

Tıpta radyasyon uygulama teknikleri, doz ve risk hesapları?

Röntgen, Bilgisayar Tomografisi (BT), Manyetik Rezonans Tomografisi (MRT) ve Pozitron Emisyon Tomografisi (PET) uygulamalarının fiziği, vücudumuzun aldığı radyasyon dozu ve kanser riski ne kadar?

Giriş

Birçok kişi, radyasyonun gizemli ve çok tehlikeli bir şey olduğu düşüncesiyle, vücuduna radyasyon uygulanmasından ya da aletlerin altına yatıp ısınmaktan korkar. Kuşkusuz her şeyde olduğu gibi radyasyon uygulamalarının da bir riski var. Bu yazıda, tıpta tanı ve iyileştirme (tedavi) amacıyla yapılan radyasyon uygulamalarının dayandığı fiziğin ve teknolojinin, konuya yabancı olanlar için bir miktar açıklanmasının yanı sıra, bu uygulamalar sırasında oluşan radyasyon dozları ve kanser riski hesap sonuçları veriliyor. Yapılan karşılaştırmalar, bu uygulamalardan doğabilecek kanser risklerinin genellikle düşük düzeylerde olduğunu gösteriyor.

Çok kişi, radyasyon uygulaması sonucu kanseri yenerek sağlığına kavuşuyor. Radyasyon uygulamaları tıp öğreniminde bile çok küçük bir bölümü kapsıyor, halk arasında ise pek bilinmiyor. Gözle görülemeyen ve diğer duyarımızla algılanamayan radyasyonun varlığı ise, özel aletlerle gösterilebilir ve hangi düzeyde olduğu ölçülebilir. Diğer bazı tıp uygulamalarındaki belirsizliklere karşın, radyasyonla iyileştirme, fiziksel yöntemlerle planlanıp uygulanabiliyor ve etkileri ölçümlerle gösterilebiliyor. Bir ilaç vücuda alındığında ise, bunun ne kadarının vücutta istenilen yere ulaştığı tam olarak kestirilemiyor. Örneğin ilacın tümöre gerekli miktarda ulaşp ulaşmadığı, başka etkenlerin yanı sıra, kan dolaşımıyla tümörün tam beslenip beslenmediği gibi nedenlerle, kesinlikle bilinmiyor. Halbuki vücudun belirli bir yerine radyasyon dozu verildiğinde, bunun ne kadarının kanser hücrelerine ulaştığı iyice hesaplanabiliyor.

İstatistik olarak bakıldığında her üç ya da dört kişiden biri, yaşamı boyunca kansere yakalanacağını hesap etmeli. Yaklaşık olarak tüm kanserli hastaların yarısı iyileşebiliyor. Ancak kanser cinsleri arasında iyileşmede büyük farklılık da görülüyor. Radyasyon tedavisi görenlerin %50 -%60 kadarı iyileştirilebiliyor.

Tıpta Röntgen ışınları uygulamaları

Tıpta tanı ve iyileştirme amacıyla genellikle yüksek enerjili (sert) Röntgen ışınları (ya da fotonları) ve elektronlar kullanılıyor. Bunlar, elektron hızlandırıcılarında üretiliyor. Ayrıca protonlar ve ağır iyonlar (karbon 12 atom çekirdekleri gibi) da aşırı düzeyde hızlandırılarak tümörlü dokulara yönlendirilip, tümörler öldürülüyor ve hastanın iyileşmesi sağlanabiliyor.

Röntgen ışınlarıyla görüntüleme

Tıpta tanı amacıyla röntgen filmi kullanımının yaygın olduğunu biliyoruz. Örneğin bir kazada kemiklerin kırık olup olmadığı, kırığın tam yeri ve büyüklüğü Röntgen ışınlarına tutulan vücudun ilgili bölümünün arkasına konan bir filmde görüntülenebiliyor ve bu tanıya göre ne yapılması gerektiği belirlenebiliyor. Halkın, göğüs ve diş filminin çok çekildiği ve tıpta en çok radyasyon dozunun da bunların sonucu alındığı biliniyor. Kemiklerin daha yoğun olması sonucu Röntgen ışınları daha çok soğurulup filmde daha açık bir görüntü oluştururken, ışınlar, kırık yerdeki aralıktan(dokudan) daha az soğurularak geçerek filmde daha koyu bir görüntü oluşturduğundan kırık kolayca tanınabiliyor.

Röntgen ışınları, elektronların bir anoda yüksek gerilim (voltage) altında hızla çarpıtılması sonucu ortaya çıkan fotonlardan oluşan elektromanyetik dalgalar. Fotonlar, çok küçük enerji paketleri olarak düşünülebilir. Fotonların enerjileri 100 elektron volt (eV) dan birkaç milyon elektron volta (MeV) kadar uzanabiliyor. Bu enerjiler 10 nanaometre (10^{-8} m) ile 1 pikometre (10^{-12} metre) dalga boylarına karşılık geliyor. Röntgen ışınları, elektromanyetik spektrumda mor ötesi ışınlarıyla gama ışınları arasındaki bölümde yer alıyorlar. Röntgen ışınlarını, 1895’de Wilhelm Conrad Röntgen bulduğunu da biliyoruz (Bkz.Ek 1 ve 2). Bunlar ilk ortaya çıktığında Röntgen ne olduğu bilinmeyen bu ışınlar, matematikte bilinmeyen anlamına gelen X’den esinlenerek X-ışınları adını vermiştir ve bu nedenle bunlara X-ışınları da deniyor.

Bilgisayarlı Tomografi (BT)

Modern röntgen aygıtlarıyla sadece kemiklerdeki kırık ya da bozukluklar değil aynı zamanda vücudun iç organları da görüntülenebiliyor. Halk arasında ‘BT çekimi’ olarak bilinen teknikte, Röntgen ışınlarına tutulan organlardaki yoğunluk farklarından yararlanılıyor ve sonuçlar bilgisayar ekranına taşınarak tanı konabiliyor. Kemiklerde daha çok 20 atom numaralı kalsiyum bulunurken, yumuşak dokularda daha çok 1 atom numaralı hidrojen, 6 atom numaralı karbon ve 8 atom numaralı oksijen bulunuyor. BT’de, bilgisayar tekniklerinin yardımıyla belirli bir organın tam bir görüntüsü elde ediliyor ve organdaki bozukluklar için tanı konabiliyor.

Röntgen ışınları yüksek dozda kanserli bir dokunun tümörlü yerine verilip, tümörün öldürülmesi sağlanarak hastanın ameliyat olmadan iyileştirilmesi de sağlanabiliyor. Işınlama, vücudun etrafında döndürülen ışınlama aygıtıyla ve toplam doz 5-10 güne bölünerek yapılıyor. Böylelikle ışınların yolları boyunca geçtikleri sağlıklı organlar ve hücreler daha az doz alıyorlar.

Tıpta sık yapılan röntgen ışınlamalarında vücudun aldığı etkin radyasyon dozları (mSv)

Diş filmi:	< 0,01
El, kol, bacaklar:	< 0,01 – 0,1
Kafatası:	0,03 – 0,06
Boyun kemiği:	2 düzeyde: 0,1 – 0,2
Göğüs kafesi (Thorax), tek çekim:	0,02 – 0,04
Memelerin ışınlaması (her iki yandan 2 düzeyde):	0,2 – 0,4
Sırt omurgası 2 düzeyde:	0,2 – 0,5
Belaltındaki omurga: 2 düzeyde:	0,6 – 1,1
Leğen kemiği:	0,3 – 0,7
Karın bölgesine barsaklar:	0,3 – 0,7
Miğde:	4 – 8
Barsaklar(kontrastlı)	5 – 12
Safra:	1 – 8
İdraryolu:	2 – 5
Arteriografie:	10 – 30
BT Beyin bölgesi:	1 – 3
BT Belaltı omurga:	4 – 9
BT Göğüs kafesi (Thorax)	4 – 7

Kaynak: Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de), Radyasyon doz birimleri için bkz. Ek 2.

Kanser riski nasıl hesaplanıyor?

Vücutta oluşan radyasyon dozlarının etkisiyle kanserin ortaya çıkma riskinin hesaplanabilmesi, ancak çok sayıda kişi aynı düzeyde doz aldığında yapılabilir. Örneğin toplumda 1 milyon kişi röntgen filmi

çektirmiş ise, bunların kaçında kanserden ölüm beklenebiliyor? sorusu yanıtlanmaya çalışılıyor. Bunun hesaplanması ise başka seçenek olmadığından, 2.Dünya Savaşında Japonya’da atılan atom bombalarından kurtulanların (100.000 kişi kadar) aldıkları yüksek radyasyon dozları sonucu, bu topluluk içinde, daha sonraki yıllardan bugüne kadar görülen kanserden ölen kişi sayısı ile ilişkilendiriliyor. Buradan, topluluk ışınlamalarında, her bir Sievert (Sv)’lik radyasyon dozunun, o toplumda ortalama olarak % 5’lik ölümcül kanser riski taşıdığı sonucu çıkmıştır. Örneğin 10.000 kişilik bir toplulukta herbir kişi 1 Sv doz almışsa bunların içinden 500 kişide ölümcül kanser beklenebilir. Ancak bunların kimler olabileceği bilinemez. Aşağıdaki çizelgede, toplam % 5’lik ölümcül kanser riskinin, çeşitli organlara dağılımı ya da herbir organ için kanser riski katsayıları görülmüyor.

1 Sievert’lik bir dozun çeşitli organlarda oluşturabileceği yüzde olarak ölümcül kanser riski katsayıları (%/Sv)
Omurilik: 0,5
Kalın barsaklar: 0,85
Mide: 0,7
Akciğerler: 0,85
Göğüs: 0,6
Yemek borusu: 0,3
İdrar torbası: 0,3
Karaciğer: 0,15
Yumurtalık: 0,1
Tiroid: 0,08
Kemikler: 0,05
Deri: 0,02
Diğer organlar: 0,5
Toplam: 5,0

Hesaplama örnekleri:

Akciğerlerin aldığı toplam doz: 0,3 mSv

Bu dozun akciğerlerde oluşturabileceği ölümcül kanser riski: $0,3 \text{ mSv} \times 10^{-3} \text{ Sv} \times \% 0,85 = 1 : 400.000$

Bu dozu alan her 400.000 kişiden 1’i yaşamı boyunca ölümcül akciğer kanserine yakalanacak anlamındadır.

Tüm vücut için 0,2 mSv ‘lik bir etkin dozun, vücudun herhangi bir yerinde tümör oluşturma sonucu ölümcül kanser riski :

$0,2 \text{ mSv} \times 10^{-3} \times \% 5 \text{ Sv}^{-1} = 1 : 100.000$

Bu ise bu dozu alan her 100.000 kişide 1 kişinin vücudunun herhangi bir yerinde kanser (tümör) ortaya çıkması sonucu o kişinin ileride ölebileceği anlamına geliyor.

Röntgen uygulamalarında vücudun aldığı radyasyon dozlarının oluşturabileceği ölümcül kanser riskleri

El ve dişlerde: 10 milyonda bir kanser görülebilir (1:10.000.000)

Dirsek ve dizlerde: Milyonda bir 1:1.000.000

Akciğerler (2 film için): 1:100.000

Meme: 1:20.000 ile 1:40.000 arasında

Baş BT'si: 1:10.000

Miğde ve ince barsak (bir dizi uygulama): 1:2.000

Kalın barsak: 1:1.000

Manyetik Rezonans Tomografisi ya da Nükleer Spin Tomografisi (MRT)

MRT, iç organların ve dokuların tanı amacıyla görüntülenmesini, manyetik alanlar ve yüksek frekanslı radyo dalgaları yardımıyla sağlıyor.

İlk kez 1939 yılında Dr. Isidor Rabi ve arkadaşları, manyetik rezonansı farkettiler. Manyetik rezonans görüntüleme yöntemi, 1946 yılında Harvard Üniversitesinden Amerikalı fizikçi Edward M. Purcell (1912-1997) ve Stanford Üniversitesinden Felix Bloch'un (1905-1983) birbirlerinden bağımsız çalışmalarıyla ortaya çıkıyor. Bu tekniğin fizik ve kimyada uygulamaları başlıyor. Her iki araştırmacı da 1952 yılında bu buluşları nedeniyle Nobel ödülüyle onurlandırılıyorlar.

Bu tekniğin tıpta uygulanması ise 1973 yılında, her ikisi de fizikçi olan, Lauterbur ve Mansfield'in çalışmalarıyla başlıyor. Onlara da 2003 yılında Nobel Tıp Ödülü veriliyor. Pratikte bu teknik 1984'den beri tıpta uygulanıyor. Türkiye'de ilk kez 1989 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesinde, bu teknik, uygulanmaya başlıyor.

(RESİMLER RADYASYON VE SAĞLIĞIMIZ KİTABIMDA NOBEL YAYINLARI 2014)

Felix Bloch

Edward Mills Purcell

Nükleer manyetizma dalındaki, birbirlerinden bağımsız, duyarlı ölçüm ve yöntemleri sonucu ortaya çıkan buluşları nedeniyle, Felix Bloch ve Edward Mills Purcell '1952 Nobel Fizik' ödülünü kazanıyorlar (Foto: Nobel Vakfı'ndan)

2003 Nobel Tıp Ödülü bir kimyacı ve fizikçinin:

Paul C. Lauterbur

Sir Peter Mansfield

Resimlerin altına yazılacak Tıpta, MRT görüntüleme buluşları nedeniyle, Paul C. Lauterbur ve Sir Peter Mansfield

2003 Nobel Tıp ödülünü kazanıyorlar (Foto: Nobel Vakfı'ndan)

Manyetik Rezonans Tomografisinin (MRT) Fiziği:

Aslında MRT, fizikte bilinen Nükleer Manyetik Rezonans (NMR) olayına dayanıyor (Halkın 'nükleer' sözcüğüne karşı çekincesi sonucu NMR yerine artık MRT kullanılıyor). Vücut dokularında çok bulunan su moleküllerindeki hidrojen atom çekirdeklerinin (protonların) kendi eksenleri etrafında dönme hareketleri (ki buna fizikte **spin** deniyor) sonucu protonların çevrelerinde, zayıf da olsa, bir manyetik alan oluşuyor. Bunlara dışardan kuvvetli bir statik manyetik alan uygulandığında, atom çekirdeklerinin dönmeleri hızlanıyor ve bu hızlanma statik manyetik alan doğrultusunda az miktarda boyuna (longitudinal) ek bir manyetik alan oluşturuyor (ki bu olguya paramanyetizma deniyor). Dıştaki kuvvetli

manyetik alanın yanı sıra, radyo frekans aralığında genellikle 100 Mega Hertz (MHz) dolayında yüksek frekanslı, değişken bir alan, kısa süreli, uygulandığında ise, atom çekirdeklerinin oluşturduğu manyetizma, statik manyetik alanın yönünden sapıyor . Böylece manyetik alan, enine dalgalarla (yayılma doğrultusuna dik titreşen ya da transvers dalgalarla) yayılıyor ve manyetizmanın doğrultusu, yalpalayarak, salınarak dönmeye (presesyona) başlıyor. Bu şekildeki bir manyetizma, dinamodaki mıknatısların dönmeye benzetilebilir ve bobinde bir elektrik akımı oluşur. Bunların genlikleri enine manyetik alanın şiddetiyle orantılıdır. Yüksek frekanslı değişken alan kesilince enine manyetizma ve dolayısıyla protonların manyetik momentleri, tekrar statik manyetik alana yönelirken enerji, ışın (sinyal) salarak (yayarak) azalıyor ki MRT’de belirlenen görüntünün kaynağı bu sinyallerdir. Bunu biraz daha açarsak: radyo dalgası uygulanmadan önce, salınım hareketi yapmakta olan düşük enerji düzeyindeki protonlar, radyo dalgası uygulandığında bu dalgalardan enerji soğurarak konumlarını değiştirip yalpalıyorlar. Bir süre sonra radyo dalgası kesildiğinde ise, protonlar, radyo dalgalarından soğurdukları enerjiyi radyo frekansında ışın (sinyal) salarak çevrelerindeki moleküllere aktarıyorlar ve eski konumlarına geri dönerek gevşiyorlar ki buna, **rezonans** deniyor. Bu duruma geçiş belirli bir gevşeme (relaksasyon) süresinde oluyor . Bu gevşeme, hidrojen atomlarının bulunduğu dokudaki kimyasal bağlara ve o çevredeki molekül yapılarına bağlı olarak değişiklik gösteriyor. Böylelikle her bir doku cinsine göre oluşan sinyallerin bilgisayara aktarılmasıyla açık ya da koyu görüntüler ortaya çıkarak vücuttaki bozukluklar, tümörler MRT ile belirlenebiliyor. Bilgisayar, bu sinyallerden vücudun ilgili yerinin kesit resmini görüntülüyor.

MRT, hidrojen yoğunlaşmasının çok olduğu, yumuşak doku ve organlar için örneğin eklem yerlerinin, beyinin, meniskusun, kasların ve kalbin görüntülenmesinde kullanılıyor. Doku ve organlardaki küçük değişimler bile MRT tekniğiyle belirlenebiliyor. Suyun (hidrojenin) çok az bulunduğu kemikler ile havanın çok olduğu akciğerlerin görüntülenmesi için ise MRT tekniği uygun değildir.

MRT uygulamasının sağlığa etkisi

Bugün kullanılan MRT aygıtlarının çoğu 1,5 ve 3 Tesla (*) manyetik alan şiddetindedir (Dünya manyetik alanından 30.000 ile 60.000 kat daha çok şiddette). Bugüne kadar yapılan bilimsel çalışmalar, tüm vücutta uygulanan 4 Tesla’nın altındaki manyetik alan şiddetlerinde, sağlığa herhangi bir olumsuz etki görülmemiştir. Manyetik alan demir başta olmak üzere çeşitli metallerde elektrik akımları oluşturduğundan, MRT silindiri (gantri) içine yatırılan hastanın üzerinde hiç bir metal takı olmamalıdır. Kalp pilli ya da başka aletli hastalara MRT yapılamadığından, vücutlarında bu gibi aletleri taşıyanlar ilgili doktora bilgi vermelidirler (Örneğin vücutlarında insulin pompası, iç kulak protezi, sabit takma diş, yapay eklem ve plakalar bulunanlar). Görüntü kalitesinin artırılması için hastaya önceden kontrast maddesi enjekte ediliyor. Bu madde genellikle hastada herhangi bir sorun yaratmıyor.

Radyo frekanslı dalgaların kısa sürelerle uygulanıp kesilmesi sırasında hastanın vücuduna aktarılan enerji nedeniyle vücut sıcaklığı biraz artıyor (genellikle 1°C’den az). Radyo frekansındaki dalgaların vücutta oluşturduğu enerji için SAR (specific absorption rate/ özgül soğurma hızı, Watt/kg kullanılıyor. SAR, alan şiddetinin karesi ile artıyor.

MRT’de uygulanan manyetik alan sonucu hastanın vücudunda belirgin bir biyolojik etki bugüne kadar gözlenmemiştir. Ancak aygıtın Tesla değeri arttıkça bazı makromoleküllerin uyumunda, kimyasal ilişkilerde, sinir sisteminde bozulmalar görülebiliyor. Yüksek Tesla değerli aygıtlarlahayvanlar üzerinde yapılan deneylerde bazı biyolojik etkiler görülmüş ise de bunlar 2 Tesla’nın altındaki uygulamalarda görülüyor. **Bu nedenle MRT aygıtları için sınır değer olarak 2 Tesla öneriliyor.** Türkiye’de henüz bir sınır değer bulunmamasına karşın, kullanılan en yüksek değer 1,5 Tesla dolayındadır.

MRT’nin gebe kadınlara uygulanması genellikle önerilmiyor. Ancak zorunlu durumlarda uygulanabiliyor. **MRT, röntgen ve gama ışınları gibi herhangi bir iyonlaştırıcı radyasyon içermediğinden, bunlarla ilgili radyasyon dozu ve riski söz konusu değil.**

Pozitron Emisyon Tomografisi (PET)

Bu tekniğin özelliği, vücudun belirli dokularındaki madde alış verişleriyle metabolik değişimlerin ortaya çıkarılmasıdır. Bunun yapılabilmesi ise glükoz (üzüm şekeri) eriyiğine katılan bir radyoaktif maddeyle (genellikle flor 18 ile) sağlanıyor. Hücrelerin enerji kaynağı olan (glükoz ya da şeker) kandan alınırken

örneğin flor 18 de birlikte alınmış oluyor ve florun yaydığı radyasyonların izlenmesi yoluyla vücuttaki metabolik değişimler görüntüleniyor. Vücutta fazla enerjiye gereksinimi olan beyin, kalp kasları, hastalıklı doku ve tümörler, diğer dokulara oranla, flor 18'li glükozu, daha fazla ve daha çabuk alırlarken koyu siyah ya da parlayan renkli lekeler şeklinde görüntülenebiliyorlar. PET'in farklılığı: Röntgen uygulamalarında, BT ve MRT tekniklerinde ilgili doku ya da organın durumu görüntülenirken, PET tekniğinde doku ve organdaki madde alış verisi görüntüleniyor. Başka bir farklılık da diğer tekniklerde vücut dışardan ışınlanırken, PET tekniğinde vücuda verilen az miktardaki radyoaktif maddenin yaydığı radyasyonla vücut içten ışınlanıyor, sonra bu radyoaktif madde kısa biyolojik yarılanma süresi sonucu, kısa sürede vücuttan normal yollarla atılıyor. Bugün, PET'in BT ya da MRT ile birlikte çalıştırıldığı (PET/BT ve PET/MRT) alet sistemleri de kullanılıyor. Böylelikle hem dokulardaki madde alış verişleri incelenirken hem de doku ve organın gerçek durumu görüntülenip, tümörle ilgili daha ayrıntılı bilgi ediniliyor. PET, özellikle tıbbın onkoloji, nöroloji ve kardiyoloji bölümlerinde kullanılıyor. Kemoterapi ve radyasyon uygulaması geçirmiş hastaların tümörlerinin ne derece öldürüldüğünü belirlemede de PET tekniği ayrıntılı bilgi verebiliyor. PET tekniği için gereken radyoaktif maddenin kısa yarılanma süresi nedeniyle, yakındaki bir laboratuvarından sağlanması gerektiğinden PET uygulaması her yerde yapılamıyor. Ayrıca PET aletinin fiyatının çok yüksek olması nedeniyle, uygulama ücreti de yüksektir. Bu nedenle PET, ancak zorunlu durumlarda yapılıyor. Kısa yarılanma süreli radyoaktif maddenin vücuda etkisi ise çok az (doğal radyasyondan yılda alınan doz kadar ya da BT uygulamasındakinden daha az).

PET yapılacak hastaya çok az miktarda radyoaktif maddeli glükoz damardan enjekte ediliyor. 110 dakikalık yarılanma süresi olan flor 18, parçacık hızlandırıcılarında (siklotronlarda) üretiliyor.

Pozitron Emisyon Tomografisinin (PET) fiziği

Radyoaktif atom çekirdekleri kararsız olduklarından, beta bozunum özelliği gösteren bir atom çekirdeği, örneğin flor 18, 'artı yüklü beta' (= pozitron) ile birlikte bir nötrino salıyor. Pozitron kararsız olduğundan başka normal bir atomdan bir elektron yakalayarak, birbirinden zıt yönde uzaklaşan ve herbiri 511 keV enerjideki iki gama ışını ortaya çıkıyor (Bu olay, radyasyon fiziğinde 'pozitron ve elektron yok oluşu ve ışıma' olarak bilinir). Vücudun bir noktasından yayılan gama ışınları, karşılıklı yerleştirilen iki detektörle aynı anda belirlenip, Pozitron Emisyon Tomografisinde (PET) bilgisayar tekniği aracılığıyla görüntüleniyor. Böylelikle organ ve dokuların durumları incelenebiliyor. PET tarayıcısı (scanner) elde edilen farklılıkları bilgisayarda görüntülüyor.

Kanser riskiyle ilgili sonuçlar

Tıptaki radyasyon uygulamaları sırasında vücudun aldığı dozlardan kanserin ortaya çıkma riski genellikle çok düşüktür. Yukardaki açıklamalardan görüldüğü gibi gerek röntgen uygulamalarından (BT) gerekse PET'den doğan kanser riski çok azdır. Tüm nedenlerle (etkenlerle), halkın kanserden ölüm riski ise çok daha fazla olup ortalama % 25 dir. Yani toplumda her 4 kişiden biri yaşamı boyunca herhangi bir nedenle kansere yakalanıp ölebilir. Röntgen ve BT uygulamaları sırasında alınan dozlar nedeniyle kanser oluşma riski ise milyonda bir ile binde bir arasındadır (Yukardaki çizelgeye bkz.).

MRT'de, iyonlaştırıcı radyasyon bulunmadığından sadece statik manyetik alan ve radyo frekansındaki dalgaların etkisi olabilir. Ancak aletlerde kullanılan manyetik alan şiddetleri ve radyo frekanslarının etkisi ilgili sınır değerlerin çok altında olup bugünkü bilimsel verilere göre önemli bir etki beklenmiyor.

Öte yandan, yüksek radyasyon dozları kullanılarak tıpta tümörlerin öldürülmesi uygulamaları, vücut için daha büyük risk taşıyabilir, ancak hastanın, radyasyon uygulaması yapılmaması durumunda ölüm riski daha fazla olabileceğinden, radyasyon uygulaması doktorlarca zorunlu görüldüğünde yapılmaktadır.

Yüksel Atakan, Dr.Radyasyon Fizikçisi

.....

(*)Tesla: Manyetik alan akı yoğunluğu birimi, $1 \text{ Tesla} = 1 \text{ Volt.s/m}^2 = 10.000 \text{ Gauss}$,
(1 mikroTesla = 10^{-6} Tesla)

Kaynaklar:

www.bfs.de; www.radiomed-praxis.de; www.klinikum.uni-heidelberg.de/
[Strahlentherapie , Deutsche Krebshilfe, Nr.53, 8/2006](http://www.strahlentherapie.de) ;www.dkfz-heidelberg.de/