

球技系スポーツ選手のための血中乳酸カーブテスト法の 開発と持久的トレーニングへの応用

奈良教育大学 若吉 浩 二
(共同研究者) 同 福本 隆 行
同 尾関 美 和
同 田口 博 之

Development of Blood Lactate Curve Test and Application to Endurance Training for Ball Game Sports Player

by

Kohji Wakayoshi, Takayuki Fukumoto,
Miwa Ozeki, Hiroyuki Taguchi
Nara University of Education

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine lactate threshold (LT) from the change of blood lactate accumulation (BLa) during the improved multi stage shuttle run test and to clarify the relationship between LT and maximal lactate steady state (MaxLass) by using the constant load shuttle run test for 20 minutes for the soccer player. The subjects were ten male in the university soccer club. In the improved multi stage shuttle run test, LT was clearly decided from the change of BLa to the running speed. The running speed at the LT was significantly higher than that of MaxLass in the constant speed shuttle run test for 20 minutes ($p<0.001$) and they showed a significant correlation ($p<0.05$). BLa at LT in the improved multi stage shuttle run test was significantly lower than average BLa of the constant load shuttle run test at MaxLass. Moreover, Maximum BLa in the constant load shuttle run at LT was significantly higher than that in the constant load shuttle run at MaxLass. On the other hand, there was no significant difference between average HR at LT

and that at MaxLass in the constant load shuttle run test. It is thought that the improved multi stage shuttle run test for the determination of LT seems a very effective method for the coach and the player.

要 旨

本研究の目的は、球技系スポーツ選手に特化した Lactate threshold (LT) 決定テスト法を確立するため、サッカー選手を対象として、改良されたマルチシャトルランテスト中の BLa 動態から LT を決定することである。さらにその LT が最大乳酸定常 (MaxLass) となる運動強度を示しているかどうかを 20 分間の一定負荷シャトルランテストによって明らかにし、本テストの有用性とトレーニングへの応用について検討することである。被験者は大学生サッカー部に所属する男子 10 名であった。改良したマルチテストにおいて level を 2 つ経過するごとに BLa の測定を行った結果、全被験者において BLa の急激な上昇がみられ、LT の決定を行うことができた。求められた LT は、20 分間一定負荷シャトルランテストにおける MaxLass より有意な高値を示したが、それらには有意な相関関係がみられた。LT での BLa は、MaxLass での平均 BLa よりも有意な低値を示した。20 分間一定負荷シャトルランテスト時における LT および MaxLass での level において、最大 BLa は MaxLass に比べ LT において有意な高値を示した。一方、平均 HR では両群に有意な差は認められなかった。また通常マルチテストでの最大走速度と MaxLass となった走速度において 1% 水準で有意な相関関係が見られた。LT 決定のために使われた本テストは、トレーニングの現場において実践的で有効な方法であると思われた。

1. 緒 言

サッカー選手は、90 分間の試合で平均して

10,000m 前後移動している⁸⁾。従って、サッカー選手にとって有酸素性運動能力は欠くことのできない体力的要素であり、このことは、ラグビーやバスケットボールなど他の球技系スポーツ選手にとっても同様であると言える。これまで球技系スポーツ選手の有酸素的な運動能力は、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) を測定することによって、またフィールドにおいては 12 分間走やマルチステージフィットネステストなどで評価されてきた^{5,6,8)}。しかし近年、生理的応答の変換点である無酸素性作業閾値 (Anaerobic Threshold ; AT), 乳酸性作業閾値 (Lactate Threshold ; LT), 最大乳酸定常 (Maximal lactate steady state ; MaxLass) などの指標が注目されており、これらの指標は、 $\dot{V}O_{2max}$ よりも有酸素性運動能力との相関関係が大きいことが明らかにされている^{2,3,9,18,19,20)}。中でも LT は測定の簡便性から、現在様々なスポーツにおいて幅広く活用されている。

LT は、漸増負荷運動中の血中乳酸濃度 (BLa) 動態を捉えるテストにおいて、BLa が急激に上昇し始める運動強度として求められる^{1,9)}。Yoshida¹⁹⁾ 及び Yoshida ら²⁰⁾ は LT と持久性競技記録との間に高い相関関係があると報告し、有酸素性運動能力の評価における LT の重要性を示している。また、LT はトレーニング強度の設定やトレーニング効果の判定においても有効であると述べ、LT 測定の意義について明らかにしている。しかしながら、従来のフィールドにおける LT 測定は、一定方向への走運動 (トラック走) においてしか行われておらず、方向変換、速度の変化といった球技系スポーツの運動様式を考慮したものはみられない。よって、球技特有の動きを考慮し

たLT決定のためのテスト法の確立が望まれよう。

一方、 $\dot{V}O_{2max}$ 推定テストとしてのマルチステージ20mシャトルランテスト（以下マルチテスト）は、20m間を設定された信号音に合わせ、シャトルランを繰り返す漸増負荷テストであり、スタート、ストップ、ターンといった球技特有の運動様式が含まれている^{5,6,11)}。従って、マルチテストの方法を改良して、テスト中にBLa測定を実施すれば、球技特有の動きを取り入れたテストにおいてLTの測定ができ、球技系スポーツ選手のより実践的な有酸素性運動能力の評価を行うことができると考えられる。さらに、得られたLTをトレーニング強度の指標としたシャトルランをトレーニングに活用することで、球技系スポーツ選手に対して、より実践に近い運動様式での持久力向上を目的としたトレーニングが行えると考えられる。

そこで本研究は、球技系スポーツ選手に特化したLT決定テスト法を確立するため、サッカー選手を対象として、改良されたマルチテストにおいてBLa測定を実施し、LTを決定する。そして、そのLTがMaxLassとなる運動強度を示しているかどうかを20分間の一定負荷シャトルランテスト中のBLa動態より明らかにし、本テストの有用性とトレーニングへの応用について検討することを目的とする。

2. 研究方法

2. 1 被験者

被験者は、N大学サッカー部所属学生10名とした。各被験者の身体特性は表1に示す通りである。被験者にはあらかじめ研究の目的、方法、手順、日程及びそれに伴う危険性について説明し、実験参加の承諾を得た。

2. 2. 改良マルチテストによるLTの決定

改良マルチテスト（図1）は、8.5km/hから

表1 各被験者の身体特性

Subject	Age	Height (cm)	Weight (kg)
H.T	22	173	62
S.H	20	183	71
Y.W	21	180	75
R.U	21	166	55
Y.Y	21	169	64
H.K	21	165	60
S.H	21	173	61
H.S	20	176	77
R.K	21	174	60
S.T	20	183	71
Mean	20.8	174.2	65.6
SD (±)	0.6	6.4	7.4

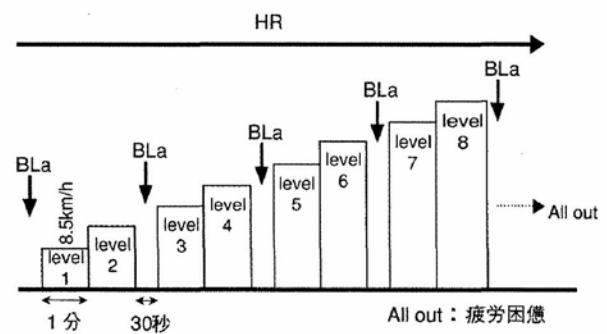


図1 改良マルチテストのプロトコール

level1（約1分）ごとに0.5km/hずつ漸増するように設定された信号音に合わせ、20m間のシャトルランを繰り返すテストである。このテストにおいて、levelを2つ経過するごとに30秒の血液採取時間を設けBLaの測定を行った。なお、ターン時にはターンの動作を明確に行わせるため、20mの両端に置いたコーン（高さ70cm）にタッチするよう指示した。テストの終了は、信号音に追従できなくなった時点とした。

BLaの測定には、血中乳酸測定機器（Lactate Pro：アークレイ社）を用いた。また、シャトルラン走行中の心拍数（アキュレックスプラス：POLAR社）は、5秒ごとに連続して測定した。

LTの決定は、Beaverら¹⁾の定義より、BLaの変曲点より上側の直線部分と下側の直線部分の傾きを算出し、それら2直線の交点のlevelとした。

2. 3. 20分間一定負荷シャトルランテスト

改良マルチテストより決定されたLTのlevelを基準とし、3段階の各levelにおいて、5分間の20mシャトルランを4セット、計20分間の一定負荷シャトルランテストを行った(図2)。血液採取を、試技前、各セット間、そして試技終了後に実施し、BLaの変化を捉えた。各セット間には、血液採取のため、30秒の休息時間を設けた。各levelのテストとも運動時間の上限は20分間とし、運動の継続が不可能となるまで行った。HRの測定は、テスト開始から終了後まで5秒ごとに連続して測定し、1分ごとに平均値を算出した。なお、各テスト間には1日以上疲労回復期間を設けた。

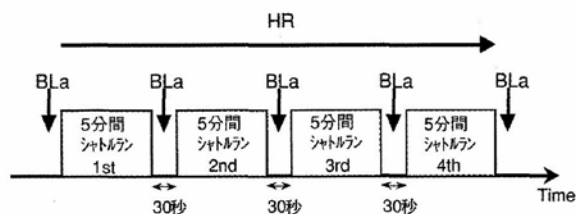


図2 20分間一定負荷シャトルランテストのプロトコール

2. 4. MaxLassの決定

MaxLassの判定基準は、Heckら⁹⁾の定義を参考とし、テスト中のBLaの増加が10分間に $1\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下となるlevelの最高となるlevelとした。

2. 5. マルチテスト

通常マルチテストにおいて、走ることでできた最大の運動強度である走速度を求めた。改良マルチテスト同様、テストの終了は信号音に追従できなくなった時点とした。

2. 6. 統計処理

統計的検定にはt検定(paired t-test)を採用し、有意水準は5%とした。

3. 結果

図3-Aは、被験者H.Tの改良マルチテストにおけるBLa動態を示す。BLaはlevel6まで $2.0\sim 3.0\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ と比較的低い値を示し、それ以降急激な上昇がみられ、決定したLTはlevel7.7となった(20分間一定負荷シャトルランテストでのLTの設定はlevel8とした)。全被験者の改良マルチテストにおいても、BLaの急激な上昇がみられ、LTを決定することができた(表2)。

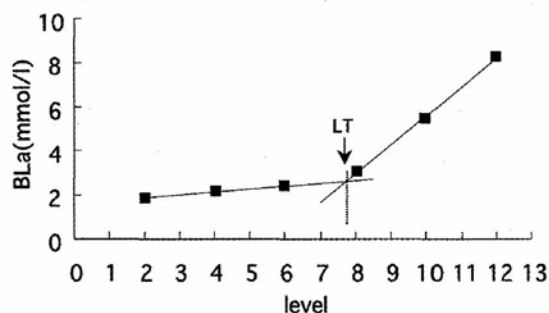


図3-A 被験者H.Tの改良マルチテストにおけるBLa動態

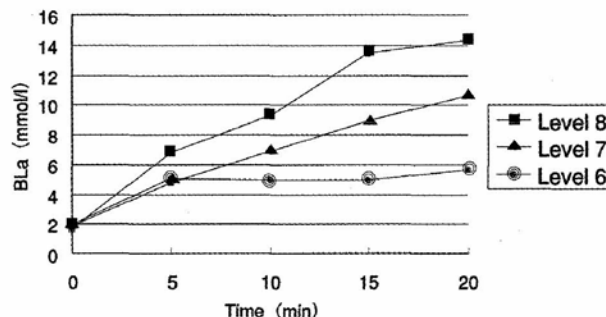


図3-B 被験者H.Tの20分間一定負荷シャトルランテストにおけるBLa動態

図3-Bは、被験者H.Tの20分間一定負荷シャトルランテストにおけるBLa動態を示す。改良マルチテストでLTと決定されたlevel8の強度で20分間の一定負荷シャトルランを行った結果、BLaは継続的に上昇した。level7の強度においても、BLaは上昇の傾きは緩やかになったものの継続的な上昇がみられた。しかし、level6の強度ではBLa動態は定常状態を示し、MaxLassとなった。

表2は、全被験者の改良マルチテストにおいて

表2 改良マルチテストでのLTおよび20分間一定負荷シャトルランテストでのMaxLassにおけるlevelとBLa

Subject	LT		MaxLass	
	Level	BLa (mmol/l)	Level	BLa (mmol/l)
H.T	7.7 (8)	2.6	6	5.1
S.H	7.9 (8)	2.8	7	3.6
Y.W	7.9 (8)	2.3	6	4.4
R.U	7.7 (8)	2.1	7	3.9
Y.Y	7.2 (7)	2.9	6	3.4
H.K	7.3 (7)	3.4	5	4.1
S.H	7.8 (8)	3.2	6	5
H.S	5.8 (6)	5.8	3	4.5
R.K	7.3 (7)	2.1	7	4.3
S.T	7.1 (7)	1.8	7	2.5
Mean	7.4***	2.9++	6.0	4.1
SD (±)	0.6	1.1	1.2	0.8

***:p<0.001, level_{LT}とlevel_{MLSS}における有意差
++:p<0.01, BLa_{LT}とBLa_{MLSS}における有意差

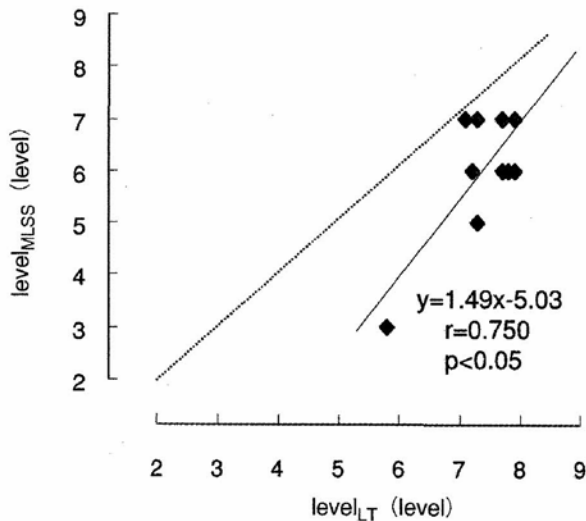


図4 level_{LT}とlevel_{MLSS}との関係

LTと決定されたlevel (以下level_{LT}) と、20分間一定負荷シャトルランテストにおいてMaxLassを得たlevel (以下level_{MLSS}) を示す。level_{LT}はlevel_{MLSS}と比べ有意な高値 (p<0.001) を示したが、level_{LT}とlevel_{MLSS}の間には5%水準で有意な相関関係がみられた (図4)。また表2中にはLTでのBLa (以下BLa_{LT}) およびMaxLassでの平均BLa (以下BLa_{MLSS}) を示す。BLa_{LT}はBLa_{MLSS}よりも有意な低値を示した (p<0.01)。

表3は、20分間一定負荷シャトルランテスト時におけるlevel_{LT}およびlevel_{MLSS}での最大BLaと平均HRを示す。最大BLaは、level_{MLSS}に比べ

表3 20分間一定負荷シャトルランテストでのLTおよびMaxLassのlevel時における最高BLaおよび平均心拍数

Subject	LT		MaxLass	
	BLa (mmol/l)	Mean HR (beats/min)	BLa (mmol/l)	Mean HR (beats/min)
H.T	14.3	197	5.8	180
S.H	6.8	170	3.9	162
Y.W	8.7	192	5.2	166
R.U	10.9	193	4.2	186
Y.Y	5.3	195	4.2	179
H.K	12.3	180	4.3	189
S.H	10.4	189	5.2	175
H.S	9.8	184	4.8	184
R.K	4.6	177	4.6	177
S.T	2.8	162	2.8	162
Mean	8.6**	184	4.5	176
SD(±)	3.5	11	0.8	9

Mean HR:平均心拍数

** :p<0.01, level_{LT}とlevel_{MLSS}のBLaにおける有意差

level_{LT}において有意な高値を示した (p<0.01)。一方、平均HRでは両群に有意な差は認められなかった。

表4は、各被験者の通常マルチテストにおいて走ることできた最大走速度 (以下V_{M-max}) とMaxLassとなった走速度 (以下V_{MLSS}) 及びその相対的運動強度を示す。両群には1%水準で有意な相関関係がみられた。またV_{MLSS}はV_{M-max}の79~86%の範囲で80.7±2.7% (±SD) となった。

表4 通常マルチテスト時の最大運動走速度とMaxLass時の走速度および相対的運動強度

Subject	V _{M-max} (km/h)	V _{MaxLass} (km/h)	V _{M-max} /V _{MaxLass} (%)
H.T	14	11	79
S.H	14.5	11.5	79
Y.W	13.5	11	81
R.U	13.5	11.5	85
Y.Y	14	11	79
H.K	13	10.5	81
S.H	14	11	79
H.S	12	9.5	79
R.K	14.5	11.5	79
S.T	14	12	86
Mean	13.7**	11.1	80.7
SD (±)	0.8	0.7	2.7

V_{M-max}:通常マルチテスト時の最大走速度

V_{MaxLass}:MaxLass時の走速度

** :p<0.01, V_{M-max}とV_{MaxLass}における有意差

4. 考 察

本研究の目的は、球技系スポーツ選手に特化した実践的なLT決定のためのテスト法を開発するため、改良したマルチテスト中のBLaの動態を調査しLTの決定を試みることであり、そして得られたLTがMaxLassとなる運動強度を示しているかどうかを調査し、本テストの有用性を検討することである。

Yoshida¹⁹⁾ およびYoshidaら²⁰⁾ は、LTが有酸素性運動能力の評価の指標として有効であり、さらに、トレーニング強度の設定やトレーニング効果の判定においても有効な指標になると述べ、LTの重要性について示している。LTに関するスポーツの実践的な研究は、水泳や陸上競技を中心に行われてきており^{17,19,20)}、球技系スポーツ選手においてもOBLAやLTの測定にはトラック走が採用されてきた^{8,14)}。しかしながら、スポーツ種目の特殊性や特異性を踏まえると、球技系スポーツの場合、走運動の中にストップ、ダッシュ、ターンといった動作が取り込まれたテスト様式で、LTは決定されるべきである。そこで本研究では、球技系スポーツ選手に特化した実践的なLTテスト法を確立するため、サッカー選手を対象として、球技特有の動きを取り入れたマルチテストにおいてBLa動態とその変換点であるLTを調べた。その結果、全被験者において、あるlevelでのBLaの急激な上昇がみられ、Beaverら¹⁾の定義によるLTの決定を行うことができた。LTの決定が行えたことは、球技系スポーツ選手に対するより実践的な有酸素性運動能力やトレーニング効果の評価、さらに持続的なトレーニングへの応用といった、本テストの実用的な活用方法が考えられよう。

しかし、本テストにおいて決定されたLTが、トレーニング強度の設定基準として活用されるためにも、MaxLassとなる運動強度を示しているか

どうかを調査する必要がある。MaxLassはBLaが持続的に増加することなく行いうる最高の運動強度、つまり、乳酸の産生と除去の動的バランスを保ちうる最高の運動強度であることから¹²⁾、漸増負荷運動においてBLaが急激に上昇し始めるLTと等しい関係にあると推測される。しかしながら、20分間の一定負荷シャトルランテストでの結果、 $level_{LT}$ は $level_{MLSS}$ よりも有意に高値を示した。これは、改良マルチテストにおいて決定されたLTが、真に乳酸蓄積開始点となる運動強度を示さず、過大評価されていたことを意味している。Kindermanら¹⁰⁾の先行研究では、漸増負荷テストのLTからMaxLassを同定するためには、同一負荷の持続時間を少なくとも3分にする必要があるという結果を得ている。これは筋組織で産生された乳酸が、血液中に拡散されるのに時間を要するためであるとしている。従って、本研究ではLTがMaxLassより高い運動強度を示したのは、1分ごとに漸増するマルチテストのプロトコルが、負荷強度の変化に対するBLaの応答に遅延を生じさせたためであると考えられる。MaxLass相当の運動強度となるLTの決定には、各levelの持続時間を少なくとも3分に設定する必要があると思われる。

しかしながら、各levelの持続時間を3分に設定して行くと、1回のテスト時間が30分以上にも亘り、それに伴う選手への体力的・精神的負担も増加することなどから、実際のトレーニング現場で実施するには実用的であるとは言えない。一方、本研究で実施した改良マルチテストは、得られるLTが過大評価されるという問題点が存在するものの、テスト時間の短縮と選手への体力的・精神的負担の軽減という面では実用性に長けているものと思われる。

次にLTのトレーニングへの応用について検討を試みる。20分間一定負荷シャトルランテストにおける $level_{LT}$ および $level_{MLSS}$ のHRとBLaでは、

HRについては両群とも約180拍/分前後を示したものの、BLaは、平均 $4.4\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ の $\text{level}_{\text{MLSS}}$ に比べ、平均 $8.6\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ の level_{LT} において顕著な高値を示した。サッカーゲーム中の心拍数を測定した先行研究をみると、3名のポジションの異なる選手を対象とした大串ら¹⁶⁾は150～160拍/分、加えて45分ハーフのゲーム中を測定した松本ら¹³⁾は167拍/分であったと報告している。一方、ゲーム中に測定されたBLaについての先行研究では、Ekblom⁴⁾によるとトップリーグは8～10 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ の範囲、下位リーグにおいても4～5 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ の範囲、また国民体育大会優勝チームを対象とした宮城ら¹⁴⁾の報告によると約 $6\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ であったと報告されている。さらに長浜ら¹⁵⁾は、大学サッカー選手を対象としたサッカーゲーム中のBLaは平均 $5.3\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ であったと報告している。先行研究と本研究の比較から、 level_{LT} および $\text{level}_{\text{MLSS}}$ での平均HRはゲーム中より高い傾向にあること、またゲーム中のBLaは $\text{level}_{\text{MLSS}}$ よりも高く level_{LT} と同等もしくは低い傾向にあることが判明した。従って、本研究で得られたLTに相当する走速度でのシャトルランによるトレーニングは、サッカーゲームに求められる持続的運動能力向上のためのトレーニングとして有効であると思われる。

ところで、通常マルチテストにおける $V_{\text{M-max}}$ と V_{MLSS} の間には高い相関関係が見られた。これは、Benekeら²⁾の研究結果と同じ傾向を示している。Benekeら²⁾は、自転車、ボート及びスピードスケート選手において、漸増運動負荷テストでの最大の運動強度（持続的最大の運動強度）とMaxLassとの間には相関関係があり、持続的最大の運動強度に対するMaxLassの相対的運動強度は、それぞれ70～80%の範囲であったと報告している。本実験においても、 $V_{\text{M-max}}$ に対する V_{MLSS} の相対的運動強度は、約80%とほぼ等しい値を示した。このことは、通常マルチテストにおいて

走ることできた最大の運動強度より、おおよそのMaxLassを推定することの可能性を示唆しており、非観血的な方法であるのでトレーニング現場では有効と思われる。

本研究を通して、改良マルチテストより決定されたLTは過大評価されることが判明した。これはマルチテストにおける同一負荷の持続時間に起因すると考えられ、正確なLTを求めるためには、各levelの持続時間を3分以上にする必要があると考えられる。しかし本実験で実施したテストは、得られるLTが過大評価されるという問題点が存在するものの、トレーニング効果の判定やトレーニング強度の設定に有効であり、テスト時間の短縮やそれに伴う選手の体力的・精神的負担の軽減といったことから、トレーニング現場においての実用性は高いと考える。従って本テストは、球技系スポーツ選手のためのLT決定テストとして有用性の高いテストであると言えよう。

5. まとめ

本研究は、球技系スポーツ選手に特化したLT決定テスト法を確立するため、サッカー選手を対象として、改良されたマルチテスト中のBLa動態からLTを決定し、さらにそのLTがMaxLassとなる運動強度を示しているかどうかを20分間の一定負荷シャトルランテストによって明らかにし、本テストの有用性とトレーニングへの応用について検討することを目的とした。

1) 改良したマルチテストにおいてlevelを2つ経過するごとにBLaの測定を行った結果、全被験者においてBLaの急激な上昇がみられ、LTの決定を行うことができた。

2) 求められたLTは、20分間一定負荷シャトルランテストにおけるMaxLassより有意な高値を示したが、それらには有意な相関関係がみられた。

3) LTでのBLaは、MaxLassでの平均BLaよりも有意な低値を示した。

4) 20分間一定負荷シャトルランテストにおけるLT及びMaxLassでのlevelにおいて、最大BLaはMaxLassに比べLTにおいて有意な高値を示した。一方、平均HRでは両群に有意な差は認められなかった。

5) 通常マルチテストでの最大走速度とMaxLassとなった走速度において1%水準で有意な相関関係がみられた。

文 献

- 1) Beaver W.L., Wasserman K., Whipp B.J.: Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol.*, 59, 1936-1940 (1985)
- 2) Beneke R., Duvillard S.P.: Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28, 241-246 (1996)
- 3) Davis J.A.: Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 17, 6-18 (1985)
- 4) Ekblom B.: Applied Physiology of Soccer. *Sports Med.*, 3, 50-60 (1986)
- 5) 古川拓生, 奥脇透, 江田昌佑, 村上純, 河野一郎: マルチステージフィットネステストを用いたラグビー選手の全身持久力の評価. *トレーニング科学*, 9, 19-26 (1997)
- 6) Grant S., Corbett K., Amjad A.M., Wilson J., Aitchison T.: A comparison of methods of predicting maximum oxygen uptake. *Br. J. Sports Med.*, 29, 147-152 (1995)
- 7) Heck H., Mader A., Hess G., Mucke S., Muller R., Hollmann W.: Justification of the 4-mmol·l⁻¹ lactate threshold. *Int. J. Sports Med.*, 6, 117-130 (1985)
- 8) 磯川正教, 鈴木滋, 長浜尚久, 大橋二郎, 大串哲朗, 木幡日出男, 加納樹里, 福井真司, 渡辺貫二: フィールドにおけるAT測定とATトレーニング. 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集, 64-70 (1991)
- 9) Ivy J.L., Withers R.T., Van Handel P.J., Elger D.H., Costill D.L.: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol.*, 48, 523-527 (1980)
- 10) Kinderman W., Simon G., Kuel J.: The Significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of workload intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 42, 25-34 (1979)
- 11) Leger L., Lambert J.: A maximal multistage 20m shuttle run test to predict $\dot{V}O_{2max}$. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49, 1-12 (1982)
- 12) Mader A., Heck H.: A theory of the metabolic origin of anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.*, 7, 45-65 (1986)
- 13) 松本光弘, 小宮喜久, 久保田洋一, 岩村英吉: サッカーのゲーム分析の研究—ゲーム中の運動強度を中心として—. 福島大学教育学部論集, 29 (3), 55-65 (1977)
- 14) 宮城修, 山村千晶, 塚中敦子, 小磯浩世, 島崎達也, 石河利寛, 北川薫: サッカー選手の試合中の血中乳酸濃度と移動動作様式に及ぼす無酸素性および有酸素性トレーニングの効果. *Jan. J. Biomech. Sports Exerc.*, 1, 15-23 (1997)
- 15) 長浜尚史, 磯川正教, 丸山剛生, 恩氏孝夫: 血中乳酸濃度からみた運動強度, 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集, 61-65 (1990)
- 16) 大串哲朗, 大橋二郎, 鈴木滋, 木幡日出男: 酸素摂取量からみた運動強度の測定, 平成元年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集, 55-61 (1989)
- 17) Wakayoshi K., Ikuta K., Yoshida T., Udo M., Moritani T., Mutoh Y., Miyashita M.: Determination and validity of critical velocity as swimming performance index in the competitive swimmer. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64, 153-157 (1992)
- 18) Wasserman K., Whipp B.J., Koyal S.N., Beaver W.L.: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 35, 236-243 (1973)
- 19) Yoshida T.: Relationship of lactate threshold and onset of blood lactate accumulation as determinants of endurance ability in untrained females. *Ann. Physiol. Anthropol.*, 5, 205-209 (1986)
- 20) Yoshida T., Chida M., Ichioka M., Suda Y.: Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 56, 7-11 (1987)