乳酸消失からみたクーリングダウンの 効果に関する研究

—間欠的回復期運動の場合—

稲 沢 見矢子 (東京女子大学) 西 保 岳 (筑波大学大学院)
近 藤 徳 彦 (筑波大学大学院) 勝 田 茂 (筑波大学)
池 上 晴 夫 (筑波大学)

(昭和62年 6 月26日 受付)

Study on effects of cool-down exercise from the view point of lactate disappearance
—a case of intermittent recovery exercise—

Miyako Inazawa¹, Takeshi Nishiyasu², Narihiko Kondo²,
Shigeru Katsuta² and Haruo Ikegami²

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of the moderate intermittent exercise as a cool-down exercise after a intensive work on lactate disappearance. For this purpose, blood lactate disappearance rate during the moderate intermittent recovery exercise was compared with the continuous recovery exercise of same intensity, using a bicycle ergometer.

After three bouts of maximal effort of 1-minute pedaling, all subjects (n=6) performed the following three different recovery treatments for 30 minutes: 1) rest, 2) continuous exercise of 40% $\dot{V}O_2$ max, and 3) intermittent exercise consisted of 40% $\dot{V}O_2$ max-works for 3 minutes and rest periods for 3 minutes in-between. Blood lactate concentration, heart-rate, gas exchange parameters ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, and R) were measured during recovery period.

Blood lactate disappearance rate was significantly faster both in the continuous and the intermittent recovery exercise as compared with that in the resting recovery. The intermittent recovery exercise was smaller in total work output and work time, and showed a lower heart-rate and $\dot{V}O_2$ during exercise compared with the continuous recovery exercise. However, no significant difference between the two recovery exercises was observed in blood lactate concentrations during exercise. This result seems to suggest that the intermittent recovery exercise, consisting of moderate intensity of works and short-term rests, has the equal effect in acceleration of blood lactate disappearance to the continuous recovery exercise of same intensity.

(Miyako Inazawa, Takeshi Nishiyasu, Narihiko Kondo, Shigeru Katsuta and Haruo Ikegami, "Study on effects of cool-down exercise from the view point of lactate disappearance —a case of intermittent recovery exercise—", *Jap. J. Phys. Educ.*, 33—2 : 145—53, September, 1988)

1 Tokyo Woman's Christian University, 2-6-1, Zempukuji, Suginami, Tokyo

2 The John B. Pierce Foundation Laboratory, Yale University, New Haven, CT 06519, USA

3 Institute of Health and Sports Science, University of Tsukuba, 1-1-1, Tennodai, Tsukuba, Ibaraki

結 言

短時間の激運動によって血中乳酸は著しく増加する。乳酸の蓄積は筋収縮の障害や解糖の抑制を引き起こし、運動のパフォーマンスを低下させると考えられている^{4),5),11),37)}。したがって、スポーツ競技会等において初回の競技で体内に乳酸が蓄積した場合、なるべく速やかに乳酸を消失させることが次に出場する競技のパフォーマンスに対して有利にはたらくと考えられる。また、競技終了後の疲労回復という面からも、乳酸を速やかに消失させることは有益であると思われる。

激運動後の乳酸消失は安静を保つよりも、クーリングダウンとして中程度の運動を行う方が速やかであることが1930年代にすでに明らかにされている³⁰⁾。以来、乳酸をより速く消失させるクーリングダウンの方法について多くの研究がなされ^{4),7),20),23),29),33),37)}、現在では、トレッドミルを用いた走運動の場合は60—70% $\dot{V}O_{2max}$ 程度²⁰⁾、自転車エルゴメータによる運動の場合は30—45% $\dot{V}O_{2max}$ 程度^{4),7)}の強度が最も効果的であるとされている。筆者らも、自転車エルゴメータを用いて20%、40%、および60% $\dot{V}O_{2max}$ の持続運動について乳酸消失の速度を比較したところ、40% $\dot{V}O_{2max}$ の運動の場合が最も速やかであるという結果を得た²³⁾。

一方、このような一定強度の持続運動の他に、時間の経過に伴って運動強度を漸減する運動を行った場合^{11),23)}や、回復期運動と同時に酸素吸入を行った場合^{36),40)}、回復期運動に参加する活動筋量を変化させた場合^{27),36)}、あるいは主運動と回復期運動とで活動筋群を違えた場合^{27),36)}など、様々な条件で実験がされている。

しかし、これらの研究で用いられた回復期運動の多くは持続的な運動であった。実際のスポーツ場面で行われているクーリングダウンはストレッチングや休息を交えた間欠的運動であることが多いように思われる^{2),5)}。そこで本研究では、激運動後のクーリングダウンとして中程度の運動を間欠的に行った場合の乳酸消失に及ぼす効果について、同じ強度の持続的運動を行った場合と比較・

検討することを目的とした。

研 究 方 法

A. 被検者

被検者は体育専攻の男子大学生6名であり、年齢は22—24歳、身長は 173.3 ± 3.7 cm、体重は 65.7 ± 4.2 kg、自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ は 55.9 ± 7.2 ml/kg.min (いずれも平均±標準偏差)であった (Table 1)。

B. 実験手順

運動には自転車エルゴメータを用いた。運動のプロトコールは、安静、最大運動、および回復期から成っている (Fig. 1)。まず、30分間の椅座位安静の後に最大運動として自転車エルゴメータの1分間全力運動を、2分間の休息をはさんで3回実施した。その際、回転数は80rpmに固定し、ブレーキの強度は初めの10秒間のみ1.0kpとして、残りの50秒間は各被検者ごとに最大努力となる強度 (4.5—5.5kp) に設定した。休息は自転車でとらせた。回復期は33分間であり、初めの3分間はいずれも自転車で安静をとらせた。その後の30分間には以下に示す3種類の回復条件を設定した。すなわち、1) 椅座位安静 (コントロール)、2) 40% $\dot{V}O_{2max}$ の持続運動 (60rpm)、および 3) 40% $\dot{V}O_{2max}$ の運動 (60rpm) と自転車で安静とを3分間ずつ交互に5回反復する間欠運動である。間欠運動は持続運動に比べて運動量と運動時間が1/2になっている。各条件の実験は隔日に、いずれも午前7時—10時の間の空腹状態で実施した。実験中の室温は24—26℃であった。

C. 運動強度の設定

回復期運動の強度は先行研究の結果^{4),7),23)}をふまえて、乳酸消失に対して最も効果的とされる40% $\dot{V}O_{2max}$ とした。実験に先立ち、自転車エルゴメータを用いた漸増負荷テスト (60rpm) によって各被検者の $\dot{V}O_{2max}$ を測定し、さらに40% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する負荷強度を求めた。そして、実験の前日までにその強度で6分間の持続運動を行い、運動中の $\dot{V}O_2$ を測定して、ほぼ40% $\dot{V}O_{2max}$ であることを確認した。最大運動の強度は80rpmの回転数を50秒間保持できる最大の負荷を各被検者ごとに

Table 1. Physical characteristics of the subjects.

subj.	Age yrs	Height cm	Weight kg	$\dot{V}O_2\text{max}$ ml/kg · min
Y. N.	22	174.5	62.0	67.1
T. N.	22	176.0	65.4	49.5
H. W.	22	168.0	65.0	57.2
N. K.	24	176.0	61.0	60.0
Y. I.	23	169.5	72.0	54.1
T. O.	23	176.0	69.0	47.5
mean	22.7	173.3	65.7	55.9
S.D.	0.9	3.7	4.2	7.2

Fig. 1 Experimental protocols.

決定した。そして、実験の前日までに本実験と同様のプロトコルで3回の全力運動を行い、運動終了3分後の血中乳酸濃度を測定して、その値が各被検者間でほぼ等しく、十分に高い値(10.5–13.4mmol/l)であることを確認した。

D. 測定項目

測定項目は、血中乳酸濃度と心拍数およびガス交換パラメータ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$ およびR)であった。血中乳酸濃度は安静時と回復期3分, 5分, 7分, 10分, 15分, 20分, 25分, および33分の各時点で肘正中静脈より採血し, Roche社製 Lactate Analyzer 640を用いて分析した。心拍数は心電図法(胸部双極誘導)によって連続測定し

た。ガス交換パラメータは安静時(5分間), 最大運動の3回目(1分間), および回復期0–15分と27–33分の間に呼気をダグラスバッグに連続採取し, 質量分析器(Perkin-elmer 1100)と乾式ガスメータを用いて分析した。

E. 統計処理

各データの平均値について, 回復条件間の有意差を検定した。検定には paired-t-test を用い, 有意水準はすべて $p < 0.05$ とした。

結 果

A. 血中乳酸濃度の変化

各回復条件における血中乳酸濃度の経時的变化を, 被検者6名の平均値で Fig. 2 に示した。安静値および最大運動終了後のピーク値(3分目)はいずれの条件においてもほぼ等しく, それぞれ平均1.29mmol/l および11.65mmol/l であった。回復期中の血中乳酸濃度はいずれの条件においても時間の経過とともに徐々に低下した。回復期10分までは各条件間で低下の差が明らかではなかったが, 回復期15分にはコントロールに比べて持続運動および間欠運動の値がやや低い傾向を示した。回復期20分以後はこの傾向がさらに顕著になり, 20分目の値はコントロールが7.60mmol/l であったのに対し, 持続運動および間欠運動ではそれぞれ6.13mmol/l および5.88mmol/l でコントロールよりも有意に低かった。回復期25分および33分目においても, 持続運動および間欠運動の血中乳酸濃度はコントロールよりも有意な低値を示した。回復期33分目(終了時)の値はコントロールでは4.90mmol/l, 持続運動では2.98mmol/l, そして間欠運動では3.06mmol/l であった。一方, 持続運動と間欠運動とを比べると, 両者間にはいずれの時点においても有意な差は認められなかった (Fig. 2)。

Fig. 3 は血中乳酸濃度の初期値をそろえるために, 安静値からの増加分の変化を, 回復期3分目を100%とした相対値で示したものである。間欠運動の場合の血中乳酸濃度は回復期前半はゆるやかに低下したため, 回復期10分目の値は持続運動に比べて有意な高値を示した。しかし, 回復期15

Fig. 2 Changes in blood lactate concentration during recovery period.

* : significant difference between control and continuous or intermittent exercise, ($p < 0.05$)

分以後は持続運動とほぼ等しい値となり、ともにコントロールに比べて有意な低値であった。各条件における血中乳酸濃度の半減期を比べると、コントロールでは約27分であるのに対して持続運動および間欠運動ではいずれも約18分であり、コントロールよりも有意に短かった (Fig. 3)。

B. 心拍数およびガス交換パラメータの変化

各回復条件における心拍数の変化を Fig. 4 に、ガス交換パラメータ ($\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$ および R) の変化を Fig. 5 にそれぞれ示した。

心拍数は安静から回復期3分目までは各条件ともほぼ等しい値であった。安静値は平均62拍/分、ピーク値は回復期1分目で平均150拍/分、そして回復期3分目には平均112拍/分となった。その後コントロールでは徐々に減少しつつあったが、持続運動では運動開始と同時に再び増加してはほぼ一定の水準 (平均123拍/分) を保った。間欠運動の場合は運動によって増加し、休息によって減少するという変化をくり返した。回復期3—33分の間の平均心拍数は、コントロールでは84拍/分、持続運動では123拍/分、間欠運動では105拍/分であった (Fig. 4)。

$\dot{V}O_2$ は安静値が平均0.25 l/min であり、最大運

Fig. 3 Relative changes in blood lactate concentrations above the resting baselines. Values are indicated in percentages for post-exercise peak values.

* : significant difference between control and continuous or intermittent exercise, ($p < 0.05$)

★ : significant difference between continuous and intermittent exercise, ($p < 0.05$)

Fig. 4 Changes in heart-rate during three modes of recovery.

動の3回目には平均2.24 l/min に増加した。その後の変化は心拍数と同様のパターンであった。回復期3—15分と27—33分の間の平均 $\dot{V}O_2$ を比べると、コントロールでは0.39 l/min, 持続運動では1.57 l/min, そして間欠運動では1.03 l/min であった。前述の心拍数とこの $\dot{V}O_2$ の平均値は、間欠運動の値がコントロールと持続運動のほぼ中間にあることが示された。

$\dot{V}CO_2$ と $\dot{V}E$ はピーク値が最大運動時ではなく回復期1分目に出現した点を除いて、 $\dot{V}O_2$ とほぼ同様の变化パターンであった。

Fig. 5 Changes in gas exchange parameters.

Rは安静値が平均0.84, ピーク値が回復期1-3分の間で平均1.56であった。その後コントロールでは徐々に低下したが, 持続運動および間欠運動では心拍数や $\dot{V}O_2$ とは逆の変化パターンを示した。すなわち, 持続運動では運動開始と同時にコントロールよりも急激に低下し, やがてほぼ一定水準(0.90)となった。間欠運動の場合は運動によって低下し, 休息によって上昇するという変化をくり返した (Fig. 5)。

考 察

激運動後のクーリングダウンについて自転車エルゴメータを用いて実験した研究はこれまでに数多く報告されており, 本研究で行った40% $\dot{V}O_{2max}$ 相当の持続運動は乳酸消失に最も効果的であることが実証されている^{4),7),23)}。本研究の結果でも, 40% $\dot{V}O_{2max}$ の持続運動を行った場合の血中乳酸濃度はいずれの時点においても安静回復より低値であった (Fig. 2)。また, 血中乳酸の半減期は安静回復では約27分であったのに対して持続運動では

約18分であった (Fig. 3)。この半減期は Stamford et al³⁷⁾が40% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を行った場合, および Dodd et al¹¹⁾が35% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を行った場合とほぼ一致するものであった。

このように, 40% $\dot{V}O_{2max}$ 前後の運動によって乳酸消失が最も加速されるのは, 運動による乳酸産生が少なく, かつ乳酸除去が促進されるためであろうと考えられる。

主な乳酸除去組織としては肝臓^{1),32),38)}, 腎臓²⁶⁾, 心筋³⁴⁾, および骨格筋^{3),21),25),31),35)}などが挙げられる。これらの組織における乳酸除去の増大は, 1) 血流量の増加による乳酸供給率²⁵⁾ (動脈血中乳酸濃度×組織血流量)の増加, または 2) fractional uptake³⁸⁾ (動静脈乳酸濃度較差/動脈血中乳酸濃度)の増加, あるいは 3) その両者によってもたらされると考えられる。活動筋や心筋では運動によって血流量が著しく増加するため, これらの組織での乳酸除去は増大すると考えられる。Jorfeldt²⁵⁾は, 上腕筋の運動中の乳酸摂取率 (fractional uptake×乳酸供給率) は動脈血中乳酸濃度

との相関($r=0.88$, $p<0.001$)よりも、乳酸供給率(動脈血中乳酸濃度 $\times$ 組織血流量)との相関($r=0.94$, $p<0.001$)の方が高いことを報告し、乳酸消失の加速化に対する血流量増加がもたらす効果の大きいことを示唆した。また、Eldridge⁽¹²⁾⁽¹³⁾はイヌを用い、安静時および運動中に ^{14}C -lactateを注入して血中乳酸の消失率について比較したところ、動脈血中乳酸濃度が同じならば、運動によって筋血流量が増すほど乳酸消失率が高くなることを示した。

一方、主要な乳酸除去組織とされている肝臓および腎臓では、運動によって血流量が減少する傾向にある。しかし、運動は乳酸の fractional uptakeを増加させるため、これらの組織においても乳酸除去は増大することが知られている^{(1),(32),(38)}。この fractional uptake 増加のしくみは明らかではないが、運動によるエネルギー需要の高進や、体温の上昇およびカテコールアミン分泌の増大などが組織の酵素活性に作用することなどにより、組織での乳酸代謝が促進されるためではないかと考えられる。Exton⁽¹⁵⁾は、灌流されたラットの肝臓において、カテコールアミンおよびグルカゴンを注入すると乳酸の摂取と糖新生が増加することを認めている。

Gisolfi et al⁽¹⁶⁾は、激運動後に中程度の持続運動を行なうと乳酸消失が加速されると同時に、安静回復よりも酸素負債が少なくなることを認めた。これは、運動によって乳酸がエネルギー源としてより多く利用されたことを示唆している。さらに、Bonon et al⁽⁶⁾は激運動後に40% $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ の持続運動を行なった際に、ST線維の割合の高い者ほど乳酸消失が速いことを認めた。つまり、乳酸消失速度は筋の酸化的代謝との関連が深いことを示唆している。実際に、 ^{14}C -lactateを用いたトレーサー実験においても、運動によって乳酸の酸化が増大することが認められている^{(8),(22),(24)}。これらのことから、運動による乳酸消失の加速化には、血流量の増加だけでなく、組織(特に骨格筋)における乳酸代謝の促進も大きく貢献すると考えられる。

中程度の間欠的運動時の組織血流量は、休息中に急激に減少する^{(17),(18)}。したがって、本研究の間欠

運動における乳酸供給率は持続運動に比べて少なかったと推察される。それにもかかわらず、間欠運動の場合の乳酸消失速度は、持続運動の場合とほぼ同等であった。

この理由は明らかではないが、いくつかの機構が考えられる。その1つは、組織における乳酸摂取の飽和である。Jorfeldt⁽²⁵⁾は前述のように、筋の乳酸摂取率は乳酸供給率と相関が高いことを示したが、同時に、乳酸供給率がある程度以上になると、細胞膜の透過性や乳酸代謝率などの限界によって乳酸摂取率の増加がプラトーに達する傾向のあることを指摘した。このように考えると、間欠運動の場合の乳酸供給率は持続運動よりは少なかったものの、その量はすでに乳酸摂取の飽和レベルであった可能性がある。第2に、本研究の間欠運動では休息期が短かった(3分)ため、運動による乳酸代謝促進の効果が休息期中にも残存していたことが考えられる。例えば、体温の上昇およびカテコールアミンの分泌増加はいずれも、組織の酵素活性に作用して乳酸代謝を促進することが考えられる⁽¹⁵⁾が、これらは運動後もしばらくは低下しない^{(10),(14),(17),(18),(19),(39)}。また、Gisolfi & Robinson^{(17),(18)}によると、中程度の間欠的運動時において、脚の血流量は休息期中(3—5分)に急激に減少したが、脚の筋温および直腸温は高く保たれたままであった。そして第3に、間欠運動では運動を何度も反復すること自体が刺激となって乳酸除去が促されることも考えられる。村岡ほか⁽²⁸⁾によると、運動によるカテコールアミンの分泌は初期に盛んであり、時間の経過とともに減少する傾向にある。交感神経の緊張とそれに伴うカテコールアミンの分泌は、運動、精神的ストレス、体位・血圧の変化、気温・体温の変化などの刺激によって反射的に高進する^{(9),(14)}。したがって、交感神経の緊張が乳酸代謝の促進に影響を及ぼすならば、間欠運動は運動量は少ないけれども交感神経刺激の頻度が高いため、持続運動を行った場合と同等の促進効果をもたらす可能性が考えられる。しかし、これらの点に関しては今後さらに詳しく検討する必要がある。

浅見ほか⁽²⁾のアンケート調査によると、スポー

選手が実際の競技場面でやっているクーリングダウンは平均時間が14—15分であり, 内容はストレッチング, 柔軟体操, ジョギング, 徒手体操などが中心になっている。また, Bonen & Belcastro⁵⁾がスポーツ選手を対象にして1マイルの全力走後の20分間に普段行っているのと同様のクーリングダウンを行わせたところ, その内容を平均すると徒手体操および柔軟体操が3.2分, 歩行が4.2分, ジョギングが5.5分, そして休息が7.2分からなる間欠的な運動であった。このように, 実際のスポーツ場面でのクーリングダウンとしては持続的な運動よりも間欠的な運動が行われる場合が多いように思われる。しかし Bonen & Belcastro⁵⁾の研究結果では, 前述の内容の間欠的クーリングダウンを行った場合の乳酸消失は中程度の持続走(平均 $61.4\% \dot{V}O_{2max}$)を行った場合より明らかに遅かった。この理由について彼らは, 間欠的クーリングダウンでは休息中に筋の代謝率が下がるのでエネルギー源としての乳酸利用が減るためであろうと述べている。しかし, 本研究における間欠運動の場合は運動量, 運動時間, 平均心拍数および平均 $\dot{V}O_2$ ともに持続運動より明らかに少なかったにもかかわらず, 乳酸消失に及ぼす効果の点では持続運動と同等であった。この結果の相違は, 運動の内容, 強度と時間配分および休息時間の設定の違いによるものと思われる。すなわち, Bonen & Belcastro の間欠的クーリングダウンではこれらの条件が個人によって大きく異っていたことが主な原因であると思われる。これに対して本研究の結果は, 運動強度が中程度に保たれ, 一回の休息が比較的短時間である場合には, 間欠的な運動によっても同じ強度の持続的運動と同程度の乳酸消失促進効果が得られることを示唆するものと思われる。

ま と め

本研究では激運動後のクーリングダウンとして中程度の運動を間欠的に行った場合の乳酸消失に及ぼす効果について検討することを目的とした。実験には自転車エルゴメータを用い, 激運動後に $40\% \dot{V}O_{2max}$ の運動と休息とを3分間ずつ交互に

反復する間欠的回復期運動を行った場合の血中乳酸消失速度を同じ $40\% \dot{V}O_{2max}$ の運動を持続的に行った場合と比較した。その結果, 間欠的回復期運動は持続的運動に比べて運動量および運動時間が1/2であり, 心拍数および $\dot{V}O_2$ からみた身体的負荷も明らかに少なかったが, 両条件における回復期中の血中乳酸濃度はいずれの時点においてもほぼ等しい値を示した。この結果は, 中程度の運動と短時間の休息からなる間欠的運動は激運動後のクーリングダウンとして行った場合, 同じ強度の持続的運動と同程度の乳酸消失促進効果をもつことを示唆するものと思われた。

引用・参考文献

- 1) Ahlborg, G., Felig, P., Hagenfeldt, L., Hendler, R. and Wahren, J., "Substrate turnover during prolonged exercise in man," *J. Clin. Invest.*, 53: 1080—90, 1974.
- 2) 浅見俊雄・万木良平・山崎省一, 「ウォーミングアップとクーリングダウンに関するアンケート調査」日本体育協会スポーツ科学研究報告, No. VI: ウォーミングアップとクーリングダウンに関する研究, 1983, pp. 51—73.
- 3) Baldwin, K.M., Campbell, P.J. and Cooke, D.A., "Glycogen, lactate, and alanine changes in muscle fiber types during graded exercise," *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 43: 228—91, 1977.
- 4) Belcastro, A.N. and Bonen, A., "Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise," *J. Appl. Physiol.*, 39: 932—36, 1975.
- 5) Bonen, A. and Belcastro, A.N., "Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates," *Med. Sci. Sports*, 8: 176—78, 1976.
- 6) Bonen, A., Campbell, C., Kirby, R.L. and Belcastro, A.N., "Relationship between slow-twitch muscle fibers and lactic acid removal," *Canad. J. Appl. Sport Sci.*, 3: 160—62, 1978.
- 7) Davis, C.T.M., Knibbs, A.V. and Musgrove, J., "The rate of lactic acid removal in relation to different baselines of recovery exercise," *Int. Z. Angew. Physiol.*, 18: 155—61, 1970.
- 8) Depocas, F., Minaire, Y. and Chatonnet, J., "Rates of formation and oxidation of lactic acid in dogs at rest and during moderate exercise," *Canad. J. Physiol. Pharmacol.*, 47: 603—10, 1969.
- 9) Dimsdale, J.E. and Moss, J., "Plasma cate-

- cholamines in stress and exercise," *J.A.M.A.*, 243 : 340—42, 1980.
- 10) Dimsdale, J.E., Hartley, L.H., Guiney, T., Ruskin, J. N. and Greenblatt, D., "Post-exercise Pril-Plasma catecholamines and exercise," *J.A.M.A.*, 251 : 630—32, 1984.
 - 11) Dodd, S., Powers, S.K., Callender, T. and Brooks, E., "Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise," *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 57 : 1462—65, 1984.
 - 12) Eldridge, F.L., T'So, L. and Chang, H., "Relationship between turnover rate and blood concentration of lactate in normal dogs," *J. Appl. Physiol.*, 37 : 316—20, 1974.
 - 13) Eldridge, F.L., "Relationship between turnover rate and blood concentration of lactate in exercising dogs," *J. Appl. Physiol.*, 39 : 231—34, 1974.
 - 14) Euler, U.S.V., "Sympatho-adrenal activity in physical exercise," *Med. Sci. Sports*, 6 : 165—73, 1974.
 - 15) Exton, J.H. and Park, C.R., "Control of gluconeogenesis in liver-II. Effects of glucagon, catecholamines and adenosine3',5'-monophosphate on gluconeogenesis in the perfused rat liver," *J. Biol. Chem.*, 243 : 4189—96, 1968.
 - 16) Gisolfi, C., Robinson, S. and Turrell, E.S., "Effects of aerobic work performed during recovery from exhausting work," *J. Appl. Physiol.*, 21 : 1767—72, 1966.
 - 17) Gisolfi, C. and Robinson, S., "Venous blood distribution in the legs during intermittent treadmill work," *J. Appl. Physiol.*, 29 : 368—73, 1970.
 - 18) Gisolfi, C. and Robinson, S., "Central and peripheral stimuli regulating sweating during intermittent work in men," *J. Appl. Physiol.*, 29 : 761—68, 1970.
 - 19) Haggendal, J., Hartley, H. and Saltin, B., "Arterial norepinephrine concentration during exercise in relation to the relative work levels," *Scand. J. Clin. Invest.*, 3 : 337—42, 1970.
 - 20) Hermansen, L. and Stensvold, I., "Production and removal of lactate during exercise in man," *Acta Physiol. Scand.*, 86 : 191—201, 1972.
 - 21) Hermansen, L. and Vaage, O., "Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise," *Am. J. Physiol.*, 233 : E422—E429, 1977.
 - 22) Hubbard, J.L., "The effect of exercise on lactate metabolism," *J. Physiol. (Lond.)*, 231 : 1—18, 1973.
 - 23) 池上晴夫・稲沢見矢子・近藤徳彦「乳酸消失からみたクーリング・ダウンに関する研究—特に漸減強度の回復期運動の効果について—」筑波大学体育科学系紀要, 9 : 151—58, 1986.
 - 24) Issekutz, B. Jr., Shaw, W.S. and Issekutz, A.C., "Lactate metabolism in resting and exercising dogs," *J. Appl. Physiol.*, 40 : 312—19, 1976.
 - 25) Jorfeldt, L., "Metabolism of L(+)-lactate in human skeletal muscle during exercise," *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 338, 1970.
 - 26) Levy, M.N., "Uptake of lactate and pyruvate by intact kidney of the dog," *Am. J. Physiol.*, 202 : 302—08, 1962.
 - 27) McGrail, J.C., Bonen, A. and Belcastro, A.N., "Dependence of lactate removal on muscle metabolism," *Eur. J. Appl. Physiol.*, 39 : 89—97, 1978.
 - 28) 村岡 功・石河利寛「尿中アドレナリン・ノルアドレナリン排泄に及ぼす運動強度及び時間の影響」第32回日本体力医学大会予稿集, 1977, p. 349.
 - 29) 長沢純一・吉野貴順・村岡 功「漸増最大自転車運動後の血中乳酸除去に及ぼす Anaerobic threshold を基準としたクーリング・ダウンの影響」*体力科学*, 34 : 407, 1985.
 - 30) Newman, E.V., Dill, D.B., Edwards, H.T. and Webster, F.A., "The rate of lactic acid removal in exercise," *Am. J. Physiol.*, 118 : 457—62, 1937.
 - 31) Poortmana, J.R., Bossche, J.D.V. and Leclercq, R., "Lactate uptake by inactive forearm during progressive leg exercise," *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 45 : 835—39, 1978.
 - 32) Rowell, L.B., Kraning, K.K. II., Evans, T.O., Kennedy, J.W., Blackmon, J.R. and Kusumi, F., "Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man," *J. Appl. Physiol.*, 21 : 1773—83, 1966.
 - 33) 白石龍生・駒井説夫・上林久雄「AT を基準とした回復期運動と血中乳酸除去との関係」*体力科学*, 33 : 293, 1984.
 - 34) Spitzer, J.J., "Effect of lactate infusion on canine myocardial free fatty acid metabolism in vivo," *Am. J. Physiol.*, 226 : 213—17, 1974.
 - 35) Stansby, W.N. and Welch, H.G., "Lactate metabolism of contracting dog skeletal muscle in situ," *Am. J. Physiol.*, 211 : 177—83, 1966.
 - 36) Stafmord, B.A., Moffatt, R.J., Weltman, A., Maldonald, C. and Curtis, M., "Blood lactate disappearance after supramaximal one-legged exercise," *J. Appl. Physiol.*, 45 : 244—48, 1978.
 - 37) Stamford, B.A., Weltman, A., Moffatt, R.J. and Sady, S., "Exercise recovery above and below anaerobic threshold following maximal work," *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 51 : 840—44, 1981.
 - 38) Wahren, J., Ferig, P., Hendler, R. and Ahlborg, G.,

- "Glucose and amino acid metabolism during recovery after exercise," *J. Appl. Physiol.*, 34 : 838—45, 1973.
- 39) Watson, R.D.S., Hamilton, C.A., James, D.H., Reid, J.L., Stallard, T.J. and Littler, W.A., "Sequential changes in plasma noradrenarine during bicycle exercise," *Clin. Sci.*, 58 : 37—43, 1980.
- 40) Weltman, A., Stamford, B.A. and Fusco, C., "Recovery from maximal effort exercise : lactate disappearance and subsequent performance," *J. Appl. Physiol.*, 47 : 677—82, 1979.
-