

大学卓球選手における乳酸値測定から見た持久能力評価について

張 環 宇

Abstract

Table tennis is a kind of competitive sports. It is a repetitive sports which is characterized as fighting each other and keeping it up based on oxygen-free energy supply within 4-5 seconds, and oxygen energy supply within 10-15 seconds. To research how the energy supply system works in the training of university student athletes, I am going to measure the lactic acid concentration in the blood, especially OBLA 4mmol/ L (Onset of Blood Lactate Accumulation), and then use the data to evaluate the physical capacity of the university student athletes.

As a result, it was clarified that it is possible to endurance capacity evaluation University table tennis players by measuring the blood lactate concentration.

キーワード……卓球 運度強度 心拍数 血中乳酸濃度 OBLA

1 はじめに

乳酸は、「疲労の原因物質」と言われているが、その測定値を適切に理解することで運動選手の体内の状況を知り、パフォーマンスを向上させるための有力な手がかりとなる。血中乳酸は、作業筋で産生された乳酸が血中に放出されたものであり、筋肉の状態を推測できる数少ない指標のひとつである。乳酸の産生は、一般的に考えられているように無酸素状態で行われるのではなく、糖分解の亢進により行なわれる。産生された乳酸は、酸化によりエネルギーとして再利用される¹⁾。

疲労には多くの複合的な要素が関わっており、乳酸も無関係ではないが、主原因でないことが多いと言える。それどころか、疲労を防止するという知見も得られている。血中乳酸濃度は、高ければよい、低ければよいと簡単に決められるものではないことを踏まえ、条件をよく統一して測定することが必要である。

近年のスポーツ現場では、選手個々の効果的なトレーニング方法を見つけ出すために、選手の運動中における血中乳酸濃度を測定するなど、科学的見地から選手の能力を分析し、選手に最適なトレーニング・プログラムを提供しようとする傾向がある²⁾。

卓球競技においてもこれまでの研究から、競技レベルが高いほど高強度の運動が継続される事がわかっており³⁾、競技力向上のためには耐乳酸能力の向上が望まれる。このことから今後

は卓球選手の運動中における血中乳酸濃度の変化を調べ、トレーニングに活用していく必要があると考えられる。

2 目 的

持久力を要するスポーツ種目では、運動時のエネルギー供給を増加させたり効率化させたりすることによって、競技力向上が図られると考えられる。そのため、選手のトレーニング中において、エネルギー供給系がどの程度効果的に働いているかをチェックするために、エネルギー関係の物質のひとつである乳酸に関して、血中乳酸濃度を測定する方法がある。

血中乳酸濃度を測定することにより、無酸素性作業閾値（LT : lactate threshold）と血中乳酸蓄積開始点（OBLA : onset of blood lactate accumulation）を知ることが出来る。LTは有酸素能力の評価に用いられるが、高強度の運動時における持久能力の評価には OBLA が用いられる様になってきており、具体的には、血中乳酸濃度 4mmol/L 時の運動強度を求めて、持久能力の評価・判定を行っているものである。

競技スポーツとしての卓球では、陸上長距離走などのような持久力を必要とする種目であるため、血中乳酸濃度測定は、個々の選手にとって必要な持久力のトレーニングの量に関する情報を提供するよい手段となると考えられる。このことから本研究では測定された血中乳酸濃度から OBLA を求め、大学卓球選手個々の持久能力を評価することを目的とした。

3 方 法

3-1 対象者

本実験の対象者は新潟大学卓球部男子選手 4 名、女子選手 3 名とした。その特性は男子大学生選手らの年齢 20.3 ± 0.5 歳、身長 171.4 ± 6.4 cm、体重 65.5 ± 6.6 kg、競技歴 12.0 ± 1.4 年であった。（表 1）

女子大学生選手らの年齢 20.0 ± 1.0 歳、身長 155.3 ± 5.5 cm、体重 49.7 ± 5.7 kg、競技歴： 12.7 ± 0.6 年であった。（表 2）

各対象者は週 4 回以上、毎回 3 時間の技能練習と約 30 分のトレーニング練習を行っている。またいずれの選手も全国大会出場経験を持つ卓球競技における上級者レベルの技能を有している。

3-2 12 分間走テスト

各対象者の最大酸素摂取量を推定するために 12 分間走テストを行った。期日は 2010 年 11 月 15～19 日、場所は新潟市西総合スポーツセンター屋外ランニングコースで測定を行った。

走行中の心拍変動を測定するために被験者には無線心電計ポラールスポーツ心拍計（写真 1）を装着させ、5 秒ごとの心拍数を連続して記録した。

12 分間走の距離から最大酸素摂取量を推定するために以下の式を用いた。

$$\text{最大酸素摂取量} = 12 \text{ 分間の走行距離(m)} \times 0.021 - 7.233$$

$$\rightarrow \dot{V}O_{2\max} = 0.021x - 7.233 \quad (x = 12 \text{ 分間走の走行距離(m)})$$

3-3 800m 走漸増負荷テスト

各対象者における OBLA を求めるために 800m 走漸増負荷テストを行った。期日は 12 分間走テストを行ってから約 1 ヶ月後の 2010 年 12 月 16~20 日、場所は新潟市西総合スポーツセンター屋内ランニングコースで測定を行った。

走行中の心拍数は 12 分間走と同様に無線心電計ポラールスポーツ心拍計を用いて測定した。

各被験者の OBLA を求めるために、ラクテート・プロ LT-1710（写真 2）を用いて血中乳酸濃度の測定を行った。

血中乳酸濃度値の測定は、800m 走を 1 セットとし、5 セットを行うこととした。セットごとに走スピードを上げ（目標タイムを短縮）、1 セットずつ走り終わった直後に指先から少量の血液を採取する形式で行った。次のセットを走りだすまでのインターバルは乳酸濃度の測定を含めて 1~2 分とし、400m を 140 秒のペースから始め、2 セット目から徐々にスピードを上げて行うこととした。

1 セット→2 セット 目標タイム 30 秒の短縮 2 セット→3 セット 目標タイム 20 秒の短縮

3 セット→4 セット 目標タイム 20 秒の短縮 4 セット→5 セット 目標タイム 10 秒の短縮

4 結 果

4-1 12 分間走テストの結果について

12 分間走テストの結果を表 1（男子選手）、表 2（女子選手）に示す。

運動強度に関しては走行中の平均値として表している。

最大心拍数(bpm) = (220 - 年齢) とし、

運動強度(%) = [(平均心拍数 - 安静時心拍数) / (最大心拍数 - 安静時心拍数)] × 100

として求めた。

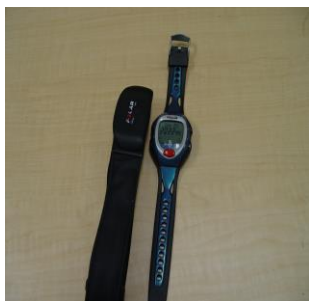


写真1 無線心電計ポラールスポーツ心拍計



写真2 ラクテート・プロ LT-1710

男子大学生選手 12 分間走の結果は、最高心拍数は 192.0 ± 8.2 bpm、平均心拍数は 175.8 ± 10.6 bpm、 $\dot{V}O_2\max$ は 54.2 ± 6.4 mL/kg/min、運動強度は $79.5 \pm 9.1\%$ HRmax であった。

表1 男子大学生選手の特性及び12分間走の測定結果

	年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)	競技暦 (years)	戦型	主たる成績	安静時心拍数 (bpm)	最高心拍数 (bpm)	平均心拍数 (bpm)	走距離 (m)	$\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min)	平均運動強度 (%)
sub.um1	20	169	58	13	ドライブ	インカレ出場	80	186	169	2920	54.087	74
sub.um2	21	165	70	13	ドライブ	全日学出場	85	188	168	2500	45.267	73
sub.um3	20	180	62	12	ドライブ	全日学出場	85	190	175	3205	60.072	78
sub.um4	20	172	72	10	ドライブ	全日学出場	76	204	191	3077	57.384	93
Mean	20.3	171.4	65.5	12.0			81.5	192.0	175.8	2925.5	54.2	79.5
SD.	± 0.5	± 6.4	± 6.6	± 1.4			± 4.4	± 8.2	± 10.6	± 306.7	± 6.4	± 9.1

女子大学生選手 12 分間走の結果は、最高心拍数は 191.7 ± 3.5 bpm、平均心拍数 179.7 ± 2.5 bpm、 $\dot{V}O_2\max$ は 49.2 ± 5.0 mL/kg/min、運動強度は $85.1 \pm 1.3\%$ HRmax であった。

表 2 女子大学生選手の特性及び 12 分間走の測定結果

	年齢 (years)	身長 (cm)	体重 (kg)	競技歴 (years)	戦型	主たる成績	安静時心拍数 (bpm)	最高心拍数 (bpm)	平均心拍数 (bpm)	走距離 (m)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	平均運動強度 (%)
sub.um1	21	150	45	13	ドライブ	インカレ出場	65	192	180	2960	54.927	86
sub.um2	19	155	48	13	ドライブ	インカレ出場	67	195	182	2580	46.947	86
sub.um3	20	161	56	12	ドライブ	全日学出場	60	188	177	2525	45.792	84
Mean	20.0	155.3	49.7	12.7			64.0	191.7	179.7	2688.3	49.2	85.1
SD.	±1.0	± 5.5	± 5.7	± 0.6			± 3.6	± 3.5	± 2.5	± 236.9	± 5.0	± 1.3

4-2 800m 走における血中乳酸濃度及び心拍数変化について

男子大学生選手の結果を表 3~6 に、女子大学生選手の結果を表 7~9 に示す。

sub.um1 の 800m 走各段階における血中乳酸濃度の測定結果から、4mmol/L 時の走速度は約 3.59m/s であり、心拍数は 160bpm、運動強度は 71.4%HRmax であった。

表 3 sub.um1 選手 5 回 800m 走の測定結果

NO	設定距離	目標タイム	ラップ1	実測タイム	スピード	乳酸値	心拍数	平均運動強度
単位	(m)	(min)	(m/400m)	(min)	(m/s)	mmol/l	(bpm)	(%)
安静時						1.3	60	
1	800	4'30.0	2'15.0	4'32.0	2.94	1.6	127	47.9
2	800	4'00.0	2'00.0	4'02.0	3.31	2.6	143	59.3
3	800	3'40.0	1'50.0	3'43.0	3.59	4.4	160	71.4
4	800	3'20.0	1'40.0	3'19.0	4.00	5.7	166	75.7
5	800	3'10.0	1'35.0	3'07.0	4.28	7.5	176	82.9

sub.um2 の 800m 走各段階における血中乳酸濃度の測定結果から、4mmol/L 時の走速度は約 3.36m/s であり、心拍数は 162bpm、運動強度は 71.3%HRmax であった。

表 4 sub.um2 選手 5 回 800m 走の測定結果

NO	設定距離	目標タイム	ラップ1	実測タイム	スピード	乳酸値	心拍数	平均運動強度
単位	(m)	(min)	(m/400m)	(min)	(m/s)	mmol/l	(bpm)	(%)
安静時						1.2	70	
1	800	4'30.0	2'15.0	4'33.0	2.93	2.5	134	49.6
2	800	4'00.0	2'00.0	3'58.0	3.36	4.2	162	71.3
3	800	3'40.0	1'50.0	3'44.0	3.62	5.1	165	73.6
4	800	3'20.0	1'40.0	3'23.0	3.94	6.6	169	76.7
5	800	3'10.0	1'35.0	3'12.0	4.17	8.9	175	81.4

大学卓球選手における乳酸値測定から見た持久能力評価について（張環宇）

sub.um3 の 800m 走各段階における血中乳酸濃度の測定結果から、4mmol/L 時の走速度は約 3.99m/s であり、心拍数は 168bpm、運動強度は 77.1%HRmax であった。

表 5 sub .um3 選手 5 回 800m 走の測定結果

NO	設定距離	目標タイム	ラップ1	実測タイム	スピード	乳酸値	心拍数	平均運動強度
単位	(m)	(min)	(m/400m)	(min)	(m/s)	mmol/l	(bpm)	(%)
安静時						1.5	60	
1	800	4'30.0	2'15.0	4'30.0	2.96	1.9	119	42.1
2	800	4'00.0	2'00.0	3'58.0	3.36	2.5	140	57.1
3	800	3'40.0	1'50.0	3'43.0	3.59	2.9	149	63.6
4	800	3'20.0	1'40.0	3'21.0	3.99	4.1	168	77.1
5	800	3'10.0	1'35.0	3'11.0	4.19	7.3	172	80.0

sub.um4 の 800m 走各段階における血中乳酸濃度の測定結果から、4mmol/L 時の走速度は約 3.99m/s であり、心拍数は 163bpm、運動強度は 72.4%HRmax であった。

表 6 sub .um4 選手 5 回 800m 走の測定結果

NO	設定距離	目標タイム	ラップ1	実測タイム	スピード	乳酸値	心拍数	平均運動強度
単位	(m)	(min)	(m/400m)	(min)	(m/s)	mmol/l	(bpm)	(%)
安静時						1.4	66	
1	800	4'30.0	2'15.0	4'35.0	2.91	1.6	127	45.5
2	800	4'00.0	2'00.0	3'56.0	3.39	2.9	145	59.0
3	800	3'40.0	1'50.0	3'43.0	3.59	3.6	156	67.2
4	800	3'20.0	1'40.0	3'21.0	3.99	4.5	163	72.4
5	800	3'10.0	1'35.0	3'16.0	4.08	6.8	170	77.6

sub.uw1 の 800m 走各段階における血中乳酸濃度の測定結果から、4mmol/L 時の走速度は約 3.43m/s であり、心拍数は 177bpm、運動強度は 84.1%HRmax であった。

表 7 sub .uw1 選手 5 回 800m 走の測定結果

NO	設定距離	目標タイム	ラップ1	実測タイム	スピード	乳酸値	心拍数	平均運動強度
単位	(m)	(min)	(m/400m)	(min)	(m/s)	mmol/l	(bpm)	(%)
安静時						1.1	61	
1	800	4'30.0	51'00	4'35	2.91	1.8	138	55.8
2	800	4'10.0	47'00	4'12	3.17	2.4	165	75.4
3	800	3'50.0	43'00	3'53	3.43	4.4	177	84.1
4	800	3'40.0	41'00	3'42	3.6	5.5	183	88.4
5	800	3'30.0	39'00	3'31	3.79	8.2	186	90.6

sub.uw2 の 800m 走各段階における血中乳酸濃度の測定結果から、4mmol/L 時の走速度は約

3.51m/s であり、心拍数は 172bpm、運動強度は 79.4%HRmax であった。

表 8 sub .uw2 選手 5 回 800m 走の測定結果

NO	設定距離	目標タイム	ラップ1	実測タイム	スピード	乳酸値	心拍数	平均運動強度
単位	(m)	(min)	(m/400m)	(min)	(m/s)	mmol/l	(bpm)	(%)
安静時						1.2	60	
1	800	4'30.0	5'10	4'33	2.93	2.1	147	61.7
2	800	4'10.0	4'700	4'08	3.23	3.0	167	75.9
3	800	3'50.0	43'00	3'48	3.51	4.6	172	79.4
4	800	3'40.0	4'100	3'41	3.62	5.0	176	82.3
5	800	3'30.0	39'00	3'31	3.79	7.0	182	86.5

sub.uw3 の 800m 走各段階における血中乳酸濃度の測定結果から、4mmol/L 時の走速度は約 3.39m/s であり、心拍数は 164bpm、運動強度は 74.3%HRmax であった。

表 9 sub .uw3 選手 5 回 800m 走の測定結果

NO	設定距離	目標タイム	ラップ1	実測タイム	スピード	乳酸値	心拍数	平均運動強度
単位	(m)	(min)	(m/400m)	(min)	(m/s)	mmol/l	(bpm)	(%)
安静時						1.5	60	
1	800	4'30.0	5'10	4'29	2.97	2.5	121	43.6
2	800	4'10.0	4'700	4'14	3.15	3.2	131	50.7
3	800	3'50.0	43'00	3'56	3.39	4.2	164	74.3
4	800	3'40.0	4'100	3'40	3.64	6.4	177	83.6
5	800	3'30.0	39'00	3'30	3.81	10.2	182	87.1

4-3 800m 走漸増負荷テストにおける血中乳酸濃度変化について

男子大学生選手の結果を図 1 に、女子大学生選手の結果を図 2 に示す。

男女ともに安静時の血中乳酸濃度が 1~1.5mmol/L であり、走速度を上げる毎に、血中乳酸濃度が高くなった。男子選手では sub.um2 が 2 回目で血中乳酸濃度が OBLA に達した。sub.um1 は 3 回目に、sub.um3、sub.um4 が 4 回目に OBLA に達した。女子選手では 3 人とも血中乳酸濃度が OBLA に達したのは 3 回目であった。また、sub.uw3 は 5 回目において被験者の中で最も高い値を示した。

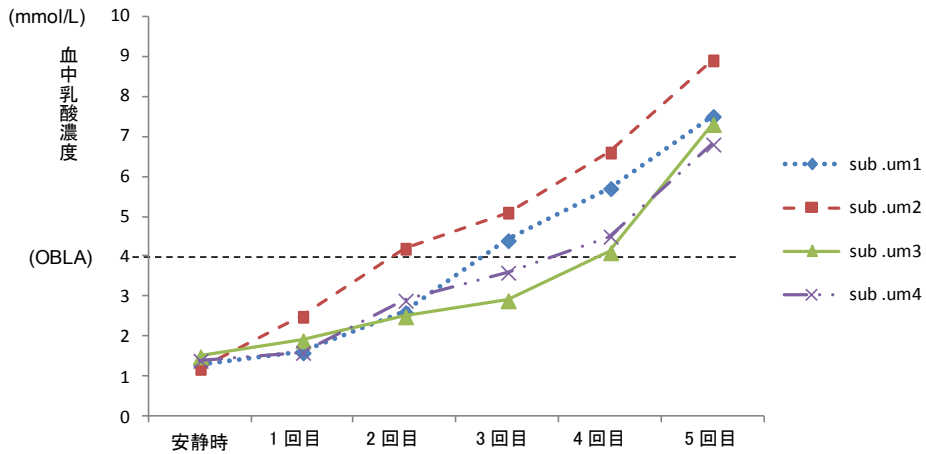


図1 800m 走漸増負荷テストにおける男子大学生選手の血中乳酸濃度変化

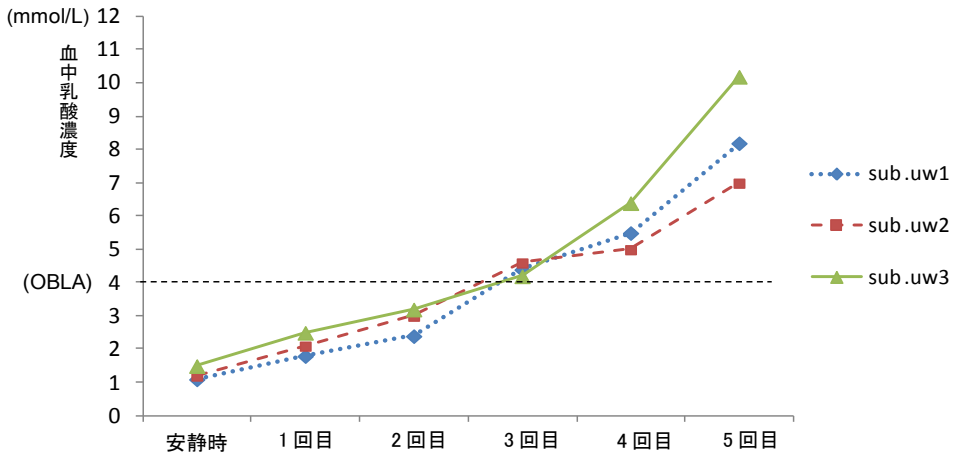


図2 800m 走漸増負荷テストにおける女子大学生選手の血中乳酸濃度変化

5 考察

今回の被験者は12分間走の結果から推定した $\dot{V}O_{2max}$ からみると比較的持久能力が高いものであった。しかしながら、sub.um2のように $\dot{V}O_{2max}$ が一般成人の平均と変わらない選手であっても同レベルの競技成績を上げられるところに体力を含む卓球競技に必要な要素を絞ることが出来ない困難さがあるものと考えられる。

大学卓球選手 800m 漸増負荷テストにおける血中乳酸濃度の測定結果は、男子選手では 4mmol/L (OBLA) 到達時の平均心拍数は 163.3 ± 3.4 bpm、スピードは 3.7 ± 0.3 m/s、運動強度は $73.1 \pm 2.7\%$ HRmax であり、女子選手では平均心拍数は 171.0 ± 6.6 bpm、スピードは 3.4 ± 0.1 m/s、運動強度は $79.3 \pm 4.9\%$ HRmax であった。今回の実験結果と先行研究を比較して見ると、OBLA 到達時の運動強度は、男子大学生選手ではフットワーク練習時に近いものであった。このフットワーク練習は、フォアサイド、バックサイドの 2 点に 2 本ずつ送球されたボールをすべてフォアハンドドライブで打球するというものであり、最も移動距離が大きいものであった。一方、女子大学生選手では OBLA 到達時の運動強度はフットワーク練習より低かった⁴⁾。このことから、卓球選手が技術練習を行う際にも血中乳酸濃度は 4mmol/L 以上に達していることが分った。また、女子においてフットワーク練習が OBLA を上回っているのは、卓球競技は男女、年齢にかかわらず同じ競技領域で行うため、同様なフットワーク練習を行うと体格的、体力的に劣る女子は相対的に運動強度が高くなるものと考えられる。

図 1、2 に示すように被験者個々の血中乳酸濃度の変化をみると、男子選手は OBLA に達する走速度がそれぞれ異なっていることより、持久力特性が様々であったことがわかる。また、女子選手においては OBLA に達した走速度に相違はないが、高運動強度において血中乳酸濃度が上昇しやすい被験者もいた。これらのことから卓球選手においても個別の持久力特性やプレースタイルに応じたトレーニングメニューを開発することが合理的な選手強化に繋がるものと考えられる。例えば、sub .um2 は 800m 走漸増負荷テストの 2 回目で OBLA に達した。一方、他の 3 人の被験者にとっては LT くらいでかなり余裕があった。このことは sub .um2 は身長 165cm、体重 70kg であり、身長に対して体重が比較的大きく、身体の負担がかかるため、持久体力は他の 3 人選手より低いからである。したがって、sub .um2 は長時間の練習に耐えられ、更に試合中に余裕を持てるような全身持久体力を備える必要があり、そのためには筋の酸化能力強化などの有酸素性を向上させる必要があると考えられる。

世界で活躍するトッププレイヤーの体力水準は極めて高いことが種々の体力測定報告でなされている。世界大会で活躍するトップクラスのプレイヤーは、わずか 1 分程度の休憩をはさみ長時間のゲームをこなすが、そのゲーム中の心拍数は攻撃型選手同士の場合、170~180bpm の範囲にあり、卓球ゲーム中の生体負担度はかなり大きいことが報告されている⁵⁾。

マラソンのような競技は、よくトレーニングされた選手では、血中乳酸濃度 4mmol/L (OBLA) となる程度の運動強度で行われるとされる。乳酸は酸化して再利用できることから運動を維持できるということである。したがって、OBLA が高い選手ほど、高強度で走り続けることができるためマラソンの記録が良いことになる。一方球技では、運動は一定の強度を維持するのではなく、ダッシュとジョグの繰り返しであることが多い。この場合、ダッシュで乳酸が産生され、ジョグで乳酸が再利用される。乳酸が再利用される量より産生される量の方が多いので、ダッシュ時の血中乳酸濃度は上がり、その後徐々に下がっていくような変化を示すが、OBLA

までには下がらないため乳酸が蓄積し、サッカーなどでは血中乳酸濃度が 6–8mmol/L になることが珍しくない⁶⁾。

これらに対して、卓球競技の試合中では、約 4～5 秒間のラリー時における無酸素的運動と 10～15 秒間のラリー休止時の有酸素的運動を繰り返す競技であるため、運動強度の低いスポーツであると誤解されやすい。しかし、大学選手権や全日本選手権、さらに世界選手権などのレベル高い大会では、団体戦と個人戦（シングルス・ダブルス）を合わせて、1 日に 5 試合以上を行なわなければならない場合もある。そして、技能習得のためには相当時間の反復練習を必要とする競技であるため、練習時間も長くなる場合が多い。ラケットを振るスピードや身体を動かす速さなどで 1 日中同じようにプレーを続けられる体力のスタミナが必要となる⁷⁾。そのため、選手の持久力を客観的に評価する必要がある。

以上のことから、本研究では卓球競技において、大学卓球選手の血中乳酸濃度を測定して個々の持久能力を評価できることを明らかにした。

6 まとめ

競技卓球選手では、耐乳酸能力と乳酸酸化能力のどちらもバランスよく向上させる必要があると考えられる。耐乳酸能力を向上させることで、全力で動いている最中の「もう一步の粘り強さ」をつけることが出来る。乳酸酸化能力を向上させることで、流しているときに疲労回復を速やかにすることができ、試合全体を通じてのスタミナ向上につながると考えられる。血液乳酸濃度 4mmol/L 時の心拍数は HR 4 と言われている。血液乳酸濃度 4mmol/L 時に対応する心拍数関係から各選手トレーニング中の運動強度を控えることができる⁸⁾。

そこで本研究では、大学生卓球選手の $\dot{V}O_{2max}$ 推定と各段階の運動強度における血中乳酸濃度、心拍数の変化から、持久力の評価方法を検討した。その結果、卓球の中心的な練習であるフットワーク練習中は、血中乳酸濃度は 4mmol/L (OBLA) となる運動強度、またはそれ以上で行なわれていることが明らかとなった。このことから卓球選手ではマラソン選手のような運動を維持できる持久力が必要であると考えられる。

また、血中乳酸濃度測定は、個別の卓球選手にとっても必要な持久力やスプリントのトレーニング量に関する情報を提供するために有効な手段であることも示すことが出来た。

近年では血中乳酸濃度の測定も簡便に出来るようになってきているため、現場では選手のやる気を引き出すための指標として血中乳酸濃度の測定による持久力評価は有用であると考えられる。

<注>

- 1) 八田秀雄『乳酸と運動生理・生化学、エネルギー代謝の仕組み』、市村出版社、2009。
- 2) 八田秀雄『エネルギー代謝を生かしたスポーツトレーニング』、雑談社、2004。
- 3) 張環宇「大学生卓球選手練習中における酸素摂取量及び心拍数変化について」、『新潟大学大学院現代社会文化研究』46、pp.237-246、2009。
- 4) 張環宇「中国卓球プロ選手プレー中における運動強度に関する研究」、『新潟大学大学院現代社会文化研究』48、pp.185-195、2010。
- 5) 葛西順一「卓球選手の心機能評価に関する研究」、『早稲田大学体育学研究紀要』24、pp69-73、1992。
- 6) 東京大学身体運動科学研究室編『教養としてのスポーツ・身体運動』、東京大学出版会、pp.49-53、2000。
- 7) 葛西順一「卓球競技における呼吸循環機能の対応の研究—ゲーム中の酸素摂取量の測定」、『早稲田大学体育学研究紀要』27、pp39-47、1995。
- 8) 孫有平『運動訓練実践問題探索』、華東師範大学出版社、2012。

主指導教員（牛山幸彦教授）、副指導教員（八坂剛史教授・五十嵐久人教授）