

長距離の鍛練者における 2 種類の最大下走行後の 酸素負債量について

丸山 敦夫・大永 政人・徳田 修司*

O₂ Debt After Two Types Submaximal Running in the Distance Runners

Atsuo MARUYAMA, Masato OONAGA and Shuji TOKUDA*

はじめに

長距離選手の競技記録は有酸素的能力および無酸素的能力に大いに依存するとされている。有酸素的能力は Robinson¹²⁾ や Saltin および Åstrand¹⁴⁾ などが指摘した最大酸素摂取量 81.5 ml/kg min や 82 ml/kg・min という高い値を表わした capacity の大きさをみることができ、Costill³⁾⁴⁾ が示した最大酸素摂取量に対する走行中の酸素摂取量といった酸素摂取水準維持能力の高さを表わした efficiency のよき⁹⁾¹⁰⁾ を挙げることができる。

このような有酸素的能力と競技記録との関係についての研究は数多く報告されているが、無酸素的能力は競技記録に重要な要素である¹⁾¹⁵⁾ と言われながら、競技記録との関係についての研究は少ない。山崎および青木¹⁷⁾ はこの無酸素的能力に注目し、競技記録に大きく影響を与えるものは最大酸素負債量であることを指摘した。

このように、長距離の競技記録に対し、最大酸素摂取量、酸素摂取水準の維持能力および最大酸素負債量の優位性が大きく影響することが検討されてきた。

しかし、実際の競技ペースのスピード化にもかかわらず、走行に伴う酸素負債量の大きさについてあまり検討がなされていない。そこで、本研究は競技ペースを参考にしてトレッドミル走による 2 種類の最大下走行後の酸素負債量を 5000 m の競技記録と関連づけて検討した。

実験方法

1. 被験者

被験者は毎日定期的に持久性トレーニングを積んでいる鹿児島大学陸上競技部の長距離選手 6 名である。被験者の選定基準は非常によく鍛練された選手としてみなされる最大酸素摂取量 70 ml/kg・min 前後を有する選手であるとした。彼らの年齢、身長、体重、最大酸素摂取量および 5000 m の最高記録は表 1 に示した。

* 鹿児島大学教養部

Table 1. Physical characteristics, $\dot{V}O_2$ max and 5000 m performance of subjects.

subj.	age yr	height cm	weight kg	$\dot{V}O_2$ max ml/kg·min	5000 m performance min sec
K A	18	165.7	55.0	67.8	15'43"0
M A	19	176.6	58.7	70.9	15'41"0
S M	20	159.4	53.5	73.3	15'14"0
R M	21	169.8	60.5	71.3	15'16"0
T K	22	173.3	56.5	71.8	15'31"0
A T	22	168.7	58.0	70.1	15'52"0
\bar{X}	20.3	168.9	57.0	70.8	15'32"8
S D	1.63	6.00	2.55	1.84	15"35

2. 超最大および最大走行の運動強度

斜度5°のトレッドミルを用いて、速度漸増法による最大走行を行ない、相対運動強度(% of $\dot{V}O_2$ max)ートレッドミル速度関係を求めた。この関係から、最大酸素摂取量の120%、95%、90%および85%に相当するトレッドミル速度を決定した。

最大酸素負債量を測定するために、最大酸素摂取量の90%ー5分、120%ーexhaustionの超最大走行が行なわれた。2種類の最大下走行後の酸素負債量の測定のためには、実際の長距離からシュミレートした最大酸素摂取量の95%ー3分、90%ー3分および85%ー12分の計18分間(以下95%漸減負荷群という)の最大下走行および一定ペースの最大酸素摂取量の85%ー18分間(以下85%一定負荷群という)の最大下走行が行なわれた。

3. 測定項目

1) 酸素摂取量

酸素摂取量は Douglas' bag 法によって測定された。安静の酸素摂取量は3つの走行とも運動開始の20分前に5分間採気された。超最大走行の酸素摂取量は4~5分、5分~exhaustionまで1分間ずつ採気された。95%漸減負荷群の酸素摂取量は運動開始~1分、2~3分、3~4分、5~6分、6~7分、11~12分および17~18分に採気され、85%一定負荷群の酸素摂取量は運動開始~1分、4~5分、9~10分および17~18分に採気された。

各走行終了後の回復酸素摂取量は超最大および2種類の最大下走行で同じ採気時間であった。その時間は1分まで30秒間毎、4分まで1分間毎、6分まで2分間、10分まで4分間、20分まで5分間毎および40分まで10分間毎であった。

採気された呼気は直ちに乾式ガスメータ(品川製作製)で計量された。そのうちの呼気約4lが $O_2\%$ および $CO_2\%$ の分析のため gas-sample bag に取られた。分析は同時ガス分析器(フクダ医理化学研究所製)によって行なわれた。分析器の較正は労研ガス分析器(柴田理化製)によって行なわれた。

2) 酸素負債量

回復40分の連続採気した酸素摂取量から、総酸素負債量を求めるために、Henry および DeMoor⁶⁾

の計算式 $Y = a_1 e^{-k_1 t} + a_2 e^{-k_2 t}$ が用いられた。この式から、非乳酸性酸素負債量および乳酸性酸素負債量が算出され、二つの酸素負債量の和が総酸素負債量とみなされた。なお、算出に際し、形本⁷⁾の非乳酸性負債と乳酸性負債を参考にした。

3) 血中乳酸濃度

酸素負債量に平行して、無酸素的能力の指標となる血中乳酸濃度の測定が行なわれた。超最大走行では回復5分、最大下走行では回復1分以内に3mlの血液が肘静脈から採血された。乳酸濃度の分析は酵素法¹¹⁾によって行なった。

実験結果および考察

1. 最大酸素負債量

最大酸素負債量は表2で示されたように、6693~10329 ml とかなりの巾をもち、平均 8189.0 ml となった。その内、非乳酸性酸素負債量は 2102.2 ml で、乳酸性酸素負債量は 6086.5 ml であった。

Table 2. Maximal O₂ debt and alactic and lactic O₂ debt.

subj.	alactic O ₂ debt ml	lactic O ₂ debt ml	total O ₂ debt ml
K A	1448	5931	7379
M A	2153	6436	8589
S M	1957	8372	10329
R M	2411	5042	7453
T K	2177	4515	6693
A T	2467	6223	8691
\bar{X}	2102.2	6086.5	8189.0
S D	307.32	1337.84	1298.26

長距離選手の最大酸素負債量について黒田ら¹⁰⁾は5000mの記録が14分01秒8~15分02秒2の一流選手で、最大酸素負債量が6.52~8.94lの範囲にあることを示した。山崎および青木¹⁷⁾は平均14分50秒1の5000mの記録を持つ選手達で、最大酸素負債量が平均8454mlであり、平均15分52秒5の記録の選手達では、平均6786mlであることを指摘した。本実験の5000mの記録と最大酸素負債量と比較すると、5000mの記録が15分14秒~15分52秒の範囲で平均15分32秒8であるのに対し最大酸素負債の値が少し高いと思われる。しかし、表2でみるように、10329mlを持つSMが1人高い値を示しており、他の被験者の値は6693~8691mlの範囲とほぼ妥当な値であると考えられる。

2. 2種類の最大下走行後の酸素負債量

95%漸減負荷群および85%一定負荷群の非乳酸性酸素負債量、乳酸性酸素負債量および総酸素負債量を表3に示した。

95%漸減負荷群の非乳酸性酸素負債量、乳酸性酸素負債量および総酸素負債量はそれぞれ平均

Table 3. Submaximal O₂ debt and alactic and lactic O₂ debt of 95-90-85% of $\dot{V}O_2$ max group and 85% of $\dot{V}O_2$ max group.

subj.	95-90-85% of $\dot{V}O_2$ max		
	alactic O ₂ debt ml	lactic O ₂ debt ml	total O ₂ debt ml
K A	1441	4143	5584
M A	1855	3989	5844
S M	1466	4150	5616
R M	1373	2992	4365
T K	1582	2662	4244
A T	1772	5062	6834
\bar{X}	1584.7	3814.0 ⁺	5398.7 ⁺⁺
S D	193.89	904.18	997.02
85% of $\dot{V}O_2$ max			
K A	1648	3487	5135
M A	1298	2537	3835
S M	1454	2884	4338
R M	1423	1492	2915
T K	1299	2708	4007
A T	1456	2374	3830
\bar{X}	1432.0	2610.7 ⁺	4042.7 ⁺⁺
S D	126.42	668.36	730.22

+ P<0.05 ++ P<0.05

1584.7 ml, 3814.0 ml および 5398.0 ml となり, 85%一定負荷群では, それぞれ 1432.0 ml, 2610.7 ml および 4042.7 ml となった。この二群の間に乳酸性酸素負債量および総酸素負債量で有意な差が生じた (P<0.05)。

95%漸減負荷群および85%一定負荷群の実測の平均酸素摂取水準はそれぞれ, 最大酸素摂取量の88.9%および82.4%と6%ほどの差であったが, この二群の総酸素負債量には1356 ml という大きな差となった。Christensen および Högberg²⁾ は水平のトレッドミルにより10~20 km/hr の間のいくつかの速度で10分間の走行を行なわせ, 各々の速度での酸素負債量を測定した。そして, 走行速度と酸素負債量の間には指数関数的な関係を示した。このような関係がみられることから, 本実験の95%漸減負荷群の負債量は85%負荷群のものと比較して平均強度であまり差がないが, 前半期に95%および90%の高い強度で走行しているために有意な差となって出現したと思われる。そして, この負債量の大きな差は特に乳酸性酸素負債量に依存すると考えられる⁵⁾⁸⁾。

3. 5000m の競技記録と乳酸性酸素負債量, 総酸素負債量および乳酸量の関係

表4は最大酸素負債量を100%とした時の2種類の最大下走行後の非乳酸性酸素負債量, 乳酸性酸素負債量および総酸素負債量の割合を示した。この割合においても, 実測値同様二群間に, 乳酸性酸素負債量および総酸素負債量で有意な差が生じた (P<0.05)。

Table 4. Submax O₂ debt/max O₂ debt×100 of alactic, lactic and total O₂ debt.

subj.	alactic O ₂ debt		lactic O ₂ debt		total O ₂ debt	
	A* %	B** %	A %	B %	A %	B %
K A	100.5	113.8	69.9	58.8	75.7	69.9
M A	86.2	60.3	62.0	39.4	68.0	44.7
S M	74.9	74.3	49.6	34.4	54.4	42.0
R M	56.9	59.0	59.3	29.6	58.6	39.1
T K	72.7	59.7	59.0	60.0	63.4	59.9
A T	71.8	59.0	81.3	38.1	78.6	44.1
\bar{X}	77.2	70.9	63.5 ⁺	43.4 ⁺	66.5 ⁺⁺	49.9 ⁺⁺
S D	14.77	21.39	10.87	12.87	9.50	12.06

* A 95-90-85% O₂ debt/max O₂ debt×100** B 85% O₂ debt/max O₂ debt×100

+ P<0.05 ++ P<0.05

Table 5. Lactic acid of maximum, 95-90-85% of $\dot{V}O_2$ max and 85% of $\dot{V}O_2$ max groups.

subj.	max LA mg/dl		95-90-85% LA mg/dl		85% LA mg/dl	
	bef	af	bef	af	bef	af
K A	15.5	112.3	12.0	75.4	13.7	76.3
M A	14.9	101.5	8.6	87.4	12.1	61.6
S M	8.2	101.7	9.3	49.9	8.2	49.0
R M	7.9	89.7	11.6	55.1	—	27.5
T K	12.4	89.7	12.8	60.4	7.1	36.0
A T	9.8	112.3	12.7	67.4	9.8	58.7
\bar{X}	11.5	101.2	11.2	65.9 ⁺	10.2	51.5 ⁺
S D	3.35	10.7	1.79	13.81	2.76	17.82

+ P<0.05

最大および2種類の走行時の乳酸値が表5に示された。この乳酸でも、95%漸減負荷群と85%一定負荷群の間に有意な差が生じた (P<0.05)。

表4および表5から、各個人の5000mの最高記録と乳酸性酸素負債の割合、総酸素負債の割合および95%漸減負荷群の乳酸値との関係をそれぞれ図1、図2および図3に示した。図1および図2では、95%漸減負荷群にそれぞれ r=0.880 (P<0.05) および r=0.965 (P<0.05) の有意な相関が生じたが、85%一定負荷群

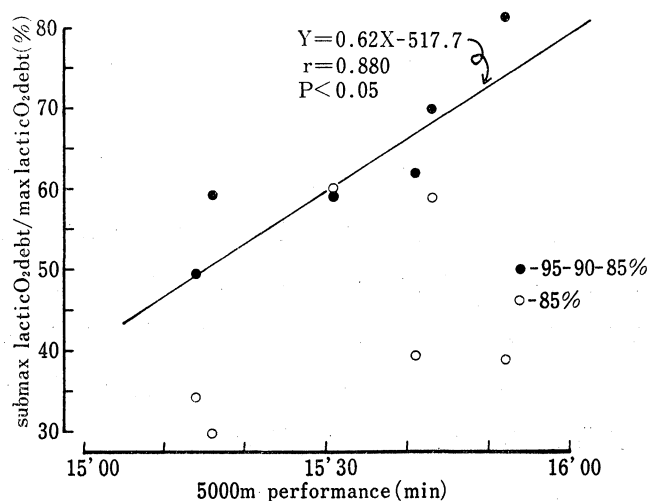


Fig. 1. Relationship between 5000 m performance and submax lactic O₂ debt / max lactic O₂ debt of two groups.

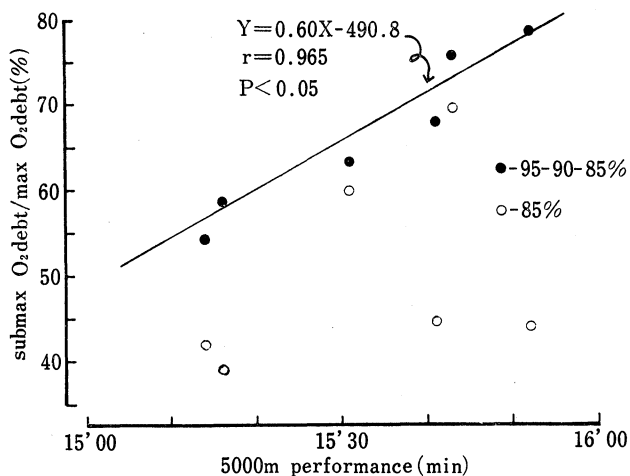


Fig. 2. Relationship between 5000 m performance and submax O_2 debt/max O_2 debt of two groups.

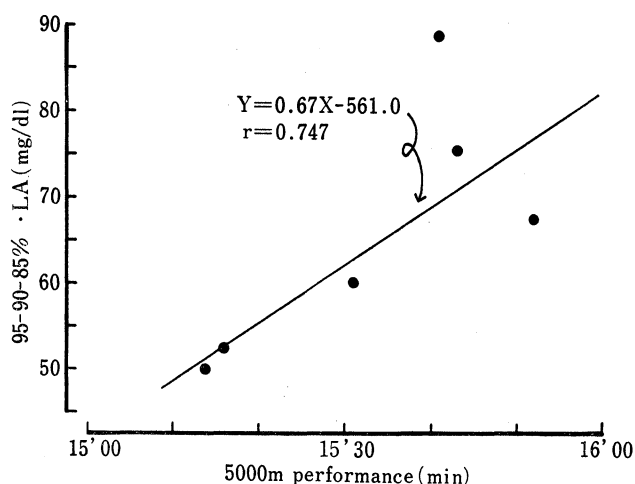


Fig. 3. Relationship between 5000 m performance and 95-90-85% of $\dot{V}O_2$ max lactate.

にはその関係がみられなかった。このことは、記録のよい選手が95%や90%の高い強度で走行してもその酸素負債の割合が小さくてすむことを示している。また、図3の95%漸減負荷群の乳酸値との関係は有意でないが $r=0.747$ の関係があり、記録のよい選手で乳酸値が低い傾向にあった。

Saiki ら¹³⁾ は競技者に最大有気的出力の70%の強度で一定運動させたら、いったん上昇した血中乳酸が時間の経過とともに安静値へと減少する傾向のあることを示した。この現象は定常状態にある酸素摂取量が運動のためのエネルギー供給だけでなく、乳酸をグリコーゲンに再合成するためのエネルギーにも利用されることによる減少である。このことから運動開始で生じる乳酸性酸素負債が運動の定常状態期に支払われることを示唆した。図3および図1でみられるように、記録のよい選手は乳酸値および乳酸性酸素負債の割合の低い傾向にあることから、高い強度で走行する場合でも酸素負債の消却能力に優れているのではないかと考えられる。

また、Williams ら¹⁶⁾ は過剰乳酸の出現を運動強度で表わす無酸素的代謝閾値が非鍛練者で最大酸素摂取量の40~45%、鍛練者で55~60%そして非常によく鍛練された者で70%になることを指摘している。このことから、非常によく鍛練された者ほど高い運動強度の場合であっても乳酸値やそれに伴う酸素負債の出現が少なくすむ傾向にあると思われる。

これらの結果から、ほぼ同一の最大酸素摂取量であるが5000mの記録に大きな差が生じる一つの要因として、最大酸素摂取量の95%や90%の高い強度で走行しても、最大下走行後の総酸素負債および乳酸性酸素負債の割合および乳酸値が小さいことが記録に有利な条件となることが示唆された。

また、最大下の酸素負債は運動強度および運動時間などから生じる代謝、温度、電解質およびホ

ルモンの変化による影響⁸⁾について、研究が少ないので、今後これらの問題に対する研究が必要であると考えられる。

要 約

- 1) 長距離の競技ペースを参考にしたトレッドミル走での2種類の最大下走行後の酸素負債量が5000 mの競技記録と関連づけて検討された。
- 2) 5000 mの記録が15分14秒～15分52秒で、最大酸素摂取量が平均 70.8 ± 1.84 ml/kg・minの長距離選手6名に95%漸減負荷および85%一定負荷の走行を行なわせた。そして、総酸素負債量、非乳酸性酸素負債量、乳酸性酸素負債量および血中乳酸濃度が測定された。
- 3) 95%漸減負荷群および85%一定負荷群の間に、乳酸性酸素負債量、総酸素負債量および血中乳酸濃度で有意な差が生じた ($P < 0.05$)。
- 4) 5000 mの競技記録と95%漸減負荷群の乳酸性酸素負債および総酸素負債の割合(%)の間に、それぞれ、 $r = 0.880$ ($P < 0.05$) および $r = 0.965$ ($P < 0.05$) の相関関係がみられた。また、95%漸減負荷群の乳酸値に $r = 0.747$ の相関がみられた。
- 5) これらの結果から、5000 mの記録のよい選手は最大酸素摂取量の95%や90%の高い強度が荷せられても、乳酸値において低い傾向がみられ、かつ、乳酸性酸素負債および総酸素負債の割合(%)においても低い割合を示した、このことから、95%漸減負荷のような競技ペースでは、記録のよい選手にとって、走行時の無酸素的能力による生体の負担度が少なくすむのではないかと考えられる。

(本報の要旨は1979年9月九州体育学会第28回大会で発表した。)

参 考 文 献

- 1) 帖佐寛章, 栗本関夫, 賁木純一郎: 長距離走者の $\dot{V}O_{2max}$ の縦断的研究. 順天堂大学保健体育紀要 14 91-93 (1971).
- 2) Christensen, E. H. and P. Högberg: Steady-state, O_2 deficit and O_2 debt at severe work. *Arbeitsphysiologie* 14 251-254 (1950).
- 3) Costill, D. L. and E. L. Fox: Energetics of marathon running. *Med. Sci. Sports* 1 81-86 (1969).
- 4) Costill, D. L. et al.: Determinants of marathon running success. *Int. Z. angew. physiol.* 29 249-255 (1971).
- 5) Davies, C. T. M. and G. W. Crockford: The kinetics of recovery oxygen intake and blood lactic acid concentration measured to a baseline of mild steady work. *Ergonomics* 14 721-731 (1971).
- 6) Henry, F. M. and J. Demoor: Metabolic efficiency of exercise in relation to work load at constant speed. *J. Appl. Physiol.* 2 481-487 (1950).
- 7) 形本静夫: 非乳酸性負債と乳酸性負債. *体育の科学* 25 (11) 742-747 (1975).
- 8) Knuttgen, H. G.: Oxygen debt after submaximal physical exercise. *J. Appl. Physiol.* 29 651-657 (1972).
- 9) 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋児: 長距離走の実態調査報告—第2次研究—. 日本体育協会ス

- スポーツ科学研究所報告 1-12 (1972).
- 10) 黒田善雄, 雨宮輝也, 塚越克己, 鈴木洋児, 伊藤静夫: 陸上競技, 中, 長距離走の呼吸循環機能に関する研究—第3報—. 日本体育協会スポーツ科学研究所報告. 1-14 (1974).
 - 11) 水上茂樹, 鈴木チヨ: 乳酸の酵素的測定法 LDH_{12} より触媒される反応を用いて, 臨床検査 **10** 631-634 (1966).
 - 12) Robinson, S. et al.: New records in human power. *Science* **85** 409-410 (1937).
 - 13) Saiki, H. et al.: Lactic acid production in submaximal work. *Int. Z. angew. physiol.* **24** 57-61 (1967).
 - 14) Saltin, B. and P-O Åstrand: Maximal oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* **23** 353-358 (1967).
 - 15) 清水達雄, 帖佐寛章, 青木純一郎, 前嶋 孝, 沢木啓祐: 種々の距離走における酸素摂取量と酸素負債量との割合について. —長距離選手の場合—. 順天堂大学保健体育紀要 **11** 107-110 (1968).
 - 16) Williams, C. G. et al.: Effect of training on maximum oxygen intake and on anaerobic metabolism in man. *Int. Z. angew. physiol.* **24** 58-23 (1967).
 - 17) 山崎省一, 青木純一郎: 長距離走者の競技記録と無酸素的能力. 体力科学 **26** 87-95 (1977).

(1979年10月15日 受理)