

《原著》

大学生におけるアーチェリーの試合が選手の筋疲労、免疫機能に及ぼす影響

山本博<sup>1,2</sup>、梅田孝<sup>3</sup>、高橋一平<sup>1</sup>、  
米田勝朗<sup>3</sup>、椿原徹也<sup>4</sup>、小室輝明<sup>1,5</sup>、  
金子美由紀<sup>1,3</sup>、神田翔太<sup>1,3</sup>、  
広瀬かほる<sup>1,6</sup>、中路重之<sup>1</sup>

- 1 弘前大学大学院医学研究科社会医学講座
- 2 日本体育大学
- 3 名城大学
- 4 東京都市大学
- 5 京都産業大学
- 6 防衛医科大学校

キーワード

- 1. アーチェリー
- 2. 筋逸脱酵素
- 3. 好中球機能
- 4. リンパ球機能

【目的】我々は大学男子アーチェリー選手9名を対象に、いまだ明らかになっていないアーチェリーの試合により生じる身体コンディションの変化及び身体疲労の出現状況を筋疲労及び免疫機能の観点から詳細に検討した。

【方法】調査当日の午前に第1ラウンド、午後に第2ラウンドからなる練習試合を設定した。試合時間は1ラウンド3時間、計6時間であった。また、各ラウンド間に1時間の昼食摂取を含む休息を設けた。試合中のシューティング数は1ラウンド78射、計156射であった。各調査項目の測定は第1ラウンドの前、後と第2ラウンド後の計3回実施した。調査項目は筋逸脱酵素値、白血球・好中球・リンパ球数、好中球機能、リンパ球機能、血清SOD活性であった。

【結果】第1ラウンド後AST、CKが有意に上昇し、第2ラウンド後のCKは3回の測定値のなかで最も高い値を示した。第2ラウンド後に白血球、好中球数が有意に上昇した。第2ラウンド後にIgA、C3、C4が有意に低下した。第1ラウンド及び第2ラウンド後に好中球の食食能が有意に低下した。また、有意ではないがROSは第1ラウンド後、第2ラウンド後の順に上昇傾向にあった。

【考察】本結果は、アーチェリーの試合が選手に筋組織の変性、損傷と免疫機能の低下をもたらす可能性を示唆した。

体力・栄養・免疫学雑誌 第25巻 第1号 67-75頁 2015年

緒言

アスリートによって実施されるトレーニングが、彼らに様々な生理学的機能の低下や身体的・精神的疲労をもたらすことは多くの研究によって明らかにされている<sup>1-3)</sup>。また、これらがトレーニング後のリコンディショニングによって適切に回復されず、蓄積していくことが、オーバートレーニング症候群やオーバーユース症候群発症の最大のリスク要因となることが指摘されている<sup>1-3)</sup>。

アーチェリーは30mから90m離れた場所に設置された標的を弓で矢を射て得点を競い合うシューティング競技である。また、アーチェリーは他のスポーツ種目に比べ活動中の身体活動量が少ないという特色を有している<sup>4)</sup>。一方、アーチェリー選手を対象としたスポーツ医学領域の先行研究をみると、そのほとんどは主にシューティング動作時に使われる上肢(手、肘、肩)への一過性の外傷や慢性的障害に関する報告が多い<sup>5,6)</sup>。また、これらの先行研究はアーチェリーの競技特性であるシューティング動作の未熟さや不適

切さ、あるいはこの繰り返しがアーチェリー選手における外傷や障害の発症の主要因となっていることを指摘している。しかしその一方で、これらの先行研究はこのような見解を示しながら、これを誘発させる要因としてのシューティング動作や筋活動等を解析、検証するに留まり、それ以上に踏み込んだ検証、議論は行っていない。すなわち、アーチェリー選手のスポーツ傷害を、シューティング動作のみならず、長期間のトレーニングや健康管理・コンディショニングとの関係で調査測定した研究はみられない。

一方、我々の研究グループは、アスリートにおける適切な健康管理方法やコンディショニング方法を考究、確立することを目的に、これまで多くのスポーツ医学調査を実施してきた。また、我々はそのなかで、一過性のトレーニングによるオーバーリーチングの発現や長期の高強度トレーニングによるオーバートレーニング症候群の発症状況を、筋逸脱酵素値、白血球・好中球・リンパ球数、免疫グロブリン、補体、好中球機能、リンパ球機能、血清SOD活性の動態から検証してきた<sup>7-16)</sup>。その結果、我々はアスリートで実

Table 1. Characteristics of study subjects and the changes in the body weight during the archery competition.

	Before the first round	After the first round	After the second round
Age (Years)	19.7 ± 1.2	—	—
Height (cm)	172.6 ± 6.4	—	—
Body weight (kg)	71.8 ± 15.1	71.4 ± 15.1 **	71.6 ± 15.1
Relative body fat (%)	17.8 ± 5.3	—	—
Lean body mass (kg)	58.4 ± 8.4	—	—

Subjects were 9 male archers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

\*\* : p<0.01, Significant different from the value before the first round.

施される一過性の高強度トレーニングが、トレーニング後のオーバーリーチングとして彼らに著しい筋の変性や損傷をもたらすとともに、酸化ストレスの亢進や免疫機能の低下をもたらす可能性を明らかにした。また、我々は長期的な高強度トレーニングの繰り返しが、彼らに慢性的筋疲労の蓄積と免疫抑制を発現させることも明らかにしている。さらに、我々はアスリートが実施する様々なトレーニング場面においてこれらのパラメーターを観察することが、彼らの身体コンディションや身体疲労の発現、蓄積の状況を把握するために有効であることを示唆している<sup>17,18)</sup>。

以上より、我々は活動中の身体活動量が他のスポーツ種目に比べ低ながらも慢性的スポーツ障害が散見されるアーチェリー選手においても、一過性のトレーニングや活動により生理学的機能低下や身体疲労が出現している可能性は高いという仮説を立てた。また、加えて、彼らが活動後に不適切なリコンディショニングを長期的に繰り返すことにより、慢性的スポーツ障害を発症させている可能性も否定できないと考えた。

本研究で、我々は大学男子アーチェリー選手を対象に、いまだ明らかにされていないアーチェリーの試合により生じる身体コンディションの変化及び身体疲労の出現状況を筋疲労及び免疫機能の観点から詳細に検討した。すなわち、我々はこれを明らかにすることが、アーチェリー選手でみられる外傷や慢性的スポーツ障害を適切に予防、改善し、的確な健康管理方法、コンディショニング方法を構築していくための重要な基礎データとなると考えた。

## 対象と方法

### 1. 対象者及び研究プロトコール

対象者は日本体育大学学友会アーチェリー部に所属する男子選手9名であった。本対象者中1名は2011年第53回全日本ターゲットアーチェリー選手権大会優勝者、1名は2012年第54回全日本ターゲットアーチェリー選手権大会優勝者であった。また、本対象者は、団体戦で2011年第50回全日本学生アーチェリー男子王座決定戦において優勝及び2012年第51回全日本学生アーチェリー男子王座決定戦で準優勝したメンバーであった。

対象者の年齢は 19.7±1.2 歳、身長 172.6±6.4cm、体重 71.8±15.1kg、体脂肪率 17.8±5.3 %、除脂肪量 58.4±8.4kg であった (Table 1)。また、本対象者の1週間のトレーニングスケジュールは月曜日から土曜日までの6日間のトレーニングと、日曜日の1日の休養によって構成されていた。また、対象者は、月曜日から金曜日までは1日約2時間30分、約150射、土曜日は約6時間、約350射のシューティングを実施していた。なお、この時のシューティング距離は90m、70m、50m、30m が設定され、それぞれの距離をシューティングする本数の配分は各選手の任意としていた。一方、これらのシューティング練習以外のトレーニングの実施状況を対象者に聞き取りを行ったところ、ランニングやウエイトトレーニングを実施する者はほとんどおらず、習慣的にランニングトレーニングを実施している者が1名、ウエイトトレーニングを実施している者が1名しかいなかった。

本研究では対象者に Table 2 に示した内容で他大学と試合を実施させた。試合内容は関東学生アーチェリー連盟リーグ戦方式を採用し、午前に第1ラウンド、午後に第2ラウンドを設定した。また、各ラウンドで対象者は射場から50m、30mの距離に置いた標的に対し78射(50m: 試射; 6射、36射(6射×6エンド)、30m: 36射(3射×12エンド))を実行した。また、対象者は試射及び各エンドで定められた本数のシューティングを制限時間内に実施し (Table 2 参照)、これを対戦校と交互で行った。なお、1ラウンドの所要時間は約3時間、2ラウンド合計約6時間であった。また、試合は1名72射、720点満点として両校の出場選手上位6名の合計得点で競い合わせ、本対象者チームが勝利した。

一方、アーチェリーは本来、試合時(オリンピックや全日本選手権など)にはシューティング動作のみを行い得点を競うが、国内で開催される大学同士の対戦ではこれとは異なる行動が加わる。すなわち、選手達は各エンド間に射た矢を回収する際に、射場から対戦チーム毎にジョギングで標的設置場所まで移動し、矢を回収、その後は歩いて射場に戻るといった特徴が存在する。したがって、我々は本試合においてもこの方式を採用し、各ラウンドのエンド間には対象者は射場から標的までの間をジョギング、歩行した。また、第1ラウンドと第2ラウンドの間には約1時間の休憩時

Table 2. The contents of the archery competition conducted by our subjects<sup>a</sup>.

The first round	
Shootings	Time
Test shooting: 6 shootings (Distance: 50m)	The time limit 6 shootings: Four minutes
50m shooting: 6 shootings * 6 ends	The time limit of 6 shootings in one end: Four minutes
30m shooting: 3 shootings * 12 ends	The time limit of 3 shootings in one end: Two minutes
Total shooting in the first round: 78 shootings	The time required for the first round : About three hours
The second round	
Shootings	Time
Test shooting: 6 shootings (Distance: 50m)	The time limit 6 shootings: Four minutes
50m shooting: 6 shootings * 6 ends	The time limit of 6 shootings in one end: Four minutes
30m shooting: 3 shootings * 12 ends	The time limit of 3 shootings in one end: Two minutes
Total shooting in the second round: 78 shootings	The time required for the second round : About three hours
Total shooting in the competition: 156 shootings	The time required for the competition: About six hours

a: This game contents conformed with the rules of the Kanto students Archery Federation of Japan.

間を設け、同時に昼食を摂取させた。さらに、我々は以下に説明する調査項目を第1ラウンド開始直前(第1ラウンド前)とその直後(第1ラウンド後)、第2ラウンド終了直後(第2ラウンド後)に測定した。なお、本調査当日の屋外アーチェリー場の気象状況は天候:曇り、第1ラウンド前の気温:13°C、湿度:41%、第1ラウンド後は気温:20°C、湿度35%、第2ラウンド後は気温:18°C、湿度36%であった。

本調査は弘前大学医学部倫理委員会の承認を受けるとともに、事前に全対象者に調査の目的と内容を口頭および文書にて説明し、調査への参加、協力の同意を得て実施した。なお、対象者中未成年者である者は、調査に関する詳細を書面で保護者に説明し、同様の同意を得た。

## 2. 身体組成値

身体組成は身長、体重、体脂肪率、除脂肪体重を測定した。体重、体脂肪率、除脂肪体重は第1ラウンド前にインピーダンス法による体組成計(MC-980、(株)タニタ、東京)を用い測定した。また、体重は第1ラウンド前のみでなく、第1ラウンド後、第2ラウンド後の計3回測定した。

## 3. 血液生化学検査

採血は、朝食摂取後約1時間経過した第1ラウンド前と第1ラウンド後、第2ラウンド後の計3回実施し、1回15mlを採取した。3回の採血時にそれぞれに採取した末梢血約5mlは各血球成分と好中球機能、リンパ球機能の分析に用いた。また、残りの10mlは3000回転/分、10分間遠心分離し、血清を分離・抽出した後、その成分の分析に用いた。

血球成分の中から免疫関連細胞として白血球数、好中球数、リンパ球数を測定した。また、血清成分の測定項目は筋組織の変性、損傷あるいは疲労状況を把握する為に Aspartate Aminotransferase(AST)、Alanine Aminotransferase(ALT)、Lactate Dehydrogenase(LDH)、Creatine Kinase(CK)、免疫関連指標として免疫グロブリン(IgG、IgA、IgM)、補体(C3、C4)も測定した。また、

血清中の抗酸化機能をみる目的で superoxide dismutase (SOD) 活性も測定した。

血球成分のすべての項目はシスメックス社の自動血球測定装置(System XE-2100 and SE-9000, Kobe, Japan)を用い測定した。AST、ALT、LDH、CKはJSCC標準化対応法(JSCC standardized method)により測定した。免疫グロブリン、補体の測定は免疫比濁法(Turbidimetric Immunoassay:TIA)を用いた。血清SOD活性はNBT還元法にて測定した。

一方、一過性の運動後に体重の減少やヘモグロビン(Hb)、ヘマトクリット(Hct)値が上昇し脱水が示唆された場合、運動後の血清成分はHbやHct値を用い脱水の影響を補正し、これを評価することが妥当であるといわれている。本結果では体重が第1ラウンド終了後有意に減少したものの、第1、第2ラウンド後で血中の脱水状況を示すHbやHct値に有意な変化は認められなかった。したがって、本結果では第1、第2ラウンド後の血清成分を脱水補正せず評価した。

## 4. 好中球機能の測定方法

好中球の活性酸素種(reactive oxygen species: ROS)産生能、貪食能(phagocytic activity: PA)は、FACSCantoII (Becton Dickinson, San Jose, CA, USA)を用いてtwo-color法により測定した。ROS産生能は蛍光指示剤Hydroethidine (HE; 44.4μmol/l, Polyscience Inc., Warrington, PA, USA)を用いて、PAは蛍光色素 fluorescein isothiocyanate(FITC;Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)で標識したオプソニン化ザイモザン(FITC-OZ)を用いて測定した。具体的には、ヘパリンにて凝固抑制した全血100μlにHE22μlを加えた(最終濃度8μM)後37°Cで5分間インキュベートを行った。PA測定用のサンプルにはさらにFITC-OZ 25μlを加え(最終濃度5mg/ml)、37°Cで35分間インキュベートした。ROS産生能に関してはFITC-OZを添加していないHE標識全血100μlをコントロールとした。インキュベート終了後、各サンプルは溶血固定試薬Lyse and Fix (IMMUNOTECH, Marseille, France)により赤血球を溶血し固定した。アジ化ナトリウム加PBSにて2回

Table 3. Changes of serum myogenic enzymes by the archery competition.

	Before the first round	After the first round		After the second round	
AST (IU/l)	21.2 ± 3.5	23.0 ± 3.5	**	22.2 ± 4.1	
ALT (IU/l)	22.1 ± 9.5	22.6 ± 9.2		21.1 ± 9.0	††
LDH (IU/l)	184.2 ± 30.3	192.0 ± 18.5		194.0 ± 18.7	
CK (IU/l)	189.9 ± 93.2	215.6 ± 94.1	**	221.8 ± 88.2	**

Subjects were 9 male archers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

\*\* : p<0.01, Significant difference from the value before the first round.

†† : p<0.01, Significant difference from the value after the first round.

Table 4. Changes of blood leukocyte, neutrophil and lymphocyte cells during the archery competition.

	Before the first round	After the first round		After the second round	
Blood leukocyte cell counts (/μl)	5889 ± 1694	6256 ± 1799		7200 ± 1969	**†
Blood neutrophil cell counts (/μl)	3245 ± 1649	3845 ± 1958		4454 ± 1863	**
Blood lymphocyte cell counts (/μl)	2024 ± 429	1906 ± 437		2170 ± 355	

Subjects were 9 male archers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

\*\* : p<0.01, Significant difference from the value before the first round.

† : p<0.05, Significant difference from the value after the first round.

遠心洗浄した後、FACSCantoIIにて蛍光強度を測定した。PAに関しては測定する直前に Fluorescence Quenching Method に従ってトリパンプルー 30μl (0.25mg/ml,pH4.5) を加えることにより、表面に付着しているだけで好中球に取り込まれていないFITC-OZを除外し測定した<sup>19,20)</sup>。

以上の手順に従い最終的にFACSCantoIIにより、好中球1個あたりの平均蛍光強度 (fluorescence intensity:FI) を検出した。なお、本研究ではFIによる好中球1個当りのROS産生能、PAを好中球機能として評価した。

### 5. リンパ球機能の測定方法

#### ① 6カラー法

BD Multitest 6-color TBNK reagent (CD3-FITC/CD16-PE+CD56-PE/ CD45- PerCPCy5.5/ CD4PE-Cy7/ CD19- APC/ CD8- APC- Cy7) (BD Biosciences) によりリンパ球細胞表面抗原の分析ならびにT細胞、T細胞サブセット、B細胞及びnatural killer (NK) 細胞の測定をおこなった。

6カラー法による測定手順は、まず20-25℃に戻した試薬を試験管に20μl加えた。この試験管に抗凝固された全血50μlを分注し、穏やかに攪拌した。その後、室温(15~25℃)暗所で15分間インキュベートした。次に20-25℃に暖めた10倍希釈したFACS Lysing Solution (BD Biosciences, San Jose, CA, USA) 450μlを加え、穏やかに攪拌した。その後、これを室温(15~25℃)暗所で15分間インキュベートした。なお、サンプルは通常インキュベート後直ぐにフローサイトメーターにより測定するが、本調査では測定室と採血した場所が離れていた為、調整したサンプルは一旦冷蔵(4℃)、

暗所で保管し、24時間以内にFACSCantoIIを用いたフローサイトメトリー法により測定した。また、この方法によりT細胞(CD3+)、T cytotoxic (キラーT) 細胞(CD8+)、T helper (ヘルパーT) 細胞(CD4+)、B細胞(CD19+)、NK細胞(CD16+CD56+)の10000個のリンパ球中の抗原陽性細胞数を測定した。

#### ② 3カラー法

3カラー法による手順はまず20-25℃に戻した3種類の試薬 (Pacific Blue TM Mouse Anti-human CD4, Alexa Fluor®488 Mouce Anti-Human CD183 (CXCR3)、PE Mouse Anti-Human CCR4) (BD Biosciences, San Jose, CA, USA)を各々5μl試験管に加えた。これに続き、この試験管に抗凝固された全血100μlを分注し、穏やかに攪拌した。また、これを室温(15~25℃)暗所で30分間インキュベートした。一方、コントロールとして20-25℃に戻したAlexa Fluor®488 Mouse IgG1 K Isotype control 5μlとPE Mouse IgG1 K Isotype control 20μl (ともにBD Bioscience) を試験管に加えた。この試験管に抗凝固された全血100μlを分注し、穏やかに攪拌した。また、これを室温(15~25℃)暗所で30分間インキュベートした。この両方の試験管に20-25℃に暖めた10倍希釈したFACS Lysing Solution(BD Biosciences)450μlを加え、穏やかに攪拌した。また、これを室温(15~25℃)暗所で15分間インキュベートした。その後、遠心分離(2000rpm,5分)し、およそ50μlを残して上清を吸引した。これに0.1%アジ化ナトリウム含PBSを2ml加え、沈殿を再懸濁した。次に、これを穏やかに攪拌した後、遠心分離(2000rpm,5分)して上清を除去した。さらに、これに5%パラホルムア

Table 5. Changes of serum immunoglobulins and complements during the archery competition.

	Before the first round	After the first round	After the second round	
IgG (mg/dl)	1108 ± 259	1128 ± 252	1116 ± 262	
IgA (mg/dl)	227.3 ± 53.9	226.8 ± 55.0	220.0 ± 58.0	**††
IgM (mg/dl)	119.7 ± 42.7	119.6 ± 44.4	119.0 ± 46.3	
C3 (mg/dl)	106.0 ± 26.4	108.1 ± 23.0	104.4 ± 23.5	†
C4 (mg/dl)	21.4 ± 6.1	21.6 ± 5.5	20.7 ± 5.6	*††

Subjects were 9 male archers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

\*: p<0.05, \*\*: p<0.01, Significant difference from the value before the first round.

†: p<0.05, ††: p<0.01, Significant difference from the value after the first round.

Table 6. Changes of the ROS production, PA and serum SOD activity during the archery competition.

	Before the first round	After the first round	After the second round	
ROS production per cell (FI)	845 ± 271	892 ± 271	1003 ± 292	
PA per cell (FI)	7060 ± 1074	5426 ± 706	5334 ± 788	**
Serum SOD (%)	10.6 ± 1.5	10.3 ± 1.5	10.4 ± 1.8	

Subjects were 9 male archers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

ROS production: reactive oxygen species production in neutrophils

PA: phagocytic activity in neutrophils

SOD: superoxide dismutase

FI: fluorescence intensity

\*\* : p<0.01, Significant difference from the value before the first round.

ルデヒド溶液 50μl を加えて攪拌し、固定した。調整したサンプルは6カラー法と同様の理由から、一旦、冷蔵(4°C)、暗所で保管し、24時間以内にFACSCantoIIを用いたフローサイトメトリー法により測定した。すなわち、この方法により T helper 1 (Th1) 細胞 (CD183+)、T helper 2 (Th2) 細胞 (CCR4+) のリンパ球 5000 個中の抗原陽性細胞数を測定した。

## 6. 統計解析

結果は、すべて平均値±標準偏差で示した。また、各調査間の平均値の差は One-Way Repeated-Measures ANOVA 及び Bonferroni 法を用い統計学的検討を行った。また、これら平均値の差は p<0.05 をもって統計学的に有意差ありとした。

## 結果

Table 1 は対象者の身体的特徴と試合による体重の変化を示している。体重が第1ラウンド前値に比べ第1ラウンド後有意に低下した (p<0.01)。

Table 3 は試合による筋逸脱酵素値の変化を示している。AST、CK は第1ラウンド前値に比べ第1ラウンド後有意に上昇した (ともに p<0.01)。第1ラウンド後の CK は第1ラウンド前値に比べ有意に上昇した (p<0.01)。また、第2ラウンド後の CK は第1ラウンド前値に比べ有意に上昇し (p<0.01)、3回の測定値のなかで最も高い値を示した。

Table 4 は試合による白血球・好中球・リンパ球数の変化を示している。第2ラウンド後の白血球数は、第1ラウンド前及び後の値に比べ有意に上昇した (p<0.01、

p<0.05)。また、第2ラウンド後の好中球数は第1ラウンド前値に比べ有意に上昇した (p<0.01)。

Table 5 は試合による免疫グロブリン、補体の変化を示している。第2ラウンド後の IgA は第1ラウンド前及び後の値に比べ有意に低下した (ともに p<0.01)。第2ラウンド後の C3 は第1ラウンド前値に比べ有意に低下した (p<0.05)。第2ラウンド後の C4 は第1ラウンド前及び後の値に比べ有意に低下した (p<0.05、p<0.01)。

Table 6 は試合による ROS 産生能、PA、血清 SOD 活性の変化を示している。第1ラウンド後及び第2ラウンド後の PA は第1ラウンド前値に比べ有意に低下した (ともに p<0.01)。また、有意ではないが、第1、第2ラウンド後の ROS 産生能が第1ラウンド前値に比べ上昇する傾向が観察された。

Table 7 は試合によるリンパ機能の変化を示している。第2ラウンド後の B 細胞数が第1ラウンド前及び後の値に比べ有意に上昇した (ともに p<0.01)。

## 考察

運動実施に伴う激しい筋活動が筋組織を変性、損傷、あるいは筋膜の透過性を亢進させ、筋組織中の筋逸脱酵素が血中に湧出することが多くの研究により明らかにされている<sup>21-23)</sup>。また、これにより筋逸脱酵素値がアスリートにおける筋組織の変性や損傷、筋疲労の指標として有効であることが示唆されている<sup>21-23)</sup>。本結果では AST が第1ラウンド後に有意に上昇した。また、筋の変性・損傷状況に最も鋭敏に反応する CK が第1ラウンド終了後に有意に上昇し、第2ラウンド後

Table 7. Changes in subpopulations of lymphocytes during the archery competition.

	Before the first round	After the first round	After the second round	
T cell (CD3+) <sup>a</sup>	1432 ± 456	1355 ± 378	1530 ± 355	
Killer T cell (CD8+) <sup>a</sup>	501 ± 186	482 ± 174	543 ± 173	
Helper T cell (CD4+) <sup>a</sup>	812 ± 274	758 ± 198	854 ± 185	
Th1 cell (CD183+) <sup>b</sup>	394 ± 118	412 ± 130	491 ± 139	
Th2 cell (CCR4+) <sup>b</sup>	503 ± 210	414 ± 130	501 ± 155	
B cell (CD19+) <sup>a</sup>	249 ± 80	270 ± 81	365 ± 98	**††
NK cell (CD16+CD56+) <sup>a</sup>	318 ± 137	261 ± 101	252 ± 75	

Subjects were 9 male archers.

Values are shown as the mean ± standard deviation.

a: For phenotypical analyses per 10000 lymphocytes.

b: For phenotypical analyses per 5000 lymphocytes.

\*\* : p<0.01, Significant difference from the value before the first round.

†† : p<0.01, Significant difference from the value after the first round.

にはさらに上昇した。すなわち、これらの結果は、本対象者で行われたアーチェリーの試合が彼らに筋組織の変性や損傷をもたらしていたことを示唆していた。一方、今回測定した筋逸脱酵素値の結果から、本対象者のどの部位の筋組織に変性や損傷があったかを明らかにすることはできない。しかし、幾つかの先行研究においてアーチェリー選手でみられる外傷や慢性的スポーツ障害が上肢に集中することが明らかにされていることから<sup>5,6)</sup>、この競技の特徴ともいえる試合中のシューティング動作の繰り返し、主に本対象者の上肢筋群に変性や損傷をもたらしていた可能性は高いと考えられた。

白血球数や好中球が一過性の運動により上昇し、その上昇が運動強度に依存することが多くの研究により明らかにされている<sup>24)</sup>。また、これが運動により生じた筋組織の変性や損傷に対する炎症反応であり、幾つかの炎症性サイトカインの関与により発現することが明らかにされている<sup>25)</sup>。さらに、これらの上昇が炎症反応によるものだけでなく、運動そのものが幾つかのストレスホルモンを直接的に刺激することによってもたらされるストレス反応の一種である可能性も示唆されている<sup>26)</sup>。すなわち、本結果で第2ラウンド後にみられた白血球、好中球数の有意な上昇は、アーチェリーの試合により本対象者で筋組織の変性、損傷由来の炎症反応とストレス反応が亢進していたことを示唆していた。

白血球や好中球と共に免疫機能の一部を担う免疫グロブリンや補体は運動により上昇あるいは低下、変化しないという報告がみられ、必ずしも一致した見解は得られていない<sup>27-29)</sup>。そのなかで、Dufauxらは2時間半のランニング後にC3、C4が上昇することを示し、これが高強度運動に起因する筋損傷が引き金となり補体系が活性化することによってもたらされる可能性があることを示唆している<sup>30)</sup>。また、これらの体内での活性化は、白血球や好中球と同様、各種ストレスホルモンや炎症性サイトカインの働きによることが明らかとなっている<sup>24-26)</sup>。すなわち、本結果で第2ラ

ウンド後にIgA、C3、C4が有意に低下した要因の一つとして、これらが試合により発現した筋組織の変性、損傷に対して活性化、動員され、最終的にこれらの血中循環量が低下した可能性があると考えられた。また、もう一つの要因として、本対象者で行われた試合が彼らにオーバーリーチングとなるような身体疲労を発現させ、免疫グロブリン及び補体の血中循環量を調節するカテコールアミンとコルチゾールの分泌量をそれぞれ低下、上昇させることでこれらを低下させた可能性も否定できないと考えられた。

好中球は免疫グロブリンや補体が体内に侵入あるいは体内で発生した異物に接着(オプソニン化)し、これを効率良く貪食、殺菌処理するという免疫機能を有している<sup>31)</sup>。また、この時、好中球はオプソニン化された異物を活性酸素種を産生することにより処理する。一方、好中球が自ら産生するROSで体内に侵入あるいは体内で生じた異物に対して殺菌能を発揮する反面、ROSが過剰に生成された場合、これが正常な細胞までも傷つけ酸化組織傷害をもたらす可能性も示唆されている<sup>32,33)</sup>。運動と好中球機能を調査した過去の研究には、急性運動負荷後にROS産生能は上昇する<sup>34,35)</sup>、あるいは減少するという報告<sup>36,37)</sup>がみられる。

一方、運動とPAの関連を調査した幾つかの研究は、一過性の運動を実施した後、PAが亢進するあるいは不変であることを報告している<sup>34,36,38)</sup>。また、Gabrielらは激しい運動の実施後に好中球1個あたりのPAが低下することを報告している<sup>39)</sup>。さらに、ROS産生能とPAを同時に調べた我々の研究では、一過性の運動負荷後にROS産生能が上昇、PAが低下することが示されている<sup>7-17)</sup>。本結果では第1ラウンド及び第2ラウンド後にPAが有意に低下した。すなわち、この結果は対象者により実施されたアーチェリーの試合が対象者のPAを抑制したことを示唆していた。一方、これをもたらす要因の一つとして、我々はこの機能を調節するカテコールアミンとコルチゾールが、試合による身体疲労由来のオーバーリーチングの発現によりそ

れぞれ低下、上昇したことによりもたらされた可能性があると考えている<sup>24,26)</sup>。さらに、幾つかの先行研究で好中球が運動実施に伴うストレス反応、炎症反応に対して動員、消費された場合、これが骨髄からリアルタイムに増員、補充されることが明らかにされている<sup>40,41)</sup>。また、これらの研究はこれにより新たに補充された好中球は成熟しておらず機能的に未熟であることを指摘している。すなわち、本結果で試合後に PA 機能が低下したもう一つの要因として、試合に伴い減少、補充された好中球が機能的に脆弱であったことがこれに影響した可能性があると考えられた。

一方、我々はこれまで多くのアスリートを対象に一過性の運動負荷に対する好中球の ROS 産生能と PA の反応を観察し、これを観察することが対象者の内的因子としての身体コンディションや疲労状況、外的因子としての負荷される運動強度の適正の判定に有効となる可能性を示唆している<sup>7-18)</sup>。すなわち、我々は身体コンディションが良好な対象者に運動を負荷し、運動後 ROS 産生能、PA が共に低下した場合、これが好中球機能を破綻させるレベルの高強度運動負荷であったと判定できると考えている。また、同様の条件下で運動負荷後 ROS 産生能、PA が共に上昇、あるいは ROS 産生能が上昇、PA が低下を示すようであれば、負荷した運動強度が好中球の適応範囲レベルであったと判定できると考えている。したがって、本結果で第 1 ラウンド後、第 2 ラウンド後共に ROS 産生能は上昇 (有意差なし)、PA は低下 (有意差あり) する傾向が観察されたことは、本対象者が実施した試合が彼らにとって好中球機能を破綻させるほどの運動強度ではなかったことを示唆していた。

リンパ球は、好中球とともに体外から侵入あるいは体内で発生した異物に免疫機能を発揮する免疫担当細胞である。また、異物に対する生体防御反応は自然免疫に位置づけられる好中球が一次的に働き、獲得免疫に位置づけられるリンパ球が二次的に作用するといわれている<sup>24)</sup>。また、リンパ球は大きくは T 細胞、B 細胞、NK 細胞の 3 つに分類され、T 細胞はさらに幾つかのサブセットに分類される。このうち NK 細胞だけは自然免疫と位置づけられ、ウイルスに感染した細胞や腫瘍細胞表面上マーカーを認識して攻撃する。一方、免疫応答の調節や感染細胞の破壊を行う T 細胞は、主に免疫の調節機能をもつヘルパー T 細胞とウイルス感染細胞などを排除する機能をもつキラー T 細胞に区分される。また、ヘルパー T 細胞は炎症性サイトカインを分泌する Th1 と抗体の産生誘導に関わるサイトカインを分泌する Th2 に分類される。一方、B 細胞は抗原刺激により活性化され幼若化-増殖-成熟し、抗原と対応する抗体(免疫グロブリン)産生を行う。一方、一過性の高強度急性運動負荷とリンパ球機能の関連を調査した先行研究は、リンパ球及びその分画は運動により上昇し、運動後は運動前値以下まで低下することを示している<sup>24)</sup>。また、これらの循環量や機能に

はストレスホルモンであるコルチゾールやカテコールアミンが関与していることが明らかにされている<sup>26)</sup>。本結果では B 細胞数のみが第 2 ラウンド後有意に上昇した。すなわち、これは同様に第 2 ラウンド後に観察された IgA の有意な低下に呼応した B 細胞の働きであり、減少した免疫グロブリンの産生を促すためにストレスホルモンの働きを介して B 細胞が活性化したと考えられた。

一方、本研究においては幾つかのリミテーションが存在する。その一つは本研究で設定した試合が、練習試合であったことである。すなわち、アーチェリー選手が参加する本当の試合では、本研究で明らかにした身体疲労だけでなく、様々な精神的ストレスに曝露されたことにより精神的疲労も発現であろうことは容易に推察できる。しかしながら、現状ではアーチェリーの実践現場や各競技大会の運営組織で本研究の実施を受け入れる体制もいまだ整っておらず、これを実行することは非常に難しいことであった。また、本研究では筋の変性、損傷を筋逸脱酵素値で評価し、試合によりこれが出現することを明らかにした。しかし、これが上肢、下肢、あるいは体幹、どの筋組織が変性、損傷し、本結果をもたらしたかを判定することはできなかった。したがって、今後は本研究で設定した研究プロトコールに筋電図測定を加え、同時に測定するなど、新たな研究プロトコールを設定、実行していく必要があると考えられた。

## まとめ

本調査の結果、アーチェリーの試合は、筋組織の変性、損傷と免疫機能の低下をもたらす可能性が示唆された。また、これがアーチェリー選手で試合により発現するオーバーリーチングの一部である可能性があると考えられた。

一方、アーチェリーの試合による筋組織の変性、損傷や免疫機能の低下は、我々がこれまで行ってきたラグビーや柔道、相撲、サッカー選手の試合やトレーニング後の影響より小さなものであった。また、これが他のスポーツ種目に比して活動中の身体活動量が低いことによるものであると考えられた。しかし、その程度が低いながらもアーチェリー選手においても他のスポーツ種目と同様に活動後に筋組織の変性、損傷や免疫機能の低下がみられたことは、これが彼らで観察される様々なスポーツ障害の発症リスク要因の一つとなっている可能性も高いと考えられた。したがって、アーチェリー選手における活動後の健康管理及びコンディショニング策の一つとして、筋疲労の回復と炎症の軽減、消去は重要な要素となると考えられた。

## 謝辞

本論文の作成にあたり、本研究の趣旨を理解し快く

協力していただいた日本体育大学学友会アーチェリ一部の部員の皆様に心から感謝いたします。

なお本研究は、平成22年度～平成26年度科学研究費補助金(基盤研究(A)、課題番号22249019)の助成を受けたものである。

(受稿2014/11/28 受理2014/12/15)

文献

- 1) Fry RW, Morton AR, Keast D: Overtraining in athletes. An update. *Sports Med* 1991;12:32-65.
- 2) Halson SL, Jeukendrup AE: Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Med* 2004;34:967-81.
- 3) Coutts AJ, Reaburn P, Piva TJ, Rowsell GJ: Monitoring for overreaching in rugby league players. *Eur J Appl Physiol* 2007;99:313-24.
- 4) Mahler DA, Froelicher VF, Mille NH, York T: General principle of the exercise prescription. Kenny WL, ed. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription 5th edition Japanese Version*. Tokyo: Nankodo; 1997:120-36(in Japanese).
- 5) Rayan GM: Archery-related injuries of the hand, forearm, and elbow. *South Med J* 1992;85:961-4.
- 6) Naraen A, Giannikas KA, Livesley PJ: Overuse epiphyseal injury of the coracoid process as a result of archery. *Int J Sports Med* 1999;20:53-5.
- 7) Ueno Y, Umeda T, Takahashi I, Iwane K, Okubo N, Kuroiwa J, Miyazawa M et al: Changes in immune functions during a peaking period in male university soccer players. *Luminescence* 2013;28:574-81.
- 8) Tsubakihara T, Umeda T, Takahashi I, Matsuzaka M, Iwane K, Tanaka M, Matsuda M et al: Effects of soccer matches on neutrophil and lymphocyte functions in female university soccer players. *Luminescence* 2013;28:129-35.
- 9) Koga T, Umeda T, Kojima A, Tanabe M, Yamamoto Y, Takahashi I, Iwasaki H et al: Influence of a 3-month training program on muscular damage and neutrophil function in male university freshman judoists. *Luminescence* 2013;28:136-42.
- 10) Umeda T, Saito K, Matsuzaka M, Nakaji S, Totsuka M, Okumura T, Tsukamoto T et al: Effects of a bout of traditional and original sumo training on neutrophil immune function in amateur university sumo wrestlers. *Luminescence* 2008;23:115-20.
- 11) Yamamoto Y, Nakaji S, Umeda T, Matsuzaka M, Takahashi I, Tanabe M, Danjo K et al: Effects of long-term training on neutrophil function in male university judoists. *Br J Sports Med* 2008;42:255-9.
- 12) Umeda T, Yamai K, Takahashi I, Kojima A, Yamamoto Y, Tanabe M, Totsuka M et al: The effects of a two-hour judo training session on the neutrophil immune functions in university judoists. *Luminescence* 2008;23:49-53.
- 13) Takahashi I, Umeda T, Mashiko T, Chinda D, Oyama T, Sugawara K, Nakaji S: Effects of rugby sevens matches on human neutrophil-related nonspecific immunity. *Br J Sports Med* 2007;41:13-8.
- 14) Suzuki M, Umeda T, Nakaji S, Shimoyama T, Mashiko T, Sugawara K: Effect of incorporating low intensity exercise into the recovery period after a rugby match. *Br J Sports Med* 2004;38:436-40.
- 15) Chinda D, Nakaji S, Umeda T, Shimoyama T, Kurakake S, Okamura N, Kumae T et al: A competitive marathon race decreases neutrophil functions in athletes. *Luminescence* 2003;18:324-9.
- 16) Chinda D, Umeda T, Shimoyama T, Kojima A, Tanabe M, Nakaji S, Sugawara K: The acute response of neutrophil function to a bout of judo training. *Luminescence* 2003;18:278-82.
- 17) Yaegaki M, Umeda T, Takahashi I, Yamamoto Y, Kojima A, Tanabe M, Yamai K et al: Measuring neutrophil functions might be a good predictive marker of overtraining in athletes. *Luminescence* 2008;23:281-6.
- 18) Suda Y, Umeda T, Watanebe K, Kuroiwa J, Sasaki E, Tsukamoto T, Takahashi I et al: Changes in neutrophil functions during a 10-month soccer season and their effects on the physical condition of professional Japanese soccer players. *Luminescence* 2013;28:121-8.
- 19) Hed J: The extinction of fluorescence by crystal violet and its use to differentiate between attached and ingested micro-organisms in phagocytosis. *FEBS Lett* 1977;1:357-61.
- 20) Sahlin S, Hed J, Rundquist I: Differentiation between attached and ingested immune complexes by a fluorescence quenching cytofluorometric assay. *J Immunol Methods* 1983;60:115-24.
- 21) Ebbeling CB, Clarkson PM: Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 1989;7:207-34.
- 22) Flynn MG, Pizza FX, Boone Jr JB, Andres FF, Michaud TA, Rodriguez Zayas JR: Indices of training stress during competitive running and swimming seasons. *Int J Sports Med* 1994;15:21-6.
- 23) Koutedakis Y, Raafat A, Sharp, Rosmarin MN, Beard MJ, Robbins SW: Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness* 1993;33:252-7.
- 24) Pedersen BK, Nielsen HB: Acute exercise and immune system. Pedersen BK, ed. *Exercise and immunology*. New York: Springer, 1997:5-38.
- 25) Pedersen BK, Rohde T, Bruunsgaard H: Exercise and cytokines. Pedersen BK, ed. *Exercise Immunology*. New York: Springer, 1997:89-111.
- 26) Pedersen BK, Kappel M, Klokner M: Possible role of stress hormones in exercise-induced immunomodulation. In Pedersen BK, ed. *Exercise Immunology*. New York: Springer, 1997:39-60.
- 27) MacKinnon LT, Jenkins DG: Decreased salivary immunoglobulins after intense interval exercise before and after training. *Med Sci Sports Exerc* 1993;27:678-83.
- 28) Nieman DC, Tan SA, Lee JW, Berk LS: Complement

- and immunoglobulin levels in athletes and sedentary controls. *Int J Sports Med* 1989;10:124-8.
- 29) Thomsen BS, Rødgaard A, Tvede N, Hansen FR, Steensberg J, Halkjaer Kristensen J, Pedersen BK: Levels of complement receptor type one (CR1,CD35) on erythrocytes, circulating immune complexes and complement C3 split products C3d and C3c are not changed by short-term physical exercise or training. *Int J Sports Med* 1992;13:172-5.
- 30) Dufaux B, Order U: Complement activation after prolonged exercise. *Clinica Chimica Acta* 1989;179:45-50.
- 31) Silva MT: Neutrophils and macrophages work in concert as inducers and effectors of adaptive immunity against extracellular and intracellular microbial pathogens. *J Leukoc Biol* 2010;87:805-13.
- 32) Pyne DB: Exercise-induced muscle damage and inflammation: a review. *Aust J Sci Med Sport* 1994;26:49-58.
- 33) Duarte JA, Appell HJ, Carvalho F, Bastos ML, Soares JM: Endothelium-derived oxidative stress may contribute to exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med* 1993;14:440-3.
- 34) Pyne DB: Regulation of neutrophil function during exercise. *Sports Med* 1994;17: 245-58.
- 35) Singh A, Failla ML, Deuster PA: Exercise-induce changes in immune function: effects of zinc supplementation. *Appl Physiol* 1994;76:2298-303.
- 36) Smith JA, Telford RD, Mason IB, Weidemann MJ: Exercise, training and neutrophil microbicidal activity. *Int J Sports Med* 1990;11:179-87.
- 37) Hack V, Strobel G, Weiss M, Weicker H: PMN cell counts and phagocytic activity of highly trained athletes depend on training period. *J Appl Physiol* 1994;77: 1731-5.
- 38) Ortega Rincon E: Physiology and biochemistry: influence of exercise on phagocytosis. *Int J Sports Med* 1994;15:S172-8.
- 39) Gabriel H, Muller HJ, Kettler K, Brechtel L, Urhausen A, Kindermann W: Increased phagocytic capacity of the blood, but decreased phagocytic activity per individual circulating neutrophil after an ultradistance run. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1995;71:281-4.
- 40) McCarthy DA, Dale MM: The leucocytosis of exercise. *Sports Med* 1988;6: 333-63.
- 41) Pyne DB, Baker MS, Fricker PA, McDonald WA, Telford RD, Weidemann MJ: Effects of an intensive 12-wk training program by elite swimmers on neutrophil oxidative activity. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:536-42.

## Influence of Archery Game on Muscle Fatigue and Immune Functions in the Male College Archers

Hiroshi YAMAMOTO<sup>1,2</sup>, Takashi UMEDA<sup>3</sup>, Ippei TAKAHASHI<sup>1</sup>, Katsuro YONEDA<sup>3</sup>, Tetsuya TSUBAKIHARA<sup>4</sup>,  
Teruaki KOMURO<sup>1,5</sup>, Miyuki KANEKO<sup>1,3</sup>, Shota KANDA<sup>1,3</sup>, Kaoru HIROSE<sup>1,6</sup>, Shigeyuki NAKAJI<sup>1</sup>

1 Department of Social Medicine, Hirosaki University Graduate School of Medicine  
2 Nippon Sport Science University, 3 Meijo University, 4 Tokyo City University,  
5 Kyoto Sangyo University, 6 National Defense Medical College

**Objective:** This is the first scientific research that thoroughly investigated the physical condition and physical fatigue of 9 male college archers after an archery match from their immune function and muscle fatigue points of view.

**Method:** On an investigation day, practice match consisting of two rounds were carried out. The first round was played in the morning, followed by the second round in the afternoon with 1 hour of break in between. The length of each round was 3 hours. Each subject shot 78 arrows in each round, 156 in total. The investigation parameters including muscle enzyme levels, levels of leukocyte, neutrophil and lymphocyte, neutrophil function, lymphocyte function and serum SOD activity were measured at three points - before and after the first round, and after the second round.

**Result:** Levels of AST and CK increased significantly after the first round, and further increase of CK level was observed after the second round. Levels of leukocyte and neutrophils also increased significantly after the second round. However, levels of IgA, C3 and C4 showed significant decrease after the second round. Levels of neutrophil phagocytic activity decreased significantly after each round.

**Discussion:** The result obtained in this investigation suggested a suppression of immune function as well as change and damage in muscle tissues after the archery match.

**Keywords:** archery, serum myogenic enzymes, neutrophil functions, lymphocyte functions

別刷り請求先：梅田孝

〒468-8503 名古屋市天白区八事山 150 名城大学薬学部 健康・スポーツ科学研究室  
TEL&Fax: 052-839-2700 E-mail: tume@meijo-u.ac.jp