

# ELEKTROMANYETİK ALANIN (EMA) KEMİK DEFEKTLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

## EFFECTS OF ELECTROMAGNETIC FIELDS (EMF) ON HEALING OF THE BONE DEFECTS

A. Burak ÇANKAYA <sup>1</sup>, Mehmet Ali ERDEM <sup>1</sup>, Okhan ORAL <sup>1</sup>, Mehmet YALTIRIK <sup>1</sup>,  
Çetin KASAPPOĞLU <sup>1</sup>, Cüneyt Korhan ORAL <sup>1</sup>

### ÖZET

Elektromanyetik alanların tedavi amacıyla birçok hastalıkta kullanımı eski çağlara dayanmakta ve ilginç teorilere rastlanılmaktadır. Araştırmacılar yüzyıllardır manyetizmanın etkilerinin sırrını çözmeye çalışmaktadırlar. Özellikle doğada bulunan ve günlük yaşamımızda içinde olduğumuz doğal manyetik güçler canlı hayatı için bizim fark etmediğimiz ama çok önemli yapıtaşlarını oluşturmaktadır. Elektromanyetik alan uygulamasında amaç, doğal iyileşme sürecini yani doğayı taklit etmektir. İnsan metabolizmasında bulunan ve bir çok metabolik aktiviteyi kontrol altında tutan mekanizmanın elektriksel yükler ve bunların oluşturduğu düşük elektrik akımları olduğu günümüzde kabul gören bir hipotezdir. Yapılan bir çok deneysel çalışmada EMA'ların kemik iyileşmesini artırdığı gözlenmiştir. Bu makalede 1974-2006 yılları arasında EMA'ların kemik defeklerinin ve kırıklarının iyileşmesinde kullanımı ile ilgili literatür bilgisinin sonuçları özetlendi.

**Anahtar Kelimeler :** Elektromanyetik Alan, Kemik İyileşmesi, Dişhekimliği.

### ABSTRACT

Many different theories are discussed for the use of electromagnetic fields for the cure of many diseases in the science field . Scientists are trying to find out the exact mechanism of the magnetic fields. Especially the ones that are natural and can be seen in our daily lifes plays an important role. The aim of using electromagnetic fields is to mimic the natural healing thus the nature. It is a well known hypothesis that the exact mechanism of the all metabolisms in the body, can be a result of low magnetic fields occurring by the electrical actions. In the experimental studies healing of the bony defects by the means of electromagnetic fields are well discribed. In our study we evaluated the effects of electromagnetic fields in the healing of bony defects with the literature findings between the years 1974-2006.

**Key Words:** Electromagnetic field, Bone healing, Dentistry.

---

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi Dişhekimliği Fakültesi Ağız Diş Çene Hastalıkları ve Cerrahisi Anabilim Dalı ,Türkiye.

## GİRİŞ

Elektromanyetik alanların hastalıkların tedavisi amacıyla kullanımı çok eski çağlara dayanmakta ve ilginç teorilere rastlanılmaktadır. Eski çağlarda fizikçi Scribonius Largus baş ağrısı tedavisi için hastalara kumsala gitmelerini ve elektrik balığının yanında durmalarını önermiştir. Paracelsus (1493-1542) epileptik hastalarda, diarezi olan hastalarda ve kanamalı hastalarda tedavi amacıyla mıknatıs taşıyı kullanmıştır. Sir Kenelm Digby (1603-1665) yaraların manyetik tedavisi konulu kitap yazmıştır. 19. yüzyılda dünyanın pek çok ülkesinde, manyetik korseler ve manyetik botlar bir çok hastalığın tedavisi olarak kullanılmıştır (35).

Araştırmacılar yüzyıllardır manyetizmanın etkilerinin sırrını çözmeye çalışmaktadırlar. Özellikle doğada bulunan ve günlük yaşamımızda içinde olduğumuz doğal manyetik güçler canlı hayatı için bizim fark etmediğimiz ama çok önemli yapıtaşlarını oluşturmaktadır. En basitinden ayaklarımızı yere basmamızı sağlayan yer çekimi, maddenin yapıtaşlarını birbirine bağlayan hafif veya şiddetli manyetik güçlere kadar birçok faaliyette manyetizmadan söz etmek mümkündür (34, 35, 47).

1820'de Oersted isimli araştırmacı, kazara içinden akım geçen bir elektrik teline yaklaştığında pusulasının iğnesinde sapma meydana geldiği fark etmesiyle elektrik akımları ve elektromanyetik alanlar arasındaki ilişki araştırılmaya başlanmıştır. Yine 1820 yılında Ampere adlı araştırmacı elektromanyetik mıknatıs geliştirerek, manyetik özellik taşıyan materyalin içinde çok küçük elektrik akımlarının dolaştığını keşfetmiştir. 1832'de Michael Faraday, daha sonra elektromanyetik indüksiyon olarak tanımlayacağı, elektromanyetik yolla elektrik yüklerinin taşınabileceğini doğrulamıştır. 1865'de James Maxwell, bir mıknatısın, elektrik kablosuna doğru yaklaştırıldığında kabloda elektrik akımı oluşturacağını bildirmiştir (35, 47).

Elektromanyetizmin kemik ve kıkırdak büyümesi ve gelişimine nasıl etki ettiğinin açıklanabilmesi için, Wolff Yasası, piezoelektrik etki ve akıntı potansiyelleri ile açıklanabilmektedir (34, 35, 47). Vücutta doğal olarak var olan tüm bu elektriksel özelliklerin iskelet sistemindeki yapım ve yıkım olaylarını dengede tuttuğunu, mekanik direncini yönlendirdiğini keşfeden araştırmacılar, hastalıklarda da bu doğal mekanizmaların uyarılmasının, yine doğal sistemleri taklit ederek, sağlanabilmesiyle

iyileşmenin hızlandırılması ve kalitesinin artırılması için araştırmalarını bu yöne çevirmişlerdir.

Bu başarılı klinik ve deneysel çalışmalar birçok araştırmacıya yol göstermiştir (8, 22, 29, 31, 33, 44, 46). Klinik ve deneysel çalışmalar da EMA'ların kırık iyileşmesinde, özellikle de kaynama gecikmeli veya kaynamayan kırıklarda, psödoartrozlarda anlamlı başarılar sağladığı bildirilmiştir (4, 35, 40). Ancak EMA'ların bu etkiyi nasıl sağladıkları, hücresel düzeyde hangi aktiviteleri arttırıp, hangilerini azalttığı henüz tam aydınlatılamamıştır (35, 47, 40).

Ancak tüm araştırmacıların birleştiği nokta, hastalıkların tedavisinde, hastalığa özel uygun frekans ve şiddette EMA'nın belirlenip standart tedavi protokollerinin oluşturulması için bir çok çalışmaya ihtiyaç olduğudur.

### Elektromanyetik alanların etkileri:

Elektromanyetik alanların biyolojik sistemlerdeki etki mekanizmalarını incelenmesinde özellikle kalsiyum iyon metabolizması, amfoterik iyon değiştirme mekanizması, damar endotelindeki iyonik değişiklikler, DNA sentezi ve farklı iyon göç ve yığılımına ilişkin çeşitli teoriler üzerinde durulmaktadır (9, 18).

Elektrokimyasal çalışmalarla, elektromanyetik alanın indükleyici elektrik akımı  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  gibi kationların mobilitesini etkileyerek, yarı geçirgen hücre zarları ve elektrolit ortamda lokal değişikliklere neden olduğu ve kıkırdak dokunun net negatif yükünü nötralize ederek veya pozitif yüke dönüştürerek endotelin negatif yüklü yeni damarların kondral dokuya penetrasyonunu hızlandırdığı gösterilmiştir (2, 3, 18, 28, 30, 36, 38).

Mikro elektrokimyasal ortam değişikliği DNA komplekslerine ek metal iyon bağlanmasını sağlayarak uzaysal şekil değişikliklerine yol açıp, sentezini hızlandırdığına inanılmaktadır (36, 38).

Fitzsimmons ve ark. (13) özellikle kısa süreli elektromanyetik alan uygulamalarını takiben oluşan cevabın elektromanyetik alanların, büyüme faktörlerini stimüle etmesine bağlı olabileceğini göstermişlerdir.

Deneysel çalışmalar, elektromanyetik alanlara maruz kalan hücrelerde, alan yoğunluğu ve frekansıyla direkt ilişkili olarak kalsiyum akımlarında değişiklikler olduğunu göstermiştir. Bu etki, elektromanyetik alanın, kemik iyileşmesinde

kullanımıyla klinik olarak da ispatlanmıştır. Elektromanyetik alanların hücre yüzeyinde; reseptör bağlanması, aktivasyonu veya normal reseptör aktivitesine benzer aktivite gösterilmesi şeklinde bazı değişikliklere yol açtığı öne sürülmüştür. Dışarıdan uygulanan zayıf manyetik alanların hücre yüzeyinde amplifikasyonunun, reseptörler yoluyla hücre proteinlerini veya benzer yüklü yapıları direkt etkilediği ve bunun kalsiyum akışından sorumlu olduğu öne sürülmektedir. Başlatıcı olayın, membran yüzeyi boyunca kalsiyumun glikoproteinlere bağlanmasının düzenlenmesi, kalsiyum ve siklikadenozinmonofosfat (cAMP) yoluyla transmembran sinyalizasyonunun ortaya çıkabileceği

üzerinde durulmaktadır. Elektromanyetik alan ve hücre membranı arasındaki ilişki, paratiroid hormon (PTH) reseptör proteinindeki elektromanyetik alan transdüksiyonunu gösteren bulgularla desteklenmektedir. Elektromanyetik alan spesifik reseptörlere bağlanmayı değiştirmezken, sinyalin hücre içine geçişini etkilemekte, bu da cAMP birikimi ve kollajen sentezi ile gösterilmektedir. Elektromanyetik sinyale maruz kalmak, adenilat siklazı inaktive etmemekte ve PTH'nin reseptörlere bağlanmasını etkilememektedir. Bu gözlemler, diğer faktörlerin, muhtemelen bir proteinin rol oynadığı, yada reseptör uyumunun veya agregasyonunun elektromanyetik alan ile düzenlendiğini düşündürmektedir (11).

**Tablo 1:** Elektromanyetik alanların kemik iyileşmesi üzerine etkilerinin araştırılmasını amaçlayan deneysel çalışmalar(1)

ÇALIŞMA	HAYVAN MODELİ	ETKİ
Petersson ve ark. <sup>37</sup>	Tavşan fibulasında gecikmiş kırık	Kaynamanın hızlanması
Bringhton ve ark. <sup>7</sup>	Tavşan fibulasında osteotomi	İyileşmenin hızlanması
Bassett ve ark. <sup>5</sup>	Köpek radiusunda osteotomi	İyileşmenin hızlanması
Fredericks ve ark. <sup>15</sup>	Tavşan tibiasında osteotomi	İyileşmenin hızlanması
Fredericks ve ark. <sup>14</sup>	Tavşan tibiasında osteotomi	İyileşmenin hızlanması
Inoue ve ark. <sup>23</sup>	Köpek tibiasında osteotomi	İyileşmenin hızlanması

Elektromanyetik alan uygulamasında esas amaç doğal iyileşmeyi yani doğayı taklit etmektir. İnsan metabolizmasında doğal olarak bulunan ve bir çok metabolik aktiviteyi kontrol altında tutan esas mekanizmanın elektriksel yükler ve bunların oluşturduğu düşük elektrik akımları olduğu günümüzde kabul gören bir hipotezdir. Bu çok düşük değerdeki elektrik akımları (Faraday Akımları) vücutta hücreler arası iletişimi sağlayarak metabolizmanın düzenlenmesinde büyük rol oynar (9, 35, 39, 47).

EMA uygulamalarında bir çok farklı parametre tedavi neticesine doğrudan etkili olmaktadır. EMA'nın frekansı, şiddeti, uygulama süresinin değişebilir olması, farklı koşullarda farklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. FDA'nın da onayladığı birkaç hastalık dışında (gecikmiş veya inatçı kaynamamış kırıklar), EMA kullanımında tam anlamıyla bir tedavi protokolü geliştirilememiştir. Bunda da en önemli etken farklı parametrelerin farklı kombinasyonlarının, değişik dokularda etkilerinin apayrı olmasıdır. Bu nedenle de EMA'ların osteogenezis üzerine etkilerini inceleyen farklı araştırmalar etkin bir tedavi protokolü

geliştirme açısından önem taşımaktadır (6, 9, 10, 34, 35).

Kırık iyileşmesi sırasında hücrelerin çoğalmasının, ortamdaki elektrik akımlarının uyarması sonucu başladığı bildirilmektedir (25). Bu elektriksel akımlar kırık bölgesinde en yüksek seviyede 2-3 haftada yavaş yavaş azalır. Bu azalma sırasında uygulanan EMA'ların kırık sahasındaki elektriksel uyarım artırılarak hücrelerin çoğalması ve olgunlaşması devam ettirilmiş olabilir (35). Böylece daha fazla hücre çoğalmasına ve farklılaşmasına bağlı olarak fibrozisin ve yeni kemik yapımının artması beklenebilir. Mekanik yüklerden yoksun kalan iskelet sisteminde, osteojenik aktivitenin azalmasına bağlı osteoporotik belirtiler artmaktadır. Bu tip durumlar, mekanik yüklerle oluşan elektriksel uyarıların EMA ile taklit edilerek kemikteki aktivitelerin kontrol edilip edilemeyeceğinin araştırılması, EMA'nın kemik dokusu üzerine etkisinin incelenmesinde uygun model olarak karşımıza çıkmaktadır (17, 27).

Yapılan bir çok deneysel çalışmada kemik iyileşmesinde EMA'ların hücresel düzeyde ALP aktivitesini arttırdığı gözlenmiştir (21, 42, 45, 48).

**Tablo 2:** Elektromanyetik alanların kemik iyileşmesi üzerine etkilerinin araştırılmasını amaçlayan hücre kültürü çalışmaları

ÇALIŞMA	HAYVAN MODELİ	ETKİ
Hanks ve ark. <sup>19</sup>	Sıçan kafatası	DNA sentezinde artış
Norton ve ark. <sup>33</sup>	Sıçan kafatası	DNA sentezinde artış
Korenstein ve ark. <sup>26</sup>	Osteoblast kültürü	DNA sentezinde artış
Hanley ve ark. <sup>20</sup>	Osteoblast kültürü	DNA sentezinde artış
Janssen ve ark. <sup>24</sup>	Sıçan kafatası	ALP aktivitesinde artış
Freidenberg ve ark. <sup>16</sup>	Osteoprogenitör hücreler	Kondrojenesis Kalsifikasyonda artış
Ferndale ve Murray. <sup>12</sup>	Osteoprogenitör hücreler	Kollagen sentezinde artış

Trock ve ark. (46)'nin yaptığı çalışmalarda değişik bölgelerde osteoartiti olan hastalara, 1 ay süre ile 30dklık 18 seans elektromanyetik alan tedavisi uygulanmıştır. Tedavi ortasında, sonunda ve tedavinin sonlandırılmasından 1 ay sonra yapılan klinik değerlendirmelerde; istirahat ağrısı, günlük yaşam aktivitesinde güçlük, pasif eklem hareketinde ağrı, eklem hassasiyeti gibi değişkenlerde, tedavi öncesine ve plasebo grubuna göre anlamlı düzeltilmeler saptanmıştır.

Colson ve ark. (8) 33 hastada yaptıkları çalışmalarında, EMA tedavisinin etkinliğini araştırmışlardır. Çalışmaya alınan 33 hastanın 19'u, EMA tedavisi başlamadan en az 3 ay önce cerrahi metodlarla tedavi edilmeye çalışılmış ancak başarısız olunmuştur. Hastaların kırık meydana gelme hikayeleri, EMA uygulamasından ortalama olarak 15 ay öncesine dayanmaktadır. Gerek daha önce tedavi görmüş hastalarda gerekse de tedavi görmemiş hastalarda yapılan radyolojik incelemelerinde kırık bölgesinde bir kaynamanın gerçekleşmediği saptanmıştır. Hastalara 1.5mT şiddetinde ve 10-15Hz frekansında EMA 9 ay boyunca günde 12-15sa uygulanmıştır. Hastaların EMA uygulamasını evlerinde de uygulamaları sağlanmıştır. Çalışmanın sonunda 19 hastada %100 başarı sağlanmıştır. Araştırmacılar özellikle 5 aydan fazla kaynamanın görülemediği kırık olgularında cerrahi tedaviyle birlikte uygulanan EMA tedavisinin oldukça başarılı sonuçları olduğunu bildirmişlerdir.

Lynch ve ark. (29) 26 hastada yaptıkları klinik çalışmada daha önce bir veya birkaç kez cerrahi olarak tedavi denenmiş fakat başarısızlıkla sonuçlanmış inatçı iyileşmeyen kırıklarda ilave tedavi yöntemi olarak EMA uygulamasının etkinliğini araştırmışlardır. Femur, tibia, radius ve ulna gibi uzun kemiklerin kırıklarının çalışmaya

alındığı araştırmada, hastaların hikayesinde en yakın kırık zamanı 9 ay öncesine dayanmaktadır. Ortalama 21 hafta ve günde 10sa EMA uygulaması sonrasında 26 vakanın 23'ünde (%83) radyolojik olarak kırık hattında tam iyileşme saptanmıştır. Başarısız olunan vakalarda ise başarısızlık nedeninin enfeksiyondan kaynaklandığını bildirilmiştir. Araştırmacılar EMA uygulamasının diğer tedavi yöntemleriyle birlikte kullanıldığında başarıyı arttırdığını, bu etkiyi de EMA'nın osteoblast ve kollagen sentezini arttırmasına ve kalsiyum kullanımını arttırması nedeniyle gerçekleştirdiği görüşüne dayandırmışlardır.

Sharrard ve ark. (43) 53 iyileşmeyen birleşmemiş kırıkta yaptıkları çalışmada EMA uygulamasının iyileşmeye olan katkısını incelemişlerdir. İncelenen hastalarda ortalama kırık süresi 28 aydır. Bu sürede hastalar bir veya birkaç kez cerrahi operasyon geçirmiş fakat başarısız olunmuştur. Ancak hastalar EMA tedavisinden 6 ay öncesine kadar herhangi bir operasyon geçirmemiştir. Hastalara portatif bir cihazla, 15Hz'lik, 5msn dalga genişliğine EMA, günde 12-16sa uygulanmıştır. Çalışmanın sonunda 38 vakada (%71) 3-16 ayda iyileşme saptanmıştır. Araştırmacılar çalışmanın sonunda özellikle cerrahi tedaviyle birlikte immobilizasyonun uygulandığı vakalara ilave olarak EMA uygulamasıyla tedavide başarı yüzdesinin arttırdığını bildirmişlerdir.

Yapılan hayvan modeli çalışmaları ve hücre kültürü çalışmalarında çok düşük dozda ve kontrollü uygulanan elektromanyetik alanların herhangi olumsuz etkisine rastlanılmamıştır. Ancak yüksek şiddette elektromanyetik alanlara maruz kalan canlılarda, özellikle yüksek gerilim hatlarının yakınında yaşayanlarda hematolojik bozukluklar, sinir, sindirim ve kardiyovasküler sistemlerde işlevsel bozukluklar, kanser sıklığında artış gözlenmiştir (32, 41).

Son yıllarda yapılan araştırmalar, elektromanyetik alanların tıpta etkin olarak kullanılabilmesine imkan vermeyi amaçlamaktadır. Ancak elektromanyetik alan uygulamalarında manyetik alanın şiddeti, frekansı, uygulama süresi gibi bir çok farklı parametrenin etkili olması, günümüzde dahî standart tedavi protokollerinin geliştirilmesini güçleştirmektedir. Yapılan ve yapılacak olan her çalışmanın elektromanyetik alanlarla tıbbın ilişkisini daha da geliştireceği inancındayız.

### KAYNAKLAR

1. Aaron RK, Ciombor DK, Simon BJ. Treatment of nonunions with electric and electromagnetic fields. *Clin Orthop* 2004;419: 21-29.
2. Bassett CAL, Chokshi HR, Hernandez E, Pawluk RJ, Strop M. The effect of pulsing electromagnetic fields on cellular calcium and calcification of non-unions. In C.T. Brighton J., Black S.R. Pollack [eds.]. *Electrical properties of bone and cartilage, experimental effects and clinical application*. New York, Grune Stratton. 427-441, 1979.
3. Bassett CAL, Mitchell SN, Gaston SR. Pulsing electromagnetic field treatment in ununited fractures and failed arthrodeses. *JAMA*. 1982; 247: 623-628.
4. Bassett CAL, Mitchell SN, Schink MM. Treatment of therapeutically resistant non-unions with bone grafts and pulsing electromagnetic fields. *The journal of bone and joint surgery* 1982; 64 (8): 1214-1220.
5. Bassett CAL, Valdes M, Hernandez E. Modification of fracture repair with selected pulsing electromagnetic fields. *J Bone Joint Surg* 1982; 64: 888-895.
6. Bassett CAL. The development and application of pulsed electromagnetic fields for ununited fractures and arthrodeses. *Orthop Clin North Am* 1984; 15: 61- 87.
7. Brighton C, Hozack W, Brager M, et al. Fracture healing in the rabbit fibula when subjected to various capacitively coupled electrical fields. *J Orthop Res*. 1985; 3: 331-340. Bassett CAL, Valdes M, Hernandez E. Modification of fracture repair with selected pulsing electromagnetic fields. *J Bone Joint Surg* 1982; 64: 888-895.
8. Colson DJ, Browett JP, Fiddian NJ, Watson B. Treatment of delayed non-union of fractures using PEMF. *J Biomed Eng* 1988; 10 (4): 301-304.
9. Çağlar Ö. Darbeli gürültü tarzındaki elektromanyetik alanın taze kırıklarda kırık iyileşmesi üzerine etkileri: deneysel araştırma. Uzmanlık Tezi, İstanbul Üniv. Tıp Fakültesi 1991; İstanbul.
10. Durmuş A. Tip I kompleks rejonel ağrı sendromunda pulse elektromanyetik alan tedavisinin etkinliği. Uzmanlık Tezi. 1999.
11. Eyres KS, Saleh M, Kanis JA. Effect of pulsed electromagnetic fields on bone formation and bone loss during limb lengthening. *Bone* 1996; 18: 505-509.
12. Ferndale R, Murray JC. Pulsed electromagnetic fields promote collagen production in bone marrow fibroblasts via athermal mechanisms. *Calcif Tissue Int* 1985; 37: 178-182.
13. Fitzsimmons RJ, Farley J, Adey WR, Baylink DJ. Frequency dependence of increased cell proliferation, in vivo, in exposures to a low-amplitude, low frequency electric field. *J Cell Physiol* 1989; 139: 586-591.
14. Fredericks DC, Nepola JV, Baker JT et al. Effects of pulsed electromagnetic fields on bone healing in a rabbit tibial osteotomy model. *J Orthop Trauma* 2000; 14 (2): 93-100.
15. Fredericks DC, Petersen EB, Piehl DJ, et al. Effects of pulsed electromagnetic and combined magnetic fields on osteotomies. *J Orthop Trauma* 2004.
16. Freidenberg Z, Brighton C, Michelson J, et al. The effects of demineralized bone matrix and direct current on an in vitro culture of bone marrow cells. *J Orthop Res* 1989; 7: 22-27.
17. Funk RH, Monsees TK. Effects of electromagnetic fields on cells: physiological and therapeutical approaches and molecular mechanisms of interaction. A review. *Cells Tissues Organs*. 2006; 182 (2): 59-78.
18. Gossling HR, Bernstein RA, Abbott J. Treatment of ununited tibial fractures: A comparison of surgery and PEMF. *Orthopedics* 1992; 15 (6): 711-719.
19. Hanks C, Geister D, Kim J, et al. DNA synthesis in fetal rat calvarium cells stimulated by microprocessor generated signals. *Trans Bioelectric Rep Growth Soc* 1981.

- 22 Burak ÇANKAYA, Mehmet Ali ERDEM, Okhan ORAL, Mehmet YALTIRIK, Çetin KASAPOĞLU, Cüneyt Korhan ORAL
20. Hanley K, Norton L, Rodan G. Electromagnetic field effects on periosteal and osteoblast like cells growth in culture. *J Dent Res* 1981; 60: 402.
21. Hartig M, Joos U, Wiesmann HP. Capacitively coupled electric fields accelerate proliferation of osteoblast like primary cells and increase bone extracellular matrix formation in vitro. *Eur Biophys J* 2000; 29: 499-506.
22. Heckman JD, Ingram AJ, Loyd RD, et al. Nonunion treatment with pulsed electromagnetic fields. *Clin Orthop* 1981; 161: 58-66.
23. Inoue N, Ohnishi I, Chen D, et al. Effect of pulsed electromagnetic fields on late phase osteotomy gap healing in a canine tibial model. *J Orthop Res* 2002; 20: 1106-1114.
24. Janssen J, Akkerman L, Wittebol P. The effect of electrical stimulation on embryonic rat calvaria in vitro. *Electrical Properties of Bone and Cartilage*. New York: Grune and Stratton 1979; 491-517.
25. Kılıçoğlu SS. Mikroskopi düzeyinde kırık iyileşmesi. *Ankara Üniv. Tıp Fakültesi Mecmuası* 2002; 55: 143-150.
26. Korenstein R, Somjen D, Fischler H, et al. Capacitive pulsed electrical stimulation of bone cells, induction of cAMP changes and DNA synthesis. *Biochim Biophys Acta* 1984; 803: 302-307.
27. Li JK, Lin JC, Liu HC, Sun JS, Ruaan RC, Shih C, Chang WH. Comparison of ultrasound and electromagnetic field effects on osteoblast growth. *Ultrasound Med Biol*. 2006 May; 32 (5): 769-75.
28. Luben RA, Cain CD, Chen MC et al. Effects of electromagnetic stimuli on bone and bone cells in-vitro: inhibition of responses to parathyroid hormone by low energy low frequency fields. *Proc Natl Acad Sci* 1982; 79: 4180-4184.
29. Lynch AF, MacAuley P. Treatment of bone non-union by electromagnetic therapy. *IJMS* 1985; 154 (4): 153-155.
30. Moran D, Bassett CAL. Charge-change interactions: Do they explain the avascularite of cartilage? *Trans Orthop Res Soc* 1982; 7: 88.
31. Murray JC, Farndale RW. Modulation of collagen production in cultured fibroblasts by a low-frequency, pulsed magnetic field. *Biochim Biophys Acta* 1985; 28.
32. Norden B, Ramel C. Interaction mechanisms of low level electromagnetic fields in living systems. *Magnetic Field and Cancer* 1992; Capter 2: Oxford: Oxford University Pres, 14-21.
33. Norton L, Bourret L, Majeska R, et al. Adherence and DNA synthesis changes in hard tissue cell culture produced by electrical perturbation. New York: Grune and Stratton: 1979; 443-454.
34. Orzan C. Lomber spondilartrozda çok düşük frekanslı pulse elektromanyetik alan tedavisinin etkinliği. *Uzmanlık Tezi*. Ege Üniv. Tıp Fakültesi 2001; İzmir.
35. Otter MW, McLeod KJ, Rubin CT. Effects of electromagnetic fields in experimental fracture repair. *Clin Orthop Relat Res* 1998; Oct: 90-104.
36. Parkinson CW. Comments on the use of electromagnetic fields in biological studies. *Calcif Tissue Int* 1985; 37: 198-207.
37. Petersson C, Holmar N, Johnell O. Electrical stimulation of osteogenesis: studies of the cathode effect on rat femur. *Acta Orthop Scand* 1982; 53: 727-732.
38. Pilla AA. Electrochemical information transfer and its possible role in the control of cell function. *Electrical Properties Of Bone And Cartilage Experimental Effects And Clinical Applications*. New York, 455-488, 1979.
39. Rubin CT, Hausman MR. The cellular basis of Wolff's Law. *Orthopedic Surgery and Degenerative Arthritis* 1988; 14 (3): 503-515.
40. Ryaby JT. Clinical effects of electromagnetic and electric fields on fracture healing. *Clin Orthop Rel Res* 1998; 355S: 205-215.
41. Saffer JD, Thurstan SJ. Cancer risk and electromagnetic fields. *Nature* 1995; 375: 22-23.
42. Sert C, Deniz M, Düz MZ ve ark. The preventive effect on bone loss of 50-Hz, 1mT electromagnetic field in ovariectomized rats. *J Bone Miner Metab* 2002; 20: 345- 349.
43. Sharrard WJW, Sutcliffe ML, Robson MJ, Maceachern AG. The treatment of fibrous non-union of fractures by pulsing electromagnetic stimulation. *J Bone and Joint Surgery* 1982; 64 (2): 189-193.
44. Steinberg ME, Busenkell GL, Black J, Korostoff E. Stress induced potentials in moist bone in vitro. *J Bone Joint Surg*. 1974, June; 56 (4): 704-713.
45. Takano YT, Kawakami M, Sakuda M. Effect of a pulsing electromagnetic field on deminerali-

- zed bone matrix induced bone formation in bony defect in the premaxilla of rats. J Dent Res 1992; 71 (12): 1920-1925.
46. Trock DH, Bollet AJ, Dyer RH, et al. A double-blind trial of the clinical effects of pulsed electromagnetic fields in osteoarthritis. J Rheumatol 1993; 20; 2166-2167.
47. Trock DH. Electromagnetic fields and magnets. Rheumatic Disease Clinics of North America 2000; 26 (1): 51-62.
48. Yonemori K, Matsunaga S, Ishidou Y et al. Early effects of electrical stimulation on osteogenesis. Bone 1996; 19 (2): 173-180.

**Yazışma Adresi:**

**Dr. A. Burak ÇANKAYA**

İstanbul Üniversitesi

Dişhekimliği Fakültesi

Ağız Diş Çene Hastalıkları ve Cerahisi Anabilim Dalı

E mail: burakcankaya@yahoo.com

Telefon: 0 212 414 20 20 / 30289