

多段階ステップテストによる運動負荷を用いた運動強度と血中乳酸値の関連性

Relationship between Blood Lactate Level and Exercise Intensity during Exercise Load in Multi-stage Step Test

岡村 吉隆¹、大久保 なつみ²、大森 優奈²、口野 暢子²

Abstract

This study involved 23 female students at our department and aimed to measure blood lactate level and heart rate during multi-stage exercise load in a step test, analyze the validity of ratings of perceived exertion (RPE) as a measure of exercise load, and examine the relationship between Vo₂max and blood lactate level. A significant correlation was found between exercise load and heart rate during the step test, demonstrating the validity of RPE. The mean Vo₂max was 39.9 ± 6.4 ml/kg/min. Heart rate and blood lactate level at lactate threshold were 126 ± 14 beats/min and 1.5 ± 0.5 mmol/L, respectively. Blood lactate level after load of 70% Vo₂max ranged from 1.4 to 6.6 mmol/L, and was high in students good at sprint runs. The present results demonstrate that RPE measurement during exercise is effective for the determination of exercise intensity, and suggest that blood lactate level is an effective measure of the anaerobic exercise capacity of female students with a certain degree of exercise habit

要 旨

本研究の目的は本学科の女子学生23人を対象にステップテストを用いた多段階負荷時の、血中乳酸値と心拍数を測定し、運動負荷量に対する自覚的運動強度（RPE）との妥当性について分析するとともに、推定最大酸素摂取量の算出と血中乳酸値との関連性について確認することであった。結果はステップテストにおける運動負荷量と心拍数は有意な相関を示し、運動時の RPE の妥当性が確認できた。平均の推定最大酸素摂取量は 39.9 ± 6.4 ml/kg/min、乳酸性閾値における心拍数は 126 ± 14 拍/分、血中乳酸値は 1.5 ± 0.5 mmol/L であった。70%の運動負荷後の血中乳酸値は1.4から6.6の範囲でスプリント種目が得意な者が高値を示した。本研究において運動中の RPE は運動強度の判定に有効なことが確認できた。また、ある程度の運動習慣がある女子学生において血中乳酸値は無酸素性運動能力の判定に有効であることが示唆された。

キーワード：ステップテスト Step Test, 最大酸素摂取量 Maximum Oxygen Intake
血中乳酸値 Blood Lactate Level, 心拍数 Heart Rate
自覚的運動強度 Ratings of Perceived Exertion

1 Yoshitaka OKAMURA 千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科 (受理日：2009年10月1日)

2 Natsumi OOKUBO 千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科2008年度卒業生

2 Yuuna OOMORI 千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科2008年度卒業生

2 Youko KUCHINO 千里金蘭大学生生活科学部食物栄養学科2008年度卒業生

緒 言

1929年、Hill と Kupalov により筋肉中の乳酸蓄積が運動疲労の原因であると報告された¹⁾。彼らは、カエルから摘出した筋肉を長時間電気刺激すると筋肉のパフォーマンスが落ちること、そのパフォーマンスの低下と並行して筋肉中の乳酸値が上昇することを発見した。その後 Margaria によってある水準以上の強度に達すると運動負荷強度に比例して乳酸も増加すると報告²⁾され、それ以後運動と乳酸との関連性については多くの研究がなされてきたが筋肉疲労、特に筋肉痛との関連物質等については明らかにされていない。しかし、近年の研究では運動時の筋肉中の乳酸蓄積やそれに伴うアシドーシスは筋肉活動の妨げとはならず、むしろ、筋肉活動の促進・保護作用を有することが明らかとなった^{3,4)}。

運動競技において、長距離走者は最大酸素摂取量が優れており⁵⁾、運動終了後の乳酸値は中距離走者のほうが高い⁶⁾。また中距離走者は長距離走者に比べ同一負荷において最大酸素摂取量の出現が早く値は低い。そして最大心拍数、血中乳酸濃度は高いという報告⁷⁾もある。すなわち、乳酸性閾値 (Lactate Threshold : LT) や血中乳酸蓄積開始点 (Onset of Blood Lactate Accumulation : OLBA)⁸⁾値が高いと持久的競技能力も高い⁹⁾ことになる。このような根拠に基づき血中乳酸値の測定は個人の心肺能力やトレーニング効果の判定に多く用いられるようになった。

本研究は、運動習慣歴のある女子大生を対象にステップテストを用いた多段階負荷時の、血中乳酸値と心拍数を測定し、推定最大酸素摂取量の算出、運動負荷量に対する自覚的運動強度 (Ratings of Perceived Exertion : RPE)¹⁰⁾との妥当性について分析するとともに、血中乳酸値の変化について確認するために、比較的簡便に測定が可能なステップテストを用いて運動暦や得意な運動種目と最大酸素摂取量や血中乳酸値との関連性について検証することを目的とした。

方 法

対象は本学科3年生、4年生の女子学生23人とした。被験者には、事前に当日起床後は心拍数に影響を及ぼすカフェインの摂取や、運動に対する注意事項を説明した後に測定を実施した。ステップテスト中の水分補給はミネラルウォーターのみとし、運動しやすい服装や靴にて行った。

ステップテストは高さ20cmのステップボードを用い、4分間のステップ運動、2分間の座位でのインターバルを、4メッツから7メッツまで多段階で実施し、その後、最大酸素摂取量の70%強度で連続15分間のステップ運動を行った。最大酸素摂取量70%の心拍数の算出式は、

$$\{(220 - \text{年齢}) - \text{安静時心拍数}\} \times 0.7 + \text{安静時心拍数}$$

より求めた。

ステップ運動終了30秒前より心拍数を3回モニタリング、直後に RPE の程度を被験者より聞き取り、その後直ちに血中乳酸値を測定した。RPE(表1)は運動時の自覚的運動強度を表し、その値の10倍が心拍数に相当するとされている。ステップテスト終了後、血中乳酸値は15分、30分、60分、心拍数は運動後7分までは毎分、その後は15分、30分、60分にて測定した。安静時および7メッツまでのステップテストの結果から推定最大酸素摂取量と LT を求めた。

心拍数のモニタリングには、日本精密測機株式会社製パルスコーチ neo、血中乳酸値の測定は、アークレイ株式会社製ラクテートプロを用い被験者自身により測定した。LT の解析には同社の MEQNET LT Manager を用いた。最大酸素摂取量は心拍数と運動負荷量から回帰直線を求め最大心拍数における推定最大運動量を求め算出した。

スケールデータは平均値±標準偏差で示し、統計的分析は正規性の検定後、正規性が確認できたものについてはパラメトリック検定を、そうでないものについてはノンパラメトリック検定にて分析を行った。統計解析ソフトは SPSS Ver.15 を用い、有意水準は5%未満とした。

表1 自覚的運動強度(RPE)

6	
7	非常に楽である (very,very light)
8	
9	かなり楽である (very light)
10	
11	楽である (fairly light)
12	
13	ややきつい (somewhat hard)
14	
15	きつい (hard)
16	
17	かなりきつい (very hard)
18	
19	非常にきつい (very,very hard)
20	

結 果

安静時およびステップテストによる4メッツから7メッツの負荷時の心拍数、RPEと血中乳酸値を表2に示す。心拍数は安静時71±9拍/分、4メッツ106±11拍/分、5メッツ118±11拍/分、6メッツ132±14拍/分、7メッツ149±16拍/分であった。RPEは安静時8.5±2.1、4メッツ10.7±1.0、5メッツ11.9±1.4、6メッツ13.0±1.8、7メッツ14.4±2.0であった。RPEの10倍値と心拍数との比較では、安静時において有意な差 ($p < 0.05$) が認められたが、4メッツ ($p = 0.58$)、5メッツ ($p = 0.96$)、6メッツ ($p = 0.78$)、7メッツ ($p = 0.35$) においては共に有意差は認められなかった。血中乳酸値は安静時1.2±0.3mmol/L、4メッツ1.2±0.4mmol/L、5メッツ1.3±0.4mmol/L、6メッツ1.7±0.6mmol/L、7メッツ2.7±0.9mmol/Lであった。

ステップテスト時の負荷量と心拍数の上昇との相関係数 (r) は対象者個々において0.926から0.999と全員が有意な相関が認められた。

運動負荷量と心拍数から求めた対象者の推定最大酸素摂取量の度数分布を図1に示す。対象者の推定最大酸素摂取量は29.8ml/kg/minから51.0 ml/kg/minで、平均値は39.9±6.4ml/kg/minであった。

血中乳酸値は安静時、4メッツ時および5メッツ時においては1.2±0.3mmol/Lから1.3±0.4mmol/Lとほとんど変化がなかったが6メッツ時では1.7±0.6mmol/L、7メッツ時では2.7±0.9mmol/Lと上昇した。7メッツ時での血中乳酸値は1.1mmol/Lから4.4mmol/Lの範囲で、その差は3.3mmol/Lであった。

MEQNET LT Managerにより求められたLTの心拍数は最小値が108拍/分で、最大値は155拍/分であった。平均心拍数は126±14拍/分であった。また、LTでの乳酸値は、最小値が0.8mmol/L、最大値は2.8mmol/Lで、その差は2.0mmol/Lで、平均値は1.5±0.5mmol/Lであった。

表2 ステップテストの結果

	心拍数 (拍/分)	RPE	血中乳酸値 (mmol/L)
安静時	71±9	8.5±2.1	1.2±0.3
4メッツ	106±11	10.7±1.0	1.2±0.4
5メッツ	118±11	11.9±1.4	1.3±0.4
6メッツ	132±14	13±1.8	1.7±0.6
7メッツ	149±16	14.4±2.0	2.7±0.9

n=23

最大酸素摂取量の70%15分の運動負荷における結果は、心拍数は運動直後158±14拍/分、5分後106±15拍/分、15分後88±10拍/分、30分後84±9拍/分、60分後76±10拍/分であった。心拍数は安静時と比較すると運動後60分後においても有意 ($p < 0.001$) に高値であった。血中乳酸値の運動後の変化を図2に示す。血中乳酸値は運動直後3.6±1.5mmol/L、15分後 1.8±0.6mmol/L、30分後1.4±0.5mmol/L、60分後1.2±0.4mmol/Lであった。安静時の血中乳酸値と比較したところ、運動直後 ($p < 0.001$)、15分後 ($p < 0.01$) と有意に運動後の血中乳酸値が高値を示したが、30分後では安静時との有意な差は認められなかった。

推定最大酸素摂取量の上位 (40.6ml/kg/min から51.0ml/kg/min)10名の血中乳酸値は1.9mmol/L から6.6mmol/L であったが、経験・得意種目を聞いたところ、血中乳酸値高値者はスプリント系、低値者は持久力系の経験者又は得意種目という回答であった。

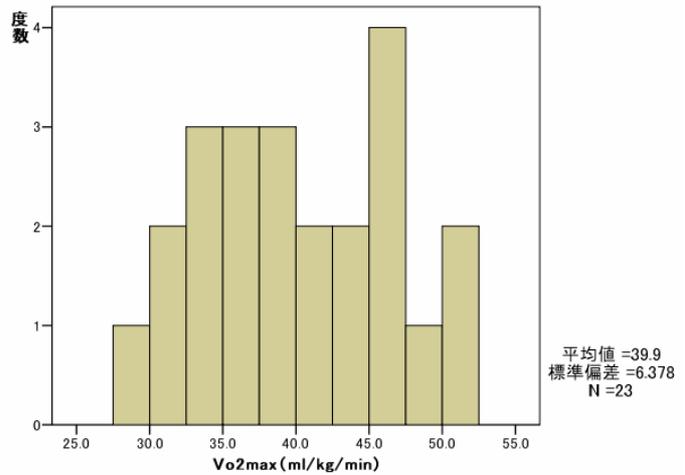


図1 推定最大酸素摂取量の度数分布

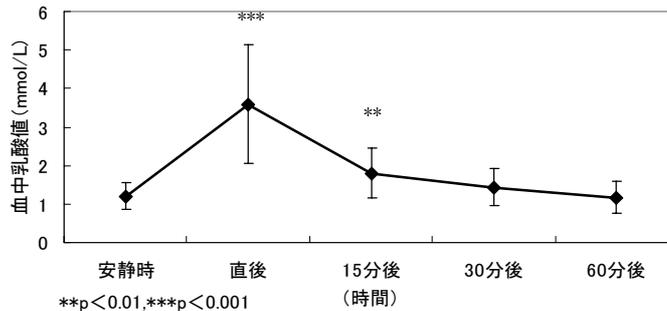


図2 血中乳酸値の変化 対応のある t-検定

考 察

本研究の対象者は運動習慣歴のある本学科の学生23人であったが、推定最大酸素摂取量は平均39.9±6.4ml/kg/minであった。健康づくりのための運動基準2006¹¹⁾では20歳代女性の健康づくりのための最大酸素摂取量の範囲を27ml/kg/min から38 ml/kg/min としており、対象者はこの基準から考えると体力的に優れていた。しかし個人差は大きく、最小値は29.8ml/kg/ml、最大値は51.0ml/kg/mlであった。また、多段階負荷のステップテストは被験者単位では運動負荷量と心拍数間に有意な相関関係が確認され、推定最大酸素摂取量の算出に有効であることが確認できた。

自覚的運動強度 (RPE)¹⁰⁾は、安静時において心拍数とは有意な差が認められたが、運動中では有意な差は認められず RPE が個人の運動強度の指標として有効であることも確認できた。

一方、血中乳酸値は推定最大酸素摂取量同様個人差が大きかった。MEQNET LT Manager を用いた LT、最大酸素摂取量の70%15分の負荷後の乳酸値も同様であった。推定最大酸素摂取量の上位10名について、経験・得意種目を聞いたところ、血中乳酸高値者にはスプリント系、低値者には持久力系の経験者又は得意種目という回答が得られたことから、個人の筋組成によって強度の運動負荷後の血中乳酸値に差があることを示唆するものである。これはスプリントトレーニングに伴い運動後の最高血中乳酸濃度は上昇する¹²⁾という報告とも一致するものである。本研究の対象者は運動習慣歴のある者であったが、現在も継続しているという者はいなかった。競技者レベルでは

中距離走者においても有気的能力は重要である^{13,14)}とされており、OLBA レベルのトレーニングはLT や競技記録に効果があった¹⁵⁾との報告もある。したがって、競技レベルが高くなれば運動後の最高血中乳酸レベルも高値を示すということになり、血中乳酸値が筋肉痛等を決定する主要因ではないことを意味する。筋肉痛も含めた筋疲労については未だ説明されていないが、本研究においても最大酸素摂取量の70%の強度において上昇した血中乳酸値は30分後には有意な差が認められない程度に回復しており、これらのことを確認できた。また、今回は安全性を考慮し運動強度を最大酸素摂取量の70%の設定で実施したが、成人男性において高強度の運動後の血中乳酸値は運動終了後、約一時間で回復した¹⁶⁾との報告からも本研究での一定の成果が得られたと考える。また、ある程度の運動習慣がある女子学生において血中乳酸値は最大酸素摂取量とは独立して、無酸素性運動能力の判定に有効であることが示唆された。

最後に、本研究に際し被験者としてご協力いただいた方々に感謝いたします。

ま と め

運動習慣歴のある本学科の学生の推定最大酸素摂取量は一般20歳代女性の基準値より高い値であった。しかし、推定最大酸素摂取量、LT、血中乳酸値上昇の程度は個人差が大きかった。血中乳酸値は運動終了後30分で安静時と有意な差がない値に回復した。RPE は運動中の心拍数の指標として有効であることが確認できた。推定最大酸素摂取量高値群において、運動負荷後の血中乳酸値の高い者はスプリント系を、低い者は持久力系を経験または得意種目とする者であった。

引用文献

- 1) Hill A V, Kupalov p.: Anaerobic and aerobic activity in isolated muscle. Proc R. Soc London Ser., 1929; 105, p3 13-322
- 2) R. Margaria: An apparent change of pH on stretching a muscle. J Physiol. 12; 82(4): 496-7 (1934)
- 3) Pedersen T H, Nielsen. OB, Lamb GD. et al.: Interacellular acidosis enhance the excitability of working muscle. Science, 2004; 305, 1144-1147
- 4) Allen D, Westerblad H. : Lactic acid-the latest performance-enhancing drug. Science, 2004; 305, p1112-1113
- 5) Taunton J.E., Maron H., Wilkinson J.G.: Anaerobic performance in middle and long distance runners. Can J Appl Sport Sci; 6(3): 109-113 (1981)
- 6) Svedenhag J., Sjodin B.: Maximal and submaximal oxygen uptakes and blood lactate levels in elite male middle-and long-distance runners. Int J Sports Med; 5(5) 255-261 (1984)
- 7) 佐伯徹郎, 鍋倉賢治, 高松薫. 漸増負荷走テストにおける生理的応答からみた中距離走者と長距離走者の相違. 体力科学 48 385-392 (1999)
- 8) Jacobs I., Sjodin B., Kaiser P., Karlsson J.: Onset of blood lactate accumulation after prolonged exercise. Acta Physiol Scand; 112(2) 215-217 (1981)
- 9) Yoshida T., Udo M., Chida M., Ichioka M., Makiguchi K., Yamaguchi T.: Specificity of physiological adaptation to endurance training in distance runners and competitive walkers. Eur J Appl Physiol Occup Physiol; 61(3-4) 197-201 (1990)
- 10) Borg G.A.: Perceived exertion: a note on "history" and methods. Med Sci Sports 5(2) 90-93 (1973)
- 11) 厚生労働省「運動所要量・運動指針の策定検討会」：健康づくりのための運動基準2006.
<http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/undou02/pdf/data.pdf>

- 12) Edge J., Bishop D., Goodman C., Dawson B.: Effects of high-and moderate-intensity training on metabolism and repeated sprints. *Med Sci Sports Exerc.*37(11) 1975-1982(2005)
- 13) 井上辰樹, 戸塚学, 富岡徹, 丹羽哲次, 広田公一: 800m 走ラストスパートのエネルギー供給機構. *体力科学*42 173-182(1993)
- 14) Brandon L.J.: Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Med.* 19(4) 268-277(1995)
- 15) Yoshida T., Chida M., Ichioka M., Suda Y.: Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 56(1) 7-11(1987)
- 16) 山形高司, 脇本敏裕, 長尾光城, 松枝秀二, 長尾憲樹: 高強度運動後における血中乳酸応答と唾液中乳酸および尿中乳酸の関係. *川崎医療福祉学会誌.* 18(1) 155-162 (2008)