



## Antioksidan Vitamin dan Kerusakan Otot pada Aktivitas Fisik Studi Eksperimen pada Mahasiswa JPOK-FKIP UNS Surakarta

Kiyatno \*

### ABSTRACT

*Vitamin antioxidants administration toward muscle damage on exercise. An experimental study in students of FKIP-JPOK Sebelas Maret University*

**Background:** Exercise has dual effects, which not only enhance health status and performance but also results in muscular damage. The aim of this study is to determine when the administration of vitamin antioxidants is more effective in reducing the muscular damage.

**Methods:** An experimental quantitative study with a 2x2 factorial research design was used in this study. Forty of total students in third semester of JPOK-FKIP Sebelas Maret University were randomly selected to become the experimental subjects and divided equally into four groups. First and second groups performed exercise with strenuous sub maximal intensity (SSI, running 2x800 m) and took the vitamin antioxidants (30 mg vitamin A, 200 mg vitamin C, 50 mg vitamin E, 15 mg Zn and 25 mcg Se) before running for first group and after running for second group respectively. Prior to perform prolonged sub maximal intensity (PSI, running 1500 m) third group took the same antioxidants while fourth group took the antioxidant after doing PSI. 48 hours later, MDA plasma levels were determined by using TBARS in order to measure the muscular damage. T-test was use for analyzing all collected data.

**Results:** There is different effect on muscle damage when vitamin antioxidants were taken before and after exercise (obs.T 3.70>tb.T 1.68), which vitamin antioxidants were taken after exercise has a better muscle damage (MDA 200.60><222.38).

**Conclusions:** The administration of vitamin antioxidants after exercise has a better muscle damage.

**Keywords:** Exercise, vitamin antioxidants, muscle damage

### ABSTRAK

**Latar belakang:** Aktivitas fisik selain membuat tubuh menjadi lebih sehat dan lebih bugar, juga dapat menimbulkan kerusakan otot. Tujuan penelitian untuk mengetahui waktu pemberian antioksidan vitamin yang paling efektif untuk mengurangi kerusakan otot.

**Metode:** Jenis penelitian adalah kuantitatif-eksperimental menggunakan rancangan penelitian faktorial 2x2. Subyek penelitian diambil secara acak sederhana (n=40) mahasiswa JPOK-FKIP UNS semester III, dibagi menjadi 4 kelompok: (1) minum antioksidan vitamin lalu lari 2x800 m (2) lari 2x800 m lalu 20 jam kemudian minum antioksidan vitamin (3) minum antioksidan vitamin lalu lari 1500 m (4) lari 1500 m lalu 20 jam kemudian minum antioksidan vitamin. Kerusakan otot diukur berdasarkan kadar MDA plasma dengan metode TBARS 48 jam setelah perlakuan. Antioksidan vitamin terdiri vitamin C 200 mg, vitamin E 50 mg, vitamin A 30 mg, Zn 15 mg, Se 25 mcg. Analisis data menggunakan t-test dengan tingkat kepercayaan 95%, dengan komputer minitab for Window release 13.

**Hasil:** Terjadi perbedaan pengaruh yang bermakna terhadap kerusakan otot antara pemberian antioksidan vitamin sebelum dengan sesudah aktivitas fisik ( $t_{hit} 3,70 > t_{tab} 1,68$ ). Pemberian antioksidan vitamin sesudah aktivitas fisik kerusakan otot lebih kecil dibanding sebelum aktivitas fisik. (MDA 200,60 > < 222,38).

**Simpulan:** Pemberian antioksidan vitamin sesudah aktivitas fisik kerusakan otot lebih kecil dibanding sebelum aktivitas fisik.

---

\* Laboratorium Fisiologi Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami No. 36A Surakarta

## PENDAHULUAN

Aktivitas fisik (*exercise*) atau olahraga akan menimbulkan dampak positif terhadap tubuh antara lain menjadi lebih sehat dan lebih bugar. Dampak positif olahraga aerob tingkat sel ialah jumlah mioglobin, mitokhondria, glikogen otot, enzim dan oksidasi lipid meningkat.<sup>1</sup> Pada olahraga anaerob fosfagen, ATP-PC (*adenosine triphosphate-phosphocreatine*) dan enzim glikolisis meningkat. Selain menghasilkan dampak positif, masih jarang orang berpikir tentang dampak negatif aktivitas fisik atau olahraga terhadap kerusakan otot (*muscle damage*), maka dampak negatif ini masih perlu diteliti. Olahraga yang dilakukan secara berlebihan atau tidak sesuai takarannya dapat menyebabkan nyeri otot (*soreness*), sendi sakit digerakkan, gejala ini disebut *delayed onset muscle soreness* (DOMS). Kerusakan otot pada aktivitas fisik ini disebabkan trauma mekanik saat otot kontraksi yang diikuti stres oksidatif.<sup>1</sup>

Kontraksi otot rangka merupakan peristiwa mekanik, elektrik dan kimia yang terdiri enam tahap yang disebut siklus *cross bridges*.<sup>2</sup> Pada intensitas submaksimal, *power stroke*, *sliding filament* dan *disconnecting* pada siklus *cross bridges* merupakan trauma mekanik yang dapat menimbulkan *injury* otot.<sup>1,3</sup> Daerah *injury* akan mengeluarkan *chemo attract* yang menarik netrofil dan monosit ke daerah *injury*, yang diikuti pembentukan *reactive oxygen species* (ROS) untuk pertahanan tubuh.<sup>4</sup> Dalam keadaan normal pembentukan ROS akan diimbangi pembentukan antioksidan endogen seperti SOD (*superoxide dismutase*), GPx (*glutathion peroxidase*), katalase. Apabila pembentukan antioksidan lebih sedikit dibandingkan terbentuknya radikal bebas, akan terjadi stres oksidatif, yang akan menyerang *polyunsaturated fatty acid* (PUFA) dan menghasilkan *malondialdehyde* (MDA), serta merusak DNA (*deoxyribonucleic acid*) dan protein.<sup>5</sup> Aktivitas fisik dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas melalui (1) Peningkatan reduksi O<sub>2</sub> dalam mitokhondria (2) Peningkatan metabolisme epinefrin dan katekolamin yang lain (3) Peningkatan aktivitas lekosit dan makrofag pada daerah *injury* (4) Peningkatan *xanthine oxidase* (5) Peningkatan aktivitas NADPH (*nicotinamide adenine dinucleotide phosphate oxidase* dan *cytochrome P.450*). Pembentukan radikal bebas mulai meningkat 12-24 jam setelah aktivitas fisik, mencapai puncaknya setelah 48-72 jam dan kembali normal 168 jam setelah aktivitas fisik.<sup>3</sup>

Aktivitas fisik submaksimal merupakan masalah yang kompleks, karena menggunakan energi predomanan campuran *lactic acid* (LA) dan aerob (O<sub>2</sub>) sehingga intensitas submaksimal dipilih dalam penelitian ini untuk memanipulasi terjadinya kerusakan otot. Kerusakan otot pada aktivitas fisik banyak terjadi pada *strenuous submaximal intensity* (SSI) dan *prolong submaximal intensity* (PSI).<sup>6,7</sup>

Makin berat intensitas aktivitas fisik energi LA makin besar dan O<sub>2</sub> makin kecil, disebut *strenuous submaximal intensity* (SSI), misalnya renang atau lari cepat 800 meter. Apabila intensitas makin ringan seperti lari 1500 meter, energi dari O<sub>2</sub> makin besar dan LA makin kecil disebut *prolong submaximal intensity* (PSI).<sup>7</sup>

Antioksidan adalah senyawa pemberi elektron atau senyawa yang dapat meredam dampak negatif oksidan.<sup>5</sup> Antioksidan dibagi menjadi 3 yaitu (1) Antioksidan primer (enzimatik) misalnya SOD, GPx, katalase, GSH (*glutathione*) (2) Antioksidan sekunder misalnya vitamin E, vitamin A dan vitamin C (3) Antioksidan tertier misal metionin dan DNA *repair* enzim.<sup>8</sup> Cara antioksidan meredam dampak negatif oksidan atau mencegah *oxidative damage* pada molekul sasaran adalah sebagai berikut (1) Meredam *oxygen-derived species* (2) Meminimalkan pembentukan *oxygen-derived species* (3) Mengikat ion metal yang dibutuhkan untuk mengubah *poorly reactive species* (O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) menjadi *species* yang lebih reaktif (4) Memperbaiki kerusakan molekul sasaran (5) Merusak molekul sasaran yang rusak berat dan menggantinya dengan yang baru.<sup>9</sup> Kerusakan otot akibat stres oksidatif dapat mengenai dinding sel, DNA dan protein.<sup>10</sup> Indikator tingkat kerusakan otot yang banyak digunakan adalah kadar MDA plasma dengan metode pengukuran *thiobarbituric acid reactive substance* (TBARS).<sup>8</sup>

Belum ada laporan yang jelas kapan waktu pemberian antioksidan vitamin itu paling efektif, sebelum aktivitas fisik (SB) atau sesudah aktivitas fisik (SS), maka masih perlu diteliti.

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah mengurangi dampak negatif aktivitas fisik yang berupa kerusakan otot sehingga dampak positif aktivitas fisik yang berupa peningkatan derajat kesehatan atau peningkatan prestasi olahraga dapat lebih maksimal.

## METODE

Penelitian ini dilakukan di FKIP-JPOK UNS pada bulan Nopember 2007, dengan metode penelitian eksperimental menggunakan rancangan penelitian faktorial 2x2.

Populasi adalah mahasiswa semester III FKIP-JPOK UNS sebanyak 132 orang. Pengambilan sampel secara *purposive quota random sampling* sebanyak 40 orang yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi adalah mahasiswa lelaki, sehat pada pemeriksaan fisik diagnostik dan laboratorik, bersedia menjadi sampel penelitian dengan menandatangani *informed consent*. Kriteria eksklusi adalah kebiasaan merokok, mengkonsumsi antioksidan vitamin atau obat anti radang. Subyek penelitian dibagi menjadi 4 kelompok perlakuan: (1) Minum antioksidan vitamin lalu segera

lari 2x800 m (SB-SSI) (2) Lari 2x800 m lalu 20 jam kemudian minum antioksidan vitamin (SS-SSI) (3) Minum antioksidan vitamin lalu segera lari 1500 m (SB-PSI) (4) Lari 1500 m lalu 20 jam kemudian minum antioksidan vitamin (SS-PSI). Kerusakan otot diukur berdasarkan kadar MDA plasma dengan metode TBARS 48 jam setelah perlakuan. Antioksidan vitamin terdiri dari vitamin C 200 mg, vitamin E 50 mg, vitamin A 30 mg, Zn 15 mg, Se 25 mcg. Analisis data menggunakan uji beda statistik *t-test* dengan tingkat kepercayaan 95%, dengan menggunakan komputer *minitab for Windows release 13*.

**HASIL**

Hasil analisis uji beda rerata (dengan komputer *minitab for Windows release 13*) dari Tabel 1 menunjukkan hasil  $t_{hit}=3,04$  dan  $t_{tab}=2,10$ . Ini berarti terdapat perbedaan yang bermakna kadar MDA plasma antara pemberian antioksidan vitamin sebelum dan sesudah lari 800 m, pada pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik kadar MDA lebih kecil atau kerusakan otot lebih kecil.

Tabel 1. Hasil analisis statistik kadar MDA plasma (mmol/l) pemberian antioksidan vitamin sebelum (SB) dan 20 jam sesudah (SS) lari 800 m (*strenuous submaximal intensity* = SSI)

	n	Rerata	SD	SE
SB-SSI	10	12,00	0,97	0,31
SS-SSI	10	10,57	0,59	0,19

Hasil analisis uji beda rerata (dengan komputer *minitab for Windows release 13*) dari Tabel 2 menunjukkan  $t_{hit}=2,96$  dan  $t_{tab}=2,10$ . Ini berarti terdapat perbedaan bermakna kadar MDA plasma antara pemberian antioksidan vitamin sebelum dan sesudah aktivitas lari 1500 m. Pada pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas lari 1500 m kadar MDA lebih kecil atau kerusakan otot lebih kecil dibanding pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik.

Tabel 2. Hasil analisis statistik kadar MDA plasma (mmol/l) pemberian antioksidan vitamin sebelum (SB) dan 20 jam sesudah (SS) lari 1500 m (*prolong submaximal intensity* = PSI)

	n	Rerata	SD	SE
SB-SSI	10	10,23	1,29	0,41
SS-SSI	10	9,48	1,37	0,43

Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar MDA plasma pada pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik

lari 800 m (SB-SSI) sebesar 120,00 mmol/l dan pada lari 1500 m (SB-PSI) sebesar 102,38 mmol/l. Ini berarti kadar MDA plasma pada pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik sebesar 222,38 mmol/l dengan harga rerata 11,29 dan SD 1,26.

Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar MDA plasma pada pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik lari 800 m (SS-SSI) sebesar 105,76 mmol/l dan pada lari 1500 m (SS-PSI) sebesar 94,84 mmol/l. Ini berarti kadar MDA plasma pada pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik sebesar 200,60 mmol/l dengan harga rerata 10,03 dan SD 1,18.

Tabel 3. Kadar MDA plasma setelah perlakuan (mmol/l)

Pemberian Antioksidan Vitamin	Aktivitas Fisik		
	MDA (mmol/l)	MDA (mmol/l)	
	Lari 800m (SSI)	Lari 1500m (PSI)	
Sebelum (SB)	10,47	8,23	
	11,86	9,93	
	10,47	8,59	
	11,05	9,97	
	10,28	9,13	
	13,50	11,09	
	13,90	10,47	
	12,71	11,13	
	12,44	11,44	
	13,32	12,13	
$\Sigma$	120,00	102,38	222,38
Sesudah (SS)	10,86	8,40	
	11,88	9,97	
	10,24	8,53	
	10,26	8,74	
	10,00	8,09	
	10,12	9,63	
	10,40	10,17	
	10,59	10,78	
	11,24	10,63	
	10,17	9,90	
$\Sigma$	105,76	94,84	200,60

Tabel 4. Hasil analisis statistik kadar MDA plasma (mmol/l) pada pemberian antioksidan vitamin sebelum (SB) dengan sesudah (SS) aktivitas fisik

	n	Rerata	SD	SE
SB	20	11,29	1,26	0,28
SS	20	10,03	1,18	0,26

Hasil analisis uji beda rerata (dengan komputer *minitab for Windows release 13*) Tabel 4 menunjukkan hasil

$t_{hit}=3,70$  dan  $t_{tab}=1,68$ . Ini berarti terdapat perbedaan bermakna kadar MDA plasma antara pemberian antioksidan vitamin sebelum dengan sesudah aktivitas fisik, pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik kadar MDA plasma lebih kecil atau kerusakan otot lebih kecil dibanding pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik.

## PEMBAHASAN

Pada SSI energi yang digunakan sebagian besar berasal dari LA dan sebagian kecil dari  $O_2$ . Tabel 3 menunjukkan bahwa pemberian antioksidan vitamin sebelum lari (SB-SSI) kadar MDA plasma 120,00 mmol/l, dan pemberian antioksidan vitamin setelah lari 105,76 mmol/l. Hasil analisis uji beda rerata (dengan komputer *minitab for Window release 13*)  $t_{hit}=3,04$  dan  $t_{tab}=2,10$ . Ini berarti terdapat perbedaan yang bermakna kadar MDA plasma antara pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik dengan sesudah aktivitas fisik, pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik kadar MDA plasma lebih kecil atau kerusakan otot lebih kecil. Kadar MDA yang tinggi menunjukkan kerusakan otot juga besar. Kerusakan ini karena pembentukan radikal bebas yang meningkat atau pembentukan antioksidan yang tidak seimbang dengan terbentuknya radikal bebas.<sup>11</sup> Peningkatan pembentukan radikal bebas pada aktivitas fisik yang berat seperti pada SSI ini berasal dari peningkatan jumlah leukosit, peningkatan aktivitas enzim *xanthine dehydrogenase*.<sup>12</sup> Menurut hasil penelitian Castel<sup>13</sup> atlet yang melakukan latihan fisik dengan intensitas berat, antibodi tubuh akan menurun sesaat, sehingga terjadi peningkatan ISPA. Para atlet akan mengalami penurunan aktivitas sistem imunitas saat menjalani latihan berat menjelang kompetisi tingkat nasional atau internasional. Cooper<sup>14</sup> menganjurkan untuk mengurangi stres oksidatif, olahraga hendaknya dilakukan dengan intensitas yang rendah waktu lama, peningkatan denyut jantung tidak melebihi 80% dari denyut jantung maksimal. Dapat diambil kesimpulan pada aktivitas fisik dalam keadaan hipoksia seperti aktivitas di pegunungan, atau pada kadar Hb (hemoglobin) yang rendah, atau pada aktivitas fisik dengan intensitas tinggi akan terjadi kerusakan otot yang lebih besar dibanding pada PSI.

Pada PSI energi yang digunakan sebagian besar berasal dari  $O_2$  dan sebagian kecil dari LA. Tabel 3 menunjukkan pada pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik (SB-PSI) kadar MDA plasma 102,38 mmol/l dan pada pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik (SS-PSI) sebesar 94,84 mmol/l. Hasil analisis uji beda (dengan komputer *minitab for Window release 13*) menunjukkan  $t_{hit}=2,96$  dan  $t_{tab}=2,10$ . Ini berarti terjadi perbedaan kadar MDA yang bermakna antara pemberian antioksidan vitamin sebelum dengan

setelah aktivitas fisik lari 1500 m. Pada pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik lari 1500 m kadar MDA lebih kecil atau kerusakan otot lebih kecil dibanding pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik. Olahraga memang merupakan sarana yang baik untuk pembentukan antioksidan endogen, terutama bila dilakukan pada intensitas yang sedang, lama aktivitas fisik sedikitnya 30 menit setiap hari. Risiko terjangkit penyakit seperti ISPA meningkat apabila olahraga dilakukan pada intensitas berat dan jangka waktu lama.<sup>15</sup> Peneliti lain melaporkan olahraga yang berat dan berkepanjangan akan menurunkan kadar glutamin plasma yang berakibat penurunan laju proliferasi limfosit dan monosit, sehingga menurunkan antibodi tubuh.<sup>16</sup> Menurut Clarkson<sup>17</sup> limfosit dan monosit tidak akan bertahan di daerah otot yang mengalami *injury* lebih dari satu hari, tetapi dilanjutkan oleh makrofag yang juga melepaskan radikal bebas.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa kadar MDA plasma pada pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik sebesar 222,38 mmol/l dengan harga rerata 11,29 dan SD 1,26. Kadar MDA plasma pada pemberian antioksidan vitamin 20 jam setelah aktivitas fisik sebesar 200,60 mmol/l dengan harga rerata 10,03 dan SD 1,18. Hasil ini apabila dianalisis dengan uji beda *t-test* dengan tingkat kepercayaan 95% maka  $t_{hit}=3,70$  dan  $t_{tab}=1,68$ . Ini berarti terdapat perbedaan kadar MDA yang bermakna antara pemberian antioksidan vitamin sebelum dan sesudah aktivitas fisik, pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik kadar MDA plasma lebih kecil atau kerusakan otot lebih kecil dibanding pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik. Pemberian antioksidan vitamin sesudah aktivitas fisik atau setelah olahraga berpengaruh lebih optimal dibanding pemberian antioksidan vitamin sebelum olahraga. Kebiasaan minum antioksidan vitamin sebelum olahraga, seperti vitamin C, redoxon, jus buah, dan sebagainya, sebaiknya diubah diminum setelah olahraga.

Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Lenn<sup>3</sup> bahwa kerusakan otot mulai meningkat 24 jam setelah olahraga, mencapai puncaknya 48 jam – 72 jam setelah olahraga dan kembali normal setelah 168 jam. Apabila antioksidan diberikan sebelum olahraga manfaatnya kecil, karena pembentukan radikal bebas masih sedikit, sehingga tubuh masih mampu menangkal serangan radikal bebas dengan pembentukan antioksidan endogen.<sup>5</sup> Stres oksidatif menyebabkan kerusakan otot sehingga memicu timbulnya rasa nyeri otot setelah olahraga, suplementasi vitamin C setelah olahraga dapat mengurangi rasa nyeri otot.<sup>17</sup> Suplementasi antioksidan setelah olahraga juga sangat dibutuhkan oleh *weekend atlet*, karena stres oksidatif pada atlet ini meningkat secara mendadak sehingga pertahanan tubuh terhadap anti-

oksidan lemah.<sup>18</sup> Penelitian yang dilakukan oleh Hellsten menunjukkan bahwa pada olahraga yang berlangsung lama dan berat, pemberian antioksidan vitamin setelah olahraga mempercepat *recovery*.<sup>19</sup> Sistem pertahanan tubuh yang berupa antioksidan, sangat penting untuk menangkal serangan radikal bebas disertai atau tanpa disertai suplementasi antioksidan.<sup>20</sup>

## SIMPULAN

Terdapat perbedaan pengaruh yang bermakna terhadap kerusakan otot antara waktu pemberian antioksidan vitamin sebelum aktivitas fisik dengan pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik. Pemberian antioksidan vitamin setelah aktivitas fisik kerusakan otot lebih kecil dibanding sebelum aktivitas fisik.

## SARAN

Diperlukan penggunaan senyawa antioksidan vitamin terutama setelah aktivitas fisik yang berat dan lama.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Foss LM. *Physiological basis for exercise and sport*. New York: Mc Graw Hill Book Company; 1998.
2. Ganong WF. *Review of medical physiology*. California: Lange Medical Publication; 1998.
3. Len J, Davies CT, Young K. Changes in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Med*. 2002; 25: 236-9.
4. Ong NO, Chia SE. Oxidative damage antioxidant and human sperm. In: Nasretman, Packer, editors. *Micronutrients and health; molecular, biological mechanism*. Illionis: AOCS Pers; 2001.
5. Halliwell B, Gutteridge JMc. *Free radical in biology and medicine*. New York: Oxford University Press; 1996.
6. Fox EL. *Sport physiology* 2<sup>th</sup> ed. New York: WB Saunders Company; 1984.
7. Bompa OT. *Theory and methodology of training*. Dubuque. Iowa: Kendall/Hunt Publishing Company; 1990.
8. Tarr M, Samson F. *Oxygen free radicals in tissue damage*. Berlin: Birkhauser Verlag; 1995.
9. Ceriello DV. Cellular defenses against damage from reactive oxygen species. *Physiol Rev*. 2000;74:139-62.
10. Ross KM, Jenkin RR. Free radical chemistry relationship to exercise. *Sports Med*. 1998;10:236-54.
11. Kim JD, Carter RJ, Yu BP. Influence of age, exercise, and dietary restriction on oxidative stress in rats. *Aging Clin Exp Res*. 1996;8:123-9.
12. Bagchi DC. *Oxygen free radical scavenging abilities of vitamin C and E*. Illionis: AOCS Press; 2000.
13. Castell LM, Poortman J. The effects of oral glutamine supplementation upon athletes after prolong exercise. *Nutrition*. 1997;13:738-42.
14. Cooper KH. *Sehat tanpa obat, empat langkah revolusi antioksidan*. Bandung: Kafia; 2001.
15. Kent MM. Free radicals and exercise: effect of nutritional antioxidant supplementation. In: Holloszy JO, ed. *Exercise and sport science review*. Baltimore. MD: Williams and Wilkins, 1994; p.375-398.
16. Bendich, A. Exercise and free radicals: effect of antioxidant vitamins. *Med Sport Sci*. 1991;32:59-78.
17. Clarkson, PM. Antioxidant an physical performance. *Clin Rev Food Sci Nutr*. 1995;35:131-41.
18. Barja GC. *Free radical and respiration*. New York: Oxford University Press; 1994.
19. Hellsten WY, Balsom PD, Norman B, Sjodin B. The effect of high intensity training on purine metabolism in man. *Acta Physiol Scand*.1993;149:405-12.
20. White CR, Clarkson, PM. Antioxidants and physical performance. *J Sports Sci*. 2000;32:59-78.