

乳酸性パワーを向上させるための トレーニング法の確立

	財 団 法 人	若 山 章 信
	スポーツ医・科学研究所	
(共同研究者)	同	山 根 真 紀
	同	柳 等
	同	田 村 真 一

How to Train Lactic Power Generation

by

Akinobu Wakayama, Maki Yamane,
Hitoshi Yanagi, Shinichi Tamura
Institute of Sports Medicine and Science

ABSTRACT

The purpose of this study was to design an interval training method which increases lactic power generation by use of a bicycle ergometer. Sixteen high-school male sprinters (173.8 cm, 65.9 kg, 16.7 yrs) volunteered in this study. Five minutes post exercise blood lactate was analyzed for 10 sec of pedaling at a load of 1.0 kp, 0.075 kp/kgBW and 0.15kp/kgBW. Which at 0.075 kp/kgBW (7.2 mmol/l) was significantly higher than that of 1.0 kp (6.2 mmol/l) and 0.15 kp/kgBW (6.5 mmol/l). Then the post exercise blood lactate level was analyzed for 20, 30 and 40 sec of pedaling at a load of 0.075 kp/kgBW. It was higher in 40 sec (12.1 mmol/l) but, the relation-ship between an each of mean power and post exercise blood lactate accumulation, 10 and 20 sec mean power had a significant relationship.

For this reason, two interval training models were designed. One was six 20 sec pedaling set at 0.075 kp/kgBW with a 2 min rest (Int 20), the other was three 40 sec pedaling set at the same load with a 5 min rest (int 40). Both training models had 2 min training periods and 10 min rest periods as a whole. After each training, the blood lactate was 13.5 mmol/l (Int 20) and 14.7 mmol/l (Int 40). This suggests that Int 40 was more effective in increasing lactic power generation.

After one year of training at Int 40, the post exercise blood lactate increased 25.8% (12.0 to 15.1 mmol/l) and 40 sec mean power increased 26.6% (555 to 771 watt) in three amateur cyclists.

要 旨

本研究では、自転車エルゴメータを用い、特に乳酸性パワーを向上させるインターバルトレーニングをデザインすることを目的とした。被検者は、高校総体出場レベルの男子陸上短距離選手16名であった。1.0 kp, 0.075 kp/kg BW, そして0.15 kp/kg BW の負荷での10秒間全力駆動後の血中乳酸値は、0.075 kp/kg BW において最も高かった。そして、その負荷での10秒, 20秒, 30秒および40秒間全力駆動では、運動後の血中乳酸値は40秒駆動において最も高かったが、単位時間あたりの乳酸蓄積量は10秒駆動で最も高く、出力パワーと血中乳酸値との関係では、10秒および20秒駆動においてのみ有意な相関がみられた。

以上の理由から、総運動時間2分、総休息时间10分で共通する Int 20 (20秒間全力駆動, 2分休息, 6セット) および Int 40 (40秒間全力駆動, 5分休息, 3セット) のインターバルトレーニングをデザインした。この2つのトレーニング実施後の血中乳酸値を測定した結果、Int 40 では 14.7 mmol/l で、Int 20 の 13.5 mmol/l と比べ有意に高い結果であった。そこで Int 40 を週3回、1年間競技選手に処方し、トレーニング効果を確認した。その結果、40秒パワーにおいて26.5%、40秒パワー後の血中乳酸値では34.2%の向上が認めら

れた。出力パワーのみならず、運動後の血中乳酸値も上昇したことから、この自転車エルゴメータを用いた0.075 kp/kg BW での40秒間全力駆動、5分休息、3セットのインターバルトレーニングは競技選手の乳酸性パワーを向上させるのに有効なトレーニングであったと考えられる。

はじめに

身体運動における出力パワーをエネルギー供給系から分類した場合、非乳酸性、乳酸性そして有酸素性パワーに分けられることは周知である。競技レベルを向上させるための体力トレーニングは、これらのパワー発揮能力の改善が目的であり、近年提唱されている科学的トレーニングは、選手個々の体力レベルに合わせた運動強度で各パワー発揮能力を鍛練していくことが基本となる。

現在行われている科学的トレーニングとして、瞬発系の種目に必要な非乳酸性パワーのトレーニングでは、バーベルなどのウェイトを用いたレジスタンストレーニングや自転車エルゴメータを用いたハイパワートレーニングなどが、持久系や球技系に必要な有酸素性パワーのトレーニングでは、AT (Anaerobic Threshold) を活用したトレーニングなどがあげられる。乳酸素パワーは、競技時間が10秒から2分程度までの陸上競技、自転車競技、スキー、スケートなどの個人競技から、柔道

やレスリングなどの格技，そしてサッカーやラグビーなどの瞬発的な運動を繰り返す球技系の種目と，ほとんどの競技種目において重要な役割を果たす。しかし乳酸性パワーのトレーニング法に関しては，Fox (1979) がインターバルトレーニングを提唱しているものの，運動強度，運動時間と休息時間の組み立てにおいて現場で応用できるほどの具体的な指針が得られていないのが現状である。

そこで本研究では，自転車エルゴメータを用いて，乳酸性パワーを向上させるインターバルトレーニングをデザインすることを目的とし，以下のような実験を行った。なお，乳酸性の生成量はグリコーゲンやブドウ糖の無氣的分解によるエネルギー供給量を表すため，より多くの乳酸が生成（血中乳酸の蓄積）されるトレーニングほど，乳酸性パワーを高めるものと仮定した。実験1として種々の負荷での10秒間全力駆動を行わせ，血中乳酸の蓄積が大きい負荷を求めた。そして，その負荷を用いて10秒，20秒，30秒および40秒間の駆動を行わせ，それぞれの運動時間での出力パワーおよび運動後の血中乳酸値を分析した。次に，実験2として実験1の結果から2つのインターバルトレーニングのモデルをデザインし，そのトレーニングを行った際の血中乳酸値および心拍数を測定した。また，実験2によって推奨されたトレーニングを競技選手に処方し，トレーニング効果の確認を行った。

1. 被検者

被検者は，高校総体出場レベルの男子陸上短距離選手16名で，被検者の身長，体重および年齢の平均は，173.1 cm，64.1 kg，16.9 yrs. であった。ただし，測定項目ごとに被検者を選択したため，それぞれの測定の被検者数は9名から13名であった。

2. 実験1

2.1 実験方法

自転車エルゴメータの負荷および出力パワーと血中乳酸蓄積量との関係を調べるため，1.0 kp，0.075 kp/kg BW（平均4.8 kp）および0.15 kp/BW（平均9.7 kp）の負荷での10秒間全力駆動を行わせ平均パワーおよび運動前後の血中乳酸値を分析した（ $n = 9$ ）。

次に自転車エルゴメータの駆動時間と血中乳酸蓄積量との関係を調べるため，上記の測定において血中乳酸の蓄積が最も高かった負荷を用いて，10秒，20秒，30秒および40秒間の全力駆動における平均パワー（以下 x 秒パワー）および運動後の血中乳酸値を分析した。さらに，40秒間全力駆動での平均ペダル回転速度を被検者ごとに算出し，その速度よりも10 rpm 速い速度を維持する40秒間一定速度駆動を行わせ，出力パワーおよび運動後の血中乳酸値を分析した（ $n = 12$ ）。

なお，血中乳酸値の分析は，運動前は準備運動終了後，運動後は血中乳酸値がほぼ最高値となる運動終了5分後（Dodd 1984³⁾，Hirvonen 1987⁹⁾）に，指先より40 μ l の血液を採取し YSI 社製1500 sport および23 L を用いて分析した。ただし，運動前の血中乳酸値を分析せず，無作為に選んだ3名の被検者の血中乳酸値が2.0 mmol/l 以下であることを確認してから測定を行った場合もあった。また，すべての測定において，自転車エルゴメータは電磁ブレーキ式（Combi 社製 powermax V）を用い，足部をトゥクリップによってペダルに固定した。そして，駆動開始時はサドルより腰を上げて加速させ，駆動開始5秒後に着座するよう指示した。

統計処理は，対応のある T 検定を行った。検定の有意水準は5%とした。

2.2 実験結果

表1に結果を示した。10秒間全力駆動後の血中

表1 The blood lactate accumulation in 10 sec of pedaling at some loads

load (kp)	1.0 kp	0.075 KP/BW 4.8 ± 0.4	0.15 kp/BW 9.7 ± 0.9
10 sec. peak pedaling rate (rpm)	238 ± 10 **	197 ± 7 **	136 ± 10
mean power (watt)	219 ± 8 **	867 ± 96 **	1182 ± 111
pre-exercise blood lactate (mmol/l)	1.4 ± 0.3	1.5 ± 0.3	1.8 ± 0.3
post-exercise blood lactate (mmol/l)	6.2 ± 0.8 **	7.2 ± 0.6 **	6.5 ± 0.8
blood lactate accumulation(mmol/l)	4.9 ± 0.7 **	5.7 ± 0.6 *	4.7 ± 0.9

Significant levels were compared 0.075 kp/BW with both sides ** p<0.01 * p<0.05

表2 The mean power and blood lactate accumulation in 10 to 40 sec of pedaling at load of 0.075 kp/kg BW

Time (sec)	10 s	20 s	30 s	40 s	40 s even
mean power (watt)	822 ± 117	748 ± 96	693 ± 83	637 ± 78**	618 ± 75
pre-exercise blood lactate (mmol/l)	1.5 ± 0.3				
post-exercise blood lactate (mmol/l)	7.0 ± 0.7	9.2 ± 0.9	10.6 ± 0.8	12.1 ± 0.8**	10.3 ± 0.9

Significant levels were compared 40 sec supermaximal with even pace pedalings ** p<0.01

乳酸値の平均は、0.075 kp/kg BW の負荷で最も高く7.2 mmol/l (平均パワー 867 watt) であった。これは、1.0 kp における6.2 mmol/l (同219 watt) および0.15 kp/kg BW における6.5 mmol/l (同1182 watt) に対し、対応のある T 検定において p<0.01 で有意に高かった。なお、1.0 kp での出力パワーは0.15 kp/kg BW での出力パワーの20%に満たないにも関わらず、運動後の血中乳酸値に有意差はみられなかった。

10秒間全力駆動で最も血中乳酸値の高かった0.075 kp/kg BW の負荷での、10秒、20秒、30秒および40秒パワーおよび運動前後の血中乳酸値は平均で、それぞれ822, 748, 693, 637 watt および(運動前1.5) 7.0, 9.2, 10.6, 12.1 mmol/l であった(表2)。すなわち、運動開始後10秒間の血中乳酸蓄積量は5.5 (7.0-1.5) mmol/l であり、その差分から、10秒以降の血中乳酸値を、10秒から20秒の間に2.2 (9.2-7.0) mmol/l, 20秒から30秒で1.4 (10.6-9.2) mmol/l, 30秒から40秒で1.5 (12.1-10.6) mmol/l の増加と考えると(図1)、運動開始後10秒間の血中乳酸の蓄積量はそれ以降の蓄積量に対し有意 (p<0.01) に高かった。

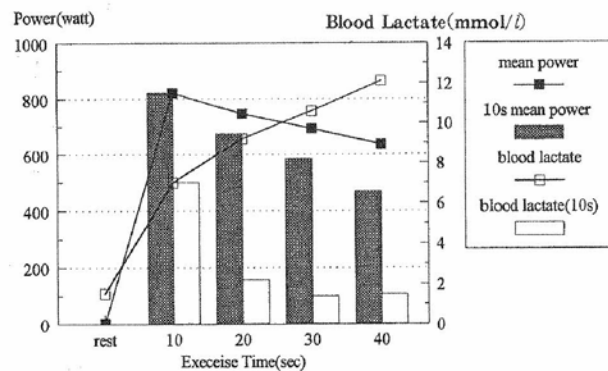


図1 The change of mean power and blood lactate accumulation in each exercise time

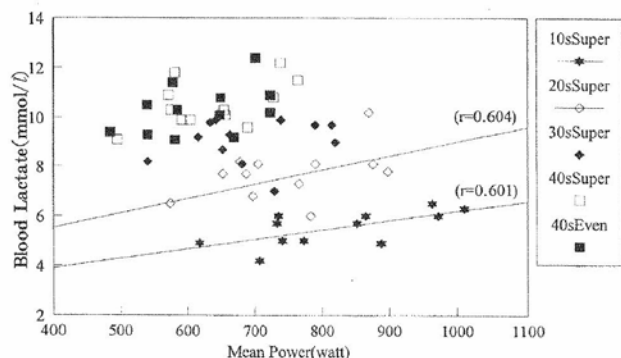


図2 The relationship of mean power and blood lactate accumulation

たといえる。

次に、各運動時間での出力パワーと血中乳酸値

との関係を見ると (図 2), 10秒パワー ($r=0.601$) および20秒パワー ($r=0.604$) との間には5%水準の有意な相関が認められたものの, 30秒パワーおよび40秒パワーとの間に有意差は認められなかった。また, 40秒間一定速度駆動では, 出力パワー (618 watt) および血中乳酸値 (10.3 mmol/l) とともに, 40秒間全力駆動 (637 watt, 12.1mmol/l) と比べ, 対応のある T 検定において $p<0.01$ で有意に低かった (表 2)。

2.3 インターバルトレーニングにおけるモデル(運動強度(負荷および運動速度), 運動時間, 休息时间)の作成および考察

インターバルトレーニングの負荷は, 1.0 kp, 0.075 kp/kg BW および0.15 kp/BW での10秒間全力駆動において, 運動後の血中乳酸値が最も高かった0.075kp/kg BW とした。なお, 乳酸性のエネルギー供給(運動後の血中乳酸値)が, 負荷や出力パワーに比例せず, 0.075 kp/kg BW において最も高かった理由として, 軽負荷では仕事量が少ないこと, 重負荷では高い筋パワーが必要となるため非乳酸性のエネルギー供給が主に動員されることが原因と考えられる。また, 乳酸性のエネルギー供給は, 激運動ではクレアチン燐酸の枯渇する運動開始後7秒以降より始まるとされてきた (Margaria 1933¹⁰⁾) が, 近年では10秒以内の運動でも顕著な乳酸の蓄積がみられることが明らかにされている (Jacobs 1983¹⁰⁾)。運動速度は, 40秒間全力駆動と一定速度駆動では, 田畑・山本の報告 (1989)¹²⁾ 同様全力駆動のほうがより高い血中乳酸の蓄積がみられたため, 全力駆動とした。

運動時間は, 0.075 kp/kg BW を負荷とした10秒から40秒間の全力駆動において, 運動時間が長い程血中乳酸値は高かったものの, 単位時間あたりの血中乳酸の蓄積は運動開始後10秒間が最も多かった。また, 各パワーと血中乳酸値との相関は, 30秒および40秒パワーでは有意でなかった。この理由としては, 全力駆動における30秒以降は, 有

酸素性のエネルギー供給の貢献が50%以上となることあげられる (Gastin 1991⁶⁾, Hill 1993⁸⁾)。本研究ではインターバルトレーニングのモデルを, より多くの乳酸が生成(血中乳酸が蓄積)されることを主眼としたため, 運動後に最も高い血中乳酸値が観察された40秒間の駆動と, 有酸素性エネルギーの貢献が少なく(運動後の血中乳酸値と出力パワーとの間に有意な相関がみられ), 単位時間あたりの血中乳酸の蓄積も比較的多い20秒間の駆動をモデルとして取り上げることとした。

休息时间について山本 (1991)¹³⁾ および Balson (1992)¹⁾ は, 休息時間の短縮が乳酸性のエネルギーを動員させると報告している。この実験では, 運動時間は非乳酸性のエネルギー供給が主となる5秒間であり, 休息時間の短縮によってクレアチン燐酸 (CP) の回復が間に合わなかったために乳酸性のエネルギーが動員されたものと考えられる。しかし, 本研究の20秒および40秒間の全力駆動では, 主として乳酸性のエネルギーが動員されると推察される。この種の運動において休息時間を短縮することは, 筋中の乳酸の緩衝が間に合わず, 有酸素性エネルギーの動員を促してしまうことが予想される。そこで, 少なくとも CP が回復し, かつ筋中乳酸が緩衝される時間を休息时间とすることが望ましい。すなわち, 運動後の酸素負債を非乳酸性酸素負債 (CP の再合成) と乳酸性酸素負債 (乳酸の緩衝) に分けて考えた場合, 非乳酸性酸素負債が2分程度で完了すること (Margaria 1933)¹⁰⁾, また筋性検による実験では, 4分程度で exhaust に至る運動によって消費された CP が運動後2分では84%程度 (Harris 1976)⁷⁾, 30秒の超最大運動では4分弱の休息時間で78%の CP が再合成されたこと (Bogdanis 1996)²⁾, そして激運動後の血中乳酸値が運動後5分程度で最高となる(筋中から血液中に放出される)ことから (Dodd 1984)³⁾, Hirvonen 1987⁹⁾, 2分から5分を休息時間の基準とした。

以上のことから、総運動時間および総休息時間が同様となるようデザインしたインターバルトレーニングが以下の2つである。すなわち、総運動時間2分、総休息時間10分で共通する、20秒間全力駆動、2分休息、6セット（以下 Int 20）および40秒間全力駆動、5分休息、3セット（以下 Int 40）である。

3. 実験 2

3.1 実験方法

実験1においてデザインした2つのインターバルトレーニングのモデル（Int 20 および Int 40）を行わせ、運動開始前および各駆動後の血中乳酸値および心拍数を測定した（n=13）。休息時間中は自転車エルゴメータ上での完全休息とした。また、血中乳酸値の分析方法および自転車エルゴメータの機種・留意点等は実験1と同様であった。心拍数は胸部3点誘導にて導出した。

統計処理は、対応のあるT検定を行った。検定の有意水準は5%とした。

3.2 実験結果および考察

図3に結果を示した。Int 20終了後の血中乳酸値は平均13.5 mmol/lで心拍数は179 bpmであった。それに対し Int 40 終了後の血中乳酸値は平均14.7 mmol/lで心拍数は179 bpmであった。すな

わち、総運動時間2分、総休息時間10分で共通するインターバルトレーニングにおいて、血中乳酸値はInt 40のほうが有意（ $p < 0.01$ ）に高く、より乳酸性エネルギーが動員されたトレーニングと推察される。なお、40秒パワーでは30秒以降有酸素性エネルギーの貢献が推察されるが、運動後の心拍数が同じであったことから、Int 40における有酸素性のエネルギーの貢献はInt 20と同程度であったと考えられる。

以上の理由により、乳酸性パワーを向上させるインターバルトレーニングとして、Int 40（40秒間全力駆動、5分休息、3セット）が推奨された。このインターバルトレーニングを1年間、自転車競技選手3名（173.1 cm, 64.1 kg, 16.9 yrs.）に処方し、トレーニング効果の確認を行った。各被検者は週6日間のトレーニングにおいて、週3日間このインターバルトレーニングを行った。結果は図4のように40秒パワー後の血中乳酸値は25.8%（12.0 mmol/lから15.1 mmol/l）の向上がみられ、40秒パワーは平均で26.6%（555 watt から701 watt）向上した（初期値および最大値の3名平均）。なお、この被検者はハイパワートレーニングおよびウェイトトレーニングも週3日間行っていたため、非乳酸性パワー（最大無酸素性パワー）は46.9%向上したが、ATレベルの自転車駆動を

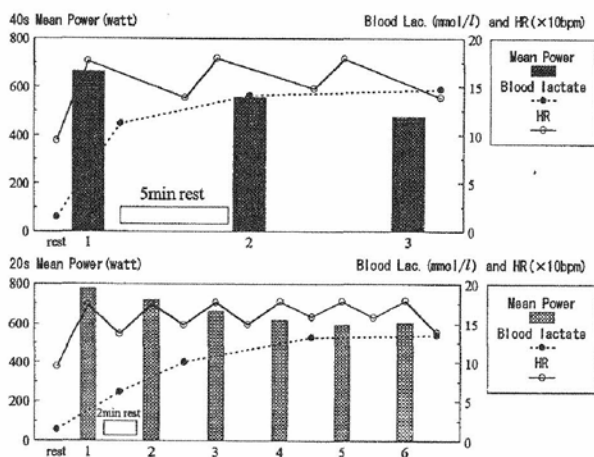


図3 The changes of power, blood lactate accumulation and heart rate in the two interval training

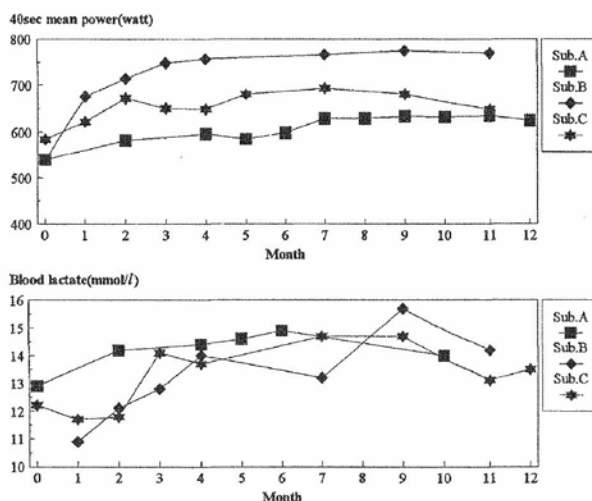


図4 The changes of 40s power and blood lactate accumulation

1日1時間、週6日間行っていたにも関わらず有酸素性パワー（最大酸素摂量）は8.9%の向上でしかなかった。インターバルトレーニングでは乳酸性のエネルギーよりも非乳酸性や有酸素性エネルギー供給の貢献が高いことが指摘されている（Gaitanos 1993）⁵⁾が、本研究においてデザインしたInt 40モデルは、非乳酸性パワーに対するトレーニング効果は否定できないものの、乳酸性パワーを向上させる有効なトレーニングであったと判断された。

4. ま と め

非乳酸性、乳酸性そして有酸素性パワーそれぞれについて、そのパワーの向上をねらったトレーニングとして必要なことは、そのトレーニングが断続的であれ継続的であれ、そのエネルギーをより多く消費することである。すなわち、乳酸性パワーの向上をねらったトレーニングのモデルとしては、運動後により多くの乳酸の蓄積がみられることが有効と考えられる。今回提唱した自転車エルゴメータを用いた0.075 kp/kg BWでの40秒間全力駆動、5分休息、3セットのインターバルトレーニングを競技選手に処方したところ、出力パワーのみならず、運動後の血中乳酸値も上昇したことから、このトレーニングは競技選手の乳酸性パワーを向上させるのに有効なトレーニングであったと考えられる。

共同研究者は冒頭の3名のほか、友末亮三、小嶋俊久（以上財団法人スポーツ医・科学研究所および北村 肇（中京大中京高校）であった。

文 献

- 1) Balson, P. D., Seger, J. Y., et al.; Maximal-intensity intermittent exercise, Effect of recovery duration, *Int. J. Sports Med.*, **13**, 528-533 (1992)
- 2) Bogdanis, G. C., M. E. Nevill, et al.;

- Contribution of Phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise, *J. Appl. Physiol.*, **80**, 876-884 (1996)
- 3) Dodds, S. K. Powers, et al.; Blood lactate disappearance at various intensities of recovery exercise, *J. Appl. Physiol.*, **57**, 1462-1465 (1984)
- 4) Fox, L. E.; Sports physiology, 朝比奈一男, 渡辺和彦 訳, 大修館, pp. 201-203 (1982)
- 5) Gaitanos, G. C., et al.; Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise, *J. Appl. Physiol.*, **27**, 174-178 (1993)
- 6) Gastin, P., D. Lawson, et al.; Variable resistance loadings in anaerobic power testing, *Int. J. Sports Med.*, **12** (6), 513-518 (1991)
- 7) Harris, R. C., E. Humilton, et al.; The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man, *Pfulgers Arch.*, **367**, 137-142 (1976). (Fox, E. L., et. al.; The Physiological basis of physical education and athletics, fourth edition pp. 39-60, wcb, Iowa, 1988 より引用)
- 8) Hill, D. W. and J. C.; Smith; Gender difference in anaerobic capacity, Role of aerobic contribution, *Br. J. Sports Med.*, **27** (1), 45-48 (1993)
- 9) Hirvonen, J., S. Rehunen, et. al.; Break-down of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **56**, 253-259 (1987)
- 10) Jacobs, I., P. A. Tesch, et al.; Lactate in human skeletal muscle after 10 and 30 s of supramaximal exercise, *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **55** (2), 365-367 (1983)
- 11) Margaria, R., et al.; The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of the lactic acid in muscular contraction, *Am. J. Physiol.*, **106**, 689-715 (1933)
- 12) 田畑 泉, 山本正嘉; 身体運動のエナジティクス, 高文堂出版社, pp. 72-75, 東京 (1989)
- 13) 山本正嘉, 金久博昭; 間欠的運動における血中乳

酸の蓄積, 運動強度, 休息時間, および運動時間と
の関係から, *J. J. Sports SCI.*, 10 (11), 764-

770 (1991)