

大学女子中長距離走者におけるペース走後の血中乳酸値の変化とレース中の走速度との関係

山口 敏 夫 櫻 田 淳 也 佐 伯 徹 郎*

はじめに

中長距離走の選手や指導者の多くは、いくつかの指標を基準にしてトレーニング強度(走速度と走行距離)を設定している場合が多い。個人の記録やレースを想定しての走速度を指標とすることは最も多用される例である。しかし、近年はAT(Anaerobic Threshold; 無酸素性代謝閾値)やOBLA(Onset of Blood Lactate Accumulation)などの生理学的指標が用いられるようになってきた^{4) 10)}。これらの指標は、換気量の変化あるいは血中乳酸値の変化から求められるが、ATを換気量の変化からみた場合をVT(Ventilatory Threshold; 換気性閾値)、血中乳酸値からみた場合をLT(Lactate Threshold; 乳酸性閾値)というように区別して表現している。そして、血中乳酸値でみると、LTは2 mM/L、OBLAは4 mM/Lに相当する。このLTやOBLAの時点での走速度は、中長距離走記録との間には正の相関にあることが多く報告されていることから、持久的競技選手の競技記録をある程度予測可能とする^{10) 11) 13)}。また、これらの指標によって、選手のトレーニング効果の判定や測定時点でのコンディションを評価することができる²⁾。

ところで、長距離走レースでは、記録をねらう、勝負に徹する、などそのレースの狙いによってレース展開やペース変化は、さまざまである^{1) 5)}。このペース変化に影響する要因は、体力的要因、技術的要因、心理的要因、および環境的要因などが考えられる。

そして、体力的要因の一つとして、血中乳酸蓄積を抑制する能力もあげられる。つまり、ペースアップに対する血中乳酸増加が少ないタイプの走者は、血中乳酸蓄積による疲労の影響が少なく、結果としてレースにおけるペース変化も少ないことが予想される。しかし、実際のレースにおける走速度の変化と血中乳酸の変化との関係について検討した研究はみられない。

そこで本研究では、大学女子中・長距離選手について、3月と10月のトラックシーズン前後に、3段階の一定速度での持久走(ペース走)における血中乳酸値や主観的運動強度を測定し、その間のトレーニング効果を評価するとともに、ペース走後の血中乳酸値の変化の特徴と実際の長距離走レースにおける走速度の変化の特徴との関係について検討することを目的とした。

表1. 対象者の身体特性

	年齢 yrs	身長 cm	体重 kg	1998年度ベスト記録	
				1500m	3000m
H.O	21	155.0	44.0	9'51"8 (9'48"8)	
M.M	21	158.0	48.0	10'09"8 (10'03"8)	
Y.K	21	164.0	49.0	10'32"5 (10'44"4)	
M.K	22	159.0	47.0	10'55"2	
Mi.K	21	165.0	52.0	4'35"3 (4'39"1)	
R.N	22	159.0	48.0	4'51"2 (4'56"7)	
W.A	20	159.0	47.0	4'43"34 (4'53"1)	
平均値	21.1	159.9	47.9	4'43.3	10'22"3
標準偏差	0.7	3.5	2.4	8.0	27.5

※ベスト記録の1500mは3人の平均値、3000mは4人の平均値

※ベスト記録の括弧内は1997年度のベスト記録

* (筑波大学大学院体育科学研究科)

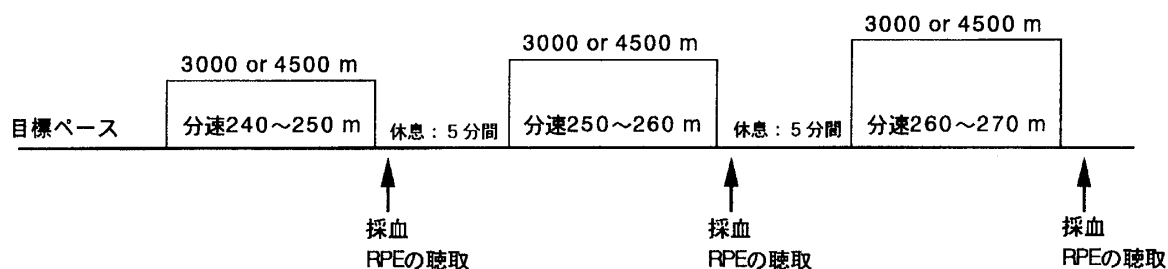


図1. 3段階のペース走による血中乳酸値測定の手順

研究方法

1. 対象者

東京女子体育大学陸上競技部の中長距離走を専門とする部員7名を対象とした。表1に対象者の身体的特性を示した。

2. 3段階ペース走における血中乳酸値および主観的運動強度の測定方法

3段階の負荷によるペース走（以後、3段階ペース走とする）は、5分間の休息をはさんで実施した（図1）。走速度は、3月時点における各対象者のトレーニング状況やベスト記録を基に決定し、第一段階は毎分240~250m/min、第2段階は250~260 m/min、第3段階は260~270 m/minとした。各段階における走距離は、選手の走力に応じて調整し、3000あるいは4500mとした。

各段階の走行終了直後には採決し血中乳酸値を求めるとともに、主観的運動強度を聴取した。

表2. 主観的運動強度 (RPE)³⁾

20	
19	… 非常にきつい
18	
17	… かなりきつい
16	
15	… きつい
14	
13	… ややきつい
12	
11	… 楽である
10	
9	… かなり楽である
8	
7	… 非常に楽である
6	

血中乳酸値は、各ペース走直後に指先より30 μ l程度の血液を搾取し、直ちに全血を自動血中乳酸分析器(1500SPORT: YSI社製)に注入し、分析を行った。

主観的運動強度は、Borg³⁾のスケール(RPE; Rate of Perceived Exertion、表2)を用いた。さらに、RPEが13(「ややきつい」となる走行速度を、1段階目と2段階目の負荷を用いた直線回帰により算出した。

上記の測定は、1998年3月と10月にそれぞれ、東京女子体育大学陸上競技場(300mトラック)にて実施した。なお、2回の測定のためのトレーニングは、3月の測定で得た各個人の血中乳酸値3~4 mM/Lでの走速度を基にしたペース走^{11) 12)}を中心とした各種中・長距離走トレーニングで構成した。また、血中乳酸値2、3および4 mM/Lでの走速度の算出は、各血中乳酸値を挟んだ2点間の、走速度と血中乳酸値と直線回帰によって行った。なお、血中乳酸値が1段階目の走速度から2あるいは4 mM/Lを超えていた場合には、1段階目と2段階目の走速度での直線回帰より算出した。

3. 3段階ペース走における血中乳酸値の変化と中長距離走レースにおける走速度の変化の比較

各対象者の3段階ペース走における血中乳酸値の変化(以後、乳酸カーブとする)と実際のレースにおける走速度の変化との関係について検討するために、血中乳酸値測定の前後に実施された中長距離走レースにおける走速度の変化をグラフ化し、乳酸カーブとを比較した。

実際のレースには、対象者の専門種目に応じて、1500mと3000mとを選択した。走速度の変化は、

300m毎のラップタイムをもとにして、分速に換算して示した。

4. 統計処理

データの解析に用いたおもな統計的手法は、各血中乳酸値での走速度を算出するための回帰分析と、3月と10月との比較のための対のt検定(片側検定)であった。t検定は、5%水準で有意とした。

結果と考察

1. 3段階ペース走後の血中乳酸値の変化について

表3に、3段階ペース走における走速度と血中乳

表3. 3段階ペース走における走速度と血中乳酸値

	1段階				2段階				3段階			
	走速度		血中乳酸値		走速度		血中乳酸値		走速度		血中乳酸値	
	m/min	m/min	mM/L	mM/L	m/min	m/min	mM/L	mM/L	m/min	m/min	mM/L	mM/L
	3月	10月	3月	10月	3月	10月	3月	10月	3月	10月	3月	10月
H.O	252.4	255.9	1.3	0.9	261.3	263.9	2.1	1.0	273.3	272.7	3.2	1.1
M.M	252.4	255.9	2.1	1.7	261.3	263.9	2.0	2.8	273.3	272.7	4.3	2.8
Y.K	252.4	255.9	4.0	2.3	261.3	263.9	6.1	5.5	263.4	272.7	10.2	6.0
M.K	240.6	239.7	3.7	4.4	246.8	246.2	4.7	7.2	255.6	256.0	6.6	11.8
Mi.K	252.4	255.9	3.6	2.7	261.3	263.9	3.2	4.0	273.3	272.7	7.3	4.5
R.N	240.6	239.7	3.6	1.4	246.8	246.2	4.8	4.0	255.6	256.0	7.9	2.9
W.A	240.6	239.7	4.4	2.8	246.8	246.2	5.3	3.0	254.1	256.0	7.6	5.0
平均値	247.3	249.0	3.2	2.3*	255.1	256.3	4.0	3.9	264.1	265.5	6.7	4.9
標準偏差	6.3	8.7	1.1	1.2	7.8	9.5	1.6	2.0	9.1	8.9	2.3	3.5

1. 3月 vs 10月: *P<0.05.

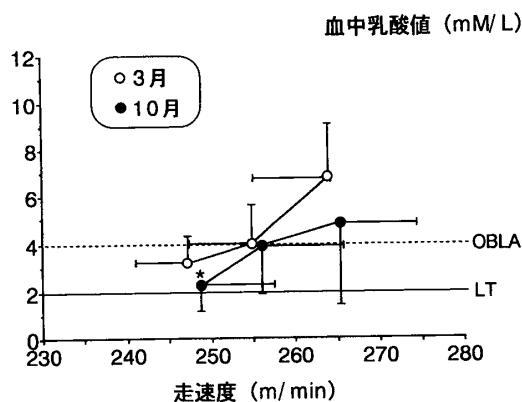


図2. 3段階ペース走における平均走速度と血中乳酸値との関係-3月と10月との比較-

3月 vs 10月: *P<0.05

表4. 走パフォーマンスと、2、3および4mM/L走速度

	1500 m		3000 m		2 mM/L走速度		3 mM/L走速度		4 mM/L走速度	
	分'秒"		分'秒"		m/min		m/min		m/min	
	3月	10月	3月	10月	3月	10月	3月	10月	3月	10月
H.O			10'01"6	9'51"8	260.7		271.3		281.7	
M.M			10'09"8	10'11"5	260.8	258.8	266.1	275.0	271.5	289.1
Y.K			10'49"3	10'35"6	243.9	255.1	248.2	257.6	252.6	260.1
M.K			10'55"2	11'05"9	230.3	234.1	236.7	236.5	243.2	238.8
Mi.K	4'46"8	4'37"2			258.1	251.0	261.0	257.6	263.9	264.2
R.N	4'54"5	4'51"6			232.1	241.2	237.3	256.8	242.5	266.1
W.A	5'07"0	4'51"4			223.5	241.3	230.5	246.2	237.5	251.1
平均値	4'56"1	4'46"7	10'29"0	10'26"2	244.2	246.9	250.2	255.0	256.1	261.6
標準偏差	10"2	8"3	27"2	31"9	15.9	9.5	16.1	12.9	16.6	16.8
H.O除く data (n = 6)										
平均値					241.5	246.9	246.6	255.0*	251.9	261.6*
標準偏差					15.4	9.5	14.4	12.9	13.4	16.8

1. H.Oの10月時の2、3および4mM/L走速度は、測定不能であった。
2. 3月 vs 10月: *P<0.05.

酸値の測定結果を示した。また、図2には、3段階ペース走における平均走速度と血中乳酸値の関係を示した。

3段階ペース走の各段階における平均走速度はほとんど同一であったが、1段階目の血中乳酸値は、3月から10月にかけて、 3.2 ± 1.1 から $2.3 \pm 1.2 \text{ mM/L}$ へと有意に低下した ($P < 0.05$)。また、有意な改善は認められなかったが、3段階目では、対象者7名中6名の血中乳酸値が低下 ($1.5 \sim 5.0 \text{ mM/L}$) していた。図2のように全体的にみても、走速度の増加に対する乳酸カーブが緩やかになっている傾向が認められた。

表4に、トラックシーズン前後の2回(3月、10月)にわたる走パフォーマンスと、2~4 mM/Lでの走速度の値を示した。

3月から10月にわたる各血中乳酸値での走速度の変化をみると、3 mM/Lでの走速度は 246.6 ± 14.4 から $255.0 \pm 12.9 \text{ m/min}$ へ、4 mM/Lでの走速度は 259.1 ± 13.4 から $261.6 \pm 16.8 \text{ m/min}$ へ、それぞれ有意に向上した ($P < 0.05$)。また、走パフォーマンスは、有意ではないが、7名中5名の記録が向上していた。

上述の各血中乳酸値での走速度における結果は、Sjodinら⁸⁾が報告した、14週間のOBLA値でのトレーニングによる4 mM/Lでの走速度の約 12 m/min の増加や、山口¹¹⁾の約 17 m/min などの顕著な伸びでは

なかった。しかし、本研究の結果も、これらの研究におけるトレーニングの成果と同様に、3月から10月にかけての中長距離走トレーニングの効果を示すものと考えられる。また、このような各血中乳酸値での走速度の向上は、10月の競技会の記録に見られるようなパフォーマンス向上の一要因になったものと思われる。このことは、3月の測定時で得た3~4 mM/Lの負荷でのペース走のねらいが達成されたことを支持するものであると考えられる。

2. 3段階ペース走後の主観的運動強度(RPE)の変化について

次に、表5に、3段階ペース走の各段階におけるRPEおよびRPE13に相当する走速度を示した。また、図3には、3段階ペース走における平均走速度とRPEとの関係を示した。

表5. 3段階ペース走におけるRPEとRPE13での走速度

	1段階		2段階		3段階		RPE13走速度	
	3月	10月	3月	10月	3月	10月	3月	10月
H.O	11	11	13	11	15	14	261.3	269.8
M.M	11	12	12	13	15	14	263.9	265.3
Y.K	11	10	14	11	16	15	258.3	268.3
M.K	13	11	14	12	15	15	240.6	249.5
M.L.K	14	13	15	13	16	15	243.5	263.9
R.N	12	9	16	10	17	11	240.6	261.4
W.A	13	9	15	11	19	12	242.2	267.1
平均値	12.1	10.7*	14.1	11.6**	16.1	13.7*	250.1	263.6*
標準偏差	1.2	1.5	1.3	1.1	1.5	1.6	10.6	6.8

1. 3月 vs 10月: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

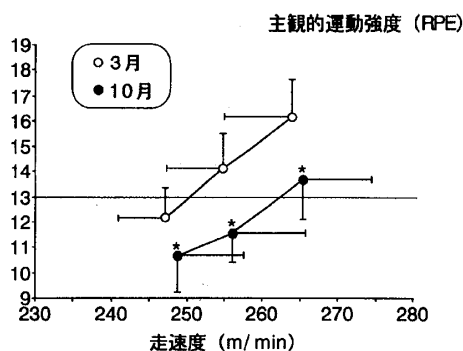


図3. 3段階ペース走における平均走速度とRPEとの関係
- 3月と10月との比較 -
3月 vs 10月: * $P < 0.05$

3月から10月にかけてのRPEの変化については、各段階ともそれぞれ、 12.1 ± 1.2 から 10.7 ± 1.5 ($P < 0.05$)、 14.1 ± 1.3 から 11.6 ± 1.1 ($P < 0.01$)、 16.1 ± 1.5 から 13.7 ± 1.6 ($P < 0.05$)、と有意に低下した。特に、3月の3段階目においては、15~19と範囲に幅があったものの全員が15以上の「きつい」と感じていたが、10月では、1~2段階目にかけて顕著な増加はみられなくなり、9~13までの範囲に収まり、「楽である」と感じる者が多くなった。そして、3月にはすべての対象者が「きつい」と感じていた3段階目の負荷においても「きつい」と感じたのは3名(W. A. R. N. Y. K)だけであり、その3名のうち2名もRPEが低下する傾向にあった。

ところで、PruvisとCureton⁷⁾は、ATに相当する主観的運動強度が「ややきつい」から「きつい」程度であることを報告している。また、一般成人男子を対象とした研究ではあるが、簡便な持久力の評価法の一つとして、RPE13(「ややきつい」)を用いた12分間走の走行距離が有効であることが報告されている⁶⁾。そこで本研究では、RPE13での走速度を算出し、その変化についても検討した。その結果、3月の 250.1 ± 10.6 から10月の 263.6 ± 6.8 m/minまで、約14m/minと有意に増加し、個人で見ると、最大では24.9 m/minの改善があった。

これらの結果は、3月~10月の中長距離走トレーニングの成果の一つとして、ある走速度に対するRPEが抑制されることを示すものと考えられる。そして、RPEが低下した生理的背景には、先に示した同一走速度における血中乳酸値の改善が大きく寄与しているものと思われる。

3. 3段階ペース走における乳酸カーブと中長距離走レースにおける走速度の変化との比較

本研究では、ペース走における血中乳酸値の測定の新たな評価の視点を明らかにするために、3段階ペース走における乳酸カーブの特徴と実際の中長距離走レースにおけるペース変化の特徴との関係についても検討した。

図4~7には、3月と10月における各対象者の3

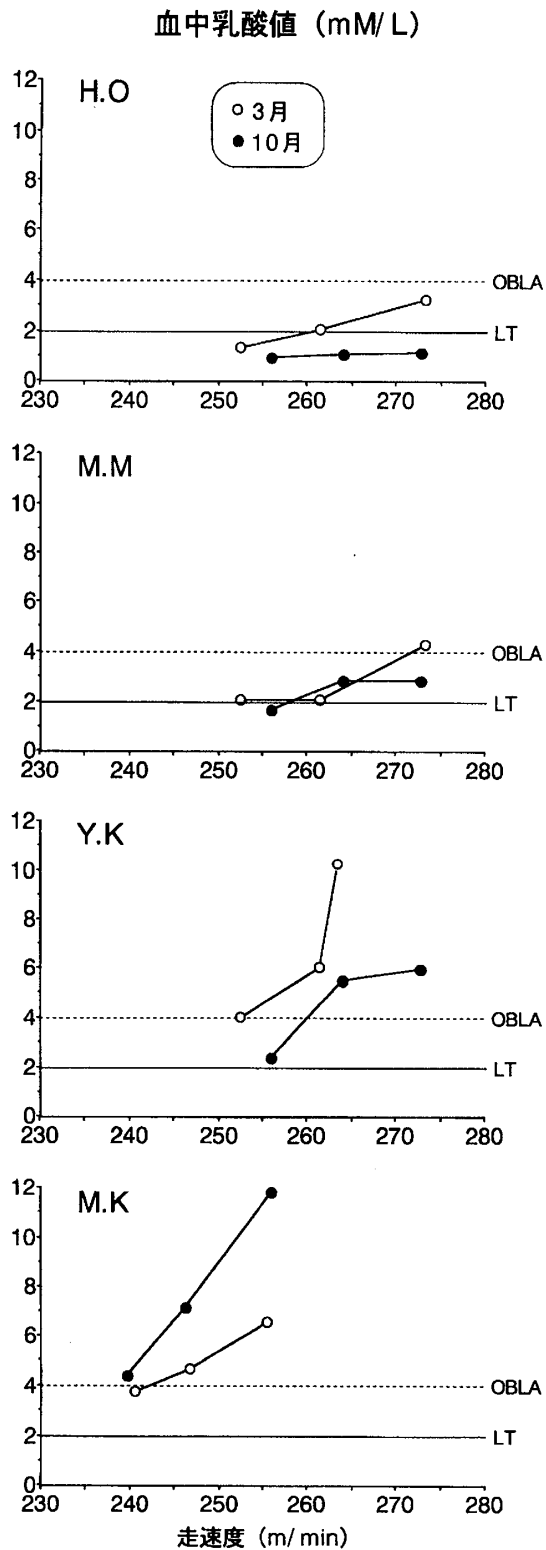


図4. 3段階ペース走における平均走速度と血中乳酸値との関係 (個人でみた場合-1-)

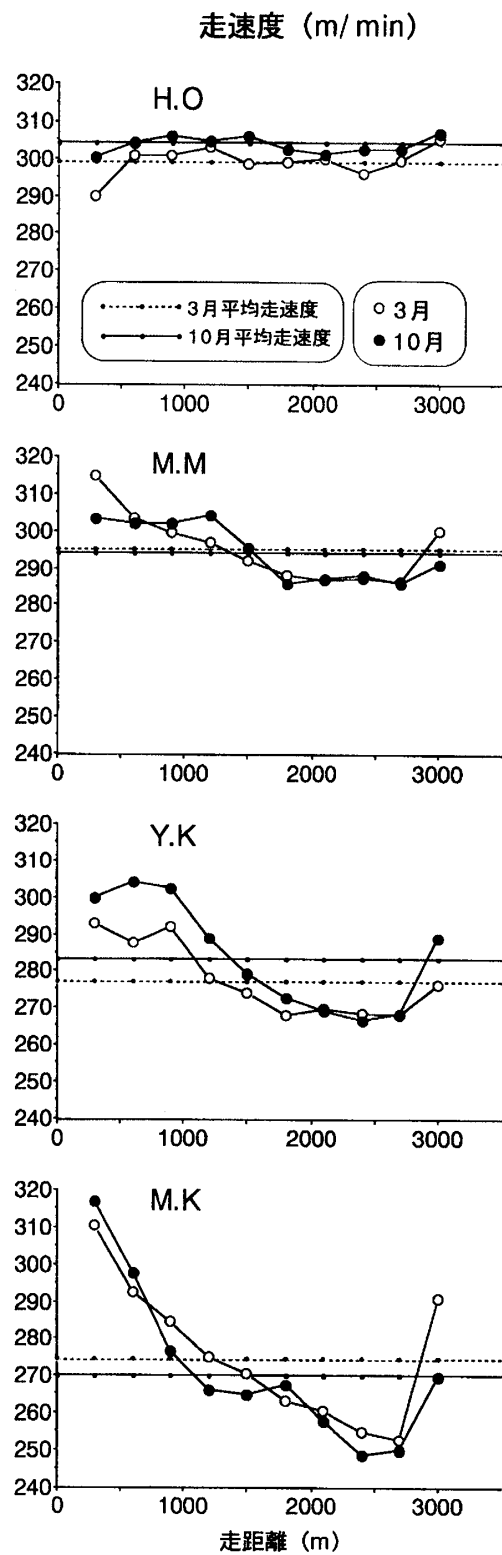


図5. 3000m走レースにおける走速度の変化 (個人でみた場合)

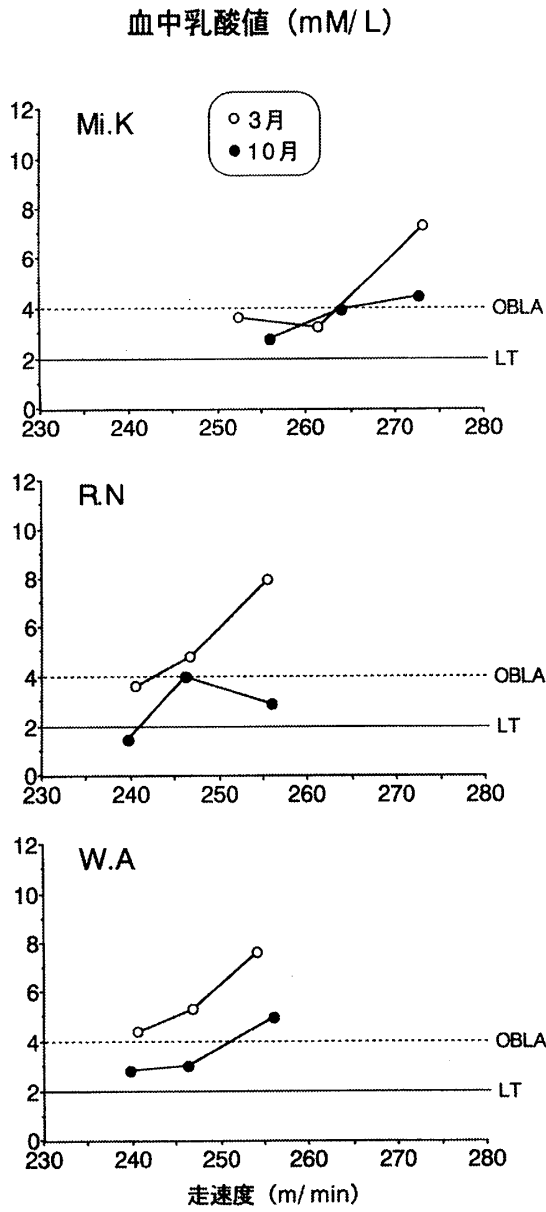


図6. 3段階ペース走における平均走速度と血中乳酸値との関係 (個人でみた場合-2-)

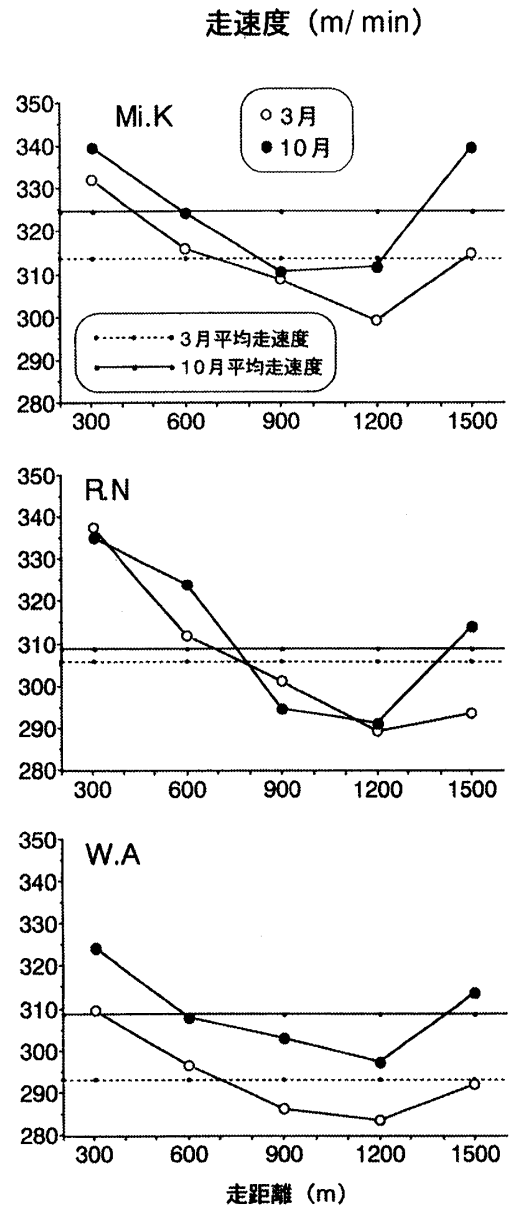


図7. 1500m走レースにおける走速度の変化 (個人でみた場合)

段階ペース走における乳酸カーブと、3000m走、1500m走レースにおける走速度の変化とを対比させて示した。

乳酸カーブの変化を個人でみると(図4、6)、3月と10月とも、1～2段階での乳酸カーブの変化は同じような傾向にあり、3段階目において、3月では顕著な上昇カーブがみられたが(血中乳酸値の増加：1.1～4.1mM/L)、10月では全体的に急激な上昇カーブがみられず血中乳酸値の増加：0.1～2.0mM/L)、上昇幅が小さくなっていた。しかし、個人ではM. Kについては逆の傾向があった(3月：1.9mM/Lの増加～10月：4.6mM/Lの増加)。

このような乳酸カーブと、実際のレースにおける走速度の変化とを比較してみると、3000mレース(図5)の場合では、2～3段階目に顕著な乳酸カーブの上昇がみられなかった者(H. O：0.1～0.9mM/L、M. M：0.0～2.3mM/L)では走速度(レースペース)の変化が少なく、乳酸カーブが急激に上昇している者(Y. K：0.5～4.1mM/L、M. K：1.9～4.6mM/L)はレースペースの変化が大きい傾向にあった。

レース速度の変化は、レース当日のコンディション(体調や気象条件など)やレース展開など様々な要因が影響するものと考えられる^{1) 5)}。また、個人の心理的なペース再生能力も大きく関与していると思われる。⁹⁾しかし、特に3000mで、全体的に記録の良かった10月では、3段階ペース走の3段階目に顕著な乳酸カーブの上昇が見られない傾向にあったことから(図4、5)、乳酸カーブの傾きが大きい、つまり3段階目に顕著な血中乳酸値の上昇が見られる選手は、レースにおける走速度の変化が大きく、またレース後半での走速度の低下が大きいという特徴のあることが認められたと考えられる。

まとめ

本研究では、本学中長距離選手を対象者として、トレーニング手段の一つであるペース走における血中乳酸値や主観的運動強度(RPE)を測定し、3月か

ら10月にかけての中長距離トレーニングの効果を評価したり、血中乳酸値の変化と実際の試合での走速度の変化との関係などについて検討した。

3月の測定時と比較して10月の測定時では、2～4mM/Lの血中乳酸値での走速度が改善される傾向にあり、また、3段階ペース走の各段階におけるRPEが低下する、等といったトレーニング効果が認められた。さらに、10月の測定時の競技会でも、3月上回る記録が対象者7名中5名に認められた。これらの結果は、3月から10月の中長距離走トレーニングの成果の一つを示すものと考えられる。したがって、各種ペース走における血中乳酸値の測定およびRPEの聴取は、選手のコンディションを把握することに有用であるといえる。さらに、指導者は、血中乳酸値やRPEを1つの基準として、選手至適トレーニング強度を設定することができると考えられる。

また、3段階ペース走における各段階の血中乳酸値の変化(乳酸カーブ)とレースにおける走速度の変化を対比させてみると、乳酸カーブの上昇の少ないタイプの選手はレースにおける走速度の変化が小さく、乳酸カーブが急激に上昇するタイプの選手はレースにおける走速度の変化が大きい、つまりレース後半の走速度の低下が大きいという特徴が認められた。これらのことは、実際のレースにおけるペース配分を考える際には、乳酸カーブの特徴を考慮することが必要になる可能性を示唆するものである。

文献 (References)

- 1) 有吉正博(1987)：長距離・マラソン・駅伝、成美堂、東京、124-138.
- 2) Bishop, P. and Martino, M. (1993)：Blood lactate in recovery as an adjunct to training, *Sports Med.*, 16, 5-13.
- 3) Borg, G.(1973)：Perceived exertion：a note on “history” and method. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 5, 90-93.
- 4) 大後栄治・植田三夫・石井哲次・上条清美・富岡 徹・弘 卓三(1996)：箱根駅伝参加選

- 手のLTを基にしたトレーニング計画、日本体育学会第47回大会号、334.
- 5) 永井 純(1989)：中・長距離・障害、ベースボールマガジン社：東京、9-10.
 - 6) 中垣内真樹・熊谷もりえ・鍋倉賢治・佐伯徹郎・三本木温・田中喜代次(1996)：全身持久性体力の評価法としての主観的運動強度を用いた最大下12分間走テストの提案、体育学研究、41、173-180.
 - 7) Purvis, J. W. and Cureton, K. J.(1981)：Ratings of perceived exertion at the anaerobic threshold, *Ergonomics*, 24, 295-300.
 - 8) Sjodin, B., Jacobs, I. and Svedenhag, J.(1982)：Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49, 45-47.
 - 9) 高井和夫(1996)：長距離走者のペース再生における認知的方略、体育学研究、41、104-114.
 - 10) Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K., Kumagai, S., Sun-O, S. and Asano, K.(1984)：A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance running performance, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16, 278-282
 - 11) 山口俊夫(1987)：血中乳酸濃度を基準にした持久トレーニング方法の研究(1), 東京女子体育大学紀要、23、76-80.
 - 12) 吉田敬義・山口敏夫・千田守・市岡正彦・巻口宏平(1988)：女子陸上競技長距離選手の持久力トレーニング負荷としての4 mM乳酸レベル設定の妥当性、*デサントスポーツ科学*、9、225-234.
 - 13) 吉田敬義(1993)：運動の指標としてのAT, LT, OBLAの持つ意味、*体力科学*、42、406-414.