

【原著論文】

大学駅伝ランナーにおける 10,000 m 走及びハーフマラソンレース時の血中乳酸濃度に関する検討

黄 仁官¹⁾, 上田 大²⁾, 別府健至³⁾, 石井隆士⁴⁾, 水野増彦⁴⁾, 山田 保⁵⁾

¹⁾ 大学院トレーニング科学系, ²⁾ 文教大学女子短期大学部, ³⁾ スポーツ局,

⁴⁾ 運動方法 (陸上競技研究室), ⁵⁾ 運動処方研究室

An investigation into blood lactate concentration in 10,000 m running and half marathon races of collegiate Ekiden runners

Inkwon HWANG, Dai UEDA, Kenji BEPPU, Takashi ISHII,
Masuhiko MIZUNO, Tamotsu YAMADA

Abstract: The purposes of the present study were to analyze the lap time and race record in actual 10,000 m run and half marathon races and blood lactate concentration (BLC) immediately after the races aimed at eight collegiate long distance runners participated in Hakone-ekiden Race in the year of 2009, and to investigate appropriate level of BLC in condition of more high-speed race in long distance runners.

The obtained results were summarized as follows:

1. Average record of the race in 10,000 m run of all subjects was 29:32±24.

2. As to the BLC immediately after the race of 10,000 m run and the race record, the average of BLC immediately after the race of all subjects was 11.11±1.61 mmol/L. The race record in the runner who showed the lowest BLC; 8.41 mmol/L was 30:24. The race record in the runner who indicated the highest BLC; 13.14 mmol/L was 29:07. The difference of BLC immediately after the race was 4.73 mmol/L with the difference of the race record at 1:17.

3. Average record of the half marathon race in all subjects was 1:04:36±01:16.

4. As to the BLC immediately after the race of 10,000 m run and the race record, the average of BLC immediately after the race of all subjects was 9.07±1.21 mmol/L. The race record in the runner who showed the lowest BLC; 7.57 mmol/L was 1:07:12. The race record in the runner who indicated the highest BLC; 11.26 mmol/L was 1:02:46. The difference of BLC immediately after the race was 3.69 mmol/L with the difference of the race record at 4:26.

5. As for the relationship between the race records and the BLC immediately after the races, significantly negative relationships were indicated between the BLC immediately after the race and the race records of 10,000 m run ($r=0.878$, $p<0.01$) and half marathon ($r=0.857$, $p<0.01$), respectively.

In conclusion, it was suggested that the improvement of high BLC-resistant ability to maintain high speed with high BLC (over 9 mmol/L) would be demanded for even long distance runners with high competitive level (especially, runners who have a specialty of 10,000 m run and Ekiden races).

(Received: May 1, 2009 Accepted: August 5, 2009)

Key words: collegiate Ekiden runner, blood lactate concentration, race of 10,000 m run, race of half marathon
キーワード: 大学駅伝ランナー, 血中乳酸濃度, 10,000 m 走レース, ハーフマラソンレース

1. はじめに

陸上長距離選手の競技パフォーマンスに關与する指標としては、骨格筋内の酸化能力、血液の生化学的分析、最大下および最大運動時における酸素摂取量や心拍数、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) など実に数多くのものが用いられている¹⁸⁾。ただし、最大酸素摂取能力が

高いことが必ずしも長距離走における疾走能力の改善につながらないという現象が生じることが特に競技レベルの高い選手において指摘されている^{3,7,22)}。よって最近では、同レベルの最大酸素摂取能力を有するランナーであっても、10,000 m 走の記録において何分もの差が生じる場合も少なくないという報告がみられるよ

うになった^{3,22)}。このようなことから近年では、運動時の血中乳酸濃度の測定による乳酸性閾値 (LT: Lactate Threshold)⁸⁾ や、呼気ガスの分析による換気性閾値 (VT: Ventilation Threshold)¹⁰⁾ などの無酸素性作業閾値 (AT: Anaerobic Threshold)¹⁹⁾ から競技成績の推定や運動強度の設定などを行っている研究も多数みられる^{4,12,15,23)}。また、LT と OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation)¹⁶⁾ は、長距離ランナーの競技能力と関連性の高いことが示唆されている^{16,21)}。しかしその一方で、一流ランナーにおいては LT や OBLA などの指標が適切ではないとし、すべてのランナーに適合するものではないとする研究報告もみられる^{3,7,9)}。

大後³⁾らは、駅伝ランナーを対象に血中乳酸濃度が運動開始から維持していた定常状態から最初に上昇し始める点を LT-1、その後再度急激に上昇する点を LT-2 として 2 つのポイントを求めた。そのポイントを利用して 1 年間のトレーニングを行った結果、年間の走行距離が増加し、LT-1 ポイントの平均走行スピードは前年度の 83.2 秒/400 m に比べて当年度は 77.1 秒/400 m と大幅に向上したと報告し、箱根駅伝に出場できるレベルの長距離ランナーにおける耐乳酸性能力の向上と競技力向上のためには、LT-1 付近のスピードでの走行トレーニング実施が重要であるとしている³⁾。また、石井⁷⁾らは、競技能力の異なる大学男子長距離選手 107 名を対象に最大酸素摂取量と漸増負荷運動中の血中乳酸濃度を測定し、競技記録と最大酸素摂取量、LT、OBLA、および乳酸分析ソフトウェアによる三線法から LLTP (Low Lactate Training Point) と HLTP (High Lactate Training Point) を分析した。その結果、競技記録と最大酸素摂取量の間では相関が認められなかった一方で、競技記録と LT、OBLA、LLTP、HLTP のいずれにも相関関係が認められたとし、さらに、HLTP (乳酸濃度 6 mmol/L) は 5,000 m レーススピードとほ

ぼ一致しており、競技能力の高い選手に対しては OBLA より HLTP の方がレーススピードでのトレーニングの指標として適切であるとしている⁷⁾。

上記のいずれの研究報告^{3,7)}でも測定条件をみると、フィールド走行テスト (400 m トラックを用い 1 セットの走行距離を 800 m とし、走行タイムの短縮による漸増負荷運動)を用いたモデリングであり、走行スピードと血中乳酸濃度の算出には妥当性があると思われる。しかしながら、10,000 m やハーフマラソン (21,097 km) などの実際の競技場面での血中乳酸濃度の測定値から競技記録と乳酸値との関連性を検討した研究報告は殆ど見当たらない。

そこで本研究では、陸上長距離を専門とする大学駅伝ランナーの内、2009 年箱根駅伝に出場した 8 名を対象に 2008 年度に開催された 10,000 m 走の競技レースやハーフマラソンレースに出場した際のラップタイムや競技記録と、競技直後の血中乳酸濃度との関係进行分析し、長距離ランナーのより高い競技力の向上に必要な乳酸濃度レベルについて検討することを目的とした。

2. 方 法

A. 被検者

被検者は、N 大学の陸上競技部に所属し、駅伝競技を専門とする男子長距離ランナーの内、第 85 回東京箱根間往復大学駅伝競走大会 (箱根駅伝、2009 年) に出場した 8 名のランナーを対象とした。なお、被検者には、事前に実験・測定に関する説明会を開催し、本研究の主旨や危険性などについて詳細に説明を行い、同意を得てから測定に参加させた。また本研究は、日本体育大学におけるヒトを対象にした実験・測定に関する倫理委員会の承認を得て実施したものである (承認番号: 第 008-G01 号)。

Table 1. Physical characteristics and best race time of subjects

Subjects	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Best race time (5,000m)	Best race time (10,000m)
A	20	173.0	55.0	13'29"	29'08"
B	20	176.0	64.0	14'13"	29'07"
C	21	170.0	56.0	14'28"	29'31"
D	21	170.0	57.0	14'36"	30'25"
E	22	182.0	63.0	14'10"	30'08"
F	20	173.0	53.0	14'27"	29'35"
G	22	174.0	56.0	14'14"	29'15"
H	22	165.0	53.0	14'20"	29'22"
Mean	21.0	172.9	57.1	14'18"	29'32"
S.D.	0.9	5.0	4.2	0'11"	0'29"

Each value represents mean \pm S.D.

被検者の身体的特徴についてみると、年齢は 21.0±0.9 歳、身長は 172.9±5.0 cm、体重は 57.1±4.2 kg であり、実際の競技会におけるベストタイムの平均については、5,000 m 走が 14 分 18 秒±11 秒、10,000 m 走は 29 分 32 秒±29 秒であった (Table 1)。

B. レースタイムの計測および血中乳酸測定

血中乳酸測定には、正式な競技レース直後の採血が必要であった。10,000 m 走は 2008 年 9 月 27 日に行われた第 197 回日本体育大学長距離競技会にて被検者のレースタイムとレース時の 1,000 m 毎のラップタイムを計測した。ハーフマラソンについては、2008 年 8 月 24 日に開催された第 27 回ノサップ岬マラソン大会にて各被検者の 5 km 毎のラップタイムとレースタイムを計測し、それぞれ得られたラップタイムからレーススピード (sec/400 m) を求めた。血中乳酸濃度の分析に必要な採血に関しては、両大会ともにレース終了直後 (1 分以内) 直ちに指先より採血を行った。なお、大会での血中乳酸測定に関しては、事前に大会の主催本部に承認を得た上で実施した。

指先から得られた血液は採血キャピラリー (20 μ) で採集し直ちにサンプル容器に投入し、分析を行うまで冷蔵保存した。採集されたサンプルは当日、乳酸及び血糖測定装置である BIOSEN C-line (EKF-diagnostic 社製) を用いて 3 回の計測を実施し、その平均値を血中乳酸濃度とした。

C. 統計処理

結果のすべては、平均値±標準偏差で示し、有意差検定には Student の t 検定、各レースのラップタイム、

レースタイムと血中乳酸濃度との関係については、ピアソンの相関関係を用いていずれも危険率 5% 未満 (p<0.05) を有意とした。

3. 結 果

Table 2 は、各ランナーの 10,000 m 走レース時の競技記録とランニングスピード (sec/400 m) およびレース前後の血中乳酸濃度を示したものである。

全被検者の 10,000 m 走におけるレースの平均記録は、29 分 32 秒±24 秒であった。また、レース時のランニングタイムについてみると、前半 5,000 m の平均タイムは 69.75±1.15 秒/400 m、後半の 5,000 m は 71.75±1.98 秒/400 m であり、前半に比べて後半のランニングタイムが 2 秒/400 m の有意な変化を示した (p<0.05)。5,000 m 換算にすると約 25 秒程度、後半のランニングタイムが遅い傾向を示したが、統計的に有意な差は認められなかった。以上の 10,000 m 走競技レース直後の血中乳酸濃度とレース記録についてみると、最も低い乳酸値を示した選手が 8.41 mmol/L でレース記録が 30 分 24 秒、最も高い乳酸値を示した選手で 13.14 mmol/L、レース記録は 29 分 7 秒を示し、レース記録の差は 1 分 17 秒でレース直後の血中乳酸濃度の差は 4.73 mmol/L であった。なお、全被検者の平均は 11.11±1.61 mmol/L であった。

Table 3 は、各ランナーのハーフマラソンレース時の競技記録と 5 km 毎のランニングタイム (秒/400 m) およびレース直後の血中乳酸濃度を示したものである。

全被検者におけるレースの平均記録は、1 時間 4 分 36 秒±1 分 16 秒であった。競技レース時のランニングタイムについてみると、スタートから 5 km までの平

Table 2. Date of blood lactate concentration and race running speed (sec/400 m) at 10,000 m race

Subjects	Race time (10,000m)	To 5,000m from the start	To the finish from 5,001m	Blood lactate concentration (mmol/L)	Blood lactate concentration (mmol/L)
		(sec/400m)	(sec/400m)	Rest condition	Immediately after the race
A	29'08"	68"	71"	1.63	12.69
B	29'07"	69"	70"	1.93	13.14
C	29'31"	70"	71"	1.23	10.87
D	29'25"	72"	73"	1.14	12.48
E	30'24"	69"	76"	1.87	8.41
F	29'47"	70"	72"	1.54	9.75
G	29'38"	70"	71"	1.65	10.53
H	29'22"	70"	70"	0.96	11.02
Mean	29'32"	69"75	71"75*	1.49	11.11
S.D.	0'24"	1"15	1"98	0.35	1.61

Each value represents mean ± S.D. (*: p<0.05 vs to 5,000 m from the start)

Table 3. Date of blood lactate concentration and race running speed (sec/400 m) at half marathon race

Subjects	Race time (20km)	To 5km	To 10km	To 15km	To the finish	Blood lactate	Blood lactate
		from the start (sec/400m)	from 6km (sec/400m)	from 11km (sec/400m)	from 16km (sec/400m)	Concentration (mmol/L) Rest condition	Concentration (mmol/L) Immediately after the race
A	1:04'29"	74"	73"	72"	73"	1.17	8.28
B	1:02'46"	71"	71"	70"	71"	1.94	11.26
C	1:07'12"	73"	76"	76"	78"	0.94	7.57
D	1:03'48"	71"	71"	71"	74"	1.43	10.11
E	1:04'53"	71"	73"	73"	76"	1.88	8.07
F	1:04'04"	71"	72"	73"	73"	1.19	9.62
G	1:04'29"	71"	72"	73"	74"	1.71	8.88
H	1:05'09"	71"	73"	74"	76"	1.05	8.74
Mean	1:04'36"	71"63	72"63	72"75	74"37**	1.41	9.07
S.D.	0:01'16"	1"19	1"60	1"83	2"20	0.39	1.21

Each value represents mean ± S.D. (**: p<0.01 vs to 5 km from the start)

均ランニングタイムは 71.63±1.19 秒/400 m, 6 km から 10 km までの平均ランニングタイムは 72.63±1.60 秒/400 m, 11 km から 15 km は 72.75±1.83 秒/400 m, 16 km から 20 km までの 5 km の平均ランニングタイムは 74.37±2.20 秒/400 m であり, 平均ランニングタイムは最初の 5 km から 15 km までの 5 km 毎の平均ランニングタイムは 1 秒/400 m と有意なタイムの変化は認められなかったが, 最後の 5 km は最初の 5 km に比べてランニングタイムが 3 秒/400 m と有意な変化を示した (p<0.01)。ハーフマラソン競技レース直後における血中乳酸濃度とレース記録についてみると, 最も低い乳酸値を示した選手が 7.57 mmol/L でレース記録が 1 時間 7 分 12 秒, 最も高い乳酸値を示した選手で 11.26 mmol/L, レース記録は 1 時間 2 分 46

秒を示し, レース記録の差は 4 分 26 秒で, レース直後の血中乳酸濃度の差は 3.69 mmol/L であった。なお, 全被検者の平均は 9.07±1.21 mmol/L であった。

Figure 1 は, 10,000 m 走競技レース直後とハーフマラソン競技レース直後における血中乳酸濃度を示したものである。

両競技レース直後の血中乳酸濃度についてみると, 10,000 m 走競技レース直後の平均血中乳酸濃度は 11.11±1.61 mmol/L に対して, ハーフマラソン競技レース直後の血中乳酸濃度は 9.07±1.21 mmol/L と, 10,000 m 走競技レースがハーフマラソン競技レースに比べて有意に高い血中乳酸濃度を示した (p<0.05)。

Figure 2 は, 各ランナーの 10,000 m 走およびハーフマラソン競技レース記録とレース直後の血中乳酸濃度

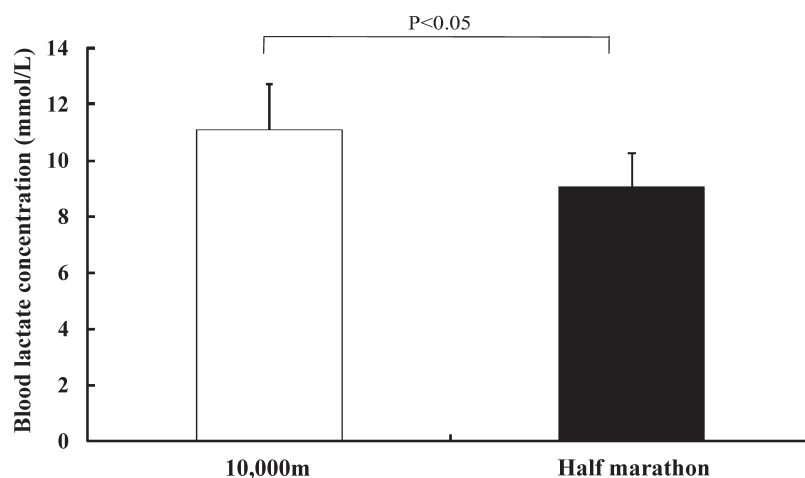


Fig. 1. Blood lactate concentration immediately after 10,000 m race and half marathon race. Values are mean ± S.D.

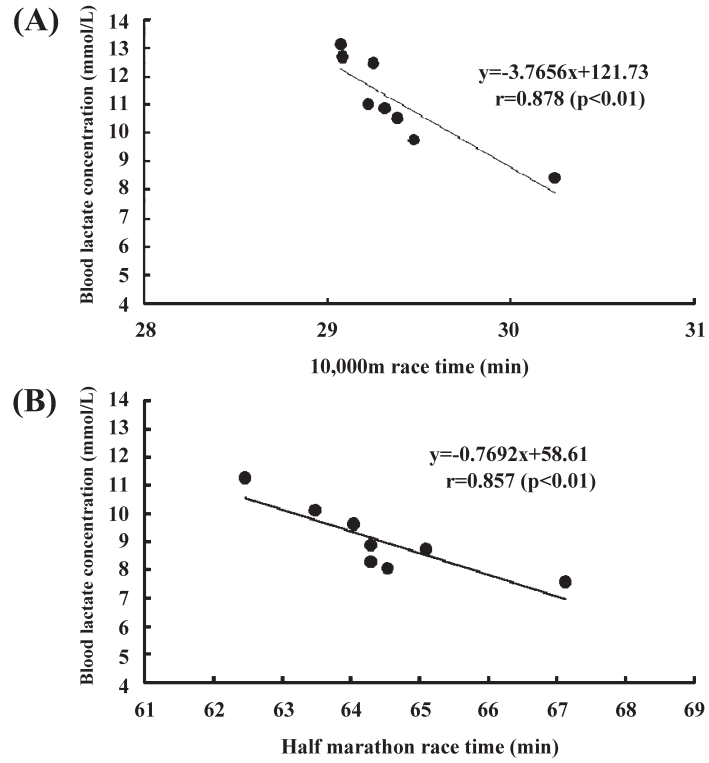


Fig. 2. Relationship between 10,000 m (A), half marathon (B) race time and blood lactate concentration.

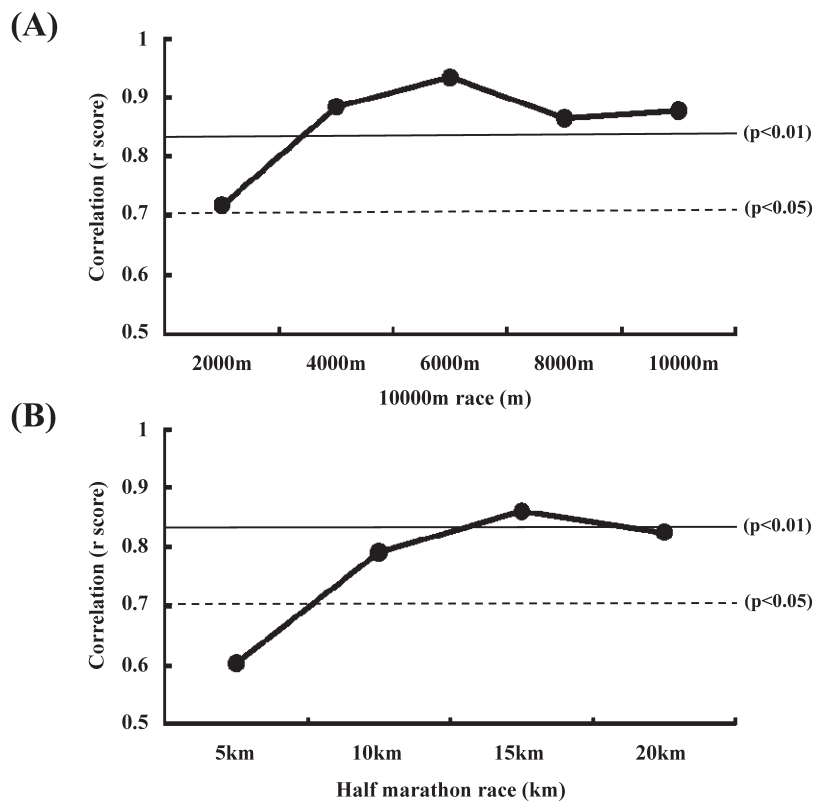


Fig. 3. Change of r score in correlation coefficient between the race time of each point in 10,000 m running race (A) and half marathon race (B) and blood lactate concentration immediately after each race.
 $r \geq 0.707$ ($p < 0.05$), $r \geq 0.834$ ($p < 0.01$)

との相関関係を示したものである。

競技レース記録とレース直後の血中乳酸濃度との関係についてみると、10,000 m 走 ($r=0.878$, $p<0.01$) およびハーフマラソン競技レース ($r=0.857$, $p<0.01$) とともに、レース直後の血中乳酸濃度との間に有意な負の相関関係が認められた。

Figure 3 は、各ランナーの 10,000 m 走とハーフマラソンレース時における各ポイント (10,000 m 走: 2,000 m 毎, ハーフマラソン: 5 km 毎) のレースタイムとレース直後の血中乳酸濃度との相関係数の r 値の推移を示したものである。

10,000 m 走レースでは、いずれのポイントにおいても有意な負の相関関係が認められ (2,000 m: $r=0.718$ [$p<0.05$], 4,000 m: $r=0.885$ [$p<0.01$], 6,000 m: $r=0.935$ [$p<0.01$], 8,000 m: $r=0.866$ [$p<0.01$], 10,000 m: $r=0.878$ [$p<0.01$]), 中でも 6,000 m 時点が最も相関係数の r 値が高いという結果が得られた (Fig. 3A)。また、ハーフマラソンレースにおいても 5 km ($r=0.603$, N.S) 時点を除く、10 km ($r=0.792$, $p<0.05$) 時点, 15 km ($r=0.861$, $p<0.01$) 時点, 20 km ($r=0.825$, $p<0.05$) 時点のいずれにおいても有意な負の相関関係が認められ、中でも 15 km 時点が最も相関係数の r 値が高いという結果が得られた (Fig. 3B)。

4. 考 察

本研究は、一流大学長距離ランナー (10,000 m 走のベストタイムが 29 分台) 8 名を対象に実際の競技レース (10,000 m 走, ハーフマラソン) 時のレース記録やそのレースでのランニングタイム (sec/400 m) と、それぞれのレース終了直後の血中乳酸濃度を調べ、長距離ランナーにおいてよりハイスピードレースに適した乳酸濃度レベルは、どの程度のものなのかについて検討することを目的としたものである。

一般に高強度運動では、乳酸が血中や筋中に蓄積され、血液 pH の低下、グリコーゲン分解が抑制されるなどのことによって、その強度では運動を続けられないとされている¹⁾。また、これまでの研究報告では、同じ運動強度に対して血中乳酸濃度の低い者ほど持久力が優れているとし、長時間の運動を持続できる最大の運動強度は、血中乳酸濃度が 2~4 mmol/L 程度であり、乳酸が血中に蓄積され始める強度である LT よりも少々高い強度であるとしている^{6,14)}。

一方、乳酸は骨格筋が無酸素状態で収縮される際において産生され、筋肉や血液中に蓄積し、運動後は肝臓に運ばれて糖に戻されるという理論について批判的な報告もみられており^{1,13)}、中でも放射性同位元素を用いたトレーサーの実験結果では、乳酸は必ずしも酸素不足によって産生されるのではなく、解糖系によ

て産生されたピルビン酸が TCA 回路で酸化されるか、乳酸となるかが主要な代謝経路であるとしている¹²⁾。また、運動時には解糖系が活性化されることによって、それに見合った量のミトコンドリアでの酸化が行われないと、多くなったピルビン酸が乳酸産生への原因となると報告されている²⁰⁾。さらに、ミトコンドリア膜は NADH を通さず、ミトコンドリアの酸化還元により細胞質で乳酸を産生し、NAD を作り出すことが望ましいとし、乳酸が産生されるべき役割もあるとされている^{1,20)}。Spence ら¹⁷⁾によると、肝臓でのグルコースからのグリコーゲンの合成の際には、一度ピルビン酸や乳酸を経てから合成されると報告している。これらの研究報告から考えると、乳酸は単なる無酸素的エネルギー供給による代謝産物にすぎないとは言いきれず、乳酸の産生が代謝調節に関わりがあることについても考慮するべきであると思われる。

近年の研究報告^{5,11,14)}では、乳酸が生じることで疲労の原因の一つとされるカリウムが筋から漏れ出すことによる筋収縮の低下を抑え、最終的に疲労を抑えられる側面があることについても確認されている。また八田⁹⁾によれば、乳酸が生じるということは糖が利用されたことによるものであり、運動時のエネルギー供給が大変な状況に陥ると、利用に手間のかかる脂肪の利用が減少し、利用しやすい糖の利用が優先されるとして、乳酸ができるということは、使いやすい糖を利用することにより運動時のエネルギー供給能力を高め、疲労を抑えようとするところであるとしている。さらに加藤ら¹¹⁾の研究報告では、マウスに対して運動前にグルコースを摂取させれば、血中グルコース濃度の低下が抑制されることと同様に、乳酸摂取によっても血中グルコースの低下がみられたとし、乳酸を摂取すれば血中乳酸濃度が高まり、その乳酸が利用されるので糖の利用が抑制されて糖の保存に効果的であるとしている。

以上の研究報告^{5,11,14)}などから考えると、これまでの血中乳酸の高まりはイコール疲労の発生という解釈とは少々異なり、特に近年の長距離レースはハイスピードレースになっていることを考慮すると、長距離ランナーにおいて競技能力の高い選手の場合、血中乳酸濃度は必ずしも無酸素性エネルギー供給能を中心とした理論は合致しがたいものと思われる。

これまで血中乳酸レベルを指標の中心にすえて長距離ランナーの競技力向上を検討した研究は数多くみられる^{3,4,7,8,10,12,14,16,19,23)}。中でも Sjodin ら¹⁴⁾によると、OBLA は運動時の血中乳酸濃度が 4 mmol/L に達した時点をも“最大乳酸定常”とし、レース記録及び運動強度と関連性が高く、長距離ランナーの至適ランニングスピードであると報告している。また、Ivy ら⁸⁾は、自転車エル

ゴメーターを用いて最大酸素摂取量が 50 ml/kg/min 前後の被検者を対象に漸増負荷運動時の血中乳酸濃度の変動から LT を推測している。しかし、上記のようなこれまでの報告では、マラソンランナーを対象としているものの競技能力についてみると、被検者の平均記録が 3 時間 6 分前後のランナーを対象としていること¹⁴⁾や、最大酸素摂取量が一般人に比べて少々高い程度の被検者を対象としており⁸⁾、ランナーの競技成績と関連性が高いとしている殆どの研究報告は競技能力の低い選手を対象にして行っている傾向が見受けられる。

一方では、上記のような問題点を指摘し、運動能力や競技成績の低い選手から求められた OBLA または LT などは、競技能力の高い長距離ランナーには適合できるものではないとし、5,000 m のベストタイムが 15 分前後の比較的能力の高い選手を対象としている報告⁷⁾や箱根駅伝に参加した選手を対象としている研究報告もみられる³⁾。しかしながら、これらの報告^{3,7)}では競技能力の高い選手を対象としているものの、実験プロトコルについてみると、乳酸を用い競技レース時のランニングスピードに適したトレーニングポイントを検討していることから、フィールドテスト (800 m を 1 セットとし、走行タイムを短縮させる漸増負荷運動、セット間の休息は 1 分、10 ~ 12 セット実施)³⁾を用いており、この条件ではレーススピードと同等なスピード時の血中乳酸濃度を計測できることから血中乳酸のトレーニングポイントを調べられる利点もあると思われるが、実際の競技では 10,000 m 場合 30 分前後、ハーフマラソンは 1 時間前後、マラソンとなると 2 時間以上もハイスピードを持続しなければならないこととなる。よって、競技能力の優れた長距離ランナーにおける実際のレース場面での血中乳酸レベルを明確にできれば、トップレベル選手の競技力向上により効率の良い乳酸トレーニングポイントを提案できるものと考えられる。

本研究の結果についてみると、10,000 m 走レース直後の血中乳酸濃度は全体の平均が 11.11±1.61 mmol/L、最も低かったランナーが 8.41 mmol/L で最も高かったランナーは 13.14 mmol/L であり、ハーフマラソン直後の血中乳酸濃度では、平均値が 9.07±1.21 mmol/L、最も低かったランナーが 7.57 mmol/L で最も高かったランナーは 11.26 mmol/L であった。また、上記の血中乳酸濃度を示した際のランニングタイムについてみると、10,000 m 走レースでは平均 69 秒から 71 秒/400 m のペースであり、ハーフマラソンレースにおいては平均 71 秒から 74 秒/400 m のペースであった。この結果は、男子大学長距離選手を対象に最大酸素摂取量と漸増負荷運動中の血中乳酸濃度を測定し、乳酸分析

ソフトウェアによる三線法から LLTP (Low Lactate Training Point) と HLTP (High Lactate Training Point) の分析した結果、HLTP (乳酸濃度 6 mmol/L) は 5,000 m レーススピードとほぼ一致し、競技能力の高い選手に対しては OBLA より HLTP の方がレーススピードトレーニングの指標として適切であるとしている石井ら⁷⁾の研究結果を支持するものである。しかしながら一方で、実際の 10,000 m 走レース直後では石井ら⁷⁾が提案している HLTP (乳酸濃度 6 mmol/L) を 5 mmol/L 以上、ハーフマラソンレース直後では、3 mmol/L 以上も高い血中乳酸濃度を示し、この時のランニングタイムについても 10,000 m 走レース結果からすると、石井ら⁷⁾の 73 秒/400 m ペースに比べて 69 秒から 71 秒/400 m ペースとより速いペースを示した。

なお、本研究において 10,000 m 走レース時の血中乳酸濃度がハーフマラソンレース時より有意に高かったことについては、明確にその要因を示すことはできないが、10,000 m 走のレーススピードがハーフマラソンのレーススピードに比べて平均 2 秒/400 m 程速かったことが要因ではないかと推測される。

本研究での実際の競技レースの記録とレース直後の血中乳酸濃度との間に有意な負の相関関係が認められ、さらに、10,000 m 走レース時における 2,000 m 毎のランニングタイム及びハーフマラソンレース時の 5 km 毎のランニングタイムと、各レース直後の血中乳酸濃度との関係においてハーフマラソンの 5 km 時点を除く、全てのレースポイントのランニングタイムとレース直後の血中乳酸濃度との間に有意な負の相関関係が認められ、中でも 10,000 m 走レースでは 6,000 m 時点で、ハーフマラソンレースでは 15 km 時点で最も高い負の相関関係が得られた。これらの結果は、先行研究で評価されているフィールド走行テスト (800 m 走時の走行スピードと血中乳酸濃度との関係) のみならず、実際のレース時におけるラップタイム (本研究では 200 m 毎および 5 km 毎) や、レース直後の血中乳酸濃度を用いても、各選手におけるパフォーマンスを評価出来る可能性が示唆された。また、レース中におけるラップタイムとレース直後の血中乳酸濃度との間に高い相関関係がみられた一因として、少なからず両レースにおいて距離の差はあるものの、レースの中盤から終盤ではスピードの減退が大きく起こらずある程度のスピードが維持されていたため、そのことがレース直後の血中乳酸濃度に反映されたものと考えられる。従って、レース終了時点に限らず、レース中盤から終盤においても血中乳酸濃度のレベルは、レース直後のレベルと類似する可能性が窺える。このような上記の結果は、八田ら⁵⁾や加藤¹¹⁾および Nielsen ら¹⁴⁾の研究の理論を支持するものであり、長距離ランナーで

あっても運動能力や競技能力の優れたランナーであればある程、乳酸をエネルギーとして利用する能力が高いのではないかと考えられ、結果として 10,000 m 走やハーフマラソンレース記録とレース直後の血中乳酸濃度の間に相関関係が認められたものと推察される。

以上の本研究の結果は、これまで報告されてきた競技レベルの低い選手や一般人を対象にした研究結果や、有酸素性運動時の血中乳酸濃度への基本的な理論を批判するものではない。それらはいくまで一般論としては尊重しながらも現在の陸上長距離界を世界的にみた場合、よりハイスピードにレースが展開されていることについては疑う余地もなく、競技力向上を目指す長距離ランナーの中でもトップランナーであればあるほど、血中乳酸レベルを高い状態で維持しながら高スピードを保つ能力を向上させるトレーニング方法をより積極的に導入する必要があるのではないかと考察される。

5. ま と め

本研究は、陸上長距離を専門とする大学駅伝ランナーの内、2009 年箱根駅伝に出場した 8 名を対象に 2008 年度に開催された実際の 10,000 m 走およびハーフマラソンレースに出場した際のラップタイムやレース記録と、競技直後の血中乳酸濃度を分析し、長距離ランナーにおいてよりハイスピードレースに適した乳酸濃度レベルはどの程度のものなのかについて検討することを目的とした。

得られた主な結果は、以下の通りである。

1. 全被検者の 10,000 m 走におけるレースの平均記録は、 29.32 ± 24 秒であり、レース時のランニングタイムについてみると、前半 5,000 m の平均タイムは 69.75 ± 1.15 秒/400 m、後半の 5,000 m は 71.75 ± 1.98 秒/400 m であり、前半に比べて後半のランニングタイムが 2 秒/400 m と有意な変化が認められた ($p < 0.05$)。
2. 10,000 m 走競技レース直後の血中乳酸濃度とレース記録についてみると、全被検者のレース直後の血中乳酸濃度の平均は 11.11 ± 1.61 mmol/L であり、最も低い乳酸値を示した選手が 8.41 mmol/L でレース記録が 30 分 24 秒、最も高い乳酸値を示した選手で 13.14 mmol/L、レース記録は 29 分 7 秒を示し、レース記録の差は 1 分 17 秒でレース直後の血中乳酸濃度の差は 4.73 mmol/L であった。
3. 全被検者におけるハーフマラソンレースの平均記録は、1 時間 4 分 36 秒 \pm 1 分 16 秒であり、レース時のランニングタイムについてみると、スタートから 5 km までの平均ランニングタイムは 71.63 \pm 1.9 秒/400 m、6 km から 10 km は 72.63 ± 1.60 秒/

400 m、11 km から 15 km は 72.75 ± 1.83 秒/400 m、16 km から 20 km までの 5 km は 74.37 ± 2.20 秒/400 m 示し、最初の 5 km に比べて最後の 5 km において有意なタイムの変化が認められた ($p < 0.01$)。

4. ハーフマラソン競技レース直後における血中乳酸濃度とレース記録についてみると、レース直後の血中乳酸濃度の平均は 9.07 ± 1.21 mmol/L であり、最も低い乳酸値を示した選手が 7.57 mmol/L でレース記録が 1 時間 7 分 12 秒、最も高い乳酸値を示した選手で 11.26 mmol/L、レース記録は 1 時間 2 分 46 秒を示し、レース記録の差は 4 分 26 秒で、レース直後の血中乳酸濃度の差は 3.69 mmol/L であった。
5. 両競技レース直後の血中乳酸濃度の比較では、10,000 m 走競技レース直後の平均血中乳酸濃度は 11.11 ± 1.61 mmol/L に対して、ハーフマラソン競技レース直後の血中乳酸濃度は 9.07 ± 1.21 mmol/L と、10,000 m 走競技レースがハーフマラソン競技レースに比べて有意に高い血中乳酸濃度を示した ($p < 0.01$)。
6. レース記録とレース直後の血中乳酸濃度との相関関係についてみると、10,000 m 走競技レース ($r = 0.878$, $p < 0.01$) およびハーフマラソン競技レース ($r = 0.857$, $p < 0.01$) のいずれにおいても、競技レース記録とレース直後の血中乳酸濃度との間に有意な負の相関関係が認められた。
7. 各ランナーの 10,000 m 走とハーフマラソンレース時における各ポイント (10,000 m 走 : 2,000 m 毎, ハーフマラソン : 5 km 毎) のレースタイムとレース直後の血中乳酸濃度との関係では、10,000 m 走レースでは、いずれのポイントにおいても有意な負の相関関係が認められ、中でも 6,000 m 時点が最も相関係数の r 値が高いという結果が得られた ($r = 0.861$, $p < 0.01$)。また、ハーフマラソンレースにおいても 5 km 時点を除く、いずれのポイントにおいても有意な負の相関関係が得られ、特に 15 km 時点が最も相関係数の r 値が高いという結果が得られた ($r = 0.935$, $p < 0.01$)。

以上の結果から、長距離ランナーにおいても競技能力の優れた選手 (特に 10,000 m 走や駅伝を専門とするランナー) の場合、競技力をより向上させるためには血中乳酸レベルが高い状態 (9 mmol/L 以上) でハイスピードを維持できる能力の向上が要求されるものと示唆された。

謝辞 本研究を進める上で多大なるご協力を賜りました日本体育大学陸上競技部 (駅伝ブロック) の部員の

皆様、並びに同大学の大学院トレーニング科学系博士前期課程の菊池直樹氏と土屋陽祐氏に心より感謝申し上げます。

(この論文の一部は、日本体育学会第60回記念大会にて発表したものである)

6. 文 献

- 1) Brooks, G. A.: Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med. Sic. Sports Exerc.*, 17, 22–31, 1985.
- 2) Connett, R. J., Gayeski, T. E. J. and Honig, C. R.: Energy sources in fully aerobic rest-work transitions: a new role for glycolysis. *Am. J. Physiol.*, 248, 922–929, 1985.
- 3) 大後栄治, 植田三夫, 石井哲次, 上條清美, 弘 卓三: LTを基にしたトレーニング計画の研究—神奈川県箱根駅伝参加選手の特徴—. *ランニング学研究*, 10(1), 5–42, 1999.
- 4) Halgberg, J. A. and Edwrd, F. C.: Physiological determinants of endurance erformance as studied in competitive racewalker. *Med. Sic. Sports Exerc.*, 15, 287–289, 1983.
- 5) 八田秀雄: 乳酸は疲労物質ではなく酸化基質. *体育の科学*, 59(3), 162–167, 2009.
- 6) Huck, H., Mader, A., Hess, G., Mucke, S., Muller, R. and Hollmann, W.: Justification of the 4-mmol:L lactate threshold. *Int. J. Sports Med.*, 6, 117–130, 1985.
- 7) 石井哲次, 弘 卓三, 大後栄治, 石濱慎司, 本間生夫: 競技記録とトレーニング強度の指標である Lactate Threshold (LT), Onset of Blood Lactate Accumulation (OBLA), Lactate Training Point (LTP) の関係について—三線法 (Three Line Method) による LTP の妥当性—. *運動スポーツの科学*, 6(1), 19–26, 2000.
- 8) Ivy, J. L., Withers, R. T., Van Handel, P. J., Elger, D. H. and Costill, D. L.: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, 48, 523–527, 1980.
- 9) James, A., Davis, P. V., Jack, H. W., Jennifer, V. and Peter, K.: Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.*, 41(4), 544–555, 1976.
- 10) Jones, N. L. and Ehrsam, R. E.: The anaerobic threshold. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 10, 49–83, 1982.
- 11) 加藤麻衣, 八田秀雄: 乳酸を摂取したら, どのような効果があるだろうか. 八田秀雄編著, 乳酸をどう活かすか. pp. 187–198, 杏林書院, 2008.
- 12) Kumagai, S., Kiyoji, T., Yoshiyuki, M., Akira, M., Kohji, H. and Katsumi, A.: Relationships of the anaerobic threshold with the 5 km, 10 km and 10 mile race. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49, 13–23, 1982.
- 13) McLane, J. A. and Holloszy, J. O.: Glycogen synthesis from lactate in the three types of keletal muscle. *J. Biol. Chem.*, 254, 6548–6553, 1979.
- 14) Nielsen, O. B., Paoli, F. and Overgaard, K.: Protective effects of lactic acid on force production in rat keletal muscle. *J. Physiol.*, 536(1), 161–166, 2001.
- 15) Sjodin, B. and Jacobs, I.: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sport Med.*, 2, 23–26, 1981.
- 16) Sjodin, B., Jacobs, I. and Svedenhag, J.: Changes in onset of blood lactate acumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49, 45–57, 1982.
- 17) Spence, J. T. and Koudelka, A. P.: Pathway of glycogen synthesis from glucose in hepatocytes maintained in primary culture. *J. Biol. Chem.*, 260, 1521–1526, 1985.
- 18) 田中喜代次, 三村寛一, 鈴木従道, 佐藤光子ほか: 長距離走成績に関与する乳酸性閾値および最大酸素摂取量—2種のエルゴメトリの比較—. *ランニング学研究*, 1, 31–38, 1990.
- 19) Wasserman, K., Brian, J. W., Sankar, N. K. and William, L. B.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchanges during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35(2), 236–243, 1973.
- 20) Wasserman, K., Beaver, W. L., Davis, J. A., Pu, J. Z., Heber, D. and Whipp, B. J.: Lactate, pyruvate, and lactate-to-pyruvate ratio during exercise and recovery. *J. Appl. Physiol.*, 59, 935–940, 1985.
- 21) Weltman, A., Snead, D., Seip, R., Schurrer, R., Levine, S., Reilly, T., Weltman, J. and Rogol, A.: Prediction of lactate threshold and fixed blood lactate concentration from 3200-m running performance in male runners. *Int. J. Sports Med.*, 8, 401–406, 1987.
- 22) 山地啓司: ランニングの経済性に影響をおよぼす要因. *日本運動生理学雑誌*, 4(2), 81–98, 1997.
- 23) Yoshida, T.: Relationship of lactate threshold and onset of blood lactate accumulation as determinant of endurance ability untrained females. *Annals Physiol. Anthropol.*, 5(4), 205–209, 1986.

<連絡先>

著者名: 黄 仁官

住 所: 東京都世田谷区深沢 7-1-1

所 属: 日本体育大学大学院トレーニング科学系研究室

E-mail アドレス: hwang@nittai.ac.jp