運動中の血中乳酸動態に対するウォーミング・アップの影響

後 藤 真 二* 池 上 晴 夫**

THE EFFECTS OF WARMING-UP ON THE BLOOD LACTATE KINETICS DURING EXERCISE

SHINJI GOTO and HARUO IKEGAMI

Abstract

The present investigation was designed to examine the effects of warming-up (W-up) on the blood lactate kinetics during 5 minutes of pedaling exercise. Five healthy male adults were the subjects. The intensity of the criterion task (CT) was about 80% $\dot{V}O_{2\max}$, and that of the W-up was a work load corresponding to the anaerobic threshold. Between W-up and CT there were five-minute rest periods on the bicycle ergometer. In order to determine the blood lactate values, blood samples were taken from the antecubital vein at the following times: rest, pre-CT, and 3, 5, 7, and 30-minutes after CT. Expired gas was analysed continuously for the calculation of $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, R, $\dot{V}E$. The heart rate was recorded every minute from ECG.

Blood lactate values increased 3.23 ± 0.91 mmol/l after W-up, a significant increase over the resting values. The peak blood lactate during the W-up experiment (4.62 ± 0.84 mmol/l) was significantly lower than that of the control experiment (6.48 ± 1.69 mmol/l). Differences in lactate before and after CT (ΔLa) was found to be significantly lower in experiments with W-up (1.39 ± 0.99 mmol/l) as compared with control experiments (5.37 ± 1.62 mmol/l). In one subject, the blood lactate levels decreased during CT after W-up, while lactate levels increased during CT without W-up. $\dot{V}O_2$ during CT were very similar in both experiments. These results indicate that this kind of W-up delays the rate of blood lactate accumulation during CT.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1987, 36: 78~84)

key words : warming-up, blood lactate, constant load exercise

I. 緒 言

乳酸の過剰な蓄積は運動のパフォーマンスにとって好ましくないものと考えられている¹⁸⁾³⁹⁾⁴³⁾。乳酸は運動を行うと増加するが、その蓄積動態は運動負荷方法の違いによって異なる。漸増負荷運動では、軽い負荷の運動中は血中乳酸はほとんど増加しないが、ある強度を越えると運動強度の増大に伴って指数関数的に増加する。この血中乳酸が安静値を越えて蓄積を開始する負荷もしくは酸素摂取量は無酸素性作業閾値（以下 AT と略す）

と呼ばれている⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹⁸⁾²⁷⁾⁴²⁾。固定負荷運動の場合には、AT 以下の強度では血中乳酸の蓄積は起らないが、それ以上の強度では強度が強いほど血中乳酸の蓄積速度は速く、運動終了時の血中乳酸濃度は運動時間が長い方が高くなる傾向にある¹⁰⁾¹⁶⁾。血中乳酸値は同一強度の運動を行っても、環境温度、脱水、食事等によって影響されることが報告されているが¹⁴⁾²¹⁾²²⁾²³⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾³¹⁾³⁴⁾⁴⁵⁾、事前に運動を行うことやくり返し運動を行うことの影響に関する研究は少ない²⁴⁾。Davis & Gass¹⁰⁾、および Davis et al.¹¹⁾、は疲労困憊に至る漸増負

* 筑波大学体育科学研究科
茨城県新治郡桜村天王台 1-1-1
筑波大学体育科学系棟 A302*, A303**
** 筑波大学体育科学系

Doctoral Program in Health and Sport Science, University of
Tsukuba Sakura-mura, Niihari-gun, Ibaraki(305)
Institute of Health and Sports Science, University of Tsukuba

荷テストを5分間の安静をはさんで実施した場合、ガス交換パラメーターを指標として決定したATは2回のテストで等しかったが、血中乳酸動態は両テストで異なったことを報告した。しかし固定負荷運動中の血中乳酸動態に、事前の運動の有無が影響するかどうかについては報告を見ない。

ところで競技や強い運動を実施する前には何らかの準備運動を行うことが常であり、これは一般にウォーミング・アップ (以下 W-up と略す) と呼ばれている。W-up に関してはこれまでも多くの研究がなされているが、その科学的意義はまだ十分に解明されているとはいえない。特に全身持久性に対して W-up がどう貢献するかという点に関しては結果が一致せず、一定の結論が下せない状況にあるものと考えられる²⁰⁾³⁰⁾⁴²⁾。この点に関連して、W-up がその後の運動の血中乳酸動態を変化させるかどうかを検討することは、W-up の生理学的意義の面からも、パフォーマンスに与える影響の面からも重要な問題であると思われる。

そこで本研究では、80% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の5分間ペダリングを課題作業として、その前に W-up を行った場合と行わなかった場合とで血中乳酸の蓄積に差が生じるかどうかを検討することを目的とした。

II. 方 法

被験者は健康な成人男子5名であり、その身体的特性は表1に示したとおりであった。

運動には自転車エルゴメーター (モナーク社製) を用い、ペダル回転数は毎分60回転とした。

まず事前に最大酸素摂取量および AT を以下のプロトコールによって決定した。最初の2分間は0ワットの負荷で運動を行い、以後疲労困憊に至るまで2分毎に30ワットずつ負荷を増加した。酸素摂取量、二酸化炭素排出量、分時換気量、および呼吸商 (以下それぞれ $\dot{V}O_2$, $\dot{V}CO_2$, $\dot{V}E$, R と略す) は自動呼気ガス分析器 (Beckman 社製 Horizon MMC system)²⁸⁾ によって1分毎に測定し、同時に心拍数を胸部双極誘導の心電図法によって記録した。各負荷強度における後半1分間の $\dot{V}E$ を縦軸に、負荷強度を横軸にとって作図し、 $\dot{V}E$ が非直線的に急上昇を開始する直前の点を AT とした。

課題作業 (以下 CT と略す) の強度は血中乳酸値の増加を引き起こすように、被験者の AT よりも高い80% $\dot{V}O_{2max}$ とし、持続時間は血中乳酸蓄積がプラトーにならないように5分間とした。その前に W-up として前述の漸増負荷テストにおいて AT の出現した負荷強度で10分間のペダリングを行い、引き続き自転車エルゴメーター上で5分間の座位安静をとった後に CT を実施した。一方コントロール実験として、別の日に起床後できるだけ身体活動をひかえ、さらに CT 前に30分以上の座位安静を保った後にただちに CT を実施する実験を行った。いずれの実験の場合にも、被験者は実験前日から激しい身体活動を避け、実験は全て午前中に朝食をとらずに実施した。また両実験は少なくとも48時間以上の間隔をとって行っ

Table 1. Characteristics of subjects

subject	age years	height cm	weight kg	$\dot{V}O_{2max}$ ml/kg·min	$\dot{V}O_{2-AT}$ % $\dot{V}O_{2max}$
S. N.	20	178.5	61.0	61.7	59.7
Y. I.	22	169.5	72.0	54.1	66.0
N. K.	23	176.0	60.0	59.0	68.8
K. K.	25	165.0	63.5	49.0	60.4
T. N.	24	174.5	63.0	53.6	49.7
Mean	22.8	172.7	63.9	55.5	63.0
S. D.	1.9	5.4	4.7	5.0	8.4

た. ガス交換パラメーターは前述の自動呼気ガス分析器により, W-up 実験では W-up 開始 5 分前から CT 終了後 30 分目まで, またコントロール実験では CT 開始 10 分前から CT 終了後 30 分目まで 1 分毎に連続して測定した. またコントロール実験では安静時, CT 後 3 分, 5 分, 7 分, および 30 分目に肘静脈より採血し, W-up 実験ではそれに加えて CT 開始直前にも採血し, 乳酸分析器 (Roche 社製 Model 640) によって血中乳酸値を測定した.

III. 結 果

W-up 終了直前の 2 分間の値を平均して求めた W-up の相対強度は, $65.6 \pm 5.4\% \dot{V}O_{2\max}$ であり, 漸増負荷テストにおいて決定した AT ($63.0 \pm 8.4\% \dot{V}O_{2\max}$) とほぼ同じであった.

血中乳酸値の変化を図 1 に示した. 運動前の安

Fig. 1. Changes in blood lactate values during CT with or without W-up. Asterisks indicate statistically significant differences between tow experiments.

静時血中乳酸値はコントロール実験では 1.11 ± 0.29 mmol/l, W-up 実験では 1.04 ± 0.35 mmol/l とほぼ等しかった. W-up を行うことによって血中乳酸値は増加し, CT 直前の値は 3.23 ± 0.91 mmol/l となり, 安静値に比べて有意に高まった ($P < 0.05$). CT を行うことによってコントロール実験では全被験者に, また W-up 実験では 1 名を除く全被験者に血中乳酸値の増加が認められた. CT 後 3 分, 5 分, および 7 分目の血中乳酸値の

うちの最高値 (以下ピーク La と略す) は 5 名中 4 名の被験者では W-up 実験においてコントロール実験よりも低値を示し, 両者の平均値には有意差が認められた (W-up 実験 4.62 ± 0.84 mmol/l; コントロール実験 6.48 ± 1.69 mmol/l, $P < 0.05$). ピーク La と CT 直前の血中乳酸値との差 (以下 Δ La と略す) は全被験者において W-up 実験の方がコントロール実験に比べて低かった. その平均値は W-up 実験では 1.39 ± 0.99 mmol/l であったのに対してコントロール実験では 5.37 ± 1.62 mmol/l であり, 両者の差は有意であった ($P < 0.01$). 1 名の被験者においてはコントロール実験では CT によって血中乳酸値が増加したが, W-up 実験では逆にわずかながら減少した.

ガス交換パラメーターの変化は図 2 ~ 図 5 に示した. CT の $\dot{V}O_2$ は両実験ではほぼ等しく, また CT 中の総 $\dot{V}O_2$ はコントロール実験の場合には 12.235 ± 0.897 l, W-up 実験では 12.391 ± 0.970 l でほとんど差がなかった. しかし $\dot{V}CO_2$ は 2 分

Fig. 2. Changes in $\dot{V}O_2$ during CT with or without W-up

Fig. 3. Changes in $\dot{V}CO_2$ during CT with or without W-up. *: $p < 0.05$

Fig. 4. Changes in $\dot{V}E$ during CT with or without W-up. *: $p < 0.05$

Fig. 5. Changes in respiratory exchange ratio during CT with or without W-up. *: $p < 0.05$

目以降に W-up 実験の場合にコントロール実験の場合よりも低い傾向にあり、2分目の両者の平均値には有意差が認められた ($P < 0.05$). CT 中の総 $\dot{V}CO_2$ も W-up 実験 (12.376 ± 1.843 l)の方がコントロール実験 (13.066 ± 1.937 l)に比べて低かったがその差は有意ではなかった. また $\dot{V}E$ に関しても $\dot{V}CO_2$ と類似した傾向が認められた. R は CT 開始直前には W-up 実験で 1.0 を越えており、コントロール実験の場合よりも高かった. CT 中の R は 2分目以降で W-up 実験の場合の方がコントロール実験の場合よりも低く、2分目から4分目にかけては両者の間に有意差が認められた. また5分間の R を平均した値はコントロール実験では 1.08 ± 0.07 , W-up 実験では 1.00 ± 0.09 であり、W-up 実験で有意に低かった ($P < 0.05$). なお CT 5分目の心拍数はコントロール実験の方がやや低

かったがその差は有意ではなかった (コントロール実験 166.3 ± 15.06 pm : W-up 実験 171.7 ± 12.26 pm, $P > 0.05$).

IV. 考 察

本研究で得られた主な所見は、W-up に引き続いて CT を行った場合には、W-up をせずに CT を行った場合に比べてピーク La が有意に低く、また CT 中に蓄積した血中乳酸 (ΔLa) も有意に少なかったことである.

W-up 実験とコントロール実験では CT の強度も運動時間も同一であり、CT 中の $\dot{V}O_2$ は両実験ではほぼ等しかった. McLellan³⁵⁾によれば、10分間の固定負荷運動の前後で血中乳酸値に増加が認められた負荷 (走速度) または $\dot{V}O_2$ である OPLA (Onset of Plasma Lactate Accumulation) は、前述の漸増負荷運動中に血中乳酸値を指標として求めた AT (Lactate Threshold) と等しいという. また前述のとおり AT 以上の強度における固定負荷運動では負荷が強いほど血中乳酸蓄積速度は速い¹⁰⁾¹⁶⁾. 加えて AT はトレーニングによって高まることが知られており⁹⁾⁴⁰⁾⁴²⁾, また同一負荷および同一相対強度の固定負荷運動中の血中乳酸の蓄積はトレーニングによって減少する¹³⁾. 以上のことから AT が高まれば同一負荷強度の固定負荷運動中の血中乳酸の蓄積は少なくなるものと考えられる. したがって今回 W-up 実験でコントロール実験に比べてピーク La が5名中4名で低く、 ΔLa は全ての被験者で低かったこと、また1名の被験者においては CT 中の血中乳酸がコントロール実験では増加したが W-up 実験では逆に減少したことは、W-up によって CT 時の AT が高まったことを示唆するものと考えられる.

血中乳酸値は血中に放出される乳酸と血中から消失する乳酸とのバランスに依存する³³⁾. したがって今回の結果は、W-up を行うことによって CT 中の活動筋での乳酸生成が減少したか、筋から血中への乳酸放出速度が遅くなったか、または血中からの乳酸の除去が速まったかのいずれか、あるいはそれらの組み合わせであろうと考えられ

る。そのいずれであるかは今回の結果から決定することはできないが、本実験におけるガス交換パラメーターの違いから以下のことが考察される。

Wasserman et al.⁴⁴⁾ はAT の負荷において血中乳酸の蓄積が起こるのは、負荷の増大に伴って活動筋への酸素供給が不十分になるために活動筋に低酸素状態が生じることによって無氣的解糖が促進されるためであると述べている。しかし今回の W-up 実験における CT 中の $\dot{V}O_2$ はコントロール実験のそれとほぼ等しかったことから、コントロール実験の方が活動筋への酸素供給が少なかったとは考え難く、したがって両実験で認められた ΔLa の差は活動筋への酸素供給の差によるとはいえない。したがって AT 強度における血中乳酸蓄積は、活動筋への酸素供給が不十分になるために起こるものとは考え難い。

CT 中の $\dot{V}O_2$ は両実験ではほぼ等しかったが、 $\dot{V}CO_2$ は W-up 実験の方が2分目以降に低い傾向を示し、また R は2分目から4分目にかけて W-up 実験で有意に低かった。一般に安静値を越えて蓄積した血中乳酸は重炭酸系緩衝作用によって緩衝され、その結果として $\dot{V}CO_2$ が増加するものと考えられている⁴⁴⁾。それに従えば今回 CT の後半において W-up 実験の方が $\dot{V}CO_2$ が低い傾向を示したのは、CT 中に血中に放出された乳酸がコントロール実験に比べて少なかった可能性を示唆するものであり、W-up 実験の方が ΔLa が有意に低かったのは筋の乳酸生成が少なかったか、乳酸処理が盛んであったか、あるいは血中への放出速度が遅かった等筋中の機序に起因するものと考えられる。なお CT 直前に W-up 実験でコントロール実験よりも R が高値を示したのは、W-up によって蓄積した乳酸による影響と思われる。

Jorfeldt et al.²⁹⁾ は筋中乳酸濃度と筋から血中への乳酸放出速度との関係を検討し、筋中乳酸濃度が 4 mmol/kg wet muscle 程度までは乳酸放出速度は筋中乳酸濃度に比例して速まり、それ以上ではほぼ一定の速度となることを報告している。この結果に従えば今回 W-up 実験の方が筋から血中への乳酸放出が遅かったとは考え難い。

したがって W-up 実験の方がピーク La、 ΔLa ともに有意に低かったのは、筋での乳酸生成が少なかったか、筋中での乳酸処理が盛んであったかのいずれか、あるいは両者が同時に起こったためと考えられる。

ところで激運動後の回復に際しては、安静を保持するよりも軽度～中等度の運動を行った方が血中乳酸の消失が速やかになることが報告されている¹⁶⁾¹⁵⁾¹⁷⁾。この理由としては①運動を行うことにより血流量が増加するので、活動筋から乳酸除去部位への乳酸の移送が増大するか、②活動筋、特に心筋型乳酸脱水素酵素を多く含む遅筋線維で、ピルビン酸に転移されて TCA サイクルによってエネルギー源として利用される乳酸が多くなるためと考えられる。今回 CT は両実験で同一強度、同一持続時間であり、CT 中の $\dot{V}O_2$ もほぼ等しかったので、活動筋および他の乳酸除去部位の血流量は両実験間であまり差がなかったものと推定される。したがって活動筋以外の組織における乳酸除去は両実験で同程度であると思われ、W-up 実験の方が ΔLa が低かった理由としてこれらのことは除外してもよいものと考えられる。

Molé et al.³⁶⁾ はトレーニングによって乳酸の前駆物質であるピルビン酸をアラニンに転換する酵素活性が高まることを報告しており、トレーニングをした者の方が同一相対強度の運動中の乳酸蓄積が少ないのは、このような筋中酵素活性の違いによるものであることが考えられる。したがって本研究の結果はこのような筋中酵素活性が W-up という一過性の運動によって変化した可能性を示唆するものかもしれない。

以上まとめると、ガス交換パラメーターを指標として求められた AT 強度における10分間ペダリングは血中乳酸値を 3 mmol/l 程度に増加した。このような運動を W-up とし、引き続いて 80% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の5分間ペダリングを行った場合には、W-up をせずに同じ運動を行った場合に比べて運動後のピーク La は有意に低く、また CT 中に蓄積した ΔLa は全ての被験者で少なかった ($P < 0.01$)。つまりこのような W-up は引き続いて行う運動中の血中乳酸の蓄積を抑制するものであ

る。乳酸の蓄積がパフォーマンスにとって不都合なことであるという考え方をとれば¹⁸⁾³⁹⁾⁴³⁾, 上記のような W-up はパフォーマンスにとっても好ましいものであると思われる。

(受付 昭和61年2月18日)

Reference

- 1) Belcastro, A. and Bonen, A. (1975) : Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *J. Appl. Physiol.*, **39**, 932-936
- 2) Bergh, U. and Ekblom, B. (1979) : Physical performance and peak aerobic power at different body temperature. *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercis Physiol.*, **46**, 885-889
- 3) Bjorntorp, P. (1965) : The effect of lactic acid on adipose tissue metabolism in vitro. *Acta med. scand.*, **178**, 253-255
- 4) Black, A., Ribeiro, J. P. and Bochesse, M. A. (1984) : Effect of previous exercise on the ventilatory determination of the aerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52**, 315-319
- 5) Blomstrand, E., Berg, U., Essen-Gustavsson, B. and Ekblom, B. (1984) : Influence of low muscle temperature on muscle metabolism during intense dynamic exercise. *Acta Physiol. Scand.*, **120**, 229-236
- 6) Bonen, A. and Belcastro, A. (1976) : Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Med. Sci. Sports*, **8**, 176-178
- 7) Boyd, A. E., Giamber, S. R., Mager, M. and Lebovitz, H. E. (1974) : Lactate inhibition of lipolysis in exercising man. *Metabolism*, **23**, 531-542
- 8) Caiozzo, V. J., Davis, J., Ellis, J. F., Azus, J. C., Vandagriff, R., Prietto, C. A. and McMaster, W. C. (1982) : Comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol.*, **53**, 1184-1189
- 9) Davis, J. A., Frank, M. H., Whipp, B. J. and Wasserman, K. (1979) : Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged man. *J. Appl. Physiol.*, **46**, 1039-1046
- 10) Davis, H. A. and Gass, G. C. (1981) : The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **47**, 141-149
- 11) Davis, H. A., Bassett, J., Hughes, P. and Gass, G. C. (1983) : Anaerobic threshold and lactate turn-point. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **50**, 383-392
- 12) Donovan, C. M. and Brooks, G. A. (1983) : Endurance training affects lactate clearance not lactate production. *Am. J. Physiol.*, **244**(Endocrinol Metab. 7), E 83-E 92
- 13) Ekblom, B. (1969) : Effect of physical training on oxygen transport system in man. *Acta Physiol. Scand., Suppl.*, 328
- 14) Fink, W. J., Costill, D. L. and Van Handel, P. J. (1975) : Leg muscle metabolism during exercise in the heat and cold. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **34**, 183-190
- 15) Gisolfi, C., Robinson, S. and Turrel, E. S. (1966) : Effects of aerobic work performance during recovery from exhausting work. *J. Appl. Physiol.*, **21**, 1767-1772
- 16) Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R. and Hollmann, W. (1985) : Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int. J. Sports Med.*, **6**, 117-130
- 17) Hermansen, L. and Stensvold, I. (1972) : Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta physiol. scand.*, **86**, 191-201
- 18) Hollmann, W. (1985) : Historical remarks on the development of the aerobic-anaerobic threshold up to 1966. *Int. J. Sports Med.*, **6**, 109-116
- 19) Hurley, B. F., Hagberg, J. M., Allen, W. K., Seals, D. R., Young, J. C., Cuddihoe, R. W. and Holloszy, J. O. (1984) : Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *J. Appl. Physiol.*, **56**, 1260-1264
- 20) 石河利寛(1973) : ウォーミング・アップの生理学. *体育学研究*, **18**, 1-8
- 21) Ivy, J. L., Costill, C. L., Van Handel, P. J. and Essig, D. A. (1981) : Alteration in the lactate threshold with changes in substrate availability. *Int. J. Sports Med.*, **2**, 139-142
- 22) Jacobs, I. (1980) : The effects of thermal dehydration on performance of the Wingate Anaerobic. *Int. J. Sports Med.*, **1**, 21-24

- 23) Jacobs, I. (1981) : Lactate concentration after short maximal exercise at various glycogen levels. *Acta Physiol. Scand.*, **111**, 465-467
- 24) Jacobs, I. (1986) : Blood lactate : Implications for training and sports performance. *Sports Medicine*, **3**, 10-25
- 25) Jansson, E. (1980) : Diet and muscle metabolism in man with reference to fat and carbohydrate utilization and its regulation. *Acta Physiol. Scand.*, Suppl., 478
- 26) Jones, N. L., Sutton, J. R., Taylor, R. and Toews, C. V. (1977) : Effects of pH on cardiorespiratory and metabolic responses to exercise. *J. Appl. Physiol.*, **43**, 956-964
- 27) Jones, N. L. and Ehrsam, R. E. (1982) : The anaerobic threshold. *Exer Sport Sci. Rev.*, **10**, 49-83
- 28) Jones, N. L. (1984) : Evaluation of a microprocessor-controlled exercise testing system. *J. Appl. Physiol.*, **57**, 1321-1318
- 29) Jorfeldt, L., Juhlin-Dannfelt, A. and Karlsson, J. (1978) : Lactate release in relation to tissue lactate in human skeletal muscle during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **44**, 350-352
- 30) Karpovich, P. V. and Sinning, W. E. (1971) : Physiology of muscular activity. 7th. Ed. W. B. Saunders Company, Philadelphia. U. S. A., pp. 29-32
- 31) Kowalchuk, J. M., Heighnhauser, G. J. and Jones, N. L. (1984) : Effect of pH on metabolic and cardiorespiratory response during progressive exercise. *J. Appl. Physiol.*, **57**, 1558-1563
- 32) Londeree, B. R. and Ames, S. A. (1975) : Maximal steady state versus state of conditioning. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **34**, 269-278
- 33) MacDougall, J. M. (1977) : The anaerobic threshold : Its significance for the endurance athlete. *Can. J. Appl. Sport Sci.* **2**, 137-140
- 34) Maughan, R. J. and Poole, D. C. (1981) : The effects of glycogen loading regimen on the capacity to perform anaerobic exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **46**, 211-219
- 35) McLellan, T. M. (1985) : Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols : A comparison of methods. *Int. J. Sports Med.*, **6**, 30-35
- 36) Mole, P. A., Baldwin, K. M., Terjung, R. and Holloszy, J. O. (1973) : Enzymatic pathways of pyruvate metabolism in skeletal muscle adaptations to exercise. *Amer. J. Physiol.*, **224**, 50-54
- 37) Naimark, A., Wasserman, K. and McIlroy, M. (1964) : Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **19**, 644-652
- 38) Neary, P. J., MacDougall, J. D., Bachus, R. and Wenger, H. A. (1985) : The relationship between lactate and ventilatory thresholds : coincidental or cause and effect? *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54**, 104-108
- 39) Noble, B. J., Borg, A. V., Jacobs, I., Ceci, R. and Kaiser, P. (1983) : A category ratio perceived exertion scale : relationship to blood and muscle lactate and heart rate. *Med. Sci. Sports Exer.*, **15**, 523-528
- 40) Ready, A. E. and Quinney, H. A. (1982) : Alteration in anaerobic threshold as the result of endurance training and detraining. *Med. Sci. Sports Exer.*, **14**, 292-296
- 41) Sedgwick, A. W. and Whalen, H. R. (1964) : Effect of passive warm-up on muscular strength and endurance. *Res. Quart.*, **35**, 45-59
- 42) Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K., Kumagai, S. and Asano, K. (1984) : A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. *Med. Sci. Sports Exer.*, **16**, 278-282
- 43) Tesch, P. A. (1980) : Muscle fatigue in man. *Acta Physiol. Scand.*, 480
- 44) Wasserman, K., Whipp, B. J., Koyal, S. N. and Beaver, W. L. (1973) : Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **35**, 236-243
- 45) Yoshida, T. (1986) : Effect of dietary modification on anaerobic threshold. *Sports Medicine*, **3**, 4-9