
研究報文

陸上長距離選手における暑熱環境での 唾液中免疫グロブリンAの分泌低下とその要因の検討

山崎 圭世子, 辻本 浩子, 大矢 直子,
山下 千晶, 米浪 直子

Decrease in Salivary Secretory Immunoglobulin A during the
Summer and Related Factors in Long-distance Runners

Kayoko Yamazaki, Hiroko Tsujimoto, Naoko Ohya,
Chiaki Yamashita and Naoko Komenami

Abstract

Depressed immune function during intensive training is associated with higher incidence of illness in athletes. Previous reports have suggested that resting salivary secretory immunoglobulin A (sIgA) levels are correlated with the incidence of upper respiratory tract infection symptoms. This study aimed to evaluate changes in sIgA of male long-distance runners during the summer. Fifteen male long-distance runners aged 19 ± 0 years were examined during the summer (June to July) and fall (October to November). Wet-bulb globe temperature was measured during training. Heart rate and rate of perceived exertion were recorded to monitor exercise intensity. Saliva samples were collected before and after training, and saliva flow rate and sIgA concentration were determined by enzyme-linked immunosorbent assay and expressed as secretion rate. Mood states, including total mood disturbance (TMD), were assessed using the Profile of Mood States. Energy and nutrient intake was evaluated using a food frequency questionnaire. After long-distance running during the summer, sIgA secretion rate was decreased and TMD was increased. Resting sIgA secretion rate was significantly lower during the summer than during the fall. There were no significant differences in energy or nutrient intake between summer and fall except for iron intake. These findings suggest that intensive exercise during the summer increases psychological stress and decreases sIgA secretion rate in long-distance runners. (Received October 13, 2014)

I. はじめに

競技力向上を目指すアスリートの多くが、高強度、長時間の運動トレーニングを実施している。しかし、過剰な運動トレーニングの継続は、全身倦怠感、抑うつ、疼痛、食欲不振、睡眠障害などの体調不良を引き起こすことがあり、競技力が低下するオーバートレーニング症候群が問題として指摘されている。

また、免疫機能の低下も過剰な運動負荷により生

じる問題のひとつである。日常的に激しい運動トレーニングを行うアスリートでは、いわゆる“かぜ”などの上気道感染症 (URTI) の感染リスクが高まると考えられており、マラソンなどの激しい持久性運動では、競技終了後2週間で50~70%の選手が感冒症状を呈し、そのリスクは通常の2~6倍になると報告されている¹⁾。

URTIの感染防御には、鼻腔および口腔内における局所免疫が重要な役割を果たしている。鼻腔、口腔、気道、腸管などの粘膜では、ウイルスや細菌に抗体活性をもつ分泌型免疫グロブリンA (secretory immunoglobulin A: sIgA) が粘液とともに多量に分

泌されており、微生物の体内への侵入を防ぐ第一次防御機構として作用する。非侵襲的に採取可能な唾液中のsIgAは、口腔内局所免疫能の指標として多くの研究で用いられている。これまでに、高強度運動では運動後に一過性の唾液sIgAレベルの低下が生じることや²⁻⁴⁾、合宿など継続的な高強度運動の実施により安静時sIgAレベルが低下すること⁵⁻⁹⁾が報告されている。さらに、唾液sIgA分泌の低下状態ではURTIリスクが高まることが報告されており^{5,6,9)}、唾液sIgAはアスリートにおける易感染性の関連因子であると考えられている。

一般に、URTIの発生は冬場に多いが、これは低温と乾燥という冬場の気候がインフルエンザウイルスなどの病原体の生存条件に適していることに加え、冷気の吸入や体温低下などのストレスに対する生理的な応答として呼吸器粘膜の血管収縮が起こり、免疫応答能が低下することなどが原因として挙げられている¹⁰⁾。一方、暑熱環境下での運動もまた大きな身体的・心理的ストレスとなり得る。暑熱環境では、運動意欲の減退、脱水や高体温による疲労・疲労感の増大、さらには食欲減退や睡眠不足などが生じやすい。疲労の蓄積や心理的ストレス¹¹⁻¹²⁾、栄養¹³⁻¹⁴⁾、睡眠¹⁵⁾はいずれも免疫機能と関連があることから、暑熱環境下でトレーニングを行うアスリートでは、免疫機能の抑制が生じる可能性がある。しかしながら、暑熱環境に着目したアスリートの唾液sIgAについてのフィールド研究はほとんどない。

そこで、本研究では日常的にトレーニングを行う陸上長距離選手を対象に、暑熱環境における唾液sIgA分泌量の変化とその要因について検討を行った。

II. 方 法

1) 対象者

大学陸上部に所属する男子長距離選手15名を対象とした。対象者は、年齢 19 ± 0 歳、身長 169.6 ± 1.2 cm、体重 55.5 ± 0.8 kg、体脂肪率 $6.8 \pm 0.5\%$ であった。対象者には研究の目的と内容について十分に説明し、書面にて同意を得た。

2) 調査期間および手順

調査期間は2010年6-7月(夏期)および10-11月(秋期)であった。各項目の測定は対象者が通常行っている練習時に実施した。練習は週6日間、平

日15:00-18:00、土・日曜日14:00-18:00に持久性トレーニングを行っていた。練習中の水分摂取については、水およびスポーツドリンクを自由に摂取することを許可した。

練習中の環境温度(湿球黒球温度:WBGT)、心拍数、主観的運動強度(RPE)を測定し、練習開始30分前および練習終了30分後に体重測定、唾液採取、気分プロフィール検査(POMS)を行った。また、各調査日に睡眠状況アンケート調査、1か月毎に食事調査を実施した。

WBGTは、グラウンド上で乾球(DT)、湿球(WT)、黒球温度(GT)を測定し、以下の式により算出した。

$$WBGT = 0.7 WT + 0.2 GT + 0.1 DT$$

心拍数はPOLAR社製心拍計S810iを用いて測定した。RPEの測定は15段階Borgスケールを用いて実施した。体重および体脂肪率の測定はオムロン社製カラダスキャンHBF-356-Wを使用した。POMSは日本語版POMS検査用紙(金子書房)を使用して実施し、6つの気分因子「T-A(Tension-Anxiety:緊張-不安)」、「D(Depression-Dejection:抑うつ-落込み)」、「A-H(Anger-Hostility:怒り-敵意)」、「V(Vigor:活気)」、「F(Fatigue:疲労)」、「C(Confusion:混乱)」のT得点(標準化得点)およびTMD(Total Mood Disturbance:総合的不快感)得点を算出した。

唾液採取は、水で口腔内を十分にゆすいだ後、無味の脱脂綿を1分間に60回咀嚼させ、分泌された唾液を脱脂綿と共にサンプル容器に入れさせた。これを2回繰り返す、合計2分間採取した。唾液サンプルは秤量後、3000rpmで15分間遠心し、上清1mlに5μlの20%アジ化ナトリウムを加え-80℃で保存した。後日、ELISA法により唾液sIgAの定量を行い、濃度(μg/ml)に1分間あたりの唾液分泌量を乗じ、分泌速度(μg/min)を算出した。

睡眠状況アンケート調査は、「快(とてもよく眠れた)」「やや快(よく眠れた)」「普通(眠れた)」「やや不快(あまりよく眠れなかった)」「不快(全く眠れなかった)」の5段階の単一回答とし、「快(とてもよく眠れた)」～「普通(眠れた)」と回答した者を「睡眠良好群」、「やや不快(あまりよく眠れなかった)」または「不快(全く眠れなかった)」と回答した者を「睡眠不良群」とした。

食事調査は、エクセル栄養君食物摂取頻度調査FFQg Ver.3.0(建帛社)を用いて実施し、1日当たりのエネルギーおよび各栄養素の摂取量を算出した。

3) 統 計

データは平均値±標準誤差で示した。統計処理は、IBM SPSS statistics 22を用いて行った。練習前後および夏期と秋期での比較にはWillcoxonの符号付き順位検定を用いた。睡眠状況アンケートの夏期と秋期の比較にはカイ2乗検定を使用した。統計処理の結果は危険率5%未満を有意とした。

Ⅲ. 結 果

1) 運動強度および WBGT

練習中の平均心拍数は、夏期 159 ± 1 bpm, 秋期 146 ± 4 bpmであった。RPEは、夏期 15.0 ± 0.5 , 秋期 14.0 ± 0.5 で、それぞれ「きつい」、「ややきつい〜きつい」に相当した。練習中のWBGTは夏期 25.5 ± 0.3 °C, 秋期 16.3 ± 4.4 °Cであった。

2) 体重変化

体重は、夏期練習前 55.6 ± 0.8 kg, 練習後 54.2 ± 0.8 kg, 秋期練習前 56.0 ± 0.7 kg, 練習後 54.9 ± 0.8 kgであった。練習前後での体重減少率は夏期 $2.5 \pm 0.2\%$, 秋期 $2.0 \pm 0.1\%$ であった。いずれの時期も練習後に体重の有意な減少が見られ ($p < 0.001$), また練習後の体重および体重減少率において、夏期と秋期の間に有意差が認められた ($p < 0.05$)。

3) POMS

表1に、POMSにおけるT得点およびTMD得点の変化を示した。6因子の練習前後の比較では、夏期においてV因子の有意な低下とF因子の有意な上昇が見られ ($p < 0.01$), 秋期においてはT-A因子、D

因子、C因子の有意な低下が見られた ($p < 0.01$)。調査時期による比較では、練習前のT得点はいずれの因子も有意差はなく、練習後においては、夏期は秋期に比べT-A因子およびF因子が有意に高く ($p < 0.05$), C因子が有意に低かった ($p < 0.05$)。TMD得点は、夏期でのみ練習後に有意な上昇が見られ ($p < 0.01$), 夏期の練習後のTMD得点は、秋期よりも有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

4) 唾液 sIgA

図1(a)に唾液分泌速度の変化を示した。唾液分泌速度は1分間当たりの唾液分泌量を表す。唾液分泌速度は、夏期練習前 0.62 ± 0.07 g/min, 練習後 0.48 ± 0.05 g/min, 秋期練習前 0.72 ± 0.07 g/min, 練習後 0.66 ± 0.07 g/minで、いずれの時期も練習後に有意な低下が見られた (夏期: $p < 0.01$, 秋期: $p < 0.05$)。また、練習後の唾液分泌速度は、夏期が秋期に比べ有意に低値を示した ($p < 0.01$)。

図1(b)に唾液sIgA濃度の変化を示した。唾液sIgA濃度は、夏期、秋期のいずれも練習前後で有意な変化はなく、時期による有意差も認められなかった。

図1(c)には唾液sIgA分泌速度の変化を示した。唾液sIgA分泌速度は、夏期練習前 81.8 ± 8.3 μg/min, 練習後 67.1 ± 6.5 μg/min, 秋期練習前 107.0 ± 11.2 μg/min, 練習後 99.2 ± 9.3 μg/minで、夏期のみ練習後に有意な低下が見られた ($p < 0.01$)。また、練習前、練習後のいずれにおいても、夏期の唾液sIgA分泌速度は秋期よりも有意に低値を示した (練習前: $p < 0.05$, 練習後: $p < 0.01$)。

表1 POMSにおけるT得点およびTMD得点の変化

	夏 期			秋 期			夏期練習後 vs 秋期練習後
	練習前(点)	練習後(点)	p 値	練習前(点)	練習後(点)	p 値	p 値
T-A	48 ± 2	48 ± 2	n.s.	46 ± 2	44 ± 2	p<0.01	p<0.05
D	52 ± 3	52 ± 2	n.s.	51 ± 3	49 ± 3	p<0.01	n.s.
A-H	47 ± 3	46 ± 2	n.s.	45 ± 2	45 ± 3	n.s.	n.s.
V	43 ± 2	40 ± 2	p<0.01	42 ± 2	43 ± 2	n.s.	n.s.
F	49 ± 2	53 ± 2	p<0.01	48 ± 2	49 ± 2	n.s.	p<0.05
C	48 ± 2	49 ± 2	n.s.	49 ± 2	47 ± 2	p<0.01	p<0.05
TMD	200 ± 11	209 ± 9	p<0.05	197 ± 9	191 ± 9	n.s.	p<0.05

平均値±標準誤差 (n=15)

2群間の比較はWillcoxonの符号付き順位検定による
夏期練習前 vs 秋期練習前: n.s.

5) 睡眠状況アンケート調査

有効回答数は夏期延べ79名，秋期延べ84名であった。このうち，睡眠良好群は夏期75.9%（60名），秋期92.9%（78名），睡眠不良群は夏期24.1%（19名），秋期7.1%（6名）で，時期による有意差が認められた（ $p < 0.01$ ）。

6) 食事調査

表2にエネルギーおよび栄養素の摂取状況を示した。有効回答数は12名であった。エネルギー摂取量は，夏期2436 ± 124 kcal，秋期2501 ± 144 kcalで，時期による有意差は見られなかった。各栄養素の摂

取状況うち，鉄の摂取量は夏期7.5 ± 0.6 mg，秋期8.3 ± 0.6 mgで夏期は秋期よりも有意に低値を示した。その他の栄養素についてもすべての項目で夏期は秋期よりも摂取量が少なかったが，時期による有意差は認められなかった。

IV. 考 察

本研究では，日常的にトレーニングを行う陸上長距離選手を対象に，6-7月（夏期）および10-11月（秋期）における唾液sIgA分泌量の変化とその要因について検討した。

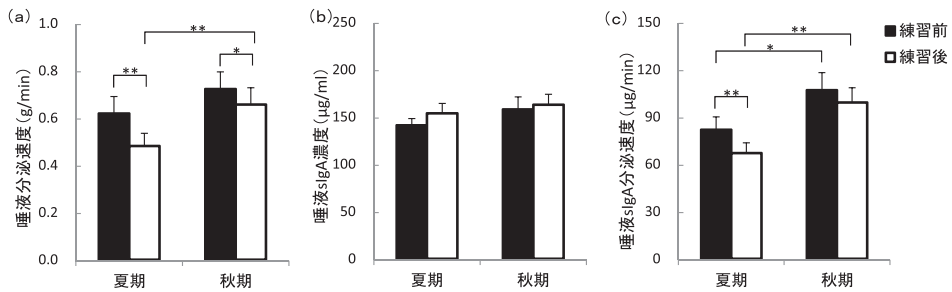


図1 (a) 唾液分泌速度, (b) 唾液sIgA濃度, (c) 唾液sIgA分泌速度の変化
 平均値 ± 標準誤差 (n=15)
 2群間の比較はWillcoxonの符号付き順位検定による (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

表2 エネルギーおよび栄養素摂取量

		夏 期	秋 期	p 値
エネルギー	kcal	2436 ± 124	2501 ± 144	n.s.
たんぱく質	g	78.8 ± 5.1	82.8 ± 5.6	n.s.
	%	12.9 ± 0.3	13.2 ± 0.3	n.s.
脂質	g	74.8 ± 6.3	77.4 ± 5.6	n.s.
	%	27.2 ± 1.1	27.6 ± 0.6	n.s.
炭水化物	g	347.8 ± 13.1	353.0 ± 17.8	n.s.
	%	59.9 ± 1.1	59.2 ± 0.6	n.s.
カルシウム	mg	655.0 ± 68.1	703.9 ± 67.1	n.s.
鉄	mg	7.5 ± 0.6	8.3 ± 0.6	$p < 0.05$
レチノール当量	μg	550.6 ± 44.2	587.5 ± 50.2	n.s.
ビタミンB1	mg	1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1	n.s.
ビタミンB2	mg	1.3 ± 0.1	1.4 ± 0.1	n.s.
ビタミンC	mg	67 ± 8	72 ± 9	n.s.
コレステロール	mg	382.1 ± 34.3	429.5 ± 68.6	n.s.
食物繊維総量	g	10.6 ± 0.8	11.5 ± 0.9	n.s.
食塩	g	8.5 ± 0.7	9.1 ± 0.8	n.s.

平均値 ± 標準誤差 (n=12)
 2群間の比較はWillcoxonの符号付き順位検定による

POMSの結果では、練習前後の変化として、秋期はネガティブな因子である「緊張-不安」「抑うつ-落込み」「混乱」が低下したのに対し、夏期では「活気」の低下と「疲労」の上昇が見られ、練習後のTMD(総合的不快感)得点は夏期が秋期よりも有意に高値を示した。夏期の練習中のWBGTは平均25.5℃で、「熱中症予防運動指針」では「警戒」に相当しており、夏期の暑熱環境が心理的ストレスを増大させていた可能性が考えられる。

運動と唾液sIgA分泌との関連について、フルマラソンなどの長時間の高強度運動では運動後に唾液sIgA分泌速度が低下することが報告されている²⁻⁴⁾。本研究においては、夏期でのみ練習後に唾液sIgA分泌速度の有意な低下が見られた。夏期では練習後に唾液分泌速度の低下と2.5%の体重減少が起きており、脱水が唾液sIgAの分泌低下に影響した可能性が考えられる。しかしながら、先行研究において、脱水時には唾液分泌速度の低下と共に唾液sIgA濃度の上昇が起り、唾液sIgA分泌速度には有意な変化がなかったことが報告されている¹⁶⁻¹⁷⁾。このことから、脱水以外にも夏期の唾液sIgA分泌低下の要因があるものと考えられる。唾液sIgAに影響を及ぼすものとして心理的ストレスが挙げられる¹¹⁻¹²⁾。前述のとおり、POMSの結果から夏期は秋期よりも練習後の疲労感や総合的な不快感が強く、暑熱環境での運動による心理的ストレスの増大が唾液sIgAの分泌に影響したものと推察される。また、唾液sIgA分泌の変動要因として日内変動が挙げられる。唾液sIgAの分泌は、早朝起床時に最も高く、午後は平坦なパターンを示すとされている¹⁸⁻¹⁹⁾。本研究では午後の一定時刻に唾液サンプルの採取を行っており、唾液sIgA分泌への日内変動の影響はなかったものと考えられる。

長期的に見た場合では、合宿期間など高強度運動の継続的な実施時において、安静時の唾液sIgA分泌が低下することが報告されている⁵⁻⁹⁾。本研究では、夏期の練習前の唾液sIgA分泌速度は秋期よりも有意に低く、慢性的な唾液sIgAの分泌低下が生じていた可能性が考えられる。

夏期の暑熱環境は、睡眠や食事などの日常生活にも影響を及ぼすことが多い。本研究では、睡眠状況について「あまり眠れなかった」または「全く眠れなかった」と答えた者の割合が、夏期で秋期よりも有意に多かった。適切な睡眠は免疫機能の維持に重要な要素であることから¹⁵⁾、睡眠状況が唾液sIgA分泌に影響していた可能性も考えられる。食事調査

では、鉄の摂取量が夏期は秋期よりも有意に少なかったものの、エネルギーおよびその他の栄養素については時期による有意差は認められなかった。しかしながら、アスリートにおいても栄養素の摂取状況は免疫機能に影響を及ぼすとされ¹³⁻¹⁴⁾、例えばたんぱく質の欠乏は感染の可能性を高めるという報告²⁰⁾や、持久系アスリートにおける糖質飲料の摂取が運動後の唾液sIgAレベルの低下を抑制したという報告³⁾がある。今後、唾液sIgAと睡眠状況や栄養摂取の関連についてさらに検討を行う必要がある。

V. まとめ

本研究では、男子陸上長距離選手を対象に、夏期(6-7月期)および秋期(10-11月期)における唾液sIgA分泌量の変化とその要因について検討した。

1. POMSでは、練習後の有意な変化として、夏期は「活気」の低下と「疲労」の上昇、秋期では「緊張-不安」「抑うつ-落込み」「混乱」の低下が見られ、練習後のTMD(総合的不快感)得点は夏期が秋期よりも有意に高値を示した。
2. 唾液sIgA分泌速度は、夏期のみ練習後に有意に低下した。また、夏期の唾液sIgA分泌速度は、練習前後ともに秋期に比べ有意に低値を示した。
3. 食事調査では、鉄の摂取量が夏期は秋期よりも有意に少なかった。エネルギーおよびその他の栄養素については時期による有意差は認められなかった。

これらのことから、継続的に高強度運動を行う陸上長距離選手において、暑熱環境下での運動による心理的ストレスの増大と唾液sIgA分泌量の低下が生じる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 樋口満 編：スポーツ現場に生かす運動生理・生化学，市村出版（2011）
- 2) 秋本崇之，赤間高雄，杉浦弘一，龍野美恵子，香田泰子，和久貴洋，河野一郎：持久性ランニングによる口腔局所免疫能の変動，*体力科学*，47，53-62（1998）

- 3) Nieman D. C., Henson D. A., Fagoaga O. R., Utter A. C., Vinci D. M., Davis J. M., Nehlsen-Cannarella S. L.: Change in salivary IgA following a competitive marathon race, *Int J Sports Med.*, **23**, 69-75 (2002)
- 4) Tomasi T. B., Trudeau F. B., Czerwinski D., Erredge S.: Immune parameters in athletes before and after strenuous exercise, *J Clin Immunol.*, **2**, 173-178 (1982)
- 5) Gleeson M., Pyne D. B., Austin J. P., Lynn F. J., Clancy R. L., McDonald W. A., Fricker P. A.: Epstein-Barr virus reactivation and upper-respiratory illness in elite swimmers, *MedSci Sports Exerc.*, **34**, 411-7 (2002)
- 6) 山内亮平, 清水和弘, 古川拓生, 渡部厚一, 竹村雅裕, 赤間高雄, 河野一郎: 大学ラグビー選手における合宿期間中の唾液中分泌型免疫グロブリンAの変動, *体力科学*, **58**, 131-142 (2009)
- 7) 秋本崇之, 赤間高雄, 香田素子, 和久貴洋, 林栄輔, 龍野美恵子, 河野一郎: 高強度トレーニングによる安静時唾液中分泌型IgAの変動. *体力科学*, **47**, 245-252 (1998)
- 8) Pedersen B. K., Rohde T., Ostrowski K.: Recovery of the immune system after exercise. *Actaphysiologicascandinavica*, **162**, 325-332 (1998)
- 9) Fahlman M. M., Engels H. J.: Mucosal IgA and URTI in American college football players: a year longitudinal study, *Medicine and science in sports and exercise*, **37**, 374-380 (2005)
- 10) 大野秀樹, 木崎節子 編: 運動と免疫 からだをまもる運動のふしぎ, ナップ (2009)
- 11) Bosch J. A., Ring C., Geus E. J., Veerman E. C., Nieuw Amerongen A. V.: Stress and secretory immunity, *International review of neurobiology*, **52**, 213-253 (2002)
- 12) Segerstrom S. C., Miller G. E.: Psychological Stress and the Human Immune System: A Meta-Analytic Study of 30 Years of Inquiry, *Psychological Bulletin*, **130**, 601-630 (2004)
- 13) Gleeson M., Nieman D. C., Pedersen B. K.: Exercise, nutrition and immune function. *Journal of sports sciences*, **22**, 115-125 (2004)
- 14) Gleeson M.: Can Nutrition Limit Exercise — Induced Immunodepression?, *Nutrition reviews*, **64**, 119-131 (2006)
- 15) Imeri L., Opp M. R.: How (and why) the immune system makes us sleep, *Nature Reviews Neuroscience*, **10**, 199-210 (2009)
- 16) Fortes M. B., Diment B. C., Di Felice U., Walsh N. P.: Dehydration decreases saliva antimicrobial proteins important for mucosal immunity. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, **37**, 850-859 (2012)
- 17) Oliver S. J., Laing S. J., Wilson S., Bilzon J. L., Walters R., Walsh N. P.: Salivary immunoglobulin A response at rest and after exercise following a 48 h period of fluid and/or energy restriction. *British journal of nutrition*, **97**, 1109-1116 (2007)
- 18) 赤間高雄, 秋本崇之, 河野一郎: スポーツ活動が口腔内局所免疫能に与える影響 — 唾液採取法の検討 —, 平成7年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. IX スポーツ活動が免疫に与える影響に関する研究 — 第2報 —, 7-17 (1995)
- 19) Hucklebridge F., Clow A., Evans P.: The relationship between salivary secretory immunoglobulin A and cortisol: neuroendocrine response to awaking and the diurnal cycle. *Int. J. Psychophysiol*, **31**, 69-76 (1998)
- 20) Calder P. C.: Branched-chain amino acids and immunity, *The Journal of nutrition*, **136**, 288-293 (2006)