

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—

池上晴夫・稲沢見矢子*・近藤徳彦**

Study on cool-down exercise in connection with lactate disappearance: Effect of the recovery exercise of decremental pattern

Haruo IKEGAMI, Miyako INAZAWA*, Narihiko KONDO**

In order to investigate the efficiency of cool-down exercise for quick disappearance of lactate, five well trained male subjects performed recovery exercise of four different patterns for 30 minutes after the intensive intermittent work using a bicycle ergometer. Three different intensities of constant load exercise of 20%, 40% or 60% $\dot{V}O_2$ max and a decremental exercise which consisted of 60%, 40% and 20% $\dot{V}O_2$ max were selected as the recovery exercises. Resting recovery in which subjects kept rest in sitting position was used for a control study. Blood samplings were drawn from the median cubital vein before the intensive work and during recovery period to determine the blood lactate concentration.

Results obtained were as follows:

- 1) Blood lactate disappearance was clearly accelerated by recovery exercise, compared with keeping rest during recovery period.
- 2) The average blood lactate disappearance rate for whole recovery period was greater in the 40% $\dot{V}O_2$ max exercise than in other constant load exercises. But it was greater in the 60% $\dot{V}O_2$ max exercise than in the 40% $\dot{V}O_2$ max exercise during the high blood lactate concentration period, while it was equal in the 20% $\dot{V}O_2$ max exercise and in the 40% $\dot{V}O_2$ max exercise during the low concentration period.
- 3) The peak of blood lactate concentration tended to be lower and to appear earlier in the exercise recovery than in the resting recovery. This tendency became more pronounced as exercise load increased.
- 4) Final blood lactate concentration in the decremental exercise approached to the same level as in the constant load exercise of 40% $\dot{V}O_2$ max. However, the results of 2) and 3) suggested that it was a efficient way for quick disappearance of lactate to perform the recovery exercise of decremental pattern.

緒言

激しい運動の後には、安静にしているよりも適度な運動を行う方が、血中の乳酸が速やかに消失することが明らかになっている^{2),3),5),10),}

11),17),18),20),23),24),25)。乳酸は「疲労物質」とも呼ばれ、激運動などによって筋中や血中に多量に蓄積すると、pHが低下したり、一時的に筋収縮が阻害されたり、呼吸が苦しくなるなどして運動の続行

*筑波大学体育研究科

**筑波大学体育科学研究科

が困難となる^{1),26)}。したがって、激運動後にできるだけ速やかに乳酸を消失させるクーリング・ダウンの方法を検討することは、疲労回復の面からも、また、特に陸上競技のトラック種目や水泳競技などで予選と決勝との間の時間が短い場合に決勝で良い成績を収めるためにも必要であると思われる。乳酸消失のためのクーリング・ダウンとして、回復期に運動を行う場合の最も効果的な運動強度についてはすでに多くの研究がなされている^{2),3),5),11),20),23),25)}。これらの研究結果は必ずしも一致していないが、回復期運動に自転車エルゴメーターを用いて一定強度の運動を行った場合は30—40% $\dot{V}O_2$ maxの範囲内にあり^{2),5),25)}、いわゆる「適度な運動」が最も効果的であるとする報告が多い^{18),20)}。

しかし、これらの研究で用いられた回復期運動はすべて一定強度の運動であった。これらの運動中における血中乳酸の消失速度は一定ではなく、経過時間ないし血中乳酸濃度によって変化している。したがって、より速やかに乳酸を消失させるためには、一定強度の運動を行うよりも、回復期中の各時点における血中乳酸濃度のレベルに合わせて最も効果的な運動強度を選び、それらを組み合わせた方がより有効であると考えられる。しか

しながら、乳酸消失速度と運動強度との関係について、血中乳酸濃度との関連から検討した研究は見られない。

そこで本研究では、一定強度の回復期運動を用いたBelcastro and Bonen²⁾の研究結果を参考にして、回復期を初期・中期・末期の3区間に分け、それぞれ高・中・低強度の運動を負荷する漸減強度の回復期運動を設定した。すなわち、血中乳酸濃度の低下に伴って運動強度を漸減させるのである。本研究では、この漸減強度の回復期運動が乳酸消失に及ぼす影響について、一定強度運動の場合と比較・検討することを目的とした。また、一定強度の回復期運動中における乳酸消失速度と血中乳酸濃度の関係についても検討した。

方 法

被検者：被検者は陸上競技（短及び中・長距離）を専門とする男子学生5名であり、年齢は19—21歳、身長は173.7±5.1cm、体重は62.4±6.2kg、自転車エルゴメーターによる $\dot{V}O_2$ maxは体重あたり62.8±6.0ml/minであった。

実験概要：運動のプロトコールは、安静30分、ウォーミング・アップ6分、激運動1分×3回（3分間ずつ休息をはさむ）、及び回復期30分となって

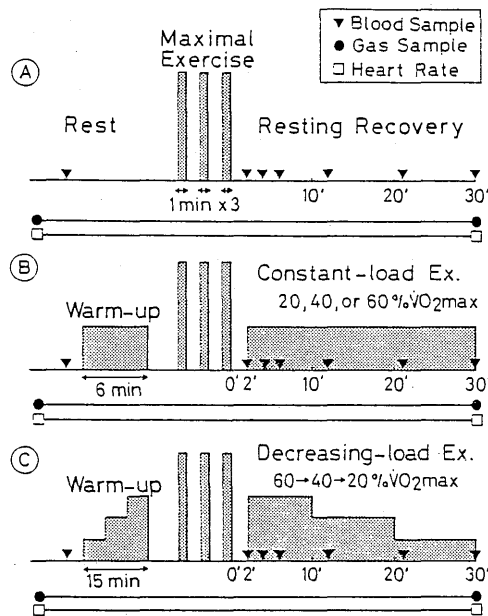


Fig. 1. Experimental protocols.

いる (Fig.1)。回復期の初めの2分間は安静とし、その後、一定強度の回復期運動、漸減強度の回復期運動、あるいは安静保持のいずれかを28分間行った。一定強度の回復期運動としては、被検者の特性から推定される^{8),14)}AT付近である60% $\dot{V}O_2\max$ と、乳酸消失に最も効果的である^{2),5),25)}とされる40% $\dot{V}O_2\max$ 、及び極めて低い強度である20% $\dot{V}O_2\max$ の3種類を設けた (以下それぞれ、60%運動、40%運動、及び20%運動と呼ぶ)。漸減強度の回復期運動は1種類で、回復期10分までは60%、次の10分間は40%、最後の10分間は20% $\dot{V}O_2\max$ の運動を行うものとした (以下、漸減運動と呼ぶ)。安静保持は椅座位とした (以下、安静回復と呼ぶ)。これら合計5種類の回復条件の実験はそれぞれ別々の日に実施した。運動にはすべてモナーク社製自転車エルゴメーターを用いた。

測定項目: 測定項目は、血中乳酸濃度、酸素摂取量、及び心拍数であった。血中乳酸濃度は運動前安静時と回復期2分、4分、6分、12分、21分、及び30分の各時点に、肘正中皮静脈に挿入された留置針より採血し、ロシェ社製Lactate Analyzer 640を用いて分析した。酸素摂取量及び心拍数はマイン・ハート社製Oxycon-4を用いて、実験全体を通じて1分ごとに連続して測定・記録した。

実験手順: まず、実験室に来室後、被検者には椅座位で30分間の安静を保持させたうえ、採血を行った。次に、ウォーミング・アップとして回復期運動と同じ負荷 (kp) で6分間の運動 (50rpm) を行った。漸減運動の場合のウォーミング・アップは20%→40%→60% $\dot{V}O_2\max$ の順に5分ずつ行った。その後、激運動として、 $\dot{V}O_2\max$ の測定の際に行った最高の負荷 (4-5 kp) を用いて1分間の運動を3分間の休息をはさんで3回実施した。ペダル回転数は1回目の運動では60rpmに固定した。残りの2回は前半の30秒間のみ60rpmに固定し、後半の30秒間は全速回転とした。つづく回復期には、初めの2分間はいずれの条件でも自転車に腰かけたままの姿勢で安静を保ち、残りの28分間に前述の5種類の条件のうちのいずれかを行った。回復期運動のペダル回転数はいずれも50rpmであった。

統計処理: 各平均値間の有意差の検定にはpaired-t-testを用い、有意水準の判定はすべて $P < 0.05$ をもって有意とした。

結 果

各回復条件における血中乳酸濃度の経時的变化をTable 1及びFig.2に示した。血中乳酸濃度の安

Table 1 Blood lactate concentration (mmol/l)

Recovery	Recovery time (min)						Resting level
	2	4	6	12	21	30	
RR	10.5	11.7	12.0	11.0 [†]	8.5 [†]	6.7 [†]	1.2
	± 1.3	± 1.3	± 1.3	± 1.9	± 1.9	± 1.8	± 0.4
20%E	10.5	11.6	11.3	8.6*	4.6*	2.5*	1.2
	± 1.7	± 1.2	± 1.1	± 1.1	± 0.8	± 0.6	± 0.3
40%E	10.6	10.7	10.2*	6.5*	3.1* [†]	1.8*	1.0
	± 2.6	± 1.5	± 1.0	± 1.3	± 0.9	± 0.5	± 0.4
60%E	10.4	10.8	9.7* [†]	6.6*	4.1*	3.1*	1.0
	± 2.3	± 2.1	± 1.6	± 2.0	± 1.9	± 2.1	± 0.3
DE	10.1	10.3	9.3* [†]	6.2*	2.8* [†]	1.6*	1.0
	± 1.2	± 1.3	± 1.5	± 1.7	± 1.0	± 0.4	± 0.2

Mean ± S.D.

RR: Resting recovery; 20%E, 40%E, and 60%E: Recovery exercise of 20%, 40%, and 60% $\dot{V}O_2\max$, respectively; DE: Decremental exercise

* and † denote values that are significantly ($p < 0.05$) different from RR and 20%E values, respectively.

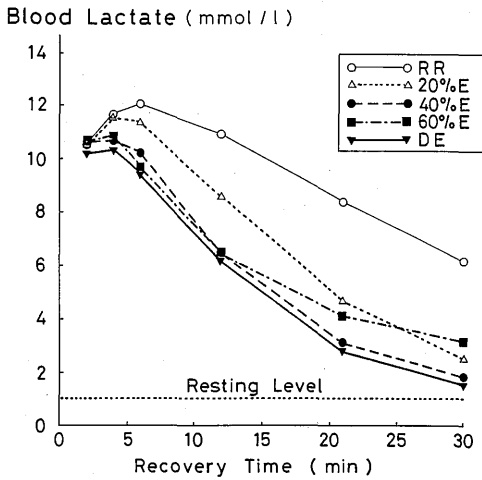


Fig. 2. Changes in blood lactate concentration during recovery periods.

静値は1.0—1.2mmol/lであり、最大運動によって上昇して、回復期2分ではいずれも10.1—10.6mmol/lのほぼ等しい値となった。回復期4分ではいずれもさらに上昇して、安静回復、20%運動、60%運動、40%運動、漸減運動の順に高値であったが、その差はわずかであり有意差は認められなかった。回復期6分では安静回復を除いていずれも低下し、安静回復、20%運動、40%運動、60%運動、漸減運動の順となり、運動強度が強いほど低値になる傾向を示した。安静回復と40%、60%及び漸減運動との間にはそれぞれ有意差が認められた。また、20%運動と60%及び漸減運動との差も有意であった。回復期6分以後はいずれの条件においても時間の経過に伴って血中乳酸濃度が低下した。回復期12分では安静回復、20%運動、60%運動、40%運動、漸減運動の順に高値を示し、60%運動と40%運動の値はほぼ等しかった。回復期12分、21分、及び30分ではすべて安静回復と各運動との間に有意差が認められた。回復期21分では60%運動より40%運動の方が明らかに低値となり、40%及び漸減運動は20%運動との間にも有意差が認められた。回復期30分では、さらに20%運動と60%運動が入れ替わり、安静回復、60%運動、20%運動、40%運動、漸減運動の順になった。

血中乳酸濃度のピークは安静回復の場合が6分で、他の場合はいずれも4分であったが、このピークについて、個人ごとのデータを平均すると、安

静回復：6.8分、20%運動：4.4分、40%運動：3.2分、60%運動：2.8分、及び漸減運動：3.0分であった。また、ピーク値についても同様に、個人ごとのデータを平均するとそれぞれ、12.1、11.8、11.4、10.9、及び10.3 (mmol/l)であった。すなわち、回復期に運動を行うとピークが早く出現し、しかも低値となる傾向が示された。また、この傾向は運動強度が強いほど顕著であった。

血中乳酸の消失速度と血中乳酸濃度との関係について検討するため、血中乳酸濃度の経時的变化を示したFig.2のグラフを、3次のスプライン関数を用いて補間し¹⁵⁾、求めた曲線のピーク以後について1分ごとにその勾配を求めた。この勾配を「乳酸消失速度 (mmol/l・min)」として、Fig.3に血中乳酸濃度との関係を示した。(Fig.3の横軸は、時間の経過に対応して、右側へいくほど血中乳酸濃度が低くなるようにした。)

一定強度運動の場合についてみると、回復期の初め(すなわち、血中乳酸濃度が高い時点)には、60%運動の場合の乳酸消失速度が最も速く、その最高値は血中濃度が10.4mmol/lの時点の0.70mmol/l・minであった。しかし、60%運動の場合はその後血中濃度の低下に伴って急激に減少し、血中濃度が9.3mmol/lの時点(回復期7—8分に相当する)からは、40%運動の速度の方が速くなった。40%運動の乳酸消失速度の最高値は0.71mmol/l・min(血中濃度が7.9mmol/lの時点)であり、その後やや急激に減少した。血中濃度が4.0mmol/lの時点(回復期19—25分に相当する)からは、40%運動と20%運動の乳酸消失速度がほぼ等しかった。20%運動の場合の最高速度は0.50mmol/l・min(血中濃度が9.1mmol/lの時点)であった。

安静回復の乳酸消失速度は常に最も遅く、最高値は0.29mmol/l・min(血中濃度が11.0mmol/lの時点)であった。しかし、その速度は血中濃度が低下してもほぼ一定の値を示した。

漸減運動においては、回復期10分、及び20分に強度の切り換えを行ったが、これは血中乳酸濃度になるとそれぞれ、7.1、及び3.0mmol/lの時点に相当した (Fig.3に▼印で示した)。漸減運動の乳酸消失速度は、回復初期において同一条件である60%運動の場合より遅かった。また、強度を40% $\dot{V}O_2$ maxに切り換えた時点においても40%運動の場合より遅かった。しかし、その後は血中濃度の低下に対して比較的ゆるやかに減少したので、

血中濃度が5.2mmol/l以下のレベルでは、40%及び20%運動よりわずかに速く、60%運動よりは明らかに速かった。漸減運動の乳酸消失速度の最高値は0.58mmol/l・min（血中濃度が9.3mmol/lの時点）であった。

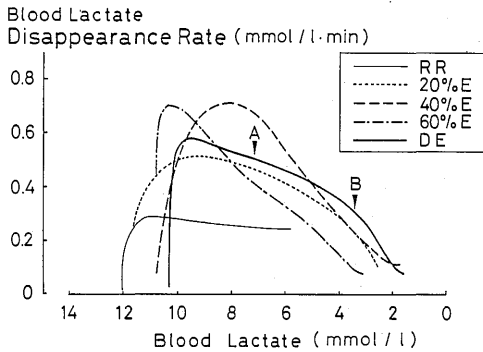


Fig. 3. Blood lactate disappearance rate in relation to blood lactate concentration. ▼(A) and ▼(B) indicate the point that exercise intensity was switched from 60% to 40% $\dot{V}O_2$ max and from 40% to 20% $\dot{V}O_2$ max, respectively.

考 察

激運動によって活動筋では多量の乳酸が産生され、その濃度は20—30mmol/kg (wet weight) に達するという²²⁾。このように活動筋に蓄積された乳酸の一部は筋中で処理され^{9),12)}、一部は血中に放出されて体内の水分分画に拡散する^{9),22)}。こうして、体内に拡散した乳酸は血液を介して肝臓、腎臓、心筋、非活動筋及び活動筋などの乳酸処理組織に取り込まれ、除去される^{4),16),19),21),28)}。激運動後の回復期に適度な運動を行うことによって乳酸消失が加速されるのは、運動によって組織の血流量が増加するため、活動筋からの乳酸の洗い出し、及び乳酸処理組織における乳酸の取り込みが増大するためと考えられている^{2),5),6),17),19),24)}。

運動中は、その強度が強いほど心筋や骨格筋の血流量が増加するので、この点だけに注目すると、回復期運動は強いほど乳酸消失が速いように思われる。しかし、重要な乳酸処理組織の1つである肝臓や腎臓の血流量は運動強度の増加に伴って減少することが知られている^{7),21),27),28)}。また、運動が強すぎると逆に活動筋における乳酸産生が増加す

る。したがって、乳酸をより速やかに消失させるための回復期運動の強度については、乳酸の産生と除去のバランスという点から検討されなければならない。

Belcastro and Bonen²⁾は、自転車エルゴメーターを用いて30—80% $\dot{V}O_2$ maxの一定強度の回復期運動を行った結果、29.7—45.3% $\dot{V}O_2$ maxの強度の場合に最も乳酸消失が速やかであると報告した。また、Davis et al⁵⁾は、40% $\dot{V}O_2$ maxが最も速やかであるとしている。白石たち²³⁾は、乳酸消失が最も速やかである回復期運動の強度には個人差が大きい、いずれも各個人のATレベル（平均44.9% $\dot{V}O_2$ max）での乳酸消失が最も速やかであったことを指摘している。本研究においても、回復期終了時の血中乳酸濃度は一定強度運動の中では40%運動の場合が最も低値となり、乳酸消失が最も速やかであることが示された。これらの結果から、一定強度の回復期運動によって乳酸を速やかに消失させるには、乳酸産生が増加しない範囲内で、なるべく強い運動を行うのが効果的であると考えられる^{2),5),11)}。

しかし、本研究では、回復初期（6分）においては40%運動よりも60%運動の方が血中乳酸濃度がやや低かった（Table 1, Fig.2）。また、個人ごとのデータを平均した血中乳酸濃度のピークは40%運動よりも60%運動の方が早く（2.8分<3.0分）、ピーク値も低かった（10.9mmol/l<11.4mmol/l）。本研究と同様に、Stamford et al²⁵⁾が回復期運動として70% $\dot{V}O_2$ maxと40% $\dot{V}O_2$ maxの一定強度運動を行った研究においても、血中乳酸濃度のピークは70% $\dot{V}O_2$ maxの方が早く（3分<5分）、回復初期における乳酸消失は70% $\dot{V}O_2$ maxの方が速やかである傾向が示された。これらの理由は主に、血流量の増加により、筋からの乳酸の洗い出し、及び乳酸処理組織における乳酸の摂取率が増加するためと思われる。

ところが、本研究の60%運動における乳酸消失速度は、血中乳酸濃度が低下するにつれて急激に減少し、血中濃度が9.3mmol/l以下になると40%運動の方が速くなった。一方、20%運動における乳酸消失速度は、回復初期には他に比べて遅かったが、血中濃度の低下に対して比較的ゆるやかに減少したため、血中濃度が4.0mmol/l以下のレベルでは、40%運動の場合とほぼ等しい速度となった（Fig.3）。これは、乳酸処理組織における乳酸

の摂取率が血流量だけでなく、血中乳酸濃度によっても影響される^{5),6),13),21)}ためと考えられる。

組織における乳酸の摂取率は、血中乳酸濃度、組織血流量、及び組織のfractional uptake ($a-v$ differ/arterial concentration)との関数であると言われている^{6),16)}。すなわち、次式のように表すことができると思われる。

$$\text{Lactate removal rate (mmol/min)} = C \times \dot{Q} \times F$$

C : blood lactate concentration (mmol/l)

\dot{Q} : tissue blood flow (l/min)

F : fractional uptake

Fが運動によって変化するかどうかは明らかではないが、ここでは変化しないと仮定する。すると、回復初期には血中乳酸濃度(C)が高いため、比較的強い運動を行って組織血流量(\dot{Q})を増加させた方が、乳酸摂取率増加の絶対値が大きくなって、乳酸消失が速くなると考えられる。しかし、時間の経過に伴って血中乳酸濃度が低くなると、同じ血流増加による乳酸摂取率増加の絶対値は小さくなる。一方、筋による乳酸産生は血中乳酸濃度の影響を受けず、運動強度が強いほど大きく増加する。このため、回復期後半には中～低強度の運動時の方が乳酸消失が速やかになると考えられる。したがって、回復期運動の強度は、血中乳酸濃度の低下に合わせて漸減させることが効果的であると考えられる。

このような観点から本研究では漸減運動を行った。その結果、回復期6分の血中乳酸濃度は20%運動及び40%運動よりも低い値を示し(Table 1, Fig. 2)、個人ごとのデータを平均したピークも早く(3.0分)、しかも低値であった(10.3mmol/l)。したがって、回復初期においては比較的強い運動を行う方が乳酸消失が速やかであることが確認された。しかし、漸減運動の乳酸消失速度(Fig. 3)は、回復期6分(すなわち血中濃度が9.3mmol/lの時点)以後増加せず、40%運動の値より低い値にとどまった。血中濃度が5.2mmol/l以下の時点では他に比べてやや速い速度を示したが、血中乳酸濃度は40%運動に比べてわずかに低だけだった(Fig. 2)。このように、本研究における漸減運動では一定強度運動よりも乳酸消失が速やかであるという明白な結果は得られなかった。この理由としては、漸減運動における強度の切り換えが遅かったことが考えられる。すなわち、一定強度運動における結果より、血中乳酸濃度が9.3mmol/l

の時点、すなわち回復期6分に、60% $\dot{V}O_2$ maxから40% $\dot{V}O_2$ maxに切り換えるのが最も乳酸消失速度の速い組み合わせであると考えられたが、漸減運動において実際に切り換えたのは回復期10分であった。また、もう1つの理由としては、ウォーミング・アップの条件の違いが乳酸消失に何らかの影響を及ぼしていることが考えられるが、この点については明らかではない。

このように、今回の実験では、一定強度運動よりも漸減強度運動の方が乳酸消失が速やかであるという明白な結果は得られなかったが、回復初期においては、比較的強い60%運動を行った方が効果的であり、その後は中程度の40%運動の方が有効であることが示された。また、回復末期にはきわめて軽い20%運動と40%運動の乳酸消失速度が等しくなった。したがって、クーリング・ダウンとしては、生体に対する負荷が少ない方が望ましいので60%→40%→20% $\dot{V}O_2$ maxという漸減強度の回復期運動を行うのが妥当であると考えられた。

総 括

本研究では、激運動後により速やかに乳酸を消失させるためのクーリング・ダウンの方法として、漸減強度の回復期運動が効果的であろうとの仮説を立て、回復期の漸減強度運動が乳酸消失に及ぼす効果について一定強度運動の場合と比較・検討した。実験は5名の鍛練者を被検者とし、自転車エルゴメーターを用いてまず激運動(1分×3回)を行い、その後の回復期(30分)に、60%、40%、あるいは20% $\dot{V}O_2$ maxの一定強度運動と、これらの強度を組み合わせた漸減強度運動(60%→40%→20% $\dot{V}O_2$ maxの順に10分ずつ)と、安静保持とをそれぞれ行った。運動前安静時、及び回復期中の血中乳酸濃度を測定し、その変化パターンを比較した。主な結果は以下のとおりであった。

1) 回復期に安静を保持する場合に比べ、運動を行うことによる乳酸消失の加速効果が明らかにされた。

2) 一定強度運動の中では40% $\dot{V}O_2$ maxの場合の乳酸消失が最も速やかであった。しかし、乳酸消失速度は血中乳酸濃度によって異なり、血中乳酸濃度が高い場合は60% $\dot{V}O_2$ maxの場合の方が速く、血中乳酸濃度が低くなると、20% $\dot{V}O_2$ maxの場合でも40% $\dot{V}O_2$ maxの場合と同程度の効果

であった。

3) 血中乳酸濃度のピーク値は、回復期運動の強度が強いほど低く、しかも早期に出現する傾向が認められた。

4) 漸減強度運動における乳酸消失は $40\% \dot{V}O_2 \text{ max}$ の一定強度運動の場合と同程度の速さであった。しかし、2)及び3)の結果から判断すると、回復期運動のパターンとしては漸減強度を用いるのが妥当であると考えられた。

引用・参考文献

- 1) Astrand, P.O., and Rodahl, K. (浅野勝己訳), 運動生理学, 大修館書店, 1976, p.80.
- 2) Belcastro, A.N. and Bonen, A., "Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise", *J. Appl. Physiol.*, 39-6: 932-936, 1975.
- 3) Bonen, A. and Belcastro, A.N., "Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates", *Med. Sci. Sports*, 8: 176-178, 1976.
- 4) Bonen, A., Campbell, C.J., Kirby, R.L. and Belcastro, A.N., "Relationship between slow-twitch muscle fibers and lactic acid removal", *Canad. J. Appl. Sport Sci.*, 3: 160-162, 1978.
- 5) Davies, 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: 155-161, 1970.
- 6) Eldridge, F.L., "Relationship between turnover rate and blood concentration of lactate in exercising dogs", *J. Appl. Physiol.*, 39-2: 231-234, 1975.
- 7) Felig, P. and Wahren, J., "Amino acid metabolism in exercising man", *J. Clin. Invest.*, 50: 2703-2714, 1971.
- 8) Fox, E.L., "Sports physiology, 2nd ed., Holt-Saunders International Editions: New York, 1984. pp.190-191.
- 9) Freud, H., Zouloumian, P., Enguelle, S.O. and Lampert, E., "Lactate kinetics after maximal exercise in man", *Medicine Sport Sci.*, 17: 9-24, 1984.
- 10) Gisolfi, C., Robinson, S. and Turrell, E.S., "Effects of aerobic work performed during recovery from exhausting work", *J. Appl. Physiol.*, 21-6: 1767-1772, 1966.
- 11) Hermansen, L. and Stensvold, I., "Production and removal of lactate during exercise in man", *Acta Physiol. Scand.*, 86: 191-201, 1972.
- 12) Hermansen, L. and Vaage, O., "Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise", *Am. J. Physiol.*, 233: E422-E429, 1977.
- 13) Issekutz, B.J.R., Shaw, W.A.S and Issekutz, A.C., "Lactate metabolism in resting and exercising dogs", *J. Appl. Physiol.*, 40-3: 312-319, 1976.
- 14) 池上晴夫, 運動処方, 朝倉書店, 1982. pp.100-101.
- 15) 市田浩三, 吉本富士市, スプライン関数とその応用, 教育出版, 1982, pp.43-59.
- 16) Jorfeldt, L., "Metabolism of L(+)-lactate in human skeletal muscle during exercise", *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 388: 5-67, 1970.
- 17) 駒井説夫, 白石龍生, 上林久雄「短時間の激運動後の最大下運動が血中乳酸及び血清FFAに及ぼす影響」*体力科学*, 31: 306-311, 1982.
- 18) 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: 457-462, 1937.
- 19) Poortmans, 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.*, 45-6: 835-839, 1978.
- 20) Rämmal, K. and Ström, G. "The rate of lactate utilization in man during work and rest", *Acta Physiol. Scand.*, 17: 452-456, 1949.
- 21) Rowell, L.B., Kraning, K.K. and Kusumi, F., "Splanchnic removal of lactate and pyruvate during prolonged exercise in man", *J. Appl. Physiol.*, 21-6: 1773-1783, 1966.
- 22) 齊藤満, 宮村実晴, 大桑哲男, 藤墳規明, 油座信男, 安田好文, 山本親「回復期血中乳酸動態からの筋乳酸量の推定」*東海保健体育科学*, 2: 37-46, 1980.
- 23) 白石龍生, 駒井説夫, 上林久雄「ATを規準とした回復期運動と血中乳酸除去との関係」(抄録)*体力科学*, 33-6: 293, 1984.
- 24) Stamford, B.A., Moffatt, R.J., Weltman, A., Maldonado, C. and Curtis, M., "Blood lactate disappearance after supramaximal one-legged exercise", *J. App. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 45-2: 244-248, 1978.
- 25) Stamford, B.A., Weltman, A., Moffatt, R.

- and Sady, S., "Exercise recovery above and below anaerobic threshold following maximal work", *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 51: 840-844, 1981.
- 26) Tesch, P.A., Komi, P.V., Jacobs, I., Karlsson, J. and Viitasalo, J.T., "Influence of lactate accumulation of EMG frequency spectrum during repeated concentric contractions", *Acta Physiol. Scand.*, 119: 61-67, 1983.
- 27) Wahren, J., Felig, P., Ahlborg, G. and Jorfeldt, L., "Glucose metabolism during leg exercise in man", *J. Clin. Invest.* 50: 2715-2725, 1971.
- 28) Wahren, J., Felig, P., Hendler, R. and Ahlborg, G., "Glucose and amino acid metabolism during recovery after exercise", *J. Appl. Physiol.*, 34-6: 838-845, 1973.