

Radyofrekans Radyasyonun Sıçanların Beyin Dokusundaki Oksidan ve Antioksidan Düzeylerine Etkisi

Effects of Radiofrequency Radiation on Brain Tissue Oxidant and Antioxidant Levels in Rats

Meriç Arda Eşmekaya¹, Bahriye Sırav¹, Çiğdem Özer², Nesrin Seyhan¹

¹Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Gazi Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi, Ankara, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

ÖZET

Amaç: Radyofrekans radyasyonun (RF) beyin dokusu üzerinde çeşitli biyokimyasal değişikliklere neden olduğu yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Çalışmamızda 1800 MHz frekanslı Puls Modülasyonlu RF Radyasyonun dişi sıçanların beyin dokularında oksidatif strese neden olup olmadığını incelemeyi amaçladık.

Yöntemler: Çalışmamızda dişi Wistar-Albino sıçanlar Sham-Kontrol grubu (n=10) ve RF grubu (n=10) olmak üzere iki gruba ayrıldılar. RF grubundaki sıçanlar 1 ay boyunca günde 20 dakika 1800 MHz frekanslı Puls Modülasyonlu RF Radyasyona maruz bırakıldılar. Sham-Kontrol grubuna ise herhangi bir uygulama yapılmadı. Çalışma sonunda sıçanlar ketamin (50 mg/kg) ve xylazine (50 mg/kg) anestezisi altında kalplerinden kan alınarak feda edildi. Oksidan stres lipid peroksidasyonun önemli göstergelerinden biri olan Malondialdehit (MDA), antioksidan düzey ise doğal antioksidan olan Glutasyon (GSH) miktarının ölçülmesiyle belirlendi. Total nitrik oksit (NOx) düzeyleri ise Griess yöntemi ile çalışıldı. Sonuçlar Mann-Whitney U testi ile değerlendirildi. p<0.05 olan değeri anlamlı olarak kabul edildi.

Bulgular: Sham-Kontrol grubu ile kıyaslandığında RF Radyasyona maruz kalan beyin dokularında MDA ve NOx düzeylerinde artış, GSH düzeylerinde ise azalış tespit edildi (p<0.05).

Sonuç: Çalışmamızda elde ettiğimiz bulgular RF radyasyonun beyin dokusunda oksidatif hasara neden olabileceğini göstermektedir. (*Gazi Med J 2011; 22: 100-4*)

Anahtar Sözcükler: Beyin, radyofrekans radyasyon, oksidatif stres, nitrik oksit

Geliş Tarihi: 12.08.2011

Kabul Tarihi: 05.10.2011

ABSTRACT

Objective: It has been reported that RF (Radiofrequency) Radiation induces some biochemical changes in brain tissue. In the present study we aimed to investigate whether 1800 MHz pulse modulated RF Radiation causes oxidative stress in brain tissue of the female rats.

Methods: A total of 20 female Wistar-Albino rats used in the study were randomly divided into two groups: Sham-Control group (n=10) and RF group (n=10). RF rats were exposed to pulse modulated RF Radiation 20 min/day for a month. The sham-control rats were not exposed to RF Radiation. At the end of the study, rats were sacrificed by injection of ketamine (50 mg/kg) and xylazine (5 mg/kg) combination. Oxidative damage in tissues was examined by investigating the lipid peroxidation marker Malondialdehyde (MDA), antioxidant levels were assessed by measuring GSH levels. Total Nitric Oxide (NOx) levels were studied by the Griess Reaction. The results were analyzed by the Mann - Whitney U Test. The accepted level of significance was set at p<0.05.

Results: Tissue levels of MDA and NOx of the RF group were found significantly higher than the Sham-Control group (p<0.05), however brain tissue GSH levels were significantly lower in RF group compared to Sham-Control group (p<0.05).

Conclusion: The obtained results showed that exposure to RF Radiation may cause oxidative stress in brain tissue. (*Gazi Med J 2011; 22: 100-4*)

Key Words: Brain, radiofrequency radiation, oxidative stress, nitric oxide

Received: 12.08.2011

Accepted: 05.10.2011

Yazışma Adresi / Address for Correspondence: Dr. Meriç Arda Eşmekaya, Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Gazi Non-İyonizan Radyasyondan Korunma Merkezi, Beşevler, Ankara Tel: +90 312 202 46 76 E-posta: mericarda@yahoo.com

©Telif Hakkı 2011 Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi - Makale metnine www.gazimedicaljournal.org web sayfasından ulaşılabilir.

©Copyright 2011 by Gazi University Medical Faculty - Available on-line at www.gazimedicaljournal.org

doi:10.5152/gmj.2011.22

GİRİŞ

Cep telefonları düşük şiddette Radyofrekans (RF) sinyalleri gönderip alırlar. RF radyasyonun kuantum foton enerjisi atom ve moleküllerden elektron koparacak yani onları iyonize edecek düzeyde değildir. RF radyasyon biyolojik dokular üzerinde termal veya termal olmayan mekanizmalarla açıklanabilecek bir takım değişiklikler indükleyerek dokulara zarar verir (1, 2). Termal etkiler vücut tarafından emilen elektromanyetik enerjinin ısıya dönüşmesi ve dokunun veya tüm vücudun sıcaklığının arttığı durumlarda ortaya çıkar. Bu sıcaklık artışı, ısının kan dolaşımı ile dengelenmesine kadar sürer. Cep telefonları gibi RF kaynaklarının sebep olabileceği sıcaklık artışının vücudun normal ısı dengeleyici mekanizmaları ile etkisiz hale getirilebildiği belirtilmektedir. RF radyasyonun termal olmayan etkileri, RF enerjisinin dokunun ya da tüm vücudun ısını doku veya tüm vücutta tahribat meydana getirecek kadar artırmadığı enerji seviyelerinde görülür. Bu enerji seviyelerinde RF radyasyon uygulanan dokularda serbest radikal üretiminin arttığı rapor edilmiştir (3).

Reaktif yapıda olan Serbest Radikaller yörüngelerindeki serbest elektronlarını çiftlemek üzere canlı hücrelerde bulunan diğer moleküller ile reaksiyona girerek moleküllerin yapılarını değiştirme eğilimindedirler. İnsan vücudunda en yaygın olarak üretilen Reaktif Serbest Radikaller Oksijen Kaynaklı Serbest Radikallerdir (ROS). Artan ROS miktarı iskemi, Alzheimer, multipl skleroz, epilepsi ve spinal kord hasarı gibi bir takım nörolojik hastalıklar ile ilişkilidir. Ayrıca fazla miktarlarda üretilen ROS, beyin dokusunda nekroz, nöron hasarı ve nöron ölümüne yol açabilmektedir.

Merkezi Sinir Sisteminde nörotransmitter olarak görev yapan ve birçok beyin fonksiyonun gerçekleşmesine aracılık eden Nitrik oksit (NO) yüksek dozlarda kısa ömürlü bir serbest radikal gibi davranır, özellikle doku hasarında NO seviyesi artar (4). Yarılanma ömrü çok kısa olan NO plazmada Nitrit (NO_2^-) ve Nitrat (NO_3^-) gibi daha stabil formlara dönüşmektedir. NO, süperoksit ile reaksiyona girip son derece güçlü bir hücre oksidan olan peroksinitriti (ONOO) oluşturabilir. NO'un fazla üretimi birçok nörolojik hastalıkta rol oynayabilmektedir (5).

Fizyolojik koşullarda meydana gelen oksidatif hasar, serbest radikalleri etkisizleştirmek için elektronlarını onlara kullandıran antioksidan moleküller tarafından azaltılmaya çalışılır. Endojen bir antioksidan olan Glutatyon (GSH) oksidatif hasara karşı önemli bir hücre savunma ajanı olup, bağışıklık sisteminin savunmasında da önemli roller üstlenir. GSH, serbest radikallerle reaksiyona giren hücre içindeki hidroperoksitleri indirgeyen temel mekanizmanın bir elemanıdır (6). Protein yapılarındaki SH gruplarını indirgenmiş durumda tutarak onların okside olmalarını engeller. Dokularda GSH düzeyi miktarının ölçülmesi sıklıkla radikal hasarın bir ölçüsü olarak kullanılır.

Çalışmamızda cep telefonlarının çalışma frekansı olan 1800 MHz frekansındaki puls modülasyonlu RF radyasyonun, dişi sıçanların beyin dokularındaki oksidan ve antioksidan düzeyler üzerine etkilerini incelemeyi amaçladık.

GEREÇ VE YÖNTEM

Deney Gruplarının Belirlenmesi

Bu çalışmada Gazi Üniversitesi Deney Hayvanları Üretim Merkezi'nden temin edilen 8 haftalık (200-250 gr) Wistar-Albino cinsi dişi sıçanlar kullanıldı. Çalışma Gazi Üniversitesi Etik Kurulu kurallarına uygun olarak Gazi Üniversitesi Laboratuvar Hayvanları Yetiştirme ve Deneysel Araştırmalar Merkez Laboratuvar'ında gerçekleştirildi.

Sıçanlar çalışma süresince 12 saat gündüz, 12 saat gece döngüsünde sirkadiyen ritimlerine uygun olarak standart oda sıcaklığı (20°C) ve nem (%45) koşullarında standart sıçan yemi (Agribands Purina Besin Maddesi) ve musluk suyu verilerek laboratuvar ortamında barındırıldı. Çalışma gününde sıçanlar rastgele iki gruba ayrıldılar: 1. grup Sham-Kontrol grubu ($n=10$), 2. grup ise 1800 MHz frekansındaki puls modülasyonlu RF radyasyona maruz bırakılan grup ($n=10$) olarak belirlendi. RF grubu sıçanları Biyofizik Anabilim Dalında kurulmuş olan Radyo Frekans deney sistemi ile 1 ay boyunca günde 20 dakika 1800 MHz frekansında ve 4.5 V/m güç yoğunluğundaki puls modülasyonlu RF Radyasyona maruz bırakıldılar. Sham-Kontrol grubu sıçanları ise RF grubu ile aynı deney koşullarında barındırıldı ancak maruziyet sistemi kapalı tutuldu. Son RF uygulamasından sonra sıçanlar 50 mg/kg ketamin ve 5 mg /kg xylazine kombinasyonu ile anestezi edildikten hemen sonra kalplerinden kan alınmasını takiben ötenazi uygulandı. Sıçanların beyin dokuları hızla çıkarılarak çalışma gününe kadar sıvı nitrojen içerisinde -70°C 'lik derin dondurucuda saklandı.

Doku Lipid Peroksidasyon Düzeyinin Tespiti

Doku örneklerinde lipid peroksidasyon, tiyobarbitürik asit (TBARS) reaksiyonu esasına dayanan spektrofotometrik yöntemle belirlendi. Örnekler trikloroasetik asit (10 ml %10'luk trikloroasetik asit içersine 1 g doku) içersinde homojenize (Heideloph Diax 900, Germany) edildi. Homojenatların 3.000 rpm 10 dakikalık santrifüj (Hermle Z 323 K, Germany) edildikten sonra, 750 μl supernatan alınarak aynı hacimdeki tiyobarbitürik asit ile karıştırıldı ve tüpler 100°C 'de kaynar su banyosu içinde 15 dakika bekletildi. Örneklerin absorbanları spektrofotometre ile 532 nm dalga boyunda ölçüldü. Sonuçlar nmol/gr doku olarak verildi.

GSH Düzeylerinin Ellman Metodu ile Belirlenmesi

Doku GSH düzeyleri modifiye Ellman metodu ile belirlendi. Homojenatların 4°C 'de soğutmalı santrifüjde 3.000 rpm'de 10 dakikalık santrifüj edildikten sonra, 0.5 ml süpernatın alınarak üzerine 2 ml 0.3 M Na_2HPO_4 2 H_2O solüsyonu eklendi. Bu işlemin ardından elde edilen karışıma 0.2 ml'lik dithiobisnitrobenzoate (0.4 mg/ml %1 sodyum sitrat) solüsyonu eklendi. Karışım çalkalandıktan sonra oda sıcaklığında 5 dakika bekletildi ve 412 nm dalga boyunda spektrofotometrede (UV 1208, Shimadzu, Japan) köre karşı (distile su) okundu. GSH düzeyleri $13.600 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$ değeri kullanılarak hesaplandı. Sonuçlar μmol GSH/gr doku olarak ifade edildi.

Doku NOx Düzeyi Tayini (Griess Yöntemi)

NOx düzeyleri vanadium chloride (VCl_3)/Griess yöntemi ile belirlendi. NOx tayininden önce dokular fosfat buffer salin'de (PBS) (pH=7) 5 dakika boyunca santrifüj (2.000g) edildi. Santrifüjün ardından, 0.25 ml'lik 0.3 M NaOH elde edilen supernatanlara eklendi. Örneklerin oda sıcaklığında 5 dakikalık inkübasyonlarının ardından 0.25 ml %5 (w/v) ZnSO_4 deproteinizasyon için elde edilen karışıma eklendi. Karışım 20 dakika boyunca 3.000 g'de santrifüj edildi, elde edilen süpernatantlar (100 μl) çalışmada kullanıldı. Nitrat Standard solüsyonu seri olarak dilue edildi. Ardından III chloride (VCl_3) (100 μl) ve Griess solüsyonu sulphanilamide (SULF) (50 μl) ve N-(1-naphtyl) ethylenediamide dihydrochloride (NEDD) (50 μl) kuyucuklara eklendi. 45 dakikalık (37°C) inkübasyonun ardından örnekler Elisa okuyucusu kullanılarak 540 nm'de okundular. Sonuçlar μmol /gr doku olarak ifade edildi.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel değerlendirmeler için Statistical Programme Software System (SPSS) 13.0 programı kullanıldı. Veriler normal dağılıma uymadığı için ortanca±SD (min-max) olarak verildi. Grupların karşılaştırılmaları Mann-Whitney U testleri kullanılarak yapıldı. Gruplar arasındaki fark $p < 0.05$ olduğunda anlamlı kabul edildi.

BULGULAR

Bin sekizyüz MHz frekansındaki puls modülasyonlu RF Radyasyon uygulamasının total beyin dokusunda MDA (Şekil 1) ve NOx (Şekil 2) düzeylerini anlamlı bir şekilde arttırdığı gözlemlendi ($p < 0.05$). Puls modülasyonlu RF Alanların doku GSH (Şekil 3) düzeylerinde ise anlamlı bir azalmaya neden olduğu ($p < 0.05$) tespit edildi.

TARTIŞMA

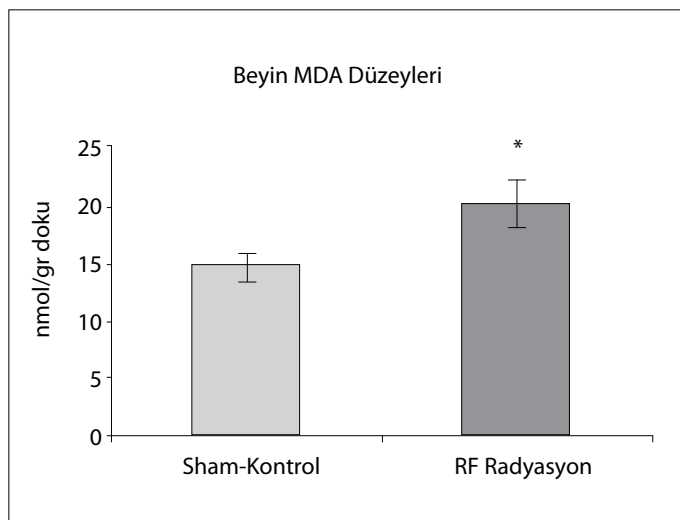
Elektromanyetik alanların biyolojik etkileri konusu bu alan kaynaklarının özellikle cep telefonları, baz istasyonları ve telsiz internet gibi iletişim sistemlerinin kullanımlarının hızla artmasına paralel olarak ilgi çekici bir araştırma konusu olmuştur. Yapılan çalışmalarda termal olmayan düzeydeki RF radyasyonun moleküler veya hücresel düzeyde bir takım değişikliklere neden olabileceği gösterilmiştir (7-10). Uzun süreli cep telefonu kullanımının çeşitli kanser türlerine yol açabileceği literatürde yapılmış olan deneysel ve epidemiyolojik çalışmalarla ortaya konulmuştur (11, 12).

Yapılan diğer çalışmalarda RF radyasyon maruziyetinin çeşitli dokularda oksidatif strese yol açabileceği gösterilmiştir. RF radyasyon maruziyeti serbest radikal konsantrasyonunu ve serbest radikallerin izlenebilirliğini artırıp radikal çifti rekombinasyonunu etkileyebilmektedir. İrmak ve arkadaşları (13) tarafından 900 MHz GSM radyasyonun tavşan oksidan ve antioksidan sistemleri üzerindeki etkilerini inceleme amaçlı yapılan çalışmada RF radyasyon maruziyetine bağlı olarak serum Süperoksit Dismutaz (SOD) aktivitesinde artış gözlemlenmiştir. Balcı ve arkadaşları (14) 4 haftalık RF maruziyetinden sonra sıçanların

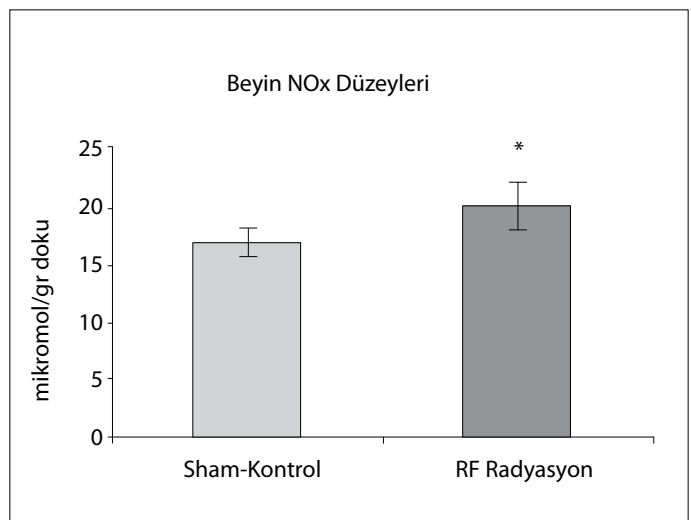
kornea ve lens dokularında MDA miktarının arttığını rapor etmişlerdir. Moustafa ve arkadaşları (15) kısa süreli RF maruziyetinin oksidan ve antioksidan sistemler üzerindeki etkilerini araştırdıkları çalışmada 1, 2 ve 4 saatlik cep telefonu konuşmasının ardından deneklerin plazma MDA düzeylerinde artış, buna karşın alyuvar hücrelerinde GSH aktivitesinde azalış gözlemlenmişlerdir. Yarıktaş ve arkadaşları (16) ise 2 hafta boyunca 900 MHz radyasyona maruz kalan sıçanların nazal ve paranasal sinüs mukozalarında NO seviyesinin anlamlı bir şekilde artmış olduğunu çalışmalarıyla ortaya koymuşlardır. Uzak alan RF maruziyetinin çalışıldığı diğer bir çalışmada ise 945 MHz frekansındaki düşük yoğunluklu RF radyasyona maruz kalan sıçanların serum MDA düzeylerinde artış serum GSH seviyelerinde ise azalış tespit edilmiştir (17). Gumral ve arkadaşları (18) 28 gün boyunca günde 1 saat 2.45 GHz frekansındaki RF Radyasyona maruz kalan Wistar Albino cinsi erkek sıçanların plazma ve eritrosit MDA düzeylerinin anlamlı bir şekilde arttığını gözlemlenmişlerdir.

Bin sekizyüz MHz frekansındaki puls modülasyonlu RF radyasyon maruziyetinin Wistar Albino cinsi dişi sıçanların beyin dokularında oksidan ve antioksidan düzeyler üzerindeki etkilerini araştırdığımız bu çalışmada puls modülasyonlu termal olmayan düzeydeki RF radyasyonun, sıçanların beyin dokularında lipid peroksidasyonu indükleyerek MDA ve NOx düzeyini arttırdığını, GSH düzeyini ise azalttığını gözlemledik. Çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz bulgular RF Radyasyon maruziyetinin sıçan beyin dokusunda prooksidan/antioksidan dengesini bozduğunu göstermektedir. Normalden fazla miktarda oluşturulan ROS prooksidan/antioksidan dengenin prooksidanlar yönünde bozulmasına neden olmaktadır. Radyasyon ve kimyasal ajanlar gibi birçok çevresel faktör bu dengenin bozulmasında önemli rol oynar. Oksidatif Stres olarak adlandırılan bu süreç birçok hastalığın gelişmesine sebep olmaktadır.

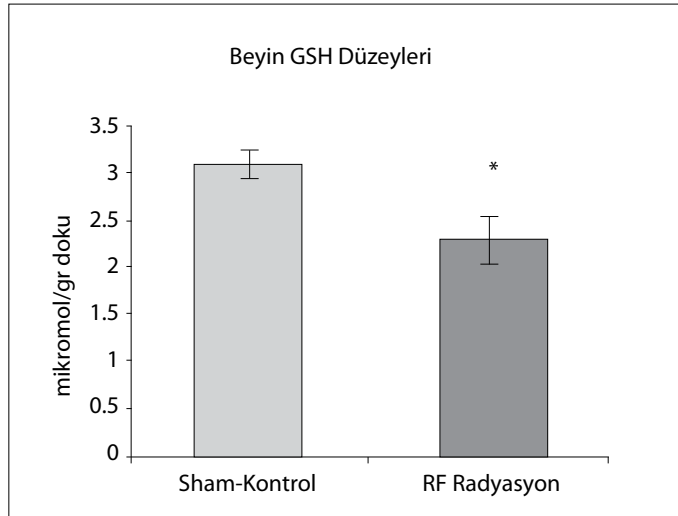
Beyin tüm vücut ağırlığının yüzde 2'sini oluşturmasına karşın metabolik oksijenin yüzde 20'sini kullanır. Oksijen tüketiminin fazla olması, yüksek miktarda lipid içeriği ve membran yüzey alanının sitoplazmik alana göre yüksek olması beyni serbest radikallerden gelecek tehlikelere karşı açık hale getirmektedir. Oldukça fazla miktarda



Şekil 1. Beyin dokusu MDA düzeyleri
Sonuçlar Mann-Whitney U testi ile değerlendirildi.
Değerler aritmetik ortanca±SD olarak verildi
*Sham-kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, RF grubu total beyin MDA düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulundu.
 $p < 0.05$



Şekil 2. Beyin dokusu NOx düzeyleri
Sonuçlar Mann-Whitney U testi ile değerlendirildi.
Değerler aritmetik ortanca±SD olarak verildi
*Sham-kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, RF grubu total beyin NOx düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış bulundu
 $p < 0.05$



Şekil 3. Beyin dokusu GSH düzeyleri. Sonuçlar Mann-Whitney U testi ile değerlendirildi. Değerler aritmetik ortanca±SD olarak verildi. *Sham-kontrol grubu ile karşılaştırıldığında, RF grubu total beyin GSH düzeylerinde istatistiksel olarak anlamlı bir azalış bulundu $p < 0.05$

O₂ tüketen beyin oksidatif hasara karşı oldukça duyarlı olup güçlü bir antioksidan savunma sistemine ihtiyaç duymaktadır. RF grubu total beyin GSH düzeylerinde gözlemlediğimiz anlamlı azalış beyni oksidan hasarlara karşı koruyan antioksidan mekanizmanın RF radyasyon tarafından inhibe edildiğini göstermektedir. Ayrıca sonuçlarımız RF uygulamasının neden olduğu beyin MDA düzeyindeki artışın yine aynı grupta gözlenen yüksek NOx düzeyleriyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. NO'un süperoksit anyonu ile reaksiyona girmesinin lipid peroksidasyona yol açabileceğini gösteren çalışmalar literatürde mevcuttur (19).

RF Radyasyonun beyin dokusu üzerindeki oksidan etkisini araştıran çalışmalarda çalışmamızda gözlemlediğimiz sonuçlara paralel sonuçlar elde edilmiştir. Meral ve arkadaşları (20) bir ay boyunca 890-915 MHz GSM RF radyasyona maruz kalan kobayların beyin dokularında lipid peroksidasyon düzeyinin arttığını bildirmişlerdir. Dasdağ ve arkadaşları (21) ise sıçan beyin dokusu MDA düzeylerinin uygulanan 900 MHz RF Radyasyon etkisinde arttığını göstermişlerdir. İlhan ve arkadaşları (22) RF Radyasyon maruziyetine bağlı olarak beyinde oluşan oksidatif hasarın Ginkgo Biloba uygulaması ile inhibe edildiğini ortaya koymuşlardır. Sokolovic ve arkadaşları (23) ise RF radyasyonun sıçan beyinde MDA ve karbonil konsantrasyonunu artırarak oksidatif hasara neden olduğunu rapor etmişlerdir.

Vücut dokularında 50 nm boyunda manyetit (Fe₃O₄) adı verilen küçük ferromanyetik parçacıklar bulunmaktadır. Beynin en dış kısmında manyetit konsantrasyonu yüksektir. Bu manyetit parçacıklarında darbeli manyetik alan etkisiyle tork oluştuğu ve hücre membranı ile mekanik etkileşimi sonucu iyon kanallarının aktive edildiği ortaya konulmuştur (1). Modülasyonlu çalışmalarda gözlenen etkiler taşıyıcı dalga frekansı, modülasyon frekansı, polarizasyon, güç yoğunluğu, SAR değeri ve maruziyet süresi gibi fiziksel parametreler ve dokunun soğurma karakteristiği ve dielektrik özelliği gibi biyolojik parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir (3).

Özetle çalışmamız sonucunda elde ettiğimiz veriler 1800 MHz frekansındaki Puls Modülasyonlu RF Radyasyon maruziyetinin sıçanların beyin dokularında oksijen ve nitrojen serbest radikal üretimi-

ni arttırıp, antioksidan düzeyi azaltarak, oksidatif hasara yol açtığını göstermektedir. Dolayısıyla çalışmamızda elde ettiğimiz veriler "RF radyasyon biyolojik dokularda oksidatif hasara yol açar" yönündeki hipotezi desteklemektedir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bildirmemişlerdir

KAYNAKLAR

1. Challis LJ. Mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue. *Bioelectromagnetics* 2005; 7: S98-S106. [CrossRef]
2. Repacholi M. Low-level exposure to radiofrequency electromagnetic fields: health effects and research needs. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 1-19. [CrossRef]
3. ICNIRP International Committee of Non Ionizing Protection. Guidelines on limits of Exposure to Radio Frequency EM Fields in the Frequency Range from 100kHz to 300GHz. Geneva: The Institute; 1999.
4. Kato H, Liu Y, Kogure K, Kato K. Induction of 27-kDa heat shock protein following cerebral ischemia in rat model of ischemic tolerance. *Brain Res* 1994; 634: 235-44. [CrossRef]
5. Brune B, Messmer UK, Sandau K. The role of nitric oxide in cell injury. *Toxicology Lett* 1995; 82-83: 233-7. [CrossRef]
6. Zhao X, Alexander JS, Zhang S, Zhu Y, Sieber NJ, Aw TY, et al. Redox regulation of endothelial barrier integrity. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol* 2001; 281: L879-86.
7. Pacini S, Ruggiero M, Sardi I, Aterini S, Gulisano F, Gulisano M. Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts. *Oncol Res* 2002; 13: 19-24.
8. Lai H, Singh NP. Single- and double-strand DNA breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Radiat Biol* 1996; 69: 513-21. [CrossRef]
9. Oral B, Guney M, Ozguner F, Karahan N, Mungan T, Comlekci S, et al. Endometrial apoptosis induced by a 900-MHz mobile phone: preventive effects of vitamins E and C. *Adv Ther* 2006; 23: 957-73. [CrossRef]
10. Sirav B, Seyhan N. Blood-brain barrier disruption by continuous wave radio frequency radiation. *Electromagn Biol Med* 2009; 28: 215-22. [CrossRef]
11. Repacholi MH, Basten A, GebSKI V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in E mu-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 1997; 147: 631-40. [CrossRef]
12. Hardell L, Näsman A, Pählson A, Hallquist A, Hansson Mild K. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study. *Int J Oncol* 1999; 15: 113-6.
13. İrmak MK, Fadilloğlu E, Güleç M, Erdoğan H, Yağmurca M, Akyol O. Effects of electromagnetic radiation from a cellular telephone on the oxidant and antioxidant levels in rabbits. *Cell Biochem Funct* 2002; 20: 279-83. [CrossRef]
14. Balci M, Devrim E, Durak I. Effects of mobile phones on oxidant/antioxidant balance in cornea and lens of rats. *Curr Eye Res* 2007; 32: 21-5. [CrossRef]
15. Moustafa YM, Moustafa RM, Belacy A, Abou-El-Ela SH, Ali FM. Effects of acute exposure to the radiofrequency fields of cellular phones on plasma lipid peroxide and antioxidase activities in human erythrocytes. *J Pharm Biomed Anal* 2001; 26: 605-8. [CrossRef]
16. Yarıktas M, Doner F, Ozguner F, Gokalp O, Dogru H, Delibas N. Nitric oxide level in the nasal and sinus mucosa after exposure to electromagnetic field. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2005; 132: 713-6. [CrossRef]
17. Yurekli AI, Ozkan M, Kalkan T, Saybasili H, Tuncel H, Atukeren P, et al. GSM base station electromagnetic radiation and oxidative stress in rats. *Electromagn Biol Med* 2006; 25: 177-88. [CrossRef]
18. Gumral N, Naziroglu M, Koyu A, Ongel K, Celik O, Saygin M, et al. Effects of selenium and L-carnitine on oxidative stress in blood of rat induced by 2.45-GHz radiation from wireless devices. *Biol Trace Elem Res* 2009; 132: 153-63. [CrossRef]
19. Muriel P, Sandoval G. Nitric oxide and peroxyxynitrite anion modulate liver plasma membrane fluidity and Na(+)/K(+)-ATPase activity. *Nitric Oxide* 2000; 4: 333-42. [CrossRef]

20. Meral I, Mert H, Mert N, Deger Y, Yoruk I, Yetkin A, et al. Effects of 900-MHz electromagnetic field emitted from cellular phone on brain oxidative stress and some vitamin levels of guinea pigs. *Brain Res* 2007; 1169: 120-4. [\[CrossRef\]](#)
21. Dasdag S, Akdag MZ, Aksen F, Bashan M, Buyukbayram H. Does 900 MHz GSM mobile phone exposure affect rat brain? *Electromagn Biol Med* 2004; 23: 201-14. [\[CrossRef\]](#)
22. Ilhan A, Gurel A, Armutcu F, Kamisli S, Iraz M, Akyol O, et al. Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. *Clin Chim Acta* 2004; 340: 153-62. [\[CrossRef\]](#)
23. Sokolovic D, Djindjic B, Nikolic J, Bjelakovic G, Pavlovic D, Kocic G, et al. Melatonin reduces oxidative stress induced by chronic exposure of microwave radiation from mobile phones in rat brain. *J Radiat Res (Tokyo)* 2008; 49: 579-86. [\[CrossRef\]](#)