血中乳酸値および酸素負債量による無酸素的運動能力評価法の検討

藤瀬 武彦 玉木 哲朗 寺尾 保 中野 昭一

EVALUATION OF METHODS USED TO DETERMINE ANAEROBIC WORK CAPACITY BY BLOOD LACTATE AND OXYGEN DEBT

TAKEHIKO FUJISE, TETSURO TAMAKI, TAMOTSU TERAOKA
and SHOICHI NAKANO

Abstract

A study was conducted to examine the efficacy of indicators of anaerobic work capacity or estimations of anaerobic energy expenditure by measuring Δ blood lactate and O_2 debt after short-term maximal exercise. Eight male subjects performed cycle ergometer pedaling against 5.5~7.0 kp resistance with maximal effort for 45 s. After pedaling, venous blood samples were drawn serially at 1 min intervals from 1 to 10 min, for measurement of peak blood lactate. Anaerobic energy expenditure was determined in terms of both alactacid and lactacid energy expenditure, on the basis of Δ blood lactate (L-method) and O_2 uptake kinetics (D-method) during recovery.

The following results were obtained :

1) The correlation coefficient between lactate and performance was higher (about 0.3~0.5) when lactate was expressed as the estimated value of lactate production rather than Δ blood lactate. A significant relationship ($r=0.740$, $p<0.05$) was found between lactate production and peak power.

2) When O_2 uptake after recovery for 60 min did not recover to the baseline of O_2 uptake at rest, O_2 debt was calculated using a baseline of O_2 uptake just before the end of recovery. This O_2 debt was significantly correlated with work at any time of recovery.

3) There was a significant relationship between lactate production and lactic O_2 debt, which was significantly correlated with work.

4) When lactacid energy was calculated using a formula of $1.7 \times \Delta$ blood lactate and 0.3 kcal/g lactate, there was no significant difference between anaerobic energy expenditure calculated by the L- and D-methods for up to 30 min during recovery.

It was concluded that a) the estimated value of lactate production and O_2 debt calculated using a baseline of O_2 uptake just before the end of recovery could be employed as an indicator of anaerobic work capacity, and b) Δ La multiplied by a coefficient of 1.7 and 0.3 kcal/g lactate was more appropriate for estimating anaerobic expenditure in short-term maximal cycle ergometer pedaling.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1989, 38 : 85~94)

key words : short-term maximal exercise, anaerobic work capacity, anaerobic energy expenditure, blood lactate, oxygen debt

1. 緒 言

従来、1分程度で終了する短時間最大運動時のエネルギーは、主として解糖過程からの供給に依

存する³⁴⁾とされている。このため、中間代謝の面からは、運動終了後に測定した最高血中乳酸値が、無酸素的運動能力の指標^{9, 19, 23, 42)}や無酸素的エネルギー消費量(非乳酸性および乳酸性エネルギー

ギー量)の推定^{38,48)}に用いられている。

一方、エネルギー代謝の面からの無酸素的エネルギー消費量の指標としては、酸素負債量(以下 O_2 debt とする)の測定が行われている^{9,18,23,32)}。この O_2 debt は非乳酸性および乳酸性 O_2 debt の総和であり³⁷⁾、乳酸性 O_2 debt が運動による血中乳酸の増加量(最高値から安静値を引いた値で以下 ΔLa とする)から算出される乳酸性エネルギー量³⁸⁾に相当する部分であると推定される。

しかし、血中乳酸値と O_2 debt とは必ずしも一致するとは限らず、その実際や詳細な機序についてはまだ明らかでない^{44,47)}のが現状であろう。すなわち、同一強度の運動を行っても、食事²⁷⁾、脱水²⁸⁾、筋温³⁾などの条件によって、血中乳酸値は影響を受け、また、この乳酸の生成が酸素不足によるものではないとする報告もある^{7,49)}。一方、 O_2 debt も個人内変動が大きく^{15,40)}、無酸素的エネルギー供給機構の指標として用いるのには不適切であるという観方もある^{14,47)}。

従来、血中乳酸値および O_2 debt と、運動能力との関係については、数多くの報告があり、ことに体重を直接移動させるランニングについて行った成績が多く^{6,13,31,35,41,46)}、この両者間の関係は、その他の一般的な運動も含めて、必ずしも一致した見解が示されていないのが現状である^{4,6,13,19,23,41,42,46)}。

本実験は、血中乳酸値と O_2 debt とから無酸素的運動能力の評価や無酸素的エネルギー消費量の推定を行う方法について検討することを目的として行った。すなわち、無酸素的エネルギー供給のほぼ限界と考えられている運動時間³⁹⁾(45秒間)で終始最大努力の自転車ペダリング運動を行わせる。この運動による ΔLa 、 O_2 debt と作業成績との相関係数、あるいは無酸素的エネルギー消費量などを算出し、無酸素的運動能力の評価法における血中乳酸値と O_2 debt の意義について検討を行った。

II. 実験方法

被験者は、健康な成人男子8名(陸上短距離選手5名、水泳メドレー選手1名、陸上短距離およ

びテニス競技経験者各1名)で、その身体特性は、平均年齢 22.3 ± 2.4 (標準偏差)才、身長 173.1 ± 4.8 cm および体重 66.5 ± 6.2 kg であった。なお、実験を実施するにあたり、被験者に対して、実験の目的、方法、運動および採血について説明し、実験に参加する同意を得た。

本実験における測定項目および方法は次の通りである。

A. 運動負荷方法とパワーおよび仕事量の算出

運動負荷は自転車エルゴメーター(Monark 社製)を用い、体重1kg当たり約0.1kpの負荷を基準とし、ウォーミングアップを行わず、直ちに45秒間終始最大努力のペダリング運動を行わせた。運動中はサドルから腰を上げないように指示した。パワーおよび仕事量の算出は、車輪回転に伴う on-off スイッチから1秒毎の回転数を求め、生田の方法²⁴⁾によって行った。

B. 酸素摂取量(以下 $\dot{V}O_2$ とする)の測定

安静時5分間、運動中45秒間および回復期60分間の $\dot{V}O_2$ は、ダグラスバッグ法により測定した。すなわち、安静時は、食後2時間以上経過した被験者に30分間仰臥させ、その25~30分の5分間の呼気を採取した。運動中45秒間、運動終了後(仰臥安静)1分までは30秒間、1~10分までは1分間、10~20分までは5分間、20~60分までは10分間の間隔で呼気を採取した。呼気の実験は、シヨランダー微量ガス分析器で分析した標準ガスをを用いて校正した O_2 アナライザー RAS-31 および CO_2 アナライザー RAS-41 (AIC 社製)で行い、 $\dot{V}O_2$ を算出した。

O_2 debt は、安静時の $\dot{V}O_2$ を基準値として、回復期60分間にこの値を超過している $\dot{V}O_2$ とした。なお、回復期60分間に安静値まで回復しえなかった場合、回復期50~60分までの10分間の $\dot{V}O_2$ を基準値として O_2 debt を算出した。非乳酸性および乳酸性 O_2 debt は、回復期の $\dot{V}O_2$ 動態を最小自乗法により求め、Henry & DeMoor の計算式¹⁸⁾から算出した。

C. 採血、血中乳酸値測定および乳酸生成量推定法

血液は安静時、運動終了後1~10分まで毎分、

さらに15分, 30分および60分の計14回, 前腕正中静脈より約 3ml 採取し, Barker & Summerson 法²⁾ により乳酸値を測定した。乳酸生成量は, 血中乳酸の最高値から安静値を引いて求めた ΔLa を用い, Margaria らの方法³⁸⁾ により算出した。

D. 無酸素的エネルギー消費量の算出

1. ΔLa を用いた無酸素的エネルギー消費量の算出

まず, 乳酸性エネルギー量を ΔLa を用いて, Margaria らの推定式³⁸⁾

$$\text{Lact. E (kcal)} = 0.6/0.8 \times La (\text{g/l}) \times Wt (\text{kg}) \times 0.22 (\text{kcal})$$

(Lact. E: 乳酸性エネルギー量, 0.6/0.8:

定数, La: ΔLa , Wt: 体重, 0.22: 乳酸

1g のエネルギー当量)

から求め, この値と O_2 debt から算出したカロリー換算値との差を非乳酸性エネルギー量とした。

なお, O_2 1l は 5.0 kcal¹⁾ にカロリー換算し, 乳酸 1g を 0.22 kcal³⁸⁾ で計算した方法をL法1とし, 0.3 kcal¹⁾ で計算した方法をL法2とした。

2. 回復期の $\dot{V}O_2$ 動態を用いた無酸素的エネルギー消費量の算出

回復期の $\dot{V}O_2$ 動態を用いて求めた非乳酸性および乳酸性 O_2 debt をカロリーに換算し, 非乳酸性および乳酸性エネルギー量を求め, これをD法とした。

E. 最大酸素摂取量 (以下 $\dot{V}O_{2\max}$ とする) の測定

自転車エルゴメーターによる負荷漸増法, すなわち, 60rpm のペダリング頻度で 0kp から1分毎に 0.5kp の負荷を増加し, 疲労困憊に至らしめ, 被験者の $\dot{V}O_{2\max}$ を測定した。なお, $\dot{V}O_{2\max}$ の判定は, 1) 最高心拍数 180 b/min 以上, 2) $\dot{V}O_2$ の leveling off, 3) 呼吸商 1.00 以上を指標とした。

III. 実験成績

表1は, 被験者の $\dot{V}O_{2\max}$ および45秒間自転

Table 1. Performance and metabolic measures in eight subjects.

Variables	Mean	SD	Range
$\dot{V}O_{2\max}$ (ml/kg/min)	53.8	3.8	46.6~59.2
Work (kpm)	2730	253	2262~3078
Peak power (kpm/sec)	100.3	6.7	91.9~110.3
Total O_2 debt (l)	9.88	1.45	6.53~11.25
Alactic O_2 debt (l)	2.68	0.82	1.40~3.62
Lactic O_2 debt (l)	7.20	1.11	5.13~8.76
O_2 requirement (l)	11.56	1.52	8.15~13.09
Δ Blood lactate (mg/dl)	122.8	10.7	106.1~137.4

Total O_2 debt; alactic O_2 debt plus lactic O_2 debt. Alactic and Lactic O_2 debt; calculated by method of Henry and DeMoor. Δ indicates net increase from resting value.

Table 2. Total O_2 debt, lactic O_2 debt and their ratio during each recovery time.

Recovery periods (min)	Total O_2 debt (l)	% TD 60 (%)	Lactic O_2 debt (l)	% LD 60 (%)	Lactic O_2 debt / Total O_2 debt (%)
6	5.06 $\pm$ 0.65	51.2	2.38 $\pm$ 0.80	33.1	47.0
10	6.27 $\pm$ 0.84	63.5	3.59 $\pm$ 0.78	49.9	57.3
15	7.30 $\pm$ 1.01	73.9	4.62 $\pm$ 0.91	64.2	63.3
20	8.14 $\pm$ 1.14	82.4	5.46 $\pm$ 0.98	75.8	67.1
30	9.10 $\pm$ 1.40	92.1	6.43 $\pm$ 1.16	89.3	70.7
60	9.88 $\pm$ 1.45	100.0	7.20 $\pm$ 1.11	100.0	72.9
(60)	(11.46 $\pm$ 1.30)	(116.0)	(8.88 $\pm$ 0.68)	(123.3)	(77.5)

Values are means $\pm$ SD. Only O_2 uptake at rest was used for the O_2 debt calculation as a baseline were depicted in the parentheses. %TD 60: Percentage of total O_2 debt during each recovery time to 60 min of recovery (100 %), %LD 60: Percentage of lactic O_2 debt during each recovery time to 60 min of recovery (100 %), and percentage values of Lactic O_2 debt/Total O_2 debt was also shown.

Fig. 1. Change in blood lactate before and after maximal cycle ergometer pedaling for 45 sec. Filled dots indicate mean $\pm$ SD of eight subjects, and upper, middle and lower solid lines are shown maximum range of blood lactate, mean, and minimum, respectively.

車ペダリング運動による仕事量, ピークパワー, 総 O_2 debt, 非乳酸性 O_2 debt, 乳酸性 O_2 debt, O_2 需要量および ΔLa の成績を示したものである。

表 2 には, 回復期 60 分間の総および乳酸性 O_2 debt を 100% としたとき, 運動終了後から 6, 10, 15, 20 および 30 分までのそれぞれの値とその割合, さらに総 O_2 debt に占める乳酸性 O_2 debt の割合を示した。

45 秒間の自転車ペダリング運動前後における血中乳酸値の変動を図 1 に示した。血中乳酸値は, 運動終了後 4~15 分まで 110~120 mg/dl の値を維持し, 30 分後で約 80 mg/dl, 60 分後で約 30 mg/dl と前値には回復しなかった。なお, 血中乳酸値

が最高を示すまでの時間は, 6~15 分後の範囲にあり各被験者で一定していなかった。

表 3 は仕事量, ピークパワーなどの作業成績と

Table 3. Correlation coefficient between performance and Δ blood lactate, and estimated value of lactate production in the body.

	Correlation coefficient	
	Δ Blood lactate (mg/dl)	Lactate production (g)
Work (kpm) 0~15 sec	0.333	0.631
0~30 sec	0.282	0.601
0~45 sec	0.243	0.559
Peak power (kpm/sec)	0.208	0.740*

*; $p < 0.05$

Fig. 2. Correlation coefficient between work and total O_2 debt, and lactic O_2 debt during each recovery time. *; $p < 0.05$, **; $p < 0.01$. Parenthesis as in Table 2.

Fig. 3. Alactacid and lactacid energy expenditures by L-method 1 (L-m.1), L-method 2 (L-m.2), and D-method (D-m.) during each recovery time (see text). Values are means $\pm$ SD. Parenthesis as in Table 2.

Fig. 4. Correlation coefficient between Δ blood lactate and total O₂ debt, and lactic O₂ debt (Fig. 4-a); and between estimated value of lactate production in the body and total O₂ debt, and lactic O₂ debt during each recovery time (Fig. 4-b). *, p < 0.05, **, p < 0.01. Parentheses as in Table 2.

ΔLa および乳酸生成量との相関係数を示したものである。仕事量およびピークパワーと乳酸生成量との相関係数は、それぞれ 0.559~0.631 および 0.740 であり、 ΔLa との相関係数の 0.243~0.333 および 0.208 よりも約 0.3~0.5 高い係数を示し、ピークパワーと乳酸生成量との間に有意の相関関係 ($r=0.740$, $p<0.05$) が認められた。

また、仕事量と各回復期の総および乳酸性 O_2 debt との関係を図 2 に示した。回復期 6, 10, 15, 20, 30 および 60 分後までの総 O_2 debt, 回復期 15, 20, 30 および 60 分後までの乳酸性 O_2 debt は、それぞれ仕事量との間に有意の相関関係が認められた。しかし、安静時の $\dot{V}O_2$ のみを基準として求めた総および乳酸性 O_2 debt と仕事量との間には、ともに有意の相関関係が認められなかった。

次に、L 法 1, L 法 2 および D 法により算出した各回復期の非乳酸性および乳酸性エネルギー量を図 3 に示した。従来方法³⁸⁾では、回復期 6 分後までの L 法 1 と D 法による値との間に、また、回復期 10 分後までの L 法 2 と D 法による値との間で有意の差が認められなかった。しかし、他の回復期における値には、L 法と D 法との間に有意の差が認められた。

ΔLa および乳酸生成量と、各回復における総および乳酸性 O_2 debt との間の相関係数を図 4 に示した。乳酸生成量と回復期 6, 10, 15, 20 および 30 分後までの乳酸性 O_2 debt との間には、それぞれ有意な正の相関関係が認められた。しかし、安静時の $\dot{V}O_2$ のみを基準として求めた総および乳酸性 O_2 debt と ΔLa および乳酸生成量との間には、ともに負の相関係数が得られた。

IV. 考 察

本実験では、無酸素運動能力の評価法を検討するという意味から、従来の報告^{12, 23, 33)}よりも多い負荷量 (5.5~7.0 kp, 0.097 ± 0.005 kp/kg wt) で、45 秒間終始最大努力の自転車ペダリング運動を行わせた。その結果、最高血中乳酸値 (130.2 ± 11.5 mg/dl), O_2 debt, ピークパワーおよび仕事量は、従来の報告とほぼ同値かそれ以上の値を示してい

た^{22, 23, 25, 28, 33)}。このことから、本実験における被験者の無酸素能力は、ほぼ最大に発揮されたものと思われた。

本実験のような約 1 分以内の最大運動では、血中乳酸値が最高に達するのは、運動終了後 10 分間に認められることが多い^{23, 28, 48)}。この血中乳酸値が体内の総乳酸量を反映し^{21, 30)}、解糖過程による無酸素的な収縮エネルギー供給量を推察することになる⁴⁸⁾といえよう。しかし、血中乳酸値と無酸素運動能力との関係については、必ずしも一致した見解が得られていないのも現状である。Fujitsuka ら¹³⁾は、100 m, 200 m および 400 m の疾走時間と最高血中乳酸値との間に有意の相関関係を認めており、斎藤ら⁴⁶⁾は、400 m の疾走速度と最高血中乳酸値との関係が、鍛練者間のみで有意であったことを報告している。一方、Ohkuwa ら⁴¹⁾は、400 m の疾走速度と最高血中乳酸値との間に有意の相関関係が認められなかったことから、鍛練者の場合には、最高血中乳酸値が無酸素運動能力の指標にならないと述べている。

本実験では、ランニングとは質的に異なる自転車ペダリング運動を行わせた。この方法による短時間最大運動では、作業能力の優れている者ほど血中乳酸値が高いとした報告もあるが^{4, 23)}、本実験の場合、その仕事量およびピークパワーと ΔLa との間には、有意の相関関係が認められなかった。ところが、計算上推定された体内の乳酸生成量とピークパワーとの間には、有意の相関関係 ($r=0.740$, $p<0.05$) が認められ、仕事量との関係も、 ΔLa を用いたときより約 0.3~0.4 高い相関係数を示した (表 3)。さらに、この乳酸生成量は、仕事量と有意な相関関係にあった乳酸性 O_2 debt との間にも有意の相関関係が認められている (図 4)。Åstrand と Rodahl¹⁾は、スピードスケートではその運動特性により、体重当りの $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) より絶対値 (l/min) の方が実用的であろうと述べている。本実験では、乳酸に関しても同様に、自転車ペダリングの運動特性により、相対値 ΔLa (mg/dl) よりも絶対値の乳酸生成量 (g) を無酸素運動能力の指標として用いる方がより適切であることを示唆する成績であった。

O_2 debt と運動能力との関係についても、必ずしも成績が一致していない^{9, 19, 23, 31, 35, 36}). その原因の一つとして、 O_2 debt の測定方法の違いによることが考えられる⁴⁵). 黒田ら³⁵)は、回復期30分後までの O_2 debt が60分後までの値を100%としたときの93.7%に相当し、無酸素的能力を推定する値として信頼性の高い指標になると報告している。本実験の成績も、これとほぼ一致している。 O_2 debt の測定方法に関して、安静時の $\dot{V}O_2$ のみを基準にした場合、総および乳酸性 O_2 debt は、仕事量、 ΔLa および乳酸生成量との間にそれぞれ負の相関係数が得られた(図2, 4)。このことは、体温上昇の影響で増加した $\dot{V}O_2$ (Q_{10} 効果)などが O_2 debt の中に含まれている¹⁶)ことによると考えられる。したがって、本実験のように、回復期に $\dot{V}O_2$ が安静値まで回復しなかった場合、回復期終了前の $\dot{V}O_2$ を基準として O_2 debt を算出すれば^{20, 45})、ある程度 Q_{10} 効果の影響を省け、各回復期の O_2 debt でも無酸素的運動能力の指標

として、十分使用しうることが考えられた。

本実験における非乳酸性 O_2 debt の成績は、従来の報告^{11, 37, 43})とほぼ一致しており、D法による無酸素的エネルギー消費量の算定が妥当な値であると考えられる。1分程度で疲労困憊に至るトレッドミルランニング時の無酸素的エネルギー消費量を、 ΔLa を用いて推定している報告⁴⁸)では、乳酸1gを0.22kcalでカロリー換算しており、45秒時点の乳酸性エネルギー量(約11~15kcal)が、本実験でのL法1による値とほぼ一致している。しかし、図3で示したように、一般に用いられている激運動後の O_2 debt 償却時間^{19, 23, 31, 35})、すなわち、回復期が15, 20, 30および60分の場合、非乳酸性および乳酸性エネルギー量は、算出方法の違い(L法およびD法)によってそれぞれ異なっていた。総 O_2 debt に占める乳酸性 O_2 debt の割合が、約50~70%であることから(表2)、L法の ΔLa を用いて算出するカロリー換算値が、短時間最大運動の場合には実際よりも過少評価され

Fig. 5. Alactacid and lactacid energy expenditures during each recovery time by L-method 1 (L-m. 1), L-method 2 (L-m. 2), and D-method (D-m.) in calculation for the lactacid energy by using a formula of $1.7 \times \Delta$ blood lactate (further detail in text). Values are means $\pm$ SD. Parenthesis as in Table 2.

ることが推察される。すなわち、運動による筋中乳酸値が 4 mmol/kg wet muscle 以上になると、血中への乳酸放出速度が一定になる²⁹⁾ことや、運動終了後から最高血中乳酸値が得られるまでに除去される乳酸量^{5,17)}などが要因となって、 ΔLa が真の値よりも小さくなってくる可能性を否定できない。

激運動終了後の30あるいは60分時点の血液 1 l 当たりの乳酸量は、筋湿重量 1 kg 当たりの乳酸量とほぼ同値を示す¹⁰⁾ことから、最高血中乳酸値は、運動終了直後の筋中乳酸値と比較すると、実測値の少なくとも約 1.7 倍^{8,10)}、あるいはそれ以上²⁸⁾になることが推測できる。そこで、本実験で測定した ΔLa に 1.7 を乗じた値を、L 法 1 および 2 によって無酸素的エネルギー消費量を算出し、それを示したのが図 5 である。この場合、回復期 15 分後までの L 法 1 と D 法とによる無酸素的エネルギー消費量、回復期 20 および 30 分後までの L 法 2 と D 法とによる無酸素的エネルギー消費量における有意の差が消失した。この成績は、短時間最大運動による O_2 debt の償却時間^{32,35)}から考えて、従来方法³⁹⁾による値(図 3)よりも適切であることを示すものであろう。

本実験のごとく、45秒間最大自転車ペダリング運動において、その無酸素的エネルギー消費量を ΔLa および O_2 debt を用いて算出する場合には、 ΔLa に 1.7 の係数を乗じ、乳酸 1 g を 0.3 kcal¹⁾ として乳酸性エネルギー量を算出した方がより適切であると考えられた。

V. ま と め

本実験は、血中乳酸値および O_2 debt を用いた無酸素的運動能力の評価や無酸素的エネルギー消費量の推定を行う方法について、検討を試みたものである。すなわち、成人男子 8 名に 45 秒間の最大自転車ペダリング運動を行わせ、 ΔLa および O_2 debt と、仕事量およびピークパワーなどとの関係、並びに無酸素的エネルギー消費量を算出する方法などを検討し、次のごとき成績を得た。

1. 45秒間最大自転車ペダリング運動における仕事量やピークパワーと、 ΔLa および推定乳酸

生成量との間の相関係数は、 ΔLa よりも乳酸生成量を用いた方が約 0.3~0.5 高くなり、ピークパワーとの間には有意の相関関係 ($r=0.740$, $p<0.05$) が認められた。

2. O_2 debt の算出は、運動終了後、安静時の $\dot{V}O_2$ の基準値まで回復しなかった場合、60 分間の回復期終了前 10 分間の $\dot{V}O_2$ を基準として行えば、いずれも回復時間においても、 O_2 debt と仕事量との間に有意の相関関係が認められた。

3. 乳酸生成量は、仕事量との間に有意の相関関係が認められた乳酸性 O_2 debt と、有意な相関関係にあった。

4. ΔLa に 1.7 の係数を乗じ、その値を用いた L 法 2 で乳酸性エネルギーを算出すると、回復期 20 および 30 分後までの L 法 2 と D 法とによる無酸素的エネルギー消費量の間に、それぞれ有意の差が認められなかった。

以上の成績から、本実験条件では、無酸素的運動能力の指標として、 ΔLa から算出される乳酸生成量および回復期終了前の $\dot{V}O_2$ を基準として求めた O_2 debt を、また、無酸素的エネルギー消費量の算出方法として、1.7 の係数を乗じた ΔLa および乳酸 1 g のカロリー換算値 0.3 kcal を用いた方がより適切な評価ができると考えられた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、多大な御援助をいただいた聖マリアンナ医科大学吉岡利忠教授に深謝いたします。

(受付 昭和63年9月6日)

文 献

- 1) Åstrand, P.-O. and Rodahl, K. (1970): Textbook of work physiology. McGraw-Hill, Inc.
- 2) Barker, S. B. and Summerson, W. B. (1941): The colorimetric determination of lactic acid in biological material. J. Biol. chem., **138**, 535-554.
- 3) Blomstrand, E., Bergh, 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.
- 4) Bruyn-Prevost, P. De. and Sturbois, X. (1980):

- Lactic acid evolution in relation to work duration a short anaerobic exhausting exercise. *J. Sports Med.*, **20**, 377-382.
- 5) Brooks, G. A. and Gaesser, G. A. (1980) : End points of lactate and glucose metabolism after exhausting exercise. *J. Appl. Physiol.*, **49**, 1057-1069.
 - 6) Cheetham, M. E., Boobis, L. H., Brooks, S. and Williams, C. (1986) : Human muscle metabolism during sprint running. *J. Appl. Physiol.*, **61**, 54-60.
 - 7) Connett, R. J., Gayeski, T. E. J. and Honig, C. R. (1985) : Energy sources in fully aerobic rest-work transitions : a new role for glycolysis. *Am. J. Physiol.*, **248**, H 922-H 929.
 - 8) Costill, D. L., Barnett, A., Sharp, R., Fink, W. J. and Katz, A. (1983) : Leg muscle pH following sprint running. *Med. Sci. Sports Exercise*, **15**, 325-329.
 - 9) Cunningham, D. A. and Faulkner, J. A. (1969) : The effect of training on aerobic and anaerobic metabolism during a short exhaustive run. *Med. Sci. Sports*, **1**, 65-69.
 - 10) Diamant, B., Karlsson, J. and Saltin, B. (1968) : Muscle tissue lactate after maximal exercise in man. *Acta Physiol. Scand.*, **72**, 383-384.
 - 11) Di Prampero, P. E., Peeters, L. and Margaria, R. (1973) : Alactic O₂ debt and lactic acid production after exhausting exercise in man. *J. Appl. Physiol.*, **34**, 628-632.
 - 12) Dotan, R. and Bar-Or, O. (1983) : Load optimization for the Wingate anaerobic test. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **51**, 409-417.
 - 13) Fujitsuka, N., Yamamoto, T., Ohkuwa, T., Saito, M. and Miyamura, M. (1982) : Peak blood lactate after short periods of maximal treadmill running. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **48**, 289-296.
 - 14) Gaesser, G. A. and Brooks, G. A. (1984) : Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption : A review. *Med. Sci. Sports Exercise*, **16**, 29-43.
 - 15) Graham, T. E. and Andrew, G. E. (1973) : The variability of oxygen debt in man following a maximal treadmill exercise. *Med. Sci. Sports*, **5**, 73-78.
 - 16) Hagberg, J. M., Mullin, J. P. and Nagle, F. J. (1980) : Effect of work intensity and duration on recovery O₂. *J. Appl. Physiol.*, **48**, 540-544.
 - 17) 八田秀雄, 跡見順子, 山本順子, 浅見俊雄, 宮下充正 (1986) : ラットの激運動後における乳酸の酸化. *体力科学*, **35**, 111-116.
 - 18) Henry, F. M. and DeMoor, J. C. (1950) : Metabolic efficiency of exercise in relation to work load at constant speed. *J. Appl. Physiol.*, **48**, 481-487.
 - 19) Hermansen, L. (1969) : Anaerobic energy release. *Med. Sci. Sports*, **1**, 32-38.
 - 20) Hill, A. V., Long, C. N. H. and Lupton, H. (1924) : Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. *Proc. Roy. Soc.*, **B 97**, 84-138.
 - 21) Hill, A. V. (1929) : The diffusion of oxygen and lactic acid through tissues. *Proc. Roy. Soc.*, **B 104**, 39-96.
 - 22) 猪飼道夫, 生田香明, 島岡 清 (1971) : パワー発揮能力・持続能力の酸素負債量の面からの探究. *体協スポーツ科学研究報告*, 4-15.
 - 23) 生田香明, 猪飼道夫 (1973) : Mechanical power, 血液乳酸量, 酸素負債量による Anaerobic work の研究. *体力科学*, **22**, 1-8.
 - 24) 生田香明 (1972) : モナーク製自転車エルゴメーターによる anaerobic power の測定法, 身体運動の科学 I, human power の研究. 杏林書院, 45-62.
 - 25) 生田香明, 中塘二三生, 根本哲朗, 播本定彦 (1980) : スプリンターのパワー発現. *体力科学*, **29**, 143-151.
 - 26) Jacobs, I. (1980) : The effects of thermal dehydration on performance of the Wingate anaerobic test. *Int. J. Sports Med.*, **1**, 21-24.
 - 27) Jacobs, I. (1981) : Lactate concentration after short maximal exercise at various glycogen levels. *Acta Physiol. Scand.*, **111**, 465-467.
 - 28) Jones, N. L., McCartney, N., Graham, T., Sprient, L. L., Kowalchuk, J. M., HeigenHauser, G. J. F. and Sutton, J. R. (1985) : Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds. *J. Appl. Physiol.*, **59**, 132-136.
 - 29) Jorfeldt, L., Juhlin-Dannfelt, A. and Karlsson, J. (1978) : Lactate release in relation to tissue lac-

- tate in human skeletal muscle during exercise. *J. Appl. Physiol.*, **44**, 350-352.
- 30) Karlsson, J.(1971) : Lactate and phosphagen concentration in working muscle in man. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, **358**, 1-72.
 - 31) Katch, V. and Henry, F. M.(1972) : Prediction of running performance from maximal oxygen debt and intake. *Med. Sci. Sports*, **4**, 187-191.
 - 32) Katch, V. L.(1973) : Kinetics of oxygen uptake and recovery for supramaximal work of short duration. *Int. Z. Angew. Physiol.*, **31**, 197-207.
 - 33) Katch, V., Weltman, A., Martin, R. and Gray, L. (1977) : Optimal test characteristics for maximal anaerobic work on the bicycle ergometer. *Res. Quart.*, **48**, 319-327.
 - 34) Keul, J., Doll, E. and Keppler, D.(1972) : Energy Metabolism of Human Muscle. *Medicine and Sport*, **7**, S. Karger, Basel.
 - 35) 黒田善雄, 加賀谷稔彦, 塚越克己, 太田裕造, 雨宮輝也, 成沢三雄(1969) : トレッドミルによる最大酸素負債量の測定法, 一第2報 測定結果と競技成績との関係について一. *体協スポーツ科学研究報告*, 1-13.
 - 36) 黒川隆志, 富樫泰一, 野村武男, 池上晴夫(1985) : 最大酸素負債量, 最大酸素摂取量および水泳記録との関係. *体育学研究*, **29**, 295-305.
 - 37) Margaria, R., Edwards, H. T. and Dill, D. B. (1933) : The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.*, **106**, 689-715.
 - 38) Margaria, R., Cerretelli, P., Di Prampero, P. E., Massari, C. and Torelli, G. (1963) : Kinetics and mechanism of oxygen debt contraction in man. *J. Appl. Physiol.*, **18**, 371-377.
 - 39) Margaria, R.(1968) : Capacity and power of the energy processes in muscle activity : Their practical relevance in athletics. *Int. Z. Angew. Physiol.*, **25**, 352-360.
 - 40) 中塘二三雄, 生田香明(1982) : 自転車エルゴメーターを用いた60秒間の最大努力作業による酸素負債量の個人内変動. *体力科学*, **31**, 355-362.
 - 41) Ohkuwa, T., Saito, M. and Miyamura, M.(1984) : Plasma LDH and CK activities after 400 m sprinting by well-trained sprint runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **52**, 296-299.
 - 42) Paterson, D. H., Cunningham, D. A. and Bumstead, L. A.(1986) : Recovery O₂ debt and blood lactic acid : longitudinal analysis in boys aged 11 to 15 years. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **55**, 93-99.
 - 43) Roberts, A. D. and Morton, A. R.(1978) : Total and alactic oxygen debts after supramaximal work. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **38**, 281-289.
 - 44) Roth, D. A., Stanley, W. C. and Brooks, G. A. (1988) : Induced lactacidemia dose not affect postexercise O₂ consumption. *J. Appl. Physiol.*, **65**, 1045-1049.
 - 46) 斎藤 満, 宮村実晴, 池上康男, 大桑哲男(1981) : 無酸素的作業能の生理学的研究, 一400 m 疾走能力の制限因子に関する研究一. *デサントスポーツ科学*, **1**, 143-148.
 - 47) Segal, S. S. and Brooks, G. A.(1979) : Effects of glycogen depletion and work load on postexercise oxygen consumption and blood lactate. *J. Appl. Physiol.*, **47**, 514-521.
 - 48) Thomson, J. M. and Garvie, K. J.(1981) : A laboratory method for determination of anaerobic energy expenditure during sprinting. *Can. J. Appl. Spt.*, **6**, 21-26.
 - 49) Wasserman, K., Beaver, W. L., Davis, J. A., Pu, J. Z., Heber, D. and Whipp, B. J. (1985) : Lactate, pyruvate, and lactate-to-pyruvate ratio during exercise and recovery. *J. Appl. Physiol.*, **59**, 935-940.