

Noniyonizan Elektromanyetik Alanların Biyolojik Etkileri

BIOLOGICAL EFFECTS OF NON-IONIZING ELECTROMAGNETIC FIELDS

Metin GÜDEN*, Cüneyt ULUTİN*, Yücel PAK**

* Yrd.Doç.Dr., GATA Radyasyon Onkolojisi AD,

** Prof.Dr., GATA Radyasyon Onkolojisi AD, ANKARA

Özet

Elektromanyetik ışınlar iyonizan ve non iyonizan diye ikiye ayrılır. İyonizan ışınların karsinojen etkilerinin olduğu bilinir. Ancak non iyonizan ışınlar günümüzde çok yaygın kullanılmasına rağmen karsinojen olup olmadığı tartışmalıdır.

Elektromanyetik radyasyonların biyolojik özellikleri çok farklı olduğu gibi fizik özellikleri de farklı olup kullanılan ölçüm birimleri ve ölçümler çok farklılık göstermektedirler.

Bir dokunun yada vücudun maruz kaldığı elektro magnetik alana specific absorption ratio (SAR) ya da özgül emilim oranı adı verilir.

Radyofrekans alanları, özellikle mikrodalga (300 MHz-300 GHz) hem uygulama sahası hem de sağlık üzerine etkileri nedeniyle elektromanyetik spektrumun önemli bir bölümünü oluşturur. Bu iyonize olmayan radyasyon uzun dalga boyuna ve düşük frekansa sahiptir. Bu da iletken maddelerde ısınmaya neden olacak enerjiyi ortaya çıkarabilir.

Bir çalışma hariç çoğunluğunda elektromagnetik alanın kanser oluşturduğuna dair veri yoktur. Ancak olumsuz biyolojik değişiklikler yaptığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektromanyetik radyasyon, Biyolojik etki

T Klin Tıp Bilimleri 2001, 21:441-444

Summary

Electromagnetic waves can be separated two groups as ionizing and non ionizing. Although non ionizing waves are used widely, it is controversial that whether they are carcinogenic or not.

Biologic character of electromagnetic radiation varies widely as though physical characteristic, and measurement units and measurement types demonstrates too many differences.

Exposure of electromagnetic field to a tissue or a body is called as specific absorption ratio (SAR).

Radiofrequency fields, especially microwaves (300MHz-300GHz) are made up of the important part of electromagnetic spectrum due to both application area and health. This non ionizing radiation has long wave length and low frequency. This may lead the emitting of energy which causes heating of conductor matters. Except one trial, there is no datum about cancerogenic effect of unwanted biologic changes were demonstrated.

Key Words: Electromagnetic radiation, Biological effect

T Klin J Med Sci 2001, 21:441-444

Radyasyon, atomlardan enerji salınması olarak tanımlanabilir. Bu salınma ya elektromanyetik titreşimler veya partiküller şeklindedir. Elektromanyetik titreşimler dalga boylarına göre radyo dalgaları infrared (kızıl ötesi), görülebilen ışık, ultraviyole (mor ötesi) X ve gama ışını ve kozmik ışın adını alırlar. Alfa ve beta ışınları ise partiküller radyasyon örnekleridir.

Elektromanyetik ışınlar iyonizan ve non iyonizan diye ikiye ayrılır. İyonizan ışınların karsinojen etkilerinin olduğu bilinir (1). Ancak non iyonizan ışınlar

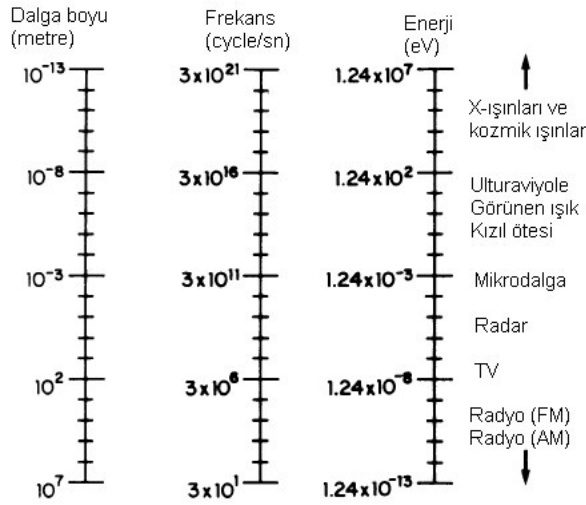
Geliş Tarihi: 03.01.2001

Yazışma Adresi: Dr.Metin GÜDEN
GATA Radyasyon Onkolojisi AD
06018 Etlik, ANKARA

T Klin J Med Sci 2001, 21

günümüzde çok yaygın kullanılmasına rağmen karsinojen olup olmadığı tartışmalıdır.

Noniyonize olan radyasyonlar elektromanyetik radyasyon olarak dalga boyu 10^{-7} metre'ye eşit veya daha yukarı olanlardır. Farklı iyonize olmayan radyasyonlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Burada da görüldüğü gibi foton enerjisi ile dalga boyları ve frekansları da iç içe girmiş durumdadır. Non iyonize radyasyonların foton enerjileri 12 elektron volt'tan daha düşük olup iyonize radyasyonun sınırı olarak kabul edilir. Bu enerji, moleküllerin iyonizasyonunu indüklemek için çok düşük olup aynı zamanda kimyasal bağların kırılması için de çok zayıftır. Elektromanyetik radyasyonların biyolojik özellikleri çok farklı olduğu gibi fizik özellikleri de farklı olup kullanılan ölçüm birimleri ve ölçümler çok farklılık göstermektedirler. Tüm iyonize olmayan elektro manyetik alanlar ya da dal-



Şekil 1. Radyasyonun dalga boyu, frekans, enerji düzeyine göre sınıflandırılması.

galar için doz eşitliği veya emiliş doz (absorb doz) gibi terimler yoktur. Yüksek frekanslı elektromanyetik alanlar alan kuvveti terimleri ile ölçülür ve E ile gösterilir. Bunun eşiti Volt bölü metre (V/m) dir. Bazense manyetik alan kuvveti olarak H ile gösterilir ve amper/metre (A/m) olarak ifade edilir. Bir dokunun yada vücudun maruz kaldığı elektromagnetik alana “specific absorption ratio” (SAR) ya da özgül emilim oranı adı verilir. Bu vücuda verilmiş olan enerjinin değerlendirmesini bir birim zamana karşı bir birim kütle olarak verir ve watt bölü kilogram (W/kg) olarak ifade edilir. Biyolojik maddelerde sadece elektrik alanlar enerji emilimine katkıda bulunurlar. Bu özgül veya özel emilim alanı aşağıdaki formülle ifade edilir(2).

$$SAR = |E|^2 \sigma / \rho$$

Bu formülde σ ortamın elektrik iletkenliğini gösterir. ρ de ortamın yoğunluğunu ifade eder ve kg/m^3 olarak ifade edilir. SAR bu şekilde yukarıdaki eşitlikten hesap edilir yada ölçülür. (Isı ölçümü, cisimdeki veya objedeki maruz kalmayla artmaktadır.) Ancak dozimetri hala çok karmaşık bir görev olarak varlığını sürdürmektedir ve farklı dokuların farklı elektrik özellikleri bunda önemli rol oynar. SAR radyasyon kaynağına ve konfigürasyona bağlı olarak vücutun maruz kalımını gösterir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta biyolojik ortamın absorpsiyon mekanizmaları olmasa da ikincil olarak indüklenen elektrik akımlarına bağlı olarak manyetik alanlar veya manyetik alanın değişiminin etkinliğidir. Bu durumda yakın alana maruz kalma mümkün olabilir ki burada da kaynağın antenine yakın olma etkin olmaktadır. Uzak alanlarda ise yüksek frekanslı elektromanyetik alanların ölçümü gücün yoğunluğu ile doğru orantılı olarak yapılır ve watt bölü metrekare (W/m^2) olarak ifade edilirler.

Radyofrekans alanları, özellikle mikrodalga (300 MHz-300 GHz) hem uygulama sahası hem de sağlık üzeri-

ne etkileri nedeniyle elektromanyetik spektrumun önemli bir bölümünü oluşturur. Bu iyonize olmayan radyasyon uzun dalga boyuna ve düşük frekansa sahiptir. Bu da iletken maddelerde ısınmaya neden olabilecek enerjiyi ortaya çıkarabilir (2). Termal regülasyon fonksiyonları yetersiz olan bireylerde bazen iletken madde ile yakın ilişki olduğunda yüksek frekans alanlarında oluşan termal etkiye bağlı olarak katarakt gibi hasarlanmalar ortaya çıkabilir (3,4). Ancak bu tip etkiler hayvan deneylerinden de bilindiği için gerekli önlemler alınıp, belirgin bir sağlık problemi yaratması önlenir. Fakat düşük düzeyde düşük frekans alanlarına maruz kalmanın sağlık problemlerine yol açabileceği tartışmaya açıktır. Mikrodalga fırınların (2450 MHz), radar cihazlarının, telsiz iletişiminin (ör. mobil telefonlar) etkileri üzerinde son on yıldır yoğun tartışmalar sürmektedir. Hızla popülerlik kazanan mobil telefonlar da farklı sistemler kullansalar da bu tartışmanın dışında tutulamazlar. Avrupada sıklıkla kullanılan TDMA (Time Division Multiple Access) tekniğinde ülkemizde de bulunan GSM sistemi (Global Sistem For Mobil Cominucation) kullanılmaktadır. Bu servisler için belirlenmiş taşıyıcı frekans bantları 800- 900 MHz ve 1.8-2.2 GHz spektrumunda yer alır (2). Cep telefonlarının arama ya da aranma hallerinde antenin başa yakın tutulması sonucu moleküler ya da hücresel düzeyde harabiyet oluşturabilir genel kanısı hakimdir. Öyle ki bazı araştırmacılar baş tarafından emilen mikrodalga enerjisinin beyinde sıcak nokta oluşturduğunu ifade ederler (5,6). Bunun sonucunda gözde hasarlanma, baş ağrısı ve kanserin potansiyel biyolojik etkiler olarak gözlenebileceği ileri sürülmektedir (7). Oysa ki cep telefonlarından kaynaklanabilecek yegane kanıtlanmış etki bunların kalp pillerinin işleyişini bozmasıdır (8).

Lebovitz ve arkadaşları erişkin rat'ları 1.3GHz mikrodalgaya maruz bırakmışlar ($SAR=9W/kg$) ve erkek üretim organlarında hiçbir fonksiyon değişikliği bulmamışlar. Sadece rektal ısıda $4.5 C^{\circ}$ artış tespit etmişler (9). Berman ve arkadaşları yine erişkin rat'ları 2.45 GHz mikrodalgaya ($SAR= 5.6W/kg$) dört haftadan fazla ve günde 8 saat maruz bırakmışlar üremede geçici azalma, rektal ısıda $41^{\circ}C$ 'ye kadar yükselme ve testiste $37^{\circ}C$ 'ye kadar sıcaklıkta artma tespit etmişlerdir (10).

Epidemiyolojik çalışmalar genellikle laboratuvar çalışmalarının aksine daha uzun sürer ve daha önceden maruz kalmaya bağlı etkileri gösterebilir. Cep telefonlarının biyolojik etkileri son yıllarda gündeme girdiğinden şu ana kadar yayınlanmış veri yoktur. Ancak radarla çalışanlarda veya askeri bölgede görev alanlarda yapılmış epidemiyolojik çalışmalar mevcuttur (7,11,12). Fakat bu çalışmalarda yetersiz ve yanlış veri toplanması yapılmıştır. Bir başka çalışmada Moskova'daki ABD elçiliğinde radyofrekans (RF) dalgalarına maruz kalan personel üzerinde yapılan incelemelerde kanser yapıcı etkiler tespit edilememiştir (13). Fransa ve Kanada'da iki ayrı santralde elektromanyetik alana maruz kalan çalışanlar arasında yapılan araştırmada Kanada'daki tesiste çalışanlarda akciğer kanseri insidasında belirgin farklılıklar tespit edilmiş, ancak Fransa'daki

tesislerde çalışanlarda bu etki izlenmemiştir (14). Ancak iki merkez arasındaki farklılık bu sonucu çelişkiye düşürmektedir. Robinette ve arkadaşları 1950-54 yılları arasında Kore savaşında görev yapmış deniz kuvvetleri personellerinden (Toplam 228 bin kişi) RF'ye maruz kalanlarda solunum sistemi kanseri insidansının arttığını rapor etmiştir (15). Ancak araştırma dizaynında sigara kullanımının etkileri göz ardı edilmiştir. Polanya'da 1971-1985 yılları arasında RF ve mikrodalgaya (Mw) maruz kalan toplam 128 bin askeri personel arasında yapılan incelemede, kronik myelositer lösemi, akut myelositer lösemi ve Non-Hodgkin lenfoma oluşumunun daha sık gözlemlendiği bildirilmiştir (16). Fakat bu çalışmada da maruz kalınan doz, süre ve diğer kansorejen maddelere maruz kalma faktörleri değerlendirilmeye katılmamıştır. Zagreb hava alanında çalışan 49 radar operatörü ve 46 telsiz operatörü 18 aylık zaman aralıklarıyla sağlık kontrolünden geçirilmiş ve sonuçta hematolojik ve oftalmolojik sağlık sorunlarında artış izlenmiş ama kanser insidansında herhangi bir artış izlenmemiştir (17). Epidemiyolojik çalışmaların çoğunda farklı moddaki ve farklı frekanstaki maruz kalma durumları aynı kategoriye alınmıştır. Sınırlı düzeydeki bu epidemiyolojik bulguları birleştirip elektromanyetik alanın kesin kanser etkeni olduğunu söylemek mümkün değildir. Bu yüzden invitro ve invivo çalışmalarının sonuçları önem kazanmaktadır.

Invitro çalışmalarda Stodolink, lenfositleri test tüpünde 3-5 gün süre ile mikrodalgaya maruz bırakarak lenfoblastoid transformasyon oluştuğunu ve bunun ısıdan bağımsız olduğunu göstermiştir (18). Hepatoma, insan melanom ve fare fibroblast hücre dizinlerine SAR =3 Watt/kg olacak şekilde uygulanan Mw etkisinde hücre içi ornitin dekarboksilaz düzeylerindeki artış, kimyasal ajanlara maruz kalındığından daha düşük olarak bulunmuştur (19-21).

McRee ve arkadaşları fareleri 2.4 GHz mikrodalgaya günde 8 saat maruz bırakmış ve bunu 28 gün uygulamış. Farelerin kemik iliği hücrelerinde sister kromatid değişikliklerini araştırmışlar ve hiçbir etki tespit edememişlerdir (22).

Manikowska ve arkadaşları erkek farelere 9.4 GHz (1-100W/m²) Mikrodalgayı günde bir saat olmak üzere değişik SAR oranlarında uygulamışlar ve sonuçta bu farelerin üretim sistemlerini incelemişler; sonuç olarak SAR ile doğru orantılı olarak spermatozoid kromozomlarında sapmalar tespit etmişlerdir (23).

C3H10T1/2 hücre dizinine SAR=0.1-4.4 W/Kg Mw ve takiben X-ışını uygulandığında hücre transformasyonunda artış izlenmiştir (24-26). Ancak bu çalışmalar arasında çelişki mevcut olması yanında bu hücre dizininde kromozomal anormallik olması ve x ışınının (iyonizan radyasyon) bu etkiyi indüklemeye ihtimali verilerin güvenilirliğini azaltmaktadır. Diğer çalışmalarda gözlenen hücre içi ODC düzeyindeki artış tümör gelişimi lehine yorumlanabilir (19,20). Ancak bütün tümör promotörleri ODC düzeyinde artışa sebep olur. Unutulmaması gereken bir diğer nokta da tümör promosyonunun var olan tümör hücrelerinde etki

göstermesi, ancak tümör oluşturmadığıdır. Bu bilgilerin ışığında invitro çalışmalarla elektromanyetik dalgaların kanser oluşturduğunu söylemek mümkün değildir.

İn vivo çalışmalarda Fisher ve arkadaşları rat glioma hücreleri enjekte edilmiş Fisher 344 ratlarına 3 hafta süreyle 915 MHz frekansında RF uygulamış ve kontrol grubu ile karşılaştırıldığında histopatolojik olarak tümör progresyonunda farklılık saptamamışlardır (27). Farelerde 2.54 GHz-9.27 GHz frekanslarında RF ve Mw uygulaması sonrasında bir çalışmada lökoz izlenirken (28), diğer iki çalışmada (29,30) beyaz kürelerde bir değişiklik izlenmemiştir. Lökoz izlenen çalışmanın dizaynındaki hatalarda yoğun şekilde eleştirilmiştir (2). Yine 2.45 GHz frekansında 5 aylık süre ile elektromanyetik dalgalara maruz bırakılan farelerde dimetilhidrazin enjeksiyonu ile kolon kanseri indüklemeye çalışılmış ancak başarılı olunamamıştır (31). Aynı frekansta Mw'ye maruz bırakılan farelere ise B16 melanoma hücreleri enjekte edilmiş ve kontrol grubu ile yapılan kıyaslamada, Mw'nin malign melanoma gelişimine ve ortalama sağ kalıma etkisi olmadığı gösterilmiştir (32). Ancak 900 MHz RF uygulanan başka bir çalışmada lenfoma insidansı kontrol grubuna göre anlamlı olarak yüksek bulunmuştur (33). Bu çalışmanın da spesifitesi düşüktür.

Yukarıda bahsedilen çalışmalarda, sonucunu hariç çoğunluğunda elektromanyetik alanın kanser oluşturduğuna dair veri yoktur. Ancak B hücreli lenfoma sıklığının artışı göz ardı edilmemeli ve bu yönde ilgili çalışmalar derinleştirilmelidir (33).

Sonuç

Bugün için RF alanlarının ve Mw yayın cihazların kullanımının insan sağlığına zararlı olduğu aşikar değildir. Cep telefonlarının potansiyel sağlık etkilerine özellikle de uzun süreli etkilerine ait veriler mevcut değildir. Fakat mevcut verilerin ışığında kanser oluşumunda etkili olduğunu da söylemek mümkün değildir. Bu yüzden kati sonuç belirtmek için iyi dizayn edilmiş, uzun soluklu çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

1. Verschaeve L, Maes A. Genetic, carcinogenic and teratogenic effects of radio frequency fields. *Mutation Research* 1998; 410:141-65.
2. Cleary SF, Pasternack BS, Beebe GW. Cataract incidence in radar workers. *Arch. Environ Health* 1965; 11:179-82.
3. Hollows FC, Douglas JB. Microwave cataract in radiolinenmen and controls. *Lancet* 1984; 11:406-7.
4. Martens L, De Moerloose J, De Zutter D. Calculation of the electromagnetic fields induced in the head of an operator of a cordless telephone. *Radio Sci* 1995; 30:283-90.
5. Guy AW. The starting point: wireless technology research, L.L.C.'s dosimetry risk evaluation research, *Hum.Ecol.Risk Assess* 1997; 3:25-50.
6. Bergqvist U. Review of epidemiological studies, In: Kuster N, Balzono Q, Lin JC, eds. *Mobil Comunication Safety*, Chapman and Hall, London. 1997: 147-70.

7. Bassen HI. RF interference of medical devices, In: Kuster N., Balzano Q., Lin JC, eds. Mobil Cominucation Safety, Chapman and Hall, London. 1997: 13-67.
8. Lebovitz RM, Johnson L. Acute, whole body microwave exposure and testicular function of rats. *Bioelektromagnetics* 1987; 8:37-46.
9. Berman E, Carter HB, House D. Tests for mutagenesis and reproduction in male rats exposed to 2.45 GHz (CW) mikrowaves. *Bioelektromagnetics* 1980; 1:65-76.
10. Hall EJ. Principles of Carcinogenesis: Physical. In *Cancer Pirnciples and Practice of Oncology* (Eds) DeVita VT, Hellman S, Rosenberg SA. 4th ed. Philedelphia: JB Lippincott Company, 1993: 217-9.
11. Rothman KJ, Luoghlın JE, Funch DP, Dreyer NA. Overall mortality of cellular telephone customers, *Epidemiology* 1996; 7:303-5.
12. Verschaeve L. Can non-ionising radiation induce cancer? *Cancer J* 1995; 8:237-49.
13. Lilienfield AM, Tonascia J, Tonascia S, et al. Evaluation of health status of foreign service and other employees from selected Eastern European posts. Final report to U.S. Department of State. Baltimore: Johns Hopkins School of Public Health, Departmant of Epidemiology 1978.
14. Armstong B, Theriault G, Guenel P, et al. Asociation between exposure to pulsed electromagnetic fields and cancer in electric utility workers in Quebec, Canada, and France, *Am J Epidemiol* 1994; 140:805-20.
15. Robinette CD, Silverman C, Jablon S. Effect upon health of occupational exposure to microwave radiation (radar). *Am J Epidemiol* 1980; 112: 39-53.
16. Szmigileski S. Cancer morbidity in subjects occupationally exposed to high frequency (radiofrequency and microwave) electromagnetic radiation. *Sci Total Environ* 1996; 180:9-17.
17. Goldoni J, Durek M, Koren Z. Health status of personnel occupationally exposed to radiowaves. *Arh Hig Rada Toksikol* 1993; 44:323-8.
18. Stodolnik-Baranska W. Microwave-induced lymphoblastoid transformation of human lymphocytes in vitro. *Nature* 1967; 214:102-3.
19. Byus CV, Kartun K, Pieper S, Adey WR. Increased ornithine decarboxylase activity in cultured cells exposed to low energy modulated microwave fields and phorbol ester tumuor promoters. *Cancer Res* 1988; 48:4222-26.
20. Panafiel LM, Litovitz T, Krause D, et al. Role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:132-41.
21. Karause D, Brent JA, Mullins JM, et al. Enhancement of ornithine decarboxylase activity in L929 cells by amplitude modulated microwaves. In: *Abstarcts*, 12 th. Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society, San Antonio, Texas. 1990: 94.
22. McRee DI, Mac Nichols G, Livingston GK. Incidence of sister chromatid exchange in bone marrow cells of the mouse following microwave exposure, *Radiat. Res* 1981; 85:340-8.
23. Manikowska E, Luciani JM, Servantie B, Czarski P, Obernovitch J, Stahl A. Effect of 9.4 GHz. microwave exposure on meiosis. *Experientia* 1979; 35:388-90.
24. Balcer-Kubiczek EK, Horrison GH. Evidence for microwavecarcinogenecity in vitro. *Carcinogenesis* 1985; 6:859-64.
25. Balcer-Kubiczek EK, Horrison GH. Induction of neoplastic transformation in C3H/10T1/2 cells by 2.45 GHz microwaves and phorbol ester. *Radiat Res* 1989; 117:531-7.
26. Balcer-Kubiczek EK, Horrison GH. Neoplastic transformation of C3H/10T1/2 cells following exposure to 120 Hz modulated, 2.45 GHz microwaves and phorbol ester tumour promoter, *Radiat Res* 1991; 126:65-72.
27. Salford LG, Brun A, Persson BBR, et al. Experimental studies of brain tumour development during exposure to continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectrochem Bioenerget* 1993; 30:313-8.
28. Prausnitz S, Susskind C. Effects of chronic microwave irradiation on mice. *IRE Trans Biomed Electron* 1962; 9:104-8.
29. Spalding JF, Freyman RW, Holland LM. Effects of 800 MHz electromagnetic radiation on body weight, activity, hematopoiesis and life span in mice. *Health Phys* 1971; 20:421-4.
30. Skidmode WD, Baum SJ. Biological effect in rodents exposed to 108 pulses of electromagnetic radiation. *Health Phys* 1974; 26:391-8.
31. Wu R, Chiang YH, Shao BJ, et al. Effects of 2.45 GHz microwave radiation and phorbol ester 12-Otetradeca-noylphorbol-13-acetate or dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice. *Bioelectromagnetics* 1994; 15:531-8.
32. Santini R, Honsi M, Deschaux P, Pacheco H. B16 melanoma development in black mice exposed to low level microwave radiation. *Biomagnetics* 1982; 3:179-91.
33. Repacholi MH, Basten A, Gebski V, et al. Lymphomas in EU-Pim1 transgenicmice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetics fields. *Radiation Res* 1997; 147:631-40.