

PAPER DETAILS

TITLE: SUPRAMAKSIMAL EGZERSİZİN ERİTROSİT ANTİOKSİDAN ENZİMLER ÜZERİNE ETKİSİ*.

AUTHORS: Ali Murat ZERGEROĞLU,Sema YAVUZER

PAGES: 13-24

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/151476>

SUPRAMAKSİMAL EGZERSİZİN ERİTROSİT ANTİOKSİDAN ENZİMLER ÜZERİNE ETKİSİ*

Ali Murat ZERGEROĞLU, Sema YAVUZER

Ankara Üniversitesi Tıp Fak. Spor Hekimliği Bilim Dalı ve Fizyoloji Anabilim Dalı

ÖZET

Sunulan çalışmada supramaksimal kassal aktivitenin intrasellüler antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Bu amaçla 2 farklı supramaksimal egzersiz protokolü (Wingate ve Modifiye Wingate) programlanmış ve uygulanmıştır. Wingate protokolü bireyin vücut ağırlığı başına 75 gramlık yükü yapılan 30 saniyelik supramaksimal bir aktivitedir. Modifiye protokolü ise yine aynı yükü herbiri 6 saniyelik egzersiz 30 saniyelik dinlenim olmak üzere toplam 10 supramaksimal egzersiz periyodundan oluşmaktadır.

Deneklerden egzersizden önce ve hemen sonra alınan kan örneklerinde eritrosit süperoksit dismutaz (SOD) ve katalaz aktiviteleri ile plazma ve eritrosit Cu, Zn düzeyleri saptanmıştır. Tüm bulgular spektrofotometrik olarak ölçülürken, istatistiksel olarak t testi ile değerlendirildi.

Çalışma 18-25 yaşları arasındaki 10 sağlıklı sedanter erkek ve 16-28 yaşları arasındaki 10 erkek bisiklet sporcusu üzerinde yapıldı. Deneklerin Wingate ve Modifiye Wingate protokolünden önce ve sonra SOD ve katalaz aktiviteleri, eritrosit ve plazma element seviyeleri ölçüldü ve karşılaştırıldı.

Supramaksimal egzersizin çok fazla miktarda serbest radikal oluşumu ve dolayısıyla oksidan strese yol açtığı, antrenmanlı bireylerin sedantere oranla daha güçlü bir antioksidan savunma kapasitesine sahip oldukları kanısına varıldı.

Anahtar Kellmeler: Supramaksimal egzersiz, oksidan stres, SOD, CAT.

THE EFFECT OF SUPRAMAXIMAL EXERCISE ON THE ERYTHROCYTE ANTIOXIDANT ENZYMES ABSTRACT

The effect of supramaximal physical activity on intracellular antioxidant enzyme activities is estimated in the present study.

Two different supramaximal exercise protocols (Wingate and Modified Wingate) were planned and applied for this aim. Wingate protocol is an supramaximal activity that is applied with 75 g/kg load for 30 seconds and modified protocol is applied with same load for 6 seconds followed 30 seconds of resting phase for 10 times.

() Bu çalışma 1993 yılında Ürgüp'te Ulusal Fizyolojik Bilimler Kongresi'nde sunulmuştur.*

Ten healthy sedentary male volunteers (aged between 18-25 years) and 10 male bicyclists (aged among 16-28 years) were participated in the study.

Blood samples were drawn before and after Wingate and modified Wingate protocol and erythrocyte superoxide dismutase (SOD) and catalase activities and plasma and erythrocyte Cu, Zn levels were measured. Statistical analyses were performed with student t test.

It was thought that supramaximal exercise caused production of excessive amount of free radicals and consequently oxidant stress and trained individual possesses more powerful capacity of antioxidant defense in comparison with sedentary individuals.

Key Words: Supramaximal exercise, oxidant stress, SOD, CAT.

GİRİŞ

Yaşadığımız yüzyıldaki başdöndürücü teknolojik gelişim sonucu insanoğlu giderek bedenini daha az kullanmakta, bu durum çeşitli ruhsal ve fiziksel rahatsızlıklara zemin hazırlamaktadır. Hareket eksikliği, koroner kalp hastalığı, diyabet gibi bir çok hastalığın etyopatolojisinde önemli rol oynar (Shepard, 1989). Diğer yandan özellikle gelişmiş ülkelerde yaşanan egzersiz çılgınlığının, bilinçsizce yapılan egzersizin yarattığı sorunlar (sporun agreve ettiği bazı kalp hastalıklarının neden olduğu ani ölümler gibi), egzersizin yararları konusunda bazı soru işaretlerine yol açmıştır (Shepard, 1989; William, Graettinger ve Albuquerque, 1984).

Şiddetli akut fiziksel egzersiz çok fazla oksijen kullanımı ve dolayısıyla serbest oksijen radikali oluşumuna yol açmaktadır (Alessio ve Goldfarb, 1988; Davies, Quintanilha, Brooks ve Packer, 1982; Ji, 1995; Packer, 1989). Serbest oksijen radikalleri kimyasal olarak son derece aktif maddelerdir. Serbest oksijen radikallerinin organizmada nükleik asitler ve hücre zarı gibi çeşitli dokularla reaksiyona girip onların yapısını bozarak zarar verdiği ve çeşitli hastalıkların etyopatogenezinde rol oynadıkları çeşitli araştırmalarla gösterilmiştir. Organizma serbest oksijen radikallerinin zararlı etkilerine karşı enzimatik ve nonenzimatik savunma sistemlerine sahiptir. Antioksidan vitaminler, glutatyon nonenzimatik savunma içinde yer alırken, süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GPX) enzimleri enzimatik antioksidan savunmayı oluştururlar (Alessio ve Goldfarb, 1988; Cotran, Kumar ve Robbins, 1989; Davies ve arkadaşları, 1982; Ji, 1995; Packer, 1989; Weiss, 1986).

Hayvanlarda antrenmanın antioksidan enzim sistemi üzerine etkileri pek çok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Alessio ve Goldfarb, 1988; Higushi, Cartier, Chen ve Holloszy, 1985; Ji, 1995; Ji, Dillon ve Wu, 1990; Kihlström, Ojala ve Salminen, 1989; Oh-ishi ve arkadaşları, 1997; Ostenblad, Madsen ve Djurhuus, 1997; Powers ve arkadaşları, 1993). Deney hayvanlarında değişik süre ve şiddetlerdeki akut egzersizin antioksidan savunma sistemi üzerine etkilerini inceleyen birçok çalışma varken (Alessio ve Goldfarb, 1988; Higushi ve arkadaşları, 1985; Ji, 1995; Ji, Stratman ve Hardy, 1988; Kanter, Hamlin, Unverfelt, Davies ve Merola, 1985; Oh-ishi ve arkadaşları, 1997; Ostenblad, Madsen ve Djurhuus, 1997; Powers ve arkadaşları, 1993; Powers ve arkadaşları, 1994), supramaksimal egzersizin uygulanma zorluğu nedeniyle literatürde hayvan çalışmalarına rastlanmamıştır. İnsanlarda antrenman ve oksidan

stres ile ilgili yapılan çalışmalar hayvan çalışmalarına oranla hem sınırlı hem de sonuçları çelişkilidir (Clark, Cowden ve Hunt, 1985; Gohil, Vigue, Stanley, Brooks ve Packer 1988; Jenkins, 1988; Mena ve arkadaşları, 1991; Tiidus, Pusharenko ve Houston, 1996). Supramaksimal egzersiz ve oksidan stres ile ilgili sadece bir tek çalışmaya rastlanmıştır (Ostenblad ve arkadaşları, 1997). Çalışmamızda supramaksimal egzersizin intraselüler antioksidan savunma sistemi üzerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. 2 farklı egzersiz programı uygulanan sedanterler ve antrenmanlı bireylerde eritrosit SOD ve CAT aktiviteleri incelenip karşılaştırılmıştır.

YÖNTEM

2 grup halinde yapılan çalışma 16-28 yaş grubunda toplam 20 sağlıklı birey üzerinde yapıldı. Deneklere Wingate ve Modifiye Wingate protokollerine göre supramaksimal egzersiz yaptırıldı. İki test arasında bireylere en az bir günlük dinlenme verildi.

İlk deney grubunu yaşları 18-25 (ort. 21.6 ± 1.8) arasında değişen 10 sedanter erkek birey oluştururken, (boy= 179.9 ± 6.7 cm, ağırlık= 73.85 ± 9.81 kg), ikinci deney grubu en az bir yıldır düzenli antrenman yapan, 16-28 yaşlarındaki (ort. 20.6 ± 3.6) 10 erkek bisikletçiden oluştu (boy= 174.1 ± 8.0 cm, ağırlık= 64.9 ± 10.94 kg).

Her iki grupta da dinlenme durumunda ve Wingate ve Modifiye Wingate protokollerinden sonra deneklerin antekübital venalarından kan alındı.

Anaerobik kapasiteyi indirekt olarak saptamakta en çok kullanılan Wingate testi, çalışmamızda ilk egzersiz protokolünü oluşturdu. Bu protokol bireyin kilogramı başına 75 gramlık yük ile yapılan 30 saniyelik supramaksimal bir aktivitedir.

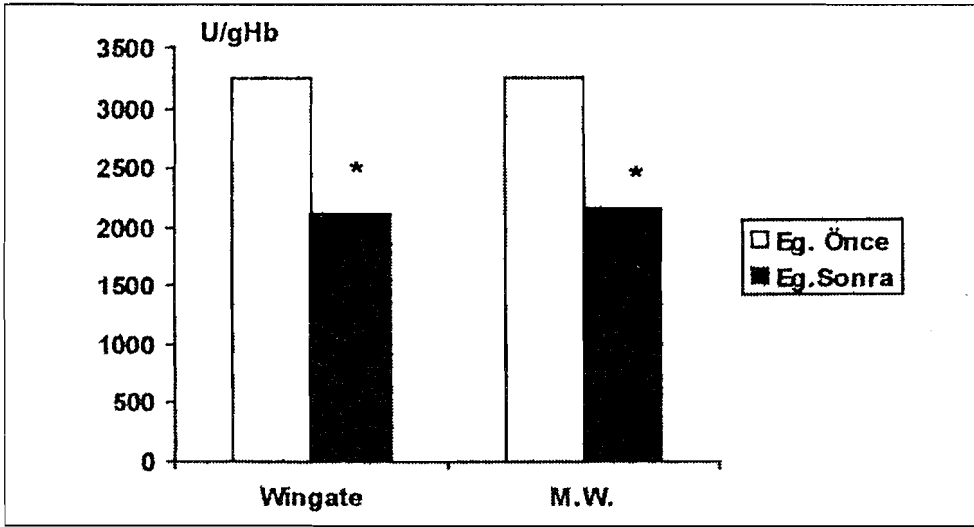
Modifiye protokolü bisiklet ergometresinde bireyin vücut ağırlığı başına 75 gramlık yükte herbiri 6 saniyelik egzersiz 30 saniyelik dinlenme olmak üzere toplam 10 supramaksimal egzersiz periyodundan oluşmaktadır.

Eritrosit SOD aktivitesi Winterbourn, Hawkins, Brian ve Carrel tarafından (1975) geliştirilen fotoredükte riboflavinden açığa çıkan süperoksit radikalleriyle oluşan NBT redüksiyonunun inhibisyonuna dayanan metodla, eritrosit CAT aktivitesi H_2O_2 'in enzimatik dekompozisyonuna dayalı spektrofotometrik yöntemle saptandı (Aebi, 1984). Eritrositlerde mitokondri olmadığı için SOD sadece bakır-çinko izoformu (Cu-Zn SOD) değerlendirilebilmektedir. Bu eser elementlerin plazma ve eritrosit düzeylerinin SOD enzimi üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla plazma ve eritrosit bakır, çinko düzeyleri araştırıldı. Plazma ve eritrosit bakır, çinko düzeyleri uygun basamaklarla ayrılan plazma ve hemolizatlardan Hitachi (180-70) atomik spektrofotometresi ile ölçüldü.

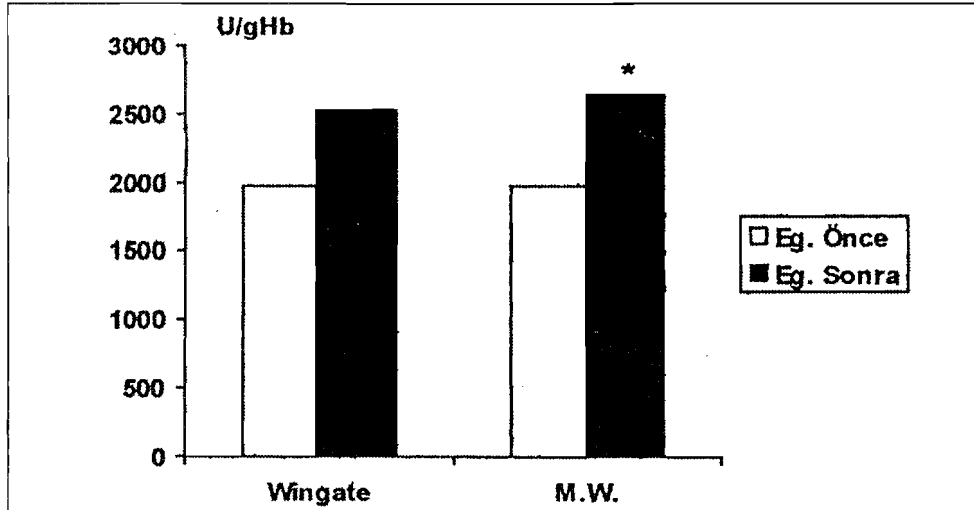
Her iki grupta (sedanterler ve antrenmanlı bireyler) egzersizden önce ve hemen egzersiz sonrası elde edilen değerler iki eş arasındaki farkın önemlilik testi ile istatistik olarak karşılaştırıldı ve değerlendirildi. İki grupta da Wingate ve Modifiye Wingate protokolleri ile yaptırılan egzersiz sonrası intraselüler enzim aktivite değerleri ve Cu, Zn düzeyleri iki eş arasındaki farkın önemlilik testi ile karşılaştırıldı ve değerlendirildi.

BULGULAR

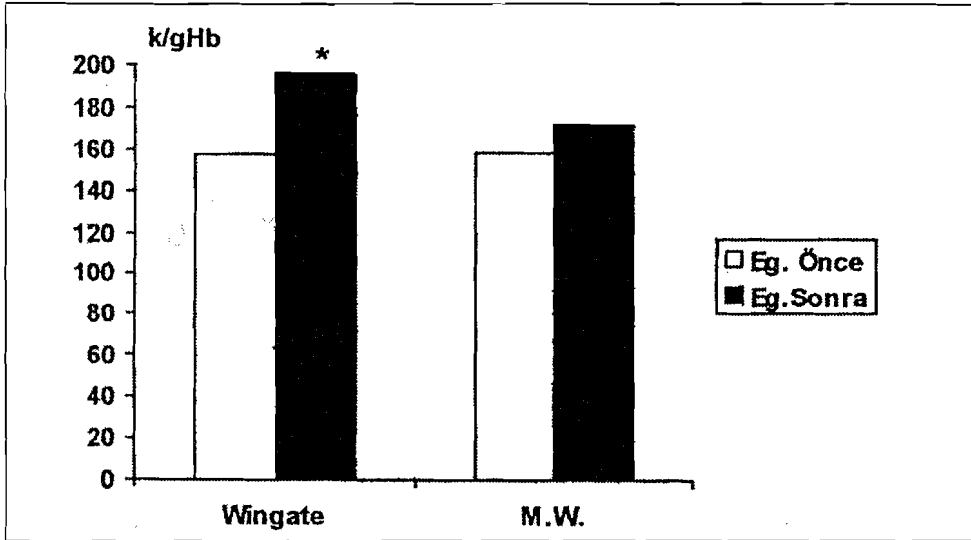
Sedanterlerde; hem Wingate hem de Modifiye Wingate egzersiz protokolü uygulamasından sonra eritrosit SOD aktivitesinde önemli azalma olmuştur ($p<0.05$, Şekil 1). Her iki egzersiz protokolünden sonra eritrosit katalaz aktivitesinde artış saptanmışsa da, Wingate protoko-



Şekil 1: Sedanterlerde egzersizden önce (Eg. Önce) Wingate ve Modifiye Wingate (M.W.) protokollerinden sonra eritrosit SOD aktiviteleri (U/gHb). * $p<0.05$

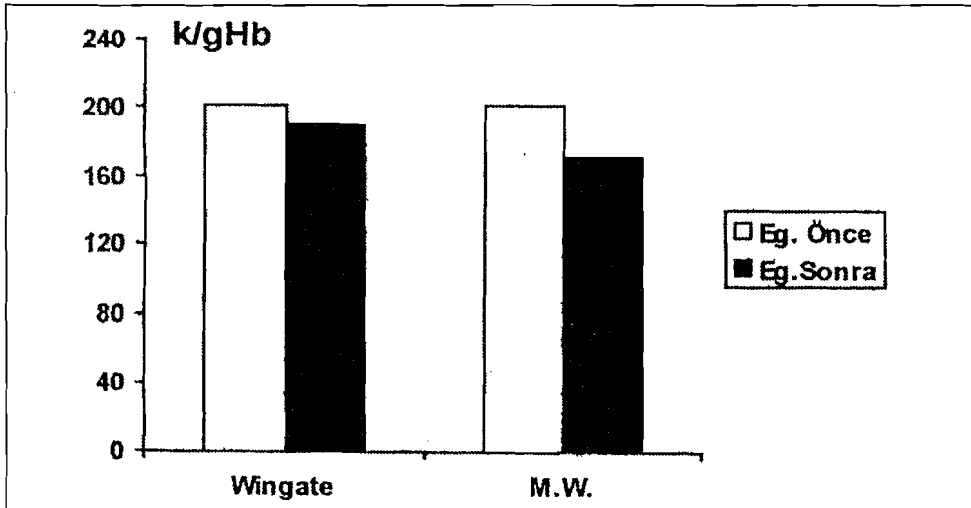


Şekil 2: Bisikletçilerde egzersizden önce (Eg. Önce) Wingate ve Modifiye Wingate (M.W.) protokollerinden sonra eritrosit SOD aktiviteleri (U/gHb). * $p<0.05$

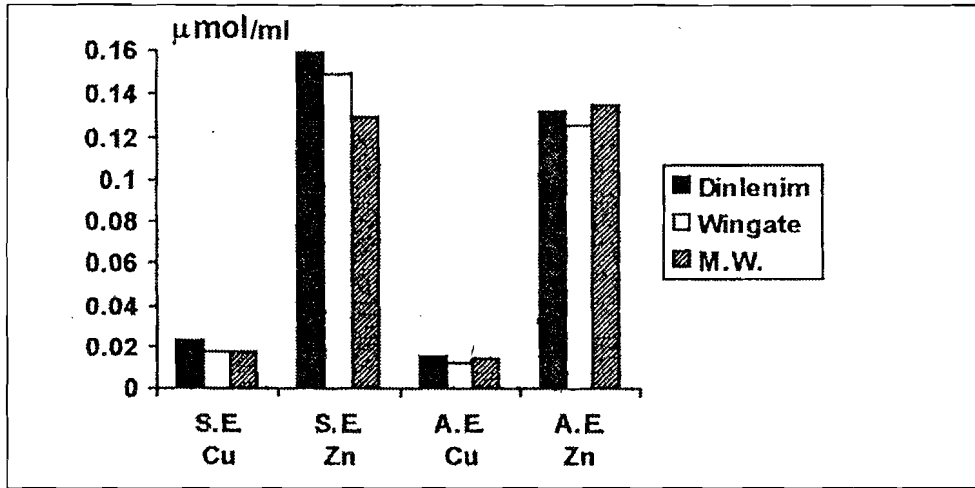


Şekil 3: Sedanterlerde egzersizden önce (Eg. Önce) Wingate ve Modifiye Wingate (M.W.) protokollerinden sonra eritrosit CAT aktiviteleri (k/gHb). * $p<0.05$

lünden sonraki katalaz aktivitesi artışı istatistiksel olarak anlamlı bulunurken ($p<0.05$), Modifiye Wingate protokolü sonrası anlamlı bulunmamıştır (Şekil 3). Sedanterlerde her iki egzersiz



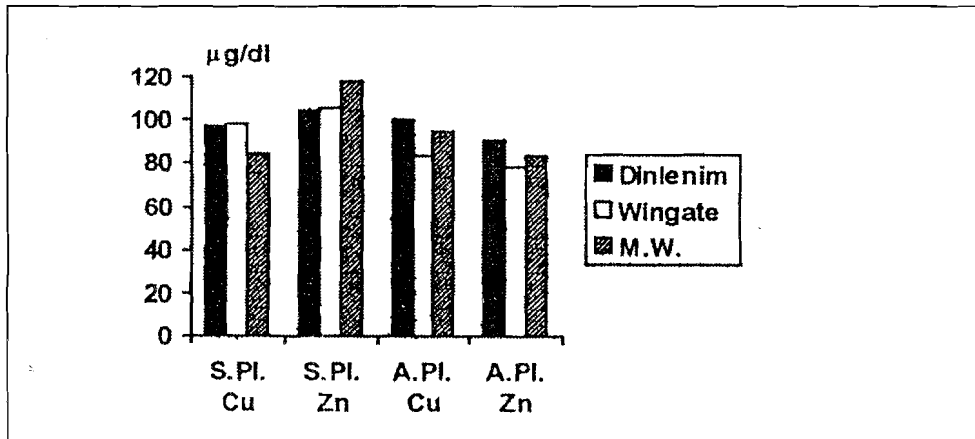
Şekil 4: Bisikletçilerde egzersizden önce (Eg. Önce) Wingate ve Modifiye Wingate (M.W.) protokollerinden sonra eritrosit CAT aktiviteleri (k/gHb). * $p<0.05$



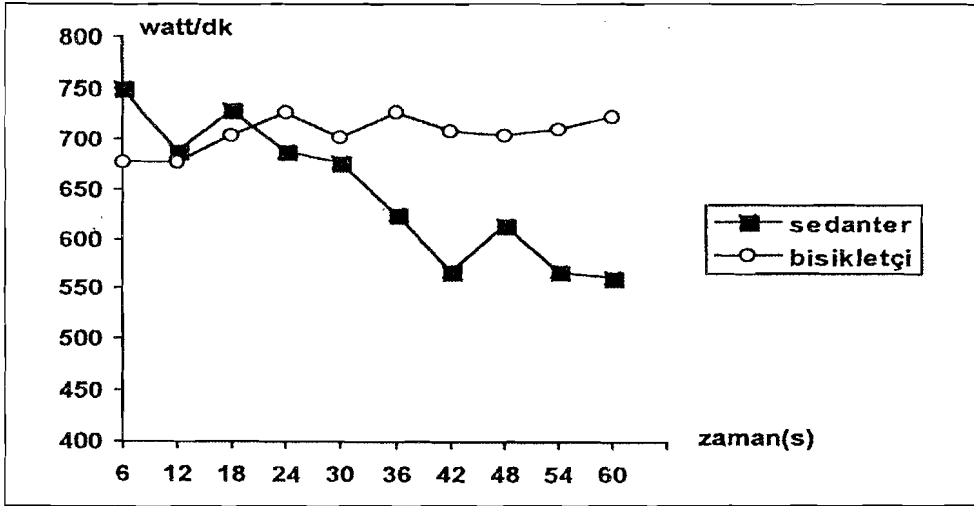
Şekil 5: Sedanterlerde (s) ve Antrenmanlı bireylerde (A) her iki egzersiz protokolünden sonra ölçülen eritrosit (E), Bakır (Cu) ve Çinko (Zn) değerleri (µmol/ml).

programı uygulamasından sonra eritrosit ve plazma bakır, çinko değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı değişiklik olmamıştır (Şekil 5,6).

Antrenmanlı bireylerde; hem Wingate hem de Modifiye Wingate protokolü uygulamasından sonra eritrosit SOD aktivitesinde artış saptanmışsa da, ancak Modifiye Wingate uygulamasından sonraki artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$, Şekil 2). Antrenmanlı bireylerde her iki egzersiz protokolünden sonra eritrosit katalaz aktivitesinde düşüş saptanmıştır.

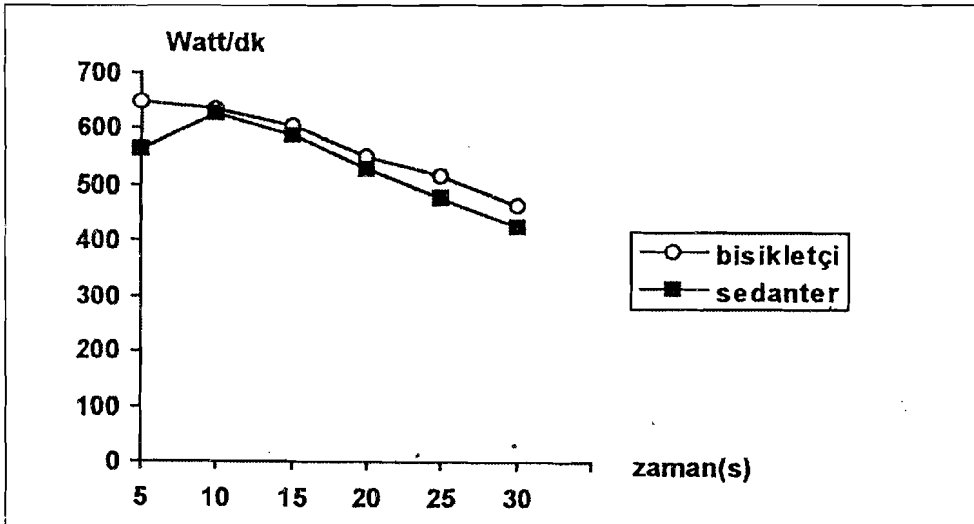


Şekil 6: Sedanterlerde (S) ve Antrenmanlı bireylerde (A) her iki egzersiz protokolünden sonra ölçülen plazma (Pl), Bakır (Cu) ve Çinko (Zn) değerleri (mg/dl)



Şekil 7: Sedanterler ve bisikletçilerde Modifiye Wingate uygulaması esnasında ölçülen anaerobik güç değerleri (watt/dakika)

nırken, yine Modifiye Wingate uygulamasından sonra düşme anlamlı bulunmuştur ($p < 0.05$, Şekil 4). Her iki egzersiz programından sonra plazma Zn, eritrosit Cu ve Zn değerlerinde istatistiksel olarak önemli değişiklik olmamıştır. Her iki egzersiz programından sonra plazma Zn,



Şekil 8: Sedanterler ve bisikletçilerde Wingate uygulaması esnasında ölçülen anaerobik güç değerleri (watt/dakika)

eritrosit Cu ve Zn değerlerinde istatistiksel olarak önemli değişiklik olmamıştır (Şekil 5,6).

Çalışmamızda sedanterlerin ortalama VO_2 max değerleri 36.2 ± 2.2 ml/dk. kg. antrenmanlı bireylerdeki VO_2 max değerleri 43 ± 2 ml/dk kg. olarak bulunmuştur. Antrenmanlı bireylerin VO_2 max değerleri sedanterlerinkine göre istatistiksel olarak önemli derecede yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$).

Sedanterlerde, Wingate protokolü ile 30 sn. sonunda saptanan ortalama anaerobik güç 536.3 ± 13.7 watt/dk. iken antrenmanlı bireylerde Wingate protokolü ile ortalama anaerobik güç 563 ± 22.9 watt/dk. saptanmış, her iki grup arasında fark bulunmamıştır (Şekil 8). Sedanterlerde Modifiye Wingate protokolünde anaerobik güç değerleri, 30. saniyeden itibaren giderek düşerken, antrenmanlı bireyler başlangıçtaki anaerobik güç değerlerini sürdürmüşlerdir. Sedanterler egzersizin ikinci yarısında antrenmanlı bireylerden önemli derecede düşük anaerobik güç sergilemişlerdir ($p < 0.05$, Şekil 7).

TARTIŞMA

Çalışmamızda sedanterlerde her iki egzersiz programından sonra da eritrosit SOD enzim aktivitesinde azalma saptanmıştır. Literatürde hayvanlarda yapılan çalışmalarda akut egzersizin kalpte (Ji, 1995; Powers ve arkadaşları, 1993; Powers ve arkadaşları, 1994; William ve arkadaşları, 1984), iskelet kasında (Ji ve arkadaşları, 1990; Ji ve arkadaşları, 1988; Lawler ve arkadaşları, 1993; Salminen ve Vihko, 1983), karaciğerde (Allesio ve Goldfarb, 1988; Ji ve arkadaşları, 1988) ve akciğerde (Salminen, Kainulainen ve Vihko, 1984) SOD enzimi aktivitesinin arttığını gösteren bulgular vardır. Bunun yanında Mena ve arkadaşları (1991), Ohno ve arkadaşları (1988) akut egzersizle SOD enziminde herhangi bir değişim saptamamışlardır. Çalışmamızdaki SOD enzimi sonuçları her ne kadar yukarıdaki çalışmaların sonuçlarıyla çelişir gözükse de yapılan egzersizlerin farklılığı ve tümünün deney hayvanlarında yapılmış olması bu farklılığı doğurmaktadır. Tüm bu çalışmalarda uygulanan egzersiz submaksimal niteliktedir. Nitekim Powers ve arkadaşları da (1993, 1994) egzersiz süresinin ve şiddetinin antioksidan enzim savunma yanıtında önemli olduğunu saptamışlardır. Ostenblad ve arkadaşları (1997), sedanterlerde supramaksimal egzersiz (Bosco sıçrama testi) sonrası sadece kreatin kinaz enziminde artış saptarken SOD, GPX ve glutatyon redüktaz (GR) enzim aktivitelerinde değişim saptamamışlardır. Oh-ishi ve arkadaşları (1997), rat soleus kasında SOD enziminin mRNA ekspresyonunu inceledikleri çalışmalarında SOD enziminin mangan izoformunun (Mn SOD) egzersizle azaldığını saptamışlardır. Bu bulgu bizim çalışmamızın bulgularını desteklemektedir.

SOD enzimi azalması, supramaksimal egzersizin önemli miktarda serbest radikal oluşumuna, dolayısı ile de SOD enzimi kullanımı ve yıkılmasına yol açtığını gösterir niteliktedir (Davies ve arkadaşları, 1982; Jenkins, 1988). SOD enzimi aktivitesi azalması, süperoksit radikallerinin dismutasyonu sırasında enzimin kullanılması yanında, doku ve kanda oluşumu artan ve biriken H_2O_2 'in süperoksit dismutaz üzerinde direkt yıkıcı etkisiyle de olabilir (Kono ve Fridovich, 1982). Artmış oksijen radikallerinin enzimin katalitik aktivitesini etkilemesini, Ji (1985) enzimin allosterik ve kovalan modifikasyonu olarak açıklamaktadır.

Gohil ve arkadaşları (1988), VO_2 max'ın %65 şiddetinde 90 dakika süren egzersiz ve 15 dakikalık toparlanma boyunca redükte glutatyon ve okside glutatyon seviyelerini değerlendirdikleri çalışmalarında; egzersizin ilk 30 dakikasında redükte glutatyonun azaldığı ve okside glutatyonun arttığını, her ikisinin de seviyesinin egzersizin bitimiyle normale döndüğünü göstermişlerdir. Kaneley ve Ji de (1991) 90 dakikalık egzersiz sırasında CAT, GR, GPX enzim seviyelerini incelemişlerdir. GR, 90 dakika boyunca sürekli düşmüş, CAT, egzersizin ilk 60 dakikasında sürekli düşmüş ve son 30 dakikada yeniden yükselmiş, GPX ise egzersiz boyunca hiç değişmemiştir. Bu iki araştırma submaksimal egzersizde bile harcanan antioksidan enzimlerin yerine konmasının uzun süreli olduğunun bir göstergesidir.

Memeli dokularında akut oksidatif strese akut oksidan enzim yanıtının gen ekspresyonunun hızlı regülasyonu gösterilmemiştir (Ji, 1995). Yani bir başka deyişle sedanterlerde organizma çok hızlı oluşan bu oksidan strese aynı hızda yanıt verememektedir. Çalışmamızda bisikletçilerde her iki egzersiz protoköünden sonra da eritrosit SOD enzim aktivitesinde artış saptanmışsa da sadece Modifiye Wingate uygulamasındaki artış istatistik olarak anlamlı bulunmuştur. Literatürdeki veriler antrenmanlı bireylerde egzersiz ile genellikle SOD enziminde artış olduğu yönündedir (Jenkins, 1988; Kanter ve arkadaşları, 1985). Bununla birlikte değişiklik olmadığını gösteren birkaç yayın da vardır (Ohno ve arkadaşları, 1986; Tiidus ve arkadaşları, 1996). Tüm bulgular antrenmanlı bireylerdeki her iki egzersiz protokolünden sonra saptadığımız SOD bulgularımızla uyum halindedir. Wingate protokolü ile istatistiksel olarak anlamlı artış saptayamamamızın bir nedeni de yukarıda açıkladığımız üzere egzersizin çok kısa sürmesi nedeniyle organizmanın hızla yanıt vermemesi olabilir.

Çalışmamızda sedanterlerde Wingate protokolünden sonra CAT enzim aktivitesi artmış, Modifiye Wingate protokolünden sonra değişmemiştir. Bisikletçilerde ise Wingate protokolünden sonra CAT enzim aktivitesi değişmezken, Modifiye Wingate protokolünden sonra azalmıştır. Literatürde CAT enziminin egzersize gerek akut yanıtları, gerekse antrenmana yanıtları konusunda bulgular çelişkili ve spekülatiftir. Birçok araştırmacı akut egzersizle CAT enzim aktivitesinde değişme saptamazken (Oh-ishi ve arkadaşları, 1997; Ohno ve arkadaşları,

1988; Powers ve arkadaşları, 1993; Powers ve arkadaşları, 1994; Tiidus ve arkadaşları, 1996), bazıları artma (Jenkins, 1988), bazıları ise azalma saptamışlardır (Leewenbourg, Fibig, Chandwaney ve Ji, 1994; Mena ve arkadaşları, 1991). Antrenmanın etkileri konusunda da yine değişim olmadığını (Kanter ve arkadaşları, 1985; Oh-ishi ve arkadaşları, 1997; Powers ve arkadaşları, 1993; Powers ve arkadaşları, 1994), artış olduğunu (Kanter ve arkadaşları, 1985) ya da azalma olduğunu savunan çeşitli araştırmacılar vardır. Tüm bu araştırmacıların enzimin neden farklı davrandığı konusundaki yanıtları spekülatiftir.

Çalışmamız, antrenmanın birinci basamak antioksidan savunmanın en önemli enzimi olan SOD enzim aktivitesinde bir güçlenmeye yol açtığını gösterir niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. **Methods In Enzymology**, 105, 121-6.
- Alessio H. M. & Goldfarb A.H. (1988). Lipid peroxidation and scavenger enzymes during exercise: Adaptive response to training. **J. Appl. Physiol.** 64:1333-6.
- Cao, G. & Chen, J. (1991). Effects of dietary zinc on free radical generation, lipid peroxidation, and superoxide dismutase in trained mice. **Arch. Biochem. Biophys.** 291(1) 147-153.
- Clark, I. A., Cowden, W. B. & Hunt, N. H. (1985). Free radical-induced Pathology. **Med. Res. Rev.** 5:297-332.
- Cotran, R.S., Kumar, V. & Robbins, S. L. (1989). **Cellular Injury and Adaptations. Robbins Pathologic Basis of Disease**, 4. Edition, Philadelphia: W. B. Saunders Company, S.1-38.
- Davies, K. J. A., Quintanilha, A. T., Brooks, G. A. & Packer, L. (1982). Free radicals and tissue damage by exercise. **Biochem. Biophys. Res. Com.** 107:1198-1205
- Gohil, K., Viguie, C., Stanley, W.C., Brooks, G.A. & Packer, L. (1988). Blood glutathione oxidation during human exercise. **J. Appl. Physiol.** 64:115-9.
- Higushi, M., Cartier, L. J., Chen, M. & Holloszy, J. O. (1985). Superoxide dismutase and catalase in skeletal muscle: Adaptive response to exercise. **J. Gerontol.** 40:281-86.
- Jenkins, R.R. (1988). Free radical chemistry. Relationship to exercise. **Sports Med.** 5(3):156-70.
- Ji, L. L. (1995). Exercise and oxidative stress: Role of cellular antioxidant systems. **Exercise and Sport Science Reviews**, edited by J.O. Holloszy. Baltimore, MD: Williams and Wilkins, vol 23 p135-66
- Ji, L. L., Dillon, D. & Wu, E. (1990). Alteration of antioxidant enzymes with aging in rat skeletal muscle and liver. **Am. J. Physiol.** 258:R918-R923.
- Ji, L. L., Stratman, F. W. & Hardi, H. A. (1988). Antioxidant enzyme systems in rat liver and skeletal muscle. Influences of selenium deficiency, chronic training, and acute exercise. **Arch. Biochem. Biophys.** 263(1):150-60.

- Kanaley, J. A. & Ji, L. L. (1991). Antioxidant enzyme activity during prolonged exercise in amenorrheic and eumenorrheic athletes. **Metabolism**. Vol 40, 1:88-92.
- Kanter, M. M., Hamlin, R.L., Unverfelt, D.V., Davies, H.W. & Merola, A.J. (1985). Effect of exercise training on antioxidant enzymes and carditoxicity of doxorubicin. **J. Appl. Physiol** 59(4): 1298-1303.
- Kihlstrom, M., Ojala, J. & Salminen, S. (1989). Decreased level of cardiac antioxidants in endurance-trained rats. **Acta Physiol. Scand.** 135:549-54.
- Kono, I. & Fridovich, I. (1982) Superoxide radical inhibits catalase. **J Biol Chem** 257:5751-5.
- Laughlin, M.H., Simpson, T., Sexton, W.L., Brown, O.R., Smith, J.K. & Kortius, R.J. (1990). Skeletal muscle oxidative capacity, antioxidant enzymes, and exercise training. **J. Appl. Physiol.** 68:2337-43.
- Lawler, J., Powers, S.K., Visser, T., Van Dijk, H., Kortius, M.J. & Ji, L.L. (1993). Acute exercise and skeletal muscle antioxidant and metabolic enzymes: effect of fiber type and age. **Am. J. Physiol.** 265:R1344-R1350.
- Leewenbourg, C., Fiebig, R., Chandwaney, R. & Ji, L.L. (1994). Aging and exercise training in skeletal muscle: response of glutathione and antioxidant enzyme systems. **Am. J. Physiol.** 267: R439-R445.
- Mena, P., Maynar, M., Gutierrez, J.M., Maynar, J., Timon, J. & Campillo, J.E. (1991). Erythrocyte free radical scavenger enzymes in bicycle professional racers. Adaptation to training. **Int. J. Sport Med.** 12(6) 563-6.
- Oh-ishi, S., Kizaki, T., Nagasawa, J. ve arkadaşları (1997). Effects of endurance training on superoxide dismutase activity, content and mRNA expression in rat muscle. **Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.** 24:326-32.
- Ohno, H., Yahata, T., Sato, Y., Yamamura, K. & Tanuguchi, N. (1988). Physical training and fasting erythrocyte activities of free radical scavenging enzyme systems in sedentary men. **J. Appl. Physiol.** 57:173-6, 1988
- Ohno, H., Sato, Y., Yamashita, K. ve arkadaşları. (1986). The effect of brief physical exercise on free radical scavenging enzyme systems in human red blood cells. **Can. J. Physiol. Pharmacol.** 65:1263-65.
- Ostenblad, N., Madsen, K. & Djurhuus, M.S. (1997). Antioxidant status and lipid peroxidation after short term maximal exercise in trained and untrained humans. **Am. J. Physiol.** 272: R 1258-R 1263.
- Packer, L. (1989). Oxidants and antioxidants and the biological effects of physical exercise. **Biological Effects of Physical Activity**, Edited by Williams R.S., Wallace A.G., U.S.A: Human Kinetics Publishers, 5.85-90.
- Powers, S.K., Criswell, D., Lawler, J. ve arkadaşları (1993). Rigorous exercise training increases superoxide dismutase activity in ventricular myocardium. **Am. J. Physiol.** 265: H2094-H2098.
- Powers, S.K., Criswell, D., Lawler, J. ve arkadaşları (1994). Influence of exercise fiber type on antioxidant enzyme activity in skeletal muscle. **Am. J. Physiol.** 266:R375-R380.
- Quintanilha, A.T. (1984). The effect of physical exercise and/or vitamin E on tissue oxidative metabolism. **Biochem. Soc. Trans.** 12:403-404.

- Salminen, A. & Vihko, V. (1983). Endurance training reduces the susceptibility of mouse skeletal muscle to lipid peroxidation in vitro. **Acta Physiol. Scand.** 117:109-13.
- Salminen, A., Kainulainen, H. & Vihko, V. (1984). Endurance training and antioxidants of Lung. **Ex-pereintia**, 40:822-23.
- Slater, T.F. (1984). Free radical mechanisms in tissue injury. **Biochem. J.** 222:1-15.
- Shepard, R.J. (1989). Effects of exercise on biological features of aging. **Biological Effects of Physical Activity**, Edited by Williams R. S., Wallace A. G., U.S.A.: Human Kinetics Publishers, 5.55-70.
- Tidus, R.M., Pushkarenko, J. & Houston, M. E. (1996). Lack of antioxidant adaptation to short term aerobic training in human muscle. **Am. J. Physiol.** 271 :R832-R836.
- Weiss, S. J. (1986). Oxygen, ischemia and inflammation. **Acta Physiol. Scand. Suppl.** 548:9-37.
- William, F., Graettinger, M.D. & Albuquerque, N.M. (1984). The Cardiovascular response to physical exertion and exercise training: An Echocardiographic review. **American Heart Journal**, Vol. 108 4:1014-18.
- Winterbourn, C.C., Hawkins, R. E., Brian, M. & Carrel, R.W. (1975). The estimation of red cell super-oxide dismutase activity. **J. Lab. Clin. Med.** 85:337-41