

# 血中乳酸濃度減少からみた10秒間激運動後の回復運動における強度と継続時間の影響

下井 一夫\*・上林 久雄\*\*・舟橋 明男\*\*\*

(\*大阪府立淀川工業高等学校, \*\*大阪教育大学, \*\*\*高知大学教育学部生理学研究室)

## Effect of recovery exercise upon the removal of lactic acid

Kazuo SHIMOI\*, Hisao KANBAYASHI\*\*  
and Akio FUNAHASHI\*\*\*

\* Yodogawa Technical Senior High School, Osaka 535, Japan

\*\* Department of Health Science, Osaka Kyoiku University, Osaka 543, Japan

\*\*\* Department of Physiology, Faculty of Education, Kochi University,  
Kochi 780, Japan

SHIMOI, K., KANBAYASHI, H. and FUNAHASHI, A. *Effect of recovery exercise upon the removal of lactic acid.* Research Reports of The Kochi University: Natural Science. 30: 55-76, 1981.

The removal of lactic acid after exercise may be important during athletic competition since lactic acid has been shown to inhibit the rate of glycolysis. As early as 1928 Jervell showed that after strenuous exercise lactic acid removal occurred more rapidly during light aerobic recovery than during resting recovery. This observation has been confirmed by several investigations, and the recent studies by Davis et al, Belcastro et al, and Komai et al have shown that the highest rate of lactate removal was achieved at approximately 30-40 %  $\dot{V}O_2$  max when the exercise was performed on a bicycle ergometer, while the study by Hermansen and Stensvold reports that its highest rate was gained at approximately 65 %  $\dot{V}O_2$  max when the exercise is performed on a motor-treadmill. Although it has been known for a long time that lactate is eliminated at a faster rate during exercise than at rest, surprisingly little is known about how long the athlete must exercise in recovery period after a maximal exercise.

The purpose of this study, therefore, is to observe the effects of work intensity and work duration on blood lactate in the recovery period following a short-term (10 seconds) maximal exercise.

The following results were obtained.

- 1) The highest rate of lactate removal was achieved at approximately 23 %  $\dot{V}O_2$  max for bicycle recovery exercise.
- 2) The lactic acid removal was made to be effective in recovery exercise for twenty minutes following a short-term maximal exercise.

## I 緒 言

激しい身体活動の後に位置づけられる整理運動の重要性は、さまざまな視点から生理学的に検討され、その必要性が認められている。そこで回復運動に関する従来の研究報告を概観したところ、概ね2つの観点から研究されてきたと言えよう。

Waglow<sup>52)</sup>, Cooper<sup>8)</sup>, Joki<sup>127)</sup>は、運動後、完全に休止状態を保つことによって生じる“吐き気”“眩暈”“気絶”等を防止するために整理運動が必要だとし、Ricci<sup>43)</sup>は、運動後、二酸化炭素の過剰な排出によってもたらされる血液の酸性化を予防するために急激な運動停止は好ましくないことを、Royce<sup>46)</sup>は、筋ポンプの作用を高めることによって還流静脈血を増加させ、下肢に血液が溜

まる現象を防止するために、なお軽運動の必要を示唆している。また黒沢等<sup>37)</sup>は、最大血圧と心機能を運動後、急激に変化させないために回復期に軽度、あるいは中程度の強度の運動を行なう必要性のあることを報告した。

このように激しい走運動をおこなうと“吐き気”“眩暈”“気絶”“ショック”等の症状<sup>14)</sup>を呈する危険性があるが、それを予防する手段として回復運動をとりあげる観点である。これには走運動後の回復運動によろうとするもの<sup>5)8)12)15)18)50)</sup>と舟橋<sup>14)</sup>のように、むしろウォーミング・アップ時の走運動に着目することによって、主運動及び主運動後の身体の諸器官に好影響を与えようとするものがある。

第二の観点は、競技会の記録の向上を高める必要性から回復運動の重要性を報告した研究である<sup>10)21)35)38)50)</sup>。すなわち短時間の激運動の結果、生成された代謝産物である乳酸の過剰な蓄積は、筋収縮の制限<sup>13)51)</sup>や代謝過程に異常<sup>10)18)</sup>をもたらし、しかも疲労に対して重要な役割を演じる<sup>2)</sup>といわれているが、このように過剰に蓄積した乳酸の消失を早めることによって疲労の早期回復、または記録の向上を高める手段としての観点である。

今回、著者らは、主として第二の観点から回復運動(整理運動)についての有効性を明らかにしようと種々の実験を行なった。

Jervell<sup>28)</sup>は、短時間の激運動によって過剰に蓄積した血中乳酸は、回復期に安静状態を保持しているよりも中程度の強度の運動を継続的に行なった方が、安静回復に比べて速やかに血中から消失することを報告した。

その後、短時間の激運動によって過剰に蓄積した血中乳酸を最も速やかに消失させる至適運動強度を定量的に捉えようとする試みがなされ、Davies 等<sup>11)</sup>、Bonen and Belcastro<sup>6)</sup>、及び駒井等<sup>35)</sup>は、自転車エルゴメーターを用いた場合、回復期の至適運動強度は、最大酸素摂取量の約30~45%の範囲にあることを、また Hermansen and Stensvold<sup>18)</sup>は、トレッドミルを用いた場合、至適運動強度は最大酸素摂取量の約65%であることを明らかにし、回復期におこなわれる運動の強度によって血中乳酸の消失速度<sup>5)11)18)35)</sup>、及び回復時間<sup>6)15)</sup>が影響を受けることを示した。

しかし、回復期におこなわれる運動の継続時間が血中乳酸の消失速度、あるいは回復時間に及ぼす影響について論じた報告は、ほとんどみられない。

また従来<sup>38)55)</sup>の報告を概観すると最初に負荷する激運動の様式は、1) 数分間で疲労困憊をもたらす運動、2) 最大下、あるいは最大強度で一分間以上行なう運動<sup>5)11)12)42)</sup> 3) 一分間の最大下運動、あるいは最大運動を間歇的に繰り返して行なう運動<sup>18)19)35)</sup> というように乳酸の生成が非常に高められる運動様式である。それに対して最初に“10秒間の全力運動”というきわめて短時間の激運動を負荷した場合の回復過程について研究された報告はあまりみられない。

そこで本研究では、最初に“10秒間の全力運動”という非常に短時間の激運動を負荷し、その後の回復過程について運動強度、及び運動継続時間の2つの側面から検討することによって、回復期の至適運動強度、及び回復期の有効な運動継続時間を明らかにしようと種々の実験を行なった。

## II 実験方法

### A 被験者

被験者は、24~28歳の健康な成人男子4名であった。彼らの年齢、および身体的特性は Table-1に示した。なお“10秒間の全力運動”時の総仕事量は、各被験者とも実験Ⅱと実験Ⅲにおいて有意な差が認められなかったため全て実験Ⅲの値で示した。

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subject	Age years	Height cm	Weight kg	Vo <sub>2</sub> max ml/kg/min	Total Work Output for 10 sec kpm
T. S	28	160	53	48	400±18
S. K	27	168	54	62	420± 9
K. S	26	170	63	57	481±10
T. N	24	170	54	60	422±13
Means	26	167	56	57	436±34

B 測定項目

酸素摂取量は、ダグラスバック法により、各強度の最大下運動時の呼気を採取した。ガス容量は湿式ガスメーター（品川製作所、一回転3 l）により計量し、呼気ガスの一部は労研式大型ガス分析器（北条製作所）により分析し、酸素及び炭酸ガス濃度を測定した。

心拍数は、胸部誘導法により、心電計（日本光電社製）により記録された心電図から30秒間のR棘を数え、一分間値に換算して算出した。

血液は指先（finger - tip）により、0.05 ml 採取し、それを Harrower and Brown<sup>17)</sup> の血中乳酸定量法に基づいて定量し、血中乳酸濃度を算出した（Figure - 1）。

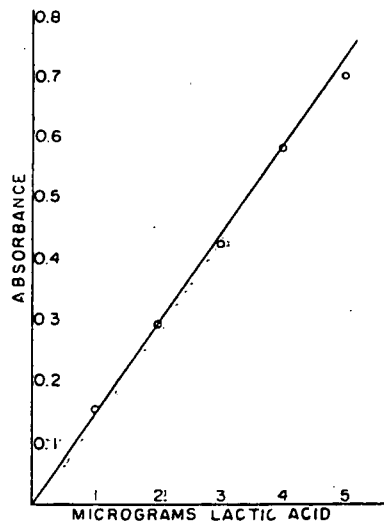


Fig 1. Absorbance values of 0.5 ml solutions of 1-5 μg. lactic acid after correction for an "apparent" reagent blank value of 0.054; as calculated from observed readings at the 2- and 4-μg levels. (Beckman DU spectrophotometer at 570 nm and Gilford model 209digital readout.)<sup>17)</sup>

C 実験手順

本研究は、3つの実験から構成されている。

なお各実験とも、原則として午前10時から開始し、同一被験者の実験は、少なくとも一日以上の間隔をあけて行なった。また運動にはモナーク社製の自転車エルゴメーターを用いた。

## 1 実験 I

この実験 I の目的は、実験 II・III の回復期に行なう各種最大下運動だけを40分間おこなわせて、その際の各測定項目、すなわち最大酸素摂取量、血中乳酸濃度、および心拍数の経時的な変化を明らかにすることであった。

各被験者は、入室後40分間の椅座位安静を保った。その後、各個人の最大酸素摂取量のほぼ25%、35%および45%に相当する運動強度で40分間の最大下運動、及び30分間の安静回復を行なった。

## 1) 各測定項目の測定時間

酸素摂取量は、運動終了40分までは各運動強度に応じて3分から5分間隔で不連続的に、40分以降、終了70分までは10分間隔で連続的に採気した。

心拍数は、運動開始直後から5分までは1分間隔で、その後、運動終了40分までは5分間隔で、40分以降、終了70分までは10分間隔で記録した。

採血時刻は、原則として10分までは1分間隔で、10分以降、運動終了40分までは2分から3分間隔で、40分以降、終了70分までは10分間隔で採血した。

以上、実験手順、並びに各測定項目の測定時間は、Figure - 2 に示した。

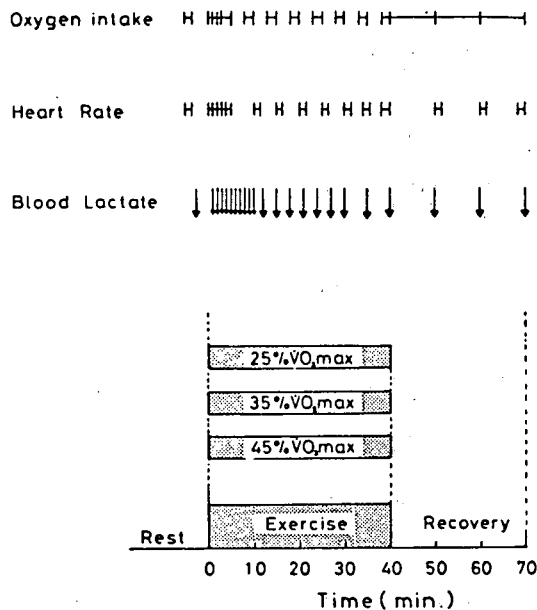


Fig. 2 Schedule representing the general outline of the first experiment. Oxygen intake, Heart rate and Blood lactate were measured before, during and after exercise.

## 2 実験 II

実験 II の目的は、“10秒間の全力運動”によって生成された血中乳酸を最も速やかに消失させる至適運動強度を確定することであった。

各被験者は、入室後40分間椅座位で安静状態を保持した。その後、各個人の最大酸素摂取量のほぼ50%に相当する運動負荷で7分間のウォーミング・アップを行なった後、続いて“10秒間の全力運動”および各種強度の最大下運動を40分間おこなった。なお“10秒間の全力運動”時、被験者に

サドルから腰を浮かさないように指示した。また全力運動時のペダルの回転数は、前輪に備えつけられたマイクロスイッチ（オムロン製）によって得られた回転数で表わし、これを積算式カウンター計で表示できるようにした。なお全力運動時の総仕事量は、生田<sup>24)</sup>の方法により算出した。

1) 回復期の運動強度

“10秒間の全力運動”後の回復過程は、4種類の最大下運動による運動回復と安静状態を保持する70分間の安静回復の計5種類とした。なお運動回復過程は、各被験者の最大酸素摂取量のほぼ15%、25%、35%、および45%に相当する40分間の最大下運動と30分間の安静回復から成っている。また、この際の相対的な運動強度は、各回復過程で定常状態がえられた回復20分目以降、40分目までの酸素摂取量を元にして算出した。

2) 全力運動前の血中乳酸濃度の水準

“10秒間の全力運動”前の血中乳酸濃度の水準は、日を改めて各被験者の最大酸素摂取量のほぼ50%に相当する最大下運動を7分間行なわせ、その際の7分目の平均血中乳酸濃度（n = 5）とした。

3) 各測定項目の測定時間

酸素摂取量は、全力運動終了直後から10分までは原則として1分間隔で、その後、終了70分までは、各回復強度に応じて2分から10分の間隔で連続的に採気した。

心拍数は、全力運動終了直後から5分までは1分間隔で、その後、終了70分まで5分間隔で記録した。

採血時刻は、全力運動終了直後から10分までは原則として1分間隔で、その後、40分まで5分間隔で行ない、40分以降70分までは10分間隔で採血した。

4) 酸素負債量

各運動回復時の酸素負債量は、運動回復30分目から40分目までの酸素摂取量の水準を基準とした

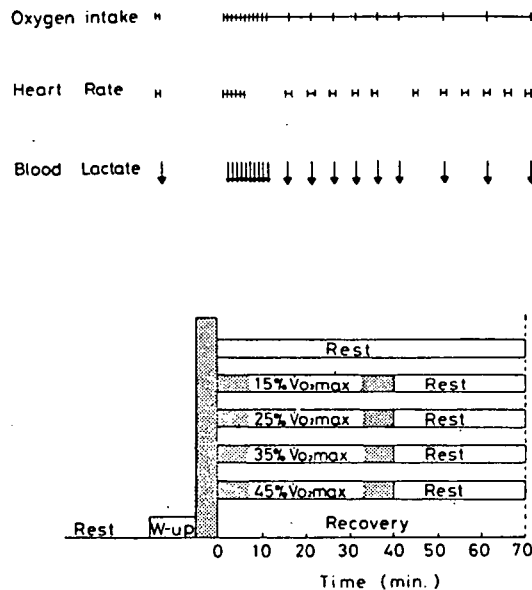


Fig. 3. Schedule representing the general outline of the second experiment. Oxygen intake, Heart rate and Blood lactate were measured before, during and after exercise. The subjects performed a short-term maximal exercise, followed by the different recovery treatments. The recovery treatment was consisted of five recovery periods.

各運動回復時の超過代謝と、回復60分目から70分目までの酸素摂取量を基準とした回復時の超過代謝の和として求めた。また安静回復時の酸素負債量は、全力運動終了後30分目から40分目の酸素摂取量を基準として超過代謝を求めた。

以上、実験手順、並びに各測定項目の測定時間は、Figure - 3 に示した。

### 3 実験 III

実験IIIの目的は、“10秒間の全力運動”後、実験IIでえられた至適運動強度で種々の時間（0分間、5分間、10分間、15分間、20分間、40分間、および自由回復）回復運動をおこなわせ、運動の継続時間が、血中乳酸の消失速度および回復時間に及ぼす影響を明らかにすることであった。

各被験者は、入室後約40分間の椅座位安静を保持した。その後、各個人の最大酸素摂取量のほぼ50%に相当する運動強度で7分間のウォーミング・アップを行ない、続いて全力運動、および実験IIでえられた至適な運動強度で0分間（安静回復）、5分間、10分間、15分間、20分間および40分間、並びに自由回復の計7種類の各回復過程を行なった。なお“10秒間の全力運動”時の前輪の回転数および仕事量は、実験IIと同様な方法で求めた。

#### 1) 各測定項目の測定時間

酸素摂取量は、全力運動終了直後から回復40分目までは各回復過程に応じて、1分から10分の間隔で採気した。

心拍数は、全力運動終了直後から回復終了40分まで5分間隔で記録した。

採血時間は、原則として全力運動終了直後から10分までは1分間隔で、その後、回復終了40分まで5分間隔で採血した。

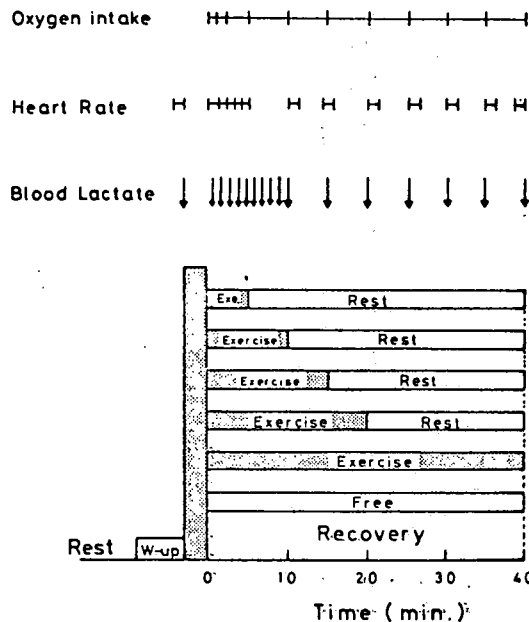


Fig 4: Schedule representing the general outline of the third experiment. Oxygen intake, Heart rate and Blood lactate were measured before, during and after exercise. The subjects exercised for the different recovery time.

以上, 実験手順, 並びに各測定項目の測定時間は, Figure - 4 に示した.

### III 実験成績

#### A. 実験 I

##### 1. 各測定項目の一般的概要

各被験者の酸素摂取量, 心拍数, 血中乳酸濃度の時間的経過は, 運動強度別にして Figure - 5, 6, 7 に示した.

##### 1) 酸素摂取水準

酸素摂取水準は, 運動開始 6 分から 7 分目に最高値に達し, それ以降は, 運動強度に応じて, ほぼ一定の水準で経過した. その際の酸素摂取水準の平均は, それぞれ相対的な運動強度で  $22 \pm 1.5\%$ ,  $35 \pm 1.0\%$ , および  $49 \pm 2.1\%$  であった.

##### 2) 心拍数

心拍数は, 酸素摂取水準と同様な傾向を示した. すなわち運動開始 5 分から 6 分目に最高値に達

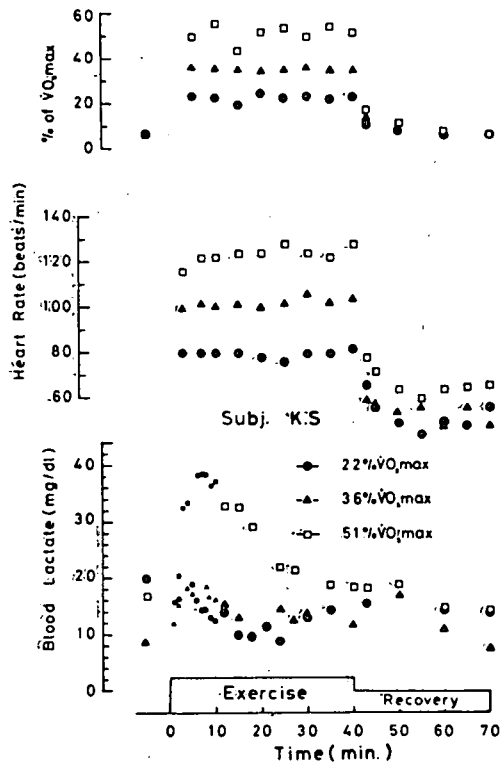


Fig. 5. Heart rate in beats/min, and lactate concentration in blood in mg/dl as a function of duration of the exercise and the recovery. The work load expressed in % of  $\dot{V}O_{2max}$  was 22% (●), 36% (▲) and 51% (□).

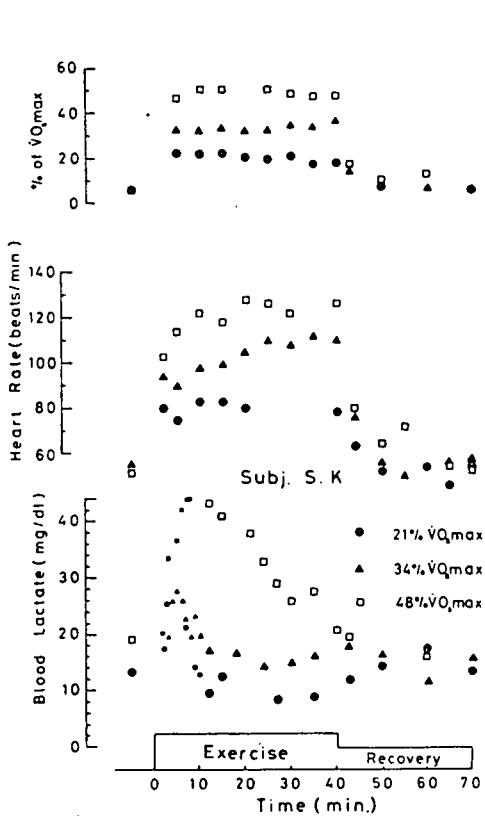


Fig. 6. Heart rate in beats/min, and lactate concentration in blood in mg/dl as a function of duration of the exercise and the recovery. The work load expressed in % of  $\dot{V}O_2$  max was 21 % (●), 34 % (▲) and 48 % (□).

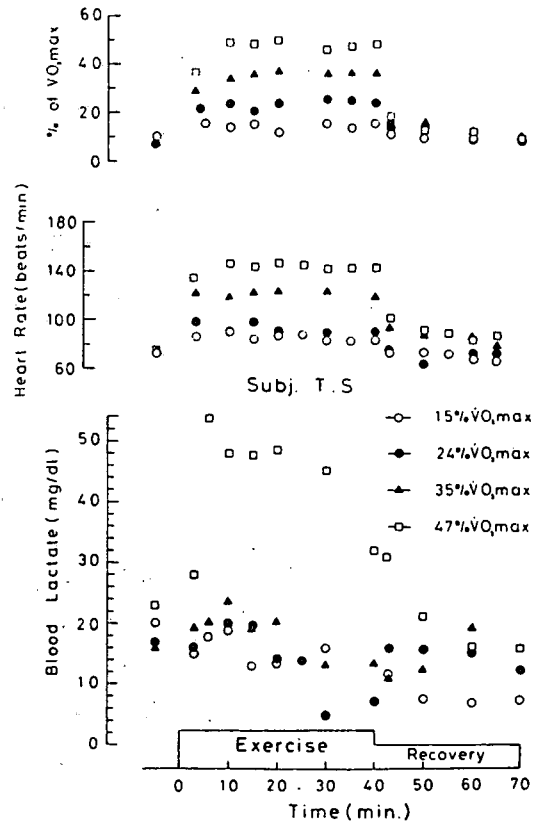


Fig. 7. Heart rate in beats/min, and lactate concentration in mg/dl as a function of duration of the exercise and the recovery. The work load expressed in % of  $\dot{V}O_2$  max was 15 % (○), 24 % (●), 35 % (▲) and 47 % (□).

し、それ以降は、運動強度に応じてほぼ一定の水準で経過した。その際の心拍数は、最大酸素摂取量の22%で平均  $86 \pm 8.2$  beats/min, 35%の水準で  $110 \pm 11.3$  beats/min, 49%の水準で  $113 \pm 10.6$  beats/min であった。

### 3) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、すべての運動強度とも運動開始直後から上昇し続け、運動開始2分から8分目には最高値に達した。この際の平均血中乳酸濃度は、最大酸素摂取量の22%の水準で  $21 \pm 3.4$  mg/dl, 35%の水準で  $23 \pm 3.8$  mg/dl, 49%の水準で  $46 \pm 6.1$  mg/dl であった。なお最大酸素摂取量の49%の水準の時、安静水準 ( $16 \pm 3.7$  mg/dl) よりも有意 ( $P < 0.01$ ) に上昇した。49%の水準の場合、最高値が出現した後、漸次低下し、運動終了40分目には  $26 \pm 5.3$  mg/dl まで減少した。

## B. 実験 II

### 1. 各測定項目の一般的概要

“10秒間の全力運動”終了後の酸素摂取水準、心拍数、血中乳酸濃度の時間的経過は、運動強度別にして Figure-8, 9, 10 に示した。



1) 酸素摂取水準

安静回復の酸素摂取水準は、全力運動終了後、急激に低下し、回復40分目(246±27.2 ml/min)には、ほぼ安静時水準(238±14.7 ml/min)にまで低下した。一方、運動回復の場合、全ての回復過程とも安静回復と同様に全力運動終了直後、急激な低下を示したが、回復20分目以降40分目までは、各運動強度に応じて一定の水準で経過した。なお、この際の運動強度は、それぞれ相対的な運動強度で13±2.8%, 23±2.7%, 37±0.9%, および45±3.1%の水準であった。また回復40分目以降は、全ての運動回復とも漸次低下し、回復終了70分目には、ほぼ安静水準(2.60±28.1 ml/min)にまで低下した。

2) 心拍数

心拍数は、酸素摂取水準と同様な傾向を示した。すなわち運動回復の場合、全力運動終了後、急激な低下を示したが、回復20分目以降40分目までは各回復過程に応じて、ほぼ一定の水準で経過した。その際の心拍数は、最大酸素摂取量の13%の水準で平均85±11.3 beats/min, 23%の水準で94±4.0 beats/min, 37%の水準で108±4.2 beats/min, 46%の水準で129±4.2 beats/minであった。また回復40分目以降は漸次低下し、回復終了70分目(58±5.1 beats/min)には、ほぼ安静水準(55±8.9 beats/min)にまで低下した。一方、安静回復の場合、運動回復と同様に全力運動終了後、急激に低下し、回復40分目(61±10.0 beats/min)には、ほぼ安静水準にまで低下した。

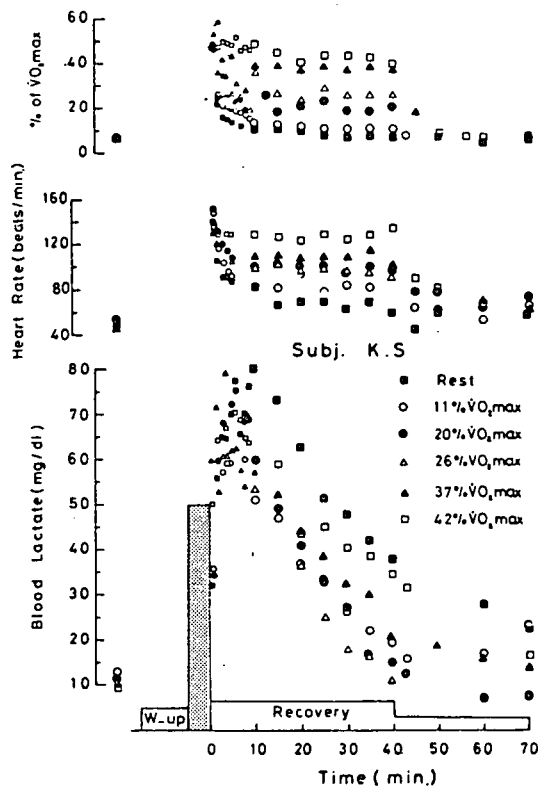


Fig. 8. Percent of  $\dot{V}O_2$  max, Heart rate in beats/min. and lactate concentration in blood in mg/dl in subject K.S who performed a short-term maximal exercise, followed by the different recovery treatments. The recovery treatment was consisted of six recovery periods.

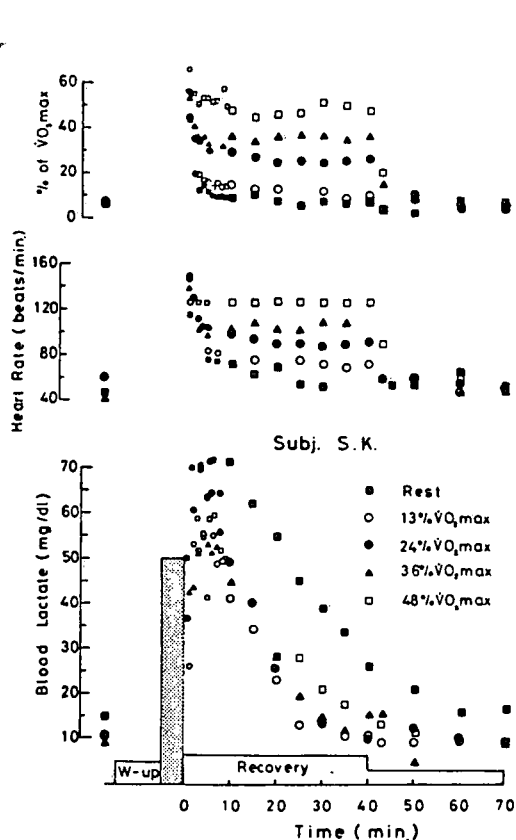


Fig. 9. Heart rate in beats/min. and lactate concentration in blood in mg/dl in subject S.K who performed a short-term maximal exercise, followed by the different recovery treatments. The recovery treatment was consisted of five recovery periods.

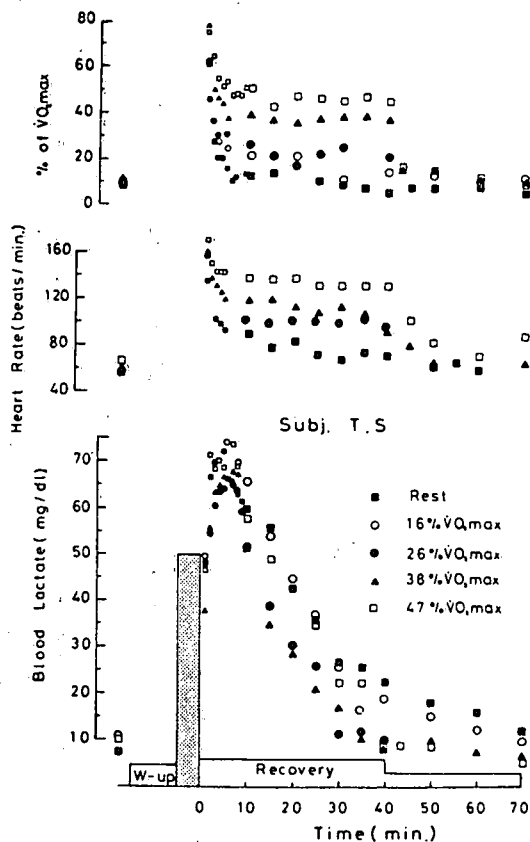


Fig. 10. Percent of  $\dot{V}O_{2max}$ , Heart rate in beats/min. and lactate concentration in blood in mg/dl in subject T.S who performed a short-term maximal exercise, followed by the different recovery treatments. The recovery treatment was consisted of five recovery periods.

### 3) 血中乳酸濃度

#### (i) 全力運動前の血中乳酸濃度の水準

各被験者の全力運動前の血中乳酸濃度の水準, すなわちウォーミング・アップ7分目の各被験者の血中乳酸濃度は, それぞれ  $40.2 \pm 7.0$  mg/dl (被験者 K. S.),  $27.7 \pm 9.5$  mg/dl (被験者 S. K.),  $31.3 \pm 3.1$  mg/dl (被験者 T. S.),  $29.9 \pm 9.7$  mg/dl (被験者 T. N) であった.

#### (ii) 回復期の血中乳酸濃度の変動

血中乳酸濃度は, 全ての回復過程とも全力運動終了直後から急激な上昇を示し, 回復6~10分目に最高値 (63~71 mg/dl) に達した. しかしその後は, 全ての回復過程とも安静水準に漸次, 曲線的に低下する傾向を示した.

## 2. 至適運動強度

従来, 回復過程における運動の効果をみるための指標として酸素負債量, 血中乳酸が取り上げら

れている。そこで本研究においても全力運動後に行なう至適な運動強度を上記の観点から明らかにした。

1) 血中乳酸

Figure- 11は、被験者3名(K, S, S, K, T, S)の平均血中乳酸濃度を各回復過程別に示したものである。全ての回復過程とも全力運動終了直後から急激な上昇を示し、回復6~10分目に最高値に達した。しかしその後は、全ての回復過程とも安静水準に漸次、曲線的に低下する傾向を示した。そこで各被験者の平均血中乳酸濃度を回復過程別に自然対数値にとり、回復時間との関係を求めたところ両者の間に直線関係が得られた(Figure- 12)。そこで最小自乗法により直線式  $Y = a - bt$  ( $Y$ : 血中乳酸濃度の自然対数値,  $t$ : 回復時間,  $a, b$ : 定数) を求めたところ各回復過程間の傾き  $b$  (速度定数) に差がみられた。そこで速度定数と相対的な運動強度との関係をみたところ(Figure- 13), 速度定数は運動強度とともに増大し、最大酸素摂取量のほぼ23%の運動強度の時、最大となった。しかし、それ以上の運動強度になると、むしろ速度定数は減少する傾向を示した。

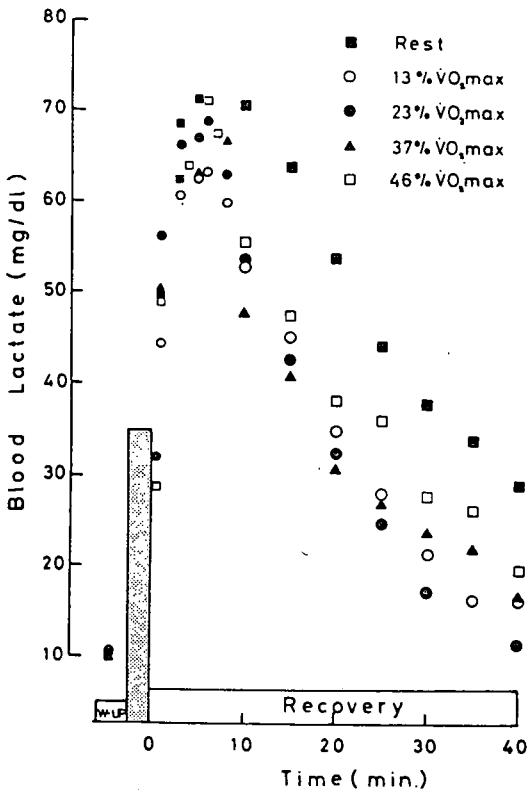


Fig. 11. Average blood lactate concentrations in three young male subjects who performed a short-term maximal exercise, followed by a recovery period of 40 min. of rest and of exercising at a work load representing 13 %, 23 %, 37 % and 46 % of each individual's maximal oxygen uptake.

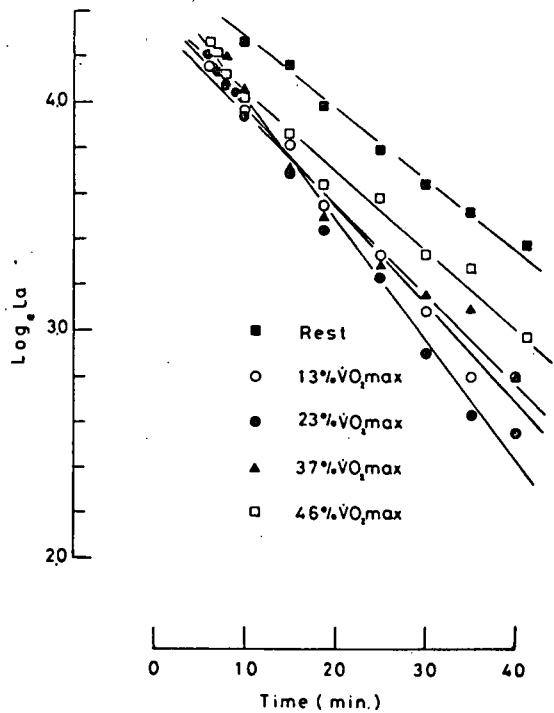


Fig. 12. Linear regression lines representative of blood lactate decrement through time. The figure denote the relative work load in % of  $\dot{V}O_2$  max, (■ Rest, ○ 13 %  $\dot{V}O_2$  max, ● 23 %  $\dot{V}O_2$  max, ▲ 37 %  $\dot{V}O_2$  max, and □ 46 %  $\dot{V}O_2$  max.)

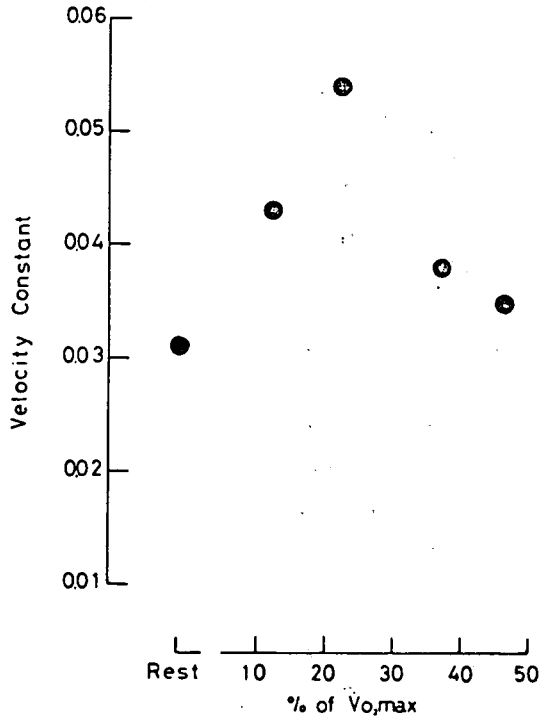


Fig. 13. Velocity constant of lactate disappearance in relation to relative exercise intensity.

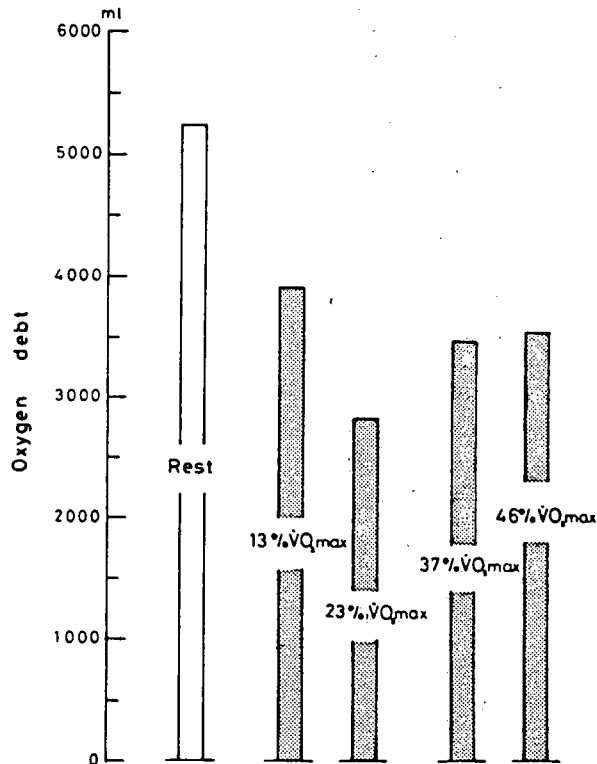


Fig. 14. Comparison of changes in total oxygen debt at different recoveries.

## 2) 酸素負債量

各被験者の酸素負債量は、全ての運動回復において安静回復よりも減少する傾向を示した。すなわち最大酸素摂取量のほぼ13%, 23%, 37%, および46%の強度の運動回復, および安静回復の酸素負債量は、それぞれ  $3909 \pm 505$  ml/min,  $2840 \pm 180$  ml/min,  $3448 \pm 509$  ml/min,  $3572 \pm 371$  ml/min, および  $5227 \pm 371$  ml/min であった (Figure- 14)。

このように酸素負債量を血中乳酸における速度定数と同様な傾向を示し、最大酸素摂取量のほぼ23%の運動強度の時に、最も少ない酸素負債量を示した。

## 3. 速度定数の時間的経過

Figure- 15 は、乳酸の消失速度の時間的経過を各回復過程別に示したものである。速度定数は、回復期間中、運動強度に応じてほぼ一定の水準を保ち、全ての運動回復において安静回復よりも高水準を維持する傾向を示した。また運動回復についてみたところ、最大酸素摂取量の23%の強度の時、回復期間を通して最も高い水準を維持した。

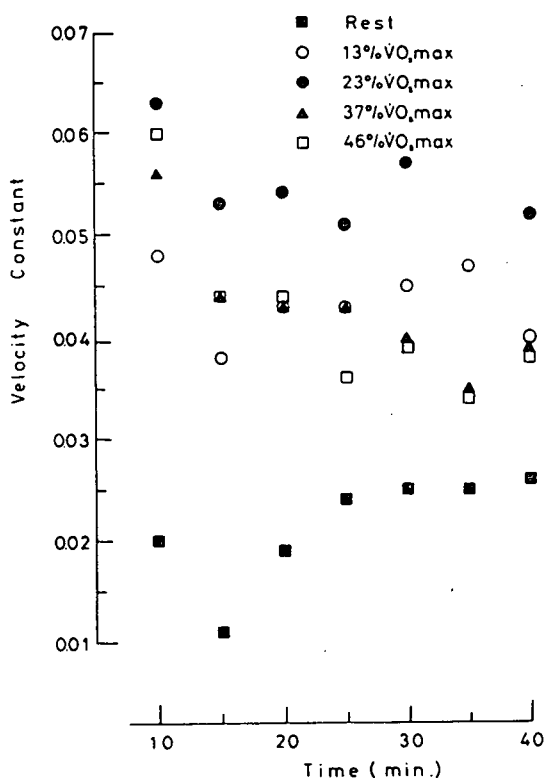


Fig. 15. Velocity constant of lactate disappearance changing during recovery period of 40 min. of rest and of exercising at a work load representing 13%, 23%, 37% and 46% of each individual's maximal oxygen uptake.

## C 実験 III

### 1. 回復期の血中乳酸濃度

各回復過程間の運動強度の変動は、各被験者とも相対的な運動強度で4%の範囲内であり、ほぼ

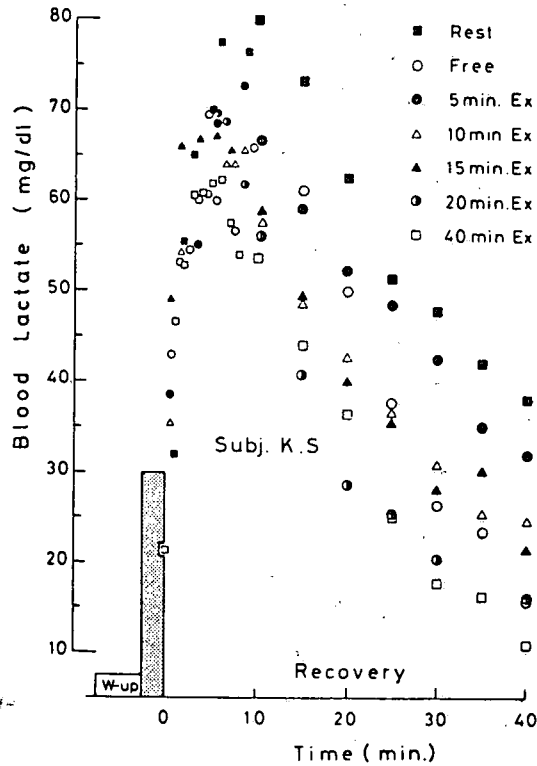


Fig. 16. Blood lactate concentration in mg/dl in subject K.S who performed a short-term maximal exercise, followed by the different recovery treatments.

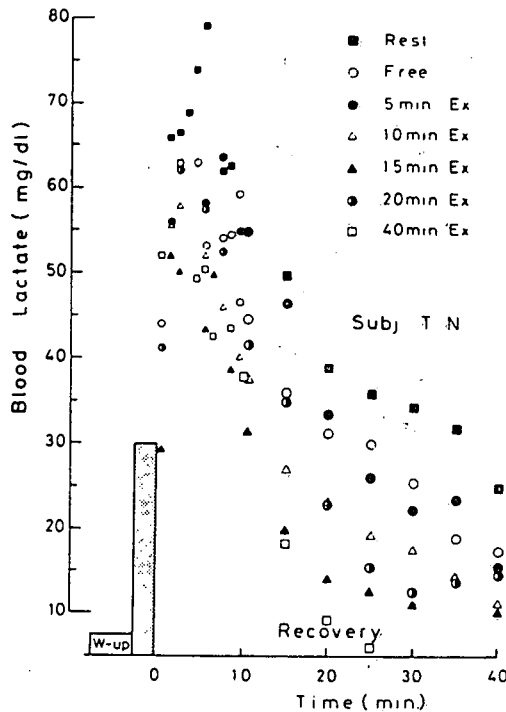


Fig. 17. Blood lactate concentration in mg/dl in subject T.N who performed a short-term maximal exercise, followed by the different recovery treatments.

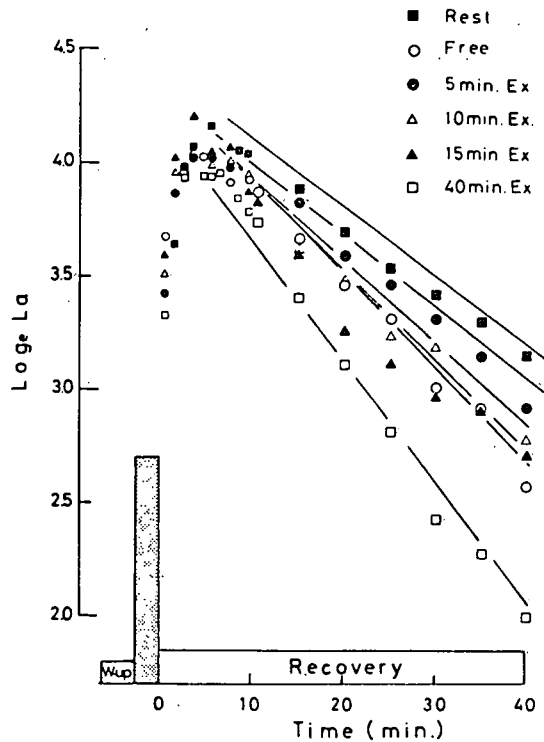


Fig. 18. Linear regression lines representative of blood lactate decrement through time. The figure denote the rest, free and exercise recoveries in 5 min., 10 min., 15 min. and 40 min..

一定の酸素摂取水準で回復運動が行なわれた。

各被験者における回復期の運動継続時間別の血中乳酸濃度は、全力運動終了後2～10分の間に最高値が出現し、その後、各回復過程の運動継続時間に 応じてほぼ 曲線的に 安静水準に 低下した (Figure- 16, 17). そこで実験Ⅱと同様に各被験者の血中乳酸濃度を回復過程別に自然対数値にとり、回復時間との関係を求めたところ両者の間に直線関係が得られた (Figure-18). そこで最小自乗法により直線式  $Y = a - bt$  ( $Y$ : 血中乳酸濃度の自然対数値,  $t$ : 回復時間,  $a, b$ : 定数) を求めたところ、各回復過程間の傾き  $b$  (速度定数) は、運動時間が長くなるにつれて大きくなる傾向がみられた (Figure- 19). すなわち回復期の運動継続時間が長くなるにつれて血中乳酸の消失速度は、早くなる傾向を示した。

## 2. 速度定数の時間的経過

Figure- 20は、乳酸の消失速度の時間的経過を各回復過程別に示したものである。速度定数の時間的な変化は、運動継続時間によって異なった。すなわち回復期40分間運動を継続した場合、速度定数は回復期間中、ほぼ一定の水準を保った。しかし回復期10分間、15分間、及び20分間だけ運動を継続した場合、速度定数は運動中止後、漸次低下する傾向を示した。また安静回復、自由回復、及び5分間運動を継続した場合、速度定数は時間とともに上昇し、回復20分以降は、ほぼ一定の水準を保った。

## 3. 有効な運動継続時間

さらにC-1で得られた各被験者の直線式に運動前(ウォーミング・アップ7分目)の乳酸の自

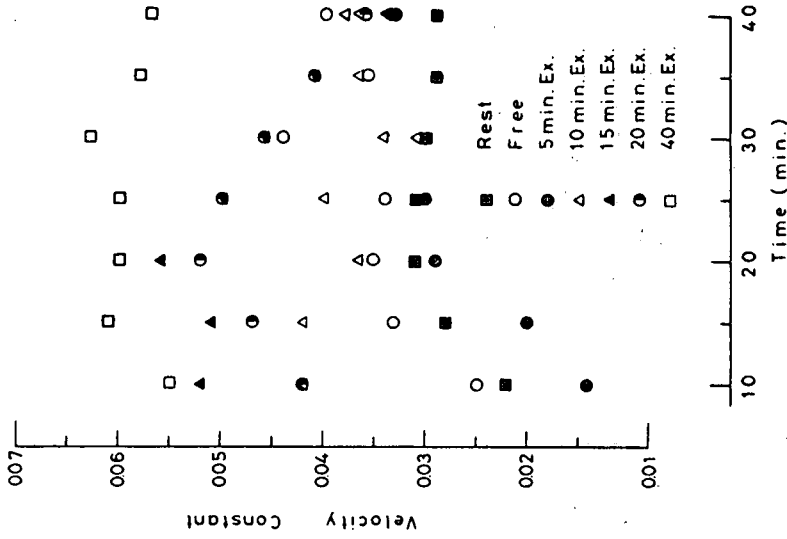


Fig. 20. Velocity constant of lactate disappearance changing during recovery period of 40 min. of rest and of different exercise time.

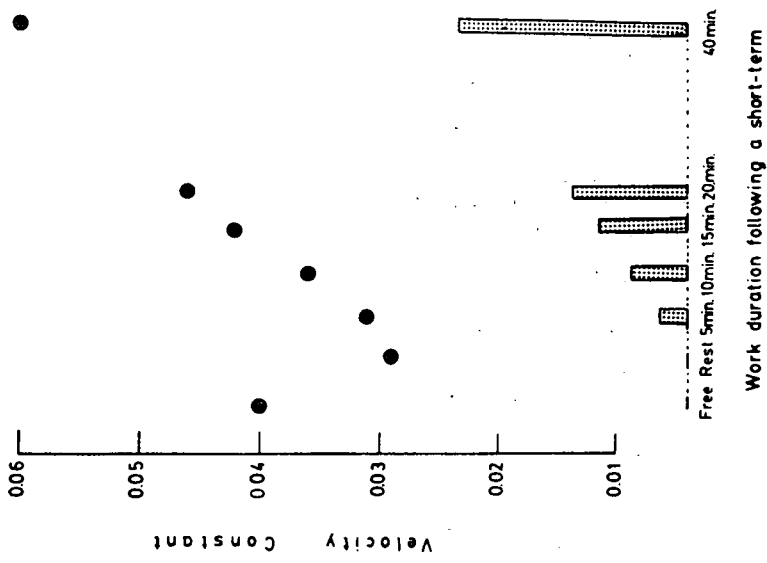


Fig. 19. Velocity constant of lactate disappearance in relation to work duration following a short-term maximal exercise.



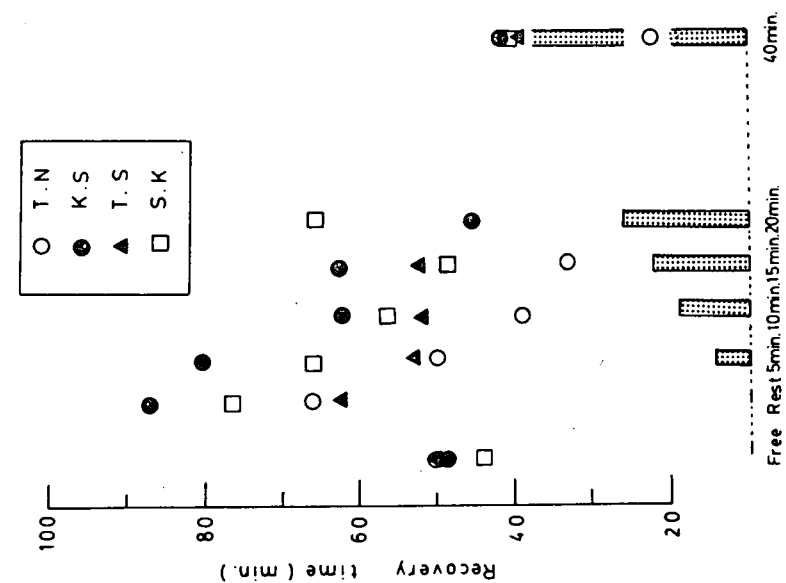


Fig. 21. Recovery time in relation to work duration following a short-term maximal exercise. A base line in these recovery time settled a level immediately before a short-term maximal exercise.

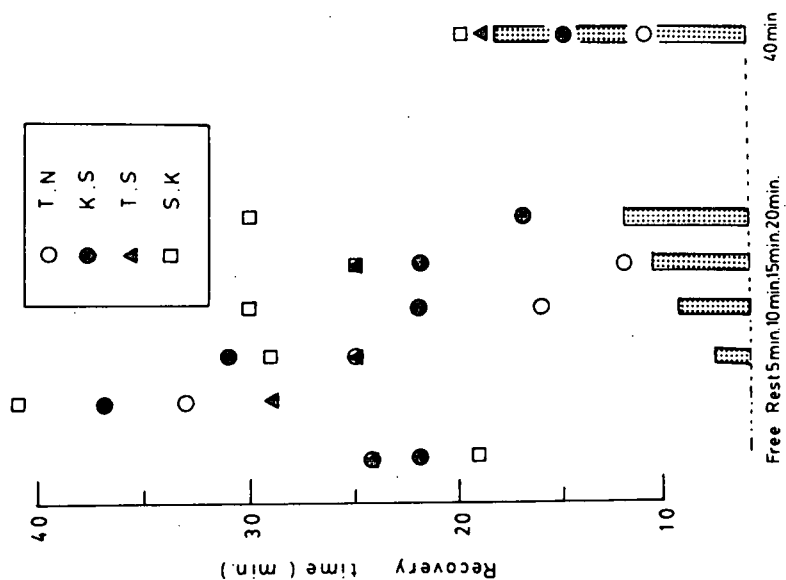


Fig. 22. Recovery time in relation to work duration following a short-term maximal exercise. A base line in these recovery time settled a rest level before 7 min warming up.

然対数値を代入し、各回復過程の回復時間を各被験者別にみたところ、全被験者とも回復時間は、運動継続時間とともに急激に短縮していく傾向がみられた。すなわち安静回復の場合、血中乳酸濃度が全力運動前の水準に低下するのに要する回復時間は、平均35分であった。一方、運動継続時間が5分間、10分間、15分間、20分間、及び40分間と長くなるにつれて、平均回復時間は、それぞれ約28分、約23分、約21分、及び約16分と短縮していく傾向がみられた。また回復の基線を安静水準に下げた場合、安静回復の回復時間は平均80分であった。一方、運動継続時間が5分間、10分間、15分間、20分間、及び40分間と長くなるにつれて、平均回復時間は、それぞれ約66分、約56分、約53分、約50分、及び約37分と短縮していく傾向がみられた。このように回復の基線を、全力運動前のウォーミング・アップの水準、あるいは安静水準にもってきた場合でも、回復時間は運動継続時間が15～20分間を境にして、ゆるやかに低下していく傾向がみられた (Figure- 21, 22)。

#### IV 考 察

短時間の激運動後の回復期に軽度、あるいは中程度の強度の運動を継続的に行なった方が、安静回復に比べて血中乳酸の消失が早まり<sup>5)11)18)35)</sup>、しかも回復時間も短縮することは<sup>6)15)</sup>、多くの研究者によって認められている。しかし“10秒間の全力運動”というきわめて短時間の激運動を負荷した場合の回復過程について運動強度、及び運動継続時間の2つの側面から研究された報告はほとんどみられない。

そこで本研究では、最初に10秒間という非常に短時間の激運動によって過剰に蓄積した血中乳酸を最も速やかに消失させる至適運動強度を求め、その後、本実験条件下における回復運動の有効な継続時間を明らかにするための実験を行なった。

従来、回復期に行なわれる運動の有効性をみるための指標としては、酸素負債量<sup>15)46)48)50)</sup>、血中乳酸<sup>5)7)11)15)</sup>、心拍数<sup>4)3)46)57)</sup>、二酸化炭素排泄量<sup>46)9)50)</sup>などが取り上げられている。本研究では、全力運動後に行なわれる回復運動の至適強度を明らかにするために上記のうち酸素負債量、並びに血中乳酸の2点から検討した。

血中乳酸の速度定数は、運動強度とともに増大し、最大酸素摂取量のほぼ23%の強度の時、最大となり、それ以上の強度になるとむしろ減少する傾向を示した。このような現象は、回復期に行なわれる運動が、乳酸の消失よりも生成が上回る強度であったために生じたと考えられている<sup>5)18)49)35)</sup>。しかし実験1の最大下運動で、乳酸の生成がほとんどみられなかった最大酸素摂取量の35%の運動強度の時さえ、血中乳酸の消失速度が低下したことは、従来報告されている事以外に<sup>5)35)</sup>、他の要因も関与しているものと考えられる。

一方、酸素負債量も、血中乳酸の速度定数と同様な傾向を示し、各個人の最大酸素摂取量のほぼ23%の強度の時、最も酸素負債量が減少する傾向を示した。

このように酸素負債量と血中乳酸との間に密接な関係が得られたことは、Gisolfi 等<sup>15)</sup>、鈴木等<sup>50)</sup>、の報告と一致した。

駒井等<sup>35)</sup>は、自転車エルゴメーターを用いて回復期の至適運動強度を求めたところ、最大酸素摂取量のほぼ35～40%程度の強度であることを報告した。今回、著者は駒井等が用いた被験者にほぼ同程度の最大下運動を回復期に行なわせたところ、回復期の至適運動強度が相対的な運動強度で約15%ほど低下した。このことは従来、回復期の至適運動強度が異なる要因としてあげられていた1) 実験に用いた運動器具の違い<sup>5)18)35)</sup> 2) 被験者の体力の相違<sup>11)18)</sup>の他に、最初に負荷する激運動の内容によっても影響を受けるものと思われる。このことが、100m走、400m走というように運動種目の違いによって回復期の運動強度を変える必要があることを示唆したものか、さらに検討

を加える必要があろう。

ところで被験者が同一の場合、回復時間は主として回復期に行なわれる運動の強度、及び運動の継続時間によって影響を受けると考えられる。そこで回復期の有効な運動継続時間を明らかにするために回復運動の強度を最大酸素摂取量の23%と一定にして種々の時間、回復運動を行なわせたところ、回復期の運動が回復時間の短縮に効果的に作用する継続時間は約20分間であった。

ところで従来の報告のように激運動によって上昇した血中乳酸濃度が、安静水準に戻るまでの運動継続時間を求めたところ、本実験の場合、約37分間であった。これは Gisolfi 等<sup>15)</sup>、駒井等<sup>35)</sup>の報告とほぼ一致するものであった。しかし上述したように回復期の運動が回復時間の短縮に効果的に作用する運動継続時間を求めたところ、約20分間であった。このことは、従来、報告されているように血中乳酸が安静水準に戻るまで必ずしも回復期に運動を継続する必要がないことを示唆しており、本実験の場合、回復20分以降の運動は、回復時間の短縮に余り大きな影響を与えないものと思われる。

Weltman 等<sup>55)</sup> は、自転車エルゴメーターを用いて激運動後の回復時間について詳細に検討したところ、軽度(摩擦抵抗は 1 kp と一定)の回復運動を 20分間継続させた場合、その後に行なわれる運動の作業量に影響を与えないことを報告し、著しい乳酸の生成をともなう運動競技でも競技の時間間隔を少なくとも20分間以上あけておこなえばよいことを示唆した。本実験の場合、彼らが実施した実験方法と異なったにも関わらず、回復期の運動強度(被験者によって 0.5~0.8 kp と一定)と運動継続時間がほぼ一致したことは、回復期におこなわれる運動の有効な継続時間を決定する上で非常に興味深い。

ところで、このように短時間の激運動によって筋で生成された乳酸の大部分は、血流に拡散した後、骨格筋<sup>1)22)28)29)31)32)</sup>肝臓<sup>25)44)</sup>及び心臓<sup>7)16)</sup>等の乳酸の処理部位に運搬され、消失されると考えられている。そのため乳酸を主として処理する骨格筋、及び肝臓への血流量が多いほど消失が促進すると考えられる。しかし筋血流量は、中程度の運動強度までは運動強度とともに増大していくが<sup>40)</sup>、他方肝血流量は運動強度が高まるにつれて減少していく<sup>45)</sup> というように筋血流量の増大と肝血流量の増大とが、相反した関係にある。そのため回復期の運動強度は、運動筋への血流が十分に維持され、しかも肝血流量も激減しないある水準の強度でなければならない。

本実験では、残念ながら血流量の測定はおこなわれなかったが、回復期の酸素摂取水準、心拍数がある程度高かったこと、乳酸の除去が高められたこと、及び酸素負債量が減少したことから回復期、運動を行なうことによって、より多くの筋血流量、及び肝血流量が維持され、乳酸が処理されたものと思われる。

従って、全力運動後の回復期、筋血流量、肝血流量を比較的高い水準に維持するために回復期に軽度、あるいは中程度の強度の運動を、ある一定時間継続して行なうことは、非常に意義があると思われる。

## 要 約

健康な成人男子 4 名に“10秒間の全力運動”を負荷し、その後の回復過程について運動強度と運動の継続時間の二つの側面から検討するため自転車エルゴメーターを用いて種々の実験をおこなった。得られた結果は、以下の通りである。

1) “10秒間の全力運動”によって生成された乳酸を最も速やかに消失させる至適運動強度は、最大酸素摂取量のほぼ23%に相当する強度であった。

2) 有効な運動継続時間は、回復の基準を安静水準、及びウォーミング・アップ終了時の水準にした場合、どちらも約20分間位であった。

### References

- 1) Ahlberg, G., L. Hagenfeldt, and J. Wahren. Substrate utilization by the inactive leg during one-leg or arm exercise. *J. Appl. Physiol.* 39(5) : 718-723, 1975.
- 2) 青木純一郎, 鈴木哲郎, クーリング・ダウンの生理学, 新体育, 45(5) : 26-29, 1975.
- 3) Åstrand, P. O., and K. Rodahl. *Textbook of work physiology.* New York ; McCraw, pp. 296-301. 1970.
- 4) Barnard, R.J., and M.L. Foss. Oxygen debt: effect of beta-adrenergic blockade on the lactic acid and alactic acid components. *J. Appl. Physiol.* 27 : 813-816, 1969.
- 5) Belcastro, A.N. and A. Bonen. Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *J. Appl. Physiol.* 39(6) : 932-936, 1975.
- 6) Bonen, A., and A. Belcastro. Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Med. Sci. Sports.* 8 : 176-178, 1976.
- 7) Carlsten, A., B. Hallgren, R. Jagenbung, A. Svanborg and L. Werko. Myocardial metabolism of glucose, lactic acid, amino-acids, and fatty acids in healthy human individuals at rest and at different work load. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 13 : 418-428, 1961.
- 8) Cooper, K.H. *The new aerobics.* M. Evans and Company; New York. 1st ed. pp. 36-38. 1970.
- 9) Cowan, C.R., and O.M. Solandt. The duration of the recovery period following strenuous muscular exercise measured to a base line of steady mild exercise. *J. Physiol. (Lond)* 89 : 462-466, 1937.
- 10) Craig, F.N., and H.K. Beecher. The effect of carbon dioxide tension on tissue metabolism (retina). *J. Gen. Physiol.* 26 : 473-478, 1942-1943.
- 11) Davies, C.T.M., A.V. Knibbs, and J. Musgrove. The rate of lactic acid removal in relation to different baselines of recovery exercise. *Int. Z. angew. Physiol.* 28 : 155-161, 1970.
- 12) Davies, C.T.M., A.V. Knibbs, and J. Musgrove. The effect of recovery exercise on the removal of lactic acid from the blood. *Physiological Society.* 2-3. February, 1968.
- 13) Fuchs, F., Reddy, Y., and F.N. Briggs. The interaction of cations with the calcium-binding site of troponin. *Biochem. Biophys. Acta.* 221 : 407-409, 1970.
- 14) 舟橋明男, ウォーミング・アップにおける5分間ペース走の効果, 高知大学教育学部紀要 27(1) : 201-208, 1975.
- 15) Gisolfi, C., S. Robinson, and E.S. Turrell. Effect of aerobic work performed during recovery from exhausting work. *J. Appl. Physiol.* 21(6) : 1767-1772, 1966.
- 16) Glaviano, V. Distribution and gradient of lactate between blood and heart muscle. *Proc. Soc. Exptl. Biol. Med.* 118 : 1155-1158, 1965.
- 17) Harrower, J.R., and C.H. Brown. Blood lactic acid — a micromethod adapted to field collection of microliter samples. *J. Appl. Physiol.* 32(5) : 709-711, 1972.
- 18) Hermansen, L., and I. Stensvold. Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta. Physiol. Scand.* 86 : 191-201, 1972.
- 19) Hermansen, L., and O. Vaage. Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise. *Am. J. Physiol* 233(5) : E 422 - E 429, 1977.
- 20) Hermansen, L., E. Hultman. and B. Saltin. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 71 : 129-139, 1967.
- 21) Hermansen, L., S. Mehlum, E.D.R. Pruettt, O. Vaage. H. Waldum., and T. Wessel-Aas. Lactate removal at rest and during exercise. *Metabolic adaptation to prolonged physical exercise.* Magglingen/Switzerland. Ed. by H. Howald and J.R. Poortmans. pp 101-105. 1973.
- 22) Himwich, H.E., Y.D. Koskoff, and L.H. Nahum. Studies carbohydrate metabolism. I. A glucose-lactic acid cycle involving muscle and liver. *J. Biol. Chem.* 85 : 571-584, 1929-1930.
- 23) 猪飼 道夫, 身体運動の生理学, 杏林書院.
- 24) 生田香明, モナーク社製自転車 エルゴメーターによる anaerobic power の測定法, 身体運動の科学

- I, 杏林書院 pp. 45-62.
- 25) Issekutz, B. Jr., W. A. S. Shaw, and A. C. Issekutz. Lactate metabolism in resting and exercising dogs. *J. Appl. Physiol.* 40: 312-319, 1976.
  - 26) Jervell, O. Investigation of the concentration of lactic acid in blood and urine. *Acta. Med. Scand. Suppl.* 24: 25-73, 1928.
  - 27) Jokl, E. On indispositio after running. *Res. Quart.* 12: 3-11, 1941.
  - 28) Jorfeldt, L. Turnover of  $^{14}\text{C}$ -L(+)-Lactate in human skeletal muscle during exercise. *Advances in experimental medicine and biology Vol. II. Muscle metabolism during exercise.* Edited by Perrow. B., and B. Saltin. Plenum Press, New York-London. pp 409-417, 1971.
  - 29) Jorfeldt, L. Metabolism of L (+) - lactate in human skeletal muscle during exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 338: 1-67, 1970.
  - 30) Jorfeldt, L., and J. Wahren. Human forearm muscle metabolism during exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 26: 73-81, 1970.
  - 31) Karlsson, J. Lactate in working muscles after prolonged exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 82: 123-130, 1971.
  - 32) Keul, J., E. Doll, and D. Keppler, The substrate supply of human skeletal muscle at rest, during and after work. *Experientia* 23: 974-979, 1967.
  - 33) Klausen, K., H. G. Knuttgen, and H. Foster, Effect of pre-existing high blood lactate concentration on maximal exercise performance. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 30: 415-419, 1972.
  - 34) Knuttgen, H.G. and B. Saltin. Muscle metabolites and oxygen uptake in short-term submaximal exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 32(5): 690-694, 1972.
  - 35) 駒井説夫 他, 激運動後の最大下運動が血中乳酸濃度に及ぼす影響, 大阪教育大学紀要 第三部門 30 (1・2): 97-103, 1981.
  - 36) Krebs, H. Gluconeogenesis. *Proc. Roy. Soc., London, Ser. B.* 159: 545-563, 1964.
  - 37) 黒沢直次郎 他, 運動後 Cooling-down の実験的研究, 体力科学 19: 167, 1970.
  - 38) Newman, E.V., D.B. Dill, H.T. Edwards, and F.A. Webster. The rate of lactic acid removal in exercise. *Am. J. Physiol.* 118: 457-462, 1937.
  - 39) 小野三嗣, 疲労回復のための積極的休息法, 体育の科学 24 (8): 505-508, 1974.
  - 40) Pirnay, F., R. Marechal, R. Radermecker, and J.M. Petit. Muscle blood flow during submaximum and maximum exercise on a bicycle ergometer. *J. Appl. Physiol.* 32: 210-212, 1972.
  - 41) Poortmans, J. R., J. D. Bossche, and R. Leclercq. Lactate uptake by inactive forearm during progressive leg exercise. *J. Appl. Physiol.* 45: 835-839, 1978.
  - 42) Rammal, K., and G. Strom. The rate of lactate utilization in man during work and at rest. *Acta. Physiol. Scand.* 17: 452-456, 1949.
  - 43) Ricci, B., P. Bogan, A. Hadley, R. shanafelt, E. Sullivan, L. Gorton, and V. Hubbard. Comparison of recovery practices following treadmill running exercise. *J. Sports Med.* 5: 132-135, 1965.
  - 44) Rowell, L. B., K.K. Kraning II, T.O. Evans, J. W. Kennedy, J.R. Blackmon, and F. Kusumi. Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 21(6): 1773-1783, 1966.
  - 45) Rowell, L. B., J.R. Blackmon, and R.A. Bruse. Indocyanine green clearance and estimated hepatic blood flow during mild to maximal exercise in up-right. *J. Clin. Invest.* 43: 1677-1691, 1964.
  - 46) Royce, J. Active and passive recovery from maximal aerobic capacity work. *Int. Z. Angew. Physiol.* 28: 1-8, 1969.
  - 47) Sacks, J., and W.C. Sacks. Carbohydrate changes during recovery from muscular contraction. *Am. J. Physiol.* 112: 565-572, 1935.
  - 48) 篠田 諭 他, クーリング・ダウンに関する一考察, 日本体育学会第24回大会号 p. 290.
  - 49) Stamford, B. A., R. J. Moffatt, A. Weltman, C. Maldonado, and M. Curtis. Blood lactate disappearance after supramaximal one- legged exercise. *J. Appl. Physiol.* 45(2): 244-248, 1978.
  - 50) 鈴木哲郎, 青木純一郎, クーリング・ダウンと乳酸 東京体育学研究 (2): 19-23, 1975.
  - 51) 田中宏暁, 最大作業中の乳酸の生成と消失, 体育の科学 27 (5): 416-422, 1977.
  - 52) Waglow, I.F. Nausea resulting from exercise. *Physical. Educator.* 16: 23-24, 1959.
  - 53) Wahren, J., and L. Hagenfeldt. Human forearm muscle metabolism during exercise. *Scand.*

- J. Clin. Lab. Invest. 21 : 257-262, 1968.
- 54) Weltman, A., B.A. Stamford, R.J. Moffatt., and V. L.L. Katch. Exercise recovery, lactate removal, and subsequent high intensity exercise performance. Res. Quart. 48 : 786-796, 1977.
- 55) Weltman, A., B.A. Stamford, and C. Fulco. Recovery from maximal effort exercise; lactate disappearance and subsequent performance. J. Appl. Physiol. 47 : 677-682, 1979.
- 56) Wick, A.N. Chemistry and metabolism of L (+) and D (-) lactic acids. Ann. N. Y. Acad. Sci. 119 : 1061-1069, 1965.
- 57) 湯浅景元, 二, 三の実験による積極的休息法とその特性の検討, 新体育 45 (5) : 30~33, 1975.

(昭和56年9月22日受理)

(昭和57年3月15日発行)