



Cep telefonlarından yayılan 900 MHz elektromanyetik alanların kırık iyileşmesine etkisi: Sıçanlarda deneysel çalışma

Ahmet ASLAN¹, Tolga ATAY², Kanat GÜLLE³, Vecihi KIRDEMİR², Ahmet ÖZDEN⁴, Selçuk ÇÖMLEKÇİ⁵, Nevres Hürriyet AYDOĞAN⁶

¹Afyonkarahisar Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Afyonkarahisar;

²Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı, Isparta;

³Bülent Ecevit Üniversitesi Tıp Fakültesi, Histoloji ve Embriyoloji Anabilim Dalı, Zonguldak;

⁴Özel Anadolu Hastanesi, Radyoloji Kliniği, Kastamonu;

⁵Süleyman Demirel Üniversitesi Mübendislik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mübendisliği Anabilim Dalı, Isparta;

⁶Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

Amaç: Çalışmamızın amacı 900 MHz frekansındaki cep telefonlarından yayılan elektromanyetik alan (EMA)'ların kırık iyileşmesi üzerine etkisi olup olmadığını araştırmaktır.

Çalışma planı: Çalışmaya ortalama ağırlıkları 256 g olan iki eşit gruba ayrılan 30 erişkin erkek Wistar albino sıçan alındı. Tüm sıçanların sağ tibialarına parmakla bastırılarak transvers kırık oluşturuldu ve kırıklar intramedüller K-teli ile tespit edildi. Grup 1, sekiz hafta boyunca haftada 5 gün, günde 30 dakika 900 MHz frekansında EMA'ya maruz bırakıldı. Grup 2 (kontrol grubu) ise EMA uygulanmaksızın aynı deney şartları altında tutuldu. Sıçan tibialarında kırık kaynamasıyla ilgili radyolojik, mekanik ve histolojik inceleme yapıldı.

Bulgular: Çalışma ve kontrol grubunun radyolojik, histolojik ve manuel biyomekanik skorları arasında anlamlı derecede farklılık vardı (sırasıyla p=0.020, p=0.006 ve p=0.032). Çalışma grubundaki skorların tamamı kontrol grubundakilere göre daha düşüktü.

Çıkarımlar: Bu çalışmanın sonuçları cep telefonlarından yayılan 900 MHz frekansındaki EMA'nın sıçan tibia kırık modelinde kırık iyileşmesini anlamlı derecede olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Cep telefonu; elektromanyetik alan; kırık iyileşmesi.

Kırık iyileşmesi ve kemik oluşumu çok sayıda sistemik ve lokal düzenleyicilere bağlı olan ve hücresel yapıların karşılıklı etkileşimini içeren karmaşık, metabolik bir süreçtir. Bu sürecin fizyopatolojisi ve iyileşme evreleri şimdiye kadar iyi tanımlanmışsa da, hala aydınlatılmayı bekleyen birçok nokta vardır. Kırık iyileşme-

sinin patofizyolojisi ve iyileşmeyi etkileyen ve uyaran faktörler ile ilgili çalışmalar günümüzde devam etmektedir.^[1-4]

Elektromanyetik spektrumunda, yüksek frekans bandının radyofrekans (RF) alanında yer alan cep telefonları ve baz istasyonlarından yayılan elektromanyetik

Yazışma adresi: Dr. Ahmet Aslan, Afyonkarahisar Devlet Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ali Çetinkaya Mah., 03030 Afyonkarahisar.

Tel: 0505 - 646 24 11 e-posta: draaslan@myynet.com

Başvuru tarihi: 06.03.2012 **Kabul tarihi:** 21.01.2013

©2013 Türk Ortopedi ve Travmatoloji Derneği

Bu yazının çevrimiçi İngilizce versiyonu
www.aott.org.tr adresinde
doi:10.3944/AOTT.2013.2854
Karekod (Quick Response Code):





Şekil 1. Oluşturulan kırığın görünümü.

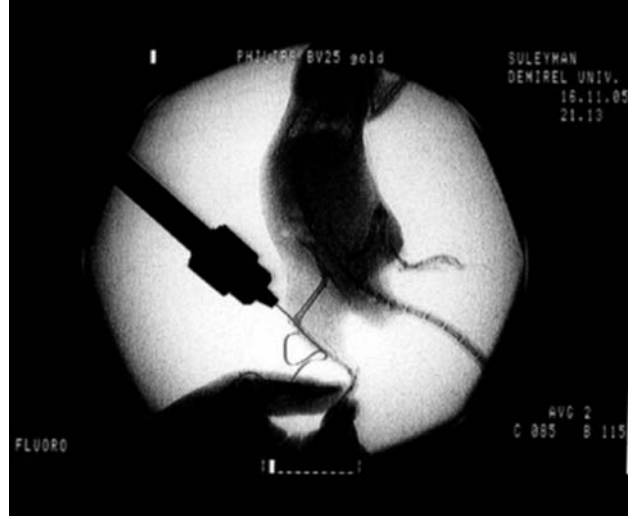
alan (EMA)'ların biyolojik sistemlerle etkileşmesi sonucu; endokrin ve sinir sistemi başta olmak üzere insan sağlığı üzerinde bazı olumsuz etkilere neden olduğu bildirilmektedir.^[4,5] Düşük frekanslı EMA'lar tıbbi tedavide kullanmakla birlikte, yüksek frekanslı EMA'ların insan sağlığına olumsuz etkileri olabileceği öne sürülmüştür.^[4-7] Cep telefonu ve baz istasyonlarından yayılan yüksek frekans EMA'nın biyolojik dokulara bazı olumsuz etkileri olduğu düşünülmektedir ve kemik dokusu oluşumu/iyileşmesi bu çevresel kaynaklardan etkilenbilir.

Bu çalışmada cep telefonlarından kaynaklanan 900 MHz yüksek frekanslı EMA'ların kırık iyileşmesine etkisi olup olmadığını araştırmayı amaçladık.

Gereç ve yöntem

Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi (SDÜTF) Etik Kurulu'ndan gerekli izin alındıktan sonra, 30 adet erişkin, ortalama ağırlıkları 256 ± 20 g ve ortalama 5 (dağılım: 4-6) aylık, erkek Wistar albino sıçan kullanıldı. Sıçanlar rastgele her bir grupta 15 adet olacak şekilde 2 eşit gruba ayrıldı. Grup 1 (ortalama ağırlık: 255 ± 21 g) 900 MHz EMA'ya maruz bırakılırken, Grup 2 (ortalama ağırlık: 259 ± 19 g) kontrol grubu olarak belirlendi. Sıçanlar standart yem (sıçan diyeti) ile serbest beslendiler ve deney süresince sıçanlara herhangi bir aktivite veya yük verme kısıtlaması yapılmadı.

Tüm sıçanlara profilaktik amaçla ameliyattan iki saat önce intramusküler sefazolin sodyum (Sefazol®; 15 mg/kg) uygulandı. Genel anestezi için tüm sıçanlara intraperitoneal (10 mg/100 mg vücut ağırlığına) ketamin HCl (Ketalar®; Eczacıbaşı, İstanbul) ve (0.25 mg/100 mg vücut ağırlığına) ksilazin HCl (Alfazyn®; Ege Vet Hayvan. Tic. Ltd. Şti, İzmir) uygulandı. Elle kırık oluş-



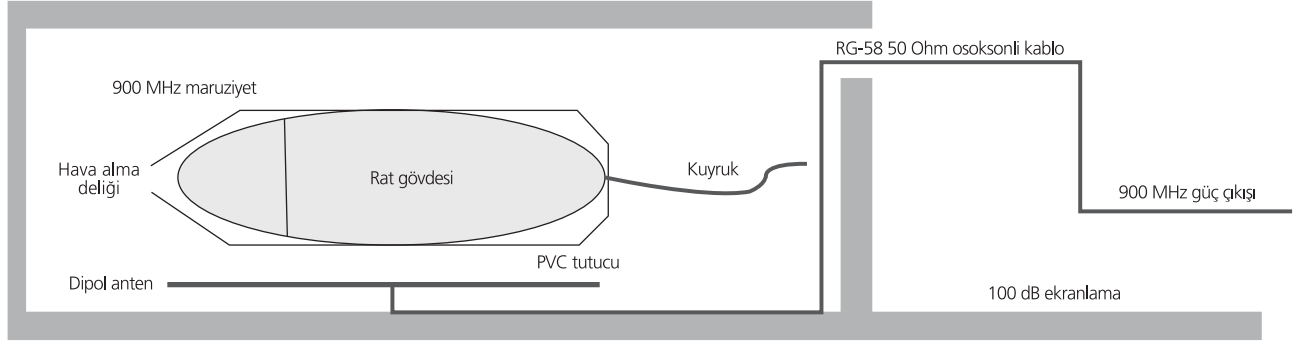
Şekil 2. Intramedüller tespit.

turma ve intramedüller tespit Orhan ve ark.'nın^[8] kullandığı yöntemden yararlanılarak yapıldı. Bütün sıçanların sağ tibialarında üç nokta prensibine göre parmakla bastırarak transvers kırık oluşturuldu (Şekil 1).

Daha sonra, sıçanların sağ arka bacaklarına gerekli temizlik, antisepsi ve steril örtümü takiben, sağ diz anteriordan 1.5 cm'lik insizyonla yaklaşıldı. Skopi kontrolünde tibia proksimalinden intramedüller olarak gönderilen 0.5 mm'lik K-teliyle kırık hattı intramedüller tespit yöntemi ile stabilize edildi (Şekil 2). Cilt 4/0 Prolen sütür materyali kullanılarak kapatıldı. Kırıklar, görünüşlerine göre, Leisner ve ark.'nın^[9] kullandığı yöntem modifiye edilerek değerlendirildi. Proksimal 2/3-distal 1/3'ün birleşim bölgesinde, tek bir kırık hattının olması 'ideal durum', kısmi, çok parçalı, segmenter veya eklem içi kı-



Şekil 3. Plastik tüpte sıçan ve dipol anten. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]



Şekil 4. EMA uygulamasının şematik görünümü.

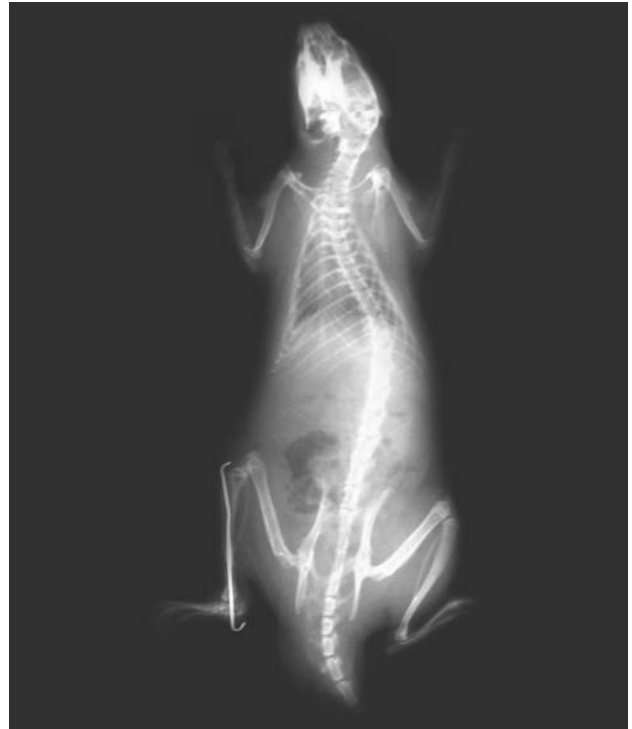
rık olması 'kötü durum' olarak değerlendirildi. İyi olarak değerlendirilen kırıklar (26 sıçan) çalışmaya alınırken, kötü olarak değerlendirilen kırıklar (4 sıçan) çalışmadan çıkarıldı.

Bu çalışmada; cep telefonu frekansında işaretler üretmek için bu sinyallerin aynısını üretebilen, 900 MHz frekansta 0-4 Watt çıkış verebilen elektromanyetik enerji jeneratörü (900/1800 Lab. Test Transmitter, Model GHZ2005X; Set Elec. Co., İstanbul) kullanıldı. EMA düzeneği SDÜ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Araştırma Laboratuvarı'nda test edildi. Radyasyon koşulları spektrum analizör (Promax AE-566; Promax Electronica SL., L'Hospitalet de Llobregat, İspanya)

ile ölçülerek, bu değerler uydu seviye ölçer (Promax MC-877C; Promax Electronica SL., L'Hospitalet de Llobregat, İspanya) ile doğrulandı. Tüm maruz kalma ölçümleri standart problu Portatif RF Survey Sistemi (Holaday HI-4417; Holaday Industries, Inc., MN, ABD) ile gerçekleştirildi. Teorik analizler ve SAR değerleri hesaplamalarında Gajsek ve ark.'nın^[10,11] çalışmasından yararlandı. Tüm sıçanların ortalama SAR değeri 0.008 W/kg olarak hesaplandı. Dipol anten yakın alanına maruz kalan sıçanlar ortalama 1.04 mW/cm² güç yoğunluklu EMA'ya maruz bırakıldı. Maruz bırakma işlemi sırasında, sıçanlar özel plastik tüplere konularak, dipol antene yaklaşık 5 mm mesafede tutuldu (Şekil 3). Gönderilen sinyalin kalitesi yakın-alan problemleri bulunan



Şekil 5. Grup 1'den bir sıçanın ameliyat sonrası 8. hafta görüntüsü.



Şekil 6. Grup 2'den bir sıçanın ameliyat sonrası 8. hafta görüntüsü.

Tablo 1. Radyolojik değerlendirme puanlaması.

Puan	Kaynama dokusu bulguları
Periost reaksiyonu (Kallus oluşumu)	
3	Tam (defekti dolduruyor)
2	Orta
1	Az
0	Yok
Kemik kaynaması	
3	Tam kaynama
2	Orta (köprüleşme >%50)
1	Az (köprüleşme <%50)
0	Kaynama yok
Remodeling	
3	Korteks tam <i>remodeling</i> 'i
2	Kaba kortikal <i>remodeling</i>
1	Intramedüller kanalın <i>remodeling</i> 'i
0	<i>Remodeling</i> yok
9	En yüksek toplam puan

Promax AE-566 spektrum analizörüyle, güç yoğunluğu ise EMA survey ölçer (Holaday Industries, Inc., Eden Prairie, MN, ABD) kullanılarak kontrol edildi. Çalışma grubundaki sıçanlar; günde 30 dakika, haftada 5 gün olmak üzere, 8 hafta boyunca EMA'ya maruz bırakıldılar. Kontrol grubundaki sıçanlar ise EMA'ya maruz bırakılmadan aynı laboratuvar şartları altında tutuldular. Deney düzeniği işlemi ve uygulamasında Chou ve ark.'nın^[12] tanımlamış olduğu yöntemden yararlanıldı. EMA uygulaması şematik olarak Şekil 4'te gösterilmiştir.

Sıçanlara sevofluran (Sevorane®) koklatılmasını takiben, ameliyat sonrası 1. gün direkt radyografi çekilerek kırık ve stabilizasyon durumu kontrol edildi. Ameliyat sonrası 2., 4., 6. ve 8. haftalarda çekilen seri direkt radyografilerle kallus dokusunun oluşumu takip edildi (Şe-



Şekil 7. Parafine gömülen bloklar. [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

kil 5 ve 6). Çalışma sonunda, sıçanların radyografileri bir radyolog tarafından, körleme olarak, modifiye radyografik skorlama sistemine (Tablo 1) göre değerlendirildi.^[13]

Çalışmayı tamamlayan tüm sıçanların sağ tibiaları kallus dokusuyla birlikte blok halinde çıkarılarak, çevre yumuşak dokularından izole edildi. Çıkarılan dokular nötral tamponlu formalin (%10) solüsyonu ile tespit edildi. %10'luk nitrik asit ile dekalsifikasyon işlemi tamamlanan dokular rutin histolojik takibe alındı ve parafine gömüldü (Şekil 7). Kırık hattı merkezli olarak 6 µm kalınlığında longitudinal kesitler alınarak, hematoksil-eozin ile boyandı ve ışık mikroskopunda incelendi (Şekil 8 ve 9). Boyanan örnekler, Huo ve ark.'nın^[14] önerdiği skorlama sistemiyle (Tablo 2) bir histolog tarafından körleme olarak değerlendirildi (Tablo 2). Deibert ve ark.^[15] tarafından belirlenmiş protokol histolojik inceleme yöntemi olarak kullanıldı.

Mekanik değerlendirme Şener ve ark.'nın^[16] kullandığı yöntemle yapıldı (Tablo 3). Kırık, iki plandaki hareketliliğe göre değerlendirildi. Tibialardaki kaynama dokusu, bir ortopedist tarafından körleme olarak, makroskobik ve iki planda muayene ile değerlendirildi.

İstatistiksel değerlendirmeler, SPSS 11.0 for Windows istatistik paket programı kullanılarak yapıldı. Grupların karşılaştırılmasında Mann-Whitney U testinden yararlanıldı; p<0.05 olduğunda, farklar anlamlı kabul edildi. Sonuçlar ortalama±SS olarak sunuldu.

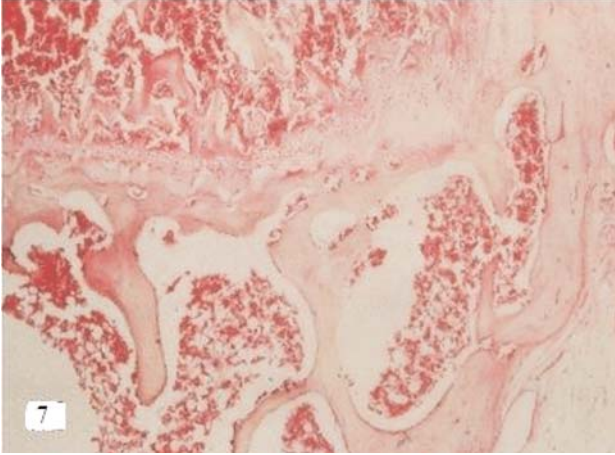
Bulgular

Çalışmanın başlangıcında 4 (Grup 1'den iki ve Grup 2'den 2 adet) sıçan 'kötü' kırık nedeniyle çalışmadan çıkarıldı. Grup 1'de üç ve Grup 2'de bir sıçan çalışmanın çeşitli safhalarında öldü. Histolojik çalışma aşamasında Grup 1'den bir ve Grup 2'den 3 sıçanın preparatları iyi kesit ya da görüntü alınamaması nedeniyle çalışmadan çıkarıldı. Hiç bir sıçanda yara enfeksiyonu ya da osteomyelit bulgusu gözlenmedi.

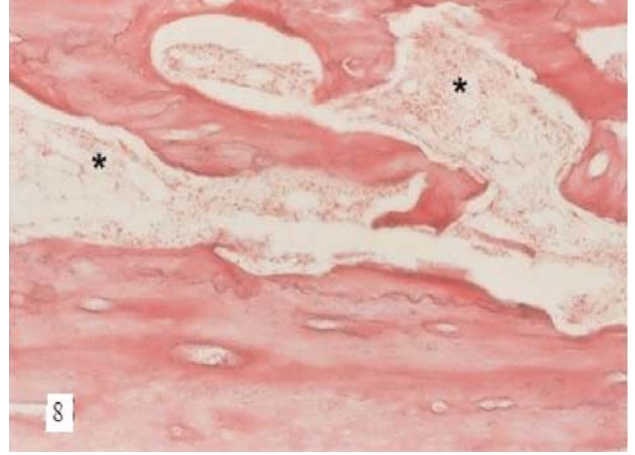
Elektromanyetik alan grubundan 10 ve kontrol grubundan 12 olmak üzere toplamda 22 direkt radyografi değerlendirmeye alındı. Skorların ortalama ve standart sapması Tablo 4'te verilmiştir. EMA grubunun sonuçları kontrol grubu sonuçlarına göre anlamlı derecede kötü idi (p=0.020) (Tablo 4 ve 5, Şekil 10).

Elektromanyetik alan grubu ve kontrol grubundan 9'ar preparat histopatolojik değerlendirmeye alındı. Skorların ortalama ve standart sapması Tablo 4'te verilmiştir. EMA grubunun sonuçları kontrol grubundakilere göre anlamlı derecede kötüydü (p=0.006) (Tablo 4 ve 5, Şekil 11).

Elektromanyetik alan grubundan 10 ve kontrol grubundan 12 sıçan tibiası olmak üzere toplamda 22 tibia



Şekil 8. Kontrol grubuna ait bir kesitte, canlı kemik dokusunu gösteren lakünelarda osteosit varlığı görülmekte (H-E x4). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]



Şekil 9. Elektromanyetik alan grubuna ait bu kesitte kemik iliği hücreleri (yıldız) gözlenirken, canlı hücre alanları ise izlenmemekte (H-E x4). [Bu şekil, derginin www.aott.org.tr adresindeki çevrimiçi versiyonunda renkli görülebilir.]

mekanik değerlendirmeye alındı. EMA grubunun sonuçları kontrol grubundakilere göre anlamlı derecede daha düşüktü ($p=0.032$) (Tablo 4 ve 5, Şekil 12).

Tartışma

Kırık iyileşmesini olumlu ya da olumsuz etkileyen lokal ve sistemik faktörlerle ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Literatürde; ilaçların, fiziksel ajanların, farklı enerji türlerinin, osteoindüktif ajanların ve diğer etkenlerin kırık iyileşmesine etkisiyle ilgili birçok deneysel ve klinik çalışmalar mevcuttur.^[2-4,8,17] Friedenberg ve Brighton'ın^[18] kemik büyümesi ve iyileşmesinin elektriksel bir aktiviteye sahip olduğunu bildirdikleri çalışma ile Bassett ve ark.'nın^[19] ise düşük frekanslı darbeleri elektromanyetik alanın (DFDEMA) kemik yapımını artırdığını gösterdiği çalışmalar ise dikkate değer çalışmalar arasında yer almaktadır. Bu çalışmalar sonrası günümüze kadar EMA uygulamalarının kırık iyileşmesine etkileri üzerine pek çok çalışma yapılmış ve bu çalışmalarda darbeleri elektromanyetik alanların (DEMA) kemik doku ve kırık iyileşmesine olumlu^[19-22] veya olumsuz^[23,24] etkisini bildiren çalışmaların yanı sıra etkisinin olmadığını gösteren çalışmalar da^[25,26] yayımlanmıştır. Düşük frekanslı DEMA ile yapılan bu deneysel çalışmaların yanı sıra, önceki klinik çalışmalarda da, ge-

Tablo 2. Histolojik değerlendirme puanlaması.

Puan	Histolojik bulgular
1	Fibröz doku
2	Ağırlıklı fibröz doku
3	Eşit miktarda fibröz ve kırıkdak doku
4	Ağırlıklı kırıkdak ve az miktarda fibröz doku
5	Kırıkdak doku
6	Ağırlıklı kırıkdak ve az miktarda immatür kemik doku
7	Eşit miktarda kırıkdak ve immatür kemik dokusu
8	Ağırlıklı immatür kemik ve az miktarda kırıkdak doku
9	İmmatür kemik ile kırık iyileşmesi
10	Matür kemik ile kırık iyileşmesi

Tablo 3. Mekanik değerlendirme puanlaması.

Puan	Kırık bölgesindeki klinik bulgular
0	Kaynamama (her iki planda hareket mevcut)
1	Orta derecede füzyon (tek planda hareket) olması
2	Tam füzyon (hiç hareket olmaması)

cikmiş kaynama ve kaynamama tedavisinde %64 ila 85 arasında değişen başarı oranları bildirilmektedir. Bununla birlikte, taze kırıkların tedavisinde bu yöntemin

Tablo 4. Radyolojik, histolojik ve mekanik skorların dağılımı (ort±SS).

Gruplar	Radyolojik skor			Histolojik skor			Mekanik skor		
	n	Ort.	±SS	n	Ort.	±SS	n	Ort.	±SS
Grup 1 (900 MHz)	10	6.6000	1.34990	9	8.1111	.33333	10	1.2000	.63246
Grup 2 (Kontrol)	12	7.9167	1.08362	9	8.8889	.60093	12	1.7500	.45227

Ort: Ortalama, SS: Standart sapma.

Table 5. Histolojik, radyolojik ve mekanik skorların gruplar arası karşılaştırılması.*

	Grup 1	Grup 2	p değeri
Radyolojik skor (ort±SS)	6.6000±1.34990	7.9167±1.08362	0.020
Histolojik skor (ort±SS)	8.1111±0.33333	8.8889±0.60093	0.006
Mekanik skor (ort±SS)	1.2000±0.63246	1.7500±0.45227	0.032

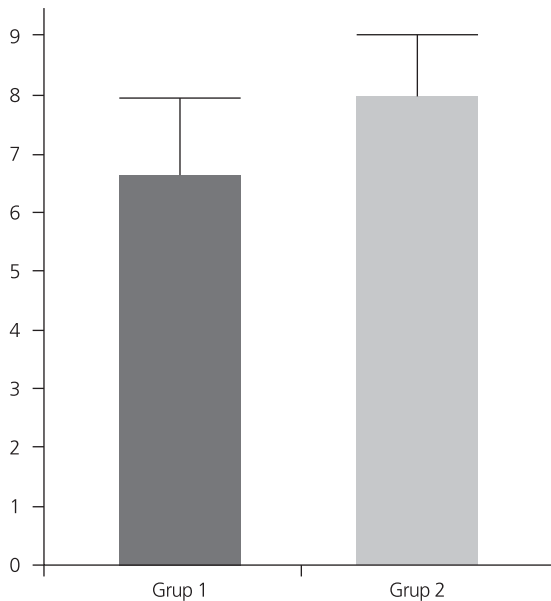
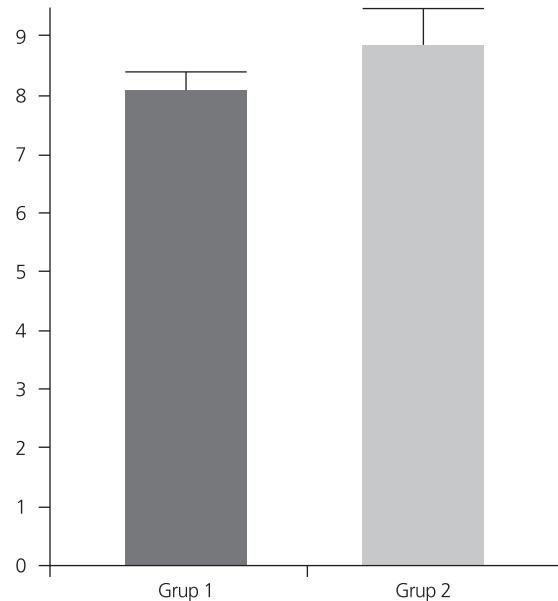
*Mann-Whitney U testi. Ort: Ortalama, SS: Standart sapma

etkili olduğuna dair net bir bilgi henüz yoktur.^[27] Belirtilen bütün bu çalışmalar, genellikle, düşük frekanslı DEMA ile yapılmıştır.

Cep telefonundan yayılan ve yüksek frekans bandında yer alan RF EMA'ların gelişmiş biyolojik doku sistemlerine etkileriyle ilgili yapılan epidemiyolojik, klinik ve deneysel çalışmalarda 900 MHz EMA'ların biyolojik dokulara olumsuz etkileri bildirilmiştir.^[28-32] Bununla birlikte, cep telefonundan yayılan EMA'nın sağlığa ciddi bir etkisi olmadığını bildiren çalışmalar da vardır.^[33,34] Diğer yandan yüksek frekans EMA'ların kırık iyileşmesi üzerine etkisi bilinmemektedir. Ayrıca, cep telefonundan yayılan RF EMA'nın kemik dokuya etkileriyle ilgili yapılan çalışmaların sayısı da sınırlıdır.^[35-40] Yıldız ve ark., dört hafta boyunca, haftada 5 gün ve günde 30 dakika 1 ± 04 mW/cm² güç yoğunluğunda EMA ile yaptıkları çalışmalarında; kontrol grubuna nispeten 900 ve 1800 MHz RF'ye maruz bırakılan sıçanların hem femur hem de vertebral kemik mineral yoğunluğu (KMY) değerlerinin düşük bulunduğunu, ancak, bunun istatistiksel olarak anlamlı olmadığını bildirmişlerdir.^[35] Cep telefonu ve diğer kaynaklar-

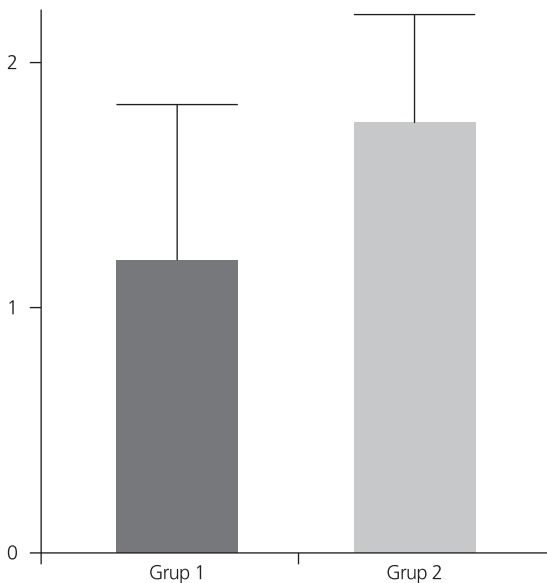
dan yayılan 900 ve 1800 MHz RF EMA'nın kemik dokuya etkisiyle ilgili deneysel çalışmalarda ise kemik dokusunda minimal değişikliklere neden olduğu bildirilmektedir.^[36] Çiçek ve ark. RF EMA'ya maruz kalan sıçanlarda kemik dokusunun kırılma gücü, eğilme direnci ve total kırılma enerjisinin azaldığını bildirmişlerdir.^[37] Atay ve ark. cep telefonunu bel kemisinde taşıyanların pelvik ring KMY'sinin azaldığını rapor etmişlerdir.^[38] Aslan ve ark. ise 1.04 mW/cm² gücünde ve 0.008 W/kg SAR değerinde 900 MHz EMA'ya kısa ya da uzun dönem maruz kalmanın, sıçanların kemik dokusu üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığını bildirmişlerdir.^[39] Bizim çalışmamızda, 900 MHz EMA grubunda, radyolojik, histolojik ve elle mekanik skorlar kontrol grubuna göre anlamlı derecede düşük bulundu (Tablo 5). Bu sonuçlarımız cep telefonundan yayılan 900 MHz yüksek frekans EMA'nın kırık iyileşmesini olumsuz etkilediğini göstermektedir.

Diğer yandan, DFDEMA'nın kırık iyileşmesine olumsuz etkilerini bildiren çalışmalar^[23,24,27] ve cep telefonundan yayılan EMA'nın diğer biyodokulara olumsuz etkilerini bildiren çalışmalar^[28-32] dikkate alındığın-

**Şekil 10.** Radyolojik değerlendirme sonuçları.**Şekil 11.** Histolojik değerlendirme sonuçları.

da ise bizim çalışmamızın sonucunun literatürde 900 MHz EMA'nın kırık iyileşmesini olumsuz etkilediğini gösteren çalışmalarla uyumlu olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, çalışmamız, kullanılan materyal, deneysel hayvan modeli, uygulanan metodoloji, EMA türü, frekansı, güç yoğunluğu, maruz kalma süresi ve dozu gibi parametreler açısından diğer DFDEMA ile ilgili çalışmalarla çeşitli farklılıklar göstermektedir. Yine, çalışmamızın, benzer parametreler açısından cep telefonu sinyalleri kullanılarak yüksek frekanslı EMA ile yapılan diğer çalışmalarla da bazı farklılıkları mevcuttur. Kaldı ki, çeşitli deneysel modellerde, değişik frekans ve metodolojilerle yapılmış uygulamalardan farklı sonuçlar alınması doğaldır. Dahası, hem düşük frekansla hem yüksek frekansla yapılmış çalışmaların sonuçları ve EMA'nın kemik dokuya ve diğer dokulara etkileri bir tarafa, hangi frekans, süre, dozda ne tür EMA'nın olumsuz ya da teröpötik etkisi olacağı konusunda literatürde tam bir görüş birliği yoktur.^[4,41,42]

Yüksek frekans EMA'nın biyokimyasal süreçlere etki ederek ya da ısıya bağlı etkisi nedeniyle biyolojik dokularda hasar meydana getirdiği daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir.^[43,44] Her iki gruptaki sıçanlarda ne sistemik ne de lokal (kırık bölgesi) ısı artışını ölçmediğimiz için ısı etkisine dair daha objektif yorum yapamamış olmamız çalışmamızın bir kısıtlılığıdır. Sintigrafik ve kantitatif tomografi çalışmalarıyla EMA'nın hem kırık iyileşmesinin evrelerine hem de oluşan kallus dokusuna etkisine dair daha ayrıntılı bilgi elde edilebilir, biyokimyasal analiz ile de kemik döngüsü belirteçleri sonuçlarımıza ek açıklamalar getirebilirdi.



Şekil 12. Mekanik değerlendirme sonuçları.

Sonuç olarak, bu çalışma sıçan tibia kırık modelinde, cep telefonu kaynaklı 900 MHz RF EMA'nın kırık iyileşmesini anlamlı derecede olumsuz etkilediğini göstermektedir. Cep telefonu kaynaklı yüksek frekans EMA'ların kırık iyileşmesine olumsuz etkisinde termal ve termal olmayan mekanizmalar birlikte rol oynuyor olabilir. Bu alanda alta yatan etkin mekanizmaların ve cep telefonu kullanımının olası etkilerinin aydınlığa kavuşturulması için ileride kapsamlı çalışmalar yapılması gerektiğini düşünüyoruz.

Teşekkür

SDÜTF Fizyoloji ve Patoloji Anabilim Dalı'na katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışma SDÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 1141-TU-05 no.lu proje numarası ile desteklenmiştir. Çalışmanın sonuçları özet olarak 2011 yılında gerçekleştirilen 22. Ulusal Türk Ortopedi ve Travmatoloji Kongresi'nde sunulmuştur.

Çıkar Örtüşmesi: Çıkar örtüşmesi bulunmadığı belirtilmiştir.

Kaynaklar

1. Einhorn TA. The science of fracture healing. *J Orthop Trauma* 2005;19:S4-6.
2. Einhorn TA. New technologies for the enhancement of skeletal repair: Challenges and opportunities. *Indian J Orthop* 2011;45:489-91.
3. Baldık Y, Talu U, Altunel L, Bilge H, Toker GA. Radiographic evaluation of the effect of nitric oxide on bone healing: an experimental study. [Article in Turkish] *Acta Orthop Traumatol Turc* 2000;34:190-7.
4. Aslan A. The effects of low and high frequency electromagnetic fields on fracture healing. Review. [Article in Turkish] *Kafkas Journal of Medical Sciences* 2012;2:34-42.
5. Ocaktan ME, Akdur R. Cellular phone technology and health: Review. [Article in Turkish] *Turkiye Klinikleri J Med Sci* 2008;28:58-65.
6. Chalidis B, Sachinis N, Assiotis A, Maccauro G. Stimulation of bone formation and fracture healing with pulsed electromagnetic fields: biologic responses and clinical implications. *Int J Immunopathol Pharmacol* 2011;24:17-20.
7. Bachl N, Ruoff G, Wessner B, Tschan H. Electromagnetic interventions in musculoskeletal disorders. *Clin Sports Med* 2008;27:87-105.
8. Orhan Z, Alper M, Senel F, Yilmaz N, Sayar U. The effect of extracorporeal shockwave treatment on the healing of experimental rat tibial fractures. [Article in Turkish] *Acta Orthop Traumatol Turc* 2001;35:351-7.
9. Leisner S, Shahar R, Aizenberg I, Lichovsky D, Levin-Harrus T. The effect of short-duration, high-intensity electromagnetic pulses on fresh ulnar fractures in rats. *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med* 2002 ;49:33-7.
10. Gajsek P, Walters TJ, Hurt WD, Ziriak JM, Nelson DA, Mason PA. Empirical validation of SAR values predicted by FDTD modeling. *Bioelectromagnetics* 2002;23:37-48.

11. Gajsek P, Ziriak JM, Hurt WD, Walters TJ, Mason PA. Predicted SAR in Sprague-Dawley rat as a function of permittivity values. *Bioelectromagnetics* 2001;22:384-400.
12. Chou CK, Chan KW, McDougall JA, Guy AW. Development of a rat head exposure system for simulating human exposure to RF fields from handheld wireless telephones. *Bioelectromagnetics* 1999; Suppl 4:75-92.
13. An YH, Friedman RJ, Draughn RA. Animal models of bone fracture or osteotomy. In: An YH, Friedman RJ, editors. *Animal models in orthopaedic research*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1999. p. 197-217.
14. Huo MH, Troiano NW, Pelker RR, Gundberg CM, Friedlaender GE. The influence of ibuprofen on fracture repair: biomechanical, biochemical, histologic, and histomorphometric parameters in rats. *J Orthop Res* 1991;9:383-90.
15. Deibert MC, Mcleod BR, Smith SD, Liboff AR. Ion resonance electromagnetic field stimulation of fracture healing in rabbits with a fibular osteotomy. *J Orthop Res* 1994;12:878-85.
16. Şener N, Akman Ş, Göğüş A, Bilgiç B. The effect of calcium sulfate on fracture healing in rat tibial fractures. [Article in Turkish] *Acta Orthop Traumatol Turc* 2001;35:431-7.
17. Aydin K, Sahin V, Gürsu S, Mercan AS, Demir B, Yildirim T. Effect of pentoxifylline on fracture healing: an experimental study. *Eklemler Hastalik Cerrahisi* 2011;22:160-5.
18. Friedenberg ZB, Brighton CT. Bioelectric potentials in bone. *J Bone Joint Surg Am* 1966;48:915-23.
19. Bassett CA, Pawluk PJ, Pilla AA. Augmentation of bone repair by inductively coupled electromagnetic fields. *Science* 1974;184:575-7.
20. Bassett CA, Valdes MG, Hernandez E. Modification of fracture repair with selected pulsing electromagnetic fields. *J Bone Joint Surg Am* 1982;64:888-95.
21. Grace KL, Revell WJ, Brookes M. The effects of pulsed electromagnetism on fresh fracture healing: osteochondral repair in the rat femoral groove. *Orthopedics* 1998;21:297-302.
22. Diniz P, Shomura K, Soejima K, Ito G. Effects of pulsed electromagnetic field (PEMF) stimulation on bone tissue like formation are dependent on the maturation stages of the osteoblasts. *Bioelectromagnetics* 2002;23:398-405.
23. Marino AA, Cullen JM, Reichmanis M, Becker RO. Fracture healing in rats exposed to extremely low-frequency electric fields. *Clin Orthop Relat Res* 1979;(145):239-44.
24. Muhsin AU, Islam KM, Ahmed AM, Islam MS, Rabbani KS, Rahman SM, et al. Effect of pulsed electromagnetic field on healing of experimental nonunion in rat tibiae. *Bangladesh Med Res Counc Bull* 1991;17:1-10.
25. De Haas WG, Lazarovici MA, Morrison DM. The effect of low frequency magnetic fields on the healing of the osteotomized rabbit radius. *Clin Orthop Relat Res* 1979;(145):245-51.
26. van Roermund PM, ter Haar Romeny BM, Hoekstra A, Schoonderwoert GJ, Brandt CJ, van der Steen SP, et al. Bone growth and remodeling after distraction epiphysiolysis of the proximal tibia of the rabbit. Effect of electromagnetic stimulation. *Clin Orthop Relat Res* 1991;(266):304-12.
27. Hannay G, Leavesley D, Percy M. Timing of pulsed electromagnetic field stimulation does not affect the promotion of bone cell development. *Bioelectromagnetics* 2005;26:670-6.
28. Meral I, Mert H, Deger Y, Yoruk I, Yetkin A, Keskin S. 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.
29. Eliyahu I, Luria R, Hareuveny R, Margaliot M, Meiran N, Shani G. Effects of radiofrequency radiation emitted by cellular telephones on the cognitive functions of humans. *Bioelectromagnetics* 2006;27:119-26.
30. Koyu A, Cesur G, Ozguner F, Akdogan M, Mollaoglu H, Ozen S. Effects of 900 MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. *Toxicol Lett* 2005;157:257-62.
31. Oktem F, Ozguner F, Mollaoglu H, Koyu A, Uz E. Oxidative damage in the kidney induced by 900-MHz-emitted mobile phone: protection by melatonin. *Arch Med Res* 2005;36:350-5.
32. Zamorano M, Torres-Silva H. FDTD chiral brain tissue model for specific absorption rate determination under radiation from mobile phones at 900 and 1800 MHz. *Phys Med Biol* 2006;51:1661-72.
33. Tuschl H, Novak W, Molla-Djafari H. *In vitro* effects of GSM modulated radiofrequency fields on human immune cells. *Bioelectromagnetics* 2006;27:188-96.
34. Tandogan I, Ozin B, Bozbas H, Turhan S, Ozdemir R, Yetkin E, et al. Effects of mobile telephones on the function of implantable cardioverter defibrillators. *Ann Noninvasive Electrocardiol* 2005;10:409-13.
35. Yıldız M, Çiçek E, Çerci SS, Çerci C, Oral B, Koyu A. Influence of electromagnetic fields and protective of CAPE on bone mineral density in rats. *Arch Med Res* 2006;37:818-21.
36. Atay T, Aslan A, Heybeli N, Aydoğan NH, Baydar MI, Ermol C, et al. Effects of 1800 MHz electromagnetic field emitted from cellular phones on bone tissue. *Balkan Medical Journal* 2009;26:292-6.
37. Cicek E, Gokalp O, Varol R, Cesur G. Influence of electromagnetic fields on bone fracture in rats: role of CAPE. *Biomed Environ Sci* 2009;22:157-60.
38. Atay T, Aksoy BA, Aydoğan NH, Baydar ML, Yıldız M, Ozdemir R. Effect of electromagnetic field induced by radio frequency waves at 900 to 1800 MHz on bone mineral density of iliac bone wings. *J Craniofac Surg* 2009;20:1556-60.
39. Aslan A, Aydoğan NH, Atay T, Çömlekçi S. The effects of electromagnetic field exposure at short and long term of 900 MHz frequency emitted from mobile phones on rat bone tissue. *Dicle Tıp Dergisi* 2011;38:452-57.
40. Kalender AM, Goktas U, Ozbag D, Erturk C, Okumus M, Guner S, et al. The effect of GSM mobile phone electromagnetic field on femur fracture healing in a rat model. *J Clin Anal Med* 2012;3:388-92.
41. Aslan A, Aydoğan NH, Atay T, Kırdemir V. Effects of 50 Hz electric field on bone mineral density and fractures healing: an experimental rat study. [Article in Turkish] *Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi Tıp Dergisi* 2012;45:22-8.
42. Shupak NM, Prato FS, Thomas AW. Therapeutic Uses of pulsed magnetic field exposure: A review. *Radio Sci Bull* 2003;307:9-32.
43. Christ A, Samaras T, Neufeld E, Klingeböck A, Kuster N. SAR distribution in human beings when using body-worn RF transmitters. *Radiat Prot Dosimetry* 2007;124:6-14.
44. Dasdag S, Ketani MA, Akdag Z, Ersay AR, Sari I, Demirtas OC, et al. Whole-body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urol Res* 1999; 27:219-23.