

Radyofrekans Işımanın (900 MHz) Kurbağa Siyatik Siniri Üzerine Elektrofizyolojik Etkileri

Electrophysiological Effects of Radiofrequency Radiation (900 MHz) on Frog Sciatic Nerve

Ali AŞKIN¹, Ülkü ÇÖMELEKOĞLU², Yusuf ÇAMLICA¹

¹Mersin Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Anabilim Dalı, Mersin

²Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı, Mersin

Özet

Amaç: Bu çalışmada, 900 MHz radyofrekans ışımının kurbağa (*Rana ridibunda*) siyatik sinir bileşik aksiyon potansiyeli üzerine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: On dört yetişkin kurbağa, her biri 7 hayvandan oluşan iki bağımsız gruba ayrılmıştır. 1. grup kontrol grubu, 2. grup 10 gün süreyle günde 4 saat 900 MHz radyofrekans ışımaya uygulanan deney grubundan oluşmuştur. Kontrol grubu aynı gün ve sürede radyofrekans ışımaya uygulanmadan aynı çevresel koşullarda tutulmuştur. Uygulama süresi sonunda izole siyatik sinirler, 0.5 ms süreli supramaksimal pulslerle uyarılmıştır. Hücre dışı kayıt yöntemi kullanılarak kaydedilen aksiyon potansiyellerinden tepeden tepeye genlik, depolarizasyon süresi, repolarizasyon süresi ve alan ölçülmüştür.

Bulgular: Radyofrekans ışımaya uygulanan gruptaki aksiyon potansiyeli değişkenlerinden genlik ve alan kontrol grubuna göre anlamlı olarak azalmıştır. Depolarizasyon ve repolarizasyon sürelerinde ise anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Sonuç: Bu bulgular mobil telefonlardan yayılan 900 MHz radyofrekans dalgalarının siyatik sinir aksiyon potansiyellerinin genliği ve alanını azalttığını, ancak depolarizasyon ve repolarizasyon sürelerini değiştirmedğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: radyofrekans radyasyon, cep telefonu, aksiyon potansiyeli, siyatik sinir.

Mersin Univ Sağlık Bilim Derg, 2008;1(2);37-41

Geliş Tarihi : 08.04.2008

Kabul Tarihi : 20.06.2008

Yazışma Adresi:

Dr. Ali AŞKIN

Mersin Üniversitesi Biyoloji Bölümü, Çiftlikköy Kampüsü

33342-Mersin

Tel : 324-36100 01 - 4592

Faks : 324-36100 46

E-posta : aliaskin21@yahoo.com

Abstract

Objective: In this study, it was aimed to investigate the compound action potential parameters in isolated sciatic nerve of frog (*Rana ridibunda*) after exposure to 900 MHz radiofrequency radiation.

Methods: Fourteen adult frogs were divided into two independent groups. For each group 7 animals were used. Group 1 included control. Group 2 (radiofrequency exposed group) was exposed to 900 MHz radiofrequency radiation for 4 h/day for 10 days. Control group was kept under the same environmental conditions as the study group except with no radiofrequency radiation exposure. At the end of the study isolated sciatic nerves were stimulated with 0.5 ms supramaximal pulses and action potential parameters as pick to pick amplitude, duration of depolarization and repolarization as well as area were measured with extracellular recording techniques.

Results: In the radiofrequency group, the values of amplitude and area were significantly lower than the values of the control group. However, there were no significant changes in values of the duration of depolarization and repolarization of action potential in the sciatic nerves.

Conclusion: These findings indicate that 900 MHz radiofrequency emitting mobile phones reduced the amplitude and area, but they have no effect on the duration of depolarization and repolarization of action potential in isolated frog nerve.

Key Words: radiofrequency radiation, cellular phone, action potentials, sciatic nerve

Giriş ve Amaç

Çoğu radyo ve televizyon vericileri, radarlar, telsizler, mikrodalga fırınları, cep telefonları ve evlerimizde kullandığımız birçok cihaz yaklaşık olarak 1 MHz ile 10 GHz arasında değişen frekanslarda dalgalar yayarlar. Bu cihazların yaygınlaşması ve çevreye yayılan radyofrekans (RF) dalgalarının insan sağlığı üzerine etkili olabileceği düşüncesi, pek çok araştırmanın konusu olmuştur. Bu dalgaların çevreye yaydığı elektromanyetik alanın biyolojik sistemler ve insanlar üzerine olumsuz etkileri olduğuna dair çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışmalarda RF dalgalarının omurgalı sinir sisteminde tümöre neden olduğu (1-3), nörotransmitter madde salınımını azalttığı (4-7), uyku bozukluklarına yol açtığı (8-10), korteks, hipokampus ve bazal ganglionlarda nöronal hasarları ortaya çıkardığı (11,12) gösterilmiştir. Aynı şekilde EEG (13-15) dalgalarını ve kan basıncını düşürdüğü (16), beyinde ve endometriumda oksidatif strese yol açtığı (17-18), kan beyin bariyerini (19-20) ortadan kaldırdığı bildirilmiştir. Benzer şekilde yüksek RF dalgalarının endokrin (21-22) ve immün sistem (23) üzerine etkileri olabileceğini gösteren çalışmalar yapılmıştır.

RF radyasyonun periferik sinir bileşik aksiyon potansiyelleri üzerine etkileri ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Seaman ve Wachtel'in (24) deniz yumuşakçasında yaptıkları çalışmada 1.5-2.5 GHz RF dalgalarının aksiyon potansiyeli frekansında artışa neden olduğu bildirilmiştir. Chou ve Guy (25) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise 2450 MHz RF dalgalarının bileşik sinir aksiyon potansiyeli genliği ve iletim hızında anlamlı bir değişiklik oluşturmadığı belirtilmiştir. Görüldüğü gibi RF dalgalarının sinir aksiyon potansiyelleri üzerine etkileri ile ilgili çalışmalarda elde edilen sonuçlar tartışmalıdır. Bu çalışmada ülkemizde de çok yaygın olarak kullanılan cep telefonlarının çalışma frekansı olan 900 MHz RF dalgaların *Rana ridibunda* siyatik sinir bileşik aksiyon potansiyeli üzerine etkileri araştırılarak, bu tartışmalara katkı sunulması amaçlanmıştır.

Yöntem

Bu çalışma Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır.

Deney Hayvanları

Deneylerde, ortalama ağırlıkları 45 ± 4.82 gram olan 14 yetişkin su kurbağası (*R. ridibunda*) kullanılmıştır. Bu hayvanlar, ortam koşullarına uyum sağlamaları için 5 gün boyunca laboratuvarında akvaryumda bekletilmişlerdir. Kurbağalar, her biri 7 hayvandan oluşan iki bağımsız gruba ayrılmıştır. 1. grup kontrol grubu, 2. grup deney grubundan oluşmuştur.

Deney Düzenegi ve RF Işıma Uygulaması

Deney düzenegi; LEADER RF sinyal jeneratörü, akvaryum (30 cm uzunluğunda, 15 cm genişliğinde ve 20 cm yüksekliğinde) ve RF alıcısından oluşturulmuştur. RF alıcısı ile akvaryum arasındaki uzaklık 2.5 cm olarak belirlenmiştir. Deney grubundaki hayvanlar günde 4 saat olmak üzere 10 gün boyunca 900 MHz frekans ve 1 mW/cm^2 güç yoğunluğunda RF ışımaya maruz bırakılmıştır. Kontrol grubundaki hayvanlar ise aynı gün ve sürede radyofrekans ışımaya uygulanmadan aynı çevresel koşullarda tutulmuştur.

Aksiyon Potansiyeli Kaydı

RF ışımaya uygulama süresi sonunda, hayvanlar kesilmiş ve bir enjektör iğnesi ile vertebral kolona girilerek medulla spinalis hasar görmüştür. Bu hayvanlar daha sonra diseke edilerek 5-6 cm uzunluğundaki siyatik sinir demetleri çıkarılmış, çevresindeki dokular iyice temizlendikten sonra Ringer çözeltisi (115 mM NaCl, 2.5 mM KCl, 1.8 mM CaCl₂, 2.15 mM Na₂HPO₄ ve 0.95 mM NaH₂PO₄, pH=7.0) içerisine konulmuştur. Bileşik sinir aksiyon potansiyeli değişkenleri hücre dışı kayıt yöntemi kullanılarak ölçülmüştür (26,27). Kayıt ve analiz için bilgisayar donanımlı BIOPAC MP 100 A elektrofizyolojik kayıt sistemi kullanılmıştır. Sinirler Ag-AgCl elektrotlar içeren sinir kutusuna yerleştirilmiş ve 0.5 ms'lik eşik ve supramaksimal pulslarla uyarılmıştır. Bu uyarıya yanıt olarak oluşan bileşik aksiyon potansiyelleri önce amplifikatörle (ERS 100B) yükseltilmiş ve daha sonra (off-line) analiz yapılmak üzere 16 bit A/D çevirici ile sayısal sinyallere çevrilerek bilgisayara aktarılmıştır. Örnekleme hızı 20000 örnek/saniye olarak seçilmiştir.

Kayıtlanan bileşik sinir aksiyon potansiyellerinden genlik, depolarizasyon süresi, repolarizasyon süresi ve alan gibi değişkenler ölçülmüştür. Benzer ölçümler kontrol grubu için de yapılmıştır.

İstatistiksel Analiz

İstatistiksel değerlendirmelerde SPSS v.10.0 yazılımı kullanılmıştır. Veriler ortalama±standart sapma olarak ifade edilmiş ve istatistiksel anlamlılık sınırı $p < 0.05$ olarak belirlenmiştir. Verilerin normal dağılıma uyup uymadıklarını test etmek için Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. Ölçülen değişkenler açısından deney grubu ile kontrol grubu arasında fark olup olmadığı student-t testi ile belirlenmiştir.

Bulgular

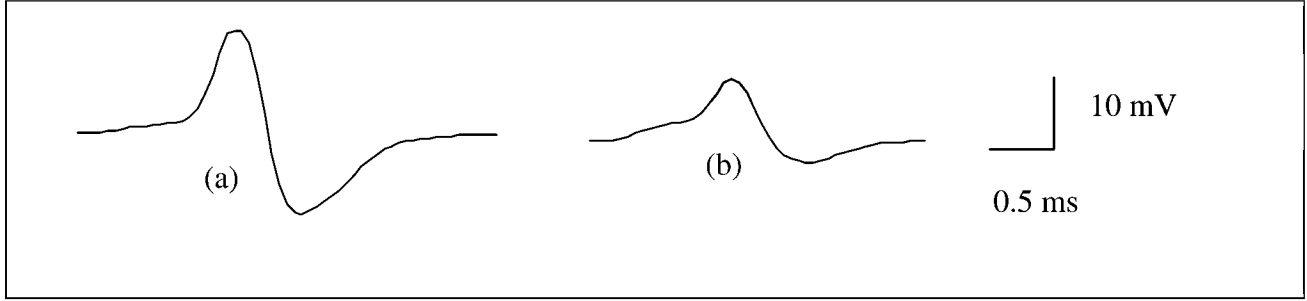
900 MHz RF ışımaya maruz bırakılan *R. ridibunda* siyatik siniri bileşik aksiyon potansiyelinin analizi sonucunda elde edilen genlik, depolarizasyon süresi, repolarizasyon süresi ve alana ait değerler ile kontrol grubundan elde edilen değerler birlikte tablo 1'de verilmiştir. Değerler ortalama±standart sapma şeklinde ifade edilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü gibi RF dalgaların

aksiyon potansiyeli değişkenlerinden genliği ve alanı önemli derecede azalttığı görülmüştür ($p<0.05$). Bunun yanı sıra depolarizasyon ve repolarizasyon süreleri üzerine etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). Şekil 1 deney ve kontrol gruplarından elde edilen bileşik aksiyon potansiyellerini göstermektedir. Kayıtlardan da görüldüğü gibi RF ışıma maruz kalan izole sinirlerde aksiyon potansiyelinin genliği, kontrol gruplarından elde edilen potansiyele göre daha düşüktür.

Tablo 1. 900 MHz RF ışımının izole *R. rididunda* siyatik sinirlerinde bileşik aksiyon potansiyeli değişkenlerine etkisi

Değişkenler	Deney Grubu (n=7)	Kontrol Grubu (n=7)
Genlik (mV)	10.48±2.95*	12.78±1.49
Depolarizasyon süresi (ms)	0.28±0.045	0.20±0.012
Repolarizasyon süresi (ms)	0.30±0.094	0.33±0.08
Alan (.mV ms)	0.0037±0.0004*	0.0056±0.0002

* $p<0.05$



Şekil 1. *R. rididunda* siyatik sinir demetlerinden kaydedilen bileşik sinir aksiyon potansiyelleri. (a) kontrol grubu; (b) deney grubu

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada cep telefonlarının çalışma frekansı olan 900 MHz RF dalgaların kurbağa siyatik siniri bileşik aksiyon potansiyelleri üzerine etkileri incelenmiştir. Sinirlerden kaydedilen bileşik aksiyon potansiyelleri, sinirlerin fonksiyon ve iletim hızının belirlenmesinde, dolayısıyla sinir hastalıklarının tanısında veya sinirlerde oluşan hasarların saptanmasında kullanılabilir.

Milyonlarca insanın sürekli ve kontrolsüz bir şekilde kullandığı cep telefonlarının çalışma frekansları 900 MHz ve 1800 MHz'dir. RF dalgalarının etkilerinin araştırılması çevre ve insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde cep telefonu kullanıcılarının sayısı ve kullanım sürelerinin giderek arttığı bilinmektedir. Sabit bir ücret karşılığında sınırsız konuşma olanakları nedeniyle cep telefonlarıyla gün içerisinde saatlerce konuşulabilmektedir. Konuşma süresi arttıkça cep telefonlarının zararlı etkisinin artabileceği düşüncesinden yola çıkılarak, bu çalışmada 900 MHz RF dalgalarını uygulama süresi günlük 4 saat olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada aksiyon potansiyeli değişkenlerinden genlik, alan, depolarizasyon süresi ve repolarizasyon süresi ölçülmüştür. Aksiyon potansiyeli genliği, alanı, depolarizasyon ve repolarizasyon süresinin ölçülmesi, hücre zarının Na^+ ve K^+ iletkenliği hakkında bilgi verir. Uyarılmış sinir hücrelerinde Na^+ ve K^+ iyonlarının hücre içine giriş ve çıkışları büyük oranda voltaj bağımlı

sodyum ve potasyum kanalları tarafından kontrol edilir. Bileşik aksiyon potansiyellerinde genlik ve alan, birlikte aktif liflerin sayısı ile ilgili bilgi verir (28). Çalışmamızda RF ışıma maruz kalan kurbağalardan elde edilen izole sinirlerin aksiyon potansiyeli genliği ve alanında kontrol grubuna göre anlamlı bir azalma olmuştur. Bu sonuç 900 MHz RF ışımının bazı liflerde hasarlar oluşturarak uyarılabilme özelliklerini ortadan kaldırmış olabileceği şeklinde yorumlanabilir. Depolarizasyon ve repolarizasyon süresinde kontrol grubuna göre anlamlı bir değişiklik olmaması ise, RF ışımının sodyum kanallarının aktivasyon ve inaktivasyon süreleri ile potasyum kanallarının aktivasyon süresini etkilemediği, kısacası kanalların aktivasyon ve inaktivasyon kinetiklerinde herhangi bir değişikliğe yol açmadığını düşündürmektedir. RF ışımının periferik sinir aksiyon potansiyeli üzerine etkilerini inceleyen sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Ancak bu çalışmalarda farklı frekanslarda RF ışımının sinir aksiyon potansiyeli üzerine etkisi incelenmiştir. Chou ve Guy (25) tarafından yapılan bir çalışmada 2450 MHz RF dalgaların izole kurbağa siyatik siniri, izole kedi safenöz siniri ve izole tavşan vagus siniri bileşik aksiyon potansiyeli üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma sonunda incelenen preparatlarda 2450 MHz RF ışımının bileşik sinir aksiyon potansiyeli genliğinde ve iletim hızında anlamlı bir değişikliğe neden olmadığı belirtilmiştir. McRee ve Wachtel (29) tarafından yine kurbağa siyatik sinirinde yapılan bir başka çalışmada

2450 MHz RF ışımının bileşik sinir aksiyon potansiyelinin genliğinde azalmaya ve refrakter periyodunda uzamaya yol açtığı bildirilmiştir. Aksiyon potansiyelinin genliğindeki azalma ile ilgili bulgularımız Mc Ree ve Wachtel'in (29) bulgularıyla uyumludur.

Sonuç olarak 10 gün boyunca günde 4 saat uygulanan 900 MHz RF dalgaların, *R. ridibunda* izole siyatik siniri aksiyon potansiyeli değişkenlerinden genliği ve alanı önemli derecede azalttığı görülmüştür. Bu da cep telefonu çalışma frekansına karşılık gelen RF dalgaların periferik sinirlerde aksonal hasarlara yol açabileceği şeklinde yorumlanabilir. Elde edilen bu sonucun insan sağlığındaki önemi açısından daha sonraki çalışmalara katkı sunacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

1. Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, McMurray A, Stagg RB, Zimmermann G, Phillips JI, Haggren W. Spontaneous and nitosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat Res* 1999;152:293-302.
2. Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, Kuster N, McMurray A, Stag RB, Zimmermann G. Spontaneous and nitosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequency-modulated microwave fields. *Cancer Res* 2000;60:1857-63.
3. Zook BC, Simmens SJ. The effects of 860 MHz radiofrequency radiations on the induction or promotion of brain tumors and other neoplasms in rats. *Radiat Res* 2001;155:572-83.
4. Lai H, Carino MA, Horita A, Guy AW. Low-level microwave irradiation affects central cholinergic activity in the rat. *J Neurochem* 1987;48: 40-5.
5. Modak AT, Stavinoha WB, Dean UP. Effect of short electromagnetic pulsus on brain acetylcholine content and spontaneous motoric activity in mice. *Bioelectromagnetics* 1981;2:89-92.
6. Mausset AI, Seze RD, Montpeyroux F, Privat A. Effect of radiofrequency exposure on the GABAergic system in the rat cerebellum clues from semi-quantitative immunohistochemistry. *Brain Res* 2001;912:33-46.
7. Lai H, Carino MA, Horita A, Guy AW. Low-level microwave irradiation and central cholinergic system. *Pharmacol Biochem Behav* 1989;33:131-8.
8. Mann K, Röschke J. Effect of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996;33:41-7.
9. Reite M, Higgs L, Lebet JP, Barbault A, Rossel C, Kuster N, Dafni U, Amato D, Pascha B. Sleep inducing effect of low energy emission therapy. *Bioelectromagnetics* 1994;15:67-75.
10. Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C. Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: A polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 1998;19:199-202.
11. Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL, Malmgren L, Persson BRR. Nerv cell damage in mammalian brain after exposure to microwave from GSM mobile phones. *Environ Health Perspect* 2003;111:881-3.
12. Mausset-Bonnefont AL, Hirbec H, Bonnefont X, Privat A, Vignon J, Seze RD. Acute exposure to GSM 900 MHz electromagnetic fields induces glial reactivity and biochemical modifications in the rat brain. *Neurobiol Dis* 2004;17:445-54.
13. Thuroczy G, Kubinyi G, Bodo M, Bakos J, Szabo LD. Simultaneous response of brain electrical activity (EEG) and cerebral circulation (REG) to microwave exposure in rats. *Rev Environ Health* 1994;10:135-48.
14. Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T. Mobil phones modulate response patterns of human brain activity. *NeuroReport* 1998;9:3229-32.
15. Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M Hamalainen H. Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *NeuroReport* 2000;11:1-4.
16. Braune S, Riedel A, Schulte MJ, Raczek J. Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat Res* 2002;158:352-6.
17. Meral I, Mert H, Mert N, 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.
18. Guney M, Ozguner F, Oral B, Karahan N, Mungan T. 900 MHz radiofrequency-induced histopathologic changes and oxidative stress in rat endometrium: protection by vitamins E and C. *Toxicol Ind Health*. 2007;23(7):411-20.
19. Leszczynski D, Joenvaara S, Reivinen J, Kuokka R. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: molecular mechanism for cancer and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 2002;120:2-3.

-
20. Salford LG, Brun A, Sturesson K, Eberhardt JL, Persson BRR. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. *Microc Res Tech* 1994;27:535-42.
 21. Selmaoui B, Lambrozo J, Touitou Y. Endocrine functions in young men exposed for one night to 50 Hz magnetic field. A circadian study of pituitary, thyroid and adrenocortical hormones. *Life Sci* 1997;61:473-86.
 22. Koyu A, Cesur G, Ozguner F, Akdogan M, Mollaoglu H, Ozen S. Effects of 900 MHz electromagnetic field on serum TSH and T3-T4 hormones in rats. *Toxicology Let* 2005;157:257-62.
 23. Walieczek J. Electromagnetic field effects on the cell of the immune system. *FASEB J* 1992;6:3177-85.
 24. Seaman RL, Wachtel H. Slow and rapid responses to CW and pulsed microwave radiation by individual *Aplysia* pacemakers. *J Microwave Power* 1978;13:77-86.
 25. Chou CK, Guy AW. Effects of electromagnetic fields on isolated nerve and muscle preparation. *IEEE Trans Microw Theory Tech* 1978;26:141-147.
 26. Andrew BL. Experimental physiology. Churchill Livingstone, London, 1972.
 27. Katz B. Nerve, muscle and synapse. McGraw Hill Book Company, New York, 1966.
 28. Daube JR. Alteration of wave forms and artefacts. In Daube JR, Ed., Clinical neurophysiology. Philadelphia, FA Davis, 1996:65-8.
 29. McRee DI, Wachtel H. The effects of microwave radiation on the vitality of isolated frog sciatic nerves. *Radiat Res* 1980;82:536-46.