

Effects of Black Carrot Juice on Liver Lipid Peroxidation and Antioxidant Enzymes in Acutely Exercised Rats

Kürşat Yusuf AYTAÇ^{1,*}, Ahmet ÖZKAYA², Mustafa DABAN¹

¹Sport Science Faculty, Adiyaman University, Adiyaman, TÜRKİYE

²Department of Chemistry and Chemical Processing Techniques, Vocational School of Technical Sciences, Adiyaman University, Adiyaman, TÜRKİYE

ORCID ID: Kürşat Yusuf AYTAÇ: <https://orcid.org/0000-0002-7827-4242>; Ahmet ÖZKAYA: <https://orcid.org/0000-0002-0173-3084>;

Mustafa DABAN: <https://orcid.org/0000-0002-8211-6976>

Received: 02.12.2024

Accepted: 13.12.2024

Published online: 16.12.2024

Issue published: 31.12.2024

Abstract: In this study, the effects of black carrot juice on acutely exercised rat liver tissues were investigated. Rats were formed into Control (C), Black carrot juice (S), Acute exercise (E) and Black carrot juice + Acute exercise (SE) groups. The acute exercise program was applied on a treadmill device. Malondialdehyde (MDA) and Glutathione (GSH) levels were examined in the rat liver tissues obtained at the end of the experimental process, while Glutathione reductase (GR), glutathione-S-transferase (GST) and Carboxyl esterase (Ces) enzyme activity levels were measured. While MDA, GST and Ces enzyme activity levels in the E group increased compared to the K group, GR and GSH levels decreased compared to the K group. GST and Ces enzyme activities in the S group increased compared to the K group. While GSH level in the SE group increased compared to the E group, GST enzyme activity and MDA levels decreased. As a result, we think that black carrot juice prevents lipid peroxidation and has a supportive effect on the antioxidant enzyme system on the liver tissues of rats subjected to acute exercise.

Keywords: Exercise, black carrot, lipid peroxidation, antioxidant enzyme.

Akut Egzersiz Yaptırılan Sıçanlarda Karaciğerlerindeki Lipit Peroksidasyon ve Antioksidan Enzimleri Üzerine Siyah Havuç Suyunun Etkileri

Öz: Bu çalışmada, akut egzersiz yaptırılan sıçanların karaciğerlerinin dokuları üzerine siyah havuç suyunun etkileri araştırıldı. Sıçanlar Kontrol (K), Siyah havuç suyu (S), Akut egzersiz (E) ve Siyah havuç suyu + Akut egzersiz (SE) grupları oluşturuldu. Akut egzersiz programı treadmill cihazında uygulamalar yapıldı. Deneysel süreç sonunda elde edilen sıçan karaciğer dokularında malondialdehit (MDA) ve Glutasyon (GSH) düzeyleri incelenirken, Glutasyon redüktaz (GR), Glutasyon-S-transferaz (GST) ve Karboksil esteraz (Ces) enzim aktivite düzeyleri ölçüldü. E grubu MDA, GST ve Ces enzim aktivite düzeyleri K grubuna göre artarken, GR ve GSH düzeyleri ise K grubuna göre azaldı. S grubu GST ve Ces enzim aktiviteleri K grubuna göre arttı. SE grubu GSH düzeyi E grubuna göre artarken, GST enzim aktivite ve MDA düzeyleri azaldı. Sonuç olarak, akut egzersiz uygulanan sıçanların karaciğer dokuları üzerine siyah havuç suyunun lipid peroksidasyonu engellediği, antioksidan enzim sistemini destekleyici etkisinin olduğunu düşünmekteyiz.

Anahtar kelimeler: Egzersiz, siyah havuç, lipid peroksidasyon, antioksidan enzim.

1. Giriş

İskelet kasları tarafından üretilen enerjinin harcanmasını gerektiren bedensel hareketlere fiziksel aktivite denir. Fiziksel aktivite kas ve eklem hareketliliğini korur, eklem dayanıklılığını geliştirir, dokularda oksijen ve enerji miktarını artırır. Bu durum, metabolizmada koruyucu etkilere neden olmaktadır. Düzensiz yapılan egzersizler sonucunda meydana gelen metabolik son ürünler dokular üzerine olumsuz etkiler yapmaktadır. Uzun süreli olmayan yoğun egzersiz programlarından olan akut egzersiz, alışkın olmayan insan ve hayvanlarda tek seferde veya kısa süreli egzersiz uygulamalarındandır. Akut egzersiz metabolizmada oksidatif, stresi artırarak kas hasarlarına neden olmaktadır. Ayrıca, metabolizmada serbest radikal düzeyleri artmaktadır. Bunun sonucu olarak, hücre içerisinde enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan sistemler olumsuz etkilenmektedir (Halliwell, 1999; Taysi, et al., 2008; Marques-Aleixo, et al., 2015; Allendorfer, & Arida, 2018).

Siyah havuç içeriğinde, vitamin, mineral ve antisianin molekülleri yoğun olarak bulunmaktadır. Ayrıca sinnamik asit, flavonol ve kafeik asit gibi birçok antioksidan molekül vardır. Siyah havucun farmakolojik etkilerinde antikanserijen, antitoksik, antioksidan, antiinflamatuvar ve nörodejeratif etkiler bulunmaktadır (Kammerer, et al., 2004; Metzger, et al., 2008; Wang, & Stoner, 2008; Sun, et al., 2009; Poudyal, et al., 2010). İnsanlar günlük hayatlarında akut egzersize maruz kaldığı gibi, aktif spor yapan bireylerin de egzersize maruz kaldığı bilinmektedir. Bu çalışmada siyah havuç suyunun akut egzersiz uygulanan sıçan karaciğer dokularındaki lipid peroksidasyon ve antioksidan enzim sistemleri üzerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Aşama

Çalışmanın etik raporu, Adiyaman Üniversitesi Yerel Etik Komitesi tarafından onaylandı (İzin Numarası: 2024/40).

Deneyde kullanılan sıçanların, bakımı ve kullanımı ilgili ulusal ve uluslararası yasalara ve politikalara uygun şekilde yapıldı. Yirmi sekiz adet yetişkin 3 aylık erkek *Sprague Dawley* sıçan (vücut ağırlığı 250 ± 10 g) Adıyaman Üniversitesi Deney Hayvanları Üretim Uygulama ve Araştırma Merkezinden temin edildi. Sıçanlar, sabit sıcaklıkta ($21 \pm 1^\circ\text{C}$) ve nemde ($\%55 \pm 5$) standart bir ışık/karanlık programında (12 saat ışık/12 saat karanlık döngüsü) peletlenmiş yem ve taze musluk suyuna serbestçe erişebilecekleri şekilde muhafaza edildi. Sıçanlar rastgele Kontrol (K), Siyah havuç suyu grubu (S), Akut egzersiz grubu (E) ve Siyah havuç suyu + Akut egzersiz (SE) (her grupta $n = 7$) olmak üzere dört gruba ayrıldı. K grubu sıçanlara içme suyu verildi. Yerel pazardan alınan taze siyah havuçlar musluk suyunda yıkandı ve meyve sıkacağına sıkılarak sıçanlara verildi. Siyah havuç suyu 4 ml/kg dozda oragastrik gavaj yöntemiyle uygulaması yapıldı (Gülru Esen et al., 2021). Akut koşu egzersizinde sıçanlar, iki haftalık alıştırmadan sonra üç fazda uygulama işlemine tabi tutuldular. Birinci haftada sıçanların koşu bandında günde 10 dakika, haftada 3 gün (10 m/dk hız, $\% 0$ eğim) koşturuldu. İkinci haftada sıçanların günde 10 dakika, haftada 3 gün (20 m/dk hız, $\% 0$ eğim) koşturulması sağlandı. Alıştırma protokolünden yirmi dört saat sonra sıçanlara akut egzersiz oluşturmak için 3 aşamalı koşu bandı koşusu yaptırıldı. Birinci aşamada (dk 0-5): sıçanlar 15 m/dk hızla ve $\% 0$ eğimle koşturuldu. İkinci aşamada (dk 5-10): sıçanlar 23 m/dk hızla ve $\% 0$ eğimle koşturuldu. Üçüncü aşamada (dk 10-60): sıçanlar 25 m/dk hızla ve $\% 5$ 'lik bir eğimle koşturuldu. Egzersiz yapılmayan gruplardaki sıçanlar (K ve S grupları), 60 dk boyunca hareket etmeyen koşu bandı üzerine yerleştirildi ve böylece koşu bandının kendisi tarafından tetiklenen potansiyel kullanım ve çevre streslerine maruz bırakıldı (Ascensao, et al., 2011). Deneysel uygulamalardan sonra sıçanlara servikal dislokasyon uygulanarak onların karaciğer dokularından elde edilen doku örneklerinde biyokimyasal işlemler gerçekleştirildi. Dokular -80°C de deneysel sürece kadar saklandı.

2.2. Karaciğer Dokusu Homojenizasyonu

Karaciğer örneklerini homojenleştirmek için $0,15 \text{ M}$ KCl, 1 mM EDTA ve 1 mM DTT içeren buzla soğutulmuş $0,1 \text{ M}$ K-fosfat tamponu, toplam doku ağırlığının (w/v) 1:4 oranında kullanıldı. Homojenizasyon, Heidolph RZ 2021 markalı bir homojenizatörle gerçekleştirildi. Homojenatlar, Hettich ROTINA 420 R santrifüjü kullanılarak 4°C derecede 30 dakika boyunca 15000 g'de santrifüjlendi. Santrifüjlemeden sonra elde edilen üst sıvı faz enzim aktivitesi için kullanıldı. MDA ve redükte GSH seviyeleri ile Ces, GST ve GR enzim aktiviteleri mikroparka okuyucu sistemi (Thermo™ Varioskan Flash, Thermo Scientific) kullanılarak uygun dalga boylarında spektrofotometrik olarak ölçüldü.

2.3. GST Enzim Aktivitesinin Ölçümü

GST aktivite ölçümü, Habig et al. (1974) tarafından geliştirilen ve mikro plaka okuyucu sistemine uyarlanan yöntemin değiştirilmiş bir versiyonu kullanılarak yapıldı. Karışım 100 mM K-fosfat tamponu ($\text{pH } 6,5$), 1 mM GSH (kofaktör olarak kullanıldı), 10 mM 1-kloro-2,4-dinitrobenzen (CDNB, substrat olarak kullanıldı) ve üst sıvıdan oluşuyordu. Ölçüm sırasında sırasıyla 10 mikrolitre üst sıvı, 100 mikrolitre fosfat tamponu + $100 \text{ } \mu\text{L}$ GSH karışımı ve son olarak CDNB mikro plaka kuyularına

pipetlendi. Reaksiyon sırasında tüketilen GSH'nin azalmasına bağlı olarak CDNB miktarındaki azalmayı ifade eden absorbans değişiklikleri 25°C'de 3 dakika boyunca 344 nm'de ölçüldü ve özgül GST aktivitesi $\text{nmol dak}^{-1}\text{g protein}^{-1}$ olarak kaydedildi.

2.4. Ces Enzim Aktivitesinin Ölçümü

Ces aktivitesi, Santhoshkumar ve Shivanandappa (1999) tarafından mikro plaka okuyucusu için açıklanan prosedürün değiştirilmiş versiyonu kullanılarak belirlendi. Reaksiyon çözeltisi $5 \text{ } \mu\text{L}$ süpernatant ve $0,1 \text{ mM}$ $250 \text{ } \mu\text{L}$ $\text{pH } 7,4$ trizma tamponundan oluşturuldu. Mikro plaka kuyularına pipetlenen reaksiyon karışımı 25°C'de 3 dakika inkübe edildi. Reaksiyon, kuyulardaki reaksiyon çözeltisine $5 \text{ } \mu\text{L}$ $0,5 \text{ mM}$ p-nitrofenol asetat (PNPA) eklenerek başlatıldı. Ces tarafından substrat olarak p-nitrofenol asetat kullanılması nedeniyle reaksiyon sırasında salınan p-nitrofenol, 25°C'de 2 dakika boyunca 405 nm'de izlendi. Spesifik Ces aktivitesi $\text{nmol dak}^{-1}\text{g protein}^{-1}$ olarak hesaplandı.

2.5. GR Enzim Aktivitesinin Ölçümü

GR enzim aktivitesi için reaksiyon karışımı $0,1 \text{ mM}$, $150 \text{ } \mu\text{L}$ 5,5'-dithiobis (2-nitrobenzoik asit) (DTNB), $1,2 \text{ mM}$, $20 \text{ } \mu\text{L}$ NADPH ve $20 \text{ } \mu\text{L}$ örnek içermektedir. $20 \text{ } \mu\text{L}$, $3,25 \text{ mM}$ GSSG'nin ilavesi ile reaksiyon başlatılmıştır. Bütün çözeltiler, 1 mM EDTA içeren, $0,1 \text{ M}$ potasyum fosfat tamponunda ($\text{pH } 7,5$) hazırlandı. Reaksiyon ilerledikçe GSSG'den GSH oluşumu nedeniyle azalan DTNB miktarı oda sıcaklığında 3 dakika süre ile 405 nm'de izlendi. Spesifik GR aktivitesi $\text{nmol dak}^{-1}\text{g protein}^{-1}$ olarak hesaplandı (Cribb, et al., 1989).

2.6. MDA ve GSH Düzeyleri Ölçümü

Lipid peroksidasyonun ürünü olan MDA'nın analizi Placer et al. (1966) tarafından açıklandığı şekilde gerçekleştirildi. Reaksiyon karışımı, $1,5 \text{ mL}$ reaksiyon çözeltisine $500 \text{ } \mu\text{L}$ homojenat eklenerek, eşit hacimde $\% 15$ trikloroasetik asit, $\% 0,375$ tiyobarbiturik asit, $0,25 \text{ N}$ HCl (1:1:1, w/v) karıştırılarak taze olarak hazırlandı. Reaksiyon karışımı, 100°C'de 30 dakika su banyosunda ısıtıldı. Karışım oda sıcaklığına soğutulduktan sonra, santrifüjleme 15000 g'de 15 dakika gerçekleştirildi. Daha sonra, süpernatant örnekleri mikro plaka kuyularına aktararak, reaksiyon sırasında oluşan MDA'ya bağlı absorbans değişiklikleri 532 nm'de kaydedildi. MDA seviyeleri (nmol/g ıslak doku ağırlığı) olarak ifade edildi.

GSH seviyesi, redükte GSH'nin 5,5-dithiobis 2-nitrobenzoik asit (DTNB) ile reaksiyonuyla oluşan bileşiğin 412 nm'deki absorbans değerinin ölçülmesiyle belirlendi (Moron, et al., 1979). Redükte GSH seviyesi $\text{nmol mg}^{-1}\text{ protein}^{-1}$ olarak ifade edildi.

2.7. Total Protein Analizi

Üst sıvı örneklerindeki toplam protein içeriği Bradford 1976 kolorimetrik yöntemi ve standart olarak sığır serum albümini (BSA) kullanılarak belirlendi (Bradford, 1976). Sonuçlar miligram protein olarak ifade edildi. Tüm analizler üç kez gerçekleştirildi.

2.8. İstatistiksel Analiz

Sıçanların karaciğerinin dokularında tespiti yapılan biyokimyasal parametrelerin karşılaştırılması için SPSS 20,0 programı kullanıldı. Biyokimyasal parametrelerin

istatistiksel karşılaştırması Tek Yönlü Varyans Analizi kullanılarak yapıldı ve ardından Tukey-HSD testi uygulandı. Veriler, ortalama \pm SEM (ortalama standart hata) olarak ifade edildi.

3. Bulgular

Sıçan karaciğer dokuları biyokimyasal parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir. E ve SE grupları MDA düzeyi K grubuna göre arttı ($p<0.001$, $p<0.01$). E grubu MDA düzeyine göre SE grubunda azalma tespit edildi ($p<0.001$). K grubu GSH düzeyine göre E ve SE gruplarında azalma gözlemlendi ($p<0.001$). SE grubu GSH düzeyi E grubuna göre arttı ($p<0.05$). K grubu GST enzim aktivitesi düzeyine göre E, S ve SE gruplarında önemli istatistiksel artışlar gözlemlendi ($p<0.001$). E grubu GST enzim aktivitesi düzeyine göre SE grubunda azalma tespit edildi ($p<0.01$). K grubu Ces enzim aktivite düzeyine göre S, E ve SE gruplarında önemli artışlar gözlemlendi ($p<0.01$, $p<0.001$). K ve S grupları GR enzim aktivitesinde istatistiksel fark gözlenmezken, K grubu GR enzim aktivitesine göre E ve SE gruplarında önemli azalma gözlemlendi ($p<0.001$).

Tablo 1. Sıçan karaciğer dokuları biyokimyasal parametreler

Table 1. Biochemical parameters of rat liver tissues

Gruplar	MDA	GSH	GST	Ces	GR
K	9.51	0.25	64.46	2294.96	12.47
	± 0.89	± 0.007	± 2.84	± 79.23	± 0.66
S	10.13	0.24	79.30	2767.68	11.08
	$\pm 1.12^z$	$\pm 0.004^z$	$\pm 2.51^z$	$\pm 64.76^{bx}$	$\pm 0.74^z$
E	19.42	0.17	94.70	3108.89	4.81
	$\pm 2.75^c$	$\pm 0.005^c$	$\pm 2.34^c$	$\pm 101.79^c$	$\pm 0.24^c$
SE	13.79	0.21	81.48	2927.87	5.5
	$\pm 1.56^{bz}$	$\pm 0.006^{cx}$	$\pm 1.69^{cy}$	$\pm 72.24^c$	4 ± 0.44^c

K grubuna göre istatistiksel karşılaştırma: a: $p<0.05$; b: $p<0.01$; c: $p<0.001$

E'ye göre istatistiksel karşılaştırma: x: $p<0.05$; y: $p<0.01$; z: $p<0.001$

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada sıçanlara uygulanan akut egzersize karşı siyah havuç suyunun lipid peroksidasyon ve bazı enzimler üzerine etkileri araştırıldı.

Egzersiz yoğunluğuna bağlı olarak metabolizmada olumlu ve olumsuz etkiler ortaya çıkmaktadır (Gradari, et al., 2016; Guerreiro, et al., 2016). Egzersizin planlı olarak yapılması durumunda metabolizmaya birçok faydası vardır. Bu etkiler içerisinde vücut ağırlığının ve yağın azalması, kemik yoğunluğunun artması, kardiyovasküler, obezite ve kanser hastalıklarını azaltması bulunmaktadır (Vina, et al., 2000; Selman, et al., 2002; Naderi, et al., 2015; Emami, et al., 2016). Ancak; aşırı yapılan egzersizin metabolizmada birçok olumsuz etkisi bilinmektedir. Bunlar arasında en önemlisi, hücre mitokondrisinde oksijen tüketimi artarak serbest radikal üretiminin artırılmasıdır. Bu radikaller hücrede lipitler, proteinler ve DNA hasarlarını artırmaktadır (Emami, et al., 2016; Gradari, et al., 2016). Araştırmada, akut egzersiz uygulanan sıçan karaciğer dokularında lipid peroksidasyon ürünü olan MDA'nın arttığı, GSH düzeyinin ve GR enzim aktivitesinin azaldığı tespit edilmiştir. Egzersiz koşullarında koşu hızının seviyesi çok önemlidir. Bu alanda yapılan önemli bir çalışmada, farklı koşu hızlarının oksidatif stres düzeylerine etkileri araştırılmıştır. 36 erkek *Wistar* sıçanları 10,13,14,5,16 ve 17,5 m/dk yoğunluğunda koşu uygulaması yapılan

araştırmada sonucunda <16 m/dk. hızlarda egzersiz yapan grupların karaciğer dokuları katalaz enzim (CAT) aktivitesinin ve kaslarda GST aktivitesini artırdığı, GSH seviyesini her iki dokuda da azalttığını rapor etmişlerdir. <16 m/dk. hızlarda iskelet kasındaki antioksidan sistem yanıtının adaptasyonu aktive ettiğini, ancak yüksek hızlarda oksidatif strese neden olduğu belirtilmiştir (Mousavi, et al., 2020). Çalışmada uygulanan protokole göre maksimum 25m/dk. hızda koşturulan sıçanların karaciğer dokularındaki azalan GSH düzeyi ve artan MDA düzeyleri çalışma protokolünün bu literatürle uyumlu olduğunu göstermektedir. Akut egzersiz sonucunda serbest radikal düzeylerinde artışlar olmaktadır. Ancak bu artış hücre sisteminde savunucu antioksidan enzimler inhibisyona uğratılır. Özellikle süperoksit dismutaz (SOD), GST, CAT, GR ve glutatyon peroksidaz (GPx) gibi enzimlerin yanı sıra GSH gibi antioksidan moleküller devreye girerek inhibisyon sağlarlar (Powers, ve Jackson, 2016; Carlos et al., 2019).

Ayrıca, yorucu yapılan egzersiz sonucunda dokularda MDA düzeyinde artışlar ve GSH düzeylerinde de azalmalar rapor edilmiştir (Berzosa, et al., 2011; Radak, et al., 2014; Toval, et al., 2017). Akut yorucu egzersiz uygulanan sıçan karaciğer dokularında MDA ve tiyobarbitürük asit reaktif maddelerinin düzeylerinde artışlar, GSH, SOD, CAT enzim aktivitesinde azalmalar bildirilmiştir (Taysi, et al., 2008; Huang, et al., 2009; Korivi et al., 2012; Huang, et al., 2013; Qi, et al., 2014). Akut yorucu egzersiz yaptırılan sıçan karaciğer dokuları üzerine değişik dozajlarda tartar karabuğday ekstraktı takviyesinin doz artırımına bağlı olarak MDA düzeylerinde azalma, SOD, CAT, GPx ve GR enzim aktivitesinde ise önemli düzeyde artışlar rapor edilmiştir (Wei, et al., 2012). Akut yoğun egzersize maruz kalan sıçan karaciğer dokuları üzerine brokoli özütünün etkinliği araştırmasında, egzersiz grubu GST, GR ve GPx enzim aktivite düzeyi ile kontrol grubu arasında anlamsal fark olmadığı tespit edilmiştir. Ancak, egzersiz + brokoli grubunda brokoli diyetinin etkisiyle GST, GR, GPx aktivitesinde artışlar tespit edilmiştir. Ayrıca, akut egzersiz uygulanan grubun CAT enzim aktivitesinin azaldığı, bu azalmayı brokoli diyetinin düzelttiği bildirilmiştir (Cardenia, et al., 2017). Yapılan başka bir çalışmada, sıçanlar üzerine uygulanan yüzdürme egzersizi sonucunda karaciğer dokularında SOD ve CAT enzim aktivitesinde artışlar tespit edilirken, GSH düzeylerinde azalma tespit edilmiştir (Radu, et al., 2010). GSH molekülü GPx ve GST enzim aktivitesini için substrat görevini üstlenir. GSH molekülünün azalması oksidatif stresin belirteci olarak kabul edilir (Powers,&Malcom, 2008; Olguin, et al., 2019). Hücrede GSH molekülü düzeyinin azalması, artan oksidatif stres ile artan GST enzim aktivitesinden kaynaklanmaktadır. Araştırmamızda, egzersiz yaptırılan sıçan karaciğer dokularında azalan GSH düzeyi yukarıda belirtilen araştırmalarla uyumlu olduğu görülmektedir (Bejma, J & Ji, 1999; Radu, et al., 2010; Vukovic, et al., 2014). Çalışmada, siyah havuç suyu uygulanan egzersiz grubunun MDA düzeyi siyah havuç suyu etkisiyle egzersiz grubundan az çıktığı tespit edildi. Siyah havuç suyu uygulanan egzersiz grubu GSH düzeyi ise egzersiz grubuna göre arttığı gözlemlendi. Egzersiz grubu GR enzim aktivitesi diğer gruplara göre en düşük düzeyde tespit edilmiştir. Ayrıca, egzersiz grubu GST ve Ces enzim aktivite düzeyleri diğer

gruplara göre en yüksek seviyede gözlenirken, siyah havucun etkisiyle kombinasyonlu grupta bu enzim aktivite artışları azalmıştır. Siyah havuç suyunun içeriğinde antioksidan etkinliğinin yüksek olduğu bilinen antosiyanidin molekülleri mevcuttur (Ulusoy, & Tamer, 2019). Bu moleküllerin antimikrobiyal, antiobezite, antikanser ve kardiyovasküler hastalıklara karşı etkinlikleri vardır (Mizgier, et al., 2016; Khoo, et al., 2017). Çalışmada, egzersiz grubu Ces ve GST enzim aktivite düzeylerinin diğer gruplara göre yüksek seviyede çıktığı gözlenmiştir. Bu sonuçlarımızın, akut egzersiz uygulaması sonucunda hücrede artan radikallerin inhibisyonu için bu enzimlerin aktivasyonunun artmasına neden olduğunu düşünmekteyiz. Çünkü bu enzimler hücrede detoksifikasyon görevini üstlenmektedirler. Ancak, siyah havuç uygulaması sonucunda akut egzersizin artırdığı Ces ve GST enzim aktivitelerini azalttığı tespit edildi. Bu azalmayı, siyah havucun antioksidan etkilerinden kaynaklandığı söylenebilir. Yapılan bir araştırmada siyah havuç suyunun akrilamid nörotoksitesine karşı düzeltici etkisi olduğu rapor edilmiştir. Sıçan dokularında akrilamidin lipid peroksidasyonu ve GST enzim aktivitesini artırırken, GSH düzeyini azalttığı rapor edilmiştir (Esen, et al., 2021). Yapılan literatür araştırmalarında, akut egzersiz çeşitlerinin tamamında Ces enzim aktivitesinin çalışılmadığı gözlenmiştir. Bu enzim ilaç ve pestisit gibi bileşiklerin metabolizması için çok önemlidir. Ayrıca, organofosfor ve karbamat pestisitleri Ces enzimlerinin inhibisyonuna neden olur (Di, 2019). Akut egzersiz insanların günlük hayatı içerisinde sıkça karşılaştığı bir durumdur. Gerek sporcular gerekse sedanter bireyler akut egzersiz olayı ile daha sıkça karşılaşmaktadır. Çalışmada, akut egzersizin sıçan karaciğer dokularında yüksek lipid peroksidasyona neden olduğu, GSH ve GR düzeylerini azalttığı tespit edildi. Detoksifikasyon enzimlerden GST ve Ces enzim aktivite düzeyleri akut egzersizin etkisiyle arttığı gözlemlendi. Siyah havuç suyunun akut egzersizin oluşturduğu yüksek lipid peroksidasyonu azaltarak, antioksidan enzim sistemindeki enzimlere pozitif etkiler sağladığı tespit edildi. Sonuç olarak, akut egzersizin oluşturduğu olumsuz etkilere karşı siyah havuç suyunun düzeltici etkileri olabileceğini düşünmekteyiz.

Teşekkür: Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından SBFYL/2024-0002 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir.

Etik kurul onayı: Bu çalışma, hayvan deneylerinin etik standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışma için yasal araştırma etik kurul onay izinleri Adıyaman Üniversitesi Deney Hayvanları Etik Kurulu'ndan alınmıştır (No: 2024/40).

Çıkar çatışması: Yazar/ lar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmiştir.

Yazar Katkısı: Conception - K.Y.A., A.Ö.; Design - A.Ö.; Supervision - K.Y.A., M.D.; Fund - K.Y.A.; Materials - A.Ö.; Data Collection and Processing - A.Ö., K.Y.A., M.D.; Analysis Interpretation - A.Ö.; Literature Review - A.Ö., K.Y.A., M.D.; Writing - K.Y.A., A.Ö.; Critical Review - A.Ö.

Kaynaklar

Allendorfer, J.B., & Arida, R.M. (2018). Role of physical activity and exercise in alleviating cognitive impairment in people with epilepsy. *Clinical Therapeutics*, 40(1), 26-34. <https://doi.org/10.1016/j.clinthera.2017.12.004>

- Ascensao, A., Lumini-Oliveira, J., Machado, N.G., Ferreira, R.M., Gonçalves, I.O., Moreira, A.C., & Magalhães, J. (2011). Acute exercise protects against calcium-induced cardiac mitochondrial permeability transition pore opening in doxorubicin-treated rats. *Clinical Science*, 120(1), 37-49. <https://doi.org/10.1042/CS20100254>
- Bejma, J., & Ji, L.L. (1999). Aging and acute exercise enhance free radical generation in rat skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 87(1), 465-470. <https://doi.org/10.1152/jap.1999.87.1.465%20>
- Berzosa, C., Cebrián, I., Broto, L., F., Trullén, E.G., Piedrafita, E., Ballarín, E.M.,.....& García, J.J. (2011). Acute exercise increases plasma total antioxidant status and antioxidant enzyme activities in untrained men. *Journal of Biomed Research International*, 540458. <https://doi.org/10.1155/2011/540458%20>
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3%20%20](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3%20%20)
- Cardenia V., Estrada, M., T., & Malaguti, M. (2017). Effect of broccoli extract enriched diet on liver cholesterol oxidation in rats subjected to exhaustive exercise. *Journal of Steroid Biochemistry & Molecular Biology*, 169, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.jsmb.2016.04.005%20>
- Cribb, A.E., Leeder, J.S., & Spielberg, S.P. (1989). Use of a microplate reader in an assay of glutathione reductase using 5, 5'-dithiobis (2-nitrobenzoic acid). *Analytical Biochemistry*, 183(1), 195-196. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(89\)90188-7](https://doi.org/10.1016/0003-2697(89)90188-7)
- Di, L. (2019). The impact of carboxylesterases in drug metabolism and pharmacokinetics. *Current Drug Metabolism*, 20(2), 91-102. <https://doi.org/10.2174/1389200219666180821094502>
- Emami, S.R., Jafari, M., Haghshenas, R., & Ravasi, A. (2016). Impact of eight weeks endurance training on biochemical parameters and obesity-induced oxidative stress in high fat diet-fed rats. *Journal of Exercises. Nutrition and Biochemistry*, 20(1), 29-35. <https://doi.org/10.20463/jenb.2016.03.20.1.5>
- Esen, G., Uçkun, M., Özkaya, A., & Uludağ, S. (2021). An investigation of histopathologic and morphometric effect of black carrot juice on acrylamid induced neurotoxicity. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*, 38(2), 82-87. <https://doi.org/10.52142/omujecm.38.2.5>
- Gradari, S., Palle, A., Greevy, M.C., K.R., Fontan-Lozano, A., & Trejo, J.L. (2016). Can exercise make you smarter, happier, and have more neurons? A hormetic perspective. *Frontiers in Neuroscience*, 10(93). <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00093>
- Guerreiro, L.F., Rocha, A.M., Martins, C.N., Ribeiro, J.P., Wally, C., Strieder, D.L.,.....& Gonçalves, C.An. (2016). Oxidative status of the myocardium in response to different intensities of physical training. *Physiological Research*, 65(5), 737-749.
- Habig, W. H., Pabst, M. J., & Jakoby, W.B.J. (1974). Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation. *Journal of Biological Chemistry*, 249(22), 7130-7139.
- Halliwell, B. (1999). Antioxidant defence mechanisms: From the beginning to the end (of the beginning). *Free Radical Research*, 31(4), 261-272. <https://doi.org/10.1080/10715769900300841>
- Huang, S.C., Lee, F.T., Kuo, T.Y., Yang, J.H., & Chien, C.T. (2009). Attenuation of long-term *Rhodiola rosea* supplementation on exhaustive swimming-evoked oxidative stress in the rat. *The Chinese Journal of Physiology*, 52(5), 316-324. <https://doi.org/10.4077/CJP.2009.AMH029%20>
- Huang, C.C., Huang, W.C., Yang, S.S., Chan, C.C., & Lin, W.T. (2013). Ganoderma tsugae hepatoprotection against exhaustive exercise-induced liver injury in rats. *Molecules*, 18(2), 1741-1754. <https://doi.org/10.3390/molecules18021741>
- Kammerer, D., Carle, R., & Schieber, A. (2004). Characterization of phenolic acids in black carrots (*Daucus carota* ssp. sativus var. atrovirens Alef.) by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 18(12), 1331-1340. <https://doi.org/10.1002/rcm.1496>
- Korivi, M., Hou, C.W., Huang, C.Y., Lee, S.D., Hsu, M.F., Yu, S.H.,..... & Kuo, C.H. (2012). Ginsenoside-Rg1 protects the liver against exhaustive exercise-induced oxidative stress in rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 932165,1-8. <https://doi.org/10.1155/2012/932165%20>
- Marques-Aleixo, I., Santos-Alves, E., Balca, M.M., Rizo-Roca, D., Moreira, P.I., Oliveira, P.J.,.....& Ascensao, A. (2015). Physical exercise improves brain cortex and cerebellum mitochondrial bioenergetics and alters apoptotic dynamic and auto (mito) phagy markers. *Neuroscience*, 301, 480-495. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.06.027>
- Metzger, B.T., Barness, D.M., & Reed, J.D., (2008). Purple carrot (*Daucus carota* L.) polyacetylenes decrease lipopolysaccharide-induced

- expression of inflammatory proteins in macrophage and endothelial cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(10), 3554–3560. <https://doi.org/10.1021/jf073494t>
- Mizgier, P., Kucharska, A.Z., & Fecka, I. (2016). Characterization of phenolic compounds and antioxidant and anti-inflammatory properties of red cabbage and purple carrot extracts. *Journal of Functional Foods*, 21, 133-146. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.004>
- Moron, M.S., Depierre, J.W., & Mannervik, B. (1979). Levels of glutathione, glutathione reductase and glutathione S-transferase activities in rat lung and liver. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, 582(1), 67-78. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(79\)90289-7](https://doi.org/10.1016/0304-4165(79)90289-7)
- Mousavi, S.R., Jafari, J., Rezaei, S., Alinejad, H.A., & Sobhani, V. (2020). Evaluation of the effects of different intensities of forced running wheel exercise on oxidative stress biomarkers in muscle, liver and serum of untrained rats. *Lab Animal*, 49(4), 119-125. <https://doi.org/10.1038/s41684-020-0503-7>
- Naderi, R., Mohaddes, G., Mohammadi, M., Ghaznavi, R., Ghyasi, R., & Vatankhah, A. M. (2015). Voluntary exercise protects heart from oxidative stress in diabetic rats. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 5(2), 231-236. <https://doi.org/10.15171/apb.2015.032>
- Olguin, C.H., Renani, L.B., Ceschia, L.A., Raun, S.H., Bhatia, A., Li, Z.,.....& Jensen, T.E. (2019). Adaptations to high-intensity interval training in skeletal muscle require NADPH oxidase 2. *Redox Biology*, 24, 101188. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101188>
- Placer, Z.A., Cushman, L.L., & Johnson, B.C. (1966). Estimation of product of lipid peroxidation (malonyl dialdehyde) in biochemical systems. *Analytical Biochemistry*, 16(2), 359-364. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(66\)90167-9%20](https://doi.org/10.1016/0003-2697(66)90167-9%20)
- Powers, S.K., Malcolm, J.J. (2008). Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production. *Physiological Review*, 88(4), 1243-1276. <https://doi.org/10.1152/physrev.00031.2007>
- Poudyal, H., Panchal, S., & Brown, L. (2010). Comparison of purple carrot juice and b-carotene in a high carbohydrate, high-fat diet-fed rat model of the metabolic syndrome. *British Journal of Nutrition*, 104(9), 1322-1332. <https://doi.org/10.1017/S0007114510002308>
- Qi, B., Zhang, L., Zhang Z., Ouyang J., & Huang, H. (2014). Effects of ginsenosides-Rb1 on exercise-induced oxidative stress in forced swimming mice. *Pharmacognosi Magazine*, 10(40), 458-463. <https://doi.org/10.4103/0973-1296>
- Radak, Z., Ihasz, F. & Boldogh, L. (2014). The redox-associated adaptive response of brain to physical exercise. *Free Radical Research*, 48(1), 84-92. <https://doi.org/10.3109/10715762.2013.826352%20>
- Radu, M.D., Coprean, D., & Schiopu, S. (2010). The effect of acute physical exercise on liver and kidney in the Wistar rat. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(3), 51-55
- Santhoshkumar, P., & Shivanandappa, T. (1999). In vitro sequestration of two organophosphorus homologs by the rat liver. *Chemico-Biological Interactions*, 119(120), 277-282. [https://doi.org/10.1016/S0009-2797\(99\)00037-X%20](https://doi.org/10.1016/S0009-2797(99)00037-X%20)
- Selman, C., McLaren, J. S., Collins, A. R., Duthie, G.G., & Speakman, J. R. (2002). Antioxidant enzyme activities, lipid peroxidation, and DNA oxidative damage: the effects of short-term voluntary wheel running. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 401(2), 255-261. [https://doi.org/10.1016/S0003-9861\(02\)00050-4](https://doi.org/10.1016/S0003-9861(02)00050-4)
- Sun, T., Simon P.W., & Tanumihardjo. S.A. (2009). Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 4142-4147. <https://doi.org/10.1021/jf9001044>
- Taysi, T., Oztasan, N., Efe, H., Polat, M.F., Gumustekin, K., Siktar, E., Canakci, E., & Gul, M. (2008). Endurance training attenuates the oxidative stress due to acute exhaustive exercise in rat liver. *Acta Physiologica Hungarica*, 95(4), 337-347. <https://doi.org/10.1556/aphysiol.95.2008.4.2>
- Toval, A., Baños, R., Cruz, E.D., Delgado, N. M., Pallarés, J.G., Ayad, A.,.....& Ferran, J. L. (2017). Habituation training improves locomotor performance in a forced running wheel system in rats. *Frontiers Behavioral Neuroscience*, 11(42), 1-7. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00042%20>
- Ulusoy, A., & Tamer, C.E. (2019). Determination of suitability of black carrot (*Daucus carota* L. spp. sativus var. atropubens Alef.) juice concentrate, cherry laurel (*Prunus laurocerasus*), blackthorn (*Prunus spinosa*) and red raspberry (*Rubus ideaus*) for kombucha beverage production. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13(2), 1524-1536. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00068-w%20>
- Viña, J., Gomez-Cabrera, M., C., & Sastre, J. (2000) Free radicals in exhaustive physical exercise: mechanism of production, and protection by antioxidants. *Journal of the International Union of Biochemistry and Molecular Biology Life*, 50(4-5), 271-277. <https://doi.org/10.1080/713803729>
- Vukovic, R., Blazetic, S., Orsolich, I., Heffer, M., Vari, S.G., Gajdos, M.,..... & Schön, E. (2014). Impact of ovariectomy, high fat diet, and lifestyle modifications on oxidative/antioxidative status in the rat liver. *Croatian Medical Journal*, 55(3), 218-227. <https://doi.org/10.3325/c3mj.2014.55.218>
- Wang, L., & Stoner, G.D. (2008). Anthocyanins and their role in cancer prevention. *Cancer Letters Natural Products Special Issue*, 269(2), 281-290. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2008.05.020%20>
- Wei, Y. F., Fang, F., Mei, J., H., L., & Ye, J. (2012). Influence of Tartary Buckwheat Extracts Supplementation on Oxidative Stress Induced by Acute Exhaustive Exercise in Rats. *International Journal of Pharmacology*, 8(8), 695-700. <https://doi.org/10.3923/ijp.2012.695.700>