

陸上競技選手における専門種目および性差が 中強度運動時の運動誘発性酸化ストレスに与える影響

木本理可¹, 神林 勲², 森田 憲輝³, 塚本 未来⁴,
阿部 千春⁵, 高野 みさと⁵, 藤井 達也⁵, 室田 千佳⁵,
内田 英二⁶, 武田 秀勝⁷

Effect of special events and gender differences on exercise-induced oxidative stress during moderate exercise in track and field athletes

Rika Kimoto¹, Isao Kambayashi², Noriteru Morita³, Miku Tsukamoto⁴, Chiharu Abe⁵,
Misato Takano⁵, Tatsuya Fujii⁵, Chika Murota⁵, Eiji Uchida⁶, Hidekatsu Takeda⁷

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of special events and gender differences on exercise-induced oxidative stress during moderate constant load exercise in track and field athletes. Seventeen healthy track and field athletes (age 20.6 ± 0.3 yr) were participated in this study. They were divided into three groups: male sprint runners group (MS, n=6), female sprint runners group (FS, n=6), and male long-distance runners group (ML, n=5). They pedaled a cycle ergometer for 60 min at intensity of 40 % maximal load. Urine samples were collected before exercise (Pre) and 1.5 hours after exercise (1.5h) for analyzing 8-hydroxy-deoxyguanosine (8-OHdG) in urine. Blood samples were collected Pre, thirty-minute of the start of exercise (Ex) and immediately after exercise (Post) for analyzing Diacron-Reactive Oxygen Metabolites (d-ROMs) level and conducting Oxy-adsorbent test. There was no significant difference in biomarkers of oxidative stress and antioxidant capacity between before and after exercise. These data suggest that characteristics and gender differences have no effect on exercise-induced oxidative stress during moderate exercise, and moderate constant load exercise may be safe for humans have a variety of characteristics.

Key words : moderate constant load exercise, 8-OHdG, d-ROMs, Oxy-adsorbent test, adaptation

1. 旭川工業高等専門学校
〒071-8142 旭川市春光台2-2-1-6
2. 北海道教育大学札幌校
〒002-8502 札幌市北区あいの里5-3
3. 北海道教育大学岩見沢校スポーツ教育課程
〒068-8642 岩見沢市緑が丘2-34-1
4. 東海大学国際文化学部
〒005-8601 札幌市南区南沢5-1-1-1
5. 北海道教育大学岩見沢校
〒068-8642 岩見沢市緑が丘2-34-1
6. 大正大学人間学部
〒170-8470 東京都豊島区西巣鴨3-20-1
7. 北星学園大学社会福祉部
〒004-8631 札幌市厚別区大谷地西2-3-1

著者連絡先 木本 理可
kimoto@asahikawa-nct.ac.jp

1. Asahikawa National College of Technology
2-2-1-6 Shunko-dai, Asahikawa 071-8142
2. Hokkaido University of Education Sapporo
5-3 Ainosato, Kita-ku, Sapporo 002-8502
3. Department of Sports Education, Hokkaido University of Education Iwamizawa
2-34-1 Midorigaoka, Iwamizawa 068-8642
4. School of International Culture Relations, Tokai University
5-1-1-1 Minaminosawa, Minami-ku, Sapporo 005-8601
5. Hokkaido University of Education Iwamizawa
2-34-1 Midorigaoka, Iwamizawa 068-8642
6. Faculty of Human Sciences, Taisho University
3-20-1 Nishi-sugamo, Toshima-ku, Tokyo 170-8470
7. School of Social Welfare, Hokusei Gakuen University
2-3-1 Oyachi, Atsubetsu-ku, Sapporo 004-8631

緒 言

近年、運動と酸化ストレスの関連について注目が集まっており、運動誘発性酸化ストレスの身体への影響についても、多くの見解が示されている。酸化ストレスとは、活性酸素種による脂質やタンパク質、DNA等生体組織の酸化損傷のことである。運動時には酸素摂取量が通常の10～15倍に達し、活動筋組織への酸素流量が安静時の約100倍に達する（Sen et al., 1994）。そのため、生体内の活性酸素種発生量が高まり、その結果、酸化ストレス増大の危険性が高まることが知られている。

これまで、運動誘発性酸化ストレスの増加は、赤血球膜タンパク質の損傷による赤血球変形能の低下（Huang et al., 2000）や、免疫力の指標であるナチュラルキラー細胞活性の低下要因となることが報告されている（Betten et al., 2004）。また、運動時の疲労や運動後の筋肉痛にも、運動誘発性酸化ストレスの増大が関与していることが明らかとなっており（Nikolaidis et al., 2008）、競技者のコンディショニングやパフォーマンス発揮の観点においても、運動誘発性酸化ストレスが悪影響を及ぼす可能性がある。したがって、その抑制について調査することは、よりよいパフォーマンス発揮への一助となるものである。

同強度、同時間の運動負荷であっても、酸化ストレス増大に対する応答は、実施者の日頃行っている運動の種類や性別の違い等により異なる可能性がある。一般的に持続的トレーニングは最大酸素摂取量の増加など、エネルギー代謝機能を亢進させ、その一方で抗酸化系能力の増強によって運動誘発性酸化ストレスを軽減することが示されている（林ほか, 2012）。また、女性ホルモンの1つであるエストロゲンは活性酸素種を消去する抗酸化作用をもち、運動による筋損傷の程度や修復過程および運動後の炎症を和らげることも明らかとなっている（Kendall and Eston, 2002; Michos et al., 2006）。以上のことから、日頃から運動を行っている競技者であっても、持続的運動を行っている者はその他の運動を行っている者と比較して、女性競技者は男性競技者と比較して、運動誘発性酸化ストレスが高まりにくいと考えられる。それら個人の専門種目や性差における運動誘発性酸化ストレスへの影響も理解した上で、コンディショニングしていくことにより、よりよいパフォーマンスの発揮につながるものと思われる。

しかしながら、これまで個人の専門種目の違いや性差が運動誘発性酸化ストレスに与える影響について、同強度、同時間の運動負荷を用いて検討した研究は見当たらない。そこで本研究は、陸上競技を専門に行っている男子短距離選手、女子短距離選手および男子長距離選手を対象に、一般的に運動誘発性酸化ストレスの影響が少ないといわれる中強度一定負荷運動を実施した。そして、その運動前、中、後における酸化ストレス指標および抗

Table 1 Physical characteristics of the subjects.

Variables	MS (n=6)	FS (n=6)	ML (n=5)	Total (n=17)
Age (years)	20.5 ± 0.6	20.5 ± 0.4	21.0 ± 0.5	20.6 ± 0.3
Height (cm)	169.3 ± 2.1	162.7 ± 2.2 *#	172.0 ± 1.2	167.7 ± 1.4
Weight (kg)	63.1 ± 2.1	56.0 ± 2.0 *#	61.5 ± 1.9	60.1 ± 1.3
BMI (kg/m ²)	22.0 ± 0.2	21.1 ± 0.2	20.8 ± 0.8	21.3 ± 0.3

All values are presented mean ± SE. BMI; body-mass index.
*: p<0.05 (vs MS), #: p<0.05 (vs ML)

酸化指標の測定結果から、被検者の専門種目の違いや性差が中強度運動時の運動誘発性酸化ストレスに与える影響について検討することを目的とした。

方 法

1. 被検者

被検者は、陸上競技部に所属する大学生17名（男性11名、女性6名）であった。各被検者は、男性短距離選手6名（Male Sprinter；MS群）、女性短距離選手6名（Female Sprinter；FS群）、男性長距離選手5名（Male Long-distance Runner；ML群）の3群に分けた。個人の身体組成はTable1に示した。実験に先立ち、全員に本研究の趣旨及び安全性について十分な説明を行い、自主的な実験参加の同意を得た。なお、被検者は全員非喫煙者であった。

2. 実験の概要

中強度一定負荷運動に先立ち、自転車エルゴメーターを用いた漸増負荷運動により各被検者の最大負荷を測定した。その後2週間以上の間隔をあけ、各被検者は最大負荷の40%に相当する負荷で、60分間の一定負荷自転車こぎ運動を行った。一定負荷運動開始前の安静時から運動終了まで、自動呼気ガス分析装置により呼気ガス、血圧および心拍数を連続的に測定した。採血は運動前（Pre）、運動中30分（Ex）および運動終了直後（Post）に、採尿はPreおよび運動終了1.5時間後（1.5h）に実施した。本研究では、酸化ストレス指標として尿中8-ヒドロキシデオキシグアノシン（8-hydroxy-deoxyguanosine; 8-OHdG）レベルと血漿活性酸素代謝物（Diacron-Reactive Oxygen Metabolites; d-ROMs）レベルを測定し、抗酸化指標として、F.R.E.E.（ウィスマー社製、Free Radical Elective Evaluator）を用いたOxy吸着テストを実施した。なお、被検者には実験前日の激しい運動を制限し、実験前の2食は検者が準備した同一の食事を摂らせ、運動は最後の食事から2時間経過後に行った。

3. 運動プロトコル

1) 漸増負荷運動

運動は、自転車エルゴメーター（COMBI社製、75XL II）を用いて、室温25.4 ± 0.2℃、湿度37.4 ± 1.1%

の実験室において行った。被検者は、体重測定後、ストレッチ運動などを約5分間実施した。その後被検者は、足とペダルを固定した後、呼気ガス分析用のガスマスク (King System 社製, Inflatable Face Mask), 血圧計 (ミナト医科学株式会社製, EBP-3000) およびスポーツ心拍計 (PORAR 社製, RS400TM) を装着した。エルゴメーター上で3分間の安静状態を保持した後、ウォーミングアップとして3分間、無負荷 (0watt) で60rpmのペダリング運動を行った。その後、60rpmを維持した状態で、毎分25watts増加するランプ負荷法により疲労困憊に至るまでの漸増負荷運動を実施した。なお、男女ともに同じプロトコルで実施し、疲労困憊の判断はペダリング頻度が50rpmを下回った時点とした。

2) 中強度一定負荷運動

前述の自転車エルゴメーターを用いて、室温 $26.3 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $37.3 \pm 1.4\%$ の実験室において運動を行った。被検者は、運動開始前に採尿 (Pre) を行い、衣服を着用しない状態で体重を測定した後、採血 (Pre) を行った。その後、ストレッチ運動を5分間行い、自転車エルゴメーター上で5分間安静状態を保持した後、ウォーミングアップとして最大負荷の20%の負荷で60rpmを維持したペダリング運動を2分間行った。その後、連続して最大負荷の40%の負荷で一定負荷運動を60分間行った。運動中30分にExの採血を行い、運動終了直後にPostの採血を行った。運動終了後、衣服を着用しない状態で体重を測定し、体重の減少量に相当する水分 (市販のミネラルウォーター) を最後の採尿までに摂取させた。また、運動終了1.5時間後に1.5hの採尿を実施し、実験終了とした。

4. 呼気ガス分析

運動中の酸素摂取量 (Oxygen uptake; $\dot{V}\text{O}_2$), 二酸化炭素摂取量 (CO_2 production; $\dot{V}\text{CO}_2$), 換気量 (Ventilation; $\dot{V}\text{E}$) および呼吸交換比率 (Respiratory exchange ratio; RER) の測定は、自動呼気ガス分析装置 (ミナト医科学社製, AE-300S) を用いて、安静時から運動終了まで行った。なお、漸増負荷運動では15秒毎の呼気ガス収集法を、一定負荷運動ではbreath-by-breath法を用い、breath-by-breath法では測定されたデータを8呼吸毎に移動平均し、さらに15秒毎に単純平均したものを分析に用いた。また、呼気ガス分析と同時に、付属の血圧計により血圧を3分毎に、スポーツ心拍計により心拍数 (Heart rate; 以下HR) を連続的に15秒毎に測定した。得られた心拍数のうち、最も高い値を最大心拍数とした。

5. 採尿と採血

採尿はPreおよび1.5hの2度行った。採尿ではすべての尿を採取し、尿量を計測した後、分析用に分注した。

採血は医師の指示を受けた臨床検査技師が実施し、

Pre, ExおよびPostの3度、採血管 (テルモ社製) を用いて肘静脈より行い、血漿の抽出に供した。血漿の抽出は採血直後に血液を3000rpm, 4°C で10分間遠心分離を施した。分注した尿および血漿サンプルは分析時まで -80°C で冷凍保存した。

6. 尿中8-OHdG レベルの測定

凍結させた尿サンプルは、常温で融解した後、遠心分離機 (久保田商事株式会社製, パーソナル冷却遠心機2700) を用い、2000rpmで10分間遠心分離を行い、沈殿物を除いた上澄みを尿中8-OHdG レベルの分析に用いた。

尿中8-OHdG濃度の分析は酵素免疫 (Enzyme-linked immunosorbent assay; ELISA) 法による測定キット (日本老化制御研究所製, New 8-OHdG Check) を用いて行い、本研究での尿中8-OHdG レベル (ng/kg/h) は、尿中8-OHdG濃度に尿量を乗じ、被検者の体重および前回排泄時からの経過時間で除したものを用いた。なお、測定方法は神林ほか (2004) と同様の方法である。

7. 血漿d-ROMs レベルの測定

血漿d-ROMs レベルの測定は、フリーラジカル評価装置であるF.R.E.E.を用いて分析した。なお、測定方法は関 (2009) と同様の方法である。

8. Oxy吸着テスト

血漿中の抗酸化力の測定はOxy吸着テストにより行い、血漿d-ROMsレベル測定と同様にF.R.E.E.を用いて分析した。凍結させた血漿サンプルを常温で融解した後、 $10\mu\text{l}$ を蒸留水1ml入りのエッペンドルフチューブに加え混合し、希釈した。希釈した検体から $10\mu\text{l}$ を、事前に 37°C に保温しておいた次亜塩素酸1ml入りキュベットに加え混合し、10分間サーモスタットスペースで 37°C に保温した。その後、呈色液クロモゲン $10\mu\text{l}$ を加え混合した後、光度計により測定を行った。また、サンプルの代わりに蒸留水 $10\mu\text{l}$ を入れたものをコントロールとした。

9. 統計処理

測定結果は、全て平均値 $\pm$ 標準誤差で表した。各群における運動前、中、後における差および群間の差の検定には、一元配置の分散分析を行い、F値が有意であった場合は、適宜、post hoc test (Dunnnettの多重比較) を実施した。危険率はすべて5%未満を有意とした。

結 果

1. 中強度一定負荷運動時の呼吸循環器系指標と体重の変化

各群の一定負荷運動時における呼吸循環器系指標の主な結果をTable 2に表した。本研究では、事前に行った漸増負荷運動により求められた最大負荷の40%を目標負

Table 2 Cardio-respiratory data during constant load exercise.

Variables	MS	FS	ML
$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	30.1±0.6	25.9±0.8 *	32.5±1.2
% $\dot{V}O_{2peak}$ (%)	57.3±3.7	57.8±1.9	51.8±2.5
$\dot{V}CO_2$ (ml/kg/min)	28.5±1.0	24.5±0.8 *	30.1±0.9
$\dot{V}E$ (l/min)	46.7±1.3	41.7±2.7 *	50.7±2.7
RER	0.94±0.1	0.95±0.1	0.93±0.1
HR (bpm)	150.8±5.6	146.1±5.2	128.4±4.4 *

All values are presented mean ± SE. $\dot{V}O_2$; oxygen uptake, % $\dot{V}O_{2peak}$; the percentage of maximal oxygen uptake, $\dot{V}CO_2$; CO_2 production, $\dot{V}E$; ventilation, HR; heart rate.
*: p<0.05(vs MS group)

荷として設定し、MS群では117.5±1.9 watt、FS群では87.3±4.2 watt、ML群では122.9±5.9 wattであった。実際の運動負荷を% $\dot{V}O_{2peak}$ でみると、約50～60%であり、群間に有意な差は認められなかった。しかし、MS群と比較してFS群において、 $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ 、 $\dot{V}E$ で、またML群においてHRで有意な差が認められた。

各群の運動前後における体重減少量は、MS群では0.92±0.1kg、FS群では0.61±0.1kg、ML群では1.10±0.1kgであり、MS群およびML群と比較してFS群において有意な差が認められた (p<0.01)。

2. 運動前後における尿中8-OHdGレベルの変化

各群の運動前後における尿中8-OHdGレベルの変化について、Table 3に示した。いずれの群においても、運動前後で有意な変化は認められなかった。群間の差について比較すると、MS群では、FS群と比較してPreおよび1.5hで有意な高値を示し、ML群と比較してPreで有意な高値を示した。また、相対値の変化についてFig.1に示した。Preの値を100%として検討した結果、Postの値はMS群が83.7±7.9%、FS群が120.4±15.8%、ML群が113.2±48.9%であり、いずれの群においても運動前後の相対値に有意な変化は認められなかった。

3. 運動前、中、後における血漿d-ROMsレベルの変化

各群の運動前、中、後における血漿d-ROMsレベルの

Table 3 Biomarkers of oxidative stress and antioxidant capacity before, during and after exercise.

		Pre	Ex	Post(1.5h)
Urinary 8-OHdG level (ng/kg/h)	MS	9.26 ± 1.36 * #	n.m.	7.70 ± 1.29 *
	FS	3.56 ± 0.35	n.m.	4.05 ± 0.30
	ML	4.96 ± 0.68	n.m.	4.54 ± 1.06
Plasma d-ROMs level (U.CARR)	MS	336.2 ± 24.2	362.2 ± 22.0	365.8 ± 23.9
	FS	336.3 ± 22.1	363.2 ± 25.5	360.2 ± 29.8
	ML	323.4 ± 17.2	342.0 ± 24.8	356.2 ± 21.8
Plasma Oxy-absorbent level (μM)	MS	334.0 ± 23.2	359.8 ± 18.5	357.2 ± 33.5
	FS	289.5 ± 16.2	314.3 ± 15.1	309.8 ± 31.3
	ML	232.4 ± 62.3	262.3 ± 69.0	278.4 ± 51.0

n.m.; not measured, *: p<0.05 (vs FS), #: p<0.05 (vs ML)

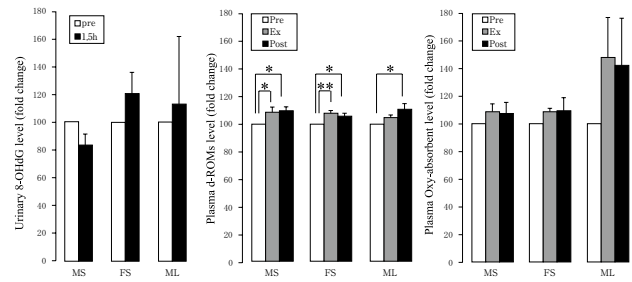


Fig. 1 Comparison of urinary 8-OHdG level (left), plasma d-ROMs level (center) and plasma Oxy-absorbent level (right) before, during and after exercise.
*: p<0.05, **: p<0.01

変化についてTable 3に示した。いずれの群においても、運動前、中、後で有意な変化は認められず、群間の差も認められなかった。また、相対値の変化をFig.1に示した。Preの値を100%として検討した結果、ExおよびPostそれぞれの値は、MS群で108.5±3.7%および109.4±3.1%、FS群で107.9±1.6%および105.4±2.0%、ML群で104.7±1.7%および110.2±4.1%であり、Preと比較してMS群のExおよびPost、FS群のExおよびPost、ML群のPostで有意な高値が認められた。

4. 運動前、中、後におけるOxy吸着テストの変化

各群の運動前、中、後におけるOxy吸着テストの変化について、Table 3に示した。いずれの群においても、運動前、中、後で有意な変化は認められず、群間の差も認められなかった。また、相対値の変化をFig.1に示した。Preの値を100%として検討した結果、ExおよびPostそれぞれの値は、MS群で108.9±5.4%および107.1±8.4%、FS群で109.0±2.4%および109.4±9.7%、ML群で147.8±28.9%および142.2±34.4%であり、いずれの群においても、運動前、中、後の相対値に有意な変化は認められなかった。

考 察

本研究では、陸上競技部に所属する大学生男性短距離選手6名、女性短距離選手6名、男性長距離選手5名を対象に、最大負荷の40%に相当する負荷で、60分間の一定負荷運動を実施させ、運動前、中、後の各指標の変化から、被検者の専門種目の違いや性差が中強度有酸素運動時の運動誘発性酸化ストレスに与える影響について検討した。今回負荷した運動強度を% $\dot{V}O_{2peak}$ でみると、約50～60%であり、群間に有意な差は認められなかったことから (Table 2)、各群における運動強度は相対的に等しかったと考えられる。

これまでの報告では、中強度運動では運動誘発性酸化ストレスが増加しにくいという見解が多くを占める (Viguie et al., 1993; Tozzi et al., 2002; 長島, 2011)。本研究においても、酸化ストレス指標である尿中8-OHdG

レベルおよび血漿 d-ROMs レベルに、運動中および運動後の増加は認められず (Table 3), 同様の結果であった。しかしながら、中強度運動である $50\% \dot{V}O_{2\max}$ で短時間の運動を用いたとしても、対象が非鍛錬者だった場合、運動後の酸化ストレスが増加したことが報告されている (Sen et al., 1994)。よって、同強度の運動を行ったとしても、実施者の運動習慣等により、運動誘発性酸化ストレスに差異が生じる可能性が示唆されたが、本研究の結果から、 $60\% \dot{V}O_{2\text{peak}}$ 前後の中強度一定負荷自転車こぎ運動では、被検者の専門種目の違いや性差を問わず、酸化ストレス増大の可能性が低いことが明らかとなった。したがって、競技者が大会前などの調整時において、本研究と同様の中強度運動を用いても、運動誘発性酸化ストレスによるパフォーマンスへの悪影響を引き起こす可能性は低く、コンディショニング等にも有効であると言える。

酸化ストレス指標における各群間の比較をみると、血漿 d-ROMs レベルでは、いずれの群間においても有意な差は認められなかった一方で、尿中 8-OHdG レベルでは、MS 群が FS 群と比較して Pre および 1.5h で有意な高値を、ML 群と比較して Pre で有意な高値を示した (Table 3)。本研究に用いた尿中 8-OHdG レベルおよび血漿 d-ROMs レベルは、それぞれ DNA 酸化損傷の程度と血漿中のヒドロペルオキシド濃度を測定するものであり、ターゲットとなる生体組織が DNA と脂質という点で異なっている。尿中 8-OHdG レベルは、Lu et al. (2007) や Suzuki et al. (2003) により、男性に比較して女性で有意に低い値になることが報告されており、安静レベルにおいて性差による違いが表れる可能性が考えられる。また、Nikolaidis et al. (2008) は、運動後における酸化ストレス指標の増加は、数日間持続して現れることを報告している。本研究では、被検者は運動前 2 食分の食事をコントロールし、前日に激しい運動を行うことを制限したが、数日前に行った運動の差異により、Pre や 1.5h の値に影響を与えた可能性も考えられる。しかし、いずれの被検者においても、その数値は正常範囲内におさまっており、健康への悪影響や競技パフォーマンスへの悪影響を即時にもたらすものではない。

一方、血漿 d-ROMs レベルは、永田ほか (2008) により、日本人健康者における標準値が男性 ($n=26$) で 285.2 ± 14.3 U.CARR, 女性 ($n=24$) で 284.1 ± 21.3 U.CARR であり、男女の性差は認められなかったことが報告されている。また、菊池ほか (2007) が、高校水泳部員の男女を対象に、普段行っている練習前後の変化について検討したところ、全経過を通して男女両群間に有意な差が認められないことを明らかにしている。したがって、本研究の結果も合わせ、血漿 d-ROMs レベルは比較的性差の表れにくい酸化ストレス指標であると言える。

各指標の運動前、中、後の変化を、Pre の値を 100% とした相対値の比較でみると、尿中 8-OHdG レベルでは、

いずれの群においても運動前後に有意な変化は認められなかったものの、血漿 d-ROMs レベルでは、Pre と比較して、Ex では MS 群、FS 群において、Post では全ての群において有意な増加が認められた (Fig. 1)。相対値での比較は、個人差等の数値のばらつきを除外することができる。よって、この結果から、運動前と比較して、被検者に多少なりとも運動中および運動後に酸化ストレスがかかっていることがわかる。しかしながら、その増加率は 5~10% 程度であり、数値からみても健康や運動パフォーマンスへの悪影響を及ぼす可能性は低いものと思われる。

血漿 d-ROMs レベルの相対値の比較において、さらに特筆すべきは Ex において ML 群にのみ増加が認められなかったことである。ML 群は陸上競技部長距離選手であり、長時間の持続的な有酸素運動を、日常からトレーニングとして行っている。本研究で用いた自転車こぎ運動は、60 分間の中強度有酸素運動であったが、MS 群、FS 群と比較して、ML 群が日頃行っている運動様式に近いものであった。河野ほか (2006) は、大学陸上長距離選手を対象に、25km 走前後の酸化ストレスおよび抗酸化能の変化について検討したところ、酸化ストレス度の上昇がみられず、その要因として抗酸化防御機構の機能向上をあげている。また、花房ほか (2001) は、最大負荷運動において運動中の血清 LPO 濃度が長距離選手では変化せず、その他の陸上競技選手では増加したことも報告しており、他の運動選手と比較して、長距離選手においては酸化ストレスに対する防御機構が向上していることが考えられる。本研究の結果も、これらの見解を強化するものになる。しかしながら、本研究で用いた抗酸化指標である Oxy 吸着テストの結果からは、ML 群においても抗酸化能の高まりは認められなかった (Table 3, Fig. 1) ため、何が要因となってこの抑制が引き起こされたのか、明らかにすることはできなかった。今後は、抗酸化指標を中心に測定指標を増やし、ML 群における運動誘発性酸化ストレス上昇の抑制要因を解明することで、よりよいコンディショニングの一助となるだろう。

総 括

本研究は、陸上競技部に所属する大学生男性短距離選手 6 名、女性短距離選手 6 名、男性長距離選手 5 名を対象に、最大負荷の 40% に相当する負荷で、60 分間の一定負荷運動を実施させた。そして、運動前、中、後の酸化ストレス指標および抗酸化指標の変化から、被検者の競技特性の違いや性差が中強度有酸素運動時の運動誘発性酸化ストレスに与える影響について検討した。結果は以下の通りである。

1. 最大負荷の 40% を目標負荷として設定したところ、実際の運動負荷は $50 \sim 60\% \dot{V}O_{2\text{peak}}$ であり、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。

2. 運動前, 中, 後における尿中8-OHdG レベル, 血漿 d-ROMs レベルおよびOxy吸着テストの変化について検討したところ, いずれの群においても, 運動前, 中, 後で有意な変化は認められなかった.
3. 尿中8-OHdG レベルの測定結果について群間の差を比較すると, MS群では, FS群と比較してPreおよび1.5hで有意な高値を示し, ML群と比較してPreで有意な高値を示した.
4. 血漿 d-ROMs レベルの相対値の変化について検討したところ, Preと比較してMS群のExおよびPost, FS群のExおよびPost, ML群のPostで有意な高値が認められた.

以上のことから, 本研究で用いた中強度一定負荷自転車こぎ運動では, 被検者の専門種目の違いや性差を問わず, 酸化ストレスは増大しないことが明らかとなった. しかしながら, 相対値で比較すると各群において運動後の有意な高値が認められる指標もあり, 即時に健康や運動パフォーマンスに悪影響を及ぼす可能性は低い, その蓄積には注意が必要である. また, 血漿 d-ROMs レベルの相対値の変化については, ML群のみExの増加が抑制されており, 長距離選手は他の競技選手と比較して, 酸化ストレスに対する防御機構が向上している可能性が示唆された.

参考文献

- Betten, A., Dahlgren, C., Mellqvist, U.H., Hermodsson, S. and Hellstrand, K. (2004) Oxygen radical-induced natural killer cell dysfunction: role of myeloperoxidase and regulation by serotonin. *J. Leukoc. Biol.* 75: 1111-1115.
- 花房祐輔・川口浩太郎・大成浄志 (2001) 漸増的運動負荷による血清過酸化脂質濃度の変動と全身持久力との関連性. *広島大学保健学ジャーナル*, 1: 85-89.
- 林知也・煙山奨也・中山登稔 (2012) 運動誘発性酸化ストレスとその性差. *明治国際医療大学誌*, 6: 78-79.
- Huang, Y., Liu, D. and Sun, S. (2000) Mechanism of free radicals on the molecular fluidity and chemical structure of the red cell membrane damage. *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 23: 287-290.
- 神林勲・石村宣人・中村寛成・内田英二・武田秀勝・藤井博匡 (2004) 短時間の高強度間欠的運動は尿中8-OHdG含有量を増加させる. *日本運動生理学雑誌*, 11: 61-67.
- Kendall, B. and Eston, R. (2002) Exercise-induced muscle damage and the potential protective role of estrogen. *Sports Med.* 32: 103-123.
- 菊池啓子・内藤通孝・松谷康子・鍋野由佳 (2007) 運動負荷による酸化ストレスへの影響. *中部学院大学・中部学院大学短期大学部研究紀要*, 8: 19-24.
- 河野照茂・藤谷博人・加藤晴康・関久子・谷田部かなか・寺脇史子・中島幸則・川崎勇二・太田眞 (2006) 陸上長距離選手の25km走前後の酸化ストレスの変化. *体力科学*, 55: 769.
- Lu, C.Y., Ma, Y.C., Lin, J.M., Chuang, C.Y. and Sung, F.C. (2007) Oxidative DNA damage estimated by urinary 8-hydroxydeoxyguanosine and indoor air pollution among non-smoking office employees. *Environ. Res.*, 103: 331-337.
- Michos, C., Kiortsis, D.N. and Evangelou, A. (2006) Antioxidant protection during the menstrual cycle: the effects of estradiol on ascorbic-dehydroascorbic acid plasma levels and total antioxidant plasma status in eumenorrhoeic women during the menstrual cycle. *Acta Obst. et Gynecol. Scand.*, 85: 960-965.
- 長島未央子 (2011) 長時間自転車運動が鍛錬者の酸化ストレス度及び血中ビタミン濃度におよぼす影響. *体力科学*, 60: 279-286.
- 永田勝太郎・長谷川拓也・広門靖正・喜山克彦・大概千佳 (2008) 生活習慣病と酸化ストレス防御系. *心身医学*, 48: 177-183.
- Nikolaidis, M.G., Jamurtas, A.Z., Paschalis, V., Fatouros, I.G., Koutedakis, Y. and Kouretas, D. (2008) The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations. *Sports Med.* 38: 579-606.
- 関泰一 (2009) d-ROMSテストによる酸化ストレス総合評価. *生物試料分析*, 32: 301-306.
- Sen, C.K., Rankinen, T., Väisänen, S. and Rauramaa, R. (1994) Oxidative stress after human exercise: effect of N-acetylcysteine supplementation. *J. Appl. Physiol.* 76: 2570-2577.
- Suzuki, K., Ito, Y., Ochiai, J., Aoki, K., Wakai, K., Tamakoshi, A., Ando, M., Watanabe, Y., Ozasa, K., Seki, N., Nishino, Y., Kondo, T. and Ohno, Y. for the Japan Collaborative Cohort Study Group. (2003) The relationship between smoking habits and serum levels of 8-OHdG, oxidized LDL antibodies, Mn-SOD and carotenoids in rural Japanese residents. *J. Epidemiol.*, 13: 29-37.
- Tozzi-Ciancarelli, M.G., Penco, M. and Di Massimo, C. (2002) Influence of acute exercise on human platelet responsiveness: possible involvement of exercise-induced oxidative stress. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 86: 266-272.
- Viguie, C.A., Frei, B., Shigenaga, M.K., Ames, B.N., Packer, L. and Brooks, G.A. (1993) Antioxidant

status and indexes of oxidative stress during consecutive days of exercise. J. Appl. Physiol., 75: 566-572.

〔平成24年 4 月 2 日 受付〕
〔平成24年 7 月18日 受理〕