

# 有酸素運動による酸素障害の可能性と 抗酸化ビタミンの動態について

東京医科大学	川 合 ゆかり
(共同研究者) 同	勝 村 俊 仁
同	大 谷 由美子
同	高 波 嘉 一
日本女子大学	丸 山 千寿子

## The Effect of Strenuous Endurance Exercise on Lipid Peroxidation and Antioxidative Vitamins in Serum

by

Yukari Kawai, Toshihito Katsumura,  
Yumiko Ohya, Yoshikazu Takanami  
*Department of Preventive Medicine and  
Public Health, Tokyo Medical College*  
Chizuko Maruyama  
*Department of Food and Nutrition,  
Japan Women's University*

### ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the existence of oxidative damage from oxidative stress, and to clarify the fluctuation of antioxidant vitamins after strenuous endurance exercise. Twenty-seven male triathletes ( $36.7 \pm 9.6$  yr) who participated in the Ironman Japan '93 in Lake Biwa (3.8 km swim, 180.2 km bike, 42.2 km run, average duration time : 10 hr 39 min.) were examined. We took blood samples before, immediately after and one day after the race to determine the

serum levels of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) as an index of lipid peroxidation,  $\alpha$ -tocopherol ( $\alpha$ -Toc),  $\beta$ -carotene and vitamin C.

A significant decrease in serum TBARS level and a significant increase in serum  $\alpha$ -Toc level were observed immediately after the race. However, excess vitamin E was not taken three days prior to and during the race by the subjects. As vitamin C concentration in serum was high immediately after the race, serum vitamin C could be regenerating serum vitamin E. Furthermore, serum  $\alpha$ -Toc may be mobilized from tissues which stored  $\alpha$ -Toc after the strenuous endurance exercise.

A significantly decreased  $\beta$ -carotene level was also observed immediately after the race. This phenomenon indicates that  $\beta$ -carotene was consumed to scavenge free radicals and initial lipid peroxidation had occurred in serum.

A significant positive correlation between the rate of change in serum TBARS and serum  $\beta$ -carotene was found immediately after the race. This finding indicates that the decrease of serum TBARS may be partly caused by the consumption of serum  $\beta$ -carotene after the strenuous endurance exercise.

These data suggest that the antioxidant system induced by prolonged exercise protects the body against oxidative damage from oxidative stress in strenuous endurance exercise.

## 要 旨

長時間に及ぶ有酸素運動による過酸化障害の可能性と、抗酸化ビタミンの動態を、トライアスロン競技をモデルとして検討した。その結果、過酸化障害の指標の一つである血清過酸化脂質 (TBARS) は、トライアスロン競技前に比して、競技直後に有意な低下を示した。

また血清ビタミン E は競技前に比べ、競技直後に有意な増加を示した。また血清ビタミン C も明らかな増加を示した。したがって、ビタミン E の増加は、ビタミン C によるビタミン E の再生な

らびに脂肪組織等の体内ビタミン E 貯蔵部位からの血中への動員によるものと考えられる。一方血清  $\beta$ -カロチンは、競技前に比べ競技直後に有意に低下した。これはフリーラジカル消去のため、 $\beta$ -カロチンが消費された結果であり、この結果は、長時間有酸素運動時に過酸化の初期反応が起こっていたことを示唆するものである。さらに、この血清  $\beta$ -カロチンの変化率と血清 TBARS の変化率との間には、有意な正相関が認められたことにより、血清 TBARS の低下には一部  $\beta$ -カロチンの消費が関与している可能性が考えられる。しかし、競技後に血清 TBARS が競技前のレ

ベルよりさらに低下したことは、過酸化物の生成抑制だけでなく、運動により過酸化物の分解や排泄が亢進した可能性を示しているとも考えられる。

以上より、長時間有酸素運動においては、抗酸化ビタミンをはじめとする生体の抗酸化システムによる防御反応によって、過酸化障害が抑制されているものと考えられた。

### まえがき

近年、喫煙や紫外線照射といった身近な原因によって、生体内で発生するフリーラジカルは、ほとんどすべての疾患と密接に関連しているともいわれ、問題となっている。運動もこのフリーラジカルを発生させる原因の一つであることが指摘されており、運動は体に悪いという極論まで聞かれるようになってきた。しかし、身体運動後にフリーラジカルに起因する脂質過酸化等の障害<sup>1)</sup>が一部で報告されている一方で、それを否定するような結果も報告されており<sup>2)</sup>、運動にともなう生体過酸化障害に関しては、まだ一定の見解が得られていないのが現状である。

一般に過酸化障害として、まず問題になるのが脂質の過酸化である。脂質がフリーラジカルの攻撃を受けると、連鎖的に反応が進行し、加速度的に酸化が起こっていくが、一方でこの連鎖反応を停止させる抗酸化物の存在が知られている。中でも、とくに食物から摂取可能な抗酸化ビタミンが注目されており、脂溶性のビタミンE、β-カロチン、水溶性のビタミンCなど、それぞれ生体における存在部位が異なることより、広範囲にフリーラジカルから生体を防御している。過酸化障害と抗酸化ビタミンに関しては、in vitroでの報告は数多く見受けられるが、生体内で発生するフリーラジカルと抗酸化ビタミンの動態について検討した報告は少ない。

運動時に生体内で発生するフリーラジカルの由

来は、第一に有酸素運動時のエネルギー代謝におけるミトコンドリア内の電子伝達系からの生成、第二に組織内一過性虚血後の再開通時、いわゆる虚血再灌流時の生成と二通りが考えられている。長時間に及ぶ有酸素運動時には、その二つに由来するフリーラジカルが多量に発生することが推測され、したがって、このような長時間の過激な運動は、過酸化障害とそれに対する抗酸化ビタミンの動態を検討するのに適する対象と考えられる。本研究では、苛酷な競技として知られるトライアスロン競技の参加者を対象として、長時間有酸素運動後の過酸化障害の有無を確認し、同時に抗酸化ビタミンである、ビタミンE、β-カロチン、ビタミンC等の動態について検討した。

### 1. 対象および方法

今回、長時間の有酸素運動のモデルとしてトライアスロンを取り上げた。トライアスロンは、1人の競技者が、水泳3.9 km、自転車180.2 km、マラソン42.2 kmを連続して行い、15時間という制限時間内にゴールしなければならないという苛酷な競技である。対象としたレースは、1993年、滋賀県琵琶湖で行われたIronman Japan '93 in Lake Biwa (swim 3.9 km, bike 180.2 km, run 42.2 km)であり、対象者はこのレース完走者中、基礎疾患を持たない健常男性27名とした。対象者の平均年齢は36.7 ± 9.6歳、競技所要時間8時間48分～14時間31分、平均競技時間10時間39分であった(表1)。競技当日の気象条件は、水温

表1 対象者の身体特性

対象者数 (人)	27
年 齢 (歳)	36.7 ± 9.6
身 長 (cm)	169.5 ± 4.7
体 重 (kg)	64.4 ± 5.9
Body mass index	22.5 ± 1.45
競技時間 (時間:分)	10:39 ± 1:24

mean ± S.D.

21.3°C, 気温 19.8 ~ 27.3°C, 湿度 64 ~ 68% であった。

対象者全員に対し, 事前に検査の説明を行い, 同意を得た上, 採血を競技 2 日前, 競技直後, 競技翌日の計 3 回, 食前に仰臥位にて肘正中皮静脈より行った。得られた血液を, 3,000 r. p. m. で 10 分間遠心分離して血清を分取し, 以下の測定に供した。過酸化生成物の指標として, チオバルビツール酸反応物質 (TBARS) を八木法<sup>3)</sup>にて測定した。この方法は, 過酸化脂質に対する特異性が低いという点が問題とされているが, いわゆる過酸化脂質 (脂質ヒドロペルオキシド) のみならず, その 2 次生成物 (アルデヒド等) も含めて測定するため, 過酸化生成物量の指標としてむしろ適していると考えられる。

ビタミン E は, その同族体の中でも最も生理活性の高い  $\alpha$ -トコフェロール ( $\alpha$ -Toc) を, 高速液体クロマトグラフ法 (HPLC)<sup>4)</sup>にて, また  $\beta$ -カロチンも HPLC<sup>5)</sup>にて測定した。ビタミン C は  $\alpha$ ,  $\alpha'$ -Dipyridyl<sup>6)</sup>法, 総コレステロール (T-Chol) は和光純薬製キット「総コレステロール-HR」, 遊離グリセロール (Gly) はベーリンガー・マンハイム 山之内製キット「F-テスト グリセロール」を用いて測定した。なお競技後には, 脱水等により循環血漿量に変化することが考えられ, 実際, 競技直後には平均 4% の濃縮, 競技翌日には平均 10% の希釈が認められたことから, それぞれの測定値を Dill らの方法<sup>7)</sup>を用いて濃縮補正を行った。

また, 外因性の抗酸化ビタミン摂取の影響の有無を確認するため, 栄養調査を競技前採血の 3 日前から自記式にて, 競技直後は聞き取り式にて実施し, 各個人の食事調査票から, ビタミン E の摂取量は科学技術庁 資源調査会報告 第 112 号により,  $\beta$ -カロチンおよびビタミン C の摂取量は, 四訂 日本食品標準成分表より算出して求めた。また補助食品および製剤については, 商品表示ある

いは日本医薬品集 1993 年 (日本医薬情報センター編) より算出して求めた。

本研究における測定結果の統計解析は, 競技前後の変化の有意性について paired *t*-test を用いて検定し, 危険率 5% 未満を有意とした。

## 2. 結 果

競技後の濃度値は, 前述の濃度補正式によって補正した値である。血清 TBARS は平均値で, 競技前  $3.2 \pm 0.7$  nmol/ml, 競技直後  $2.2 \pm 0.4$  nmol/ml, 競技翌日  $2.7 \pm 0.5$  nmol/ml と競技前に比べ競技直後, 競技翌日ともに有意に減少した。 ( $P < 0.01$ ) (図 1)。

また血清  $\alpha$ -Toc は平均値で, 競技前  $10.6 \pm 4.4$   $\mu$ g/ml, 競技直後  $12.6 \pm 5.3$   $\mu$ g/ml, 競技翌日  $10.6 \pm 3.5$   $\mu$ g/ml と競技前に比し, 競技直後に有意に増加した ( $P < 0.05$ ) (図 2)。血清  $\alpha$ -Toc は血清中の総コレステロールと相関することが知られており<sup>8)</sup>, 本研究においても競技前の両者の間には, 有意な正相関が認められた ( $r = 0.464$ ,  $P <$

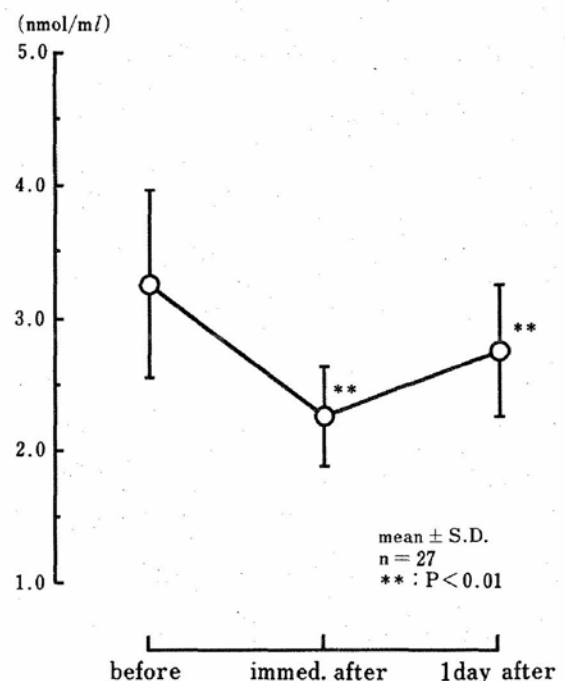


図 1 トライアスロン競技前後の血清 TBARS の変化

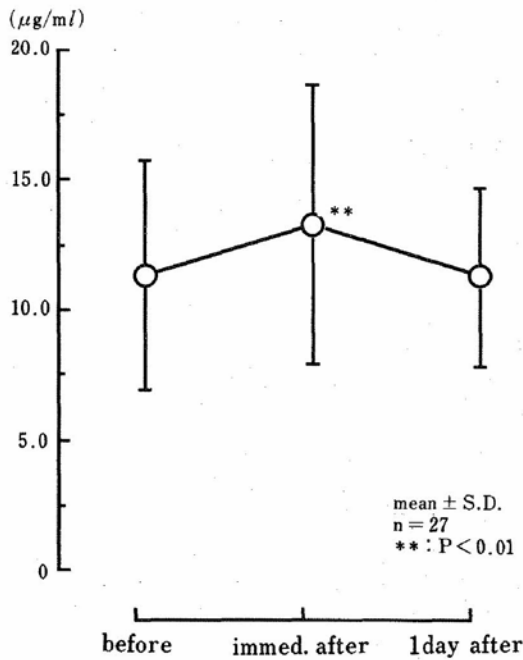


図2 トライアスロン競技前後の血清α-トコフェロールの変化

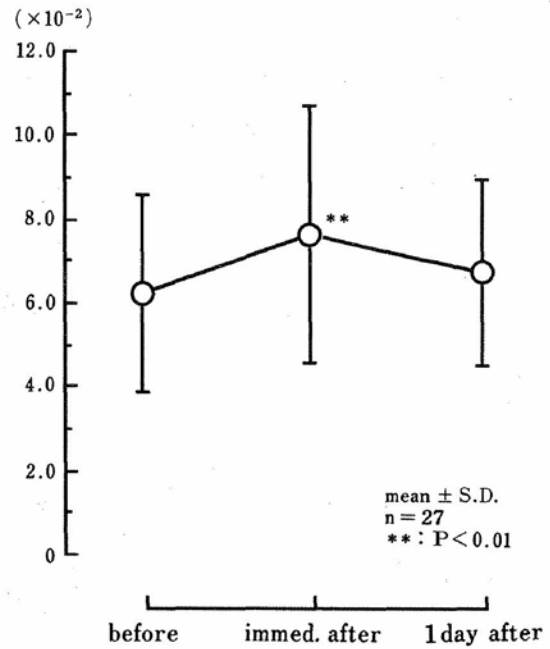


図3 トライアスロン競技前後の血清α-トコフェロール/総コレステロール比の変化

0.05).

これより前述の血清α-Tocの変化が、運動後の血清脂質の変化による、二次的な変化である可能性も考えられることから、単位総コレステロールあたりのα-Tocの変化量、つまりα-TocのT-Choに対する比(α-Toc/T-Cho)の変化について検討した。その結果、競技前6.0±2.4、競技直後7.4±3.1、競技翌日6.5±2.2と競技直後に有意な増加を示した(P<0.01)(図3)。この結果より、血清α-Tocの増加は血清脂質量の変化にともなう二次的なものでなく、α-Toc自体の増加であると考えられる。

従来一般に、運動時のフリーラジカルの生成亢進にともなうビタミンE減少の報告が多いが、本研究においては、血清α-Tocは競技直後に明らかに増加した。その原因の一つとして、体内貯蔵部位からのビタミンE動員の可能性に着目した。ビタミンEは一般に、脂肪組織に多く貯蔵されていること、トライアスロンのような長時間有酸素運動時には、大量の脂肪動員が認められることから、脂肪組織からビタミンEが動員された可能性

がある。今回は脂肪動員の指標として、血清遊離グリセロールを用いて競技前後の変化を見たところ、競技前0.6±0.2 mg/dl、競技直後5.2±1.9 mg/dl、競技翌日0.8±0.4 mg/dlと競技前に比べ競技直後に著明な増加が認められた。さらに脂肪動員の程度と血清α-Tocの上昇度との関係を明らかにするために、血清遊離グリセロールの競技前後の変化率と、血清α-Tocの競技前後の変化率との相関について検討したところ、両者の間に有意な正相関が認められた(r=0.469, P<0.05)(図4)。

また水溶性ビタミンで、ビタミンEの再生作用を有するビタミンCの変化を検討したところ、血清ビタミンCは、競技前1.3±0.3 mg/dl、競技直後2.4±0.7 mg/dl、競技翌日1.7±0.4 mg/dlと競技前に比して競技直後に有意な増加を示した(P<0.01)(図5)。

一方、ビタミンEと同じ脂溶性抗酸化ビタミンであるが、その分子性状の差から、ビタミンEとは若干異なる抗酸化作用を有するβ-カロチンについても検討した。血清β-カロチンは、競技前

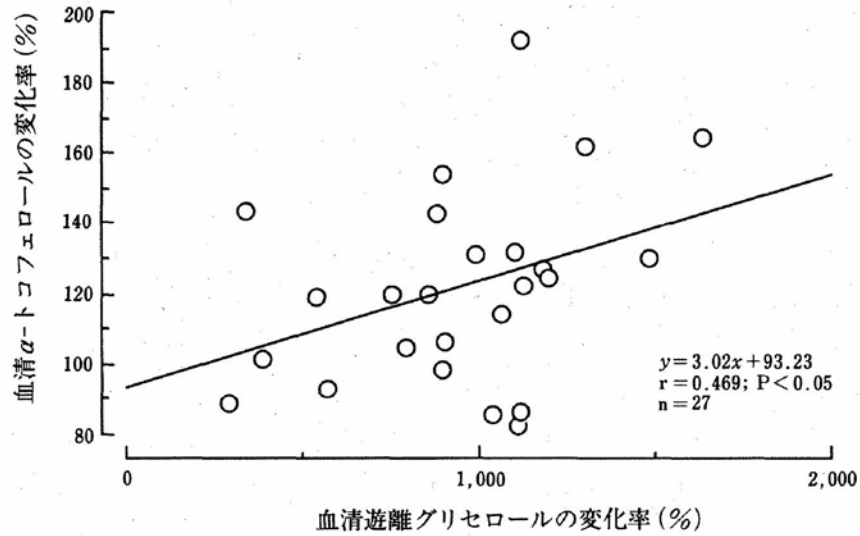


図4 トライアスロン競技直後の血清遊離グリセロールの変化率と血清α-トコフェロールの変化率との相関

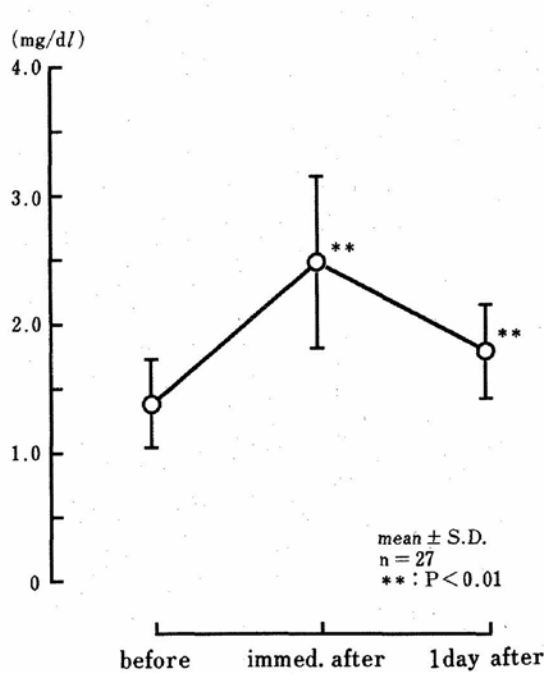


図5 トライアスロン競技前後の血清ビタミンCの変化

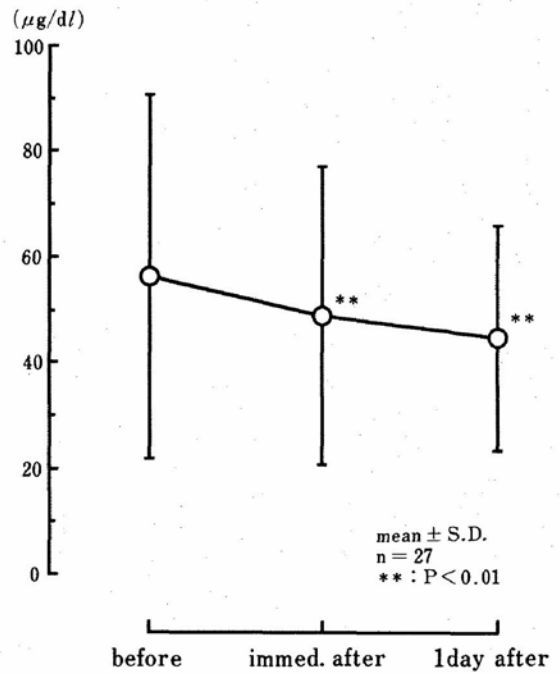


図6 トライアスロン競技前後の血清β-カロチンの変化

54.9 ± 34.5 μg/dl, 競技直後 47.6 ± 28.1 μg/dl, 競技翌日 43.4 ± 21.2 μg/dl と, 競技直後から翌日にかけて有意に低下した (P < 0.01) (図6). さらに血清過酸化物の変化との関係を見るために, 血清 TBARS の変化率と血清β-カロチンの変化率との相関を検討したところ, 両者の間には有意

な正相関が認められた (r = 0.522, P < 0.02) (図7).

### 3. 考 察

生体内でフリーラジカルの生成が亢進すると, それにともなって, 組織では細胞膜等の膜脂質の

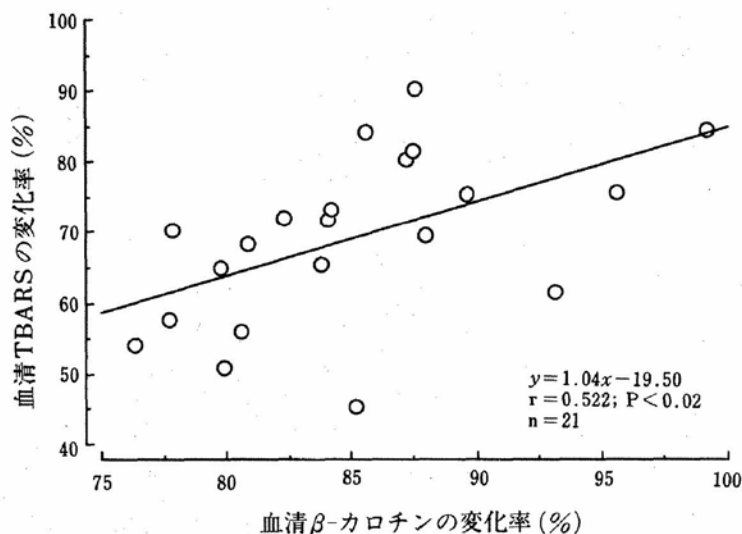


図7 トライアスロン競技直後の血清β-カロチンの変化率と血清TBARSの変化率との相関

過酸化やDNA障害が、また血中ではリポ蛋白の一種であるLDL(低比重リポ蛋白)の過酸化変性が引き起こされるなどの障害が起こるといわれている。長時間の運動という身体活動において生じたフリーラジカルは、細胞膜中あるいはリポ蛋白中の高度不飽和脂肪酸と反応して、過酸化脂質を生成する可能性が考えられる。先行研究では、運動により血清TBARSは増加するという報告が多いが、これらは運動後の血液濃縮の影響を補正していないものが多く、TBARSの産生増加というより、見かけ上の上昇であった可能性も考えられる。本研究においては血液濃縮を補正して検討したところ、長時間有酸素運動直後に有意な減少を示した。

生体内にはフリーラジカルの増加に対して、種々の防御網が備わっている。中でも抗酸化酵素の一つである、スーパーオキシドジスムターゼ(SOD)を中心とした抗酸化システムは、フリーラジカルが増加するのにともない、SOD産生の増大等を介して増強されることが知られている。

このように、今回血清TBARSが運動によって有意に減少したことは、長時間運動にともな

体内に抗酸化ビタミン等の抗酸化物が十分に存在したこと等により、フリーラジカルを消去し得た結果と考えられる。しかしこれのみで、血清TBARSが競技直後に29%も低下したことをすべて説明することは難しい。

一方、過酸化脂質である脂質ヒドロペルオキシドは、抗酸化酵素であるグルタチオンペルオキシダーゼにより分解される反応や、アルデヒドまで代謝された後に、尿中に排泄される過程などにより、血中濃度の低下をきたしたものと考えられる。Gohilら<sup>9)</sup>は、ヒトにおいて運動の急性効果により酸化型グルタチオンが増加し、還元型グルタチオンが減少するという実験結果から、グルタチオンペルオキシダーゼを介した反応系が、運動によって亢進することを報告している。これはグルタチオンペルオキシダーゼによる脂質ヒドロペルオキシド分解反応が、運動によって亢進したことを示唆するものである。またわれわれは、トライアスロン競技後に尿中TBARSの排泄が増加したことも確認している(未発表)。これらを合わせ考えると、長時間の有酸素運動によって、過酸化物の分解や排泄が亢進した可能性が考えられ、その結果、血清TBARSの減少がもたらされたもの



と思われる。

抗酸化ビタミンの一つであるビタミンEは、ラジカル反応によって生成される、脂質ペルオキシラジカルを捕捉して非ラジカル体にするによって、連鎖反応を停止させる作用を有する。長時間の有酸素運動であるトライアスロン競技時において、血清 $\alpha$ -Tocは競技前に比べて、競技直後に有意に上昇した。従来、運動により発生するフリーラジカルの消去にともなって、血清 $\alpha$ -Tocが減少するという考え方が一般的であるが、今回のわれわれの研究においては、血清 $\alpha$ -Tocは競技直後に明らかに増加を示した。

このような現象をきたす理由の一つとして、まず食物あるいは補助食品等からの摂取の影響の可能性が考えられるため、これについて検討を加えた。今回の研究におけるわれわれの栄養調査においては、血清 $\alpha$ -Tocに大きな影響を与える可能性のあるビタミンE含有製剤および補助食品の摂取状況は、競技前から競技直後にかけて、とくに変化は認められなかった。また今回の対象者における食事からの $\alpha$ -Tocの摂取量は、1日4mg~28mgであり、この程度の範囲内では、血中濃度に明らかな変化をもたらすような影響を与えないことが知られている。したがって、競技直後の血清 $\alpha$ -Tocの増加に対する食物、あるいは補助食品等の摂取の影響は少ないものと考えられた。

またビタミンCは、ラジカルを捕捉したビタミンEから自らがラジカルを受け取ることにより、ビタミンEの抗酸化性を再生させることが報告されている<sup>10)</sup>。食事調査の結果から、競技当日のビタミンC摂取量は平均1,134mgと算出されており、競技直後の血清ビタミンCも平均2.4mg/dlと高い値を示した。したがって、競技時にビタミンCがビタミンEの再生可能な十分量が存在したため、ビタミンEの減少が抑えられた可能性もある。しかしビタミンEの再生促進があったとしても、競技後のビタミンEの有意な上昇が認め

られたということは、これ以外の何んらかの要因が関与するものと考えられる。すなわちその一つとして、体内組織に貯蔵されるビタミンEが血中に動員された可能性が考えられる。

一般にビタミンEは、脂肪組織や肝臓に多く貯蔵されていることが知られている<sup>11)</sup>。実際トライアスロン競技においては、長時間に及ぶ激しい競技であることから、エネルギー供給のために大量の脂肪の分解、動員が起こっている可能性が考えられる。脂肪組織に貯蔵されているトリグリセリドは、遊離脂肪酸と遊離グリセロールとに分解されるが、血中の遊離脂肪酸は、競技中に速やかに筋組織等に取り込まれ、エネルギー源として利用されると考えられることから、今回は脂肪分解の指標として血清遊離グリセロールを用い、その競技前後の血中濃度変化を見たところ、競技前に比べ競技直後では10.2倍の上昇が認められた。この結果からもエネルギー源供給のために相当な脂肪動員が起こっていることがわかる。そして脂肪動員と血清 $\alpha$ -Tocの変化の関係を見るために、血清遊離グリセロールの変化率と、血清 $\alpha$ -Tocの変化率との相関関係を検討したところ、競技直後において有意な正相関が認められた。この結果は、血清 $\alpha$ -Toc増加の一つの理由として、生体内のビタミンE貯蔵部位である脂肪組織からビタミンEが動員された可能性を示唆するものである。

脂肪組織から血中へのビタミンEの動員には、リポ蛋白がキャリアとして関与していると考えられるが、詳細は現在のところ不明である。これと同時に、脂肪組織以外の他の貯蔵組織からの動員の可能性も否定できない。今後さらに詳細な検討が必要であると考えられる。

一方、 $\beta$ -カロチンはカロチノイドの一種であり、昔からプロビタミンAとして知られていたが、最近抗酸化ビタミンとして注目されている。 $\beta$ -カロチンの抗酸化作用はビタミンEとは異



なり、低酸素状態下においてより有効に抗酸化作用を発揮することが知られている。今回認められた競技直後の $\beta$ -カロチンの減少は、 $\beta$ -カロチンがフリーラジカルの消去にあたり、消費された結果とも考えられることから、 $\beta$ -カロチンと血清TBARSとの関係について検討した。

血清 $\beta$ -カロチンの競技前後の変化率と、血清TBARSの競技前後の変化率との間で相関を見たところ、有意な正相関が認められた。すなわち、競技直後の血清 $\beta$ -カロチンの減少が著明な選手ほど、血清TBARSの減少が著しい傾向を示した。この結果から、競技後の血清TBARSの低下には $\beta$ -カロチンの消費が一部関与していることが示唆された。

また $\beta$ -カロチンの減少は、フリーラジカルによる過酸化の初期反応の存在を示すものと考えられるが、最終的には種々の抗酸化酵素や抗酸化物質などの防御システムによって、過酸化障害がおこるまでには至らなかったものと考えられる。

今回、長時間運動後に同じ抗酸化ビタミンでありながら、ビタミンEは有意に増加し、 $\beta$ -カロチンは有意に減少した。このビタミンEと $\beta$ -カロチンの動態の異なる理由は、その存在部位における局在位置の違いに関係するものと考えられる。すなわち、両者の構造上の特性の差によるものと思われる。実際、比較的極性の高いビタミンEは、細胞膜あるいはリポ蛋白表層部に局在し<sup>12)</sup>、 $\beta$ -カロチンは極性が低いためにその中央部に局在するといわれている。

過酸化反応を防止し、自らラジカルとなったビタミンEは、ビタミンCにより再生されるため、ビタミンCの存在下でビタミンEの消費が抑制されることや、ビタミンEが細胞膜あるいはリポ蛋白表層部に局在していることにより、貯蔵部位、リポ蛋白、さらに細胞への移動が容易に行われることなどから、血清ビタミンEは容易に減少し難いのではないかと考えられる。

これと対照的に細胞膜、あるいはリポ蛋白中央部に存在する $\beta$ -カロチンは、ビタミンEに比べてリポ蛋白を介した移行が速やかに行われないと考えられることから、フリーラジカルにより $\beta$ -カロチンが消費されると、その回復はビタミンEほど容易には起こりにくいのではないかと推察される。また最近、血中脂質、とくにLDL脂質の過酸化の初期反応は、その中心部に存在するコレステロールエステルの過酸化であるとの報告もあり<sup>13)</sup>、同部位に局在する $\beta$ -カロチンの方が、表層のビタミンEより有効に作用していた可能性もある。

このように、抗酸化ビタミンの中でも、酸化的ストレスに対する作用様式が異なる物質が、他の抗酸化物質と幾重にも関与して生体の防御システムを作り上げていることにより、長時間の有酸素運動時のような、酸化的ストレスに対しても明らかな過酸化障害は起こらなかったものと考えられる。

#### 4. ま と め

運動に起因するフリーラジカルによる過酸化障害が、実際に生体内で起こるか否か、またその時の抗酸化ビタミンの変動についてを、トリアスロンを長時間の有酸素運動のモデルとして検討を行ったところ、以下の結果を得た。

(1) 長時間の有酸素運動により、過酸化物の指標である血清TBARSは有意な減少を示した。その理由として、血清中抗酸化物質量が十分に存在したことや、長時間運動にともない、種々の抗酸化システムが十分に誘導されたこと、過酸化物の分解や排泄が亢進することなどが考えられる。

(2) 血清 $\alpha$ -Tocは競技直後に有意に増加した。血清 $\alpha$ -Tocの増加の理由としてビタミンCによる $\alpha$ -Tocの再生や、その貯蔵組織の一つである脂肪組織からの $\alpha$ -Tocの動員が考えられる。

(3) 血清 $\beta$ -カロチンは競技直後に有意に減少

した。またこの血清 $\beta$ -カロチンの変化率と血清TBARSの変化率との間には有意な正相関が認められ、血清TBARSの低下には一部 $\beta$ -カロチンの消費が関与していることが示唆された。

以上より、著しい酸化的ストレスとなる長時間の激しい運動においては、抗酸化ビタミンおよび抗酸化酵素等による過酸化防御反応が十分に働き、その過酸化障害を防止しているものと考えられる。

### 謝 辞

稿を終えるに当たり、御指導、御校閲を賜りました、東京医科大学 衛生学公衆衛生学 岩根久夫教授に深謝いたします。また、本研究に対する援助をいただいた、石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く感謝の意を表します。

### 文 献

- 1) Kanter, M. M., Lesmes, G. R., Kaminsky, L. A., et al. ; Serum creatine kinase and lactate dehydrogenase changes following an eighty kilometer race, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **57**, 60-63 (1988)
- 2) Viinikka, L., Vuori, J., Ylikorkala, O. ; Lipid peroxides, prostacyclin, and thromboxane  $A_2$  in runners during acute exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **16**, 275-277 (1984)
- 3) 八木国夫 ; Thiobarbituric acid 蛍光法による血漿または血清中の過酸化脂質の微量定量法, *ビタミン*, **49**, 403-405 (1975)
- 4) 五十嵐脩 ; ビタミンE, *ビタミンハンドブック3 ビタミン分析法*, 日本ビタミン学会編, 化学同人, 27-30 (1989)
- 5) 加美山茂利, 田近久美子, 伊藤宜則 ; カロチンの測定法, *臨床検査*, **31** (3), 268-274 (1987)
- 6) 岡村正人 ;  $\alpha$ - $\alpha'$ -Dipyridyl 法による血漿および尿中のアスコルビン酸の定量法, *ビタミン*, **55**, 495-508 (1981)
- 7) Dill, D. B., Costill, D. L. ; Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma and red cells in dehydration, *J. Appl. Physiol.*, **37** (2), 247-248 (1974)
- 8) Rubinstein, H. M., Dietz, A. A., Srinivasan, R. ; Relation of vitamin E and serum lipids, *Clin. Chim. Acta*, **23**, 1-6 (1969)
- 9) Gohil, K., Viguie, C., Stanley, W. C., Brooks, G. A., Packer, L. ; Blood glutathione oxidation during human exercise, *J. Appl. Physiol.*, **64** (1), 115-119 (1988)
- 10) 五十嵐脩, 米川由香子, 藤原葉子 ; 生体内におけるビタミンEとCの相互作用 — ODSラットでの検討, *ビタミンE研究の進歩II*, ビタミンE研究会編, 共立出版, 184-188 (1992)
- 11) 中村哲也 ; ビタミンEの吸収, 分布, 排泄, *ビタミンE—基礎と臨床*, 医歯薬出版, 33-58 (1985)
- 12) 浦野四郎 ; 生体膜におけるEの存在位置, *活性酸素・フリーラジカル*, **3** (5), 551-559 (1992)
- 13) 渡辺 毅, 金沢武道, 福士裕子ほか ; 低比重リポ蛋白質 (LDL) の脂質成分からみた被過酸化性について, *動脈硬化*, **21** (9), 95 (1993)