

無酸素的作業能の生理学的研究

— 400m疾走能力の制限因子に関する研究 —

名古屋大学 齊藤 満

(共同研究者) 同 宮村 実晴

同 池上 康男

名古屋工業大学 大桑 哲男

研究の目的

無酸素的作業能は、二つの視点から評価される。一つは、どれだけ大きな力を発揮するかという power の絶対値からみる場合、いま一つは、高い power の発揮をどれだけ長く持続できるかの面からである。Margaria ら⁹⁾の研究によれば、無酸素的 power のピークは3～6秒で頂点に達し、以後減少をたどるとされていることから、陸上競技の短距離走などでは、この無酸素的 power の持久性が競技成績に大きくかかわってくるものと考えられる。特に400m走のように50秒前後の競技では、無酸素的 power の大きさと同時に、

無酸素的な持久性が重要な因子になるものといえよう。

このようなことから、本研究では、400m全力疾走時の平均速度および通減率と酸素摂取量、酸素負債量および血中乳酸濃度との関連を分析し、無酸素的作業能制限因子を探ろうとした。

研究の方法

被験者は、ほぼ毎日陸上競技のトレーニングを積んでいるもの4名、トレーニングを全く行っていない一般学生1名の計5名であった。被験者の身長、体重、年齢、最大酸素摂取量および競技記録は表1に示した。

表1

Subj.	Trained				Untrained
	HY	TH	MI	MT	HK
Age (yr)	22	24	17	16	21
Height (cm)	170	168	175	168	171
Weight (kg)	52	61	59	58	58
$\dot{V}O_2$ max. (l)	3.09	3.82	3.27	3.59	3.07
$\dot{V}O_2$ max./BW(ml)	59.4	62.7	55.1	62.3	53.2
Records	200m : 22''5 400m : 50''0	800m : 1'58''8	200m : 24''3 400m : 53''2	100m : 11''3 200m : 23''4	—

実験の手順と測定項目

被験者は、午前9時に実験場へ来たのち、運動のできる服装に更衣し、40分間の仰臥安静を行った。安静後30～60分間の準備運動を行ったのち、

400mの最大努力走を実施した。

測定した項目は、心拍数、酸素摂取量、血中乳酸濃度400mの歩数、16mm映画によるフォーム撮影であった。これらの測定順序は図1に示した。

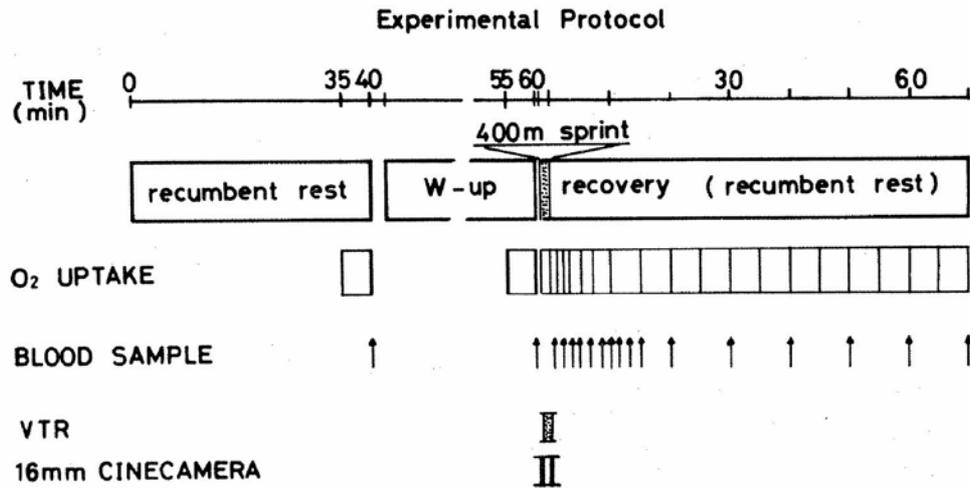


図1

これらの測定項目以外には、最大酸素摂取量、除脂肪体重も測定した。

結果および考察

1. バイオメカニカル (Biomechanical)

な分析

① 走速度、歩数、歩幅および歩数頻度

表2は、実験時の400m記録、歩数、400mの平均速度、歩幅および歩数頻度を示したものである。

400 m の記録は 54 秒 7 から 67 秒 4 の範囲にあ

り、歩数との関係でみると、明確な関係はみられなかった。同様に、平均歩数頻度についても、記録との間に明確な関係はみられなかった。

競技者と非競技者の平均歩数頻度では、差はみられなかったが、平均歩幅は競技者が約 30cm も大きかった。

短距離走や長距離走の成績と歩幅、歩数頻度との関係については、斉藤ら¹²⁾三浦ら¹⁰⁾、Nelsonら¹¹⁾によって、その成績に歩幅が大きくかかわっていることが報告されており、非競技者の400m記録が低い原因の一つとして歩幅の短いことがあ

表2

Svbj.	400m Record (sec)	Mean Velocity (m)	Steps (steps)	Mean Step Length (m)	Mean Step Frequency (steps/sec)
HY	54''7	7.31	196	2.04	3.58
TH	57''6	6.94	212	1.89	3.75
MI	59''0	6.78	198	2.04	3.36
MT	60''0	6.67	196	2.02	3.27
KG	67''4	5.93	234	1.71	3.47

げられる。しかし、競技者間では、歩幅との関連は明らかなものではなかった。

② 走速度、歩幅および歩数頻度の通減

表3は、スタートから170m付近(前半)と350

m付近(後半)での平均走速度、歩幅、歩数頻度およびそれぞれの通減率(後半÷前半×100)を示したものである。

表3

Subj.	Mean Velocity (m)		Rate of Decrease (%)	Step Length (m)		Rate of Decrease (%)	Step Frequency (steps/sec)		Rate of Decrease (%)
	170m	350m		170m	350m		170m	350m	
HY	8.10	7.10	(87.7)	2.16	1.81	(83.8)	3.80	3.49	(91.8)
TH	7.86	6.10	(77.6)	1.96	1.62	(82.7)	4.00	3.70	(92.5)
MI	7.79	6.53	(83.8)	2.10	1.93	(91.9)	3.70	3.37	(91.1)
MT	6.90	6.58	(95.4)	1.98	1.97	(99.5)	3.53	3.33	(94.3)
HK	6.84	5.54	(81.0)	1.95	1.68	(86.2)	3.45	3.11	(90.1)
Mean			85.1			88.8			92.0
SD			± 6.1			± 6.2			± 1.4

各被験者とも、後半で速度、歩幅および歩数頻度が減少した。被験者 MT の速度通減率は95.4%であり、他の被験者に比べて減少が小さかった。これは、最初から低い速度で走ったためと考えられる。すなわち、400m前半、後半の走速度を、各被験者の100m最高記録時の平均速度をそれぞれの最大走速度として、その割合であらわすと図2のようになり、各被験者とも前半は約90%以上の速度であったが、MTは81%の低いものであった。

歩幅と歩数頻度はともに後半通減するが、歩幅の通減率は88.8±6.2%)は歩数頻度(92.0±1.4%)のそれよりも大きかった。

Bates と Haven¹⁾ は、440ヤードの一流ランナーについて同様の分析をし、本結果よりも通減率は小さいが、歩幅の減少が歩数頻度よりも大きい結果を報告している。

このようなことから、筋収縮をくり返す運動では、単位時間当りの収縮回数よりも筋収縮張力あるいは筋収縮 power の減弱が最初に生じるものといえよう。

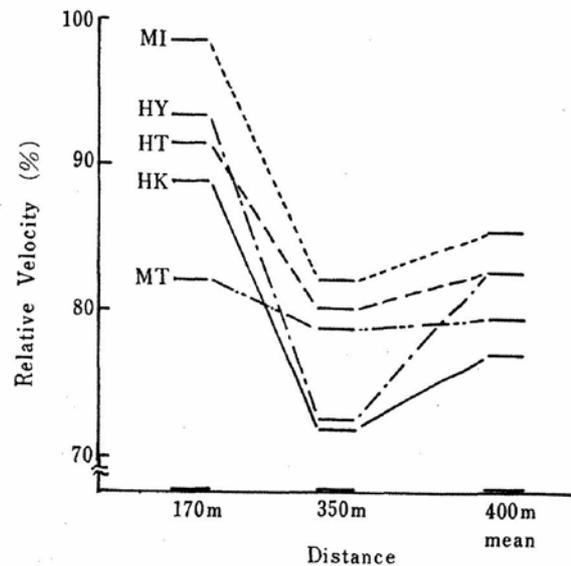


図2

2. 生理学的測定

① 酸素摂取量および血中乳酸濃度

図3, 4は、被験者 HY の安静、準備運動(スタート前)、走行中および回復期の酸素摂取量と血中乳酸濃度の経時変化を示したものであるが、各被験者とも、ほぼ同様の傾向であった。また、生理的測定結果は表4にまとめて示した。

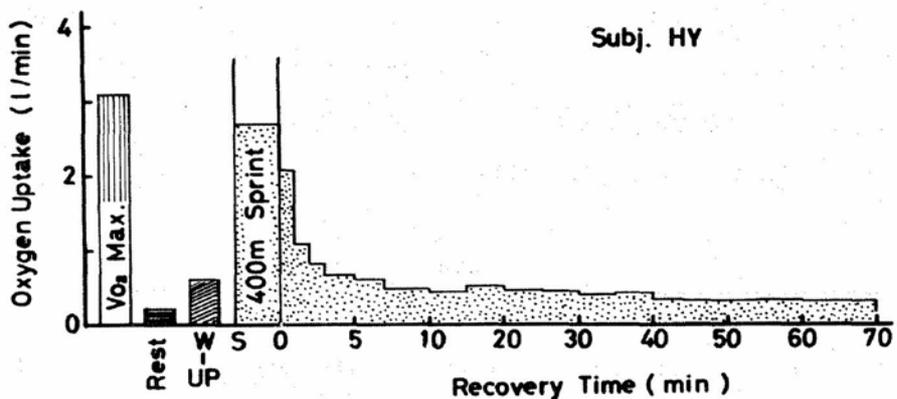


図 3

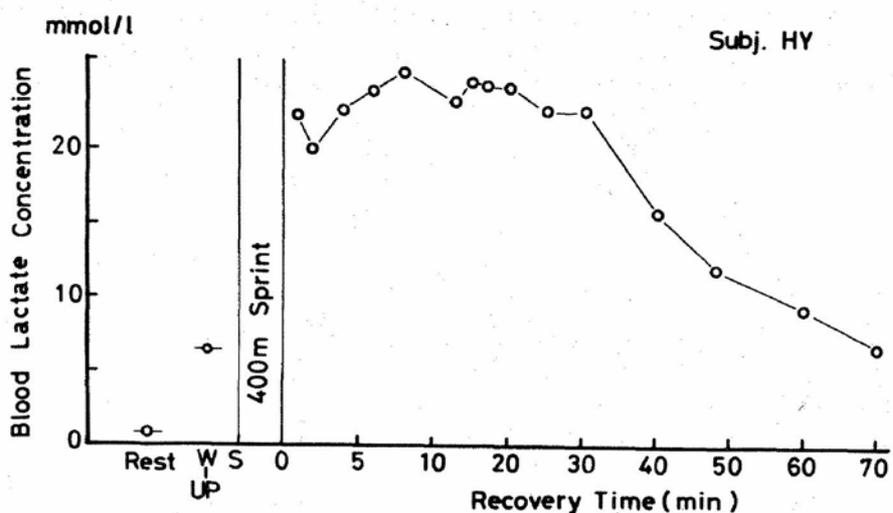


図 4

回復70分間の酸素負債量は、6.56から16.6 l の範囲にあり、平均10.8 l であり、黒田ら^{6,7)}の報告している最大酸素負債量の値に近いものであった。

血中乳酸濃度のピーク値は、Hermansen²⁾による約 30mmol/l, Sawka ら¹³⁾の 28mmol/l の報

告最大値よりも低いものであったが、一般に報告されている値の最大値に相当するものであった。

3. バイオメカニク解析結果と生理学的測定結果との関係

- ① 400m平均走速度、歩幅および歩数頻度と血中乳酸濃度ピーク値との関係

表 4

Subj.	O ₂ Debt (70min) (l)	O ₂ Debt (3 min) (l)	O ₂ Uptake (400m) (l)	Blood Lactate (mmol/l)		
				(rest)	(W-up)	(peak)
HY	16.60	3.29	2.42	1.60	6.43	25.10
TH	7.90	3.51	3.15	1.21	1.86	22.97
MI	10.24	3.26	2.29	1.15	2.48	18.90
MT	12.92	3.40	2.78	0.74	1.35	16.69
HK	6.56	2.47	2.39	1.18	5.76	19.76

被験者の 400m 平均走速度と血中乳酸濃度のピーク値、酸素負債量、走行中酸素摂取量との相関係数を表 5 に示した。

表 5

	Correlation coefficient	
	Total subj. (n=5)	Trained (n=4)
Blood Lactate	0.58	0.92*
O ₂ Debt (70min)	0.73	0.55
O ₂ Debt (3min)	0.62	-0.34
400m O ₂ uptake	0.21	0.19
O ₂ Debt (3min) +400m O ₂ uptake	0.44	-0.26

* p<0.05

全被験者では、400m 平均走速度と各測定項目との有意な関係はみられなかったが、陸上競技者群(4人)では、血中乳酸濃度ピーク値との間のみ有意 (P<0.05) の関係が認められた。

Katch と Henry⁵⁾ は、無酸素的作業能の一つの指標とされる酸素負債量と短距離走の成績とは関係のないことを報告しているが、本研究結果もこれと一致するものといえよう。

また、血中乳酸濃度ピーク値と 400m 平均走速度との関係については、Mader ら⁸⁾ は、走速度の増加にともなう乳酸形成速度が、トレーニングの種類や個人によって異なることを観察しており、本被験者のように日常的なトレーニングを行っているものとそうでないものとは、走速度増加にともなう乳酸生成速度水準が大きく異なることが考えられる。したがって、陸上競技者群のように、ほぼ同一のトレーニング条件にある個人間では、血中乳酸濃度が無酸素的作業能の一つの指標になるものといえよう。

② 血中乳酸濃度ピーク値と 400m 平均歩幅および歩数頻度との関係

血中乳酸濃度ピーク値と 400m の平均歩数頻度および歩幅との相関係数は表 6 に示した。

血中乳酸濃度ピーク値と 400m 平均歩幅との間

表 6

	Correlation Coefficient	
	Total subj. (n=5)	Trained (n=4)
Mean Step Freq.	0.84*	0.85*
Mean Step Length	0.00	-0.32
Rate of Decrease Velocity	-0.44	-0.53
Step Length	-0.88*	-0.95**
Step Frequency	-0.26	-0.49

• : p<0.1 * : p<0.05 ** : p<0.02

には有意な関係はみられなかったが、平均歩数頻度との間には有意な関係がみられた。つまり、このことは、歩数頻度が高くなるにしたがい、乳酸濃度が高くなることを示すものといえよう。歩幅と歩数頻度との積によって走速度があらわされることから、走速度の増加を歩数頻度の増加によって達成することは、乳酸の生成を高めるか、あるいは早める要因になるものと考えられる。

③ 血中乳酸濃度ピーク値と走速度、歩幅および歩数頻度通減率との関係

血中乳酸濃度ピーク値と前半に対する後半の走速度、歩幅、歩数頻度の通減率との関係では、歩幅の通減率との間でのみ有意の関係がみられ、走速度、歩数頻度の通減率との間では有意な関係はみられなかった(表 6)。

血中乳酸濃度ピーク値が筋の乳酸濃度を反映する (Karlsson⁴⁾, Jorfeldt ら⁹⁾) ものとなれば、筋での乳酸の蓄積又は高濃度が、歩幅を決定するキック力 (power) を減弱させる重要な因子になっていることを示唆しているものと思われる。

要 約

400m最大努力走のバイオメカニクスおよび生理学的結果から、次のことがいえよう。

1) 走速度を高めること、つまり大きな power の発揮によって血中乳酸濃度が高まるが、歩数頻度を高めることによって走速度を高めることは、乳酸の生成量または生成速度を促進させるものと

いえる。

2) 乳酸濃度の増加は、歩数頻度よりも歩幅の減少を最初に生じさせる。

3) 400m 走における無酸素的作業能の向上の一つは、乳酸の生成速度を遅らせることと、高乳酸濃度での power の低下の割合を少なくすることである。

文 献

1. Bates B.T. and B.H. Haven ; Effects of fatigue on the mechanical characteristics of highly skilled female runners. In ; Biomechanics IV, 121—125 (1973) (ed. Nelson R.C., and C.A. Moerhous)
2. Hermansen L. ; Lactate formation during exercise., In ; Muscle metabolism during exercise, 401—407 (1971) (ed. Pernow B. and B. Saltin)
3. Jorfeldt L., A. Juhlin-Dannfelt, and J. Karlsson ; Lactate release in relation to tissue lactate in human skeletal muscle during exercise, *J. Appl. Physiol.*, 44, 350—352 (1978)
4. Karlsson J. ; Lactate and phosphagen concentration in working muscle of man, *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 358, 1—72 (1971)
5. Katch V. and F.M. Henry ; Prediction of running performance from maximal oxygen debt and intake, *Med. Science in Sports*, 4, 187—191 (1972)
6. 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 伊藤静夫, 金子敬二, 松井美智子 ; 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量, 第3報, 昭和52年度日本体育協会スポーツ科学研究報告書 No.XIII (1978)
7. 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋二, 伊藤静夫 ; 最大酸素摂取量の測定法に関する研究, 日本体育協会スポーツ科学研究報告書 No.X (1974)
8. Mader A., H. Heck and W. Hollman ; Evaluation of lactic acid anaerobic energy contribution by determination of post exercise lactic acid concentration of ear capillary blood in middle-distance runners and swimmers, In ; Exercise physiology. 187—200 (1978) (ed. Landy F.)
9. Margaria R., P. Aghemo, and E. Rovelli ; Measurement of muscular power (anaerobic) in man, *J. Appl. Physiol.*, 21, 1661—1664 (1966)
10. 三浦望慶, 松井秀治, 神山紘 ; 長距離走のスキルに関する実験的研究, 身体運動の科学 II : 身体運動のスキル, 杏林書院, 134—144 (1976)
11. Nelson R.C., C.M. Brooks and N.L. Pike ; Biomechanical comparison of male and female distance runners, *Annals of the New York Academy of Science* 301, 792—807 (1977)
12. Saito M., K. Kobayashi, T. Hoshikawa, and M. Miyashita ; Temporal patterns in running. In ; Biomechanics IV, 106—111 (1973) (ed. Nelson R.C. and C.A. Morehouse)
13. Sawka M.N., R.G. Knowlton, D.S. Miles and J.B. Critz ; Postcompetition blood lactate concentrations in collegiate swimmers. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 41, 93—99 (1979)