

PARÇACIK DETEKTÖRLERİNİN TIPTA KULLANIMI *

Medical Applications Of Particle Detectors

Mehmet Oğuz ULU
Fizik Anabilim Dalı

Ayşe POLATÖZ
Fizik Anabilim Dalı

ÖZET

X-ışınlarının 1895 yılında Röntgen tarafından keşfedilmesinden hemen sonra tıpta görüntüleme alanında kullanılmaya başlanması ve daha sonraları radyoaktif elementlerin kanser tedavisinde kullanılabileceğinin keşfedilmesiyle tıp alanında yeni bir çığır açılmış oldu. 20. yüzyılın başlarından itibaren, birçok hastalıkların tanı ve tedavisindeki en önemli gelişmeler fizikte, özellikle parçacık fiziğinde kullanılan deneysel tekniklerdeki yeni buluşlar sayesinde olmuştur.

Bu çalışmada hastalıkların tanısında kullanılan görüntüleme teknikleri (Bilgisayarlı Tomografi (BT), Tek Foton Yayınımlı Tomografi (SPECT), Pozitron Yayınımlı Tomografi (PET), vb.) ve kanser tedavisinde kullanılan yöntemler ile kullanılan detektörlerin fiziği ve çalışma prensipleri derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Tıbbi Fizik, Röntgen, BT, PET, MR.

ABSTRACT

A new era was marked in medicine with the discovery of x-rays by Rontgen in 1895 which was quickly followed by first imaging applications and the use of radioactive elements for the treatment of cancer. Since the beginning of the 20th century, major advances in medicine have been realized with the developments in physics, particularly experimental techniques used in particle physics.

In this study, diagnostic imaging methods (Computed Tomography (CT), Single Positron Emission Tomography (SPECT), Positron Emission Tomography (PET)) and cancer therapy methods are reviewed. The physics and working principles of particle detectors used in medicine are also summarised.

Key Words: Medical Physics, Rontgen, CT, PET, MR.

Giriş

Fizikteki temel buluşlar tıpta birçok hastalıkların tanı ve tedavisinde yeni teknolojilerin gelişmesine yol açmıştır. Bunun bilinen en iyi örneği, x-ışınlarının keşfinden hemen sonra tıpta kullanılmaya başlanması ve bu sayede hastalıkların teşhis ve tedavisinde hızla yeni yöntemlerin geliştirilmesidir.

Fizik, kimya ve moleküler biyolojideki temel araştırmaların sonuçları hızla tıpta kullanım alanı bulmaya devam etmektedir. Parçacık hızlandırıcıları, kontrol sistemleri ve detektör sistemleri başlangıçta fizik araştırmaları için geliştirilmiş olmasına rağmen günümüzde teşhis ve tedavi yöntemlerinde ve tıbbi araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde dünyada kullanılan

* Yüksek Lisans Tezi-MSc. Tehsis

17.000 civarında hızlandırıcı olup bunlardan sadece birkaç yüzü fizik araştırmaları için geri kalanlar ise tıp yada endüstri alanlarında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada fiziğin tıptaki kullanım alanları, hastalıkların tanısında kullanılan görüntüleme ve tedavi yöntemleri ile bu yöntemlerde kullanılan fizik yasaları derlenmiştir.

X-ışınları keşfedildiğinden beri tıpta teşhise yönelik en önemli görüntüleme yöntemi olmanın yanında radyoterapide de merkezi bir role sahiptir. Sinkrotron ışınının bulunması ise görüntü ve terapi yöntemlerine yeni bir boyut kazandırmıştır.

Son yıllarda görüntüleme aletlerinde ve tekniklerinde büyük yenilikler olmuştur. Bunlarda en önemlileri: Magnetik Rezonans Görüntü (MR), Bilgisayarlı Tomografi (BT), Tek Foton Tomografisi (SPECT) ve Pozitron Yayınım Tomografisi (PET)'tir.

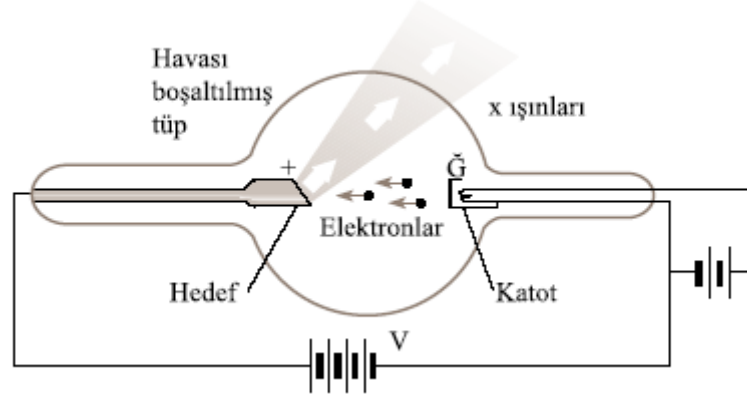
Materyal ve Metot

X-ışınlarının Özellikleri ve Oluşumu

1895'te Wilhelm Röntgen, hızlı elektronlar maddenin üstüne düştüğünde, doğası bilinmeye çok girici bir radyasyonun (x-ışınlarının) oluştuğunu buldu. Kısa zamanda x-ışınlarının doğru çizgiler üzerinde yol aldıkları, elektrik ve manyetik alanlardan etkilenmedikleri, saydam olmayan malzemeden kolaylıkla geçtikleri, fosfor gibi ışıldayan maddelerin ışıldamasına neden oldukları ve fotoğraf plakalarında iz bıraktıkları bulundu. Elektronlar başlangıçta ne kadar hızlıysa, oluşan x-ışınları da o kadar girici ve x-ışını hüzmelerinin şiddeti o kadar fazla olabilmektedir. Bu keşiften kısa zaman sonra x-ışınlarının elektromanyetik dalgalar (EM) olduğu açıklığa kavuştu. EM kuram, ivmeli bir elektrik yükünün EM dalgalar yayımını öngördüğünden aniden durdurulan bir hızlı elektron ivmelidir. Bu şartlarda oluşturulan ışınımlara 'frenleme' adı verilir (Beiser, 1995).

Klasik EM kuram, elektronlar ivmeli olduğunda frenleme ışınımı çıkacağını öngörür, bu da bir x-ışını tüpünde oluşan x-ışınlarının sebebidir.

Şekil 1'de bir x-ışını tüpünün diyagramı gösterilmektedir. İçinden elektrik akımı geçirilen bir telin ısıttığı bir katot, termo iyonik yayınlama yolu ile elektron salar. Katot ile bir metal hedef arasına uygulanan yüksek bir V voltajı, elektronları hedefe doğru hızlandırır. Hedef yüzeyinin elektron hüzmelerine göre belli bir açısı olup hedeften çıkan x-ışınları tüpün çeperinden dışarı çıkar. Elektronların yavaşlamadan hedefe varmalarını sağlamak için tüpün havası boşaltılmıştır.



Şekil 1. Bir x-ışını tüpü (Beiser, 1995)

X-ışınlarının Madde ile Etkileşimi

X-ışınları madde etkileştiği zaman, birkaç farklı olay meydana gelebilir. Bunlarda en önemlileri şunlardır: Koherent Saçılma, Fotoelektrik Soğurulma, Compton Saçılımı, Çift Oluşumu.

1. Koherent Saçılma

Düşük enerjili fotonların bir atomla etkileşimleri sonucu meydana gelen saçılmaya 'koherent saçılma' denir. Bu saçılmada gelen foton ile saçılan foton arasında enerji farkı hemen hemen yoktur.

2. Fotoelektrik Soğurulma

X-ışını bir atoma girdiğinde bu tür etkileşim meydana gelir ve tüm enerjisini iç kabukta bulunan bir elektrona aktararak onun yörüngesinden dışarı atılmasına neden olur. Dışarı atılan elektron fotoelektron olarak adlandırılır. Elektron kabuğundaki boş kalan yer, bir dış kabuk elektronu tarafından doldurulur. Bu etkileşimde x-ışının enerjisinin tümü atom tarafından soğurulduğu için bir röntgen filmine kaydedilmiş veya saçılmış x-ışınları yoktur. Bu durum röntgen filminde, fotoelektrik soğurulmaya maruz kalan madde parçasının altında düzenli bir beyaz bölge görülür. Bu durum, bir röntgen filminde kemiklerin niçin beyaz olduğunun sebebidir.

3. Compton Saçılması

Gelen x-ışın fotonu enerjisinin sadece birazını dış kabuk elektronuna verir. Bunun sonucunda dış kabukta çekirdeğe gevşek bir şekilde bağlı olan elektron yörüngesini terk eder, gelen x-ışını fotonu da düşük enerji ile yeni bir yönde hareket eder.

Vücut dokularının çoğu karbon ve hidrojenden oluştuğundan, bu dokular en çok Compton Saçılmasına uğrar.

4. Çift Oluşumu

Bir fotonun yüksek atom numaralı bir elementin çekirdeğinin yakınından geçerken enerjisinin tümünü kaybederek bir elektron-pozitron çiftine dönüşebilir. Bu olay 'çift oluşum' olarak adlandırılır. Elektronun ve pozitronun durgun kütle enerjileri 0.51MeV ise, çift oluşum olayının gerçekleşmesi için gerekli eşik enerjisi 1.02 MeV olmalıdır. Gelen fotonun enerjisi 1.02 MeV'dan düşükse çift oluşum olayı gözlenmez.

X-Işınlarının Tıpta Kullanımı

Radyoloji bir ışın bilimi olup, tıpta bir uzmanlık dalıdır. Radyolojinin iki temel fonksiyonu vardır. Birincisi organ ve dokularda hastalık varsa teşhisini koyan fonksiyonudur. Bu fonksiyona tanısal radyoloji veya diagnostik radyoloji denir. Diagnostik radyolojide Röntgen, BT, MR, US ve Nükleer Tıp olmak üzere beş temel yöntem kullanılır. Bu yöntemlerden Röntgen ve BT'de x-ışınları, MR'da radyo dalgaları, US'de ses dalgaları, nükleer tıpta ise gama ışınları kullanılır.

Radyolojinin ikinci fonksiyonu ise hastalıklı bölgelere tedavi için müdahalede bulunmaktır. Bu fonksiyona radyoterapi denir. X-ışınları radyoterapide çok önemli bir tedavi metodu olarak kullanılır. X-ışınları dışında etkili olan bir başka yöntem de gama ışınlarının tedavi amaçlı kullanılmasıdır.

Burada yukarıda bahsedilen x-ışınlarının görüntüleme de kullanıldığı yöntemlere (Röntgen, BT) değinilecektir.

Röntgen

Radyolojik tanı yöntemlerinin içinde en eskisi olan röntgen, x-ışınlarının görüntülenme amacıyla kullanıldığı ve konvansiyonel olarak yapılan işlemleri içine alan bir projeksiyon yöntemidir. Bir projeksiyon makinesi, üzerine gelen bir şekil veya yazıyı perdeye nasıl yansıtırsa x-ışınları da bu şekilde vücudu geçtikten sonra vücudun iç yapılarını röntgen filmine yansıtır.

X-ışınları dokulardan geçerken, enerjilerinin bir kısmı dokularda tutulur. İnsan vücudu değişik atom ağırlığında, değişik kalınlık ve yoğunlukta dokulardan oluştuğundan dolayı x-ışınının her dokudaki tutulma oranları aynı değildir. X-ışınının dokulardaki tutulma farklılıklarının bir röntgen filminde gösterilmesi ile röntgen görüntüsü meydana gelir.

Röntgende görüntüler iki boyutludur. Ama x-ışını önüne konulan insan vücudu üç boyutludur. İnsan vücudunun sadece boyu, eni değil derinliği de vardır ve bu derinlikteki bütün yapılar üst üste düşer. Bu duruma 'süperpozisyon' denir. Bu durumdan dolayı bir göğüs, omurga, kalp gibi yapılarda görüntüler üst üste düşer ve bu yapıların her birinin açık bir şekilde görüntülenmesi engellenir. BT'nin tıpta kullanılmaya başlanmasıyla bu sorun çözümlenmiştir (Tuncel, 2005).

Bilgisayarlı Tomografi (BT)

BT, x-ışını demetini vücuda röntgende olduğundan farklı olarak inceltirilerek, çizgisel şekilde düşürerek iki boyutlu ve üç boyutlu kesitsel görüntüleme sağlayan bir x-ışını yöntemidir.

BT'de x-ışınları vücuda gönderilirken ve vücudu geçip detektöre ulaştıktan sonraki miktar ölçülür. Aradaki fark, detektörlerin karşısına gelen dokunun x-ışınını tuttuğu orandır. Bilgisayar ile bu çok sayıdaki ölçümlerden yola çıkarak, yüksek matematiksel çözümler ile üç boyutlu kesitsel görüntüler elde edilirler. Bu durum BT'nin x-ışınının bilgisayar teknolojisi ile birleşmesinin bir ürünü olduğunu gösterir.

BT tüm vücudu görüntüleyebildiği için birçok hastalığın teşhisinde kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları şunlardır: çeşitli kanserin teşhisinde ve takibinde, kemik ve organ yaralanmalarında, damar ve kalp hastalıklarında, belkemiği ve kemik hastalıklarında, kemik erimesinde vb.

X-ışınları Dışındaki Yöntemlerin Tıpta Kullanımı

X-ışınları dışında radyo dalgaları (MR), ultrason dalgaları (US) ve gama ışınları (PET) kullanılır.

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MR)

Manyetik alana konulmuş vücuda radyo dalgaları gönderilerek istenilen bölgenin görüntüsünün bilgisayar ortamına aktarılması şeklinde ifade edilen MR, bir kesit görüntülemesidir.

MR'da x-ışınları kullanılmadığından zarar veren bir yöntem değildir. O yüzden vücudun hemen her kesiminde kullanılabilir (Özkan, 2007).

MR, yumuşak dokularda görüntülemeyi en iyi sağlayan bir yöntemdir. Yumuşak dokularda su oranı fazladır. Dokulardaki su, hidrojen ve oksijenden meydana gelmektedir. Buralardaki hidrojen atomu çok iyi sinyal gönderdiği için görüntülemeye en iyi olanıdır. Hidrojen atomunda bir proton ve bir nötron bulunmaktadır. Bu protonlar dokularda doğal ortamlarında birbirlerinden farklı vektöriyel konumlarında, kendi çevrelerinde bir dönüş hareketi yaparlar. Buna 'spin hareketi' denir. Dokular bir manyetik alana (bir MR cihazına) konulursa protonlar buradaki manyetik alana paralel olarak dizilirler. Bu durumda protonlara bir RF sinyali gönderilerek manyetik alana dik hale gelirler. RF sinyali geri çekildiğinde protonlar eski konumlarına dönerken ilk başta enerjilerinin fazlasını ortama verdiklerinde elektriksel bir sinyal oluşur. Ama zaman geçtikçe protonlar eski konumlarına dönerken bir süre sonra dağılırlar ve sinyalin zayıflamasına yol açarlar. Bir süre sonra sinyal tamamen biter. Protonların eski konumlarına dönmeleri ve sinyallerin bitmesiyle MR'da görüntüler oluşturulur.

Ultrasonografi

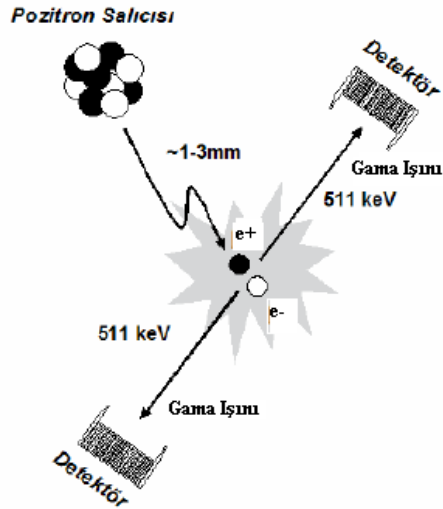
Bu yöntemde x-ışınları yerine insan kulağının duyamayacağı frekanslarda ses dalgaları kullanılarak görüntüleme oluşturulur.

Ultrasonun temeli yüksek frekanstaki ses dalgalarının gönderimi ve yansımaları (eko) esasına dayanır. Yani bir ultrason dalgası (ses pulsları) gönderilir ve hedeften yansıtılarak gelen eko geri alınır. Geri dönen ekolar parlak noktalar olarak kaydedilerek işlenir ve ekranda görüntülenir. Bu görüntüler yardımıyla kist, tümör gibi yapılar görüntülenir (Kalender ve Kavalcı, 2007).

Pozitron Yayınım Tomografisi (PET)

Nükleer tıp, radyoaktif maddelerin yaydıkları ışınların dışarıda sayılması ve görüntüsünün izlenmesi yoluyla hastalıkların tanı ve tedavisiyle uğraşır. Nükleer tıpta en gelişmiş olan yöntem, PET'tir. PET'te görüntüleme maddesi olarak radyoaktif bileşikler veya radyoaktif maddenin kendisi (radyonüklit) görüntülenecek yere uygun bir şekilde verilmesiyle görüntüleme yapılır. Radyonüklitler pozitron yayan radyoaktif maddelerdir. Radyonüklitler doğada bulunmadıklarından dolayı 'siklotron' adı verilen parçacık hızlandırıcıları tarafından elde edilirler. Siklotronda hızlandırılan yüklü parçacıklar (proton, döteron gibi) hedefteki kararlı izotoplara yönlendirilirler. Hedefteki kararlı izotoplar bu olay sonucunda çekirdeklerinde proton sayısı artarak kararsız hale geçerler ve tekrar kararlı hale dönmek için pozitron salmaya başlarlar. Bu şekilde elde edilen radyonüklitler vücuda konulduktan sonra pozitron salarlar. Ortaya çıkan bu pozitron bulunduğu ortam içerisindeki mevcut serbest bir elektron ile birleşir. Bu birleşme sonucunda her iki parçacık birbirlerini yok ederek birbiri ile 180° açı yapan, 511 keV enerjiye sahip olan iki gama fotonu ortaya çıkar. Bu olaya 'Yok etme' denilir. PET tarama sistemlerinde yer alan farklı sayı ve şekillerde detektör halkaları, belirlenen zaman içerisinde ortaya çıkan her bir gama foton çiftini tespit ederler ve sistem bilgisayarında tek bir nokta olarak kaydedilirler. Aslında detektör içerisinde dairesel olarak dizilmiş olan kristaller, gama foton çiftini algıladıklarında bir ışık parıltısı oluştururlar. Bu ışık parıltısı, foton çoğaltıcı tüpler tarafından algılanır ve yükseltilerek sistem bilgisayarına gönderilirler.

Günümüzde PET tarayıcısının BT veya MR ile kullanıldığı sistemler vardır. Bu sistemlere 'Hibrid Sistemler' denir (Özgüven, 2005).



Şekil 2. Bir PET detektöründe gama ışınlarının meydana gelmesi (Özgüven, 2005).

X-ışınları keşfedildiğinden beri tıpta hem teşhise yönelik hem de radyoterapide önemli bir yere sahip olmuştur. Ama x-ışınları tıpta görüntüleme ve tedavide bazı sorunları ortadan tamamen kaldıramamıştır. Sinkrotron ışınımının bulunmasıyla görüntü ve tedaviye yeni bir boyut katılarak bu sorunların büyük bir kısmı çözülmüştür.

Sinkrotron Işınımı

Elektron veya pozitron gibi yüklü bir parçacığın manyetik alan içindeki dairesel bir yörüngede, relativistik hızlardaki yörüngesel hareketinden elde edilen ışınımıdır. Sinkrotron ışınımı, sinkrotron adı verilen dairesel parçacıklarda elde edilirler.

Sinkrotron ışınımının görüntü uygulamaları kroner damar anjiyografisi, mamografi, akciğer filmi, bilgisayarlı tomografi, x-ışını mikroskobu ve saçılma ile ilgili görüntülemeleri içerir.

X-ışınları ve x-ışınları dışındaki ışınlar (gama ışınları, sinkrotron ışınımı gibi) parçacık hızlandırıcıları tarafından meydana gelmişlerdir.

Parçacık Hızlandırıcıları

Elektron, pozitron, proton, antiproton gibi yüksek enerjili yüklü temel parçacıkların hüzmelerini oluşturan ve bu hüzmeleri istenilen enerjiye ulaştırmaya kadar hızlandıran cihazlardır. Nükleer fizik ve parçacık fiziği araştırmalarında kullanılan hızlandırıcılar genel olarak ikiye ayrılır: Yüksek Gerilim Hızlandırıcıları ve radyofrekans salınımlı (RF) EM alan kullanan hızlandırıcılar.

RF salınımlı elektromanyetik (EM) alan kullanan iki çeşit hızlandırıcı vardır: Lineer (Doğrusal) Hızlandırıcılar ve Dairesel Hızlandırıcılar.

Lineer Hızlandırıcılar

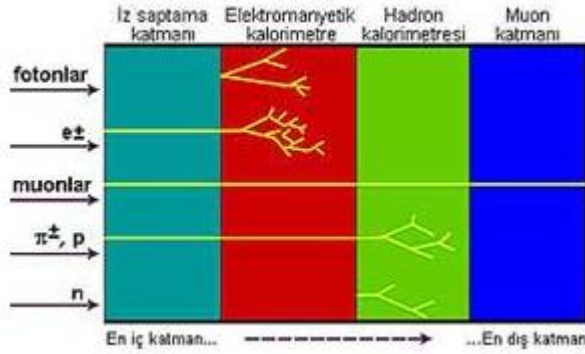
Parçacık demetinin hareket doğrultusu boyunca sıralanmış bir dizi sürüklenme (drift) tüplerinden meydana gelmektedir. Bu tüpler bir RF kaynağına bağlıdır. RF kaynağı yüksek frekansta alternatif voltaj sağlamaktadır.

Dairesel Hızlandırıcılar

Parçacıkları kapalı bir yörüngedeki RF'lerden çok sayıda geçirerek hızlandıran ve içerisindeki magnetler aracılığıyla onları yörüngelerde tutan hızlandırıcılarıdır. Dairesel hızlandırıcılardaki parçacıklar, hızlandırıcı yapıyı periyodik olarak dolanır ve her defasında enerji alarak kapalı yörüngeler izler. Dairesel hızlandırıcılarda çarpışma sonrası ortaya çıkan parçacıkların kimliklerin belirlenmesi, burada yapılacak deneylerin ana hedefidir.

Dairesel hızlandırıcıların Siklotron, Mikrotron, Betatron ve Sinkrotron olmak üzere dört çeşidi vardır.

Siklotronda proton veya ağır iyonlar gibi relativistik olmayan parçacıkları RF gerilimi ile dairesel magnetler içinde hızlandıran dairesel bir hızlandırıcıdır. Buradaki protonlar hızlandırıcı içerisinde kararlı izotoplarla etkileşime girerek pozitron yayımlarlar. Pozitronlar da ortamdaki elektronlarla birleşerek gama



Şekil 3. Parçacık türlerinin etkileşime girdiği katmanlar (Arık, 2005).

Araştırma Bulguları

Hastalıkların tanısında kullanılan görüntüleme sistemleri genellikle detektörlerle birlikte kullanılan sistemlerdir. Görüntüleme sistemleri kullanılarak hastalıkla ilgili tanı konulur. Bunun sonucunda da hastanın iyileşmesi için gerekli tedavi yöntemlerine başvurulur. Hastanın iyileşmesi için yapılan bu tedaviye 'radyoterapi' denir.

Radyoterapi, hastalıkların tedavisinde yüksek enerjili foton ışınları (x-ışınları veya gama ışınları) ve yüklü parçacıklar (elektron, hadron ışınları) kullanılarak uygulanmaktadır. X-ışınları ile gama ışınları arasında sadece kökenleri yönünden farklılık vardır. X ışınları yüksek hareket enerjilerine sahip olan elektronların yavaşlatılması yoluyla elde edilirken, gama ışınları uyarılmış ve kararlı olmayan izotopların çekirdeklerinden elde edilmektedir.

Dünyada tıp alanında kullanılan 15.000 parçacık hızlandırıcısının %3'ü nükleer tıpta, %30'u ise radyoterapide kullanılmaktadır. Bunların çoğu x ışınlarını, yaklaşık 25 tanesi de hadron hüzmelerini üretmektedir (Amaldi, 2001).

Parçacık hızlandırıcılarında elde edilen bu ışınlar çeşitli yöntemler ile tümörlü hücreleri yok etmek için kullanılırlar. Eğer tümörler dokulara çok derin olarak yerleşmişlerse bunları yok etmek için radyoterapistler tarafından genellikle hedefin geometrik merkezine odaklanan çoklu ışın hüzmeleri kullanılır. Bu yöntem uygulanırken hasta çevresinde dönen hızlandırıcılar kullanılmaktadır.

Radyoterapi Çeşitleri

Tümörleri yok etmek için kullanılan çok sayıda terapi çeşitleri vardır. Başlıcaları şunlardır:

1. X-Işınlı Kanser Terapi

İlk olarak parçacık fiziğindeki araştırmalar için geliştirilen küçük doğrusal elektron hızlandırıcıları, bugün radyoterapide yaygın olarak kullanılmaktadır. Dış

ışınım hüzmeleri ile genellikle yüksek enerjili x-ışınlarıyla (alfa, beta gibi ışınlar) tek başına veya kemoterapi ile birlikte tedavi edilirler. X-ışınlı radyoterapi ucuzdur ve mücadelede etkilidir.

2. Hadron Terapi

Hadron terapi, ağır yüklü parçacıkların yönlendirilebilir hüzmelerini kullanan ve kritik organların yakınında diğer terapilere izin verilmediği zaman oldukça etkili olan yöntemdir. Radyoterapide kullanılan hadronlar; protonları, nötronları, piyonları ve iyonları içerir. Hadronlardan protonlar daha çok terapide kullanılırlar. Radyoterapide hadronların kullanılma nedeni, fotonlar ve elektronlara kıyasla dokulardaki doz dağılımının daha güvenilir olmasıdır.

Proton Terapi

Proton terapi, bir tümörü tedavi etmek için gerekli ışınım dozunu tam odaklayabilen bir ışınım tedavisidir. Protonlar nüfus etme menzili iyi yüklü parçacıklardır. Protonlar vücuda girdiklerinde hızları, minimum iyonlaşma noktası altındaki hızlara düştükleri için yavaşlarlar. Bu davranış protonların enerjilerini bırakmalarına, madde içinde ışınım kaybına ve elektronlarla etkileşmelerine yol açar. Bu durum 'Bethe Block' formülü ile tanımlanır.

Her proton menziline sonuna yaklaşırken bırakılan ışınımın dozu 'Bragg Peak' gibi bilinen bir olayla keskin bir şekilde artar. Protonlar menzillerinin sonunda maksimum enerji yoğunluklarını bırakırlar. Bırakılan bu nokta 'Bragg Peak' izi olarak bilinir (Stapnes, 1997).

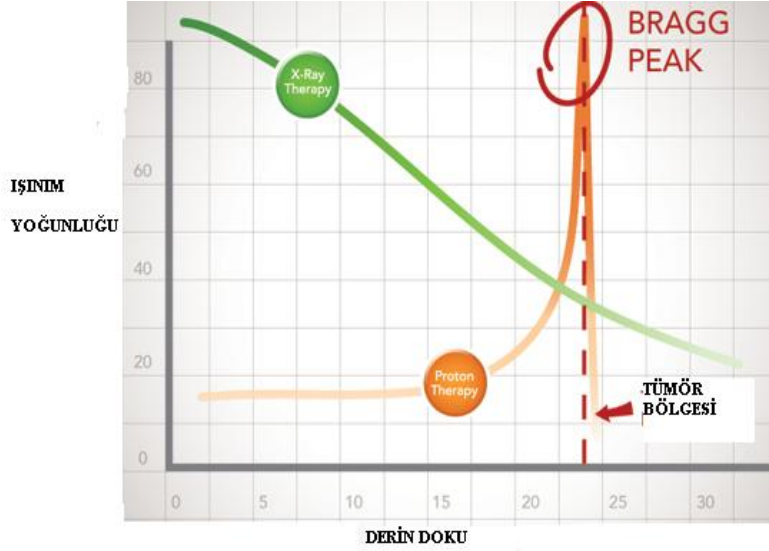
İşinleme esnasında kontrollü bir şekilde elde edilmiş enerji değiştirilerek veya soğurucular aracılığıyla huzme enerjisinin modüle edilmesiyle, çok sayıda dar 'Bragg Peak' pikleri üst-üste bindirilerek dokudaki tümöre daha derinlemesine nüfus edebilir.

3. Bor Nötron Yakalama Terapisi (BNCT)

BNCT belirli tümörlerde (özellikle beyinde) bor bileşenlerinin biriktirilmesi özelliğini kullanan, yeni ve ümit verici bir kanser iyileştirme ve kontrol ünitesidir. Nötronlarla işinlamada bor, bir nötron yakalayarak tümöre kendi radyoaktif dozunu tamamen veren, sağlıklı dokuya ulaşamayan yüksek enerjili alfa ve lityum parçalarını salar.

4. Endo-Radyonüklit Tedavi

Sağlıklı dokuyu koruyarak, tümörlere kontrollü dozu sağlayan yeni bir metottur. Metot, tümörlerde yoğunlaşmış olan radyonüklitleri kullanır. Bu yöntemle etkili bir iç tedavi mümkündür. Çünkü kendi radyoaktif dozunun tümünü hasta dokuya verir ve sağlıklı dokuya ulaşmaz (Stapnes, 1997).



Şekil 4. Protonterapide Bragg Peak olayı (Midwest Proton Radiotherapy Institute, 2006)

Tartışma ve Sonuçlar

X-ışınlarının keşfiyle bilim ve teknolojide büyük gelişmeler olmuştur. Özellikle x-ışınlarının tıp alanında kullanılmaya başlanmasıyla hastalıkların teşhis ve tedavisinde önemli gelişmeler olmuştur.

X-ışınları tıpta Röntgen, BT, mamografi gibi birçok görüntüleme yöntemlerinde ve tedavi amaçlı olarak da radyoterapi de yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak x-ışınlarını kullanan görüntü metotları birçok kısıtlamalara sahiptir. X-ışınlı radyoterapi de ise tümörün soğurduğu dozun sınırlı olması ve kanserli doku ile sağlıklı dokunun hemen hemen aynı oranda doza maruz kalması gibi problemler mevcuttur.

Görüntüleme yöntemlerinde sinkrotron ışınımının kullanımı bu problemlere büyük oranda çözüm getirmiştir. Bunların dışında görüntüleme metotlarında gama ışınları (PET, SPECT), radyo dalgaları (MR) ve ses dalgaları (US) da kullanılmaktadır.

Son yıllarda kanser tedavisinde yüklü hadronlar kullanılmaya (hadron terapi) başlanmıştır. Hadron terapinin avantajı foton ve elektronlara kıyasla hasta dokulara daha iyi odaklanabilmesi ve böylece sağlıklı dokuların daha az zarar görmesidir. Bu yöntemde daha çok lineer hızlandırıcıda hızlandırılan protonlar kullanılır.

Dünyada kanser tedavisinde yeni ve ümit verici yöntemler geliştirilmeye devam etmektedir. Bunlardan Bor-Nötron yakalama terapisi tümörlerde bor bileşenlerinin biriktirilmesi özelliğini kullanan bir yöntemdir. Endo-Radyonüklit terapi

ise tümörlerde yoğunlaşmış radyonüklitleri kullanan bir metottur. Bu tedavi yönteminde sağlıklı dokuyu koruyarak, tümörlere kontrollü doz verilebilmektedir.

Günümüzde bilim ve teknolojiadaki gelişmelere paralel olarak görüntüleme ve tedavi yöntemleri hızla gelişmeye devam etmektedir.

Kaynaklar

- AMALDI, U., 2001. Hadrontherapy in the world. University of Milano Bicocco and TERA Foundation, Italy
- ARIK, E., 2005. Parçacıkdetektörleri. Boğaziçi Üniversitesi, Fizik Bölümü. 1.Ulusal Hızlandırıcı Yaz Okulu, Ankara. 9 Temmuz 2005. <http://bilgescience.ankara.edu.tr/tac/YAZOKULU/FILES>
- BEISER, A., 1995. Modern Fiziğin Kavramları. Mc Graw-Hill, Inc. Çeviri: Gülsen Önengüt. Aralık 1997, İstanbul Ayhan Matbaası.
- GROOM, C., 1999. The Experimental Evidence Path at the Particle Adventure, CPEP. Particle Data Group of Lawrence Berkeley, California, W.-M. Yao.etal., journal of Physics G 33, 1. 19th August 1999. <http://pdg.web.cern.ch/pdg/cpep/adventurehome.html>
- KALENDER O., KAVALCI R., 2007. Ultrasonografi. Tripod Mühendislik&Elektronik Teknoloji. 9 Mayıs 2007. <http://www.odeysel.com/tip5567/ultrasonografi.html>
- MIDWEST Proton Radiotherapy Institute, 2006. 2425 Milo B, Sampson Lane Bloomington, IN 47408. 10th March 2006. <http://www.mpri.org/science/pttherapy.php>
- ÖZGÜVEN, M., 2006. PET Kameralarda Genel Prensipler ve Temel Uygulama Alanları Gata Hastanesi, Ankara. 15 Nisan 2006. <http://www.gata.edu.tr/dahilibilimler/nukleertip/veriler/Pozitron%20Emisyon%20Tomografisi%20PET%20EI%20Kitaby.pdf>
- and Sneutrinos in the MSSM. Amsterdam, 73-88, 273s.
- ÖZKAN R., 2007. BT/MR görüntülemeye temel prensipler: Toraks BT radyasyon Dozları. Türk Toraks Derneği, Ankara. Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Eskişehir. 9 Mayıs 2007. <http://www.Toraks.org.tr/10kongrekurs/pdf/1PPZGRQ.PDF>
- TUNCEL, E., 2005. Radyolojik Tanıda Temel Kavramlar Ders Notları. Uludağ Üniversitesi Radyoloji Anabilim Dalı, Bursa. 25 Mayıs 2005. <http://radyoloji.uludag.edu.tr/sayfa019.htm>
- YAVAŞ, Ö., 2005. Parçacık Hızlandırıcılarının Uygulama Alanları. 1.UPHYO Yaz Okulu Çalışmaları. Ankara Üniversitesi, Ankara. <http://bilgescience.ankara.edu.tr/tac/YAZOKULU/FILES>