若年健常男性における短期間のビタミンE サプリメント摂取は長時間の 反復運動後の炎症および筋損傷マーカーに影響を及ぼさない

宮 下 政 司 朴 鐘 薫

NO EFFECTS OF SHORT-TERM VITAMIN E SUPPLEMENTATION ON INFLAMMATORY AND MUSCLE DAMAGE MARKERS AFTER REPEATED BOUNDS OF PROLONGED EXERCISE IN HEALTHY YOUNG MEN

MASASHI MIYASHITA and JONG-HOON PARK

Abstract

After a single bout of prolonged strenuous exercise, inflammatory and muscle damage markers increase. The present study investigated whether vitamin E supplementation can attenuate inflammatory (C-reactive protein (CRP) and interleukin-6 (IL-6)) and muscle damage (creatinine kinase (CK) and lactate dehydrogenase (LDH)) markers after prolonged repeated bouts of cycling in healthy young men. Eight young males (aged 21-30 y) were received both vitamin E supplement (300 mg/day) and placebo (control) for 14 days separated by at least an interval of 1 month in a randomised, counterbalanced design. On day 12 of both trials, subjects cycled at 80% of maximal heart rate in two, 90-min bouts (150 min rest between each). Blood samples were collected on days 1 (baseline), 12 (pre- and post-exercise 1 and pre- and post-exercise 2), 13, 14, and 15. After 14 days of supplementation, serum α -tocopherol concentrations increased in the vitamin E trial ($P < 0.0005$) but not the placebo trial. Serum CRP concentrations did not differ between trials and did not significantly change over the observation period in both trials. Serum IL-6, CK, and LDH concentrations increased ($P \leq 0.024$) in response to repeated bouts of exercise in both trials but did not differ between trials. The study demonstrates that short-term vitamin E supplementation appears to have no effect on attenuating markers of inflammatory and muscle damage in response to repeated bouts of prolonged exercise in healthy young men.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2008, 57: 383~392)

key word : Repeated exercise, inflammation, muscle damage, vitamin E

I . 緒 言

一般に長時間の激しい運動は細胞や組織の損傷を促進させ、炎症性サイトカイン産生を増大させる。このような運動後には、組織の損傷の指標として、クレアチンキナーゼ(CK)濃度や乳酸脱水素酵素(LDH)濃度の上昇、炎症マーカーの指標として、インターロキン-6(IL-6)濃度の上昇が確認されている。一過性の高強度運動後の炎症性サイトカインの反応についてこれまで多くの報告があるが(総説を参照)¹⁾、同日内での繰り返し運動後の炎症性サイトカインについては報告が不足している^{2~4)}。

異なる運動の頻度に対する検討は、学術的のみな

らず実用的にも重要なことである。なぜなら、一日における運動の頻度には、運動を一度に集中的に行う場合と午前と午後の2回と言うように、一日を通し運動を分割させる場合がある。また、運動強度の高い1回目の運動と比較し、2回目の運動では身体のみならず、免疫系ストレスを増大させるため⁴⁾、反復運動による筋の機械的な損傷を受け、CKやLDHが顕著に上昇し、炎症性サイトカインの産生が刺激されると考えられる⁵⁾。

近年、栄養学的な介入として脂質過酸化に対する生体内で重要な抗酸化物質と考えられているビタミンEサプリメントを用い、運動誘発性筋損傷および炎症への軽減効果について多く検討されている(総説

を参照)^{6,7)}。これまでの先行研究において一致した見解は得られていないが、抗酸化サプリメント摂取は高強度の一過性レジスタンス運動やランニング後の炎症および筋損傷マーカーの上昇を抑制させる効果があると報告されている^{6,7)}。しかし、ビタミンE摂取が繰り返し運動後の炎症および筋損傷マーカーに及ぼす影響を検討した報告はない。

そこで、本研究ではビタミンEサプリメントの摂取により長時間の反復自転車漕ぎ運動後の炎症および筋損傷マーカー上昇の抑制効果があるという仮説を設定し、この仮説を検証することを目的とした。

Ⅱ．方 法

A．被験者

被験者は、日常活動的ではあるが運動トレーニングを行っていない健康な若年男性8名であった。基礎疾患、喫煙者、ビタミンサプリメント(最近6ヶ月以内)、常用薬剤の服用歴がある者は対象としなかった。また、試験期間中はビタミンEを多く含む食品の摂取を禁ずるようリストを配布し、注意を促した。なお、試験実施にあたり筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得た。また、同委員会の規定に従って、被験者にはあらかじめ試験の趣旨ならびに試験遂行に伴う危険性について文書および口頭で説明を行い、試験内容を十分に理解させた上で、試験参加への同意を得た。被験者の年齢、身長、体重、体格指数、腹囲、収縮期血圧、拡張期血圧の平均と標準誤差は、それぞれ 24.5 ± 1.2 歳、 172.7 ± 1.4 cm、 66.2 ± 2.9 kg、 22.1 ± 0.8 kg/m²、 74.1 ± 1.6 cm、 119 ± 2 mmHg、 75 ± 1 mmHg であった。

B．運動負荷試験

被験者の最大心拍数(20-年齢)の80%における負荷量を規定するために、本実験の1週間前に16分間の運動負荷試験を行った。自転車エルゴメーター(Ergomedic 874E, Monark 社製)を使用し、4ステージの漸増負荷試法を用い、1ステージの時間は4分とした。1ステージ目の負荷量は被験者の体力により50~75ワットとし、その後、ステージごとに25~30ワットずつ負荷量を増やした。ペダルの回転数は毎分60回転とした。運動中において心拍数は心拍モニター(Polar FS1, Polar 社製)、主観的運動強度は

Borg スケール⁸⁾を用いそれぞれ記録した。各ステージでの心拍数と負荷量の回帰直線から各被験者の最大心拍数の80%の負荷を算出し、この負荷量を本実験での運動時に用いた。

C．本試験

実験は一重盲検の交差実験とし、すべての被験者に対してビタミンE摂取とプラセボ摂取の二条件の実験を実施した。一試行は15日間の工程で行い、試行間の間隔は1ヶ月以上とした。本実験で行う運動以外の規制として、実験1日目の前日、実験12日目の2日前、および実験12日目運動終了時より実験15日目まで運動を禁止とした。両試行において、被験者の体重および採血を実験1日目、12日目(1回目の運動前後、2回目の運動前後)、13日目、14日目、15日目にそれぞれ測定、採取した。また、各採血時の直前、被験者に主観的な筋肉の疲労度を0 cm(筋肉疲労が全くない)から10 cm(非常に筋肉疲労あり)の視覚的な尺度を用い記入させた。

両試行の実験1日目、被験者は10時間以上の絶食の後、08:50に実験室に来院した。10分間座位安静後、血液を肘静脈から採取した。その後、被験者に毎食後14日間サプリメントを摂取するよう指示した。サプリメント摂取の確認として、検者が電子メールや電話で確認をとった。

両試行の実験12日目、被験者は10時間以上の絶食の後、08:00に実験室に来院し、08:15に規定食を摂取した。被験者には20分以内で規定食を摂取するよう指示し、摂取時間を記録し、次回の試行時に同じ時間で摂取するようにした。規定食(朝)の摂取時間は 6.9 ± 0.5 分であった。朝食後は実験室にて安静を保たせ、1回目の運動直前(09:00)に血液を肘静脈から採取した。その後、事前の運動負荷試験より求めた最大心拍数の80%の強度で90分間の自転車漕ぎ運動を行った。1回目の運動終了時(10:30)に採血を行い、運動終了後は実験室で安静を保たせ、規定食を12:00に摂取させた。被験者には20分以内で規定食を摂取するよう指示し、摂取時間を記録し、次回の試行時に同じ時間で摂取するようにした。規定食(昼)の摂取時間は 9.5 ± 0.5 分であった。昼食後は実験室にて安静を保たせ、2回目の運動直前(13:00)に血液を肘静脈から採取した。その後、事前の運動負荷試験より求めた最大心拍数の80%の強度

で90分間の自転車漕ぎ運動を行い、2回目の運動終了時(14:30)に血液を肘静脈から採取した。2回の自転車漕ぎ運動中、心拍数を14~15, 29~30, 44~45, 59~60, 74~75, 89~90分の間15秒間隔で心拍モニターより記録した。また、心拍数は被験者の主観的運動強度に影響する可能性もあり、被験者が心拍モニターを目視できないようにした。主観的運動強度はBorgスケール⁸⁾を用い心拍測定中に記録を行った。ペダルの回転数は毎分60回転とした。推定のエネルギー消費量は被験者の体重、心拍数および自転車漕ぎ中の負荷量より算出した⁹⁾。また、両試行の運動中および安静時の実験室内の環境を画一するために、実験室内の温度と湿度をそれぞれ 25.0 ± 0.5 , 55.0 ± 3.0 に調整した。

両試行の実験13日目、14日目、15日目、被験者は10時間以上の絶食の後、08:50に実験室に來訪した。10分間座位安静後、血液を肘静脈から採取した。

D. サプリメント摂取

ビタミンEは、天然型 α -トコフェロール(100%天然植物性タブレットタイプの市販の製品)を用い、摂取量は1日あたり300mgを毎食後(100mg $\times$ 3回)に経口摂取させた。プラセボは、ヒマワリの種油(100%天然植物性タブレットタイプの市販の製品)を用い、摂取量は1日あたり300mg(0.3mgのビタミンEを含む)を毎食後(100mg $\times$ 3回)に経口摂取させた。プラセボは外見や重さがビタミンEと類似しているものを選択し、被験者が区別できないようにした。各試行とも摂取期間は14日間とした。14日間の摂取期間を選択した理由として、14日間の抗酸化ビタミンサプリメントの摂取は、血中のビタミンE濃度が摂取前と比較し上昇し、一過性の運動後の血清CRPおよびIL-6濃度上昇の抑制に効果的であるという先行研究¹⁰⁾を基に選択した。

E. 血液検査

採取した血液は室温にて30分間放置した後に、3000rpmで10分間4℃にて遠心分離し、分離した血清は別容器に移し替え(α -トコフェロールのみ、遮光容器)、測定まで-35℃で冷凍保存した。測定項目として、血清C反応性蛋白(CRP)、IL-6、CK、LDH、 α -トコフェロール濃度を測定した。CRP(高

感度)およびIL-6は酵素免疫測定法、CKおよびLDHは酵素比色法、 α -トコフェロールは高速液体クロマトグラフィーにより測定した。測定内変動係数はそれぞれ、CRP 3.5%、IL-6 7.4%、CK 2.2%、LDH 1.3%、 α -トコフェロール3.3%であった。

F. 統計処理

すべての統計処理にはSPSS(SPSS Version 16.0, SPSS Japan Inc.)を用いた。すべての測定項目において、統計処理の前にShapiro-Wilkテストを用い、正規性の検定を行った。データの正規性が認められなかった際には、データを対数変換した。項目間における平均値の差の検定には対応のあるスチューデントの t 検定を用いた。また、測定条件(試行)と時間を要因とした測定項目の変化については、反復測定二元配置の分散分析によって、その有意性を検定した。二元配置の分散分析で交互作用に有意差が見られた項目は、Bonferroniの方法にて多重比較を行った。統計学的有意水準を危険率5%未満に設定し、得られたデータはすべて平均値 $\pm$ 標準誤差で示した。

Ⅲ. 結 果

A. 血清 α -トコフェロール濃度

サプリメント摂取の確認を客観的に評価するために、血清 α -トコフェロール濃度を測定した。両試行のベースライン(実験1日目)の間には血清 α -トコフェロール濃度(ビタミンE試行, 19.7 ± 0.9 $\mu\text{mol/L}$; プラセボ試行, 21.5 ± 1.2 $\mu\text{mol/L}$, $P=0.200$)に違いがなかった。14日間のサプリメント摂取において、血清 α -トコフェロール濃度はビタミンE試行において有意に上昇したが(実験15日目, 40.9 ± 2.1 $\mu\text{mol/L}$) ($P<0.0005$)、プラセボ試行においては変化が認められなかった(実験15日目, 19.7 ± 0.7 $\mu\text{mol/L}$)。実験15日目、血清 α -トコフェロール濃度はプラセボ試行と比較し、ビタミンE試行において有意に高値を示した($P<0.0005$)。被験者から両試行を通し、サプリメント摂取による身体への副作用があったという報告はなかった。

B. 体 重

両試行のベースライン(実験1日目)の間には体重の違いがなかった(ビタミンE試行, 66.3 ± 3.1 kg

；プラセボ試行, 66.3 ± 3.1 kg, $P=0.935$). 両試行間とも試験期間を通して, 体重の変化に相違はなかった($P=0.485$).

C. 運動中における生理学的反応

運動中のデータを Table 1 に示した. 同一の運動セッションにおいて, 推定のエネルギー消費量, 心拍数, %最高心拍数, 負荷量, 主観的運動強度は両試行の間に有意な差は認められなかった. 両試行において, 平均の運動中の負荷量は 1 回目の運動と比較し, 2 回目の運動で有意に低値を示した. 平均の推定エネルギー消費量はビタミン E 試行において, 1 回目の運動と比較し, 2 回目の運動で有意に低値を示した.

D. 血清炎症マーカー

血清 CRP および IL-6 のデータは正規性が認められなかったため, これらのデータは対数変換し, Shapiro-Wilk テストは得られた新しいデータセットの正規性を認めた. 従って, 統計処理には対数変換したデータを用いたが, 先行研究と比較するために Fig. 1 には実測値を使用し示した. 試験期間中の血清 CRP および IL-6 濃度を Fig. 1 に示した. 両試行のベースライン(実験 1 日目)の間には CRP (ビタミン E 試行, 0.12 ± 0.03 mg/L; プラセボ試行, 0.11 ± 0.02 mg/L, $P=0.163$)および IL-6 (ビタ

ミン E 試行, 1.39 ± 0.17 pg/mL; プラセボ試行, 1.36 ± 0.11 pg/mL, $P=0.264$)に違いがなかった. 血清 CRP 濃度は試行間および時間に有意な差は認められなかった(Fig. 1A). 血清 IL-6 濃度は試行間に差はなかったが, 各運動後に有意に上昇し, 2 回目の運動終了後最大となり, その後低下した(Fig. 1B). 実験を通し, 両試行の間には血清 CRP および IL-6 濃度に交互作用はなかった.

E. 血清筋損傷マーカー

血清 CK および LDH のデータは正規性が認められなかったため, これらのデータは対数変換し, Shapiro-Wilk テストは得られた新しいデータセットの正規性を認めた. 従って, 統計処理には対数変換したデータを用いたが, 先行研究と比較するために Fig. 2 には実測値を使用し示した. 試験期間中の血清 CK および LDH 濃度を Fig. 2 に示した. 両試行のベースライン(実験 1 日目)の間には CK(ビタミン E 試行, 137.9 ± 67.0 U/L; プラセボ試行, 112.6 ± 39.7 U/L, $P=0.836$)および LDH(ビタミン E 試行, 145.9 ± 33.1 U/L; プラセボ試行, 133.8 ± 11.3 U/L, $P=0.345$)に違いがなかった. 血清 CK および LDH 濃度は試行間に有意な差は認められなかった(Fig. 2A, B). 血清 CK 濃度は, 各運動後に上昇し, 実験13日目に最大となり, その後低下した. 血清 LDH 濃度は, 各運動後に上昇し, その

Table 1. Estimated energy expenditure, heart rate, percentage maximal heart rate, power output, and ratings of perceived exertion during the first(Ex 1) and second (Ex 2) bouts of exercise in the vitamin E and placebo trials.

	Vitamin E				Placebo			
	Ex 1		Ex 2		Ex 1		Ex 2	
	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM
Energy expenditure (MJ/90 min)	3.14	0.23	3.03*	0.20	3.15	0.20	3.11	0.23
Heart rate (beats/min)	153	1	150	2	153	2	152	1
% maximal heart rate	78.0	0.9	76.3	1.0	78.2	1.0	77.5	0.8
Power output (W)	79.2	7.9	57.6**	5.4	80.5	7.8	60.0**	6.2
Ratings of perceived exertion	15	1	16	1	15	1	15	1

(Mean values with their standard errors of the mean; n=8)

Significantly different from Ex 1 in the same trial (* $P<0.05$, ** $P<0.01$) Student's *t*-tests for correlated data)

Fig. 1. Serum concentrations of C-reactive protein(CRP) (A) and interleukin-6(IL-6) (B) during the vitamin E (○) and placebo (●) trials. Values are means for eight subjects, with standard errors represented by vertical bars. Data were analysed using two-factor (trial $\times$ time) ANOVA with repeated measures. Main effect of time ($P=0.024$) for IL-6.

後低下した。血清 CK 濃度に関し、二元配置の分散分析の結果、交互作用が認められ実験13日において有意な差が示されたが、Bonferroni の方法にて多重比較を行った結果、その有意差は認められなかった。実験を通し、両試行の間には血清 LDH 濃度に交互作用はなかった。

F. 筋肉疲労度

試験期間中の主観的筋肉疲労度を Fig. 3 に示した。両試行のベースライン(実験1日目)の間には主観的筋肉疲労度(ビタミンE試行, 0.4 ± 0.2 cm; プ

ラセボ試行, 0.3 ± 0.2 cm, $P=0.306$)に違いがなかった。主観的筋肉疲労度は試行間には有意な差を認めなかった(Fig. 3)。両試行とも主観的筋肉疲労度は各運動後に有意に上昇し、その後低下した。実験を通し、両試行の間には主観的筋肉疲労度に交互作用が認められなかった。

IV. 考 察

本研究の主な知見として、健康な若年男性において、14日間のビタミンEサプリメント摂取は2回の繰り返し長時間の高強度自転車漕ぎ運動後の血清

Fig. 2. Serum concentrations of creatine kinase (CK) (A) and lactate dehydrogenase (LDH) (B) during the vitamin E (○) and placebo (●) trials. Values are means for eight subjects, with standard errors represented by vertical bars. Data were analysed using two-factor (trial $\times$ time) ANOVA with repeated measures. Main effect of time ($P=0.003$), trial $\times$ time interaction ($P=0.038$) for CK; Main effect of time ($P=0.006$) for LDH.

CRP および IL-6 濃度の低減を認めなかった。また、ビタミンEサプリメント摂取は反復自転車漕ぎ運動後の血清 CK および LDH 濃度上昇の抑制に効果を示さなかった。

本研究は著者らが知る限り初めて、短期間のビタミンEサプリメントが同日内における2回の繰り返し高強度運動後の炎症反応に及ぼす影響を検討した。両試行において1回目の運動後と比較し、2回目の運動後の血清 IL-6 濃度が高値を示した。この結果は、運動のみを介入とした先行研究の結果と合

致している⁴⁾。しかし、血清 CRP および IL-6 濃度の変化にビタミンE試行とプラセボ試行の間には有意な差は認めなかった。一般に2ヶ月間のビタミンEの摂取により運動誘発性炎症マーカー上昇の抑制に効果があると報告している先行研究¹¹⁾は伸張性収縮運動(ダウヒルランニング)を用い、反対に効果がないと報告している先行研究^{12,13)}では短縮性収縮運動(トレッドミルランニング)を用いて検討している。これらの先行研究の結果より、筋収縮様式の違いがビタミンEの摂取効果に影響している可能

Fig. 3. Subjective measures of muscle soreness during the vitamin E (○) and placebo (●) trials. Values are means for eight subjects, with standard errors represented by vertical bars. Data were analysed using two-factor (trial $\times$ time) ANOVA with repeated measures. Main effect of time, $P < 0.0005$.

性が考えられる。このことを支持する先行研究として、辻たち¹⁴⁾は1週間のビタミンE摂取(1日あたり300 mg)により伸張性収縮運動試行および短縮性収縮運動試行ともにCK濃度が有意に低下したが、その抑制効果は伸張性収縮運動試行のほうに強い傾向があったと報告している。したがって、14日間のビタミンEサプリメントの摂取に対し、本研究で用いた繰り返しの短縮性収縮運動は、運動誘発性炎症マーカーに影響を示さなかったと考えられる。

本研究では、両試行において1回目の運動後と比較し、2回目の運動後の血清CK濃度が高値を示したが、血清LDHについては小さな変化であった。二回の高強度自転車漕ぎ運動にて血清LDH濃度が前値と比較し変化が小さかったことは、6日連続のランニングトレーニングを用いた先行研究¹⁵⁾の血清LDH濃度の運動前後の変化からも推察されるよう、自転車漕ぎ運動という筋の機械的損傷度が比較的小さい運動であったためだと考えられる。1回目と2回目の運動前後、その後の血清CKおよびLDH濃度の変化にはビタミンE試行とプラセボ試行の間には有意な差はなかった。この結果は、Phillips et al.¹⁰⁾、Masataloudis et al.¹⁶⁾の結果と一致する。Masataloudis et al.¹⁶⁾は本研究およびPhillips et al.の研究と比較し、さらに長期間の抗酸化物質サプリメント(6週間、1日あたりビタミンC

を1000 mg、ビタミンEを300 mg)および長時間の運動(50 kmのウルトラマラソン)を用いたが、血漿CKおよびLDH濃度の上昇抑制はみられなかった。しかし、抗酸化サプリメントが運動誘発性筋損傷の低減に効果を示す報告もある^{15, 17~19)}。一致した見解はみられていない理由として、これまでの先行研究では運動の様式、被験者の特性⁶⁾、ビタミンEの摂取期間や容量が研究によって様々であるためだと考えられる。本研究で用いた運動の様式およびビタミンE摂取量と類似し、ビタミンEサプリメントの摂取が血清CK濃度上昇に抑制効果があったと報告している先行研究¹⁷⁾では、サプリメント摂取期間を長期間に設定していたため、今後は慢性的なビタミンE摂取における反復運動後の筋損傷マーカーに及ぼす影響を検討することが必要であると考えられる。

本研究において、14日間のビタミンEサプリメントの摂取により、血清 α -トコフェロール濃度が前値と比較し約2倍の上昇が確認された。この結果は、1週間のビタミンEサプリメントの摂取(1日あたり300 mg)により運動後の血中CK上昇抑制効果が報告されている先行研究¹⁴⁾と同程度の上昇であったが、本研究では2回の反復運動後の炎症および筋損傷マーカーに対するビタミンEの摂取効果は認められなかった。しかし、本研究において前値の

血清ビタミンE濃度は先行研究の約2倍を示しており, この濃度差がビタミンEサプリメントの摂取効果に影響を及ぼすことから⁷⁾, 先行研究との結果の相違が推察される。

本研究では, 繰り返し運動強度の高い運動に伴い急性的に血中の濃度が上昇する, IL-6 が事前のビタミンEサプリメント摂取により上昇抑制できるか否かに着目し, 高強度の反復運動を行う実験デザインを選択した。このような実験系は, 若年男性を対象にグルコース(ブドウ糖)飲料を摂取させ, 90分の自転車漕ぎ運動を最大酸素摂取量の60%の強度で午前と午後の2回行わせた際, 1回目の運動と比較し2回目の運動で白血球, 好中球, IL-6, ストレスホルモン濃度の上昇を抑制できると報告している先行研究でも栄養学的な介入法として用いられている²⁰⁾。しかし, 本研究の結果からは炎症性サイトカインであるIL-6に対するビタミンEサプリメントの摂取効果は認められなかった。今後, さらに反復運動を運動の様式として用い, ビタミンEサプリメントの摂取量や期間を考慮した上での検討が必要だと考えられる。

V. 結 語

本研究の目的は, 健康な若年男性を対象に, 高強度の反復運動に伴う炎症および筋損傷の上昇がビタミンEサプリメントを摂取することで抑制できるという仮説を検証した。実験の結果, 以下の知見が得られた。

- 1) 運動誘発性炎症の指標である血清CRPおよびIL-6について, 14日間のビタミンEサプリメント摂取は2回の繰り返し長時間の高強度自転車漕ぎ運動後の血清CRPおよびIL-6濃度の低減を認めなかった。
- 2) 同様に, 運動誘発性筋損傷の指標である血清CKおよびLDHについても, 14日間のビタミンEサプリメント摂取は2回の繰り返し長時間の高強度自転車漕ぎ運動後の血清CKおよびLDH濃度上昇の抑制に影響を及ぼさないことを明らかにした。

謝 辞

本研究に対し, 多大な助成を賜りました財団法人日本オリンピック委員会, 株式会社コカ・コーラ東京開発セ

ンターに深謝致します。また, 運動中のデータ採取に関しては筑波大学体育専門学群の深谷智晴氏の協力により行われたもので, ここに記して謝意を表わします。宮下政司は助成金の獲得, 研究の着想, 被験者の募集, 測定, 解析, 原稿執筆に貢献した。朴鐘薫は被験者の募集, 原稿執筆に貢献した。

(受理日 平成20年4月16日)

参 考 文 献

- 1) Petersen, A. M. W., Pedersen, B. K. The anti-inflammatory effect of exercise. *J. Appl. Physiol.* (2005) **98**, 1154-1162.
- 2) Nielsen, H. B., Secher, N. H., Christensen, N. J., Pedersen, B. K. Lymphocytes and NK cell activity during repeated bouts of maximal exercise. *Am. J. Physiol.* (1996) **271**, R222-R227.
- 3) Ronsén, O., Lea, T., Bahr, R., Pedersen, B. K. Enhanced plasma IL-6 and IL-1ra responses to repeated vs. single bouts of prolonged cycling in elite athletes. *J. Appl. Physiol.* (2002) **92**, 2547-2553.
- 4) Li, T.-L., Gleeson, M. The effect of single and repeated bouts of prolonged cycling on leukocyte redistribution, neutrophil degranulation, IL-6, and plasma stress hormone responses. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* (2004) **14**, 501-516.
- 5) 宮崎裕美, 芳賀脩光, 大野秀樹. 運動による炎症反応と免疫応答. *体育の科学*. (2001), **51**, 134-138.
- 6) Sacheck, J. M., Blumberg, J. B. Role of vitamin E and oxidative stress in exercise. *Nutrition* (2001) **17**, 809-814.
- 7) Peake, J. M., Suzuki, K., Coombes, J. S. The influence of antioxidant supplementation on markers of inflammation and the relationship to oxidative stress after exercise. *J. Nutr. Biochem.* (2007) **18**, 357-371.
- 8) Borg, G. A. Perceived exertion: a note on history and methods. *Med. Sci. Sports* (1973) **5**, 90-93.
- 9) American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. Lippincott, Philadelphia, (2000)
- 10) Phillips, T., Childs, A. C., Dreon, D. M., Phinney, S., Leeuwenburgh, C. A dietary supplement attenuates IL-6 and CRP after eccentric exercise in untrained males. *Med. Sci. Sport Exerc.* (2003) **35**, 2032-2037.
- 11) Cannon, J. G., Meydani, S. N., Fielding, R. A., Fiatarone, M. A., Meydani, M., Farhangmehr, M., Orencole, S. F., Blumberg, J. B., Evans, W. J. Acute phase response in exercise. II. Associations between vitamin E, cytokines, and muscle proteolysis. *Am. J. Physiol.* (1991) **260**, R1235-R1240.
- 12) Niess, A. M., Sommer, M., Schneider, M., Angres, C., Tschositsch, K., Golly, I. C., Battenfeld, N., Northoff, H., Biesalski, H. K., Dickhuth, H. H., Fehrenbach, E. Physical exercise-induced expression of inducible nit-

- ric oxide synthase and heme oxygenase-1 in human leukocytes : effects of RRR-alpha-tocopherol supplementation. *Antiox. Redox. Signal*(2000) **2**, 113-126.
- 13) Singh, A., Papanicolaou, D. A., Lawrence, L. L., Howell, E. A., Chrousos, G. P., Deuster, P. A. Neuroendocrine responses to running in women after zinc and vitamin E supplementation. *Med. Sci. Sports Exerc.*(1999) **31**, 536-542.
- 14) 辻 秀一 , 角田直也 , 勝川史憲 , 大西祥平 , 山崎 元 . 運動後の Creatine Kinase 遊出に及ぼすビタミン E の影響—筋収縮様式の違い . ビタミン E 研究の進歩 . (1995) , **5** , 216-221 .
- 15) Ito, H., Ohkuwa, T., Shimoda, T., Wakayama, A., Tamura, S., Yamamoto, T., Sato, Y., Miyamura, M. Vitamin E supplementation attenuates leakage of enzymes following 6 successive days of running training. *Int. J. Sport Med.*(2000) **21**, 369-374.
- 16) Mastaloudis, A., Traber, M. G., Carstensen, K., Widrick, J. J. Antioxidants did not prevent muscle damage in response to an ultramarathon run. *Med. Sci. Sport Exerc.*(2006) **38**, 72-80.
- 17) Rokitzki, L., Longemann, E., Huber, G., Keck, E., Keul, J. Alpha-tocopherol supplementation in racing cyclists during extreme endurance training. *Int. J. Sport Nutr.* (1994) **4**, 253-264.
- 18) Sumida, S., Tanaka, K., Kitao, H., Nakadomo, F. Exercise-induced lipid peroxidation and leakage of enzymes before and after vitamin E supplementation. *Int. J. Biochem.*(1989) **21**, 835-838.
- 19) McBride, J. M., Kraemer, W. J., Triplett-McBride, T., Sebastianelli, W. Effect of resistance exercise on free radical production. *Med. Sci. Sport Exerc.*(1998) **30**, 67-72
- 20) Li, T-L., Gleeson, M. The effects of carbohydrate supplementation during the second of two prolonged cycling bouts on immunoendocrine responses. *Eur. J. Appl. Physiol.*(2005) **95**, 391-399.