持久性トレーニングによる最大下運動時の血中乳酸, 血漿ノルアドレナリン, 心拍数, および収縮期血圧への影響

吉 武 裕

愛媛大学医学部衛生学教室

Effects of Endurance Training on Blood Lactate, Plasma Noradrenarine,
Heart rate, and Systolic Blood Pressure at Submaximal Exercise

Yutaka Yoshitake

Department of Hygiene, School of Medicine, Ehime University, Ehime

The purpose of this study was to investigate the effects of low-intensity endurance training on the lactate threshold (LT) and the onset of blood lactate accumulation (OBLA), as well as the relationship among blood lactate, heart rate, systolic blood pressure and the plasma noradrenaline (NA) concentration during submaximal exercise before and after training. Seven middle-aged women aged 33-57 years performed endurance training on a bicycle ergometer for 60 min 3 days a week for 6 weeks at an intensity corresponding to 50% of their maximum oxygen uptake. The results were summarized as follows:

- 1) LT and OBLA increased significantly by 32% ($p < 0.05$) and 16% ($p < 0.05$), respectively, after the training.
- 2) The increase rate of OBLA correlated negatively to its initial level ($p < 0.05$) but the increase rate of LT did not.
- 3) Heart rate, systolic blood pressure and the pressure rate product (systolic blood pressure $\times$ heart rate $\times 10^{-2}$) at LT and OBLA did not change significantly after the training.
- 4) A significant linear correlation between blood lactate and NA was observed during the submaximal exercise before ($p < 0.05$) and after ($p < 0.05$) the training, but the slopes of the two regression lines did not differ significantly.

It was concluded that low-intensity training results in a significant improvement in LT and OBLA for middle-aged women. It was further suggested that, after the training, diminished responses of the cardiovascular and sympathetic nervous system are in parallel with the decrease in the blood lactate concentration during submaximal exercise.

Key words: Training, Lactate, Noradrenaline, Heart rate, Systolic blood pressure
トレーニング, 乳酸, ノルアドレナリン, 心拍数, 収縮期血圧

緒 言

同一負荷の最大下運動時の心拍数や血中乳酸濃度が, 全身持久性トレーニングによって低下することはよく知られている¹⁾。このような運動時の血中乳酸濃度や心拍数の低下は, トレーニングされた筋群を用いての運動にのみ観察される適応現象であり, これは骨格筋の有酸素代謝の改善によるものと考えられている²⁾。

一方, 最大下運動中の血中乳酸を指標とした lactate

threshold (以下 LT と略す) や onset of blood lactate accumulation (以下 OBLA と略す) は, 骨格筋の酸化能力, 遅筋線維の割合, 毛細血管密度などと正相関を示すことから, 有酸素的作業能力を評価判断する生化学的方法として, 最近注目されている³⁻⁵⁾。また, 全身持久性トレーニングの LT と OBLA への影響についても検討されている⁶⁻¹³⁾。しかし, これら従来の研究は若者を対象とした, 運動強度の強いトレーニングによるものが多く, 中高年女性を対象に比較的軽い強度でのトレーニングが

LT と OBLA へ与える影響を同時に検討した報告はない。

そこで本研究では、中高年女性を対象に、最大酸素摂取量の 50% に相当する比較的軽い強度の短期間の全身持久性トレーニングが LT と OBLA の増加をもたらすかどうかを検討した。さらに、LT または OBLA に相当する運動時の心拍数、血圧および pressure rate product (以下 PRP と略す) をトレーニング前後で比較し、トレーニングによるこのような最大下運動時の代謝性変化と心血管系応答の変化との関連性についてもあわせて検討した。

方 法

1. 対象

被検者は年齢 33~57 歳 (平均 43 歳) の中高年女性 7 名である。

2. 運動負荷テストとトレーニング

運動負荷テストとトレーニングは Monark 社製自転車エルゴメーターを使用し、温度が 22~23°C、湿度が 50~60% に調節された人工気候室内で実施した。負荷テストは 4 分毎に負荷を上げていく、多段階負荷漸増法を用いた。負荷テスト当日、被検者は早朝空腹時に実験室に到着させた。

最大酸素摂取量は 7~10 段階の最大下運動時の心拍数と運動負荷量との関係から、Åstrand-Rhyming のノモグラム¹⁴⁾を用いて間接的に推定した。トレーニング強度は運動負荷量と酸素摂取量の関係式から、最大酸素摂取量の 50% に相当する負荷量とした。トレーニングはこの強度で 60 分間持続する運動を週 3 回、6 週間実施した。なお、本研究を開始するにあたって、被検者が運動負荷テストおよびトレーニングに慣れるため、実験開始前に、自転車エルゴメーターを用いての運動を実験室内で 1~2 週間行う準備期間をもうけた。

3. 測定項目と方法

1) 心拍数と血圧

胸部双極誘導法により、心電図を安静から運動終了まで連続して記録し、R-R 間隔から 1 分間の心拍数を算出した。血圧は聴診法により測定した。

2) 酸素摂取量

採気は各負荷最後の 1 分間 Douglas-bag 法にて行い、呼気ガス量は乾式ガスメーターで測定した。呼気ガス中の酸素と二酸化炭素濃度の測定は Scholander 微量ガス分析器で校正した三栄測器製の瞬時呼気ガス分析器 (Expired Gas Monitor IH21) で行った。

3) 血中乳酸

安静時および各負荷最後の 30 秒以内に耳葉からキャピラリー・チューブを用いて 20 μ l 採血し、そのチューブ内の血液を 0.6 N の過塩素酸へ吹き込み、除タンパク後遠心し、上清を分析に供した。分析は酵素法¹⁵⁾にて、当日に行った。

4) LT と OBLA

LT は酸素摂取量の増加に対して、非直線的に急な血中乳酸濃度の増加がみられる変移点の酸素摂取量で表した。OBLA は血中乳酸が 4 mmol/l に相当する時点の酸素摂取量で表した。

5) ノルアドレナリン

血中のノルアドレナリン濃度を測定するために、安静時と運動時にそれぞれ 1 回につき 10 ml、肘静脈から採血した。ノルアドレナリンの測定は高速液体クロマトグラフィー蛍光法¹⁶⁾を用いた。

4. 統計解析

トレーニング前後に得た測定値の平均値の差の検定は、対応のある場合の Student の T-検定でおこなった。

成 績

Fig. 1 はトレーニング前後の安静時と最大下運動時の心拍数、収縮期血圧、PRP および血中乳酸濃度を示したものである。トレーニング前後の安静時の心拍数、収縮期血圧、PRP および血中乳酸濃度には有意な変化はみられなかった。最大下運動の心拍数は 300 kpm/min で 117 ± 8 beats/min (算術平均 $\pm$ 標準偏差) から 110 ± 9 beats/min へ、375 kpm/min で 132 ± 8 beats/min から 121 ± 12 beats/min へ、450 kpm/min で 149 ± 10 beats/min から 137 ± 12 beats/min へとそれぞれにトレーニング後に有意な減少が認められた ($p < 0.05$)。最大下運動時の収縮期血圧は無負荷で 133 ± 30 mmHg から 123 ± 23 mmHg へ、75 kpm/min で 128 ± 24 mmHg から 120 ± 18 mmHg へ、300 kpm/min で 144 ± 27 mmHg から 136 ± 24 mmHg へ、375 kpm/min で 155 ± 25 mmHg から 144 ± 26 mmHg へ、450 kpm/min で 170 ± 25 mmHg から 158 ± 25 mmHg へとそれぞれにトレーニング後に有意な減少が認められた ($p < 0.05$)。最大下運動時の PRP は 300 kpm/min で $164 \pm 33 (\times 10^{-2})$ から $149 \pm 39 (\times 10^{-2})$ へ、375 kpm/min で $200 \pm 37 (\times 10^{-2})$ から $172 \pm 46 (\times 10^{-2})$ へ、450 kpm/min で $252 \pm 49 (\times 10^{-2})$ から $215 \pm 49 (\times 10^{-2})$ へとそれぞれにトレーニング後に有意な低下が認められた ($p < 0.05$)。最大下運動時の血中乳酸は 300 kpm/min で 1.7 ± 1.0 mmol/l から 0.9 ± 0.4

Fig. 1 Heart rate, systolic blood pressure, pressure rate product and blood lactate concentration at rest and during submaximal exercise before and after the training. Values are means $\pm$ SD. SBP, systolic blood pressure; HR, heart rate. *Significant difference ($p < 0.05$) between before and after the training.

mmol/l へ、375 kpm/min で 2.7 ± 1.5 mmol/l から 1.3 ± 0.7 mmol/l へ、450 kpm/min で 3.9 ± 2.5 mmol/l から 2.0 ± 1.4 mmol/l へとそれぞれにトレーニング後に有意な低下 ($p < 0.05$) が認められた。

Fig. 2 はトレーニング前後の LT と LT に相当する運動負荷時の心拍数、収縮期血圧および PRP を示したものである。LT は 889 ± 243 ml/min から $1,151 \pm 238$ ml/min へとトレーニングにより平均32%の有意な増加 ($p < 0.05$) が認められた。トレーニング前の LT に相当する運動負荷時の心拍数は 123 ± 10 beats/min から 109 ± 7 beats/min へ、収縮期血圧は 150 ± 23 mmHg から 136 ± 15 mmHg へ、PRP は $184 \pm 36 (\times 10^{-2})$ から $148 \pm$

$25 (\times 10^{-2})$ へとトレーニングによりそれぞれに有意な低下が認められた ($p < 0.05$)。他方、トレーニング前と後における LT に相当する運動負荷時の心拍数は 123 ± 11 beats/min と 126 ± 11 beats/min、収縮期血圧は 150 ± 25 mmHg と 146 ± 21 mmHg、PRP は $184 \pm 40 (\times 10^{-2})$ と $181 \pm 30 (\times 10^{-2})$ で、有意な変化はみられなかった。

Fig. 3 は OBLA と OBLA に相当する運動負荷時の心拍数、収縮期血圧および PRP を示したものである。OBLA は $1,350 \pm 378$ ml/min から $1,513 \pm 321$ ml/min へとトレーニングにより平均16%の有意な増加 ($p < 0.05$) が認められた。トレーニング前の OBLA に相当する運動負荷時の心拍数は 154 ± 11 beats/min から 140 ± 14 beats/min へ、収縮期血圧は 169 ± 17 mmHg から 154 ± 15 mmHg へ、PRP は $258 \pm 21 (\times 10^{-2})$ から $212 \pm 32 (\times 10^{-2})$ へとトレーニングによりそれぞれに有意な低下が認められた ($p < 0.05$)。他方、トレーニング前と後における OBLA に相当する運動負荷時の心拍数は 154 ± 12 beats/min と 153 ± 12 beats/min、収縮期血圧は 169 ± 18 mmHg と 174 ± 22 mmHg、PRP は $258 \pm 23 (\times 10^{-2})$ と $265 \pm 42 (\times 10^{-2})$ で、それぞれに有意な変化はみられなかった。

Fig. 4 はトレーニング前の LT および OBLA とトレーニング後におけるそれぞれの変化率の関係を個人毎に示したものである。LT においては、トレーニング前の値と増加率に有意な相関はみられなかったが、OBLA においては、有意な負の相関 ($p < 0.05$) が認められた。

Fig. 5 はトレーニング前後における最大下運動時の血漿ノルアドレナリン濃度と血中乳酸濃度の関係を示したものである。トレーニング前後とも両者の関係には有意な正の相関 ($p < 0.05$) が認められた。しかし、両者の回帰直線の傾きには、有意差がみられなかった。

考 察

1. LT と OBLA の変化について

本研究結果から、中高年女性に対して、最大酸素摂取量の50%の強度で60分持続する全身持久性トレーニングを週3回、6週間行うことは LT と OBLA を増加させるのに有効であることが確認された。トレーニングによって LT と OBLA が増加したことは従来の研究報告⁶⁻¹³⁾と一致する。そこで、その効果の特徴を考察してみたい。

全身持久性トレーニングが LT と OBLA の増加をもたらすことは、すでに他の研究者によって報告されている⁶⁻¹³⁾。しかし、中高年者で、しかも非鍛練者を対象としたトレーニングを処方する場合には、効果の面からだけ

Fig. 2 Oxygen uptake, heart rate, systolic blood pressure and pressure rate product at LT before (A) and after (C) the training, and pre-training LT after (B) the training. Abbreviations are as in Fig. 1. Values are means $\pm$ SD. *Significant difference ($p < 0.05$) between before and after the training.

Fig. 3 Oxygen uptake, heart rate, systolic blood pressure and pressure rate product at OBLA before (A) and after (C) the training, and pre-training OBLA after (B) the training. Abbreviations are as in Fig. 1. Values are means $\pm$ SD. *Significant difference ($p < 0.05$) between before and after the training.

でなく、安全性の面からも配慮されなければならない¹⁷⁾ので、運動強度との関連の面からの検討も必要と考えられる。

そこで、LT について、本研究結果と諸家の研究結果をもとに LT の増加率とトレーニング強度との関係を検討した。強度は最大酸素摂取量の50%から105%と広範囲にわたっている⁶⁻¹⁰⁾が、本研究の強度は今までに報告され

た中では最も低いものであった。強度の低いものからみると、Henritze ら⁹⁾は強度が最大酸素摂取量の59%のトレーニングで48%、Gaesser と Poole¹⁰⁾は70~80%で29%、Yoshida ら⁸⁾は80~95%で35%、Denis ら⁷⁾は80~85%で11%のLTの増加を認めている。Gaesser と Poole¹⁰⁾は1回の運動の消費エネルギーを同じにし、強度が最大酸素摂取量の50%、70%および105%のトレーニ

Fig. 4 Increase rate of LT and OBLA in relation to the initial level. Each point represents an individual value.

Fig. 5 Relationship between plasma noradrenaline and blood lactate concentrations during submaximal exercise. Each point represents an individual value.

ングを週3回，8週間実施した結果，LTはそれぞれの強度で39%，39%および29%の増加がみられたことを報告している。一方，Henritzeら⁹⁾はLTに相当する強度(最大酸素摂取量の44%)のトレーニングではLTの有意な増加が認められなかったことを報告している。そこで，これらの論文^{6-8,10)}に示されているトレーニングによるLTの増加率とトレーニング強度との関係をそれぞれの平均値でみたところ，両者の間には有意な相関が認められなかった($r=-0.458$, $p>0.05$)。ゆえに，LTの増加率はトレーニング強度により著しく影響されることはないものと推察される。次に，LTの増加率とトレーニング前のLTとの関係を検討した。本研究の被検者のトレ

ーニング前のLTは16 ml/kg·minで，Yoshidaら⁶⁾の16 ml/kg·min，Henritzeら⁹⁾の17 ml/kg·minとほぼ同一水準であった。LTの増加率は，本研究では平均32%で，Henritzeら⁹⁾の48%よりは劣るものの，Yoshidaら⁶⁾の35%とほぼ同程度の値が得られた。PooleとGaesser^{8,10)}はトレーニング前のLTが19 ml/kg·minと20 ml/kg·minの被検者ではそれぞれ39%の増加を，またトレーニング前のLTが24 ml/kg·minと25 ml/kg·minの被検者ではそれぞれ29%の増加を認めている。さらにDenisらの研究⁷⁾では，トレーニング前のLTが35 ml/kg·minの場合，増加率は11%と他の報告^{6,7,10)}に比して低い値を示している。そこで，これらの論文⁶⁻¹⁰⁾に示されているトレーニング前のLT値とLTの増加率との関係をそれぞれの平均値で検討したところ，両者の間には有意な負の相関が認められた($r=-0.858$, $p<0.05$)。ゆえに，LTの増加率はトレーニング前のLT水準に依存するものと推察される。

GaesserとPooleは¹⁰⁾トレーニング実施に伴うLTの経時変化を調べるために，強度が最大酸素摂取量の70~80%で30分，週6回の頻度で3週間トレーニングを行い，1週毎にLTを測定している。その結果，トレーニング開始1週目では有意な増加はみられなかったが，2週目で20%，3週目では29%とそれぞれに有意な増加を認めている。また，PooleとGaesserは⁸⁾1回の運動の消費エネルギーを同じにし，強度が最大酸素摂取量の50%，70%，105%の異なるトレーニングを週3回，8週間実施した。その結果，トレーニング開始4週目に，強度が最大酸素摂取量の50%，70%，105%のトレーニングでLTは15%，32%，17%とそれぞれに有意な増加を認めている。また，8週目でも強度が最大酸素摂取量の50%，70%，105%のトレーニングでLTは39%，39%，29%とそれぞれに有意な増加を認めている。このGaesserとPooleの研究^{8,10)}は，全身持久性トレーニングによるLTの有意な増加はトレーニング開始2~4週目にみられることを示唆している。これら諸家の研究結果⁶⁻¹⁰⁾から考察すると，本研究においてトレーニングによりLTの有意な増加が認められた理由は，トレーニング強度および期間がLTの増加をもたらすのに必要な条件を満たしており，しかも被検者のトレーニング前のLTが低水準であったためと考えられる。

一方，全身持久性トレーニングのOBLAに対する効果を検討した例として，Denisら^{7,11)}，Hoppelerら¹²⁾，Roslerら¹³⁾の報告があり，平均18~42%の有意な増加が認められている。これらの研究のトレーニング条件をみる

と、強度は最大酸素摂取量の70%以上、頻度は週3回以上、持続時間は30分以上と、LTの増加がもたらされたトレーニング条件⁶⁻¹⁰⁾に比べてかなりきつものとなっている。本研究でのOBLAの増加率は平均16%と、他の報告のそれを下回っている。この一因として、トレーニング強度が弱かったことが考えられるものの、十分な資料がないので、さらに検討が必要と思われる。

次に本研究の被検者について、トレーニング前のLTおよびOBLAの水準とそれぞれの増加率との関係について検討した (Fig. 4)。諸家の論文⁶⁻¹⁰⁾に示されているトレーニング前のLT値とその増加率との関係をそれぞれの平均値でみた場合、両者には有意な負の相関がみられたが、本研究のように個々人についてみた場合、一定の傾向がみられなかった。しかし、著者ら¹⁸⁾は3ヶ月のトレーニングでは、トレーニング前のLT値とその増加率の間に有意な負の相関を認めている。本研究においてトレーニング前のLT値とその増加率に有意な負の相関が認められなかった理由は、以前の著者ら¹⁸⁾の研究に比してトレーニング期間が短かったこととトレーニング前のLT値の分布巾が小さかったことが考えられる。一方、トレーニング前のOBLA値とその増加率には有意な負の相関が認められたことから、トレーニング前のOBLAの水準が低い者ほど、その増加率は高いものと思われる。トレーニング前のLTおよびOBLAの水準とその増加率との関係についての研究は、著者ら¹⁸⁾の報告があるのみである。この問題についてはさらに検討されなければならない。

本研究におけるLTとOBLAの増加は、Fig. 1において明らかなように、同一負荷の最大下運動時での血中乳酸濃度の減少を意味するものである。このような、トレーニング後にみられる最大下運動時の血中乳酸濃度の減少は骨格筋のミトコンドリア内酸化酵素活性の増大によるものと考えられている¹⁹⁾。Harmsら²⁰⁾はラットを用いた持久性トレーニングの実験で、最大酸素摂取量のほぼ50%に相当する強度のトレーニングでも、赤筋のミトコンドリア内酸化酵素活性の増大をもたらすのに十分な刺激になることを報告している。しかも、ミトコンドリア内酸化酵素活性の増大はトレーニング強度よりも、1回の運動の持続時間による影響が大きいと考えられている^{20,21)}。本研究のトレーニング強度は最大酸素摂取量の50%であったことから、血中にほとんど過剰乳酸の蓄積がみとめられず^{22,23)}、赤筋が主働筋となる^{24,25)}有酸素的運動であると思われる。さらに、持続時間が60分と長時間運動でもあることから、Harmsら²⁰⁾とDohmら²¹⁾の

研究から推察されるように、赤筋のミトコンドリア内酸化酵素活性が増大し、このことがLTとOBLAの増加をもたらしたものと思われる。ゆえに、本研究のような心臓血管系へのストレス状態の低い^{22,23)}、比較的軽強度のトレーニングでも、中高年女性のLTとOBLAを同時に増大させるのに有効であることが示唆された。

2. LTおよびOBLAに相当する最大下運動時の心血管系応答について

トレーニング後において、トレーニング前のLTおよびOBLAに相当する負荷時の心拍数、収縮期血圧およびPRPはそれぞれに有意な低下がみられた。しかし、LTおよびOBLAに相当する負荷時の心拍数、収縮期血圧およびPRPはいずれもトレーニング前後で有意な変化はみられなかった。これはLTとOBLAを指標とした同一代謝ストレス時での心拍数、収縮期血圧およびPRPはトレーニングにより変化がみられないことを示している。

トレーニング後にみられる同一負荷の最大下運動時の心拍数の減少は、副交感神経緊張の亢進と交感神経緊張の低下によるものとされている²⁶⁾が、強い強度の運動においては、交感神経緊張の低下の影響がより顕著に現れると考えられる²⁷⁾。また骨格筋の遅筋線維の割合が高くなり、運動のエネルギー産生がもっぱら有酸素的代謝に依存するようになると、運動時の心血管系応答亢進の程度が小さくなる²⁸⁾。しかも、トレーニングによるこのような血中乳酸や心拍数の低下は、トレーニングされた筋群を用いた運動時にのみ観察されることから、トレーニングされた筋の代謝性変化に関連があると考えられている²⁾。このような適応現象の機序はなお不明であるが、骨格筋の求心性神経刺激に伴って心血管系応答の亢進がみられる²⁹⁾ことから、心血管系に連絡する交感神経による骨格筋からの求心性神経路を介しての反射性調節が考えられている²⁾。しかも、この代謝性の反射機序は運動強度が強くなればなるほど、心血管系へ連絡する遠心性交感神経活動が高まる³⁰⁾ことから、トレーニングによる心拍数の低下は、骨格筋の有酸素的代謝の改善に伴う交感神経活動の亢進レベルの低下によるものと推察される。

ヒトにおいては、血中のノルアドレナリンは交感神経活動の指標として用いられている³¹⁾。運動時の血中のノルアドレナリンの増加は、骨格筋血管に分布している交感神経末端から遊離されたものが大部分を占めるとされている^{32,33)}。運動時の血中ノルアドレナリン濃度は活動筋組織の酸素分圧の低下に従って増加する^{34,35)}こと、また活動筋組織が虚血状態になると、活動筋からの求心性交感神経活動はさらに亢進する³⁶⁾ことから、最大下運動

時において，活動筋の酸素分圧の低下，またはそれらに関連した代謝性変化は交感神経活動の亢進をもたらす可能性のあることを示唆するものである。運動時の交感神経活動は上述した因子以外の因子によっても複雑に調節されていると考えられる³⁷⁾が，血漿ノルアドレナリン濃度は骨格筋乳酸含量³⁸⁾と血中乳酸濃度²²⁾とに高い正相関を示すことから，活動筋の代謝性の反射機序が運動時の交感神経活動調節の中心的な役割を果たしているものと推察される。また，運動時の血漿ノルアドレナリン濃度は心拍数，収縮期血圧，PRP とにそれぞれ正相関を示し^{22,39)}，しかもトレーニング後，同一負荷の最大下運動時の心拍数，収縮期血圧および PRP は，血中のノルアドレナリン濃度の減少に並行した低下がみられることが報告されている³⁹⁾。本研究では，Fig. 1 に示されているように，トレーニングによる最大下運動時の血中乳酸濃度の変化と心血管系応答の変化とはほぼ同様な傾向であり，しかも最大下運動時の血中乳酸濃度と血漿ノルアドレナリン濃度との関係はトレーニングにより有意な変化がみられなかったことから (Fig. 5)，最大下運動時の血中乳酸濃度と交感神経活動度の相互関係には，トレーニングにより有意な変化がみられないことを示唆している。ゆえに，LT と OBLA に相当する運動時の心拍数，収縮期血圧および PRP はトレーニングにより有意な変化がみられなかったものと考えられる。

結 語

中高年女性 7 名 (43±7 歳) を対象に，最大酸素摂取量の 50% に相当する強度で，1 回 60 分の持続運動を週 3 回，6 週間実施し，トレーニングによる LT と OBLA の変化を検討するとともに，最大下運動時の血中乳酸濃度と心拍数，収縮期血圧，PRP および血漿ノルアドレナリン濃度との関係の変化についても検討を加えた。その結果，以下のことが明らかにされた。

1. LT は 899 ± 243 ml/kg・min から $1,151 \pm 238$ ml/kg・min へと 32% の，OBLA は $1,350 \pm 378$ ml/kg・min から $1,514 \pm 321$ ml/kg・min へと平均 16% の，それぞれ有意な増加が見られた。

2. トレーニングによる OBLA の増加率とトレーニング前の水準との間には有意な負の相関が認められたが，LT ではそのような関係はみられなかった。

3. LT または OBLA に相当する運動時の心拍数，収縮期血圧および PRP はトレーニングにより有意な変化はみられなかった。

4. 最大下運動時の血中乳酸濃度と血漿ノルアドレナ

リン濃度間には，トレーニング前後とも有意な正相関が認められた。しかし，回帰直線の傾きはトレーニング前後間で有意な差はみられなかった。

以上の結果から，本研究で用いられた比較的軽強度のトレーニングは，非鍛練中高年女性の LT と OBLA の増加をもたらすことが明らかにされた。また，最大下運動時の血中乳酸濃度と心血管系応答および交感神経活動との関係はこのようなトレーニングにより変化が生じないことが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり，終始御懇篤なる御指導，御校閲をいただいた愛媛大学医学部衛生学教室，渡辺孟教授に感謝いたします。

また，種々の御教示，御協力を下さった教室員の方々に感謝いたします。

文 献

- 1) Åstrand, P.O. and Rodahl, K.: Textbook of work physiology, p. 412-485, MacGraw-Hill, New York (1986).
- 2) Saltin, B.: The interplay between peripheral and central factors in the adaptive response to exercise and training, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **301**, 224-231 (1977).
- 3) Ivy, J.L., Withers, R.T., Van Handel, P.J., Elger, D.H. and Costill, D.L.: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold, *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **48**, 523-5227 (1980).
- 4) Sjodin, B. and Jacobs, I.: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance, *Int. J. Sports Med.*, **2**, 23-26 (1981).
- 5) Sjodin, B., Jacobs, I. and Karlsson, J.: Onset of blood lactate accumulation and enzyme activities in M. Vastus Lateralis in man, *Int. J. Sports Med.*, **2**, 166-170 (1981).
- 6) Yoshida, T., Suda, Y. and Takeuchi, N.: Endurance training regimen based upon arterial blood lactate: Effects on anaerobic threshold, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **49**, 223-230 (1982).
- 7) Denis, C., Fouquet, R., Poty, P., Geyssant, A. and Lacour, J.R.: Effect of 40 weeks of endurance training on the anaerobic threshold, *Int. J. Sports*

- Med., **3**, 208-214 (1982).
- 8) Poole, D.C. and Gaesser, G.A.: Response of ventilatory and lactate threshold to continuous and interval training, *J. Appl. Physiol.*, **58**, 1115-1121 (1985).
 - 9) Henritze, J., Weltman, A., Schurrer, R.L. and Barlow, K.: Effects of training at and above the lactate threshold on the lactate threshold and maximal oxygen uptake, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54**, 84-88 (1985).
 - 10) Gaesser, G.A. and Poole, D.C.: Lactate and ventilatory thresholds: disparity in time course of adaptations to training, *J. Appl. Physiol.*, **61**, 999-1004 (1986).
 - 11) Denis, C., Dormois, D. and Lacour, J.R.: Endurance training, $\dot{V}O_2\text{max}$ and OBLA: A longitudinal study of two different age groups, *Int. J. Sports Med.*, **5**, 167-173 (1984).
 - 12) Hoppeler, H., Howald, H., Conley, K., Lindstedt, S.L., Claassen, H., Vock, P. and Weibel, E.R.: Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal muscle, *J. Appl. Physiol.*, **59**, 320-327 (1985).
 - 13) Rosler, K., Hoppeler, H., Conley, K.E., Claassen, H., Gehr, P. and Howald, H.: Transfer effects in endurance exercise: adaptations in trained and untrained muscles, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **54**, 355-362 (1985).
 - 14) Åstrand, P.O. and Ryhming, I.: A nomogram for calculation aerobic capacity (Physical fitness) from pulse rate during submaximal exercise work, *J. Appl. Physiol.*, **7**, 218-221 (1954).
 - 15) Gutman, I. and Wahlefeld, A.W.: L-(+)-Lactate determination with lactate dehydrogenase and NAD, in "Methods of Enzymatic Analysis, Vol. III" (Editor: H. U. Bergmeyer), p. 1464-1468, Academic Press, New York (1974).
 - 16) Yui, Y., Fujita, T., Yamamoto, T., Itokawa, Y. and Kawai, C.: Liquid-chromatographic determination of norepinephrine and epinephrine, *Clin. Chem.*, **26**, 194-196 (1980).
 - 17) Watanabe, T.: Recipe for physical exercise and nutrition in middle-aged and obese people, *Asian Med. J.*, **25**, 95-108 (1982).
 - 18) 吉武 裕, 日野精二, 新開省二, 黒河佳香, 渡邊孟, 濱田 稔: 中年女子の交感・副腎髓質, 心臓血管および代謝系への持久性トレーニングの影響, *日衛誌*, **40**, 456, 1985.
 - 19) Saltin, B. and Gollnick, P.D.: Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance, In "Handbook of physiology. Skeletal Muscle, sec. 10, chap. 19" (Editor: L. Peachy and R. Adrian), p. 555-631, American Physiological Society, Bethesda, Maryland (1983).
 - 20) Harms, S.J. and Hickson, R.C.: Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training, *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **54**, 798-802 (1983).
 - 21) Dohm, G.L., Beecher, G.R., Stephenson, T.P. and Womack, M.: Adaptations to endurance training at three intensities of exercise, *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **42**, 753-757 (1977).
 - 22) 吉武 裕: 中高年女子の Lactate Threshold に相当する運動負荷中の心臓血管系, 交感・副腎髓質系および代謝系応答の変化, *日衛誌*, **40**, 867-875 (1986).
 - 23) Yoshitake, Y., Zaiki, N., Shinkai, S., Hino, S. and Watanabe, T.: Hemodynamic and biochemical responses during exercise at the intensity equivalent to lactate threshold for middle-aged and elderly women, *J. Human Ergol.*, **16**, 137-143 (1987).
 - 24) Gollnick, P.D., Armstrong, R.B., Sembrowich, W. L., Shepherd, R.E. and Saltin, B.: Glycogen depletion pattern in human skeletal muscle fibers after heavy exercise, *J. Appl. Physiol.*, **34**, 615-618 (1973).
 - 25) Vøllestad, N.K. and Blom, P.C.S.: Effect of varying exercise intensity on glycogen depletion in human muscle fibers, *Acta Physiol. Scand.*, **125**, 395-405 (1985).
 - 26) Ekblom, B., Kilbom, Å. and Soltysiak, J.: Physical training, bradycardia, and autonomic nervous system, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **32**, 251-256 (1973).
 - 27) Ekblom, B., Goldbarg, A.N., Kilbom, Å. and

- Åstrand, P.O.: Effects of atropine and propranolol on oxygen transport system during exercise in man, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, **30**, 35-42 (1972).
- 28) Karlsson, J., Dlin, R., Kaiser, P., Tesch, P.A. and Kaijsea, C.: Muscle metabolism, regulation of circulation and beta blockade, *J. Card. Rehab.*, **3**, 404-420 (1983).
- 29) Mitchell, J.H., Reardon, W.C., MacCoskey, D.I. and Wildenthal, K.: Possible role of muscle receptors in the cardiovascular response to exercise, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, **301**, 232-242 (1977).
- 30) Rowell, L.B.: Human circulation: regulation during physical stress, p. 287-327, Oxford University Press, New York (1986).
- 31) Christensen, N.J., Galbo, H., Hansen, J.F., Richter, E.A. and Trap-Jensen, J.: Catecholamines and exercise, *Diabetes*, **28**, Suppl. 1, 58-62 (1979).
- 32) Christensen, N.J. and Galbo, H.: Sympathetic nervous activity during exercise, *Ann. Rev. Physiol.*, **45**, 139-153 (1983).
- 33) Savard, G., Strange, S., Kiens, B., Richter, E.A., Christensen, N.J. and Saltin, B.: Noradrenaline spillover during exercise in active versus resting skeletal muscle in man, *Acta Physiol. Scand.*, **131**, 507-515 (1987).
- 34) Hansen, J.F., Hesse, B. and Christensen, N.J.: Enhanced sympathetic nervous activity after intravenous propranolol in ischemic heart disease: plasma noradrenaline, splanchnic blood flow and mixed venous oxygen saturation at rest and during exercise, *Eur. J. Clin. Invest.*, **8**, 31-36 (1978).
- 35) Hesse, B., Kanstrup, I.-L., Christensen, N.J., Ingemann-Hansen, T., Hansen, J.F., Halkjær - Kristensen, J. and Petersen, F.B.: Reduced norepinephrine response to dynamic exercise in human subjects during O₂ breathing, *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **51**, 176-178 (1981).
- 36) Rowell, L.B., Freund, P.R. and Hobbs, S.F.: Cardiovascular responses to muscle ischemia in human, *Circ. Res.*, **48**, Suppl. 1, 37-47 (1981).
- 37) Rowell, L.B.: What signal govern the cardiovascular responses to exercise?, *Med. Sci. Sports*, **12**, 307-315 (1980).
- 38) Karlsson, J.: Metabolic adaptations to exercise: A review of potential beta-adrenoreceptor antagonist effects, *Am. J. Cardiol.*, **55**, 48D-58D (1985).
- 39) Cousineau, D., Ferguson, R.J., Dechamplain, J., Gauthier, P., Côté, P. and Bourassa, M.: Catecholamines in coronary sinus during exercise in man before and after training, *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **43**, 801-806 (1977).

(受付 1990年1月26日 受理 1990年9月19日)