

Manyetik Alanın Sıçanlardaki Sinir İleti Parametrelerine Etkileri

Özlem COŞKUN^{1*}, Selçuk ÇÖMLEKÇİ², Mustafa NAZIROĞLU³, Suat ÖZKORUCUKLU⁴

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Biyomedikal Cihaz Teknolojisi Bölümü / ISPARTA

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh-Mim. Fakültesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı / ISPARTA

⁴Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü / ISPARTA

Alınış Tarihi:05.01.2009, Kabul Tarihi:29.06.2009

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 çalışma ile 50 Hz-1mT manyetik alanın izole sıçan siyatik siniri üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. İzole sinir 30 saniye 1mT Helmholtz bobini ile manyetik alana maruz bırakıldıktan sonra 0.1-0.5 ms süreli eşik ve supramaksimal pulslarla uyarılmış ve hücre dışı izole kayıt yöntemi kullanılarak değerler kaydedilmiştir (n=16). Elde edilen kayıtlardan ileti zaman farkı, maksimum genlik farkı, minimum genlik farkı, ortalama depolarizasyon süresi, ortalama repolarizasyon süresi ve ortalama hiperpolarizasyon süresi ölçülmüştür. 50 Hz-1 mT manyetik alan uygulanan sinirlerde, sinir ileti hızında bir değişme olmamıştır. Fakat manyetik alan uygulanan grubun; maksimum genlikler farkı (mV) ve ortalama hiperpolarizasyon süresi (msn), kontrol grubuna göre daha düşüktür (p=0,025).

Anahtar Kelimeler: Manyetik Alan, Sinir İletimi, Siyatik Sinir.

Effect of Magnetic Fields on Nerve Conduction Parameters in Rats

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 investigate the effect of 50 Hz-1 mT magnetic field on the isolated sciatic nerve of the rat. The nerve was exposed 1 mT magnetic field for 30 min and then compound action potentials were recorded extracellularly (n=16). The nerve was exposed to 50 magnetic field by using Helmholtz applicator. The conduction velocity differences, maximum amplitude differences, minimum amplitude differences, durations of average depolarization, repolarization and hyperpolarization were measured. It was observed that no effect of a power frequency with 50 Hz-1 mT magnetic field on conduction velocity differences. But maximum amplitude differences (mV) and average durations of hyperpolarization (msn) were significantly lower in the control group than in the exposed group (p=0,025).

Keywords: Magnetic Field, Nerve Conduction, Sciatic Nerve.

Giriş

Elektromanyetik dalgalar, insan organizmasında büyük ölçüde karışıklığa sebep olabilirler. Örneğin vücudun molekül ve atomları arasındaki denge kaybolabilir, biyokimyasal faaliyetler etkilenir ve en önemlisi hücrenin, dolayısıyla dokuların işleyişinde önemli olan elektriksel yapı bozulabilir. Kalp dolaşım sistemi, bağışıklık sistemi ve sinir sisteminde buna bağlı bozukluklar ortaya çıkabilir. Vücudun bağışıklık sisteminin sürekli zayıflamasının kanser oluşumunu artıran veya kanseri başlatan ya da tetikleyen bir etki yapacağı konusu gündeme gelmiş konulardandır. İnsan sağlığı açısından kritik bir risk faktörü oluşturan, manyetik alanların biyolojik etkilerini araştıran çalışmaların sayısı, hızla artmaya başlamıştır (Şeker ve Çerezci, 1993).

Çok düşük frekanslı (ELF) alanların enerjileri düşük olmakla birlikte bazı durumlarda, hücre

membranlarının dışarıdan uygulanan düşük frekanslı alanlara oldukça duyarlı olduğu bilinmektedir. Çok düşük sinyal değişimleri, hücre fonksiyonunda önemli biokimyasal cevaplara yol açabilmektedir (Sussman, 1995).

Elektrik ve manyetik alanların insan vücudu ile etkileşimleri birbirlerinden oldukça farklıdır. İnsan vücudu, elektriksel özellikleri açısından heterojen bir yapıya sahiptir ve neredeyse hiç manyetik materyal içermediğinden düşük frekanslı manyetik alanlar azalma olmaksızın vücuda girebilmektedir. Ancak elektrik alanlar, alternatif manyetik alanlar tarafından indüklenerek vücut içerisinde indüksiyon akımının oluşmasına neden olmaktadır (Simko Vd., 2004).

ELF manyetik alanların karsinojenik ve genetik etkiler oluşturabildiği, serbest radikaller, protein sentezi,

bağışıklık, üreme, büyüme, sinir ve gelişme sistemlerini etkilediği gösterilmiştir. Manyetik alan maruziyetlerinin DNA hasarına neden olabildiği ve tümör gelişim riskini arttırdığı bilinmektedir. Genel olarak, 50/60 Hz manyetik alanların doğrudan DNA hasarına neden olabilecek yeterlilikte enerjiyi hücrelere transfer etmediği kabul edilmektedir. Ancak manyetik alan maruziyetinin, serbest radikallerin tetiklediği bazı hücresel olaylarda değişimlere neden olduğu ve bu alanların DNA üzerinde dolaylı olarak etki gösterdiği yapılan çalışmalar sonucunda tespit edilmiştir. Araştırmacılar bu genotoksik etkileri, kromozomal bozukluklar, mikro çekirdek oluşumunda gözlenen artış, DNA'da meydana gelen bağ kırıkları ve bu kırıkların onarımı, hücre ölümlerinin de dahil olduğu sitotoksik etkiler şeklinde sınıflandırmışlardır (Simko v., 2004).

Canseven ve arkadaşları, 50 Hz ELF manyetik alanların farklı şiddet ve sürelerle uygulandığı kobaylarda; deri, kalp, karaciğer, akciğer, böbrek ve beyin dokusunda protein sentezi, antioksidan enzim aktivitesi, serbest radikal oluşumu ve solunum patlamasına etkisi olabileceğini rapor etmişlerdir (Canseven vd., 2005).

Ivancsits ve arkadaşları, insan fibroblastlarından hazırlanmış hücre kültürlerini 50 Hz frekanslı 0.2-10 G aralığındaki manyetik alanlara 1-24 saatlik sürelerde kesikli olarak maruz bırakmışlar, uygulanan doza ve uygulama zamanına göre DNA tek ve çift ipliklerinde kırılmaların olduğunu ve oluşan DNA hasarının termal etkilerden kaynaklanmadığını tespit etmişlerdir (Ivancsits vd., 2003).

Seyhan ve arkadaşları, 50 Hz frekanslı 2 G-30 G aralığındaki manyetik alan maruziyetlerinin; kollajen sentezi, epilepsi, elektrolitler, lipit peroksidasyonu, nitrik oksit, solunum patlaması, antioksidan savunma sistemi (GSH) ve immün sisteme ilişkin etkilerini dalak, deri, akciğer, böbrek, beyin ve plazma dokularında incelemiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda ELF manyetik alanların, çalışılan dokular üzerinde etkili olduğu rapor edilmiştir (Seyhan vd., 2006).

Canseven ve arkadaşlarının çalışmalarında, manyetik alan maruziyetinin immün sistem fonksiyonları üzerine etkisi araştırılmıştır. 50 Hz frekanslı 20 G manyetik alana maruz bırakılan kobayların dalak dokularından alınan makrofajlardaki doğal katil hücrelerinin *in vitro* ortamda aktiviteleri incelenmiştir. Özellikle kanserli hücrelerin öldürülmesinde önemli rollere sahip bu hücrelerin aktivitelerinde, uygulanan alan sonucunda bir azalma olduğu tespit edilmiştir. 50 Hz frekansında manyetik alanın immün sistem aktivitesinde baskılayıcı bir özelliğe sahip olabileceği rapor edilmiştir (Canseven vd., 2006).

Manyetik alana maruz kalan canlılarda, vücut içi moleküllerin elektriksel olarak yüklü olmaları nedeniyle, elektrik akımları oluşur. Tüm vücut değişken manyetik alan etkisinde kaldığında aşağıda belirtilen sınırlar dahilinde vücutta bazı değişiklikler olduğu bilinmektedir (Villa vd., 1991).

En bilinen etkiler aşağıda verilmektedir;

- 50/60 Hz'de 0.5-5 mT üzerindeki manyetik alan veya 3 Hz de 10-100 mT'lık manyetik alanın vücut içinde oluşturduğu 1-10 mA/m²'lik akım yoğunluğu ikinci derecede biyolojik etkiler meydana getirir.
- 50/60 Hz'de 5-50 mT üzerindeki manyetik alan veya 3 Hz de 100-1000 mT'lık manyetik alanın vücut içinde oluşturduğu 10-100 mA/m²'lik akım yoğunluğu görmeyi içeren dokular ve sinir sisteminde tedavi edici özellikleri vardır. Ayrıca kemik kırığında onarılma hızını artırır.
- 50/60 Hz'de 50-500 mT üzerindeki manyetik alan veya 3 Hz de 1-10 T'lık manyetik alanın vücut içinde oluşturduğu 100-1000 mA/m²'lik akım yoğunluğu, uyarılabilir dokuları stimüle etmektedir
- 50/60 Hz'de 500 mT den büyük veya 3 Hz de 10 T'lık manyetik alanın vücut içinde oluşturduğu 1000 mA/m²'lik akım yoğunluğu akut sağlık riskleri meydana getirmektedir.

Hücresel 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 hücrelerin mitotik bölünmelerinin azaldığı bilinmektedir (Walleczek, 1992).

50 Hz frekanslı 100 mT manyetik alanın, bu alana maruz kalan insanların tepki zamanlarında üzerinde bir değişiklik yapmadığı ancak hafıza üzerinde olumsuz etkiler yarattığı belirtilmiştir (Podd ve ark., 2002). Sıçanlar üzerinde yapılan bir araştırmada, 200 mT'lık manyetik alan maruz kalan deneklerde hafıza zayıflığı gözlenmiştir (Mostafa vd., 2002).

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).

Sağlıklı genç insanlardan seçilen gönüllülerden yapılan çalışmada, 50 Hz frekans altında, 1 mT manyetik alana 65 saat maruz kalan deneklerde kavrama fonksiyon testleri uygulanmış ve herhangi bir olumsuz etkileşim görülmemiştir (Delhez vd., 2004).

Gönüllülerle yapılan bir başka çalışmada, denekler 50 Hz frekansa sahip 14 veya 28 mT aralığında alana maruz bırakılmıştır. Çalışma sonucunda sinir bozuklukları olmadığı ve sinir ileti hızında bir değişiklik meydana gelmediği görülmüştür (Graham, 1999).

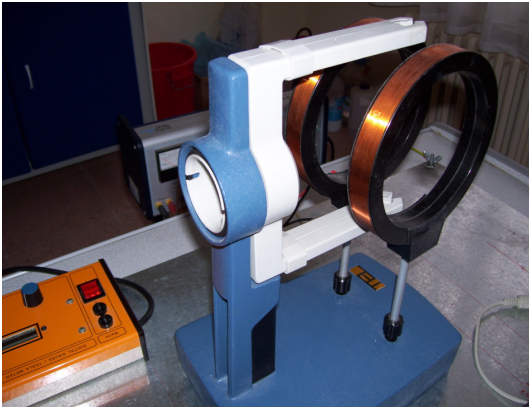
Bu çalışmanın amacı, 50 Hz-1mT manyetik alan ile sinir dokularının etkileşme mekanizmalarını deneysel olarak ortaya koymaktır. Bu frekansta 1 mT manyetik alan yoğunluğunun değeri, biyolojik etkileşimin başladığı sınır değer olarak bilinmekte ve kabul edilmektedir. Bilimsel literatürde elektromanyetik etkileşim ile ilgili çalışmalar, ısı etkileri ve ısı olmayan etkiler olarak ikiye ayrılırlar. Bu etkiler çalışma frekans aralığı göz önünde bulundurularak incelenmektedir.

Materyal ve Metod

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji Anabilim Dalı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler Süleyman Demirel Üniversitesi Etik Kurulu yönergesine uygundur. Çalışmada, ağırlıkları 270-300 gr arasında değişen sağlıklı 16 adet dişi Wistar Albino türü sıçanlar denek olarak kullanılmıştır. Tüm denekler, standart laboratuvar koşulları altında üretim yapan Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi Hayvan laboratuvarından temin edilmiştir.

Denekler araştırma süresince (2 gün) plastik kafeslerde, her kafeste en fazla 5 adet olacak şekilde tutulmuşlardır. Bu süre içerisinde istedikleri kadar su içip yem yiyebilmişlerdir (ad libitum). Barındıkları oda, 12 saat aydınlık-12 saat karanlık olacak şekilde ayarlanmıştır. Ayrıca deney ortam sıcaklığı çalışma süresince 20-23°C aralığında tutulmuştur. Deneklerin tamamı maruziyet grubu (manyetik alan) (n=6) ve kontrol grubu (n=10) olarak ikiye ayrılmıştır.

Deneyde manyetik alan oluşturmak için Helmholtz bobin takımı düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenekte; 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 Şekil 1'de gösterildiği gibidir.



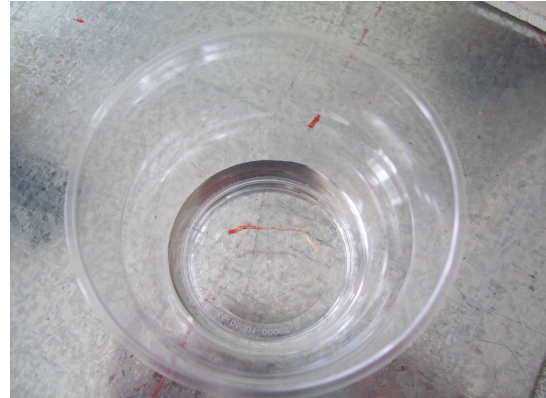
Şekil 1. Helmholtz bobin düzeneği

Helmholtz bobin düzeneği olarak kullandığımız halkaların çapı 10 cm ve halkalar arasındaki mesafe 10 cm'dir. Bu halkalar arasına rahatça girebilen pleksiglass kutu biçimindeki Powerlab 8/30 sinir banyosu (10x15x0.7 cm) düzeneği hazırlanmıştır.

25 V, 50 Hz değişken alternatif güç kaynağı (Philip Haris, England)'nın çıkış gerilimi, bobinler arasındaki manyetik akı yoğunluğu 1 mT olacak şekilde ayarlanmıştır. Manyetik alan probu (Philip Haris, England) çıkışında indüklenen RMS gerilim, sayısal gerilim ölçer (Chavin Arnoux Max 300 TRMS, France) ile kontrol edilmiştir. Ortamda başka manyetik alana neden olacak cihazların bulunmamasına özen gösterilmiştir.

Deneklerin siyatik sinirleri çıkarılmak üzere, dekapite edilerek ameliyat masasına tespit edilmişlerdir. Bacak bölgesinde deri boydan boya kesilmiştir. Cerrahi aletlerle zedelenmeden kas ve bağ dokulara aralanarak, sakrumdan tibia alt ucuna kadar çevre dokulardan hızlıca serbestleştirilen yaklaşık 3-4 cm'lik siyatik sinir, devamı olan tibial sinirle birlikte uçlarından kesilip alınmıştır. Deneylerde 16 adet siyatik sağ bacak sinir prepatı kullanılmıştır.

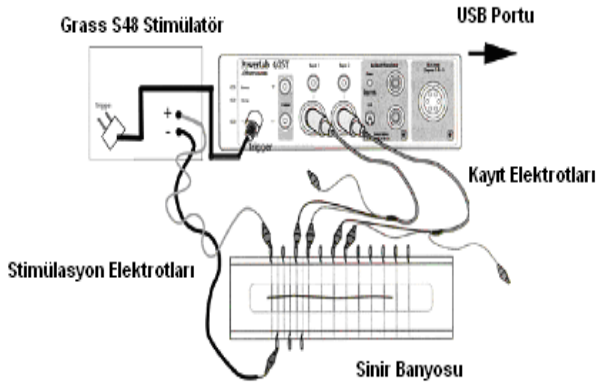
Sinir demetinin çevresindeki dokular iyice temizlendikten sonra 115 mM NaCl, 2.5 mM KCl, 1.8 mM CaCl₂, 2.15 mM Na₂HPO₄ ve 0.95 mM H₂PO₄ içeren Ringer çözeltisi içerisine oda sıcaklığında 1 saat bekletilmiş ve daha sonra kurutma kağıdı ile kurutulmuştur. Ringer çözeltisinin pH'ı 7.0'a ayarlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Ringer çözeltisi içinde bekletilen sinir

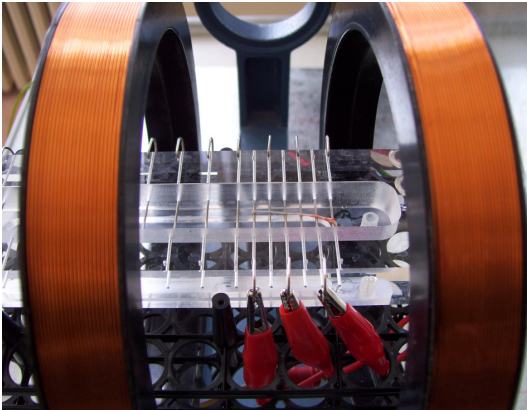
Nemli atmosferde platin veya gümüşten yapılmış uyarıcı ve kaydedici elektrotlar üzerine sinirin konulması suretiyle aksiyon potansiyellerinin incelenmesine yarayan elemana sinir banyosu denir. Sinir banyosunda iki adet uyarıcı ve altı adet kaydedici gümüş elektrotlar vardır.

Şekil 3'de bileşik sinir aksiyon potansiyeli (BAP) kayıtları almak için kurulan düzenek görülmektedir. Elektriksel bağlantıları da kullanım kılavuzunda belirtilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Stimülasyon ve çıktılar için Powerlab 8/30 (AD Instruments, Colorado) kayıt cihazı, bu cihazın dual bioamp seti, sinir banyosu ve ChartPro yazılımı kullanılmıştır.



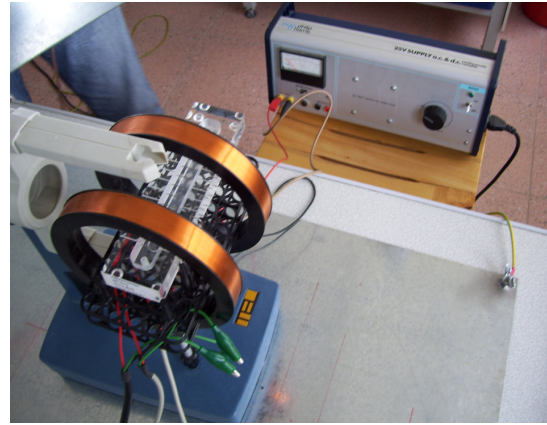
Şekil 3. BAP kayıtları almak için kurulan düzenek

İkisi uyarı, altısı gözlem olmak üzere birer cm uzaklıkta konumlandırılmış 200 µm çapında gümüş-gümüş klorür (Ag/AgCl) telden yapılmış ızgara şeklindeki elektrotlara sahip sinir banyosu içine, siyatik sinirin ince olan distal kısmı uyarı elektrotları üzerine gelecek şekilde fazla germeden yatırılmıştır. İzole siniri uyararak ve aksiyon potansiyelini kayıtlamak için sinir kutusuna monte edilmiş Ag/AgCl elektrotlar kullanılmıştır (Şekil 4). Sinir kurumaması için deney süresince sürekli olarak nemlendirilmiştir. Uyarım 0.1-0.5 msn süreli eşik ve 0.05 V genlikli supramaksimal kare pulslar kullanılarak sağlanmıştır (Grass S48 Stimülötör).



Şekil 4. Sinir kutusuna yerleştirilen siyatik sinir

Uyarıdan hemen sonra ilk kayıt alınmıştır. Daha sonra 30 saniye süre boyunca, 1 mT manyetik akı yoğunluğu olan Helmholtz bobin takımına maruz bırakılan sinirden tekrar bir kayıt alınmıştır (Şekil 5). Kontrol grubu yine aynı işlemlerden geçirilmiş ve farklı olarak sadece 30 s, 1 mT manyetik akı yoğunluğuna maruz bırakılmadan kayıt alınmıştır.



Şekil 5. Manyetik alana maruz bırakılan siyatik sinir

Kayıtlar bilgisayar ortamında Chart 5.4 programı kullanarak, Chart dosyası olarak kaydedilmiştir. Daha sonra ise Matlab yazılımı kullanarak Matlab dosyası haline dönüştürülmüştür. Elde edilen orijinal kayıtlardan; ileti zaman farkı, maksimum genlik farkı, minimum genlik farkı, ortalama depolarizasyon süresi, ortalama repolarizasyon süresi ve ortalama hiperpolarizasyon süresi ölçülmüştür. Daha sonra tüm parametreler ayrı dosyalar altında Excel programına kaydedilmiş ve bu değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Bulgular

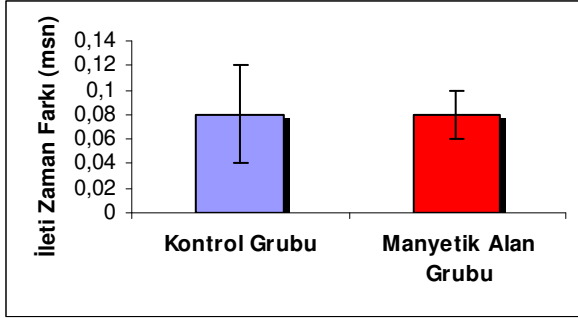
50 Hz-1 mT manyetik alan uygulanan ve uygulanmayan sıçan siyatik sinir demetlerinden hücre dışı kayıt yöntemi kullanılarak ölçülen aksiyon potansiyeli parametrelerinin değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kontrol ve manyetik alan gruplarına ait bileşik sinir aksiyon potansiyeli parametrelerinin değerleri

Parametre	Kontrol Grubu	Manyetik Alan Grubu	p değeri
İleti Zaman Farkı (msn)	0,08±0,04	0,08±0,02	A.D
Maksimum Genlikler Farkı (mV)	29,86±14,54	25,66±16,91	p=0,025
Minimum Genlikler Farkı (mV)	18,15±9,70	19,82±10,28	A.D
Ortalama Depolarizasyon Süresi (msn)	0,36±0,06	0,35±0,03	A.D
Ortalama Repolarizasyon Süresi (msn)	0,31±0,02	0,32±0,02	A.D
Ortalama Hiperpolarizasyon Süresi (msn)	1,84±0,46	1,43±0,24	p=0,025

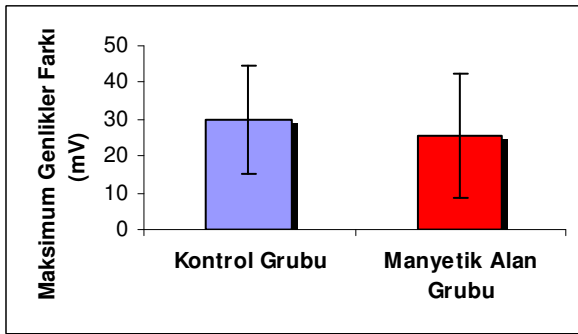
İstatistiksel analizler Süleyman Demirel Üniversitesi Biyoistatistik Anabilim Dalında yapılmış ve SPSS 11.0 version for Windows (SPSS Inc., Chicago, II, USA) programı kullanılarak elde edilmiştir. Elektrofizyolojik ileti parametrelerinin manyetik alan uygulanması öncesi ve sonrasındaki değişimlerin incelenmesinde t-testi uygulanmıştır.

Tartışma ve Sonuçlar



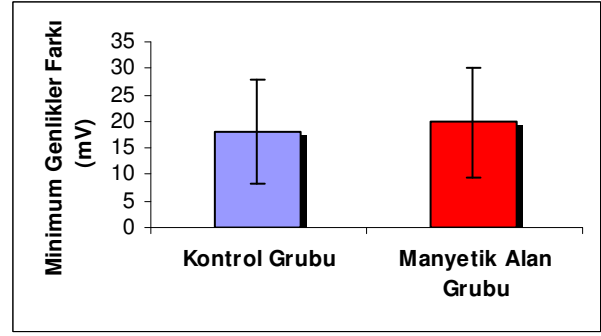
Şekil 6. İleti zaman farklarının standart sapma ve ortalama değerleri

Şekil 6’da görüldüğü gibi; kontrol grubunda ileti zaman farkı $0,08 \pm 0,04$ msn iken, manyetik alan grubunda ise bu değer $0,08 \pm 0,02$ msn olarak bulunmuştur. Bileşik sinir aksiyon potansiyellerinde ileti zaman farkı incelendiğinde; manyetik alan grubunda, kontrol grubuna göre farklılık görülmemiştir. Ancak bu istatistiksel açıdan anlamlı değildir.



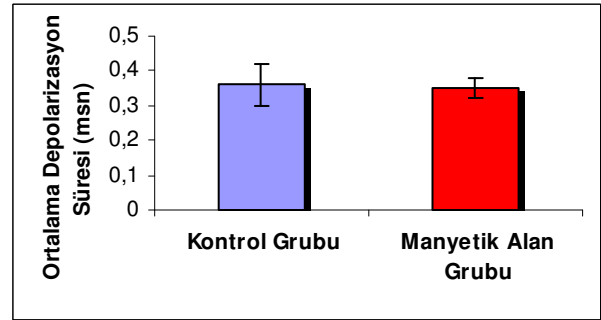
Şekil 7. Maksimum genlikler farkının standart sapma ve ortalama değerleri

Şekil 7’de görüldüğü gibi; kontrol grubunda maksimum genlikler farkı $29,86 \pm 14,54$ mV iken, manyetik alan grubunda ise bu değer $25,66 \pm 16,91$ mV olarak bulunmuştur. Bileşik sinir aksiyon potansiyellerinde maksimum genlikler farkı incelendiğinde; manyetik alan grubunda, kontrol grubuna göre anlamlı bir azalma görülmüştür ($p=0,025$).



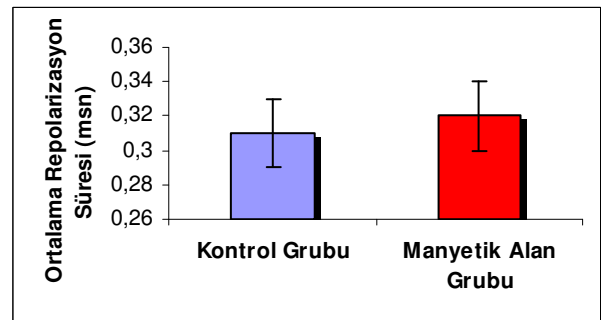
Şekil 8. Minimum genlikler farkının standart sapma ve ortalama değerleri

Şekil 8’de görüldüğü gibi; kontrol grubunda minimum genlikler farkı $18,15 \pm 9,70$ mV iken, manyetik alan grubunda ise bu değer $19,82 \pm 10,28$ mV olarak bulunmuştur. Bileşik sinir aksiyon potansiyellerinde minimum genlikler farkı incelendiğinde; manyetik alan grubunda, kontrol grubuna göre bir artış görülmüştür. Ancak bu artış istatistiksel açıdan anlamlı değildir.



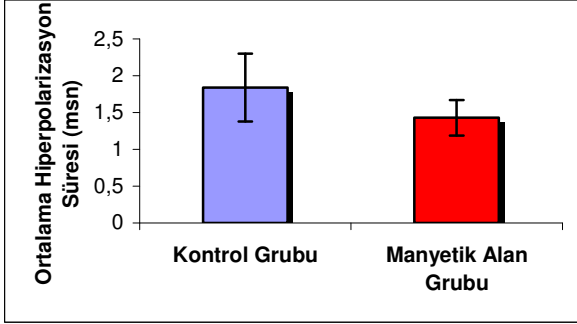
Şekil 9. Ortalama depolarizasyon sürelerinin standart sapma ve ortalama değerleri

Şekil 9’da görüldüğü gibi; kontrol grubunda ortalama depolarizasyon süresi $0,36 \pm 0,06$ msn iken, manyetik alan grubunda ise bu değer $0,35 \pm 0,03$ msn olarak bulunmuştur. Bileşik sinir aksiyon potansiyellerinde ortalama depolarizasyon süresi incelendiğinde; manyetik alan grubunda, kontrol grubuna göre bir azalma görülmüştür. Ancak bu azalma istatistiksel açıdan anlamlı değildir.



Şekil 10. Ortalama repolarizasyon sürelerinin standart sapma ve ortalama değerleri

Şekil 10'da görüldüğü gibi; kontrol grubunda ortalama repolarizasyon süresi $0,31 \pm 0,02$ ms iken, manyetik alan grubunda ise bu değer $0,32 \pm 0,02$ ms olarak bulunmuştur. Bileşik sinir aksiyon potansiyellerinde ortalama repolarizasyon süresi incelendiğinde; manyetik alan grubunda, kontrol grubuna göre bir artış görülmüştür. Ancak bu artış istatistiksel açıdan anlamlı değildir.



Şekil 11. Ortalama hiperpolarizasyon sürelerinin standart sapma ve ortalama değerleri

Şekil 11'de görüldüğü gibi; kontrol grubunda ortalama hiperpolarizasyon süresi $1,84 \pm 0,46$ ms iken, manyetik alan grubunda ise bu değer $1,43 \pm 0,24$ ms olarak bulunmuştur. Bileşik sinir aksiyon potansiyellerinde ortalama hiperpolarizasyon süresi incelendiğinde; manyetik alan grubunda, kontrol grubuna göre anlamlı bir azalma gözlenmiştir ($p=0.025$).

Araştırma sonuçları incelendiğinde genlik farklılığının manyetik alan uygulanan grupta azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç manyetik alanın, doğrudan veya dolaylı yoldan iyon kanallarına zarar verdiği hipotezini doğrulamaktadır. Buna bağlı olarak hücre içi iyon dengesi bozulmuş, yani hücre dışından hücre içerisine patofizyolojik Na^+ ve Ca^{+2} iyon akışları gerçekleşmiş ve sonradan gerçekleşen aksiyon potansiyellerinin genlikleri, kontrol grubuna kıyasla düşük gözlenmiştir (Çizelge 1).

Aksiyon potansiyeli oluşumu sırasında, voltaja duyarlı K^+ kanallarının yavaş kapanması sonucu, hücre içi dinlenme potansiyelinin altında bir değere ulaşır. Bu hiperpolarizasyon döneminden sonra, hücreler istirahat (latent) dönemine geçmektedir. Bu dönemde bozulan iyon dengesi Na^+/K^+ pompası ile, istirahat zar potansiyeli değerlerine getirilmektedir. Fakat manyetik alanlara maruz kalma durumlarında olduğu gibi; voltaja duyarlı Ca^{+2} ve Na^+ kapıları zarar görecektir, hücreye aynı anda katyon akışı olmaktadır. Bu çalışmada; ortalama hiperpolarizasyon süresinin, kontrol grubuna kıyasla daha az düzeyde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bu farklılığın nedeni; VOC (voltage operated channels) ve SOC (store operated channels) kapılarında manyetik alana bağlı bozunmaya bağlı, hücre içerisine katyon akışının artışıyla bağlantılıdır (Çizelge 1).

Sonuç olarak bu çalışma, 50 Hz-1 mT manyetik alan şiddetine maruz bırakılan sıçan siyatik siniri üzerinde ölçülen parametrelerin değişimleri, manyetik alanların insanlar için etkilerinin zararlı olabileceği ve zararlı ancak insanlar tarafından hissedilmeyen alanların belirlenmesinin gerekli olduğu kanaatine ulaşılmıştır.

Kaynaklar

- Canseven, A.G., Coskun, S., Seyhan, N. 2005. Magnetic Fields Have an Effect on Antioxidant Defense System in Heart Tissue. "The 3rd European Medical and Biological Engineering Conference EMBE'05, Prag, Çekoslovakya.
- Canseven, A.G., Seyhan, N., Mirshahidi, S., Imir, T. 2006. Suppression of Natural Killer Cell Activity on Candida Stellatoidea by a 50 Hz Magnetic Field, Electromagnetic, Biology and Medicine; 25(2):79-85.
- Delhez, M., Legros, J. J. 2004. No Influence of 20 and 400 mT, 50 Hz Magnetic Field Exposure on Cognitive Function in Human, Bioelectromagnetic, 25:592-598.
- Graham, C., Cook, M. R. 1999. Human Exposure to 60 Hz Magnetic Field Neurophysiologic Effects, International Journal of Psychophysiology, 33:169-175.
- Ivancsits, S., Diem, E., Jahn, O., Rüdiger, H. W. 2003. Intermittent Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields Cause DNA Damage in a Dose Dependent Way, International Archives of Occupational and Environmental Health, 76(6):431-436.
- Kerna, J.M., Lucchinetti, C. 1992. Electrical Field Effects on Crushed Nerve Regeneration, Experimental Neurology, 117:71-80.
- Mostafa, R.M., Mostafa, Y. M. 2002. Effect of Exposure to Extremely Low Frequency Magnetic Field of 2 G Intensity on Memory and Corticosterone Level in Rat, Physiol Behav, 76:589-595.
- Podd, J., Abbott, J. 2002. Brief Exposure to a 50 Hz, 100 mT Magnetic Field Effect on Reaction Time, Accuracy and Recognition Memory, Bioelectromagnetic, 23: 189-195.
- Seyhan, N., Canseven, A.G. 2006. 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, Electromagnetic Biology and Medicine; 25: 291-305.
- Simko, M., Mattsson, M.O. 2004. Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields as Effectors of Cellular Responses In Vitro: Possible Immune Cell Activation, Journal of Cellular Biochemistry; 93: 83-92.

- Sussman, S. 1995. Exposure Assessment at Extremely Low-Frequencies: Issues, Instrumentation, Modeling and Data, *Radio Science*, 30: 151-159.
- Şeker, S., Çerezci, O. 1993. Elektromanyetik Enerjinin Kullanımında Risk Analizi, *Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Trabzon Cilt 2*, pp:386-391.
- Villa, M., Mustarelli, P., Caprotti, M. 1991. Biological Effects of Magnetic Field, *Life Sciences*, 49:85-92.
- Walleczek, J. 1992. Electromagnetic Effects on Cells of the Immune System: The Role of Calcium Signaling, *FASEB*,6:3177.