

# 50 Hz-1 mT Manyetik Alanın İnsan Medyan Siniri Üzerine Etkisi

## Influence of a 50 Hz-1 mT Magnetic Field on Human Median Nerve

Özlem COŞKUN <sup>a,\*</sup>, Selçuk ÇÖMLEKÇİ <sup>b</sup>, Hasan Rifat KOYUNCUOĞLU <sup>c</sup> ve Suat ÖZKORUCUKLU <sup>d</sup>

<sup>a</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Bölümü, 32260, Isparta

<sup>b</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh.-Mim. Fakültesi, Elek. ve Hab. Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

<sup>c</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nöroloji Anabilim Dalı, 32260, Isparta

<sup>d</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Isparta

Geliş Tarihi /Received : 16.04.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 15.06.2009

### ÖZET

İyonize olmayan elektromanyetik radyasyonun insan sağlığı üzerindeki etkileri, son elli yılda manyetik alanların kullanım alanının genişlemesi ile birlikte, büyük bir araştırma konusu olmuştur. Manyetik alanların tabiatı çok iyi bilinmekle beraber, insan vücudunun karmaşık yapısı, bu etkilerin incelenmesini zorlaştırmaktadır. Bununla beraber yapılan deneysel ve teorik çalışmaların sonucunda, manyetik alanların insan sağlığı üzerindeki etkileri konusunda kayda değer bulgular elde edilmiştir. Ancak, henüz bilinmeyen etkilerinin olabileceği konusunda da şüpheler mevcuttur. Bu çalışmanın amacı, insan medyan motor sinir ileti çalışmalarında elde edilen parametrelere, 50 Hz-1 mT manyetik alanın etkisini incelemektir. Bu frekansta 1 mT manyetik alan yoğunluğunun değeri, biyolojik etkileşimin başladığı sınır değer olarak bilinmekte ve kabul edilmektedir. Medyan sinirini değerlendirmek amacı ile, sabit ölçülü mesafelerin kullanıldığı standart iletim teknikleri uygulanmıştır. Sonuç olarak 4 kanal NCS/EMG/EPs cihazı kullanılarak yapılan ölçümlerde, manyetik alan uygulama sonrasındaki motor distal genlik, uygulama sırasındaki motor distal genliğe göre ( $p=0,000573$ ) ve uygulama sonrasındaki motor distal genlik/proksimal genlik oranı, manyetik alan uygulama öncesindeki motor distal genlik/proksimal genlik oranına göre anlamlı bir azalma göstermiştir ( $p=0,037418$ ).

**Anahtar kelimeler :** *Manyetik alan, Medyan sinir, Motor distal genlik, Motor proksimal genlik.*

### ABSTRACT

With the increasing use of magnetic fields in recent five decades, the health effects of nonionized electromagnetic radiation is an important investigation subject. While the magnetic field is well known, it is difficult to investigate the health effects of radiation, because of the complex metabolism of human body. However, by the experimental and theoretical studies, a lot of significant health effects of magnetic fields have been discovered. But, there are probabilities that can have much more adverse health effects. The purpose of this study is to evaluate the effect of 50 Hz-1 mT magnetic field on human median motor nerve conduction parameters. At this frequency, 1 mT value of magnetic field intensity is known and accepted as the marginal value where biological interaction starts. Standard nerve conduction techniques using constant measured distances were applied to evaluate the median nerve. Consequently in the measures conducted using the device of 4 channel NCS/EMG/EPs there was a significant decrease in motor distal amplitude after the magnetic field application in comparison to the one during the application ( $p=0,000573$ ) and also in the motor distal amplitude/proximal amplitude in comparison to the ones before the application ( $p=0,037418$ ).

**Keywords:** *Magnetic field, Median nerve, Motor distal amplitude, Motor proximal amplitude.*

\* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail adress: oulukut@mmf.sdu.edu.tr (Ö. Coşkun)

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda kullanıma sokulan ve çok farklı frekanslarda elektromanyetik alan (EMA) yayan araçların neden olduğu elektromanyetik kirlenmenin, insan sağlığına zararlı olabileceği ilk kez epidemiyolojik çalışmalarla gündeme gelmiştir. Bu konudaki ilk araştırmalarda yüksek gerilim hatlarından kaynaklanan aşırı düşük frekanslı EMA'ya (ELF-EMA) maruz kalmayla çocukluk lösemisine yakalanma sıklığı arasında ilişki bulunmuştur (Wertheimer ve Leeper, 1979; Tomenius, 1986; Feychting ve Ahlbom, 1993). Erişkin dönemdeki kanserlerle EMA'ya maruz kalma arasında ilişki olabileceği de ileri sürülmüştür (Wertheimer ve Leeper, 1982; Floderus, Persson ve Stenlund, 1992; Tynes ve Andersen, 1990).

Ülkemizde elektriğin üretim ve dağıtımını aşırı düşük frekanslı (50 Hz) alternatif akım (AC) halinde yapılmakta ve araçların çoğu bu frekansta çalışmaktadır. Evde kullanılan TV, fırın, bulaşık makinesi, çamaşır makinesi, saç kurutma makinesi ve elektrikli battaniye yanında, sanayide ve tıpta kullanılan pek çok araçtan da farklı şiddetlerde ELF-EMA yayılmaktadır.

Bu EMA kaynaklarına; mikrodalga fırınlar, cep telefonları ve bunların baz istasyonları, radyotelevizyon vericileri ve alıcılarıyla, bilgisayar monitörlerinden gelen çok farklı frekanslı EMA'lar da eklenince, durum daha karmaşık hale gelmekte ve günlük yaşamda maruz kalınan EMA'nın zararlı etkilerinin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, EMA'nın insan sağlığına etkileri konusunda hala aydınlatılmayı bekleyen pek çok karanlık nokta vardır.

EMA'nın iki bileşeninden biri olan manyetik alan, diğeri olan elektriksel alanın aksine, pek zayıflamadan vücudun derinlerine nüfuz eder ve bu yüzden vücudun derinlerindeki EMA şiddeti dışarıdaki alan şiddetiyle hemen hemen aynıdır. Bu nedenle, ELF-EMA'nın manyetik alan bileşeninin etkileri üzerinde daha çok durulmaktadır (Barnes, 1995).

Manyetik alanın biyolojik sistemlere etkisi; farklı yöntem ve amaçlar ile birkaç yüzyıldır incelenen konular arasında olup, araştırmacılar biyolojik sistemlerin manyetik alanlar tarafından etkilendiğini bildirmektedirler. Manyetik alanların hangi frekanslarda, hangi şiddetlerde etkileme eşiği olduğu ve olası etki mekanizmaları üzerinde hala çalışılmaktadır. Ve bu tam olarak açıklanamamış konular arasındadır (Repacholi ve Greenebaum, 1999).

Hücrel ve embriyolojik araştırmalar, biyolojik süreçlerin manyetik alandan etkilendiğini göstermektedir. Manyetik alan uygulaması, hücre bölünme hızını 0.2-20 mT gibi düşük seviyelerde dahi değiştirmekte ve çeşitli doku kültürlerinde bölünme hızını yavaşlatmaktadır. Özellikle sinir hücreleri üzerinde yapılan çalışmalarda, düşük elektrik akımı ve düşük frekanslı manyetik alan ile uyarılan hücrelerde mitotik bölünmelerin azaldığı bildirilmektedir (Walleczek, 1992).

Literatürde manyetik alanların hücre zarı potansiyellerini etkilediğini bildiren pek çok çalışma bulunmaktadır. Manyetik alan kas ve sinir gibi uyarılabilir dokularda, hücre zarındaki iyonik akımları değiştirmektedir. Sinir hücrelerinde 10 mT şiddetindeki manyetik alan; iyonik akımları değiştirerek, hücre zarı potansiyellerini etkilemekte ve aksiyon potansiyeli oluşumuna engel olmaktadır (Kerna ve Lucchinetti, 1992).

Bu çalışmada da, ülkemizde kullanılan elektrik şebeke frekansı olan 50 Hz frekanslı manyetik alanın insan medyan siniri parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma; Süleyman Demirel Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nöroloji Anabilim Dalı Elektrofizyoloji (EMG) laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler, Süleyman Demirel Üniversitesi Etik Kurulu yönergesine uygundur. Hedef sinir, insan ön kol medyan siniridir.

Çalışmada manyetik alan uygulama öncesinde, uygulama sırasında ve uygulama sonrasında yapılacak elektrofizyolojik inceleme yöntemi ile medyan siniri ileti parametrelerine etkileri araştırılmıştır. Bu kısımdaki amaç, uyarılan sinir hücrelerindeki gecikmeyi analiz etmektir. Ayrıca değişik sinirsel hastalık seyrinde gecikmenin anlaşıldığı da düşünülmektedir.

Bilimsel araştırmada canlı ortama veya hedef dokuya uygulanacak manyetik alan vektörünün yönü ve büyüklüğünü bilmek önemlidir. Bu alanın uygulandığı bölgede homojen olması ve deney süresince alan parametrelerinin değişmediğinden emin olunması gereği vardır. Bilimsel araştırmalarda bu tip bir manyetik alanı oluşturmak amacıyla, Helmholtz bobin takımları sıkça kullanılmaktadır. Helmholtz bobin düzeneğinde; birbirine paralel iki dairesel akım kaynağı arasında uygun bir uzaklığı olduğunda, oluşacak

akı yoğunluğunun çok az değişeceği ve böylece manyetik alanın homojen olacağı varsayılır.

Helmholtz bobin düzeneği olarak kullandığımız halkaların çapı 10 cm, halkalar arasındaki mesafe 10 cm ve bobinlerin sarım sayısı  $N=220$ 'dir. Bobin takımının ürettiği manyetik akı yoğunluğu, 50 Hz frekansta ve efektif olarak  $1 \text{ mT}_{\text{RMS}}$  olarak bulunur.

25 V, 50 Hz değişken alternatif güç kaynağının (Philip Harris, Shenstone, England) çıkış gerilimi, bobinler arasındaki manyetik akı yoğunluğu  $1 \text{ mT}$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Manyetik alan probu (Philip Harris, Shenstone, England) çıkışında indüklenen RMS gerilim, sayısal gerilim ölçer (Chauvin Arnoux Max 3000 TRMS, Paris, France) ile kontrol edilmiştir. Ortamda başka manyetik alana neden olacak (aktif-pasif) cihazların bulunmasına izin verilmemiştir. Çalışmada 6 yetişkin sağlıklı gönüllü bireyin sağ kolu denek olarak kullanılmıştır. Böylece deneklere ait toplam 6 koldan kayıt alınabilmektedir. Tüm bireyler klinik muayeneden geçirilmiştir.

Aşağıdaki dışlama kriterlerine uyanlar çalışmaya alınmamıştır.

- Etkilenen elin bilek fraktürü veya herhangi bir cerrahi öyküsü,
- Double-crush hasarı,
- Polinöropati, radikülopati, pleksopati,
- Diyabet, kronik böbrek yetmezliği, gut, romatoid artrit, tiroit hastalıkları veya diğer sistemik hastalıklar,
- Kardiyak pacemaker, eski anevrizma klipleri, aortik kapak, yeni stent ve ferromagnetik oküler parça takılanlar, ortopedik plakalar ve cihazlar.

Bu elektrofizyolojik incelemeler için 4 kanal NCS/EMG/EPs (Nihon Kohden Neuropack Corporation, Tokyo, Japan) sistem elektronöromiyografi cihazı kullanılmıştır (Şekil 1). Elektrofizyolojik testlerin hepsi aynı hekim tarafından yapılmıştır.



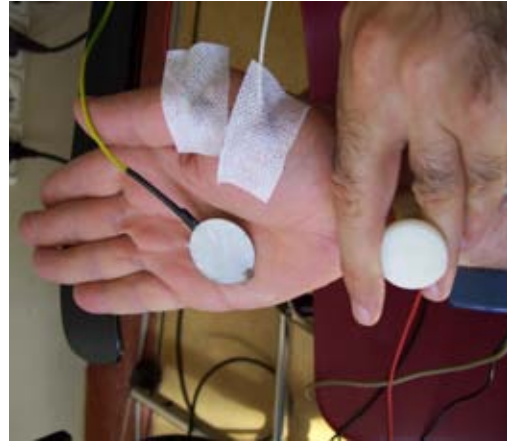
Şekil 1. 4 kanal NCS/EMG/EPs cihazı (Nihon Kohden Neuropack Corporation, Tokyo, Japan).

İnceleme sırasında oda ısısı  $28-30 \text{ }^\circ\text{C}$  olduğu görülmüştür. Tüm olgularda inceleme öncesinde deri alkol ile temizlenerek, deri rezistansı en aza indirgenmiştir. Rahat oturma pozisyonu verilen gönüllülerin motor sinir ileti çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Rahat oturma pozisyonunda gönüllünün motor sinir ileti çalışmalarına hazır hale getirilmesi.

Medyan motor sinir ileti incelemesi için, aktif yüzeysel kayıt elektrot başparmak metokarpofalangeal eklemi ile distal bilek çizgisi arasında abduktör pollicis brevis (APB) kası üzerine, referans elektrot başparmak proksimal falanksı üzerine, toprak elektrot ön kol fleksör yüzeyine yerleştirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Medyan motor sinir ileti incelemesi.

Motor sinir ileti parametreleri:

Frekans filtresi : 10 Hz-10 kHz

Duyarlılık : 1 mV

Süpürüm hızı : 5 ms/div

Uyarım şiddeti : Supramaksimal

Kayıt elektrotu : Yüzeysel keçe elektrot

Motor sinir ileti incelemesi için medyan sinir, Şekil 4 ve Şekil 5'te görüldüğü gibi distal ve proksimal



bölgelerden uyarılmıştır. Bu sinirin inerve ettiği en distaldeki kastan kayıt alınmıştır. Şekil 6'da ise proksimal ve distal uyarım noktaları arasındaki mesafenin ölçülmesi gösterilmektedir.



Şekil 4. Gönüllü kişinin koluna uygulanan distal uyarım.



Şekil 5. Gönüllü kişinin koluna uygulanan proksimal uyarım.



Şekil 6. Proksimal ve distal uyarım noktaları arasındaki mesafenin ölçülmesi.

Proksimal uyarımla kayıtlanan bileşik kas aksiyon potansiyeli (BKAP) latansından; distal latans çıkartıldığında, proksimal ve distal uyarım noktaları arasındaki mesafede ilgili motor sinirin ileti süresi hesaplanmış olur. Bu mesafenin milimetre cinsinden değeri distal ile proksimal latans farkına bölündüğünde, ilgili sinirin en hızlı ileten motor liflerinin ileti hızı metre/saniye cinsinden bulunmuş olur. Ayrıca, distal uyarımla elde edilen BKAP'nın

dalga şekli ve genliği (milivolt, mV), proksimal uyarımla elde edilen BKAP'nınkiyle karşılaştırılır.

Klinik rutin kayıtlarda olduğu gibi, medyan motor sinirden ilk kayıt yukarıda anlatıldığı gibi alınmıştır. Hemen bu kayıt sonrası, manyetik alan cihazı 5 dakika çalıştırılmış ve 5 dakikanın sonunda bir kayıt alınmıştır. Daha sonra ise maruziyet sonlandırılmıştır ve 5 dakika sonra tekrar bir kayıt alınmıştır. Bu esnada hem ortam, hem deri sıcaklık değerlerinin çok fazla değişmediği gözlenmiştir. Bu prosedür, tüm gönüllülerden kayıtlar alınıp bitirilmiştir.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tablo 1'de 6 yetişkin sağlıklı gönüllü bireyin sağ kolundan alınan, 1 mT manyetik alan uygulama öncesindeki değerler verilmektedir.

Tablo 2'de 6 yetişkin sağlıklı gönüllü bireyin sağ kolundan alınan, 5 dakika 1 mT manyetik alan uygulama sırasındaki Helmholtz bobini enerjili iken alınan değerler verilmektedir.

Tablo 3'de 6 yetişkin sağlıklı gönüllü bireyin sağ kolundan alınan, 5 dakika 1 mT manyetik alan uygulama sonrasındaki Helmholtz bobini enerjisiz bırakıldıktan 5 dakika sonra alınan değerler verilmektedir.

İstatistiksel analizler Süleyman Demirel Üniversitesi Nöroloji Anabilim Dalında yapılmış ve SPSS 11.0 version for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programı kullanılarak elde edilmiştir. Elektrofizyolojik ileti parametrelerinin değişimlerin incelenmesinde t-testi uygulanmıştır.

### 4. SONUÇLAR

Motor distal latansın ortalama değerleri; 1. uygulamada  $2,82 \pm 0,363$ , 2. uygulamada  $2,75 \pm 0,378$  ve 3. uygulamada  $2,78 \pm 0,362$  olarak bulunmuştur. Motor distal latansın istatistiksel analiz değerlerine bakıldığında p değeri; 1. ve 2. uygulamalar için 0,092515, 2. ve 3. uygulamalar için 0,235387 ve 1. ve 3. uygulamalar için ise 0,22920 bulunmuştur. p değerlerinden görüldüğü üzere, bu değişimler istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Motor ileti hızının ortalama değerleri; 1. uygulamada  $59,32 \pm 2,476$ , 2. uygulamada  $58,15 \pm 2,891$  ve 3. uygulamada  $58,8 \pm 3,102$  olarak bulunmuştur. Motor ileti hızının istatistiksel analiz değerlerine bakıldığında p değeri; 1. ve 2. uygulamalar için 0,293926, 2. ve 3. uygulamalar için 0,295096 ve 1.

**Tablo 1. 1 mT manyetik alan uygulama öncesindeki değerler.**

1. Uygulama									
Gönüllü									DAMP/PAMP
No	Yaşı	Cinsiyeti	Prot No	Sağ-Sol	MDL	MCV	DAMP	PAMP	
1	52	E	0001/2008	Sağ	2,92	55,4	8,1	7,1	1,14084507
2	28	K	0002/2008	Sağ	2,36	61,9	12,9	10,3	1,252427184
3	31	K	0003/2008	Sağ	2,72	59,1	19,9	17	1,170588235
4	31	E	0004/2008	Sağ	3,36	61	5,2	5,2	1
5	35	E	0005/2008	Sağ	3,04	57	7,4	7,8	0,948717949
6	34	E	0006/2008	Sağ	2,52	57,6	15,2	15,5	0,980645161

**Tablo 2. 5 dakika 1 mT manyetik alan uygulama sırasındaki Helmholtz bobini enerjili iken alınan değerler.**

1. Uygulama									
Gönüllü									DAMP/PAMP
No	Yaşı	Cinsiyeti	Prot No	Sağ-Sol	MDL	MCV	DAMP	PAMP	
1	52	E	0001/2008	Sağ	2,8	55	7,7	6,9	1,115942
2	28	K	0002/2008	Sağ	2,4	63,2	11	9,8	1,122449
3	31	K	0003/2008	Sağ	2,56	57,8	17,6	16,7	1,053892
4	31	E	0004/2008	Sağ	3,36	59,3	5,5	5,4	1,018519
5	35	E	0005/2008	Sağ	3	56	7,4	7,5	0,986667
6	34	E	0006/2008	Sağ	2,4	57,6	15,6	15,6	1

**Tablo 3. 5 dakika 1 mT manyetik alan uygulama sonrasındaki Helmholtz bobini enerjisiz bırakıldıktan 5 dakika sonra alınan değerler.**

1. Uygulama									
Gönüllü									DAMP/PAMP
No	Yaşı	Cinsiyeti	Prot No	Sağ-Sol	MDL	MCV	DAMP	PAMP	
1	52	E	0001/2008	Sağ	2,76	55	7,4	6,8	1,088235
2	28	K	0002/2008	Sağ	2,4	63,2	10,6	9,3	1,139785
3	31	K	0003/2008	Sağ	2,64	61,2	17	16,5	1,030303
4	31	E	0004/2008	Sağ	3,36	59,3	5	5,4	0,925926
5	35	E	0005/2008	Sağ	3,04	56	7,1	7,6	0,934211
6	34	E	0006/2008	Sağ	2,48	58,1	15,3	15,5	0,987097

ve 3. uygulamalar için ise 0,828952 bulunmuştur. p değerlerinden görüldüğü üzere, bu değişimler istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Motor distal genliğin ortalama değerleri; 1. uygulamada  $11,45 \pm 5,554$ , 2. uygulamada  $10,8 \pm 4,869$  ve 3. uygulamada  $10,4 \pm 4,830$  olarak bulunmuştur. Motor distal genliğin istatistiksel analiz değerlerine bakıldığında p değeri; 1. ve 2. uygulamalar için 0,229648, 2. ve 3. uygulamalar için 0,000573 ve 1. ve 3. uygulamalar için ise 0,093177 bulunmuştur. p değerlerinden görüldüğü üzere, 2. ve 3. uygulamalardaki p değeri istatistiksel açıdan anlamlıdır. 1. ve 2. uygulamalar ile 1. ve 3. uygulamalardaki p değeri istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Motor proksimal genliğin ortalama değerleri; 1. uygulamada  $10,48 \pm 4,779$ , 2. uygulamada  $10,31 \pm 4,747$  ve 3. uygulamada  $10,18 \pm 4,689$  olarak bulunmuştur. Motor proksimal genliğin istatistiksel analiz değerlerine bakıldığında p değeri; 1. ve 2. uygulamalar için 0,185199, 2. ve 3. uyu-

lamalar için 0,174688 ve 1. ve 3. uygulamalar için ise 0,140229 bulunmuştur. p değerlerinden görüldüğü üzere, bu değişimler istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Motor distal genlik/proksimal genliğin ortalama değerleri; 1. uygulamada  $1,08 \pm 0,122$ , 2. uygulamada  $1,04 \pm 0,058$  ve 3. uygulamada  $1,01 \pm 0,085$  olarak bulunmuştur. Motor distal genlik/proksimal genliğin istatistiksel analiz değerlerine bakıldığında p değeri; 1. ve 2. uygulamalar için 0,325646, 2. ve 3. uygulamalar için 0,090067 ve 1. ve 3. uygulamalar için ise 0,037418 bulunmuştur. p değerlerinden görüldüğü üzere 1. ve 3. uygulamalardaki p değeri istatistiksel açıdan anlamlıdır. 1. ve 2 uygulamalar ile 2. ve 3. uygulamalardaki p değeri istatistiksel açıdan anlamlı değildir.

Sonuç olarak insan medyan sinirinin 50 Hz-1 mT manyetik alana maruz kalması sonrası 4 kanal NCS/EMG/EPS (Nihon Kohden Neuropack Corporation, Tokyo, Japan) cihazı kullanılarak yapılan ölç-

çümlerde; manyetik alan uygulama sonrasındaki motor distal genlik, uygulama sırasındaki motor distal genliğe göre ( $p=0,000573$ ) ve uygulama sonrasındaki motor distal genlik/proksimal genlik oranı, manyetik alan uygulama öncesindeki motor distal genlik/proksimal genlik oranına göre anlamlı bir azalma göstermiştir ( $p=0,037418$ ).

Bu etkileri meydana getirdiği öngörülen mekanizma, hücre zarlarında bulunan voltaj sensörlerinden kaynaklanmaktadır. Hücre zarında bulunan gözeneklerde hangi sodyum iyonlarının hücre içine akacağını kontrol eden dört voltaj sensörü bulunmaktadır (S4). Her bir voltaj sensörü çeşitli pozitif kutuplu lysine ve arginine içeren amino asitlerden oluşmuştur. Dışarıdan bir manyetik alan uygulanması halinde; uyarı voltaj sensöründen hücre dışına ilerleyerek, zar potansiyelini arttırdığı düşünülmektedir. Bu değişim, aktivasyon kapısının açılmasına neden olur. Voltaj sensörünün aktivasyon kapısını açması ile oluşan mekanizma net değildir (Goldin, 2003; Nosek, 2004).

İnsan beyin dokusu da dahil olmak üzere, dokular da manyetit ( $Fe_3O_4$ ) adı verilen 50 nm boyutunda

küçük ferromanyetik parçacıklar bulunmaktadır. Özellikle beynin en dış kısmında, manyetit konsantrasyonu yüksektir (Challis, 2005). Manyetik alanın, manyetik parçacıklarda tork oluşturduğu ve hücre zarı ile mekanik etkileşimi sonucu iyonik kanalları aktive ettiği belirtilmiştir (Dobson ve Pierre, 1996).

Daha sonra manyetit içeren bakterilerle yapılan deneylerde, maruziyet artışı ile hücre ölümünün orantılı olduğu tespit edilmiştir (Cranfield v.d. 2003).

Manyetik alan etkileşimindeki diğer bir mekanizma ise, manyetik alanın serbest radikallere olan etkisidir. Serbest radikaller çiftleşmemiş elektron bulunduran, yüksek reaktif yapılı ve kısa ömürlü moleküllerdir. Kanserde dahil olmak üzere bir çok hastalıkta serbest radikallerin önemli rolü vardır. Düşük şiddetli manyetik alanlarda, serbest radikal konsantrasyonunda artış gözlenmiştir (Woodward v.d., 2001). Sonuç olarak manyetik alanlar ve serbest radikal konsantrasyonu arasında açık bir ilişki vardır (Challis, 2005).

#### KAYNAKLAR

- Barnes, F. S. 1995. Typical Electric and Magnetic Field Exposures at Power-Line Frequencies and Their Coupling to Biological Systems. In: "Electromagnetic Fields, Biological Interactions and Mechanisms." Ed. Blank M., American Chemical Society, Washington, DC; 37-55.
- Challis, L. J. 2005. Mechanism for Interaction Between RF Fields and Biological Tissue, Bioelectromagnetics Supplement. (7), 98-106.
- Cranfield, C. G., Wieser, H. G., Al Madam, J. and Dobson, J. 2003. Preliminary Evaluation of Nanoscale Biogenic Magnetite Based Ferromagnetic Transduction Mechanisms for Mobile Phone Bioeffects, IEEE Transactions NanoBioscience. (2), 40-43.
- Dobson, J. and Pierre, T. G. 1996. Application of the Ferromagnetic Transduction Model to DC and Pulsed Magnetic Fields: Effect on Epileptogenic Tissue and Implications for Cellular Phone Safety. Biochemical-Biophysical Research Communications. (227), 718-723.
- Feychting, M. and Ahlbom, A. 1993. Magnetic Fields and Cancer in Children Residing near Swedish High-Voltage Power Lines. Am J Epidemiol. (138), 467-81.
- Floderus, B., Persson, T. and Stenlund, C. 1992. Increased Risk of Leukemias and Brain Tumors in Occupational Exposure to Magnetic Fields. La-kartidningen. 89: 4363-6.
- Goldin, A. L. 2003. Mechanisms of Sodium Channel Inactivation. Neurobiology. (13), 284-290.
- Kerna, J. M. and Lucchinetti, C. 1992. Electrical Field Effects on Crushed Nerve Regeneration, Experimental Neurology. (117), 71-80.
- Nosek, T. M. 2004. Membrane Transport and Bioelectric Activity: Properties of the Typical Neuronal Action Potential, Retrieved March 27.
- Repacholi, M. H. and Greenebaum, B. 1999. Interaction of static extremely low frequency electric and magnetic field with living system: Health Effects and Research Need, Bioelectromagnetic. (20), 133-160.
- Tomenius, L. 1986. 50 Hz electromagnetic environment and incidence of childhood tumours in stockholm country. Bioelectromagnetics. (7), 191-207.
- Tynes, T. and Andersen, A. 1990. Electromagnetic fields and male breast cancer. Lancet. (336), 1596.
- Villa, M., Mustarelli, P. and Caprotti, M. 1991. Biological effects of magnetic field. Life Sciences. (49), 85-92.
- Wallaczek, J. 1992. Electromagnetic effects on cells of the immune system: The Role of Calcium Signaling, FASEB. (6), 3177.
- Wertheimer, N. and Leeper, E. D. 1979. Electrical wiring configurations and childhood cancer. Am Journal Epidemiol. (109), 273-84.
- Wertheimer, N. and Leeper, E.D.1982. Adult cancer Related to Electrical Wires near the Home. Int Journal Epidemiol. (11), 345-55.
- Woodward, J. R., Timmel, C. R., McLaughlan, K. A. and Hore, P. J. 2001. Radio frequency magnetic field effects on electron-hole recombination. Physical Review Letters. (87): 077602 1-4.