

ELEKTROMANYETİK ALANIN (50HZ, 6mT) SIÇAN KARACİĞER VE BÖBREĞİNE ETKİLERİ*

Semra ERPEK¹, Mehmet Dincer BİLGİN², Füzün Kaçar DOĞER³

ÖZET

Amaç: Modern teknolojinin giderek ilerlemesinin bir sonucu olarak, bir çok endüstriyel ve evsel elektrikli aletlerin kullanımı ile birlikte, insanlar bunlardan kaynaklanan manyetik alanlara daha fazla maruz kalmaktadır. Son yıllarda elektromanyetik alan (EMA) oluşturan aletlerin etkileri bir çok deneysel çalışmaya konu olmuş ve farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Bu çalışmada elektromanyetik alana maruz kalan sıçanlarda karaciğer ve böbrek dokusunun incelenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem: Bu çalışmada ortalama 290 gram ağırlığında 20 adet erişkin erkek Wistar albino sıçan kullanıldı. Deney hayvanları, her birinde 10'ar sıçan bulunacak şekilde "deney grubu ve kontrol grubu" olmak üzere iki gruba ayrıldı. Deney grubu günde 2 saat, haftada 7 gün olmak üzere 8 hafta süreyle 6 militesla (mT) (50 Hz, alternatif akım) EMA'a maruz bırakıldı. Deney sırasında sıçanların bulunduğu ortamın sıcaklığı termometre ile, manyetik alan ise Teslametre (Phyme) ile sürekli kontrol edildi. deney başlangıcında ve deney sonunda hayvanların canlı ağırlıkları kaydedildi. Deney sonunda ötenazi uygulanan sıçanlardan doku örnekleri alındı. Formalin solusyonunda tespit edilen karaciğer ve böbrek doku örnekleri rutin histolojik doku takibinden sonra parafine gömüldü. Parafin bloklardan alınan 5µ kalınlığındaki kesitler Hematoksilen-Eosin, Periodik Asit Schiff ve Masson trikrom ile boyandı. Işık mikroskopunda histopatolojik olarak değerlendirilen kesitler dejenerasyon, fokal nekroz, fibrozis gibi histolojik bulgular yönünden semikantitatif olarak skorlandı. Elde edilen tüm sayısal veriler Mann-Whitney U testi ile istatistiksel olarak değerlendirildi.

Bulgular: Deney hayvanlarının deney süresindeki ağırlık artışı yüzdeleri ile karaciğer ve böbrek ağırlıkları açısından deney ve kontrol grubu arasında istatistiksel bir farklılık saptanmadı. Deney ve kontrol gruplarının toplam histolojik skorları arasında anlamlı bir farklılık olmadığı belirlendi.

Sonuç: Elde edilen bulgular, uzun süre 6 mT (50 Hz, alternatif akım) manyetik alana maruz kalan sıçanların karaciğer ve böbrek dokusunda histolojik bir değişikliğe neden olmadığını göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik alan, karaciğer, böbrek, histoloji.

The Effect of Electromagnetic Field (50 HZ, 6mT) on Rat Liver and Kidney

SUMMARY

Objectives: In the last few decades, various investigations have been performed in order to determine the possible biological effects of electromagnetic fields (EMF) generated by power lines and telecommunication technologies. The long-term exposure to EMF may have been linked to various disorders and may affect different organs. The aim of this study was to investigate the effect of 6 millitesla (mT) AC (alternate current) EMF on the rat liver and kidney.

Methods: Twenty adult male Wistar rats were divided into 2 groups; one group was exposed to 50 Hz, 6 mT AC electromagnetic field for 8 weeks, 2 hours per day, and the other sham exposed, meaning that all other experimental conditions were the same except for EMF exposure. After 8 weeks, all subjects were sacrificed, livers and kidneys were removed and weighed. For histopathological examination, samples were fixed in 10% buffered formalin, embedded in paraffin, and then cut and stained with hematoxylin-eosin, PAS and Masson's trichrome. The histological samples were evaluated using the semi-quantitative scoring. Mann Whitney U test was applied for statistical analysis.

Results: For each animal the difference in body weight was calculated from the weight at the beginning of the experiment (day 0) and the weight at termination (day 56). The body weight gain of exposed group was less than that of the control group, but there was no significant difference between the two groups. The absolute and relative liver and kidney weights did not show any significant difference between the EMF exposed and sham exposed rats. Microscopic examination of liver and kidney samples revealed no significant differences between the EMF exposed and sham exposed rats.

Conclusion: Present results show that whole body exposure to 50 Hz, 6 mT AC EMF doesn't cause gross and histological lesions on rat liver and kidney attributed to magnetic field exposure.

Key Words: Electromagnetic field, liver, kidney, histology.

Elektromanyetik alan (EMA) çevremizde yaygın olarak oluşmaktadır. Vücudumuz hem EMA oluşturmaktadır hem de yerkürenin ve insan yapımı

cihazların elektromanyetik alanına maruz kalmaktadır. Vücut EMA değerinin (ortalama $10^{-4}10^{-7}$ mikrottesla, T) çevremizdeki doğal alan olan

* Bu çalışma, Adnan Menderes Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiş olup, bir bölümü X.Ulusal Anatomi Kongresi'nde (6-10 Eylül 2006) poster olarak sunulmuştur.

¹Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi, Histoloji Embriyoloji AD, AYDIN, TÜRKİYE

²Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyofizik AD, AYDIN, TÜRKİYE

³Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi, Patoloji AD, AYDIN, TÜRKİYE

yerkürenin EMA değeri (ortalama 50 T direkt akım ve $3-10 \times 10^{-3}$ T alternatif akım) ile uyumlu olduğu görülmektedir. Fakat modern teknolojinin giderek ilerlemesinin bir sonucu olarak çok sayıda endüstriyel ve evsel cihazların kullanımı ile birlikte, insanlar daha yoğun olarak EMA'a maruz kalmaktadır. Ev ve işyerlerinde kullandığımız elektrikle çalışan aletlerin yaydığı EMA'nın frekansı 50 Hertz (Hz) ve manyetik alan şiddeti 0.1 T ile 2,5 mT (militesla) (saç kurutma makinesi ve elektrikli battaniyenin yaydığı manyetik alanı en fazladır) arasında değişmektedir. Elektrikli cihazlar çalışırken geçen akıma bağlı olarak oluşan EMA, bu cihazlardan uzaklaşmakla azalmaktadır.¹

Çok düşük frekanslı EMA'nın (≤ 100 Hz) biyolojik sistemler ve insan sağlığı üzerine etkilerini araştıran çalışmalar giderek artmaktadır. EMA'nın hücre membran proteinlerinin elektriksel yapısını ve buradan iyon geçişini etkileyen transmembran sinyalin değişmesine neden olduğu, serbest radikalleri arttırmak suretiyle genotoksik etkiler gösterdiği, tümör büyümesini artırıcı bir rol oynadığı, dişi ve erkek fertilitesi üzerine olumsuz etkileri olabileceği, bazı nöropeptidlerin düzeylerini değiştirebildiği, meme kanseri ve lösemi riskini arttırdığı, diğer organ hasarları yaptığı bildirilmiştir.²⁻¹⁰ Buna karşılık EMA'nın biyolojik sistemler ve dokulara herhangi bir zararlı etkisi olmadığını bildiren yayınlar da bulunmaktadır.¹¹⁻¹⁴

EMA'nın karaciğer ve böbrek dokusuna etkisi, antioksidan savunma mekanizmalarını belirten enzim düzeyleri incelenerek (NO, GSH) açıklanmaya çalışılmıştır.^{15,16} Bu organlardaki değişiklikler canlılar için hayati öneme sahip olabilmektedir. Literatürde elektromanyetik alanın karaciğer ve böbrek histolojisi üzerine etkisi konusunda fazla bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmada çok düşük frekanslı elektromanyetik alanın (6 mT, 50 Hz alternatif akım) sıçan karaciğer ve böbrek dokusuna etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve yöntem

Deney hayvanları

Deney protokolü için Adnan Menderes Üniversitesi Deney Hayvanları Etik Kurulu'ndan onay alındı. Adnan Menderes Üniversitesi Deney Hayvanları Laboratuvarında yetiştirilen ortalama 290 gram ağırlığında 20 adet erişkin (20 haftalık) erkek Wistar albino sıçanlar, 50 HZ (alternatif akım) elektromanyetik alanda tutulan deney ve elektromanyetik alanda tutulmayan kontrol grubu olmak üzere, her grupta 10 sıçan bulunacak şekilde (her kafese 5 sıçan) iki gruba ayrıldı. Deney protokolü uygulanmadan önce tüm hayvanlar 10 gün süre izlendi. Kontrol ve deney grubundaki sıçanlar iyi bir havalanması olan standart laboratuvar koşullarında; $23 \pm 1^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve $60\% \pm 10\%$ oranında nem bulunan, 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık ortamda tutuldular.

Deney prosedürü

EMA oluşturmak için alternatif akım sağlayan güç kaynağı ve bir adet solenoid (içinde I akımı geçen ve bir heliks boyunca sık olarak sarılmış düzenek) kullanıldı. Solenoidde oluşan toplam EMA, sarımların tek tek oluşturduğu EMA'ların vektörel toplamına eşittir. Manyetik alanı oluşturan solenoid, yalıtkan bir madde olan fiber çatıdan oluşup, 400 mm boyunda 210 mm çapında ve silindirik şeklindedir. Bu silindir üzerine 1,4 mm kalınlığında yalıtılmış bakır telden 1500 sarım sarıldı. Bu şekilde yapılan solenoid, çıkış voltajı değiştirilebilen güç kaynağına bağlandı. Araştırmada 50 Hz'lik alternatif akım uygulanarak 6 mT şiddetinde kuzey-güney doğrultusunda EMA oluşturuldu. Deney sırasında sıçanların bulunduğu ortamın sıcaklığı termometre ile EMA ise digital teslametre (Phyme, Almanya) ile sürekli kontrol edildi. Deney hayvanları 3 mm kalınlığında şeffaf pleksiglastan yapılmış ve her birinde 5 sıçan barındıran özel kafeslere (400x170x90 mm) alınıp 4 grup (2 deney ve 2 kontrol) oluşturuldu. Deney grubu günde toplam 2 saat (sabah ve öğleden sonra birer saat), haftada 7 gün olmak üzere 8 hafta süreyle 6 mT EMA (50 Hz, alternatif akım) maruz bırakıldı. Sıçanların EMA'a maruz bırakılması esnasında solenoidin sıcaklığı ve oda sıcaklığı sürekli ölçülerek $23 \pm 1^\circ\text{C}$ de tutuldu. Deney başlangıcında ve deney sonunda hayvanların canlı ağırlıkları kaydedildi. Kontrol grubundaki sıçanlar EMA'a maruz kalmaksızın deney grubundaki sıçanlarla aynı ortamda onlardan 5 metre uzaklıkta tutuldular.

Deney hayvanlarının vücut ağırlıkları her hafta ölçülerek takip edildi. Deney ve kontrol grubundaki hayvanlar 8. hafta sonunda tekrar tartıldı ve intraperitoneal 50 mg/kg ketamin hidroklorid ve 5 mg/kg ksilazin ile anestezi uygulandı. Deney hayvanlarına ötenazi uygulandıktan sonra karaciğer ve böbrekleri çıkarıldı ve serum fizyolojik solüsyonu ile yıkandıktan sonra ağırlıkları ölçüldü. Organ ağırlıklarının vücut ağırlığına oranı göreceli organ ağırlığı olarak belirlendi (Göreceli organ ağırlığı = Organ ağırlığı/vücut ağırlığı x 100).

Histolojik teknikler

Karaciğerin her bir lobundan ve her iki böbrekten alınan doku örnekleri %10 tamponlanmış formalin solusyonunda 24 saat süreyle tespit edildi. Doku örnekleri daha sonra rutin takipten geçirilerek parafine gömüldü. Parafin bloklardan alınan 5 μm kalınlığındaki kesitler hematoksilin eosin (HE), Masson'un trikromu ve periodic asit-Schiff (PAS) ile boyandı.

Histopatolojik değerlendirme

Hazırlanan tüm kesitler Olympus BX50 ışık mikroskobu (Olympus Optical Co, Ltd, ShinjukuKu, Tokyo, Japan) ile incelendi. Böbrek kesitleri glomerül dilatasyonu, ödem, inflamatuvar hücre infiltrasyonu, dejenerasyon, nekroz ve fibrozis; karaciğer kesitleri ise dejenerasyon, fokal nekroz, fibrozis, sinüzoidal dilatasyon, safra kanalı proliferasyonu, inflamatuvar

hücre infiltrasyonu ve Kupffer hücre yoğunluğu yönünden incelenerek her bir bulgu semikantitatif yöntemle 4 puan üzerinden değerlendirildi (0=kesitte hiçbir bulgu yok, 1=kesitteki alanın %25'inden azında herhangi bir bulgu var, 2=kesitteki alanın %25-50'sinde herhangi bir bulgu var, 3=kesitteki alanın %50'sinden fazlasında herhangi bir bulgu var.). PAS ile boyanan karaciğer kesitleri glikojen dağılımı açısından incelendi. Skorumla boyanma yoğunluğuna göre yapıldı (0=kesitte PAS ile boyanma yok, 1=zayıf, 2=orta derecede, 3=yoğun boyanma var.). Tüm kesitler kesit kodlarını bilmeyen iki ayrı araştırmacı tarafından skorlandı ve ikisinin verdiği skorların ortalaması alındı.

İstatistiksel Analiz

Deney başlangıcı ve sonundaki vücut ağırlıkları arasındaki farkın yüzdesi, mutlak ve göreceli organ ağırlıkları, histopatolojik değerlendirmeden elde edilen toplam skor sayıları, *SPSS 13.0 for Windows* programı kullanılarak ve Mann Whitney U testi ile istatistiksel olarak değerlendirildi.

Sonuçlar

Manyetik alana maruz bırakılan sıçanlar ile kontrol grubundaki sıçanların genel durumunda deney sonuna kadar bir değişiklik gözlenmedi. Kontrol grubundaki sıçanlardan biri deneyin 7. haftasında bilinmeyen bir nedenden dolayı öldü.

Vücut ağırlıkları ve organ ağırlıkları

Her bir deney hayvanı için vücut ağırlığındaki fark, deney başlangıcı (0. gün) ile deney sonundaki (56. gün) vücut ağırlığı arasındaki farkın yüzdesi alınarak hesaplandı. Vücut ağırlıkları ile mutlak ve

göreceli organ ağırlıkları Tablo 1'de gösterilmiştir. EMA'a maruz kalan deney hayvanlarının deney süresindeki ağırlık artışı yüzdeleri ($p=0.744$), mutlak ($p=0.624$) ve göreceli karaciğer ağırlıkları ($p=0.369$) ile mutlak ($p=0.869$) ve göreceli böbrek ağırlıkları ($p=0.806$) açısından deney ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmadığı görüldü.

Histolojik bulgular

Kontrol grubundaki sıçanların karaciğerleri normal memeli karaciğeri histolojisine sahipti. Ortasında sentral venin bulunduğu hepatic lobüller ve bunların periferindeki portal alanlar bağ doku içine yerleşmişti. Hepatositlerin düzensiz radial kordonlar halinde, lobülün merkezindeki sentral venden periferik uzanarak dallanan trabekülleri oluşturduğu ve bunları birbirlerinden ayıran sinüzoidlerde Kupffer hücrelerinin yer aldığı gözlenmekteydi (Resim 1A). Hepatositlerin sitoplazmalarında yer yer membranla sınırlı vakuoller mevcuttu. Glikojen lobüldeki tüm hepatositlerde homojen olarak dağılmıştı (Resim 1B).

EMA'a maruz kalan bazı sıçanların karaciğer kesitlerinde sinüzoidlerde dilatasyon (Resim 1C), fokal inflamatuvar hücre infiltrasyonu, Kupffer hücrelerinde azalma, hepatositlerde yağlı dejenerasyon ve glikojen içeriğinde azalma (Resim 1D) gözlemlendi. Bu bulgular daha çok fokal bir dağılım gösteriyordu. EMA uygulanan sıçanların, karaciğere ait histolojik hasar skorları toplamı kontrol grubundan istatistiksel olarak bir farklılık göstermedi ($p=0.634$) (Tablo 1). Her bir bulgu için yapılan istatistiksel hesaplama deney ve kontrol grupları arasında anlamlı bir fark bulunmadığını gösterdi (Tablo 2).

Kontrol ve deney grubundaki sıçanların HE,

Tablo I. Deney ve kontrol gruplarına ait sayısal verilerin istatistiksel sonuçları.

	Gruplar	n	mean	SD	±SEM	p-değeri
VA 1 (g)*	Kontrol	9	275.22	68.631	22.877	0.462
	Deney	10	304.90	59.269	18.742	
VA 2 (g)**	Kontrol	9	306.00	41.009	13.670	0.462
	Deney	10	324.10	58.3470	18.451	
VA % (g)***	Kontrol	9	0.150	0.1860	0.0621	0.744
	Deney	10	0.067	0.0514	0.0162	
Karaciğer ağırlığı (g)	Kontrol	9	9.111	1.7142	0.5714	0.624
	Deney	10	8.820	0.8979	0.2839	
Göreceli karaciğer ağırlığı (g/100g)	Kontrol	9	2.9852	0.4346	0.1448	0.369
	Deney	10	2.7768	0.4100	0.1296	
Böbrek ağırlığı (g)	Kontrol	9	2.355	0.3972	0.1324	0.869
	Deney	10	2.400	0.3299	0.1043	
Göreceli böbrek ağırlığı (g/100g)	Kontrol	9	0.7693	0.0782	0.0260	0.806
	Deney	10	0.7529	0.1173	0.0371	
Karaciğer histolojik hasar skoru	Kontrol	9	5.667	1.0000	0.3333	0.896
	Deney	10	5.800	0.9189	0.2906	
Böbrek histolojik hasar skoru	Kontrol	9	0.56	0.527	0.176	0.211
	Deney	10	0.9	0.316	0.100	

*VA1: Deneyin ilk günü ölçülen vücut ağırlıkları, **VA2: Deney sonundaki vücut ağırlıkları, ***VA %: Deney sonundaki % ağırlık kazanma oranı.

Masson'un trikromu ve PAS ile boyanmış böbrek kesitlerinde glomerül dilatasyonu, ödem, inflamatuvar hücre infiltrasyonu dışında bir bulguya rastlanmadı (Resim 2A-D). Böbreklerdeki histolojik hasar skorları toplamı açısından kontrol ve deney grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı ($p=0.211$) (Tablo 1). Deney ve kontrol grupları arasında, böbreklerdeki her bir bulgu açısından da istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı (Tablo 3).

Tartışma

Yirminci yüzyılın ortalarından itibaren gerek elektrikli cihazların yaygın kullanımı gerekse insanların yüksek gerilim hatları, radyo ve televizyon vericileri yakınında yaşamaları ve son yıllarda da cep telefonları sayesinde insan yapımı EMA'a maruziyetin yoğunluğu, çeşitliliği ve coğrafi dağılımı giderek artmaktadır. EMA'nın çeşitli hücre ve dokular ile insan sağlığı üzerine etkileri araştırmacıların giderek daha çok ilgisini çekmektedir. Bununla birlikte yapılan araştırmalarda uygulanan akımın frekans ve genliği, manyetik akım yoğunluğu ile maruz kalma süresi çok çeşitlilik göstermekte ve tekrarlanan araştırmalarda farkı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden araştırmaların birbiri ile karşılaştırılması güç olmaktadır.¹⁷

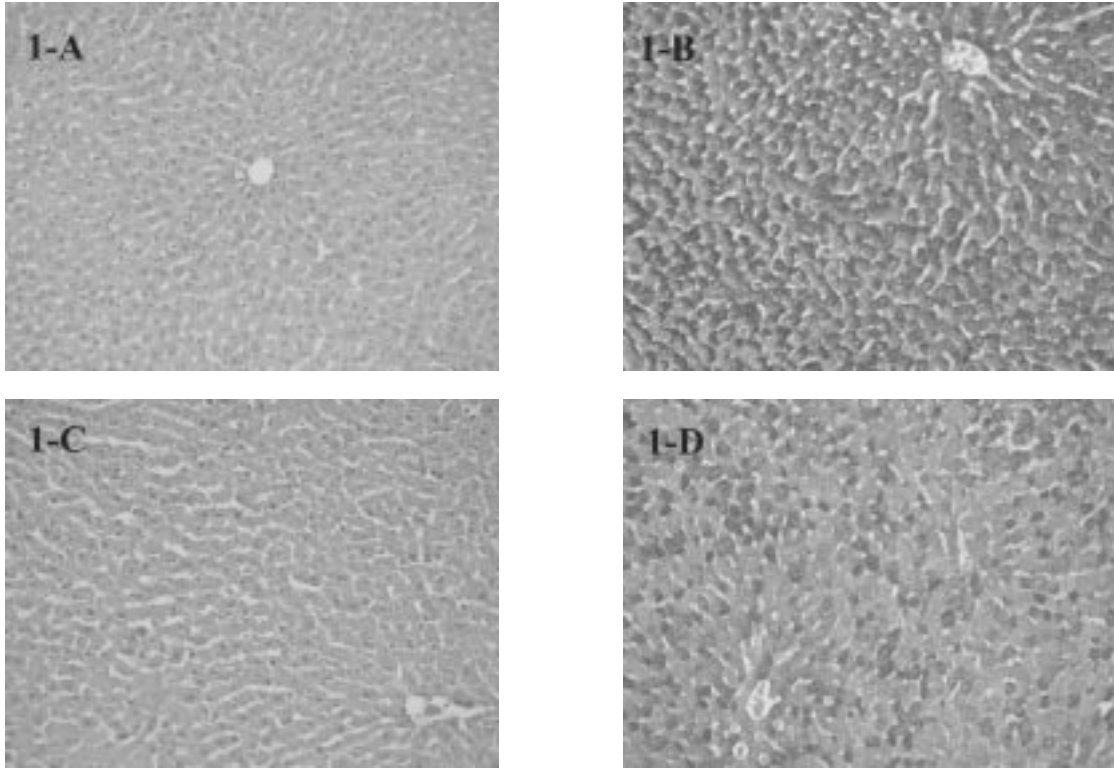
Bu çalışmada, sekiz hafta süreyle 6 mT (50 Hz, alternatif akım) EMA'a maruz kalan grubun vücut ağırlıklarındaki artış kontrol grubuna nazaran azalma eğilimi göstermekle birlikte aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildi. Benzer sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla da gösterilmiştir. Sıçanlara günde sekiz saat 6.25 T şiddetinde (20 kHz) EMA uygulanmış bir çalışmada üç ay sonunda deney ve kontrol gruplarının vücut ağırlıkları arasında bir farklılık bulunmamıştır.¹⁸ Margonato ve ark. 12 haftalık sıçanlara 32 hafta süreyle 5 T şiddetinde (50 Hz) EMA uygulamışlar ve bunun deney hayvanlarının büyüme hızında değişikliğe neden olmadığını bildirmişlerdir.¹⁹ Bir başka çalışmada ise erişkin sıçanlar 10 hafta süreyle (haftada toplam 6 saat) 9.4 Tesla (T) EMA'a maruz bırakılmışlar ve bu yüksek EMA şiddetinin de deney hayvanlarının vücut ağırlıklarında bir değişikliğe yol açmadığı belirtilmiştir.²⁰ Sıçanlara sekiz ay süreyle iki farklı şiddette (5 T 1kV/m ve 100 T 5kV/m) EMA'ın uygulandığı bir diğer çalışmada deney süresince hayvanların büyüme hızlarında bir farklılık bulunmamıştır.²¹ Boorman ve ark.²² sekiz hafta süreyle 60 Hz (2, 200, ve 1000 T olarak 3 farklı şiddette) EMA'a maruz kalan sıçan ve farelerde vücut ağırlığındaki artışın kontrol grubuna benzer olduğunu gözlemişlerdir. Ayrıca iki yıl süreyle 650 MHz EMA'a maruz kalan tavşanların vücut ağırlıklarının bu

Tablo II. Karaciğerdeki histolojik bulguların dağılımı.

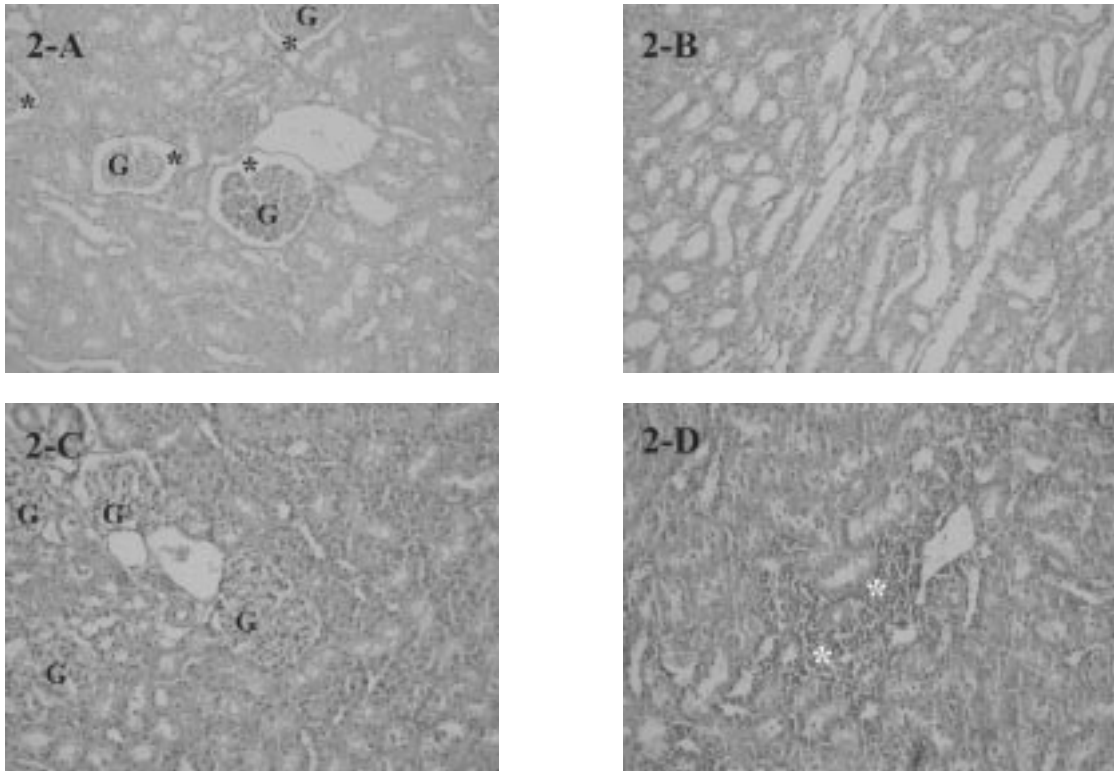
Bulgular	degenerasyon	fokal nekroz	sinuzoidal dilatasyon	safra kanalı proliferasyonu	inflamatuvar hücre infiltrasyonu	fibrozis	Kupffer hücresi yoğunluğu	glikojen dağılımı	
	skor								
Kontrol	0	9	9	4	9	6	9	0	0
Grubu (n=9)	1	0	0	5	0	3	0	1	2
	2	0	0	0	0	0	0	4	5
	3	0	0	0	0	0	0	4	2
Deney	0	7	10	1	10	3	10	0	0
Grubu (n=10)	1	3	0	8	0	4	0	2	7
	2	0	0	1	0	2	0	8	2
	3	0	0	0	0	1	0	0	1
p-değeri	0.081	1	0.071	1	0.062	1	0.057	0.062	

Tablo III. Böbreklerdeki histolojik bulguların dağılımı.

Bulgular	degenerasyon	fokal nekroz	glomerül dilatasyonu	ödem	inflamatuvar hücre infiltrasyonu	fibrozis
	skor					
Kontrol	0	9	9	8	7	7
Grubu (n=9)	1	0	0	1	2	2
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
Deney	0	10	10	7	7	7
Grubu (n=10)	1	0	0	3	3	3
	2	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0
p-değeri	1	1	0.497	0.780	0.780	1



Resim 1. A: Kontrol grubuna ait karaciğer kesiti. HE, X200. B: Kontrol grubuna ait karaciğer kesiti. PAS, X200. C: Deneysel grubuna ait karaciğer kesitinde sinüzoidal dilatasyon. HE, X200. D: Deneysel grubuna ait karaciğer kesitinde azalmış glikojen içeriği. PAS, X200.



Resim 2. A: Kontrol grubuna ait böbrek kesiti. G: Glomerül, * : Bowman aralığı HE, x200. B: Kontrol grubuna ait böbrek kesiti (medüller bölge). HE, X200. C: Deneysel grubuna ait bir böbrek kesitinde glomerüller genişlemiş ve Bowman aralığı azalmış. G: Glomerül. HE, X200. D: Deneysel grubuna ait böbrek kesitinde inflamatuvar hücre infiltrasyonu (*). HE, X200.

süreçten etkilenmediği saptanmıştır.²³ Lee ve ark.²⁴ üç haftalık sıçanları 12-18 ay süreyle günde sekiz saat 6.25 T şiddetinde (20 kHz) manyetik alana maruz bırakmışlar ve 12 ay sonunda deney ve kontrol gruplarının vücut ağırlıkları arasında bir farklılık bulunmadığını, ancak 18. ayın sonunda deney grubunun vücut ağırlığında azalma olduğunu saptamışlardır.

Yaptığımız çalışmada karaciğer ve böbreklerin mutlak ve göreceli ağırlıkları açısından deney ve kontrol grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmadı. Daha uzun süre (10 hafta, 3 ay, 12 ay) ve şiddette EMA'a maruz kalan sıçanlarda da benzer şekilde karaciğer ve böbrek ağırlıklarında bir değişiklik görülmemiştir.^{18,20,24} Bununla birlikte, Boorman ve ark.²² sekiz hafta süreyle sıçan ve farelere 60 Hz EMA uygulamışlar ve yalnızca dişi sıçanların bulunduğu grupta mutlak ve göreceli karaciğer ağırlıklarının kontrol grubuna göre artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Bizim çalışmamızda, EMA'a maruz kalan bazı sıçanların karaciğer kesitlerinde sinüzoidlerde dilatasyon, fokal inflamatuvar hücre infiltrasyonu ve hepatositlerde yağlı dejenerasyon gibi odakal değişiklikler görülmekle birlikte bu bulguların skorları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında aradaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildi. Benzer şekilde çeşitli araştırmalarda da EMA'a maruz bırakılan deney hayvanlarının karaciğerlerinde önemli bir histopatolojik değişiklik oluşmadığı bildirilmiştir.^{19,21,22,24,25} Zecca ve ark.²¹ erişkin sıçanların sekiz ay boyunca EMA'a (5 T ve 100T) maruz bırakılması sonunda karaciğer histolojisinde önemli bir patolojik değişiklik gözlenmediğini belirtmişlerdir. Sıçanlara 12-18 ay süreyle 6.25 T ve 32 hafta süreyle 5 T şiddetinde EMA uygulanması da karaciğerde histopatolojik değişikliğe neden olmamıştır.^{19,24} Boorman ve ark.²² sekiz hafta boyunca aralıklı (1 saat tedavi/1 saat dinlenme) EMA'a (60 Hz, 1 mT) maruz kalmanın sıçan ve farelerin karaciğerlerinde histopatolojik bir değişikliğe yol açmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca EMA'a (200T, 50 Hz) maruz kalan yumurtalardan çıkan civcivlerin karaciğer histolojisi de kontrol grubundan farklı bulunmamıştır.²⁵ Bununla birlikte EMA'a maruz kalma sonucu deney hayvanlarının karaciğerlerinde bazı mikroskopik değişiklikler oluştuğu da rapor edilmiştir.^{23,26,27} Gökçimen ve ark.²⁶ 27.17 MHz EMA'a iki hafta süreyle maruz kalan sıçanların karaciğerinde sinüzoidal dilatasyon, vakuoler dejenerasyon, nekroz ve inflamatuvar hücre infiltrasyonu saptamışlardır. EMA kaynağı olarak saç kurutma makinası (50Hz., 100-150mG) kullanılan başka bir çalışmada (3 ay boyunca, haftada 3 gün, günde 5 dakika) EMA'a maruz kalan sıçanların karaciğerinde fibrozis geliştiği bildirilmiştir.²⁷ EMA uygulanan tavşanların karaciğerlerinde ise sinüzoid lümeninde kontraksiyon/ dilatasyon, Kupffer hücrelerinde azalma, hepatositlerde morfolojik değişiklikler

görülmüştür.²³ EMA'ın hepatositlerdeki glikojen miktarını hem azalttığını hem de artırdığını rapor eden çalışmalar mevcuttur.^{23,28,29}

Bizim çalışmamızdan daha uzun süre ve şiddette EMA'a maruz kalan sıçanlarda da benzer şekilde böbrek histolojilerinde bir değişiklik görülmediği bildirilmiştir.^{18,20,24} Ancak daha yüksek frekanslı EMA'a maruz kalan sıçanlarda böbrek kan akımında değişiklikler oluştuğu, bunun sonunda tübül epitelinde dejeneratif değişiklikler, aseptik interstisyel inflamasyon gibi histolojik bulgular görüldüğü bildirilmiştir.³⁰ Yeniterzi ve ark.²⁷ EMA'a maruz kalan sıçanların böbreklerinde; tübül epitelinde dejeneratif değişiklikler, interstisyel iltihabi infiltrasyon, glomerüller hyalinizasyon bulgularını tespit etmişlerdir. Bizim çalışmamızda deney grubundaki bazı sıçanların böbreklerinde inflamatuvar hücre infiltrasyonu görülmekle birlikte kontrol ve deney grubu arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Elde edilen bulgular, sıçanların 8 hafta süresince 6 mT EMA'a (50 Hz, alternatif akım) maruz kalmasının, hayvanların vücut ağırlığı ile karaciğer ve böbrek histolojisinde değişikliğe neden olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte EMA'ın böbrek ve karaciğer dokusu üzerine olası etkilerinin ortaya çıkarılması için daha uzun süreli ve farklı şiddetlerin uygulandığı çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. Özaktaş HM. Günlük hayatta karşılaşılan elektromanyetik alanlar ve insan sağlığı. Seyhan Atalay N, Karakaş Ü, (Editörler). Bilişim Toplumuna Giderken Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyumu 1999, THK Basımevi, Ankara, 1999: 7-14.
2. Tsong TY. Molecular recognition and processing of periodic signals in cells: study of activation of membrane ATPases by alternating electric fields. *Biochim Biophys Acta* 1992; 1113: 53-70.
3. Koana T, Okada MO, Ikehata M, Nakagawa M. Increase in the mitotic recombination frequency in *Drosophila melanogaster* by magnetic field exposure and its suppression by vitamin E supplement. *Mutat Res* 1997; 373: 55-60.
4. Baum A, Mevissen M, Kamino K, Mohr U, Loscher W. A histopathological study on alterations in DMBA-induced mammary carcinogenesis in rats with 50 Hz, 100 µT magnetic field exposure. *Carcinogenesis* 1995; 16:119-25.
5. Al-Akhras MA, Darmani H, Elbetieha A. Influence of 50 Hz magnetic field on sex hormones and other fertility parameters of adult male rats. *Bioelectromagnetics* 2006; 27:127-31.
6. Al-Akhras MA, Elbetieha A, Hasan MK, Al-Omari I, Darmani H, Albiss B. Effects of extremely low frequency magnetic field on fertility of adult male and female rats. *Bioelectromagnetics* 2001; 22: 340-4.
7. Rajkovic V, Matavulj M, Johansson O. The effect of extremely low-frequency electromagnetic fields on skin and thyroid amine- and peptide-containing cells in

- rats: an immunohistochemical and morphometrical study. *Environ Res* 2005; 99:369-77.
8. Stevens RG, Davis S. The melatonin hypothesis: electric power and breast cancer. *Environ Health Perspect* 1996; 104 Suppl 1:135-40.
 9. Wartenberg D. Residential EMF exposure and childhood leukemia: meta-analysis and population attributable risk. *Bioelectromagnetics* 2001; Suppl 5: S86-104.
 10. Seyhan N, Canseven AG. In vivo effects of ELF MFs on collagen synthesis, free radical processes, natural antioxidant system, respiratory burst system, immune system activities, and electrolytes in the skin, plasma, spleen, lung, kidney, and brain tissues. *Electromagn Biol Med* 2006; 25:291-305.
 11. Heredia-Rojas JA, Caballero-Hernandez DE, Rodriguez-de la Fuente AO, Ramos-Alfano G, Rodriguez-Flores LE. Lack of alterations on meiotic chromosomes and morphological characteristics of male germ cells in mice exposed to a 60 Hz and 2.0 mT magnetic field. *Bioelectromagnetics* 2004; 25:63-8.
 12. Vijayalaxmi, Obe G. Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to extremely low frequency electromagnetic radiation: a review and future research recommendations. *Bioelectromagnetics* 2005; 26:412-30.
 13. Chater S, Abdelmelek H, Douki T, Garrel C, Favier A, Sakly M, Ben Rhouma K. Exposure to static magnetic field of pregnant rats induces hepatic GSH elevation but not oxidative DNA damage in liver and kidney. *Arch Med Res* 2006; 37:941-6.
 14. Chung MK, Lee SJ, Kim YB, Park SC, Shin DH, Kim SH, Kim JC. Evaluation of spermatogenesis and fertility in F1 male rats after in utero and neonatal exposure to extremely low frequency electromagnetic fields. *Asian J Androl* 2005; 7:189-94.
 15. Canseven AG, Yılmazoğlu K, Coşkun Ş, Seyhan N. Değişik şiddetlerde uygulanan ELF manyetik alanların beyin, akciğer ve karaciğer GSH düzeylerine etkisi. XVIII. Ulusal Biyofizik Kongresi Bildiri Özetleri, 6-9 Eylül 2006, Ankara: 71.
 16. Canseven AG., Tomruk A, Coşkun Ş, Seyhan N. Değişik sürelerde uygulanan 50 Hz, 3mT manyetik alanın karaciğer ve böbrek dokularında NO düzeylerine etkisi. XVIII. Ulusal Biyofizik Kongresi Bildiri Özetleri, 6-9 Eylül 2006, Ankara: 73.
 17. Berg H. Problems of weak electromagnetic field effects in cell biology. *Bioelectrochem Bioenerg* 1999; 48:355-60.
 18. Kim SH, Lee HJ, Choi SY, Gimm YM, Pack JK, Choi HD, Lee YS. Toxicity bioassay in Sprague-Dawley rats exposed to 20 kHz triangular magnetic field for 90 days. *Bioelectromagnetics* 2006; 27:105-11.
 19. Margonato V, Nicolini P, Conti R, Zecca L, Veicsteinas A, Cerretelli P. Biologic effects of prolonged exposure to ELF electromagnetic fields in rats: II. 50 Hz magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1995; 16: 343-55.
 20. High WB, Sikora J, Ugurbil K, Garwood M. Subchronic in vivo effects of a high static magnetic field (9.4 T) in rats. *J Magn Reson Imaging* 2000; 12: 122-39.
 21. Zecca L, Mantegazza C, Margonato V, Cerretelli P, Caniatti M, Piva F, Dondi D, Hagino N. Biological effects of prolonged exposure to ELF electromagnetic fields in rats: III. 50 Hz electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 1998; 19: 57-66.
 22. Boorman GA, Gauger JR, Johnson TR, Tomlinson MJ, Findlay JC, Travlos GS, McCormick DL. Eight-week toxicity study of 60 Hz magnetic fields in F344 rats and B6C3F1 mice. *Fundam Appl Toxicol* 1997; 35: 55-63.
 23. Tarantino P, Lanubile R, Lacalandra G, Abbro L, Dini L. Post-continuous whole body exposure of rabbits to 650 MHz electromagnetic fields: effects on liver, spleen, and brain. *Radiat Environ Biophys* 2005; 44: 51-9.
 24. Lee HJ, Kim SH, Choi SY, Gimm YM, Pack JK, Choi HD, Lee YS. Long-term exposure of Sprague Dawley rats to 20 kHz triangular magnetic fields. *Int J Radiat Biol* 2006; 82: 285-91.
 25. Veicsteinas A, Belleri M, Cinquetti A, Parolini S, Barbato G, Molinari, Tosatti MP. Development of chicken embryos exposed to an intermittent horizontal sinusoidal 50 Hz magnetic field. *Bioelectromagnetics* 1996; 17: 411-24.
 26. Gokcimen A, Ozguner F, Karaoz E, Ozen S, Aydin G. The effect of melatonin on morphological changes in liver induced by magnetic field exposure in rats. *Okajimas Folia Anat Jpn* 2002; 79: 25-31.
 27. Yeniterzi M, Avunduk MC, Baltacı AK, Arıbaş OK, Gömüş N, Tosun E. 50Hz frekanslı manyetik alanın ratlarda oluşturduğu histopatolojik değişiklikler. *S Ü Tıp Fak Derg* 2002; 18: 39-51.
 28. Michurina SV, Efremov AV, Shurlygina AV, Belkin AD, Vakulin GM, Verbitskaia LV, Larionov PM. Morphofunctional changes of liver and its regional lymph nodes after exposure to magnetic field of industrial frequency. *Morfologija* 2005; 128: 69-72.
 29. Gorczynska E. Liver and spleen morphology, ceruloplasmin activity and iron content in serum of guinea pigs exposed to the magnetic field. *J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol* 1987; 31: 357-63.
 30. Kiiatkin VA, Karpukhin IV, Esilevskii IuM, Ufimtseva AG, Severgina EV. Use of super-high frequency electromagnetic fields on intrarenal circulation and morphological status of health kidneys (experimental study). *Vopr Kurortol Fizioter Lech Fiz Kult* 2000; 6:34-9.

YAZIŞMA ADRESİ

Yrd. Doç. Dr. Semra ERPEK
Adnan Menderes Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Histoloji Embriyoloji AD, AYDIN

Tel : 256.444 1 256
Faks : 256.214 64 95
E-posta : semraerpek@yahoo.com