

## 2450 MHz Elektromanyetik alan ve karaciğer üzerine etkileri

Mustafa Saygın<sup>\*</sup>, Sadettin Çalışkan<sup>\*</sup>, Nurhan Gümral<sup>\*</sup>, A. Çağrı Bocutoğlu<sup>\*\*</sup>, Mehmet Has<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji AD, Isparta.

<sup>\*\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Aile Hekimliği AD, Isparta.

<sup>\*\*\*</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göğüs Hastalıkları AD, Isparta.

### Özet

2450 MHz elektromanyetik alan frekansı rutin kullanımda; kablosuz internet ağları, mikrodalga fırınlar, bluetooth cihazları gibi aletlerde yaygın kullanılan frekans olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu frekansı kullanan ve yaşamı kolaylaştıran cihazların son yıllarda hayatımıza daha çok girmesi, beraberinde değişik etkileşimleri de getirmektedir. Bu etkiler, çoğu kişi tarafından önemsenmeyen ve etkisini uzun süre sonra gösteren elektromanyetik alanın (EMA) zararlarıdır. Bu çalışmada 2450 MHz elektromanyetik alanın karaciğer dokusu üzerine etkileri ve bu frekansı kullanan cihazların karaciğer dokusu üzerine etkilerini araştıran çalışmalar gözden geçirildi. 2450 MHz elektromanyetik alanın karaciğer üzerine etkisi az sayıda çalışmada araştırılmıştır. Sonuç olarak, yaygın kullanımda olan bu frekans ve bu frekansı kullanan cihazların dokular üzerine etkisini göstermek için daha fazla çalışmaya gereksinim vardır.

**Anahtar Kelimeler:** 2450 MHz elektromanyetik alan, Karaciğer, Kablosuz ağ

### Abstract

2450 MHz electromagnetic field is commonly used in our life using different devices such as wireless internet networks, microwave ovens, bluetooth devices. Although these devices make our life easier, they also bring some undesirable results. These effects are mostly unheeded and show their real effects after too many years. In this study, we evaluated the effects of 2450 MHz of electromagnetic field on liver tissue. These effects are not considered important and shown in most people by the end of a long time period because of the effects of electromagnetic field (EMA). In this study, we reviewed the effect of 2450 MHz electromagnetic field on liver tissue and studies investigating the effects of appliances using this frequency on liver tissue. The effect of 2450 MHz electromagnetic field on the liver has been investigated in few studies. Consequently, more studies are required to show the effect of this commonly used electromagnetic field and appliances using this electromagnetic field on body tissues.

**Key Words:** 2450 MHz electromagnetic field, liver, wireless network

**Yazışma Adresi/Corresponding:** Arş. Gör. Mustafa SAYGIN

Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Fizyoloji AD, Morfoloji Binası,

Çünür, Isparta TR-32260 TÜRKİYE Tel:+90 246 2113611 Fax:+90 246 2371165

E mail: [msaygin@med.sdu.edu.tr](mailto:msaygin@med.sdu.edu.tr)

Müracaat tarihi: 03.08.2010

Kabul tarihi: 06.09.2010

### Giriş

Günümüzde elektromanyetik alan (EMA) oluşturan kaynaklar arasında radarlar, mobil telefonlar, radyo ve televizyon vericileri, tıbbi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılan çeşitli aletler, yüksek gerilim hatları, mikrodalga fırınlar, elektrikli ev aletleri bulunmaktadır. EMA kaynakları arasında, kablosuz ağlardan yayılan radyofrekans dalgaları giderek artan ölçüde geniş kitleleri etkilemektedir. Bu çalışma kapsamında 2450 MHz dalga frekansının karaciğer dokusu üzerindeki etkilerinin araştırıldığı makaleler incelenmiştir. Çalışma sonuçları; manyetik alanın organizma üzerindeki biyolojik etkileri, bu frekans kullanılarak geliştirilen cerrahi aletler aracılığı ile karaciğer koagülasyon terapisi, moleküler düzeydeki çalışmalar ve davranışsal etkileri olmak üzere ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

### **Radyasyonun sınıflandırılması**

Radyasyon sözcüğü madde içine nüfuz edebilen ışınlar anlamında kullanılmıştır. Cinsleri ve kaynakları farklı olan ışınların tek ortak yönü maddeye, bu arada insan vücuduna nüfuz edebilmeleridir. Çeşitli radyasyonların giricilikleri farklıdır. Fakat belli bir radyasyon türü için giricilik enerji ile ilgili bir özelliktir. Radyasyonlar madde içine nüfuz edip cismi oluşturan atomları iyonlaştırması veya iyonlaştırmaması yeteneklerine göre iki grupta sınıflandırılabilir (1).

Bunlar:

- a. İyonlaştırmayan radyasyon (elektromanyetik radyasyonlar): İyonlaştırmayan radyasyon olarak da tanımlanan elektromanyetik (EM) radyasyon, enerjinin boşlukta elektrik ve magnetik alanlar biçiminde yayılmasıdır. Bu grup içerisinde; radyo dalgaları, ısı, ışık, kızıl ve mor ötesi ışınlar sayılabilir. EM ışınların oldukça karmaşık ve değişken özelliklerini tanımlayabilmek için EM radyasyon dalga ve tanecik özellikleri şeklinde iki ayrı görüşle açıklanır (1).
- b. İyonlaştırıcı radyasyon: (nötron, proton, alfa, beta tanecikleri, x ve gamma ışınları) (1).

### **Elektromanyetik radyasyonun canlılarla etkileşimi**

EM dalgaların etkilerinin ortak mekanizması için net bir açıklama yoktur. EM dalgalarının termal ve termal olmayan olmak üzere iki tip etkisi vardır. EM dalga ile ışınlanan cisimde, gelen dalganın alan şiddeti yeterince küçükse ısı oluşmaz. Termal etkiler, cismin EM dalga ile etkileşmesinde, artan moleküler hareket ve sürtünmeden dolaydır. Biyolojik ortamda ısı artışı oluşur. İyon, moleküler dipol veya kolloid parçacıklar gibi yükler elektriksel alanlarda daima hareket halindedir. Uygun şartlarda (iletkenlik, dielektrik sabiti, frekans, alan şiddeti) organizmanın özelliklerine bağlı olarak; termal olmayan etkiler, termal etkilerden daha aktif olabilir (2).

EM dalga enerjisi doku yüzeyine çarptığında bir kısmı yansır bir kısmı vücut içine girerek soğurulur. EM dalga dokudan geçtikçe ortamın elektriksel özelliklerine bağlı olarak hızı değişir. Bu da dalga boyunda değişmeye neden olur.

EM radyasyon dokular üzerinde yüzey başına watt birimiyle ifade edilen güç yoğunluğunun canlı vücudunda soğurulmasına ve oradan doku ısınması yoluyla hasar oluşmasına neden olurlar. Soğurulan bu güç, (özgül soğurulma oranı) gelen dalganın frekansına, geliş açısına, canlı dokunun su içeriğine ve biyolojik malzemenin elektriksel özelliklerine (iletkenlik, dielektrik sabitleri) bağlıdır. Söz konusu etkileşme canlı vücudunda EM dalganın indüklediği iç alanların doku malzemeleri içinde aşağıda ifade edilen şekilde enerji transferinden kaynaklanır (3).

Elektriksel alanlar herhangi bir atomun serbest elektronlarına kinetik enerji verir.

Elektriksel alanlar, atom ve moleküllerdeki elektrik dipollerine etki ederler. Polarizasyon olarak isimlendirilen bu olaya ilişkin sürtünme nedeniyle dokuda ısı oluşur.

EM dalgaların dokuda oluşturabileceği zarar, onun enerjisine, doku ile yaptığı etkileşmenin türüne, dokuda soğurulan enerji miktarına ve maruz kalma süresine bağlıdır. Bu şekilde dokunun birim kütlede soğurulan enerji "doz" olarak tanımlanır. Özellikle canlı

dokularda soğurulan enerji miktarından çok, enerjinin soğurulma hızı önemlidir. Bu durumu içeren bir “Bağıl Soğurulma Hızı” birimi;  $SAR = \frac{\text{Enerji}}{\text{Kütle} \times \text{Zaman}} = \frac{\text{Joule}}{\text{Kg.s}} = \frac{\text{Watt}}{\text{kg}}$  olarak tanımlanmıştır (4).

### Manyetik alanın karaciğer üzerine etkileri

Kablosuz ağlar ve karaciğer dokusu ile ilişkisinin değerlendirilmesinin amacı; a) Son yıllarda 2450 MHz EMA'nın insan sağlığı üzerine zararlı etkilerinin olduğunu bildiren çalışmalar (5, 6) göz önüne alındığında, bu konunun önemli bir sağlık sorunu oluşturabileceğinin, b) EMA'nın etkilerinden biri olan ısı artışının karaciğer dokusunda histopatolojik değişiklikler meydana getirebileceği ve karaciğerde oluşabilecek bu değişikliklerin metabolik sistemi etkileyebileceğinin düşünülmesidir, c) Kablosuz ağ kullanımının karaciğere ne tür zararlarının olduğunu araştıran bilimsel çalışmaların bir arada ele alınmasıyla bu teknolojik kolaylığın, geniş kitlelere ne gibi etkileri olduğu anlaşılacak ve olumsuz etkilerini en aza indirmenin yolları tespit edilebilecektir. d) Ayrıca bu frekansı kullanan cerrahi aletlerin avantaj ve dezavantajları, yapılan çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılıp, tartışılmış olacaktır. Bu amaçlarla planlanan bu çalışmada, 2450 MHz EMA ve karaciğer üzerinde yapılmış güncel bilimsel çalışmalar araştırılarak, incelendi ve sonuçlar ortaya konularak tartışıldı.

### Karaciğerde histopatolojik değişiklikler

Kubinyi ve ark, tarafından yapılan çalışmada; gestasyon periyodunun tamamında dişi yavruların aminoasit-transfer ribonükleik asit (tRNA) sentetaz üzerine mikrodalga maruziyetin etkileriyle ilgili araştırmalar yapılmıştır. Değişiklikler kontinüs dalga (CW) ve amplitüd modül (AM) mikrodalga radyasyon ile karşılaştırılmış. Maruz kalınan güç yoğunluğu  $3 \text{ mW/cm}^2$  ve tüm vücut SAR değeri  $4.23 \pm 0.63 \text{ W/kg}$  olarak hesaplanmıştır. Aminoasit (tRNA) sentetaz enzimleri ve tRNA (461 maruziyet, 487 kontrol) yavruların

beyin ve karaciğerlerinden izole edilerek aminoasit-tRNA sentetaz aktiviteleri belirlenmiştir. MW (mikrodalga) radyasyon tarafından prenatal dönemde etkilenme olmadığı fakat postnatal dönemde vücut ve organ ağırlıklarının arttığı gösterilmiştir. CW, MW maruziyet sonrası beyinden izole edilen enzim aktivitesinin belirgin olarak azaldığı, ancak 50 Hz AM MW maruziyet sonrası değişikliklerin belirgin olmadığı ve ayrıca CW ve 50 Hz module MW altında karaciğerden izole edilen enzim aktivitesinin arttığı rapor edilmiştir (7). Melvin R. Freiet ve ark, (8) tarafından yapılan diğer bir çalışmada; meme tümörüne meyil fareler 18 ay boyunca günde 20 saat haftanın 7 günü  $0,3 \text{ W/kg}$  SAR değerinde sirküler polarize dalgaya maruz bırakılmış ve meme kanseri insidansı araştırılmıştır. Histopatolojik muayenede;—rastgele dağıtılan (sham ve manyetik alan) gruplarındaki farelerin karaciğerlerinin ılımlı sayıda primer neoplazm içerdiği gösterilmiştir. Araştırmacılar hematopoetik hücre proliferasyonunun dalakta belirgin olmakla birlikte karaciğerde de bazı proliferasyonların olduğunu rapor etmişlerdir.

### Karaciğer koagülasyon terapisi ile oluşan EMA'nın karaciğere etkisi

Shibata ve ark, tarafından yapılan çalışmada; termal ablatif tedavi domuz karaciğerinde çalışılmış ve koagülasyon bölgesinde oluşan çap ve şekil karşılaştırılmıştır. Hepatik akım kesintiye uğratılmaksızın  $40 \text{ W}$   $2450 \text{ MHz}$   $150 \text{ s}$  MW iğne elektrot ile termal olarak koagülasyon sağlanmıştır. Karaciğerdeki koagülasyon çapı  $20 \pm 3$  iken mikrodalga koagülasyondan sonra  $28 \pm 3$  radyofrekans koagülasyonu izlenmiştir. Bu radyofrekans koagülasyon üretiminde, karaciğerde daha geniş ve daha sferik koagülasyon bölgesi olduğu sonucu çıkarılmıştır (9). Mikrodalga koagülasyon terapisi (MKT) Mukaişo ve ark, tarafından küçük hepatik karsinomada uygulanmıştır. Mikrodalga uygulanmış sıçan karaciğerleri asit fosfataz için enzim histokimyası ile incelenmiş ve histolojideki sıralı değişiklikler kontrol edilmiştir.

Mikrodalga ışınlar, yüksek frekanslı enerji koaxial kablodan hedef dokuya doğru geçiş gösterir. 1.6 mm çapında, 15 mm uzunluğunda özel olarak dizayn edilmiş iğne elektrot kullanılarak bu çalışma yapılmıştır. Sonuçları dış zondaki koagülatif nekroz ve içteki zonda doku fiksasyonuna sebep olan mikrodalga ışınlamayı göstermiştir. Enzim histokimyası mikrodalga ışınlama sonrası hücresel yaşayabilirliği değerlendirmek için yaşayabilen hücrelerden sabit hücrelerin ayırt edilmesini sağlayabilmek için kolay olabildiğini göstermişlerdir (10). Fokal ablasyon teknikleri, rezeksiyon yapılmaya uygun olmayan primer ve sekonder karaciğer tümörleri tedavisinde Garcea ve ark, tarafından kullanılmıştır. MKT hipertermik tekniği, tümörlerin yok edilmesinde enerjinin ısıya dönüştürülmesine bağlıdır. Doku içinde ısı oluşumu meydana gelir, koagülasyon nekrozu ve hemostazisle sonuçlanır. Doku koagülasyonu mil şekilli tek kutuplu dalganın çevresinde meydana gelmektedir. Çoklu mikrodalga prob, sinerjik olarak koagülasyon nekrozunun büyük zonunda başarılı bir şekilde kullanılmıştır. İmmün hücre fonksiyonundaki lokal değişiklikler, aynı zamanda tümör ölümüne katkı sağlıyor olabilir ve caspase-3'ün aktivasyonu hücre apoptozisi indüksiyonuyla çıkarılan bölgenin ötesinde önemlidir ve tümör ölüm alanının genişlemesiyle sonuçlanmaktadır. Araştırmacılar, (cat scan) CT görüntüleme perkütan lezyonların gözyaşı şeklinde, intraoperatif lezyonların ise yuvarlak şekilde olduğunu göstermişler. Ayrıca lezyon boyutunun ablasyon ile hızlı bir şekilde birleştirilerek görüntülenme kolaylığının, günümüzde MKT terapinin diğer tiplerinin gelişiminde iki büyük avantaj sağlamakta olduğunu ortaya koymuşlardır (11). Hamazoe ve ark, tarafından mikrodalga doku koagülatörü (2450 MHz) hepatosellular karsinomun (HCK) klinik tedavisinde kullanılmaya başlanmıştır. MTC ile ameliyat edilen tüm hastalarda bir ay sonra alfa fetoprotein serum seviyelerinde azalma gözlemlenmiştir. Araştırmada intraoperatif (mikrodalga doku koagülasyonu) MTC yönteminin karaciğer fonksiyonları üzerine

daha az yan etkilerinin olduğu dolayısı ile yerel tümör nekrozu için etkili bir yöntem olabileceği gösterilmiştir Karaciğer rezeksiyonunda enflamatuar reaksiyonlar meydana gelmektedir (12). Perkutan mikrodalga koagülasyon tedavisi (PMKT) ilk olarak HSK (hepatoselüler karsinom) tedavisinde Murakami ve ark, tarafından uygulanmıştır. 2450 MHz mikrodalgalarda 60 W emisyon 60 sn için üretilmiştir. 5 lezyon hariç diğer gözlenen vakalarda hiçbir tekrarlanma olmadığını saptamışlardır. Tüm hastalarda tedavi toleransının iyi olduğunu ve ciddi komplikasyon görülmediğini ortaya koymuşlardır (13). Feng tarafından yapılan çalışmada; 70 karaciğerin çıkarılması 2450 MHz mikrodalga kullanılarak, neşterle yapılmıştır. İlk hastalıklı hepatoselular karsinom (46 vaka), hemanjiyom (18), safra yolları taşı (2), safra kistadenoma (1), metastatik karaciğer kanseri (2), canlı ve enflamatuar yalancı tümör (1) olmuştur. Karaciğer sirozuna rağmen hemostasis her durumda mükemmel olmuştur. Komplikasyonsuz mikrodalga koagülasyon sonuçlandırılmıştır. Bu yeni ameliyat tekniğinin karaciğer cerrahisi alanında güvenli ve kolay kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir (14). Burton ve ark, bölgesel hipertermi sırasında hepatik kan akımı değişiklikleri incelenmiş. Tümör ve normal karaciğer dokusu için bir karaciğer tavşan VX2 tümör modeli hepatik arter ve portal venöz kan akımı üzerine hipertermi etkisi incelenmiştir. Hyperthermi sırasında tümör kan akımı nedeniyle normal doku ve tümör olarak sıcaklık farkları, 5–8 C<sup>0</sup> derece arasında karşılaştırılmıştır. Hipertermi tümör dokusunda üzerinde uygulanmış ve portal ven sıcaklıkları etkisi aracılığında normal karaciğer dokusunda ancak az ısı kaybı olur (15).

### **Tümör tedavisi esnasında oluşan EMA'nın karaciğere etkisi**

Morikawa ve ark, çalışmalarında; karaciğer tümörlerinde mikrodalga termoregülasyonu MKT ile MR kılavuzluğunda kolay, doğru ve etkili bir şekilde bilgisayar yardımını

kullanmışlardır. 2450 MHz mikrodalga koagülatör ve açık konfigürasyonlu MR tarayıcı kullanmışlardır. Bu MR kılavuzluğundaki prosedür için oldukça kullanışlı ve yardımcı yeni bilgisayar yardımı geliştirilmiştir (16). Kanaoka ve ark, 2450 MHz'de mikrodalga endomyometrial ablasyonda uterus dışı ısı zararı olmadan mikrodalga gücü ve süresi hakkında yaptıkları çalışmada; mikrodalga gücü ve kullanım süresinin, rahim dışı organlara etkilerinin olmadığı, myoma veya adenomiyozis nedeniyle organik menoreji tedavisi amacıyla kullanılmıştır. Mikrodalga endomyometrial ablasyon sırasında  $\leq 64,5$  W için 100 s uyarılan rahim boyunca uterus duvarının myometrial kısmı  $\geq 13$  mm rahim dışı organların termal zararını önlemek için yeterli olduğunu göstermişlerdir (17). Elektron mikroskobu iletimi için dokuda mikrodalga uyarılmasının tespit edilmesi hakkında Ng ve ark,'nın yaptıkları çalışmada; 2450 MHz frekansta 500 W çıkış gücü olan ev tipi mikrodalga fırın kullanılmıştır. Mikrodalga uyarılmasının tespit edilmesi için optimal ısı aralığının  $50^{\circ}\text{C}$  ve  $55^{\circ}\text{C}$  arasında olduğunu bulmuşlardır. Araştırmacılar mikrodalga uyarılmasının tespit edilmesi tekniği hızlı ve tekrarlanabilir ve etkili bir şekilde rutin patolojide tanı için uygulanabileceğini göstermişlerdir (18). Prakash ve ark, yaptıkları çalışmada; karaciğer görüntüsünün özel ısı kapasitesinde ölçümü yapılmıştır. Ayrıca bu görüntüler 0,7–20 GHz, 2450 MHz yaygın olarak kullanılan frekans mikrodalga hipertermi ve ablasyon için görüntülerin ölçümlerinin dielektrik özelliklerinin mevcut olduğunu göstermişlerdir (19).

### Moleküler düzeydeki çalışmalar

Sıçan karaciğer mitokondrisi üzerinde mikrodalga radyasyonun in vitro etkilerini araştırmak için Dutton ve ark, yaptıkları çalışmada, karaciğer mitokondrisi solunum durumunda izleyerek in vitro  $30^{\circ}\text{C}$  mikrodalga radyasyona (2450 MHz) maruz bırakılmıştır. Araştırmacıların sonuçları yüksek güç düzeyinde mikrodalga radyasyonun gevşek bağlı mitokondrinin

fonksiyonlarını etkileyebileceğini önermektedir (20). Galvin ve ark, yaptıkları diğer bir çalışmada hepatik lizozomların in vitro mikrodalga radyasyona (2450 MHz) ya önceden veya eş zamanlı olarak maruz kalan, retinol (vitamin A) ile tedavi olan ve lizozomal enzimlerden salınan; beta-glukoronidaz, asit fosfataz ve katepsin D belirlenmiştir. 60 dk mikrodalga pozlama (10 veya 100 mW/g) retinol tedavisinin lizozomlardan salınan beta-glukoronidaz, katepsin D veya asit fosfataz üzerine etkili olmadığı rapor edilmiştir. Son olarak, retinol ile tedavi edilen lizozomlardan asit fosfataz ve beta-glukoronidaz gecikme kaybı üzerine mikrodalga radyasyonun etkisinin olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar mikrodalga radyasyonla uyarılan retinolle tedavi edilen grup üzerinde lizozomal enzim serbestlenmesinin hiçbir etkisi olmadığını göstermişlerdir (21). Zolotareva ve ark, deneylerde erkek Wistar ratlar üzerinde tıpta fiziksel faktörlerin uygulanması (0,89 mikron dalga boyu ile düşük yoğunluklu laser radyasyon, 2450 MHz santimetre aralığında mikrodalgalar ve düşük yoğunluktaki 880 kHz'lik ultrason) karaciğerin mikrozomal katalitik aktivite değişikliği ve rostenedione 16 alfa, 6 beta hidrosilasyon sitokrom P 450h ve P 450p ve kan kortikosteroid düzeyi bulunmuştur. Bu bulgular fiziksel faktörler altında karaciğer bölgesine ciltten uygulanan kandaki kortikosteronun aktif formunun fizyolojik olarak düzeyi, sitokrom P-450 karaciğer steroid metabolizmasının aktivitesi arasında bir ilişki gösterdiğini bulmuşlardır (22). Lu ve ark, mikrodalgaya maruz kalan sıçanlarda, serum enzim aktivitesi artışını incelemişlerdir. Alkalen fosfataz ve laktik dehidrogenaz enzimlerinde mikrodalgaya maruz kalma sonucu artış olmadığı fakat  $41,5^{\circ}\text{C}$  de ışınlamadan 24 saat sonra ışınlanan grupta serum glutamik pruvik transaminaz ve glutamik oksaloasetik transaminaz enzimlerinde artma olduğu saptanmıştır. Mikrodalga ışınlama sonrası akut hücresel yaralanma için vücut ısısı eşiğini göstermişlerdir. Araştırmacılar vücut sıcaklığının sürdürülmesini etkileyen değişikliklerle ve maruziyet süresi ile bu

geçici eşiğin karaciğer de akut hücresele zarar oluşturabileceğini göstermişlerdir (23). Obukhan'ın yaptığı çalışmada; mikrodalga (2450 MHz, 1 mW/cm<sup>2</sup>, CW) kemik iliğinde DNA ve protein sentezi üzerinde, sıçanların testis ve karaciğer hücrelerinde erken evrede savunma uyumu tepkilerini çalışmışlardır. Doku sitoradyografik analizi yayma ve 3H-timidin ve 35s-Methionine kullanılarak yapılmıştır. Hücrelerin farklılaşma ve fonksiyonel faaliyet oranı tepkinin türü mikrodalga ışınlamanın kromozom dizilerinin sayısı üzerine bağlı olduğunu göstermişlerdir (24). Khitrov ve ark, çalışmalarında, perfüze sıçan karaciğeri içinde potasyum iyon taşıma ve oksijen tüketimi üzerine mikrodalga radyasyon etkisini inceledikleri çalışmalarında, mikrodalga ışınlama etkisi ile değişiklikleri uyarılmış (2450 MHz, 0,1-5 W/g) potasyum iyon taşıma ve oksijen tüketimi üzerindeki perfüze karaciğerin ısıtma ile indüklenenden farklı olmadığını göstermişlerdir. Bu, mikrodalga radyasyonun mekanizmasının "termal" bir etki olduğunu bulmuşlardır (25). Çetinkaya ve ark, tarafından yapılan çalışmada; paratenik konak dokularında bulunan infektif *Toxocara canis* larvalarına mikrodalga pişirme işleminin etkisini ortaya koymak için yapılmıştır. Çiğ infektif karaciğer larvalarıyla beslenen farelerin organlarında çeşitli sayılarda larva bulunurken, mikrodalgada pişirilmiş infektif karaciğerle beslenen farelerde larvaya rastlanmadığını göstermişlerdir (26). Tetsuya ve ark, tarafından yapılan çalışmada; ışınlamaya maruz kalan transgenik Fare lacZ'nin dalak, karaciğer, beyin, ve testiste 2450 MHz radyofrekansın mutajenik etkilerin yokluğunu çalışmışlardır. 2450 MHz maruz kalma ile olası bir mutagenik etki incelenmiştir. lacZ-Transgenik mutagenik fareler kullanılarak yapılmıştır. Hamile hayvan bütün vücut ortalama spesifik soğurma oranı 0,71 W/ kg aralıklı olarak maruz bırakılmıştır. Bu veriler, radyofrekansa maruz bırakılan seviyenin uterusu kısa tekrarlı patlamalarda mutagenik olmadığını göstermişlerdir (27).

### Davranışsal

D'Andrea ve ark, yaptıkları çalışmada; 2450 MHz mikrodalgalara kronik maruz kalmanın fizyolojik ve davranışsal etkilerini incelenmişlerdir. Long-Evans Erkek yetişkin sıçanlar 2450 MHz CW mikrodalgalar için on altı hafta boyunca mW/cm<sup>2</sup> bir ortalama güç yoğunluğuna maruz bırakılmıştır. Sonuç doz oranı 1,23 (+/- 0,25SEM) mW/g olmuştur. 1, 5, 9, 12. maruz kalma haftasında idrarda 17-ketosteroid seviyelerinin ölçümü ve ve adrenallerin kitlesi, kalp ve karaciğer 16 hafta maruziyet sonu dönemde, stresle ilgili hiçbir gösterge saptanmadığını bulmuşlardır (28). Jensch ve ark, tarafından yapılan diğer bir çalışmada; 2450 MHz mikrodalga radyasyonda hamile sıçanlarda uzun ışınlamanın teratojenik potansiyeli I. morfolojik analiz dönemi değerlendirilmiştir. Bu araştırma 2450 MHz frekansta mikrodalga radyasyonun 20 mW/cm<sup>2</sup> güç yoğunluğu düzeyinde sıçanların ve uzamış doğum öncesi maruz kalma etkilerinin çalışılması için tasarlanmıştır. Aşağıdaki parametrelerde önemli değişiklikler gözlenmemiştir: anne kilo alımı gebelik sırasında anne organ ağırlıkları (beyin, karaciğer, böbrekler, yumurtalıklar), cenin ağırlığı, rezorpsiyon oranı veya anormallik oranı. Bu sonuçlar 2450 MHz mikrodalga radyasyon 20 mW/cm<sup>2</sup> ışınlama için hamile sıçanların uzun bir güç yoğunluğu düzeyinde embriyopatik olmadığını göstermiştir (29).

### Sonuç

Karaciğer üzerinde yapılan manyetik alan çalışmaları özellikle 2450 MHz frekansı için çok sayıda ve çeşitlilikte değildir. Karaciğer birçok metabolik fonksiyonu yerine getirmesiyle birlikte karaciğerin herhangi bir metabolik fonksiyonunu ya da moleküler bir mekanizma ile karaciğer üzerinde bir etkiden söz etmek mümkün değildir. Bir de diğer boyutu olan cerrahi aletlerde bu frekans kullanılarak yapılan cerrahi girişimlerde başarılı sonuçlar vardır. Fakat bu frekansı bizim inceleme sebebimiz özellikle kablosuz ağların yaygın kullanıma sahip olması ve insanların bunu dizüstü bilgisayarlarda, karaciğer dokusuna yakın kullanmasının ne tür etkilere

sebepe olduğunu ortaya koymaktır. Yapılan araştırmalarda insan vücudunun 1°C sıcaklık artışını dahi tolere edemediği bilinmektedir. Bu süreçte manyetik alan kaynağına yakınlığın ve maruz kalınan sürenin dikkate alınması gerekir. Kablosuz ağı kullanımı süresince, olabildiğince kaynaktan uzak bir şekilde çalışılması ve kullanım haricinde kaynağın kapalı konumda tutulması gerekmektedir. Uzun süre manyetik alana maruz kalmayı önlemek için, çalışma süresini bölümlere ayırmak gerekmektedir. Manyetik alan kaynağına yakınlık ve kullanım süresine dikkat edilmesi ile muhtemel etkilerinden biri olan ısı artışının önlenmesi sayesinde dokuya vereceği zarar en aza indirilebilir. Bu konuda daha ileri düzeyde histopatolojik ve moleküler çalışmalara ihtiyaç vardır. Net bilimsel verilerle tam olarak etki mekanizması açıklandığında, manyetik alanın hücre ve doku düzeyinde ne gibi makroskobik ve mikroskobik etkileri olduğu anlaşılacaktır. Bu teknolojik kolaylığın zararının en aza indirilebilmesi mümkün olacaktır. Hem biyolojik dokuların etkilenmesinin önüne geçilmesi, hem de ilerleyen teknoloji sayesinde bu cihazların geliştirilerek daha kolay ve etkin kullanılabilir hale getirilerek, zararlı etkilerinin en aza indirilmesi mümkün olabilecektir.

### Kaynaklar

1. Şeker S, Çerezci O. Çevremizdeki radyasyon ve koruma yöntemleri. Boğaziçi Üniv. Yayınları, İstanbul, 1997.
2. Özen Ş. Mikrodalga frekanslı EM radyasyona maruz kalan biyolojik dokularda oluşan ısı etkinin teorik ve deneysel incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Müh. Doktora Tezi. Sakarya, 2003
3. Şeker S, Çerezci O. Elektromanyetik alanların biyolojik etkileri güvenlik standartları ve korunma yöntemleri. Boğaziçi Üniv. Yayınları, 1991
4. Sanalan Y. Nükleer Olmayan Radyasyonda Var. Elektromanyetik Kirlilik Etkileri Sempozyum Kitabı, 1999; 1-4.
5. Yılmaz H, Kablosuz yerel alan ağlarından kaynaklanan elektromanyetik alanın, işitme üzerine etkilerinin araştırılması. Uzmanlık Tezi. İstanbul, 2007
6. Saygın M, Çalışkan S, Gümrül N, Soydan M, Vural H. 2450 MHz elektromanyetik radyasyonun sıçanların FSH, LH ve Total Testosteron seviyelerinde meydana getirdiği değişiklikler. S.D.Ü. Tıp Fak. Derg. 2009; 16(4): 10-14
7. Kubinyi G, Thuroczy G, Bakos J, Boloni E, Sinay H, Szabo LD. Magnetic field and the initial phase of the protein synthesis in newborn and adult mice. Electromagnetic Biology and Medicine 1998; 17(2): 161-169
8. Frei MR, Berger RE, Dusch SJ, Guel V, Jauchem JR, Merritt J, Stedham MA. Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation. Bioelectromagnetics 1998; 19: 20-31
9. Shibata T, Niinobu T, Ogata N. Comparison of the effects of in-vivo thermal ablation of pig liver by microwave and radiofrequency coagulation. J Hepatobiliary Pancreat Surg 2000; 7: 592-598
10. Mukaisho K, Sugihara H, Tanı T, Kurumi Y, Kamitani S, Tokugawa T, Hattori T. Effects of microwave Irradiation on rat hepatic tissue evaluated by enzyme histochemistry for acid phosphatase. Digestive Diseases and Sciences. 2002; 47(2): 376-379
11. Garcea G, Berry DP. Focal liver ablation techniques in primary and secondary liver tumors. Cancer Drug Discovery and Development Regional Cancer Therapy Edited by: P. M. Schlag and U. S. Stein Humana Press Inc. Totowa, NJ. 2007; 229-267.
12. Hamazoe R, Yasuaki Hirooka, Ohtani S, Katoh T, Kaibara N. Intraoperative microwave tissue coagulation as treatment for patients with nonresectable hepatocellular carcinoma. Cancer 1995; 75: 794-800
13. Murakami R, Yoshimatsu S, Yamashita Y, Matsukawa T, Sagara K. Treatment of hepatocellular carcinoma: Value of percutaneous microwave coagulation. AJR 1995. 164: 1159-1164

14. Feng YQ. Microwave technique in hepatic surgery: report of 70 cases. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi*. 1992; 30(10): 610–1, 636
15. Burton MA, Kelleher DK, Codde JP, Gray BN. Changes in hepatic blood flow during regional hyperthermia. *Int J Hyperthermia* 1991; 7(2): 271–7.
16. Morikawa S, Inubushi T, Kurumi Y, Naka S, Sato K, Demura K, Tani T, Haque HA, Tokuda J, Hata N. Advanced computer assistance for magnetic resonance-guided microwave thermocoagulation of liver tumors. *Acad Radiol* 2003; 10(12): 1442-9
17. Kanaoka Y, Hirai K, Ishiko O. Microwave power and duration without extrauterine thermal damage in microwave endomyometrial ablation at 2.45 GHz. *Journal of Obstetrics and Gynecology Research* 2005; 31 (5): 359-67
18. Ng KH, Gan SK. Microwave-stimulated fixation for electron microscopy using a domestic microwave oven. *Malays J Pathol* 1990; 12(1): 27-33
19. Prakash P, Converse MC, Mahvi DM, Webster JG. Measurement of the specific heat capacity of liver phantom. *Physiol Meas* 2006; 27(10): N 41-6
20. Dutton MS, Galvin MJ, McRee DI. In vitro effects of microwave radiation on rat liver mitochondria. *Bioelectromagnetics* 1984; 5(1): 39–45
21. Galvin MJ, Parks DP, MacNichols G, McRee DI. Influence of CW microwave radiation on in vitro release of enzymes from retinol- treated hepatic lysosomes. *Cell Biophys* 1981; 3(2): 175–86
22. Zolotareva TA, Gorchakova GA, Konovalenko VL, Konovalenko LN, Grishanova AIu, Guliaeva LF, Liakhovich VV. Activity of cytochromes P-450p and P-450h in liver microsomes and blood corticosteroid levels in experimental animals under the action of physical factors. *Biull Eksp Biol Med* 1992; 113(5): 498-500
23. Lu ST, Michaelson SM, Pettit S. Increased serum enzyme activity in microwave-exposed rats. *Radiat Res* 1983; 96(1): 152–9
24. Obukhan KI. The cytoradiography of the DNA and proteins in different types of cells after the irradiation of rats with decimeter waves. *Tsitol Genet* 1999; 33(3): 34-8
25. Khitrov IuA, Kakushkina ML. The action of microwave radiation on potassium ion transport and oxygen consumption in the perfused rat liver. *Radiobiologiya* 1990; 30(2): 247–51
26. Çetinkaya H, Gargılı A, Altaş K. Effects of Microwave cooking on the Infectivity of toxocara canis (werner, 1782) larvae in the liver of Paratenic Host Mice. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 2006; 30: 533–538
27. Ono T, Saito Y, Komura JI, Ikehata H, Tarusawa Y, Nojima T, Goukon K, Ohba Y, Wang J, Fujiwara O, Sato R. Absence of mutagenic effects of 2.45 GHz radiofrequency exposure in spleen, brain, and testis of lacZ-transgenic mouse exposed in utero. *Tohoku J. Exp. Med* 2004; 202: 93–103
28. D'Andrea JA, Gandhi OP, Lords JL, Durney CH, Johnson CC, Astle L. Physiological and behavioral effects of chronic exposure to 2450-MHz microwaves. *J Microw Power* 1979; 14(4): 351–62
29. Jensch RP, Weinberg I, Brent RL. An evaluation of the teratogenic potential of protracted exposure of pregnant rats to 2450-MHz microwave radiation: I. morphologic analysis at term. *J Toxicol Environ Health* 1983; 11(1): 23–35