



## The Effects of Radiofrequency and Low Frequency Electromagnetic Fields on the Immune System

Mustafa Emre<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Biophysics, Faculty of Medicine, Cukurova Universtiy, Saricam, Adana, Turkey.

### Abstract

Radiofrequency electromagnetic field (RF-EMA) and low frequency electromagnetic fields (ELF-EMA) are generated by man-made sources. There is a growing concern about the increased public awareness of the impacts of exposure to these electromagnetic fields on human health and the possible negative impacts. In particular, man-made electromagnetic fields distort the natural magnetic field balance of the human body. Electromagnetic waves in the radiofrequency (3kHz-300GHz) area; mobile phones, base stations, wireless communication, radio frequency identification systems, medical and industrial applications, radio and television broadcasting etc. Immunological studies show that RF-EMA and ELF-EMA can interact with cells and tissues and generate numerous anti-inflammatory. A number of studies have been conducted to date on the effects of RF-EMA and ELF-EMA on the cells of our immune system. However, contradictory and inconsistent findings have been obtained in the studies about mobile phones. Despite the wide range of studies on this subject, there is no universally accepted standard hypothesis in research in this field. In this review, examples that emphasize the positive and negative findings of EMA related to the immune system are compiled and presented.

**Key words:** *Electromagnetic fields, immune cells, immune functions*

**\*Corresponding Author:** Mustafa Emre, Department of Biophysics, Faculty of Medicine, Cukurova Universtiy, Saricam, Adana, Turkey. **Phone:** +0 3223386060 **E-mail:** memre@cu.edu.tr **Received:** Sep, 2018. **Accepted:** Dec, 2018.

*This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/bync/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.*



## Radyofrekans ve düşük frekanslı elektromanyetik alanların bağışıklık sistemine etkileri

### Özet

Radyofrekans elektromanyetik alan (RF-EMA) ve düşük frekanslı elektromanyetik alanlar (ELF-EMA) insan yapımı kaynaklar tarafından oluşturulmaktadır. Bu elektromanyetik alanlara maruz kalmanın insan sağlığına etkileri konusunda kamuoyunda duyarlılığının artmış olması ve olası olumsuz etkileri konusunda giderek artan bir endişe söz konusudur. Özellikle insan yapımı elektromanyetik alanlar, insan vücudunun doğal yoldan var olan manyetik alan dengesini bozmaktadır. Radyofrekans (3kHz-300GHz) bölgesinde bulunan elektromanyetik dalgalar; cep telefonları, baz istasyonları, kablosuz iletişim, radyo frekans tanımlama sistemleri, medikal ve endüstriyel uygulamalar, radyo ve televizyon yayınlarında v.s. kullanılmaktadır. İmmünolojik çalışmalar, RF-EMA ve ELF-EMA'nin, hücreler ve dokularla etkileşebildiğini ve çok sayıda anti-enflamatuar oluşturduğunu göstermektedir. Her ne kadar RF-EMA ve ELF-EMA'nin bağışıklık sistemimizin hücreleri üzerindeki etkileri ile ilgili bugüne kadar çok sayıda çalışma yapılsa da cep telefonlarıyla ilgili bu güne kadar yapılan çalışmalarda çelişkili ve tutarsız bulgular elde edilmiştir. Konu ile ilgili çalışmaların genişliğine rağmen, bu alandaki araştırmalarda evrensel olarak kabul edilmiş standart bir hipotez yoktur. Bu derlemede, EMA'nın immün sistemle ilgili olumlu ve olumsuz bulguları en iyi vurgulayan örnekler derlenip sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** *Elektromanyetik alanlar, bağışıklık hücreleri, bağışıklık fonksiyonları*

### Giriş

Elektrik ve manyetik alanların bir araya gelmesiyle oluşan elektromanyetik alan (EMA)'ların bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerini derlemeye geçmeden önce, EMA konusu ile ilgili kısaca bilgi verilmesi faydalı olacaktır. Dünyamız, güneş ve uzayın derinliklerinden kaynaklanan EMA'lara maruz kalmanın yanı sıra insan kaynaklı EMA'larada maruz kalmaktadır. Atmosfer, iyonosfer ve magnetosfer gibi katmanlar, güneş ve uzayın derinliklerinden kaynaklanan radyasyonlara karşı bariyerler oluşturup dünyayı doğal olarak korumaktadır. Dünya aynı zamanda statik bir manyetik alan kaynağıdır. Dünya yüzeyindeki doğal manyetik alanın büyüklüğü ekvator ve kutuplarda farklı olmak üzere 25-65  $\mu$ T (0.25 ila 0.65 gauss) arasında değişmektedir (1). Bu durum göz önüne alındığında, yer yeryüzünde yaşayan canlılar için bir elektromanyetik denge söz konusudur. Elektrik güç hatlarından gelen sinyaller, cep telefonları, baz istasyonları ve kablosuz iletişimden kaynaklanan her türlü elektromanyetik alanlar bu dengeyi canlılar aleyhine bozma olasılığı oldukça yüksektir. Benze şekilde, uzaya gönderilen astronotlarda görülen ve haftalarca süren adale ağrısı, eklem ağrısı, yorgunluk, baş ağrısı ve baş dönmesi gibi rahatsızlıkların nedeni bu dengenin bozulmasıyla izah edilebilir.

Elektromanyetik spektrumun 10 kHz–300 GHz frekans aralığında çalışan sistemlere; radyo, televizyon, telsiz sistemleri, radar sistemleri, uydu haberleşme sistemleri, mikrodalga fırınlar, tıpta ve sanayide RF frekanslarda çalışan sistemler ve cep telefonları gibi her türlü kablosuz iletişim sistemleri örnek olarak verilebilir.

Kullanıcı sayısında giderek hızlı bir artış gösteren cep telefonlarının yaygın kullanımı ve EMA maruziyetinin karsinojenik veya ko-karsinojenik etkileri üzerine yazılan raporlarda RF-EMR'nın olası immünotoksitesitesi ile ilgili endişeler dile getirilmiştir (2,3).

Bilindiği gibi, immün sistem; vücudumuzu dışarıdan (enfeksiyon, toksik vb.) ve içeriden (kanser vb.) gelecek tüm zararlı etkenlere karşı koruyan ve onları yok eden hücreler, dokular ve moleküllerin toplamından oluşmuş sistemdir. Bu hücrelerin ve moleküllerin bu zararlı etkenlere karşı düzenli olarak verdikleri tepki ise immünite olarak adlandırılır. Toksik bileşikler ve iyonlaştırıcı radyasyon gibi bozucu faktörler, bağışıklık sisteminin bütünlüğünü bozarak immün sistemi etkisiz kılabilir veya oto immün hastalıklara neden olabilir. RF-EMR'nun immün hücreler üzerindeki olası zararlı etkileri deney hayvan modelleri, kemirgen, insan hücre kültürleri ve insan periferik kan lenfositleri kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmaların çoğunda RF-EMR alan maruziyetlerinden oluşan önemli biyolojik etkiler bildirilmiş olmakla birlikte, bazı çalışmalarda ise kayda değer önemli bulgular elde edilememiştir (3-6). RF-EMA maruziyetinin hematolojik ve immünolojik etkilerine dair birçok çalışma bildirilmiş olup, özellikle kronik olarak RF-EMA'na maruz kalan deneklerde zararlı (hemoglobin, hematokrit ve eritrositlerde azalma, platelet agregasyonu, antikor üretimi ve B hücre farklılaşması vs.) etkiler oluştuğu bildirilmiştir (7-11).

Günümüzde EMA kaynaklarının çeşitlenerek artış gösterilmiş olması, kamu sağlığını daha fazla tehdit edeceği söz konusudur. Bilim insanları son 20-30 yıl içinde, farklı tiplerde ELF-EMA ve RF-EMA kaynaklara maruz kalma protokolleri kullanılarak çok sayıda deneysel çalışma yapılmışlardır. Bu çalışmaların bir kısmı haklı nedenlerden dolayı bağışıklık sistemine ait hücreler üzerinde yapılmıştır. Çünkü bağışıklık sistemine ait hücrelerin insanlardan ve tüm organizmalardan invaziv olmayan bir şekilde elde edilmesinin nispeten kolay olmasıdır. İkincisi ise, birçok araştırmacının EMA'nin bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerini incelemeyi tercih etmiş olmalarıdır. Özellikle, bağışıklık sistemi çevre ile etkileşime giren ilklerden biri olup, genellikle çevreden gelen uyarıların oluşturduğu stresten etkilenme olasılığı yüksektir. Kültür ortamlarındaki hücrelerin yaşam sürelerinin kısa olması, birbirleriyle ve çevreleriyle yoğun bir şekilde etkileşmeleri nedeniyle bağışıklık sistemine ait hücrelerin uzun ömürlü olmaları beklenilemez. Sitotoksik uyarılara maruz kalındığında bağışıklık sistemin hücreleri zorunlu olarak tepki vermektedir. Bu nedenle, bağışıklık sistemi EMA maruziyetine doğrudan hedef olmadan etkileri incelediğinde zor bir çalışma konusu olabilir. Bağışıklık sistemimizin hücreleri doğal olarak çevreden kaynaklanan çok çeşitli pertürbasyonlara uyum sağladığı söylenebilir. Ancak, bağışıklık sistemin insan kaynaklı EMR'ların hangi değerlerini tolere edip uyum sağladığını gösteren tatmin edici çalışmalar mevcut değildir. Son yıllarda RF radyasyonunun, kan hücreleri ve bağışıklık sistemi üzerinde etkili olduğunu gösteren bazı çalışmalar mevcuttur (7, 8, 11, 12). Bu etkiler, bazı araştırmalara göre 10 mW/cm<sup>2</sup> üzerinde güç yoğunluğuna sahip radyasyonlarda görülmekte, bazı araştırmalara göre ise 0,5 mW/cm<sup>2</sup> civarındaki güç yoğunluklarında ortaya çıkabilmektedir (12). Bu konudaki çalışmaların çoğunda, etkileşme mekanizmalarının biri diğerini tutmamaktadır. Çünkü bu tür çalışmalar için geniş yelpazede farklı RF'lara maruz kalma koşulları kullanılmıştır. Bağışıklık sistemi ve genellikle farklı maruz kalma koşulları

kullanılarak çalışmalarını karşılaştırmak oldukça zordur. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda 850, 900, 1800, 1900 MHz ve 1.75, 1.90, 2.45 GHz'de sürekli dalga (CW) veya darbeli dalga EMA'lar kullanılmıştır. RF-EMA ile yapılan çalışmalar; 900 ve 800 MHz, 950 W/m<sup>2</sup> güç yoğunluğu ve 0,008 ile 8,8 W/kg arasındaki SAR değerlerini içermektedir (13,14). ELF-EMA ile yapılan çalışmalarda, düşük frekans (50 ila 60 Hz) ve düşük yoğunluklu (0,2 - 500 µT) manyetik alanlar kullanılmıştır. Statik manyetik alanlar ile ilgili yapılan bazı çalışmalar da, 10 T gibi yüksek manyetik yoğunluğuna sahip değerler test edilmiştir. Ayrıca, bazı araştırmacılar sürekli ve/veya aralıklı maruziyetler uygulayarak çalışmalar yaptığı görülmektedir. Özellikle, aralıklı maruziyetlerin oluşturduğu biyolojik etkilerin daha da büyük olduğu bildirilmiştir (15).

### **RF-EMA/ELF- EM alanların bağışıklık sistemi ile etkileşimi**

Tüm vücudu RF- EMA veya ELF- EMA' lara maruz kalan insanlarda lenfosit sayısını ve alt tiplerini nicelleştiren birkaç çalışma vardır (16-19). Bu çalışmalarda elde edilen veriler bir çalışmadan diğerine tutarlı olmadığı ve çoğu zaman aynı çalışmada bile tutarlı bulguların olmadığı görülebilmektedir. Bu durum, farklı deney koşulları ve bu çalışmaların öznelere arasındaki bireysel farklılıklardan kaynaklanabileceği olasılığı vardır. Aşağıda, insan ile ilgili yapılmış çalışmalar, deneysel hayvan çalışmaları ve hücre kültürü ile ilgili yapılmış immünolojik çalışmalar özet olarak sunulacaktır.

### **İnsan ile ilgili Yapılan Çalışmalar**

İlginç ama küçük boyutlu bir çalışmada, mesleki olarak beş yıl boyunca günde sekiz saat düşük-frekanslı (50 Hz) ve düşük şiddetli (0.2 - 6.6 mT) manyetik alana maruz kalmış altı birey kontrol gurubu ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada total T lenfosit (CD3+) ve CD4+ T lenfosit sayılarında azalma tespit edilmiş ancak aynı kişilerin NK (Natural Killer=Doğal öldürücü) hücrelerinin sayılarında artmış olduğunu gözlemişler. Radyasyona maruz kalmanın sonlandırılmasından altı ay sonra ise total T (CD3+) ve Total B (CD19+) lenfositler özellikle CD4+ T lenfositlerin sayılarında artış olduğunu gözlemişlerdir. Aynı koşullarda radyasyona 109 gün süreyle maruz bırakılan 12 erkek fare ile ilgili çalışmada ise total lenfosit, CD4+ T lenfositler ile lökositler ve polimorfo nükleer (PMN) nötrofillerin sayılarında önemli oranda azalma olduğu tespit edilmiştir. Ancak bunlarda insanlarınkinin aksine NK hücrelerinin sayılarında da azalma olduğunu rapor etmişlerdir (16). Aynı araştırma gurubu, daha önceki çalışmalarında mesleki olarak beş yıl boyunca düşük frekanslı (50 Hz) 0,2 ila 6,6 mT arasında değişen elektromanyetik alan maruziyetini 13 bireyde araştırmışlardır. Cinsiyet, yaş ve sosyoekonomik durum için eşleştirilmiş 13 kontrol ile karşılaştırıldığında, maruz kalan grubun toplam lenfositlerinde, CD4+, CD3+, CD2+ T lenfositleri ve NK hücre oranlarında anlamlı bir düşüş olduğu saptanmıştır (17). Bu konudaki çelişkili sonuçlar, lenfosit alt kümelerin sayımı ve NK hücrelerinin sayısının, indüksiyon ısıtıcılarında üretilen manyetik alanlara maruz kalan işçiler kontrollere kıyasla anlamlı farklılıklar gösterdiğini başka araştırmacılar tarafından da rapor edilmiştir (18). Bir başka benzer çalışma, elektrik ark kaynağı sırasında ELF-EM radyasyona (alan

şiddeti: 0.10 ve 0.25 mT) maruz kalan bireyler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışma, aynı coğrafi bölgeden ve benzer yaşam tarzlarına sahip, 20-40 yaşlarında 16 erkek kaynakçı ile 14 sağlıklı erkek arasında yapılmıştır. Kaynakçıların hematokrit seviyeleri yükselirken, CD4+ ve CD8+ hücre sayılarında azalma olduğu tespit edilmiştir (19). Bir başka çalışmada, 12 saat boyunca RF-EMA'a maruz kalan 119 elektrik teknisyeni işçi bireyde trombosit agregasyonu araştırılmıştır. Vardiya esasına dayanan ve 650-800 MHz (24µW/cm<sup>2</sup>) RF-EM alanlara doğrudan maruz kalan bu bireylerde, hiperagregasyonun baskın olduğu trombosit agregasyon aktivitesinde çeşitli değişikliklerin olduğu tespit edilmiştir (20). İnsan kanından izole edilen ve in-vitro olarak aktive edilen lenfosit ve monositlerin bağışıklık aktivitesine ek olarak 900 MHz (1.93 W/m<sup>2</sup>, 20 V/m, SAR 0.024 W/kg) mikrodalgalar ile arttırılabileceği gösterilmiştir (21). Cho ve Chung, ELF-EMA (0,8 mT, 60 Hz) ve benzo(a)pirenin (BP) mikronüklei ve kardeş kromatid değişim (SCE) sıklığı üzerindeki kombine etkilerini araştırmak için insan lenfositlerini kullanmışlardır. Çalışmada, mikronüklei (mikronükleus) ve SCE frekanslarında önemli artışların olduğu rapor edilmiştir (22).

### **DeneySEL Hayvan Çalışmaları**

Deney hayvan modelleri kullanılarak konu ile ilgili birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Yirmi gün boyunca ELF-EMA'a (50 Hz, 5.0 µT) maruz bırakılan farelerde lökosit, eritrosit, lenfosit, monosit, hemoglobin ve hematokrit değerlerinde anlamlı bir düşüşler olduğu, MCV değerinde ise bir artış olduğu rapor edilmiştir (23). Yapılan bir başka çalışmada 1 W/kg ve 2 W/kg'lık SAR değerinde radyasyona (900 MHz) 1, 2 ve 4 hafta boyunca günde iki saat maruz bırakılan C57BL/6 farelerin dalak hücrelerindeki değişiklikler incelenmiştir. Bu çalışmada B, T hücre yüzdeleri, CD4+ ve CD8+ T hücre değerlerinin maruz kalma ile değişmediği saptanmıştır. Ancak, IFN-gama üretiminde bir artış olduğu gözlenmiş, bu da 2 veya 4 hafta süreli maruziyetin ardından gerçekleştiği kaydedilmiştir (5). Bu bulguların ışığında ELF alanları, bağışıklık ve hematolojik sistemleri etkileyebilir ve kanser tanıtımında rol alabileceği sonucu çıkarılabilir.

On iki haftalık fareler altı hafta boyunca 5.0 mT (50Hz) ELF- EMA'a sürekli (20 gün, 90) maruz kalan hayvanlar kontrollere kıyasla lökosit ve/veya nötrofil sayılarında azalma gösterirken, belirli aralıklarla (43, 63, 350 gün) maruz kalmaları durumunda ise aynı etkiyi göstermedikleri rapor edilmiştir. Bu çalışmada, fareler arasında bireysel farklılıklarda gözlenmiş olup maruz kalan deney hayvanlarından ikisi, maruz kalmamış farelere kıyasla lökosit ve polimorfonükleer nötrofil sayımlarında önemli bir artış gösterdiği rapor edilmiştir (23). Başka bir çalışmada 25-150 mT (250-1500 Gauss) statik manyetik alanlara maruz bırakılmış farelerin makrofajları, dalak lenfositleri ve izole edilen C57BI/6 timik hücrelerin hücreSEL immün fonksiyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Özellikle kültüre edilmiş bu hücrelerde mitojenik yanıtlar azalmış, hücre içi Ca<sup>2+</sup> seviyelerinde artış olduğu ve Timositlerde apoptoz geliştiği akış sitometrisi (Flow sitometre) ile gösterilmiştir (24).

BALB/c farelerinin burun alanları 3 gün boyunca günde 30 dakika süreyle düşük güçte elektromanyetik dalgalara (42.2 GHz; 31±5 mW/cm<sup>2</sup> ve SAR değeri 622±100

W/kg) ve immünoşüpresan etki gösteren siklofosfamide (100 mg/kg) birlikte maruz bırakıldı. Bu kombinasyona maruz kalan farelerin, splenositlerinde kontrollere göre anlamlı oranda çoğalma ve iyileşme göstermesi CD4+ T hücrelerinin aktivasyonunu değiştirdiğini göstermektedir (25). Dokuz hafta boyunca her gün 20 saat RF sinyallerine (2.14 GHz, SAR 0.2 W/kg) maruz bırakılan ve gelişimlerini bu alanda geçiren sıçanlar kontrol grubu sıçanlarla karşılaştırılmıştır.

Aktive T hücrelerin sayısında, CD4/CD8 T hücre oranında, splenositler ve timositler arasındaki düzenleyici T hücrelerinin (T reg.) sayılarında herhangi bir değişiklik saptanmamıştır. Bu veriler, uzun süreli RF-EMR maruziyetinin olumsuz etkilerini göstermez. Büyüme ve gelişme evresinde olan sıçanlarda T hücre aktivasyonu veya Th1/Th2 dengesi gözlenmiş, önemli transkripsiyonel etkiler gözlenmiştir (26).

Radyo frekans tanımlama (RFID) sistemi, görme hattı gerektirmeden belli bir mesafeden nesnelerin tanımlanmasını/okunmasını sağlayan kablosuz teknolojidir. Bu teknoloji, otoyol ücretlerinin ödenmesine, hastane, eczane ve market gibi yerlerde ürünlerin etiketlenip okunması, stokların takibinde, hayvanların etiketlenmesine ve otomobil anahtarlarında açıp-kilitleme gibi çok geniş bir alanda kullanılır. Otoyollarda olduğu gibi RFID sistemi, geniş bir alan üzerindeki nesnelere taramaktadır. Bu nedenle, RFID sinyalleri tüm insan vücudunu ışınlamaktadır. Sıçanlar iki hafta boyunca haftada 5 gün olmak üzere günde 8 saat (915 MHz, SAR 2 W/kg) tüm vücut radyofrekans tanımlama (RFID) sistemine maruz bırakıldı. Maruziyetten sonra tam kan sayımı ve CD4+/CD8+ oranı akış sitometri kullanılarak belirlendi. RFID'ye maruz kalan grupta eritrosit ve trombosit sayıları fizyolojik aralıklarda kalmış, hemoglobin ve hematokrit değerlerinde ise artış, lenfosit ve beyaz kan hücrelerinin sayısında ise azalma olduğu saptanmıştır. Ancak, T hücre sayısı veya CD4+/CD8+ oranı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilememiştir (27).

Pulsu elektromanyetik alanların (PEMA) maruziyeti bağışıklık sisteminin hücresel bileşenleri üzerinde özellikle anti-enflamatuar uygulamaları ile ilgili bir takım çalışmalar yapılmıştır (28-30). Yapılan immünolojik çalışmalarda düşük yoğunluklu PEMA'ların bile hücre ve dokularla etkileşebildiğini gösterilmiştir (23,28). Örneğin, düşük yoğunluklu EMA'nin, çok sayıda anti-enflamatuar ve yara iyileştirme uygulaması sağlayan hücre ve dokularla etkileşime girebileceğini göstermektedir. EMF'nin tek başına fagositik hücrelerdeki bağışıklık sistemi üzerindeki etkisi, ELF-EMF nin büyüme oranını azaltmada oynadığı rol nedeniyle dikkat çekmiştir (30-32).

Osteoartritin incelendiği deneysel kobay modelinde, EMA transforme edici büyüme faktörü beta (TGF- $\beta$ ) 'nin uyarılmasında istatistiksel olarak anlamlı bir iyileşme olduğu gösterilmiştir (33).EMA uygulamasının, fibroblast benzeri hücre popülasyonlarının hücre immünofenotipini değiştirmedeğini, ancak IL-1 $\beta$  ve TNF- $\alpha$ 'nın inflammatuar sitokinlerin üretimini azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca EMA'nin anti-inflamatuar sitokin IL-10'u arttırdığı da rapor edilmiştir (34). Sinovyal sıvıda hem IL-1 hem de TNF- $\alpha$  konsantrasyonu önemli ölçüde azalırken, TGF- $\beta$  kontrollere göre anlamlı derecede daha yüksek bulundu. Aynı deney modelinde, erken greft stabilizasyonunu destekleyen EMA ile tedavi edilen greftler kullanılarak osteokondral greft implantasyonundan bir ay sonra da büyük kemik oluşumu

gözlenmiştir (35). Bu çalışmada uygulanan 75 Hz (45 mT) EMA maruziyeti, subkondral kemik için sinovyal sıvıdaki sitokin değerleri bakımından greft için daha elverişli bir eklem çevresi oluşturduğunu göstermiştir. Konuyla ilgili yapılan bu ve bunlara benzer verilerden anlaşıldığı gibi, EMA'nin hücre sinyalizasyonunu ve sitokin üretimini etkilediği söylenebilir.

Enflamatuvar hücre sinyali, temel hücresel aktiviteleri yöneten ve hücre davranışını koordine eden karmaşık bir iletişim sistemidir. TNF ve TNF-reseptör ailesinin üyeleri, bağışıklık sisteminde homeostazın sürdürülmesinde aracı olarak yer alırlar (36). Enflamatuvar yanıtlar sırasında, tümör nekroz faktörü (TNF) ve interlökin-1 (IL-1) sinyalleri, proinflamatuvar genlerin transkripsiyonunu düzenleyen transkripsiyon faktörü nükleer faktör kappa B'yi (NFkB) aktive eder. Bilindiği gibi, TNF güçlü bir sitokin, apoptoz, iltihaplanma ve bağışıklığın kritik bir düzenleyicisidir (37). TNF- $\alpha$ , hem lokal hem de sistemik inflamasyonda ve sitokin yanıtlarının çoğalmasında için oldukça önemli olan NFkB'nin güçlü bir indükleyicisidir. NFkB, patojen tanımadan proinflamatuvar sitokin üretimine giden yolun içinde yer alır. Hücresel farklılaşmayı, proliferasyonu ve hayatta kalmayı düzenleyen genlerin yanı sıra sitokinlerin ve antimikrobiyal efektörlerin transkripsiyonunuda kontrol eder (38).

ELF-EMA (5 Hz ve 1,5 mT), NFkB sinyal yolağının inhibisyonu yoluyla kemokin üretimini ve keratinosit büyümesini modüle ettiği gösterilmiştir, böylece enflamatuvar süreçlerin azaldığı gösterilmiştir (39,40). EMA'nin, hücreler ve dokulardaki iltihaplanma tepkisinin neden olduğu dengesizliğe bağlı olarak sitokin üretimini etkilemesi mümkün görünmektedir. Bu mekanizmayı hastalığın enflamatuvar tepkisini kontrol etmek için kullanabilmek ve rejenere doku ve organ transplantasyonu sırasında hastalık patolojisi, doku mühendisliği ve rejeneratif tıp alanlarına büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Bekleme konumunda tutulan konvansiyonel bir cep telefonunun yaydığı düşük yoğunluklu PEMA (1950 MHz, SAR 2 W/kg ) ya maruz bırakılan insan lenfositlerinde; DNA hasarı, mikronükleus frekansında değişiklikler ve kromozomal aberasyonların olduğu bildirilmiştir. Bu etki, maruz kalmaya cevap olarak artan serbest radikal aktivitesine bağlı olabileceği düşünülmüştür (41).

### **RF-EMA/ELF-EMA hücre etkileşimleri ve hücre ölümü**

Literatürde EMA maruziyetinin lenfositler üzerindeki zararlı etkileri ile ilgili çok sayıda çalışma rapor edilmiştir (42-44).

Gönüllü insanlardan alınan periferik mononükleer kan hücreleri (PBMC), lenfosit stimülasyonunun yokluğunda, 10 T statik manyetik alana maruz bırakılması sonucunda T, B ve NK hücrelerinin canlılığında anlamlı bir fark saptanamamıştır. Ancak, T hücreleri mitojen fitohemagglutinin (PHA) ile aktive edildiğinde ise, hem CD4+ hem de CD8+ T hücre popülasyonlarında apoptoza bağlı ölüm oranlarında artış olduğu ifade edilmiştir (42). Ağırıklı olarak miyeloid kaynaklı (K-562, U-937, DG-75 ve HL-60) soy hücreleri 50 Hz ve 35 mT şiddetinde sinüzoidal PEMA'ya 4 saat süreyle maruz kalmasından 24 saat sonra yapılan değerlendirmede, nekrotize hücre oranında artış olduğu saptanmıştır (43). Benzer bir çalışmada, sıçan lenfositleri 3 saat süreyle 7 mT statik manyetik alana maruz bırakılması ile apoptotik ve nekrotik hücrelerin yüzdelerinde artış olduğu saptanmıştır (44). RF-EMA'la yapılan

araştırmada, kültüre edilmiş insan fetal hücrelerinin 8 gün boyunca günde 6 saat 900 MHz (SAR 1,0 W/kg, 1.59 W/m<sup>2</sup>) RF-EMR maruziyetinde nekrotik ve apoptotik hücre yüzdelerinde belirgin bir artış olduğu saptanmıştır (45). 1.5 mT şiddetinde PEMA'ya 30 gün boyunca günde bir saat süreyle maruz bırakılan sıçanlar da oksidatif stres göstergelerinde anlamlı artışlar olduğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada, PEMA'ya maruz bırakılan gurubun nekrotik hücre yüzdeleri, kontrol grubu ile karşılaştırıldığında anlamlı oranında azalma olduğu saptanmıştır (46).

İnsan periferik kan hücreleri (PBC) ex-vivo olarak 15, 30 ve 60 dakika boyunca farklı EM- RF (2.45 ve 7.7 GHz) ve güç yoğunluklarına (10, 20 ve 30 mW/cm<sup>2</sup>) maruz bırakıldı. Otuz dakika veya daha fazla süreyle 30 mW/cm<sup>2</sup>'lik güç yoğunluğuna maruz kalan grupta, mikronüklei oranında artış olmuştur (47). Öte yandan, bir başka araştırmacı grubu, insan periferik kan lenfositlerinde (PBL) 15 dakika süreyle ex-vivo olarak sürekli dalga (CW) maruziyeti (1.748 GHz, SAR 5 W/kg) ve faz-dışı modüle edilmiş dalga (GMSK) maruziyetlerine dair etkiler incelemişler. Her iki alana maruz kaldıktan sonra hücre çoğalması kinetiklerinde hiçbir değişiklik saptanamamıştır. Ancak mikronükleus içeren hücre sayısı ve mikronükleus frekansında, GMSK'ye maruz kalmanın ardından istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu tespit edilmiştir (48).

Ses modülasyonlu analog sinyal üretici (837 MHz), 837 MHz kod bölmeli çoklu erişim (CDMA) sinyal üretici, 837 MHz modülasyonlu zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA) ve sesi modülasyonu olmayan 1909,8 MHz GSM tipi kişisel iletişim sistemleri (PCS) gibi dört farklı cep telefonu tarafından yayılan RF sinyallerinin etkileri incelendi. İnsan periferik kan lenfositlerinin (PBL) 24 saat süreyle 5 veya 10 W/kg ortalama SAR değerinin bu dört RF kaynağından herhangi birine maruz bırakılması durumunda, mikronükleer lenfositlerin artışına neden olmuştur (49). Bu çalışmaların aksine, ELF manyetik alanların insan PBMC'nin sitotoksitesi üzerinde hiçbir etkisi olmadığını gösteren çalışmalarda vardır (50-52). 900 MHz (SAR: 0, 1, 5 ve 10 W/kg) RF-EMA maruz bırakılan insan periferik kan lenfositlerinde mikronükleus frekansı ve hücre proliferasyonunun etkilenmediği rapor edilmiştir (51). Beş hafta boyunca günde 2 saat 2.45 GHz WiFi sinyal etkisinde 0,08 W/kg ve 4 W/kg gibi farklı SAR düzeylerine maruz bırakılan yeni doğan farelerin toplam dalak hücre sayısında, CD4+ ve CD8+ T hücre dağılımında hiçbir farklılık tespit edilememiştir. Benzer şekilde, anti-CD3 mAb ile uyarılan T hücrelerinde proliferasyon ve IL-2 üretiminde hiçbir fark tespit edilememiştir (52).

### **Periferik kan hücre kültürüne EMA radyasyonunun etkileri**

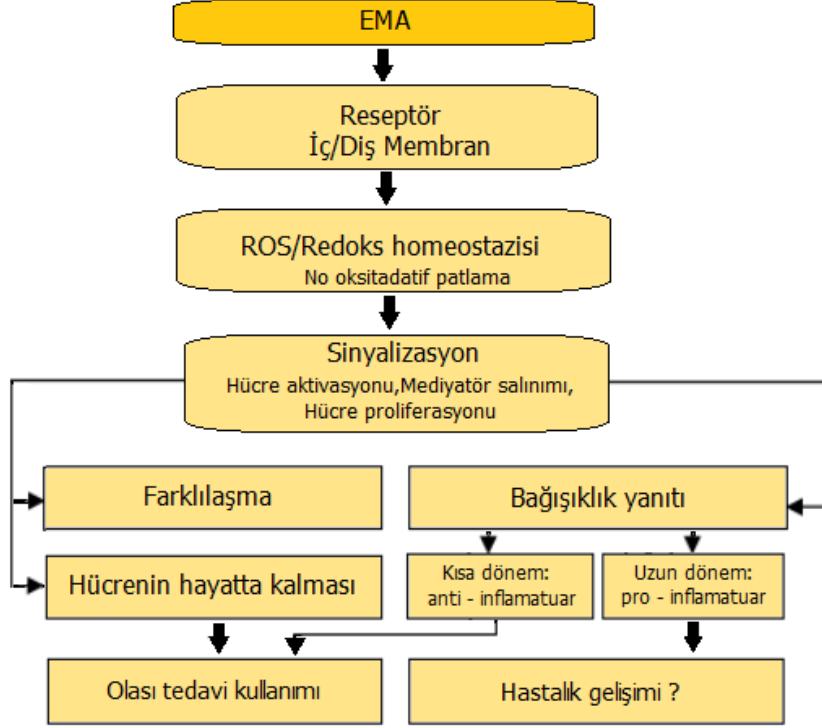
RF radyasyonunun, bazı tip lökositlerde, bölünerek lenfosit halini alacak hücrelerde mitoz bölünmesinde aksaklıklar ortaya çıktığını, radyasyon maruziyetinden sonra da, hücre üzerindeki toksik etkinin azalan bir oranla devam ettiği gözlenmiştir. Ancak, standart değerlere yakın radyasyon maruziyetinde ise kayda değer bir etki gözlenmemiştir (53). EMA ların bağışıklık sistemi üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmak amacıyla birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, değişik şiddetlerde ve frekanslarda EMA ve denek olarak değişik deney hayvanları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen veriler, standart değerlere yakın radyasyonlarda hiçbir etkinin görülmediği yönündedir. Hayvanlar üzerinde



şiddetli EMA lar ile yapılan çalışmalarda bazen olumsuz etkiler ortaya çıksa da, bu etkilerin 6 haftalık gibi bir zaman zarfında ortadan kalktığı rapor edilmiştir (53).

### EMA ve canlı sistemler arasında olası hipotetik etkileşimler

An itibari ile hangi hücre bileşeninin EMA ile etkileşimde ilk hedef olduğu tam olarak bilinmemektedir. Hücre zarının dış kısmında bir reseptör mü yoksa bir reseptörün veya protein kaskadının bir bileşeni mi? EMA ve canlı sistemler arasındaki olası hipotetik etkileşimler Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil.1.** EMA ve yaşayan sistemler arasındaki hipotetik etkileşimler. ELF-EMA hücrel reseptörler ve hücre zarının iç veya dış bölgesi ile etkileşerek hücrenin redoks homeostatik kapasitesinin değişmesine yol açan spesifik moleküler yolları aktive ettiği düşünülmektedir. Bu hücre aktivasyonunu, mediyatörlerin salınımını, hücre çoğalması gibi işlergeleri etkileyen hücrel sinyalizasyonu tetikleyen serbest radikallerin salınmasından kaynaklanabilir. Ayrıca, hücre sinyalleşmesi, terapötik kullanımda yararlı bir etki olarak farklılaşma ve hücrenin sağ kalma aktivasyonuna da yol açabilir. Şemadan görüldüğü gibi, sinyalleşme bağışıklık yanıtın oluşmasını da tetikleyebilmektedir. Kısa vadeli bir perspektifte, iltihaplanmanın tedavisinde yararlı bir araç olabilecek anti-inflamatuar yanıtların aktive edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, uzun süreli uygulamalarda, hastalıkların çoğalmasına veya gelişmesine neden olan pro-inflamatuar yollarda tetikleyebilir (54,55).

## Sonuç

Bağışıklık sistemi, bir organizmanın düşman ortamına karşı en önemli savunma hatlarından biridir. Çevre kaynaklı provakatif uyarılar, bağışıklık sistemi tarafından aktif veya pasif olarak karşılanabilir. Bu karşılama sırasında, aynı türün iki farklı bireyi her zaman aynı uyarılara aynı şekilde tepki gösteremeyebilir. Ayrıca, aynı birey bile farklı zamanlarda aynı uyarana aynı şekilde tepki vermeyebilir. Dolayısıyla, EMA'ların oluşturacağı fiziksel veya kimyasal stressin etkisi, organizmadaki sonuçları farklı olacaktır. RF-EMA ve ELF-EMA maruziyeti bağışıklık sistemin hücresel bileşenleri üzerindeki etkileri ile ilgili hem in-vitro hem de in-vivo olarak yapılmış çok sayıda çalışma rapor edilmiştir. EMA maruziyetinin etkileriyle ilgili yapılan bu çalışmalarda, hem RF-EMA hem de ELF-EMA maruziyetlerinde zıt sonuçlar ortaya konulmuştur. Diğer yandan epidemiyolojik çalışmalar, EMA'lara maruz kalan popülasyonlar için bir risk faktörü olduğunu ileri sürmektedir. Konuyla ilgili tüm bu çalışmalar göz önüne alındığında, tutarlı ve kesin bir resim ortaya çıkıncaya kadar insanlığı endişelendirecek sebeplerin olduğuna kendimizi inandırmalıyız.

**Ethics Committee Approval:** NA

**Informed Consent:** NA

**Peer-review:** Externally peer-reviewed.

**Conflict of Interest:** No conflict of interest was declared by the author.

**Financial Disclosure:** The author declared that this study has received no financial support.

## Kaynaklar

1. Finlay CC, Maus S, Beggan CD, Bonda TN, Chambodut A, Chernova T. International Geomagnetic Reference Field: the eleventh generation. *Geophys. J. Int* 2010; 183 (3): 1216–1230.
2. French PW, Penny R, Laurence JA, McKenzie DR. Mobile phones, heat shock proteins and cancer. *Differentiation* 2001; 677: 93–97.
3. Repacholi MH, Basten A, GebSKI V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in Eμ-PimJ transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 1997; 147: 631–640.
4. Zmyslony M, Politanski P, Rajkowska E, Szymczak W, Jajte J. Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation in vitro affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions. *Bioelectromagnetics* 2004; 25(5): 324–328.
5. Gatta L, Pinto R, Ubaldi V, Pace L, Galloni P, Lovisolo GA, Marino C, Pioli C. Effects of in vivo exposure to GSM modulated 900 MHz radiation on mouse peripheral lymphocytes. *Radiat Res* 2003; 160: 600–605.
6. Boscol P, Di Sciascio MB, Dostilio S, Del Signore A, Reale M, Conti P, Bavazzano P, Paganelli R, Di Gioacchino M. Effects of electromagnetic fields produced by radiotelevision broadcasting stations on the immune system of women. *Sci Total Environ* 2001; 273: 1–10.
7. Khamidova GM. The influence of radiofrequency electromagnetic radiation on the platelet aggregation. *Int J Biomed* 2014; 4: 155–158.
8. JR. Jauchem. Effects of low-level radio-frequency (3 kHz to 300 GHz) energy on human cardiovascular, reproductive, immune, and other systems: A review of the recent literature. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2008; 211: 1–29.
9. F. Nasta, MG. Prisco, R. Pinto, GA. Lovisolo, C. Marino and C. Pioli. Effects of GSM-modulated radiofrequency electromagnetic fields on B-cell peripheral differentiation and antibody production. *Radiat. Res.* 2006; 165: 664–670.

10. H. Tuschl, W. Novak and H. M. Djafari, In vitro effects of GSM modulated radiofrequency fields on human immune cells. *Bioelectromagnetics* 2006; 27: 188–196.
11. Black DR, Heynick LN. RF effects on blood cells, cardiac, endocrine, and immunological functions. *Bioelectromagnetics Supplement*, 2003; (6): 187–195.
12. Elder, J. Ocular Effects of Radiofrequency Energy, *Bioelectromagnetics Supplement* 2003; (6): 148–161.
13. Frank S. Barnes, Ben Greenebaum. *Biological and medical aspects of electromagnetic fields*. Third edition. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007, New York.
14. Hyland, G. J. Physics and biology of mobile telephony. *Lancet* 2000; 356: 1833–1836.
15. Rannug A, Holmberg B, Ekstrom T, Mild KH, Gimenez-Conti I, Slaga T.J. Intermittent 50 Hz magnetic field and skin tumor promotion in SENCAR mice. *Carcinogenesis* 1994; 15 (2): 153-157.
16. Bonhomme-Faivre L, Marion S, Forestier F, Santini R, Auclair HC. Effects of electromagnetic fields on the immune systems of occupationally exposed humans and mice. *Arch. Environ. Health* 58 (11): 712-717, 2003.
17. Bonhomme-Faivre L, Marion S, Bezie Y, Auclair H, Fredj G, Hommeau C. Study of human neurovegetative and hematologic effects of environmental low-frequency (50-Hz) electromagnetic fields produced by transformers. *Arch Environ Health*. 1998;53 (2): 87-92.
18. Tuschl H, Neubauer G, Schmid G, Weber E, Winker N. Occupational exposure to static, ELF, VF and VLF magnetic fields and immune parameters, *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2000; 13 (1): 39-50,
19. Dasdag S, Sert C, Akdag Z, Batun S. Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on hematologic and immunologic parameters in welders, *Arch. Med. Res.* 2002; 33 (1); 29-32.
20. Khamidova GM. The influence of radiofrequency electromagnetic radiation on the platelet aggregation. *Int J Biomed* 2014; (4): 155-158.
21. Stankiewicz W, Dabrowski MP, Kubacki R, Sobiczewska E, Szmigielski S. 2006. Immunotropic influence of 900MHz microwave GSM signal on human blood immune cells activated in vitro. *Electromagn Biol Med* 25: 45-51.
22. Cho YH, Chung HW. The effect of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EMF) on the frequency of micronuclei and sister chromatid exchange in human lymphocytes induced by benzo(a)pyrene, *Toxicol. Lett.* 143 (1), 37-44, 2003.
23. Bonhomme-Faivre L, Mace, A, Bezie Y, Marion S, Bindoula G, Szekely AM, Frenois N, Auclair H,Orbach-Arbouys S, and Bizi E. Alterations of biological parameters in mice chronically exposed to low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields, *Life Sci* 1998; 62 (14), 1271-1280.
24. Flipo D, Fournier M, Benquet C, Roux, P, Le Boulaire C, Pinsky C, LaBella FS. and Krzystyniak K. Increased apoptosis, changes in intracellular Ca<sup>2+</sup>, and functional alterations in lymphocytes and macrophages after in vitro exposure to static magnetic field, *J. Toxicol. Environ. Health* 1998; 54 (1): 63-76.
25. Makar, V, Logani M, Szabo I, Ziskin M. Effect of millimeter waves on cyclophosphamide induced suppression of T cell functions, *Bioelectromagnetics* 2003; 24 (5): 356–365.
26. Ohtani S, Ushiyama A, Maeda M, Ogasawara Y, Wang J, Kunugita N, Ishii K. The effects of radio-frequency electromagnetic fields on T cell function during development. *J Radiat Res* 2015; 56: 467–474.
27. Hye Sun Kim, Jae Sung Park, Yeung-Bae Jin, Hyung Do Choi, Jong Hwa Kwon, Jeong-Ki Pack Nam Kim, Young Hwan Ahn. Effects of exposure to electromagnetic field from 915 MHz radiofrequency identification system on circulating blood cells in the healthy adult rat. *Bioelectromagnetics* 2018; 39: 68-76.

28. Selvam R, Ganesan K, Narayana Raju KV, Gangadharan A, Manohar BM, Puvanakrishnan R. Low frequency and low intensity pulsed electromagnetic field exerts its antiinflammatory effect through restoration of plasma membrane calcium ATPase activity. *Life Sci* 2007; 80(26): 2403-2410.
29. Markov M, Nindl G, Hazlewood C, Cuppen J. Interactions between electromagnetic fields and immune system: possible mechanism for pain control. In: Ayrapetyan SN, Markov MS, editors. *Bioelectromagnetics Current Concepts*. Dordrecht: Springer; 2006: 213-225.
30. Akan Z, Aksu B, Tulunay A, Bilsel S, Inhan Garip A. Extremely low-frequency electromagnetic fields affect the immune response of monocyte-derived macrophages to pathogens. *Bioelectromagnetics* 2010; 31(8): 603-612.
31. Blank M, Goodman R. Do electromagnetic fields interact directly with DNA? *Bioelectromagnetics* 1997; 18(2): 111-115.
32. Christina L. Ross, Benjamin S. Harrison. An introduction to electromagnetic field therapy and immune function: a brief history and current status. *J Sci Appl: Biomed* 2015; 3(2): 18-29.
33. Ciombor D, Aaron RK, Wang S, Simon B. Modification of osteoarthritis by pulsed electromagnetic field a morphological study. *Osteoarthritis Cartilage* 2003; 11: 455.
34. Gómez-Ochoa I, Gómez-Ochoa P, Gómez-Casal F, Cativiela E, Larrad-Mur L. Pulsed electromagnetic fields decrease proinflammatory cytokine secretion (IL-1 $\beta$  and TNF- $\alpha$ ) on human fibroblast-like cell culture. *Rheumatol Int* 2011; (31): 1283.
35. Benazzo F, Cadossi M, Cavani F, Fini M, Giavaresi G, Setti S, Cadossi R, Giardino R. Cartilage repair with osteochondral autografts in sheep: effect of biophysical stimulation with pulsed electromagnetic fields. *J Orthop Res* 2008; 26: 631.
36. Hehlgans T, Pfeffer K. The intriguing biology of the tumor necrosis factor/tumor necrosis factor receptor superfamily: players, rules and the games. *Immunology* 2005; 115: 1.
37. Wallach D, Varfolomeev E, Malinin NL, Goltsev YV, Kovalenko AV, Boldin MP. Tumor necrosis factor receptor and Fas signaling mechanisms. *Annu Rev Immunol* 1999;17: 331–367
38. Hayden MS, West AP, Ghosh S. NF-kappaB and the immune response. *Oncogene* 2006; 25(51): 6758–6780.
39. Vincenzi F, Targa M, Corciulo C, Gessi S, Merighi S, Setti S, Cadossi R, Borea PA, Varani K. The anti-tumor effect of A3 adenosine receptors is potentiated by pulsed electromagnetic fields in cultured neural cancer cells. *PLoS One*. 2012;7:e39317.
40. Ross C, Harrison BS. Effect of pulsed electromagnetic field on inflammatory pathway markers in RAW 264.7 murine macrophages. *J Inflamm Res* 2013; 6: 45.
41. Sabah F. El-Abd, Marwa Y. Eltoweissy. Cytogenetic alterations in human lymphocyte culture following exposure to radiofrequency field of mobile phone. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 2012; 2 (2): 16-20.
42. Onodera H, Jin Z, Chida S, Suzuki Y, Tago H, Itoyama Y. Effects of 10-T static magnetic field on human peripheral blood immune cells. *Radiat. Res* 2003; 159(6), 775-779.
43. Radeva M, Berg H. Differences in lethality between cancer cells and human lymphocytes caused by LF-electromagnetic fields, *Bioelectromagnetics* 2004; 25 (7), 503–507.
44. Jajte J, Grzegorzczak J, Zmysłony M, Rajkowska E. Effect of 7 mT static magnetic field and iron ions on rat lymphocytes: apoptosis, necrosis and free radical processes, *Bioelectrochemistry* 2002; 57 (2), 107–111.
45. Emre Mustafa, Boga Ayper, Cetiner Salih. The effect of 900 MHz GSM-like radiofrequency irradiation and nicotine administration on the apoptosis of human fetal cells. *J Clin Cell Immunol* 2017; 8(7): DOI: 10.4172/2155-9899-C1-046.
46. Emre Mustafa, Çetiner Salih, Zencir Sevil, Unlukurt İsa, Kahraman İbrahim, Topcu Zeki. Oxidative stress and apoptosis in relation to exposure to magnetic field. *Cell Biochem Biophys* 2011; 59: 71–77.

- 47.** Zotti-Martelli, L, Peccatori M, Scarpato R, Migliore L. Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed in vitro to microwave radiation, *Mutat. Res* 2000; 472 (1–2): 51–58.
- 48.** d'Ambrosio, G. Cytogenetic damage in human lymphocytes following GSMK phase modulated microwave exposure. *Bioelectromagnetics* 2002; 23 (1): 7–13.
- 49.** Tice RR, Hook, GG, Donner M, McRee DI, Guy AW. Genotoxicity of radiofrequency signals. I. Investigation of DNA damage and micronuclei induction in cultured human blood cells, *Bioelectromagnetics* 2002; 23(2): 113–126.
- 50.** Ikeda K. No effects of extremely low frequency magnetic fields found on cytotoxic activities and cytokine production of human peripheral blood mononuclear cells in vitro, *Bioelectromagnetics* 2003: 24 (1), 21–31.
- 51.** Maria Rosaria Scarfi, Anna Maria Fresegna, Paola Villani, Rosanna Pinto, Carmela Marino, Maurizio Sarti, et al. Exposure to Radiofrequency Radiation (900 MHz, GSM signal) does not Affect Micronucleus Frequency and Cell Proliferation in Human Peripheral Blood Lymphocytes: An Interlaboratory Study. *Radiat. Res.* 2006; 165(6): 655- 663.
- 52.** Manolo Sambucci, Federica Laudisi, Francesca Nasta, Rosanna Pinto, Rossella Lodato, Vanni Lopresto, et al. Early life exposure to 2.45 GHz WiFi-like signals: Effects on development and maturation of the immune system. *Prog Biophys Mol Biol* 2011; 107(3): 393-398.
- 53.** Black DR, Heynick LN. RF effects on blood cells, cardiac, endocrine, and immunological functions. *Bioelectromagnetics Supplement*, 2003; (6): 187–195.
- 54.** Mattsson MO & Simko M. Is there a relation between extremely low frequency magnetic field exposure, inflammation and neurodegenerative diseases? A review of in vivo and in vitro experimental evidence. *Toxicology* 2012; 301: 1-12.
- 55.** Mattsson MO & Simkó M. Grouping of experimental conditions as an approach to evaluate effects of extremely low frequency magnetic fields on oxidative response in in vitro studies. *Front Public Health* 2014; 132 (2): 1-11.



Medicine & Publishing

**Published by The QMEL®.org**  
Medicine & Education & Library