit males performed the 10 min SE in the middle of two 10 s maximum cycle exercise tests. The mean value of SE was set to the each subject's ventilatory threshold level (100%Power@VT), with an amplitude of 25%Power@VT and 60 s period. After the SE, the subjects were given an interval recovery (IR) for 10 min. During IR, they rested in a recovery condition either to cycle at a steady level of 50%Power@VT (50%Act) or 25%Power@VT (25%Act), or relaxing in a sitting position (Pas). After IR, the subjects carried out 30 s Wingate test (WT). The blood lactate concentration at the end of IR period was significantly lower in 50%Act ( $4.20 \pm 2.26$  mmol / l) and 25%Act ( $5.11 \pm 2.79$  mmol / l) than Pas ( $7.18 \pm 4.39$  mmol / l;  $p < 0.01$  vs. both conditions). The amount of carbon dioxide production by bicarbonate buffering after the beginning of WT was greater in 50%Act ( $56.0 \pm 16.1$  ml / kg) than Pas ( $45.6 \pm 10.7$  ml / kg;  $p < 0.05$ ). These results indicate that oxidization of lactic acid during the active recovery inhibits bicarbonate buffering utilization.

#### I. 緒言

比較的短時間の高強度運動を行なった後には、安静を保持するよりも軽強度の運動を持続 (Active recovery) するほうが、その後の運動のパフォーマンスを改善させることが良く知られている。これは、高強度運動中のエネルギー代謝産物である乳酸が、軽強度の運動によって有酸素的エネルギー基質として利用され、筋の酸性化が改善するためである。このような機序によって Active recovery による回復促進効果が得られるために、これまでの研究では1分以内の高強度運動からの回復に対す

る調査が多くなされている<sup>1) 2)</sup>。しかしながら、陸上競技等を除いた多くの競技スポーツでは、高強度運動を単発的に行なうよりも、さまざまな強度の運動が連続的に繰り返されることが多い。

従来、ラグビーやサッカーなどに代表されるフィールド球技を想定した実験では、短時間の全力運動と完全休養を挟みながら間欠的に繰り返すことで、試合時に近い生理学的状態をつくり上げ、パフォーマンス等の調査が行なわれている<sup>3) 4) 5)</sup>。しかし実際には、試合中に全力の高強度運動を行なうことはわずか数回で、多くの時間を全力以下

の力でスピードを変化させながらプレイしていると考えられる。宮崎ら<sup>6)</sup>は、ラグビー競技1試合中における走動作は、①「歩行」か「ジョギング」、②「7~8割のランニング」、③「全力疾走」、の3種類に主に分けられると述べている。そこで、先行研究の運動プロトコル中における主運動としての間欠的な全力運動を、強度が連続的に滑らかに変化する正弦波状に負荷変動する運動に、改良する必要があると考えられる。この運動を取り入れることで、全力以下の発揮出力を随時変化させながらのパフォーマンスを表現でき、より競技場面に近い形の疲労状態における被験者の身体的状態を測定することができると考えられる。

そこで本研究では、乳酸性定常状態が成り立つ運動強度の指標である換気性作業閾値 (Ventilatory threshold: 以下 VT) 時の負荷強度を基準とし、競技場面により近いと考えられる正弦波状に負荷が変動する運動を主運動に採用したプロトコルを作成した。そしてその後に Active recovery を実施し、発揮出力、呼気ガスによる諸パラメータ、血中乳酸濃度に与える影響について検討することを目的とした。

## II. 方法

### 1. 被験者

大学ラグビー部に所属する19~22歳の男子10名を被験者とした。被験者の年齢は $20.4 \pm 0.800$ 歳、身長は $171 \pm 4.23$  cm、体重は $68.0 \pm 4.49$  kg (平均  $\pm$  標準偏差) であった。実験開始に当たり、各被験者に対して本実験の趣旨、目的、方法について十分な説明をし、被験者の了解を得て測定を実施した。

### 2. VT レベルの負荷強度の測定

本実験に先立ち、最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) 及び VT における酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\text{@VT}$ ) の測定を目的として、全ての被験者に対し自転車エルゴメータ (T. K. K. 1254a、竹井機器、東京) を用いた漸増負荷運動テストを行なった。Cycling 運動は、5分間の騎座位安静の後、クランク回転速度を60

revolutions / min (以下 RPM) とし、疲労困憊まで継続させた。運動の終了は、被験者のクランク回転速度が60 RPM を維持できなくなったときに指示した。初期負荷は、運動開始から3分間は各被験者の体重に応じて $0.8$  W ( $0.8$  W / kg body mass (以下 kgBM)) とし、その後1分毎に $0.3$  W / kgBM ずつ加増した。

各被験者には、安静時から運動終了時まで呼気ガス採集用マスクを装着させ、呼気ガス分析器 (AE-280、ミナト医科学、大阪) を用いて、酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )、二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}CO_2$ ) 及び換気量 ( $\dot{V}E$ ) を呼吸ごとに計測した。心拍数 (Heart rate: 以下 HR) は、胸部双極誘導による心電図法により、安静時から運動終了時まで連続的に計測した。

VT は、 $\dot{V}CO_2$  と  $\dot{V}E$  が非直線的に急激な増加を始める点とし、その時の  $\dot{V}O_2$  を  $\dot{V}O_2\text{@VT}$  と判定した。また  $\dot{V}O_2\text{@VT}$  の  $\dot{V}O_2\text{max}$  に対する割合 ( $\%\text{@}\dot{V}O_2\text{max}$ ) を算出した。

さらに、 $\dot{V}O_2\text{@VT}$  で定常状態を維持することができるような負荷強度 (Power@VT) を測定した。3分間騎座位安静の後、最大漸増負荷運動テストと同じ自転車エルゴメータを用いた Cycling 運動を、初期負荷 $0.8$  W / kgBM で3分間、その後は手動で1分間に $5\sim 10$  W ずつ加増して行なった。これにより、 $\dot{V}O_2$  が  $\dot{V}O_2\text{@VT}$  のレベルを維持できる際の負荷強度を判定し、その強度を $100\%$  Power@VT とした。

### 3. 本実験のプロトコル

本実験のすべての運動は、予備実験と同じ自転車エルゴメータを用いた Cycling 運動を採用した。本実験のプロトコルは、Fig. 1に示した。

3分間の騎座位安静後、10分間の定常負荷運動 (Warm-up: 以下 W-up) を実施した。W-up は、予備実験で得られた $100\%$  Power@VT の半分の強度 ( $50\%$  Power@VT) で、60 RPM のクランク回転速度で実施した。この期間を以下 W-up 期と称する。W-up 期終了後、10秒間全力運動 (1st test

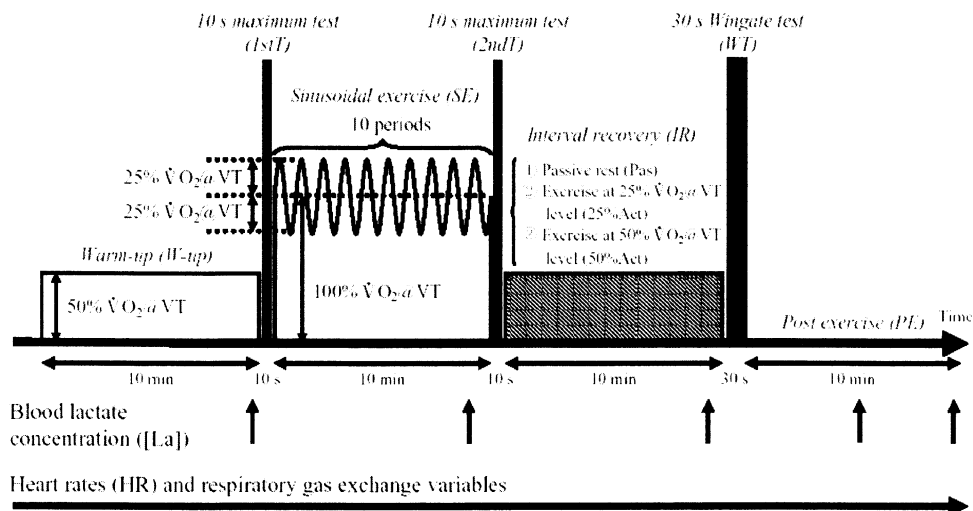


Fig. 1. Experimental protocol and measurement of main testing.

The subjects performed a 10 s maximum test (1stT) after 10 min warm-up (W-up) loaded 50% of oxygen consumption at ventilatory threshold level ( $50\% \dot{V}O_2@VT$ ). The subjects then carried out an intensive exercise loaded sinusoidal change (SE) for 10 min. After the SE, the subjects again performed a 10 s maximum test (2ndT) and was given 10 min interval recovery period (IR). In the IR, the subjects underwent some condition of the passive rest (Pas), the exercise loaded  $25\% \dot{V}O_2@VT$  (25%Act) or  $50\% \dot{V}O_2@VT$  (50%Act). After the IR, the subjects performed 30 s Wingate test (WT). Blood lactate concentrations were measured at the end point of W-up, SE and IR, and 5 and 10 min after WT (Post exercise: PE). Heart rates (HR) and respiratory gas exchange variables were measured throughout the testing period.

：以下1stT) を実施した。1stT で負荷するトルクは、クランク1回転あたりの仕事が被験者の体重あたり4.41 J (4.41 J / revolution / kgBM) となるように設定した<sup>7)</sup>。また被験者には、運動中にサドルから腰を浮かさないことやペース配分せず最初から全力で行なうことを指示した。その後、10分間の正弦波負荷運動 (Sinusoidal exercise: 以下SE) を60 RPMのクランク回転速度で実施した。SEの負荷の中心値は100%Power @ VT、振幅値は25%Power@VT、周期は60秒に設定した。この期間を以下SE期と称する。SE期終了後に、再度10秒間全力運動 (2nd test: 以下2ndT) を、1stTと同じ負荷条件で実施した。その後10分間の回復期間を置いた (Interval recovery 期間: 以下IR期)。IR期では、50%Power@VT強度での定常負荷運動 (50%Act 条件)、25%Power@VT 強度での定常負荷

運動 (25%Act 条件) 及び騎座位安静 (Pas 条件) のいずれかを、ランダムに選択して実施した。IR期終了後、30秒間全力運動 (Wingate test: 以下WT) を1stT及び2ndTと同じ負荷条件で実施した。全運動終了後 (Post exercise 期間: 以下PE期) は、10分間騎座位安静を保持した。

本実験は IR 期の条件を変えて計3回、それぞれ24時間以上の間隔を空け、各被験者が全ての条件で実施するようにした。

#### 4. 本実験の測定項目

①発揮出力 1stT、2ndT 及び WT の発揮パワーの最大値 (以下 Peak Power / kgBM) を求めた。また WT においては、30秒間の総仕事 (以下 Total Work / kgBM)、及び発揮パワー減衰の時定数 (以下 Time constant) を、パワーの最大値から減少する数値を指数回帰することにより求めた。発揮出

この記録は0.2 sごとに連続的に行なった。

②血中乳酸濃度 W-up 期終了時、SE 期終了時、IR 期終了時、PE 期開始1分後（以下 PE 期1分）、5分後（以下 PE 期5分）及び10分後（以下 PE 期10分）に指尖から採血し、簡易血中乳酸測定器（ラクテートプロ、アークレイ、京都）を用いて血中乳酸濃度（[La]）を測定した。W-up 以降の [La] の値から W-up 期終了時の値を減じた値（以下 Δ [La]）を算出した。

③換気特性諸パラメータ及び HR 本実験の W-up 期、SE 期及び IR 期における  $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$  及び HR は、各期間終了前30秒間の数値を平均した。WT においては、運動30秒間の平均値を求めた。PE 期1分、5分及び10分では、その時点を含む前後15秒間、合計30秒間の値を平均化した。本研究では、エネルギー代謝系以外に産生された  $CO_2$ （過剰二酸化炭素排出量： $CO_2$ excess）は、 $\dot{V}CO_2$  から  $\dot{V}O_2$  を減じることにより算出した<sup>8) 9) 10)</sup>。また WT 開始時から PE 期5分及び10分までの  $CO_2$  excess の総量を Total  $CO_2$ excess と定義し、算出した。

### 5. 統計処理

各値は平均値 ± 標準偏差で示した。条件間の差を検定するため、繰り返しのない二元配置の分散分析を用いた。分散分析の結果、群間に有意な差があった場合には、Tukey の方法による多重比較を行なった。いずれも有意水準は5%未満とした。

### III. 結果

1stT、2ndT 及び WT の発揮出力を、Fig. 2に示した。1stT 及び2ndT 中の Peak power / kgBM (Fig. 2A) には、統計的な差は認められなかった。また WT 中の Peak power / kgBM (Fig. 2A)、Work / kgBM (Fig. 2B) 及び Time constant (Fig. 2C) にも、統計的な差は認められなかった。

$\dot{V}O_2$  / kgBM の変化を Fig. 3に示した。IR 期では、50%Act 条件、25%Act 条件、Pas 条件の順で高い数値を示し、すべての条件間に有意差がみ

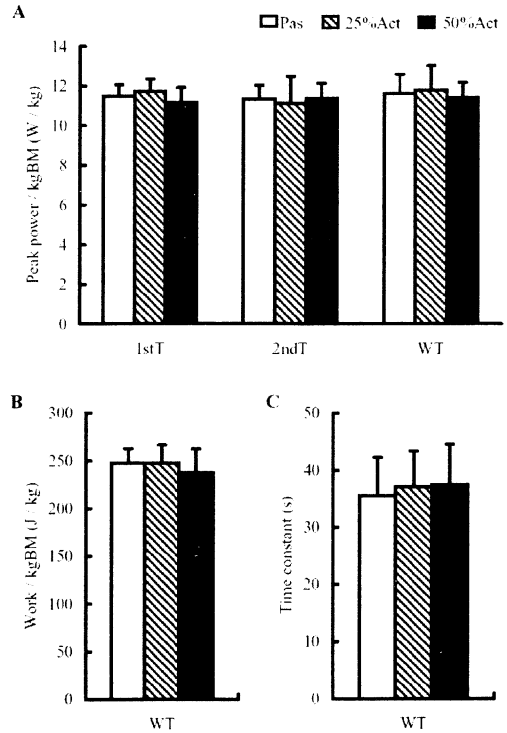


Fig. 2. Comparisons of Peak power / kg body mass (kgBM) (A), Work / kgBM (B) and Time constant (C) in 1stT, 2ndT and WT among different IR conditions (Pas, 25% Act or 50%Act). Data are means (± SD).

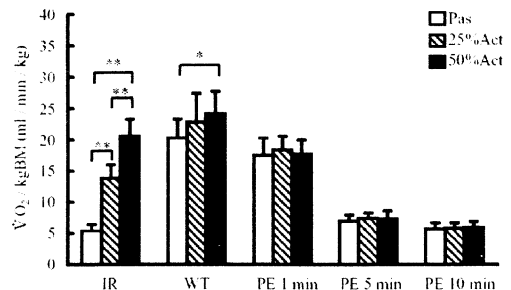


Fig. 3. Comparisons of  $\dot{V}O_2$  / kgBM among different IR conditions (Pas, 25%Act, 50%Act) at IR, WT, and PE 1, 5 and 10 min. Data are means (± SD).  $\dot{V}O_2$  / kgBM at IR was significantly higher among all combinations of each condition. In WT,  $\dot{V}O_2$  / kgBM was higher in 50%Act than in Pas. \*\*:  $p < 0.01$  and \*:  $p < 0.05$ .

られた（それぞれ  $p < 0.01$ ）。また WT においては、50%Act 条件が、Pas 条件よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ )。一方で、PE 期1分、5分及び10分では、条件間に有意な差はみられなかった。

$\dot{V}CO_2$  / kgBM の変化を Fig. 4に示した。IR 期では、50%Act 条件、25%Act 条件、Pas 条件の順

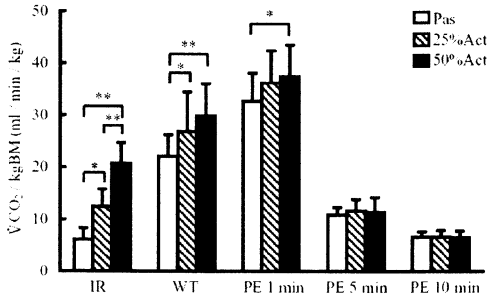


Fig. 4. Comparisons of  $\dot{V}CO_2 / \text{kgBM}$  among different IR conditions (Pas, 25%Act, 50%Act) at IR, WT, and PE 1, 5 and 10 min. Data are means ( $\pm$  SD).  $\dot{V}CO_2 / \text{kgBM}$  at IR was significantly higher among all combinations of each condition. In WT,  $\dot{V}CO_2 / \text{kgBM}$  was higher in 50%Act than in Pas, and higher in 25%Act than in Pas. In PE 1 min,  $\dot{V}CO_2 / \text{kgBM}$  was higher in 50%Act than in Pas. \*\*:  $p < 0.01$  and \*:  $p < 0.05$ .

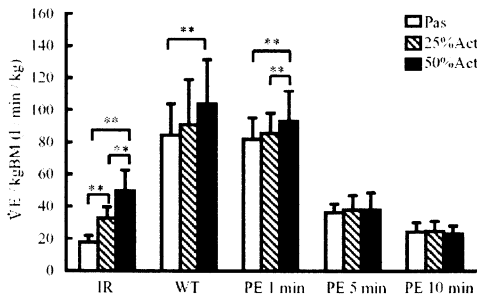


Fig. 5. Comparisons of  $\dot{V}E / \text{kgBM}$  among different IR conditions (Pas, 25%Act, 50%Act) at IR, WT, and PE 1, 5 and 10 min. Data are means ( $\pm$  SD).  $\dot{V}E / \text{kgBM}$  at IR was significantly higher among all combinations of each condition. In WT,  $\dot{V}E / \text{kgBM}$  was higher in 50%Act than in Pas, and higher in 25%Act than in Pas. In PE 1 min,  $\dot{V}E / \text{kgBM}$  was higher in 50%Act than in Pas, and higher in 50%Act than in 25%Act. \*\*:  $p < 0.01$ .

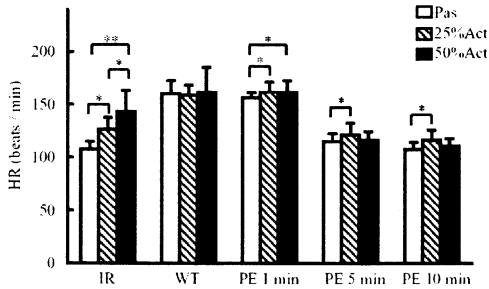


Fig. 6. Comparisons of HR among different IR conditions (Pas, 25%Act, 50%Act) at IR, WT, and PE 1, 5 and 10 min. Data are means ( $\pm$  SD). HR at IR was significantly higher among all combinations of each condition. In PE 1 min, HR was higher in 50%Act than in Pas, and higher in 25%Act than in Pas. In PE 5 and 10 min, HR was higher in 25%Act than in Pas. \*\*:  $p < 0.01$  and \*:  $p < 0.05$ .

で高い数値を示し、すべての条件間に有意差がみられた (25%Act 条件と Pas 条件間;  $p < 0.05$ , それ以外の条件間;  $p < 0.01$ )。WT においても、IR 期と同じ順で高い値を示し、50%Act 条件と Pas 条

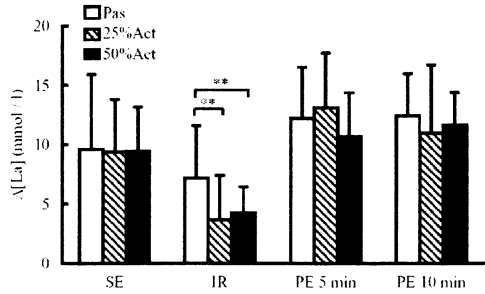


Fig. 7. Comparisons of  $\Delta[\text{La}]$  among different IR conditions (Pas, 25%Act, 50%Act) at SE, IR, and PE 5 and 10 min. Data are means ( $\pm$  SD).  $\Delta[\text{La}]$  at IR was significantly higher in 50%Act than in Pas, and higher in 25%Act than in Pas. \*\*:  $p < 0.01$ .

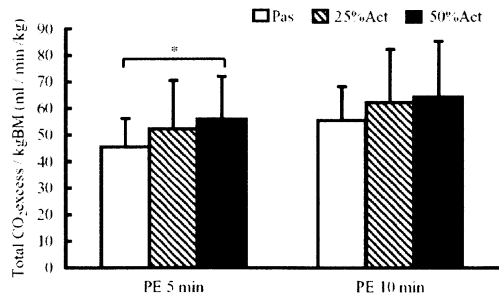


Fig. 8. Comparisons of Total  $CO_2\text{-excess} / \text{kgBM}$  among different IR conditions (Pas, 25%Act, 50%Act) at 5 and 10 min. Data are means ( $\pm$  SD). Total  $CO_2\text{-excess} / \text{kgBM}$  at PE 5 min was significantly higher in 50%Act than in Pas.  $p < 0.05$ .

件間 ( $p < 0.01$ )、及び25%Act 条件と Pas 条件間 ( $p < 0.05$ ) で有意な差を示した。さらに PE 期1分では、50%Act 条件が、Pas 条件よりも有意に高かった (それぞれ  $p < 0.05$ )。

$\dot{V}E / \text{kgBM}$  の変化を Fig. 5 に示した。IR 期では、50%Act 条件、25%Act 条件、Pas 条件の順で高い数値を示し、すべての条件間に有意差がみられた (それぞれ  $p < 0.01$ )。また WT においては、50%Act 条件が、Pas 条件よりも有意に高かった ( $p < 0.01$ )。さらに PE 期1分では、50%Act 条件が、25%Act 条件及び Pas 条件よりも有意に高かった (それぞれ  $p < 0.05$ )。

HR の変化を Fig. 6 に示した。IR 期では、50%Act 条件、25%Act 条件、Pas 条件の順で高い数値を示し、すべての条件間に有意差がみられた (50%Act 条件と Pas 条件間;  $p < 0.01$ , それ以外の条件間;  $p < 0.05$ )。しかし WT においては、条件

間の差はみられなかった。一方で PE 期1分では、50%Act 条件及び25%Act 条件が、Pas 条件よりも有意に高かった (それぞれ  $p < 0.05$ )。また、PE 期5分及び10分では、25%Act 条件が、Pas 条件よりも有意に高かった (それぞれ  $p < 0.05$ )。

$\Delta[\text{La}]$  の変化を Fig. 7 に示した。IR 期終了時では、50%Act 条件及び25%Act 条件が、Pas 条件よりも有意に低い値を示した (それぞれ  $p < 0.05$ )。一方で、WT を実施した後の PE 期5分及び10分では、条件間に一定の傾向はみられなかった。

WT 開始からの Total  $\text{CO}_2$  excess / kgBM を Fig. 8 に示した。PE 期5分では、50%Act 条件が Pas 条件よりも有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。PE 期10分でも同様の平均値間の差異がみられたが、有意差は認められなかった。

#### IV. 考察

本研究において、SE 期の HR は  $177 \pm 11.2$  beats / min であり、ラグビー競技をモデル化した千葉による研究<sup>11)</sup> で得られた主運動中の HR である  $160$  beats / min 以上という結果に当てはまるものであった。さらに SE 期の  $\dot{V}\text{O}_2$  は被験者の  $\dot{V}\text{O}_2$  max に対して約 78% となっている。この結果も、80%  $\dot{V}\text{O}_2$  max という千葉による研究<sup>11)</sup> によって得られた %  $\dot{V}\text{O}_2$  max とほぼ同じ値を示している。さらに、SE 期終了時における  $[\text{La}]$  は  $12.3 \pm 4.13$  mmol / l であり、千葉の研究<sup>11)</sup> で得られた  $11.23 \sim 12.28$  mmol / l という値とほぼ等しい値を示している。また、10本の間欠的運動を採用した Gaitanos らの研究<sup>3)</sup> では  $12.6 \pm 1.5$  mmol / l であった。これらパラメータの結果と先行研究の結果を総合的に判断して、本研究における SE の運動強度は、ラグビーの試合中の運動強度を想定したものと十分に対応したものであった。また、運動形態として正弦波負荷運動を採用したことにより、生体に連続的に負荷をかけることが可能となった。そのため、実際の競技中の運動負荷をモデル化したプロトコルとして従来行なわれてきた、完全休息を伴う高負荷の間欠的運動よりも、さらに実践に

近い形の生理的状态を作り出すことが出来たと推察される。

1stT と 2ndT の全力運動における Peak power はほぼ同じ値を示しており、有意な差はみられなかった。SE 直後の 2ndT を行なう際には、換気特性の諸パラメータや HR 及び  $\Delta[\text{La}]$  の値から、被験者はかなり疲労が蓄積した状態であったことが推測される。それにもかかわらず、W-up 直後でもまだ余裕がある状態での 1stT とほぼ同じ値を示しているのは、① W-up での運動が不十分だったことにより 1stT で十分に力を出し切れていなかった、② SE が主に血中乳酸値の上昇を引き起こす解糖-乳酸系のエネルギー代謝を用いた運動であったのに対し、10秒間全力運動は ATP-PCr 系をエネルギー供給の主体とした運動であったために変化を示さなかった、などの理由によると考えられる。

VT レベル以上の高負荷の運動を行なうと、糖の分解が進み乳酸の産生が著しく増加する。その結果、エネルギー基質として代謝される乳酸の量よりも産生される量のほうが多くなり、細胞内水素イオン濃度の増加によって筋内 pH を低下させ、代謝性アシドーシスを引き起こす<sup>12)</sup>。そのため、解糖系酵素活性の低下や筋小胞体のカルシウム放出の悪化などが誘引され、筋疲労が助長する。Active recovery は、このような条件下で低強度の運動を行ない筋収縮のためのエネルギー需要量を高め、その運動のエネルギー基質として乳酸がより利用される<sup>13)</sup>。

本研究では、 $\Delta[\text{La}]$  が、IR 期において Active recovery を行なった 50%Act 条件及び 25%Act 条件で、Pas 条件よりも有意に低い値を示した。この結果から、IR に行なった Active recovery が同様のメカニズムにより、SE で蓄積された乳酸の代謝を促したと考えられる。

さらに IR 期では、 $\dot{V}\text{O}_2$ 、 $\dot{V}\text{CO}_2$ 、 $\dot{V}\text{E}$  及び HR において、50%Act 条件及び 25%Act 条件が Pas 条件よりも有意に高い値を示している。この結果に関しては、IR 期に Active recovery を行なうと、低強度とはいえ運動をすることになるので、安静を

保つ Pas 条件に比べて換気特性諸パラメータ及び HR の増加がみられるのは当然のことである。Active recovery による  $\dot{V}O_2$  の増大は、多量の酸素を組織に運ぶことに繋がり、乳酸の代謝を高めるとともに、安静状態よりも ATP の生成を効率よく行なうことが出来ると推測される。

また、Active recovery の効果として、運動の継続によって、全身性の血液循環を高く保持し、活動筋で産生された乳酸を、心筋あるいは他の骨格筋に素早く拡散させ代謝を早めると考えられている<sup>14)</sup>。本研究でも IR 期では、Active recovery を行なうことによって HR は高まり  $\Delta[La]$  は低下した。しかし一方で PE 期をみると、50%Act 条件では PE 期1分で、25%Act 条件では PE 期1、5及び10分で、Pas 条件よりも HR が高かったのにも関わらず、 $\Delta[La]$  は低下しなかった。先行研究には、循環機能の亢進は乳酸の代謝に影響を及ぼさないという報告もある<sup>15)</sup>。これらのことを踏まえると、循環機能は乳酸代謝を高めるための要因ではあるものの、その影響はそれほど大きくないものと思われる。

$\Delta[La]$  は、IR 期終了時すなわち WT 開始直前では有意な差があったにもかかわらず、WT を実施した後の PE 期5分及び10分の結果をみると、条件間に差がみられなくなった。このように Active recovery で低下した乳酸濃度が、その後の高強度運動によりまた差がなくなる結果は、先行研究における知見と一致している<sup>16)</sup>。

このことは、乳酸を産生しながらエネルギーを供給するシステムに大きく関連するものと思われる。乳酸が産生されると水素イオンが分離するが、pH の低下は解糖系律速酵素であるフォスホフルクトキナーゼの不活性化を助長する<sup>17)</sup>。つまり、ある一定量の水素イオンの蓄積が、酵素活性を低下させ、乳酸産生を抑制したのではないかと考えられる。

WT 開始時から排出された Total  $CO_2$  excess の比較では、PE 期5分での50%Act 条件が Pas 条件に対して有意に高い結果を示しており、また有意で

はなかったが25%Act 条件でも Pas 条件よりも高い平均値を示している。このことは、Active recovery を実施したほうが、WT 開始後の  $CO_2$  excess 排出量が多かったことを示している。 $CO_2$  excess は、重炭酸系緩衝作用の貢献度を示す指標として用いられる<sup>18) 19)</sup>。IR 期に Active recovery を実施すると、高強度の SE などでのエネルギー代謝で産生された乳酸の多くは、有酸素性エネルギー代謝のエネルギー基質として利用され、代謝される。一方で、IR 期に安静を保持すると、産生された乳酸は、エネルギー基質として利用されないため乳酸イオンと水素イオンとして筋中や血中に蓄積される。そのため、水素イオンは重炭酸イオンにより中和され、筋内及び血中の酸性度を保つ。このように、Active recovery を行なわず安静の状態であると重炭酸イオンの消失は多く、反対に Active recovery を実施することにより重炭酸イオンの消失は少なく済むものと考えられる。これにより重炭酸イオンの残余を多く残すことができ、WT により産生された乳酸を重炭酸系で多く緩衝することが可能となり、 $CO_2$  excess の排出量も高まったのであろう。

以上のことから、10分間の SE 後に Active recovery を実施すると、 $\dot{V}O_2$  は増加し、かつ  $\Delta[La]$  は低下し、乳酸の有酸素性代謝が高まることが示唆された。また、その後に高強度運動である WT を実施すると、WT 前に Active recovery を実施していたほうが Total  $CO_2$  excess は増加し、Active recovery によって重炭酸系緩衝能を保持することが出来ることが示唆された。

## V. 結論

本研究では、VT レベルの  $\dot{V}O_2$  を基準として、従来の運動負荷モデルよりもラグビーやサッカーなどのフィールド球技中に近い負荷モデルと考えられる高強度の SE を作成し、被験者に実施させた。そして、その直後の回復期間に50%Act 条件、25%Act 条件及び Pas 条件を設け、その後の WT の発揮出力、血中乳酸、換気特性諸パラメータ及び

HR に与える影響を検討し、以下のような結果を得た。

1. WT における発揮出力に関しては、条件間に有意な差は認められなかった。
2.  $\Delta[La]$  は、回復期間終了時において、50%Act 条件及び25%Act 条件は Pas 条件よりも、有意に低下した。また、WT 終了後にはその差はみられなくなった。
3. Active recovery を実施することにより、WT 後の Total  $CO_2$  excess が増加した。これは、Active recovery により乳酸の酸化代謝が亢進することで、従来乳酸によるアシドーシスを緩衝する機構である重炭酸系緩衝作用にかかる負担を減少できたものと考えられた。

#### VI. 参考文献

- 1) Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. A., Graham, C. M. and Louis, G.: Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 74, 461-469, 1996.
- 2) McEniery, C. M., Jenkins, D. G. and Barnett, C.: The relationship between plasma potassium concentration and muscle torque during recovery following intense exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 75, 462-466, 1997.
- 3) Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H., and Brooks, S.: Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise, *J. Appl. Physiol.*, 75, 712-719, 1993.
- 4) Christmass, M. A., Dawson, B., Passeretto, P., and Arthur, P. G.: A comparison of skeletal muscle oxygenation and fuel use in sustained continuous and intermittent exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 80, 423-435, 1999.
- 5) 宮崎善幸, 安ヶ平浩, 大道等: ラグビー選手における屋外ハイパワー持久性テストの有用性の検討—ポジション別における疲労特性を中心に—, *国際武道大学紀要*, 17, 23-27, 2001.
- 6) 宮崎善幸, 大道等: 生理科学的コーチング論を問う 第 8 章 研究室を捨ててフィールドに旅立とう!, *コーチング・クリニック*, 15(10), 32-35, 2001.
- 7) Maud, P. J., and Shultz, B. B.: Norms for the Wingate anaerobic test with comparison to another similar test, *Res. Q. Exerc. Sport*, 60, 144-151, 1989.
- 8) Cerretelli, P., and Di Prampero, P. E.: *Handbook of Physiology, Sect 3, The Respiratory System*, 297-339, Am. Physiol. Soc., Washington D. C., 1987.
- 9) 大澤弘幸, 小泉佳右, 藤田幸雄: ペダリング運動における間欠的最大無酸素パワーと換気特性の関係, *千葉体育学研究*, 26, 1-8, 2002.
- 10) 藤田幸雄, 戸羽幸太, 小泉佳右, 真鍋求: 30 秒全力ペダリング運動における Warm-up の強度および部位特異性の検討, *千葉体育学研究*, 27, 51-59, 2002.
- 11) 千葉智則: ラグビー競技者のトレーニングに関する研究, *東北学院大学論集 一般教育*, 91, 139-161, 1987.
- 12) 熊谷秋三: 血中乳酸とパフォーマンス, *体育の科学*, 38, 687-696, 1988.
- 13) 高橋淳一郎, 青木純一郎: 水球競技のインターバルにおける Active rest が血中乳酸濃度の減少に及ぼす効果, *体力科学*, 47, 173-180, 1998.
- 14) Brooks, G. A.: The lactate shuttle during exercise and recovery, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18, 360-368, 1986.
- 15) Bangsbo, J., Johansen, L., Graham, T., and Saltin, B.: Lactate and  $H^+$  effluxes from human skeletal muscles during intense, dynamic exercise, *J. Physiol.*, 462, 115-133, 1993.
- 16) Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H., and Prefaut, C.: Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28, 450-456,



- 1996.
- 17) Banister, E. W., Rajendra, W., and Mutch, B. J.: Ammonia as an indicator of exercise stress implications of recent findings to sports medicine, *Sports Med.*, 2, 34-46, 1985.
- 18) Yano, T.: The differences in CO<sub>2</sub> kinetics during incremental exercise among sprinters, middle, and long distance runners, *Jpn. J. Physiol.* 37, 369-378, 1987.
- 19) Hirakoba, K., Maruyama, A., and Misaka, K.: Effect of endurance training on excessive CO<sub>2</sub> expiration due to lactate production in exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64, 73-77, 1992.