

女子陸上長距離選手の持久力トレーニング 負荷としての4mM乳酸レベル設定の妥当性

大 阪 大 学 吉 田 敬 義
(共同研究者) 東京女子体育大学 山 口 敏 夫
東京医科歯科大学 千 田 守
同 市 岡 正 彦
同 卷 口 宏 平

The Validity of 4mM Blood Lactate as a Criterion of Endurance Training Load for Female Distance Runners

by

Takayoshi Yoshida

*Exercise Physiology Laboratory, Faculty of
Health and Sport Sciences, Osaka University*

Toshio Yamaguchi

Tokyo Womens College of Physical Education

Mamoru Chida,

Masahiko Ichioka, Kouhei Makiguchi

School of Medicine, Tokyo Medical & Dental University

ABSTRACT

Four female distance runners and 4 female race walkers were examined to assess the validity of OBLA (onset of blood Lactate accumulation) as a criteria of endurance training. They performed both the incremental treadmill exercise test and submaximal exercise test at the intensity of OBLA. OBLA was determined as blood lactate reached at a rigid value of 4 mM during the incremental treadmill exercise test. The values of OBLA in distance runners and race walkers were $49.4 \pm 1.6 \text{ ml/kg/min}$ ($91.3 \pm 1.4\% \dot{V}O_{2\text{max}}$) and $44.5 \pm 4.0 \text{ ml/kg/min}$ ($86.8 \pm 4.5\% \dot{V}O_{2\text{max}}$), respectively.

At the point of OBLA, blood lactate/pyruvate ratio has already been increased, indicating the elevated lactate production by mass action effect. When the subjects performed submaximal exercise at the intensity of OBLA, blood lactate increased significantly to the predicted value, although $\dot{V}O_2$ was well agreed with the predicted value.

It is suggested that maximal steady state for blood lactate during the submaximal exercise would be necessary to obtain OBLA during the incremental treadmill exercise test.

1. 要 旨

女子陸上長距離選手の持久力トレーニング負荷としての OBLA (onset of blood lactate accumulation) の妥当性を 4 名の中長距離走選手と 4 名の競歩選手で検討した。OBLA はトレッドミル漸増負荷運動テスト中に血中乳酸濃度が 4mM となる時点から求めた。中長距離走選手の OBLA は $49.4 \pm 1.6 \text{ ml/kg/分}$ ($91.3 \pm 1.4 \% \dot{V}O_{2\text{max}}$)、競歩選手の OBLA は $44.5 \pm 4.0 \text{ ml/kg/分}$ ($86.8 \pm 4.5 \% \dot{V}O_{2\text{max}}$) であった。

この OBLA の時点で乳酸/ピルビン酸比はすでに増加しており、筋中の解糖による乳酸産生が増加していることが示唆された。この関係に中長距離走と競歩の競技特性による差はなかった。この OBLA のスピードで 20 分間の最大下運動を実施したところ、 $\dot{V}O_2$ は予測値とよく一致したが、血中乳酸濃度は有意に増加していた。

この結果から、長距離走選手のトレーニング負荷としての OBLA をトレッドミル漸増負荷テストから求める場合には漸増時間を適切に設定することが重要であることが示唆された。また、本研究の方法から求める場合は OBLA 負荷の割合 (たとえば 80%) を検討する必要がある。

2. 緒 言

持久トレーニングの負荷強度設定の手段として運動中の血中乳酸濃度を基準とする試みが開発さ

れてきている。この概念によると、健康な非鍛錬者に対する健康・体力の維持・向上のための持久トレーニング負荷や、呼吸器および心疾患患者のリハビリテーション負荷としては lactate threshold (LT; 運動中に血中乳酸濃度が増加し始める時点から求められると定義されている) レベルの運動強度が望ましいとされている。

一方、日頃激しい身体トレーニングを続けているスポーツ選手、とくに持久的な競技選手にとっては、この LT レベルの負荷強度はトレーニング刺激としては低過ぎることが明らかである。

そこで、Kindermann et al. (1979) は血中乳酸濃度を基準としてスポーツ選手の持久トレーニング強度を設定するためには 4mM の血中乳酸濃度に相当する負荷強度 (OBLA) が最適であると示唆した。その後、Karlsson et al. (1984)、Jacobs (1982)、Heck et al. (1985) や Mader and Heck (1986) はこの OBLA の理論的な妥当性について述べている。

しかし、かかる分野はいまだ開発中であることと、一流選手に対する競技トレーニング手段の具体的な方法については極秘事項となっていることから、この OBLA を基にしたトレーニングが競技選手に十分に適用され確立されているとは言いがたい。

そこで、本研究は 4mM 血中乳酸濃度の負荷強度 (OBLA) を競技選手に適用することの妥当性について検討することを目的とした。

3. 研究方法

1) 被験者

大学の陸上部に所属する女子中長距離走選手4名と女子競歩選手4名とが本研究に参加した。彼女達の身体特性、競技記録は表1に示されている。

2) トレッドミル漸増負荷テスト

a) 負荷方法

女子中長距離走選手および女子競歩選手のOBLAや $\dot{V}O_2\max$ を測定するためにトレッドミルによる漸増負荷テストを実施した。

女子中長距離走選手に対するトレッドミル漸増負荷テストは、トレッドミルの角度を0%として、180m/分のランニングスピードで5分間の最大下運動を行い、その後OBLAが得られるまで20m/分ずつトレッドミルスピードを漸増して5分間の運動を続けた。OBLAの時点に達した後はトレッドミルのスピードを1分ごとに10m/分ずつ漸増して $\dot{V}O_2\max$ の測定を実施した。

女子競歩選手に対しては、トレッドミルの角度を0%として、100m/分のスピードで5分間の最大下運動を実施して、その後OBLAにいたるまでにスピードを10m/分ずつ漸増して5分間の最大下運動を続けた。OBLAの時点に達した後は

トレッドミルスピードを1分ごとに5m/分ずつ漸増して競歩運動時のpeak $\dot{V}O_2$ を求めた。

b) 測定項目

トレッドミル漸増負荷テスト中の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)はダグラスバッグ法で測定した。運動中の呼気は各スピードの最後の1分間にダグラスバッグで採気した。採気した呼気を直ちにガスメータによって計量し、その1部のガスサンプルを塩化カルシウム($CaCl_2$)にて乾燥状態にし、ポーラログラフ O_2 分析器と赤外線 CO_2 分析器とで O_2 と CO_2 分画濃度を分析した。これらの分析器は実験前にショランダー分析器で校正した標準ガスを用いて校正した。

血液サンプルを得るために、前腕静脈にテフロンカテーテルを挿入留置した。血液サンプルは、安静時および最大下運動中に行った。血中乳酸濃度とピルビン酸濃度は1.0N過塩素酸($HClO_4$)で除蛋白した後に酵素法で分析した。

c) OBLAの決定

トレッドミルスピードに対して血中乳酸濃度をプロットして、血中乳酸濃度が4mMに相当するスピードを内挿法にて算出した。

3) OBLA負荷の妥当性の検討

Wassermanは自転車エルゴメータ運動で得た最高血中乳酸濃度と運動持続時間との関係を示し

表1 The physical characteristics of the subjects.

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	Age (yr)	Best Record (min; sec)		$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min)
distance runners				1500m	3000m	
1	165.1	52.0	20	4'52"9	10'53"3	52.6
2	156.6	45.4	20	4'52"9	10'34"0	57.8
3	154.4	47.5	20	4'57"5	10'21"8	54.3
4	152.0	48.0	20	4'54"0	10'53"8	52.1
race walkers				5000m	10000m	
1	168.7	57.0	18	26'40"0	52'56"0	46.7
2	157.8	50.5	21	23'35"0	47'49"0	53.1
3	151.5	51.0	21	28'33"0	59'03"0	46.5
4	160.1	49.5	18	24'28"0	50'56"0	53.3

ている。それによると 4mM の血中乳酸レベルではおよそ 30 分の運動が可能である。Sjodin et al. (1982) は陸上中長距離選手に対して OBLA に相当するランニングスピードで 20 分間の持続走トレーニングを負荷してそのトレーニング効果を示している。そこで、本研究では 20 分の OBLA 負荷を行い、その時の生体応答を検討することとした。

トレッドミル漸増負荷テストで求めた OBLA に相当するトレッドミルスピードを用いて 20 分間の最大下運動テストを女子中長距離走選手と女子競歩選手とに負荷した。

安静時、OBLA 負荷テスト中の 5 分目、10 分目、15 分目および 20 分目にダグラスバッグ法による採気および採血を行った。採血は運動後の回復 15 分目にも行った。測定項目は漸増負荷テスト時と同様にして、 $\dot{V}O_2$ 、血中乳酸濃度、ピルビン酸

濃度、および高速液体クロマトグラフィーを用いた THI 法によるエピネフィリン、およびノルエピネフィリンであった。

4. 結 果

1) トレッドミル漸増負荷運動中の OBLA の運動強度および生体負担度について

女子中長距離走選手 (○) と女子競歩選手 (●) のトレッドミル漸増負荷テスト中の血中乳酸濃度の変化を $\% \dot{V}O_{2max}$ に対して示したのが 図 1 である。ここに示されているように本研究の被験者の OBLA は約 86~93% $\dot{V}O_{2max}$ の非常に狭い範囲にあった。そこで本研究で用いた被験者の OBLA の結果を平均値で示すと、女子中長距離走選手の OBLA は $\dot{V}O_2$ で $49.4 \pm 1.6 \text{ ml/kg/分}$ (平均 \pm 標準偏差)、ランニングスピードで $241.4 \pm 6.3 \text{ m/分}$ であった。女子競歩選手の OBLA は

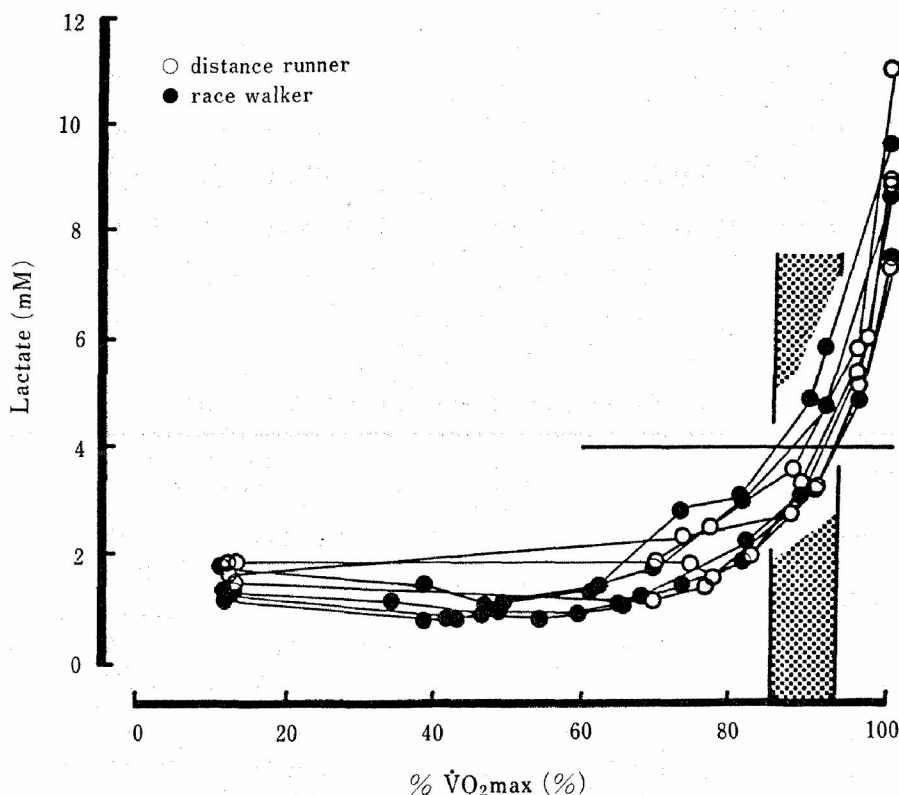


図 1 The relationship between blood lactate and $\% \dot{V}O_{2max}$ during the incremental treadmill exercise test in distance runners (○) and race walkers (●). The hatched area indicates the range of OBLA.

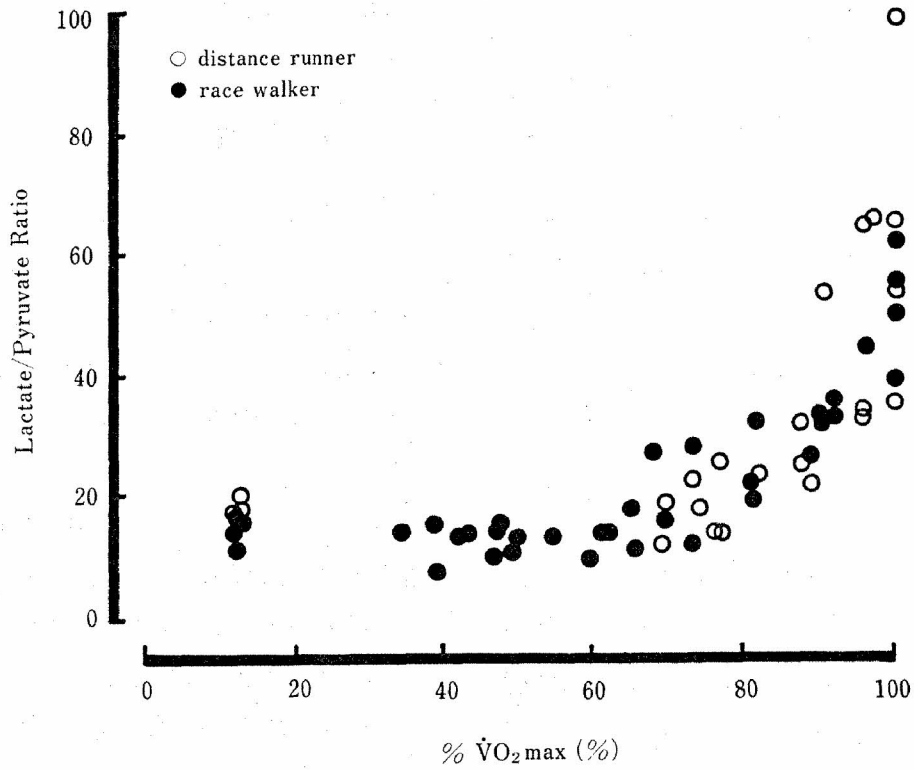


Fig 2 The relationship between blood lactate/pyruvate ratio and % $\dot{V}O_2$ max during the incremental treadmill exercise test. The legends of symbols are the same as Fig. 1.

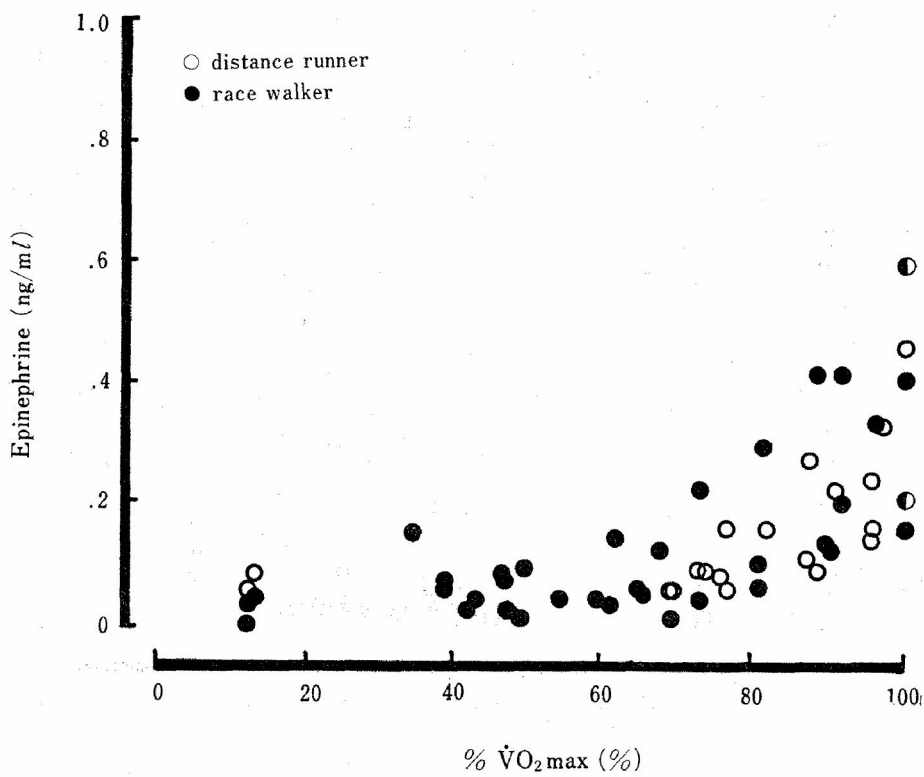


Fig 3 The relationship between plasma epinephrine concentration and % $\dot{V}O_2$ max during the incremental treadmill exercise test. The legends of symbols are the same as Fig. 1.

$\dot{V}O_2$ で $44.5 \pm 4.0 \text{ ml/kg/分}$, 歩行スピードで $171.5 \pm 12.5 \text{ m/分}$ であった。

図1と同様にトレッドミル漸増負荷テストに対する乳酸/ピルビン酸比が図2に示されている。中長距離走選手においても競歩選手においても乳酸/ピルビン酸比は図1で示した OBLA の範囲から急峻に増加し始めていることが示されている。トレッドミル漸増負荷運動中のカテコラミンの変化は図3と図4に示されている。

2) 持久トレーニングの負荷強度としての OBLA 負荷テストに対する応答

トレッドミル漸増負荷テスト中に求めた OBLA の強度を用いて20分間の最大下運動を行った結果が図5に示されている。 $\dot{V}O_2$ で示した運動強度はトレッドミル漸増負荷テスト中に推定した範囲内にあった(図5上)。一方、中長距離走選手も競歩選手も血中乳酸濃度は最大下運動テスト中に 4 mM の値を越えて漸増していった(図5下)。

OBLA 負荷の最大下運動中のカテコラミン応答が図6に示されている。

5. 考 察

OBLA をもとめるには、トレッドミル漸増負荷運動テストを実施してこの運動中の血中乳酸濃度が 4 mM となる運動レベルを求めるのが一般的であるが、この手順で求めた OBLA 負荷が競技選手にとって実際にどの程度の負荷強度となっているかを検討した。

本研究で用いた女子陸上中長距離走選手と競歩選手の $\dot{V}O_{2\text{max}}$ は平均してそれぞれ 54.3 ml/kg/分 と 50.1 ml/kg/分 であり、この値に有意な差はなかった。また、漸増運動に対する血中乳酸濃度の変化を非常に狭い範囲を示していた(図1)。この漸増負荷運動中に得られた OBLA の値はそれぞれ $91.3 \pm 1.4 \% \dot{V}O_{2\text{max}}$, $86.8 \pm 4.5 \% \dot{V}O_{2\text{max}}$ で有意差はなかった。この値は以前に女子

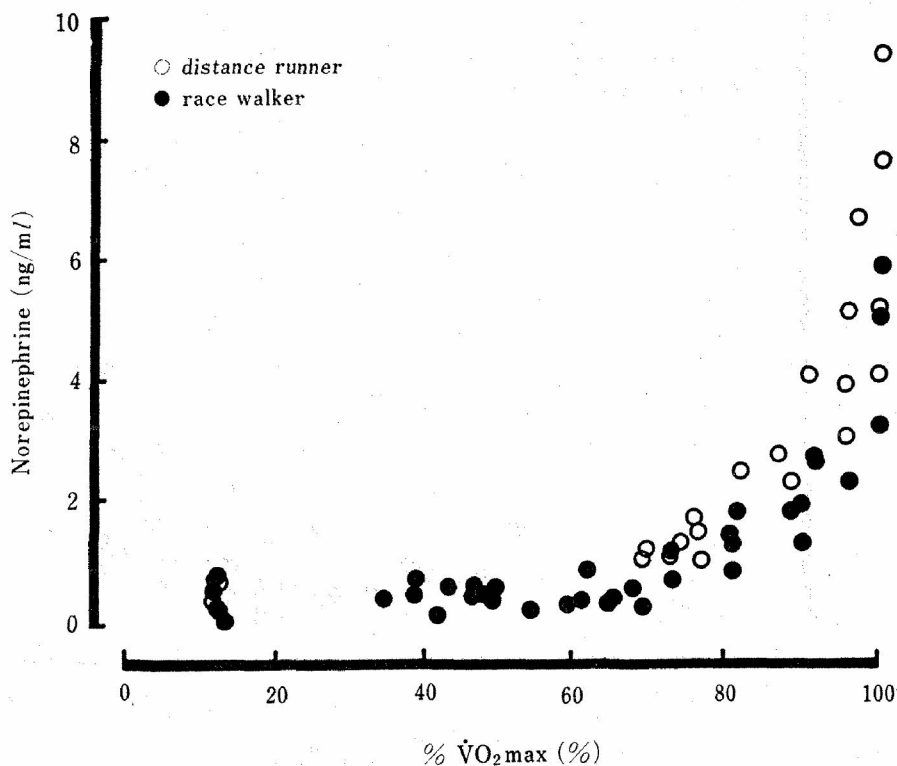


図4 The relationship between plasma norepinephrine concentration and $\% \dot{V}O_{2\text{max}}$ during the incremental treadmill exercise test. The legends of symbols are the same as Fig. 1.

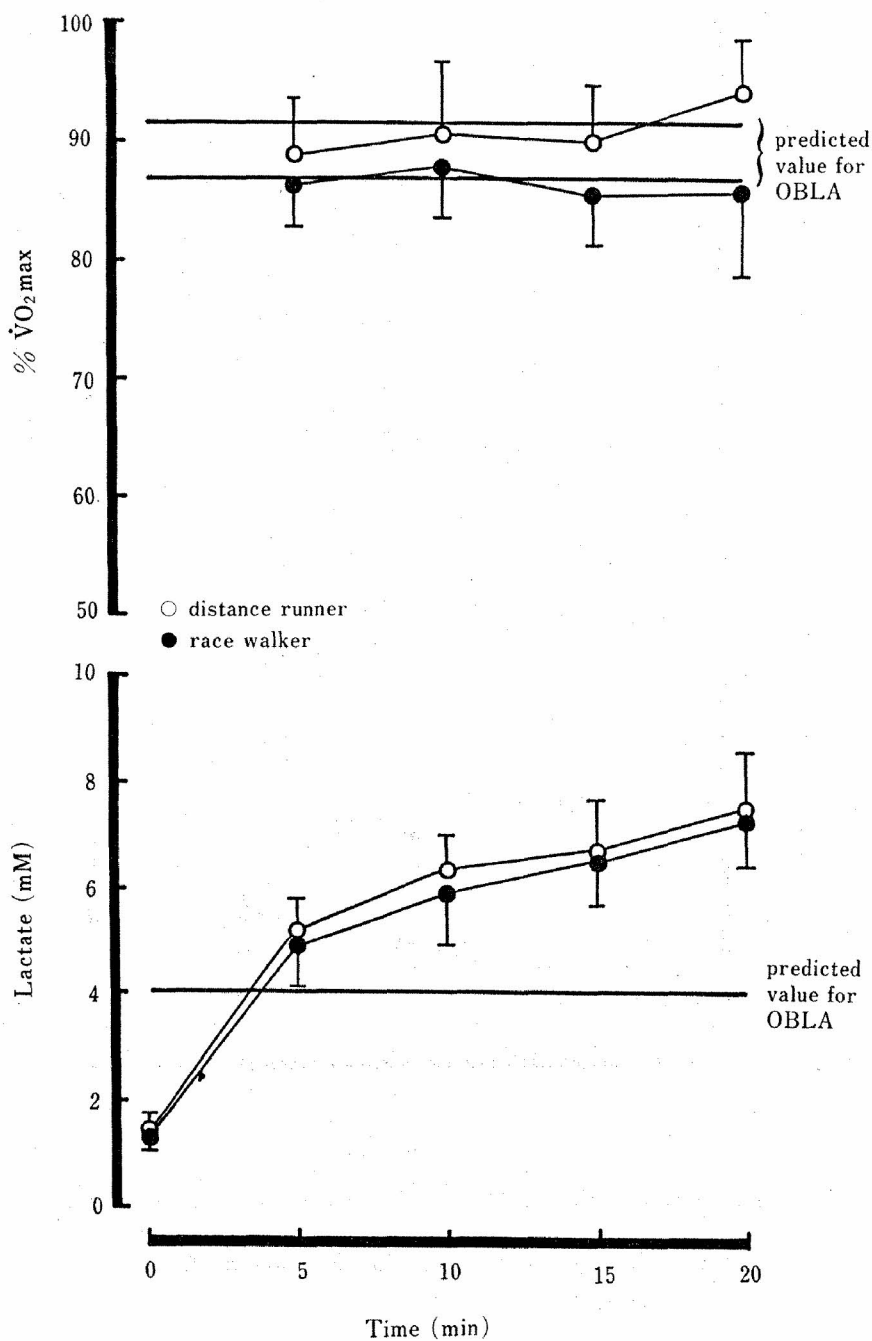


図5 The mean with ± 1 SD of $\dot{V}O_2$ (upper panel) and blood lactate (lower panel) during submaximal exercise at the intensity of OBLA. The legends of symbols are the same as Fig. 1.

持久選手で示された報告とよく一致するものである(吉田と山口, 1985). この OBLA 負荷のスピードを女子中長距離走選手や競歩選手のトレーニング強度に用いることを試みた.

血中乳酸濃度の値を基準としてトレーニング負荷強度を決定する試みは Maglischo et al.(1982), McLellan and Skinner (1981) が水泳選手や持

久選手に対して行っている. さらに Tanaka and Matuura (1984) はマラソン競技中の平均速度と血中乳酸濃度が増加し始める時点 (Lactate Threshold) が OBLA よりも相関係数が高いことから, この Lactate Threshold の強度をトレーニング負荷として推奨している. しかし, 中長距離走選手のトレーニング負荷強度は無氣的な要

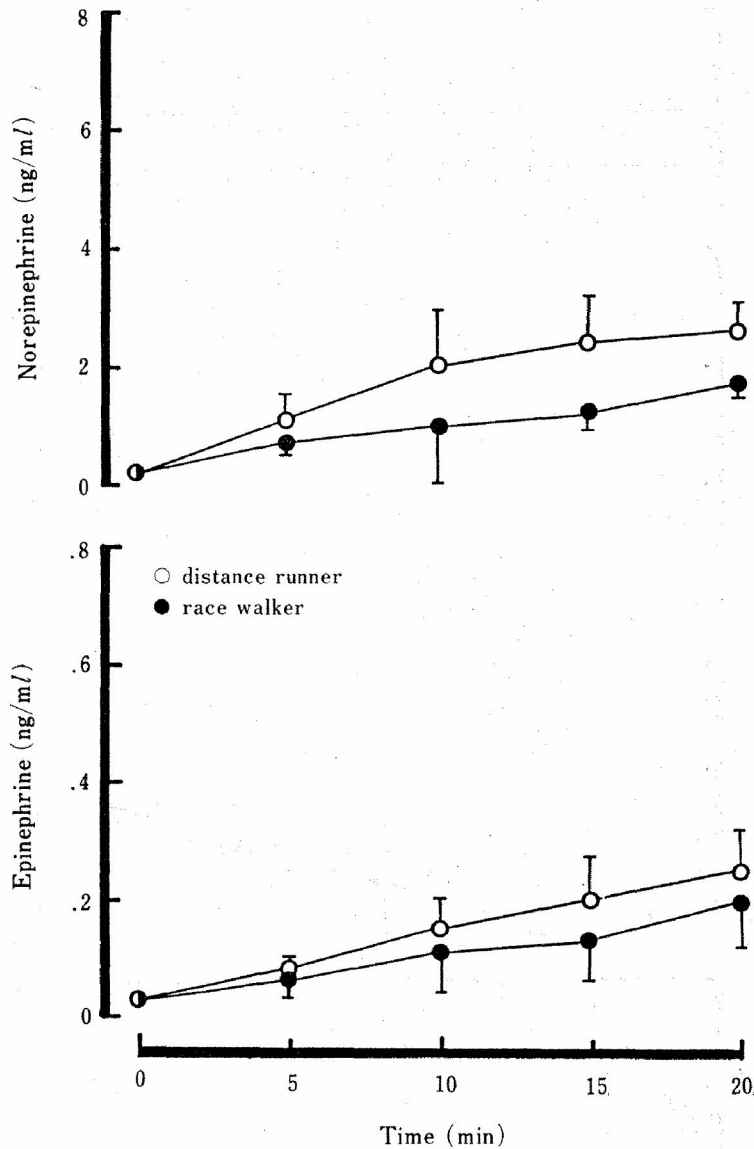


図6 The mean with $\pm 1SD$ of epinephrine and norepinephrine concentrations during submaximal exercise at the intensity of OBLA. The legends of symbols are the same as Fig. 1.

素も多いために Lactate Threshold の強度を用いることは低く過ぎると思われる。そこで Sjodin et al. (1982) や Mader et al. (1978) の報告を基に中長距離走選手や競歩選手のトレーニング負荷として OBLA を適用することが望ましいと考えた。

しかし、この OBLA 負荷強度がどの程度の生体負担度となっているかを知る必要がある。また、トレッドミル漸増負荷運動中に求めた OBLA スピードが、そのまま20~30分の最大下運動強度

としてよく一致して用いることができるか否かを知る必要もある。そこでまず第1にトレッドミル漸増負荷運動中の乳酸/ピルビン酸比とカテコラミンの変化をみた。

その結果、いずれの変化もこの OBLA の範囲から急峻に増加していることがわかる (図2, 図3, 図4)。つまり、この OBLA 負荷の時点は筋中の酸化還元状態が著しく還元状態となっており、筋中で解糖作用が高進していることがうかがわれる (Wasscrman, et al. 1985)。また、カテコ

ラミンの変化もこの OBLA 強度では著しく亢進していることが分かる, また, $\% \dot{V}O_2\max$ で OBLA を示すと約 86~93% $\dot{V}O_2\max$ の範囲にあった. これらの値は選手のトレーニング刺激として十分なものであると考えられる.

次に, この OBLA 負荷での最大下運動を実際に行ったときの $\dot{V}O_2$, 血中乳酸濃度, カテコラミンを測定してこの負荷に対する生体応答をみると, $\% \dot{V}O_2\max$ で示した運動強度ではいずれの競技種目でも漸増負荷テストから推定した値とよく一致した (図 5 上). しかし, 血中乳酸濃度は予測した値から有意に増加していた (図 5 下).

Whipp et al. (1974; 1981) や Davis et al. (1982) によると $\dot{V}O_2$ ではなくて運動強度で示した Lactate Threshold は漸増運動の負荷時間が短くなるにつれて過大評価することを示している. Yoshida (1986) によると非鍛錬者では4分ごとの漸増時間で十分に OBLA を推定できているが, よくトレーニングした競技選手では一定負荷運動に対して血中乳酸濃度が減少することが知られていることから競技選手では OBLA 負荷が相対的に過大評価されたものと考えられる.

この過大評価を避けるためには LaFontaine et al. (1981) や Londeree and Ames (1975) は10分間の最大下運動を実施している. また, Kindermann et al. (1979) はトレッドミル運動中に血中乳酸濃度を測定してその濃度が 4mM となるようにトレッドミルスピードを調節している. つまり, トレッドミル漸増負荷テストの漸増時間を考慮する必要がある. しかし, 競技選手はトレーニング状態によって筋中の毛細血管の分布が異なり, 筋中での乳酸産生と除去の割合が異なることが知られているために一律な方法を示すことが困難であると思われる.

われわれの方法はトレッドミル漸増負荷テストを用いて持久力測定とトレーニング負荷の設定の両方をなるべく簡単にかつ短時間に測定できるよ

うに考案した. したがって, 本方法で求めた方法でトレーニング負荷として OBLA を用いるときには OBLA 負荷の割合 (たとえば, 80% など) を考慮してトレーニングスピードを開始して, トレーニングが進むに連れてこの OBLA 負荷の割合を漸増的に調節するのが望ましい (山口, 印刷中).

持久トレーニングによって運動に対する血中乳酸濃度が減少するために, この調節方法でトレーニングスピードを増加させることでトレーニングの過負荷の原則と漸進性の原則を維持できる. この時にトレーニングスピードに対する乳酸濃度の測定が必要となるがトレーニング負荷の決定方法も含めて非観血的な方法の開発を行うことが今後の課題であろう.

6. ま と め

陸上中長距離走選手と競歩選手の持久トレーニング負荷としての OBLA の妥当性を検討した. その結果,

- 1) トレッドミル漸増負荷テスト中に得られた OBLA 負荷をトレーニングに用いることは選手の持久力向上のトレーニング刺激として十分なものであることが示唆された.
- 2) トレッドミル漸増負荷テストから OBLA の負荷を推定するときには漸増時間を考慮する必要があると示唆された.

文 献

- 1) Davis, J.A., Whipp, B.J., Lamara, N., Huntsman, D., Frank, M.H. and Wasserman, K.; Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from ramp exercise test. *Med. sci. Sports Exerc.*, **14** : 339—343 (1982)
- 2) Heck, E., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R. and Hollmann, W.; Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int. J. Sports Med.*, **6** : 117—130 (1985)
- 3) Jacobs, I.; Lactate, muscle glycogen and ex-

- ercise performance in man, *Acta Physiol. Scand.*, suppl 495 (1981)
- 4) Karlsson, J., Holmgren, A., Linnarsson, D. and Astrom, H.; OBLA exercise stress testing in health and disease. In: Lollgen, H. and Mellorowicz, H. (Eds) Progress in ergometry: Quality control and test criteria, Springer-Verlag, Berlin, 67—91 (1984)
 - 5) Kindermann, W., Simon, G. and Keul, J.; The significance of aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **42** : 25—34 (1979)
 - 6) LaFontaine, T.P., Londeree, R. and Spath, W.K.; The maximal steady state versus selected running events. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **13** : 190—192 (1981)
 - 7) Loneree, B.R. and Ames, S.A.; Maximal steady state versus state of conditioning. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **34** : 1—10 (1975)
 - 8) Mader, A., Heck, H. Hollmann, W.; Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of postexercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middledistance runners and swimmers. In: Landry, F. and Orban, W.A.R. (Eds) Exercise physiology, Symposium Specialists, 187—200 (1978)
 - 9) Mader, A. and Heck, H.; A theory of the metabolic origin of "anaerobic threshold", *Int. J. Sports Med.*, **7** : suppl. 45—65 (1986)
 - 10) Maglischo, E.W., Maglischo, C.W. and Bishop, R.A.; Lactate testing for training pace. *Swimming Technique*, **18** : 31—37 (1982)
 - 11) McLellan, T.M. and Skinner, J.M.; The use of the anaerobic threshold as a basis for training. *Can. J. Spt. Sci.*, **6** : 197—201 (1982)
 - 12) Sjodin, B., Jacobs, I. and Svedenkag, J.; Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **49** : 45—57 (1982)
 - 13) Tanaka, K. and Matuura, Y.; Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. *J. Appl. Physiol.; Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **57** : 640—643 (1984)
 - 14) Wasserman, K.; The anaerobic threshold measurement to evaluate exercise performance. *Am. Rev. Respir. Dis.*, **129** : suppl. 35—40 (1984)
 - 15) Wasserman, K., Beaver, W.L. and Whipp, B.J.; Mechanisms and patterns of blood lactate increase during exercise in man. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18** : 344—352 (1985)
 - 16) Whipp, B.J., Koyal, S.N. and Wasserman, K.; Anaerobic threshold and O₂ uptake kinetics for work increments of various durations. *Med. Sci. Sports*, **6** : 67—68 (1974)
 - 17) Whipp, B.J., Davis, J.A., Torres, F. and Wasserman, K.; A test to determine parameters of aerobic functions during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **50** : 217—222 (1981)
 - 18) Yoshida, T.; A comparison of lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during two kinds of duration of incremental exercises. *Ann. Physiol. Anthropol.*, **5** : 211—216 (1986)
 - 19) 吉田敬義, 山口敏夫; 女子中長距離選手の競技記録の変化と lactate threshold, OBLA, TDMA および $\dot{V}O_2\text{max}$ の変化との関連. 日本体育学会第36回大会号, 272 (1985)