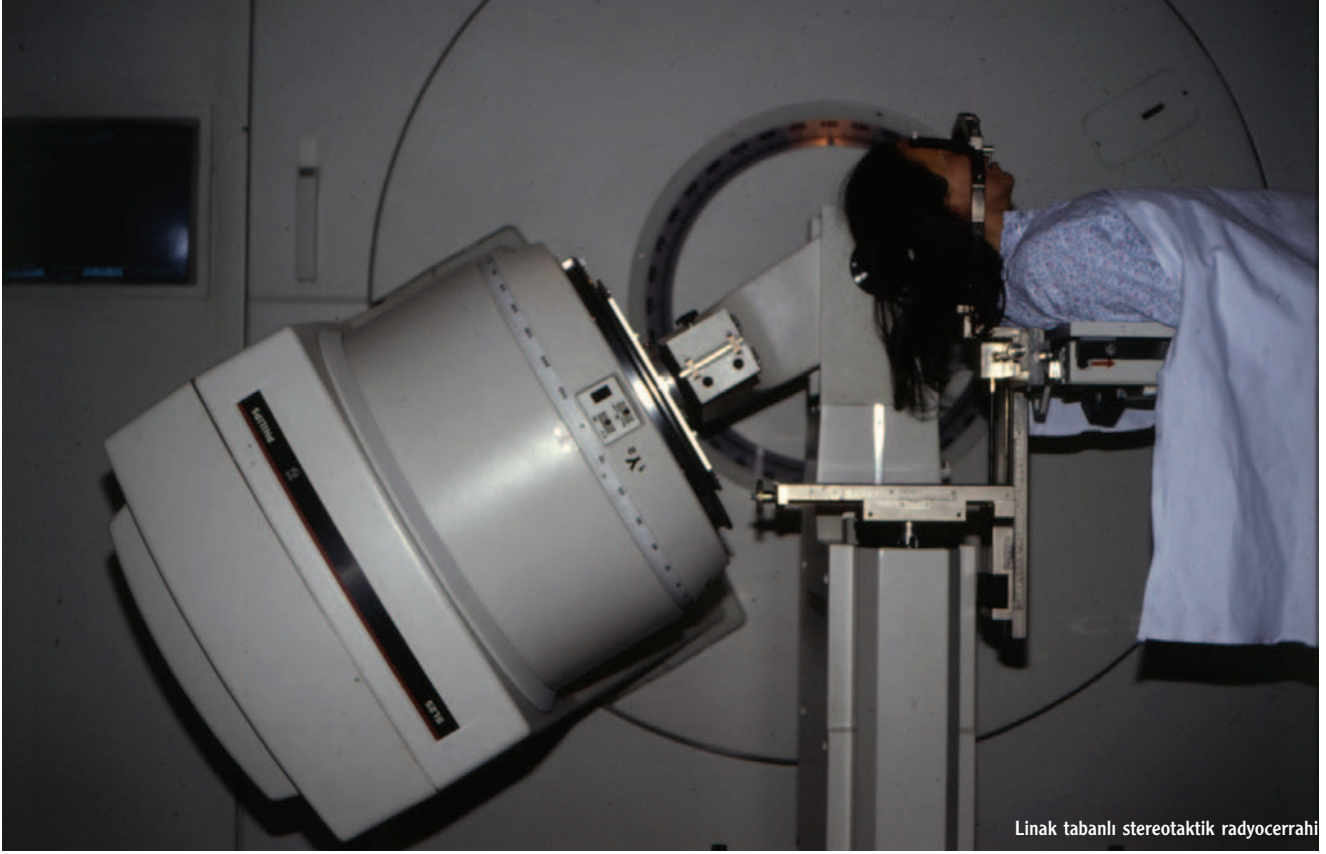


# RADYOTERAPİDE ÜÇÜNCÜ BOYUT



Linak tabanlı stereotaktik radyocerrahi

1990'lı yılların başından itibaren, bilgisayar teknolojisindeki ve görüntüleme tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak, kanser tedavisinde kullanılan temel yöntemlerden biri olan radyoterapi tekniklerinde de, devrim sayılabilecek değişimler yaşanmakta. Kısaca üç boyutlu konformal tedaviler ana başlığında toplanabilen bu yöntemler, radyasyon onkologlarının yüzyıla yakın bir süredir 'tümöre maksimum zarar, çevre normal dokulara minimum hasar' şeklinde özetlenebilen ana hedefine ulaşma çabasının sonucunda ulaşılan son nokta. Konformal terimi, çepeçevre sarmak anlamına gelen 'conform' kelimesinden türetilmiş. Bu tedavilerde, istenen radyoterapi dozunun hedeflenen tümörü belli bir emniyet sınırıyla 3 boyutlu olarak çepeçevre sarması ve çevre dokunun maksimum şekilde korunması amaçlanıyor.

Üç boyutlu konformal radyoterapi

teknikleri bazı alt başlıklar altında toplanabiliyor:

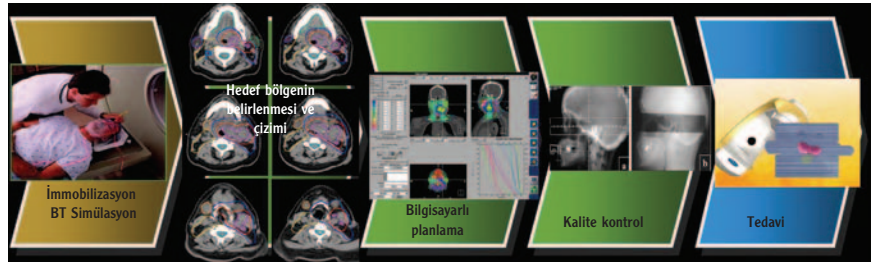
- Klasik üç-boyutlu konformal radyoterapi
- Yoğunluk ayarlı radyoterapi (Intensity-modulated radiotherapy-IMRT)
- Görüntüleme kılavuzluğunda radyoterapi (Imaging guided radiotherapy-IGRT)
- Stereotaktik radyoterapi
  - o Gamma-knife
  - o Lineer akseleratör (Linak)

tabanlı stereotaktik radyoterapi

- o Uzun neşteri (Cyberknife)
- 4-boyutlu konformal radyoterapi
- Proton tedavisi

## Nasıl Uygulanır?

Klasik 3 boyutlu konformal radyoterapi, IMRT ve IGRT tekniklerini uygulayabilmek için, uygun donanımlı Linak adı verilen eksternal (dışarıdan) radyoterapi cihazı; tedavi alanlarının



Üç boyutlu konformal radyoterapi tekniklerinde uygulama basamakları.

Bu süreç 1-2 hafta sürebiliyor.



ABD Houston'da bulunan Methodist Hastanesi'nde yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) uygulaması için kullanılan 'Mimic' adlı bu cihazla, 1994 yılında klinik ortamda ilk hasta tedavisi gerçekleştirilmiş. Seri tomoterapi adı verilen bu teknikle bugüne kadar binlerce kanser hastası tedavi edilmiş.

belirlenmesi için de, bilgisayarlı tomografi simülatörü ve 3-boyutlu radyoterapi planlaması yapabilen bilgisayar donanımı ve yazılımı gerekli. Ancak asıl marifet, tüm bu gelişmiş teknolojiye sahip ekipmanları kullanabilecek eğitim ve tecrübeye sahip radyasyon onkoloğu ve medikal fizik mühendislerinde. Çünkü bu teknikler klasik radyoterapi tekniklerinden oldukça farklı ve kompleks basamaklardan oluşuyor.

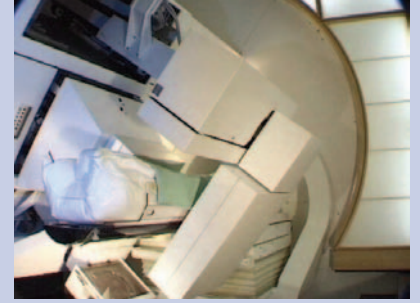
İlk iş olarak, radyasyon onkoloğu hastayı üç boyutlu konformal tedavi tekniklerine uygun özellikler taşıyıp taşımadığı açısından değerlendiriyor. Ardından, bu tekniğe uygun olduğu belirlenen hastanın tümör içeren ve/veya tümör taşıma olasılığı yüksek olan bölgelerinin, tedavi alacağı pozisyonda bilgisayarlı tomografiyle alınan

## Proton Tedavisi

Radyasyonun hastaya bir makine yardımıyla dışarıdan verildiği eksternal radyoterapi yöntemlerinden olan proton tedavisi, x-ışınlarıyla yapılan klasik radyasyon tedavisine yeni sayılabilecek alternatiflerden biri.

Proton tedavisi, parçacık hızlandırıcıları üzerinde çalışan fizikçi Dr. Robert Rathbun Wilson'ın, 1946 yılında kanser tedavisinde protonların kullanımını öneren makalesiyle ilk olarak gündeme gelmiş. 1954'teyse bazı kanserli hastaların tedavisinde protonlar kullanılmaya başlanmıştır. Ancak 1990 yılına kadar bu tedaviler yalnızca araştırma laboratuvarlarında, kısıtlı sayıda yapılabiliş. Bu tarihten sonraysa, Güney California'da bulunan Loma Linda Üniversitesi Proton Tedavi Merkezi'nin açılmasıyla, bu amaç için geliştirilen hızlandırıcı yardımıyla, klinik ortamda kanser hastaları tedavi edilmeye başlanmıştır.

Proton tedavisi iyi bilinen radyobiyojoloji ve fizik kurallarından yararlanan bir tedavi şekli. Ayrıca deneysel bir yöntem olmamakla beraber klasik tedavilere üstünlükleri henüz kontrollü çalışmalarla ortaya konabilmiş değil. Yöntemin en sık kullanıldığı kanser türü, uveal melanomlar. Proton tedavisi uygulanan bu tür hastaların gözleri kurtarılabilir. Bu, ameliyatsız kanserli gözün tamamının alınması kadar etkili bir tedavi



yöntemi. Omurilik kökenli metastaza bağlı olmayan tümörlerde de kullanılabilir. Japonya'da da karaciğer kanserlerinde yaygın olarak kullanılmakta. Proton tedavisi, hastalığın durumuna göre geleneksel radyasyon tedavisi ve kemoterapiyle birlikte kullanılabilir ya da ameliyat sonrası uygulanabilir. Ancak, proton tedavisi için gerekli protonların üretilmesi, bunların kontrolü ve tümöre hedeflenmesi için gerekli cihazların maliyeti çok yüksek. Bu yüzden de dünyada yalnızca birkaç hastane proton tedavisi uygulayabilir. Ayrıca proton tedavisi de saydığımız tüm kanser türleri için mutlak bir çözüm değil.

Meltem Yenal Coşkun

Kaynaklar  
<http://www.proton-therapy.org>  
<http://www.llu.edu/proton>

ince kesitleri tedavi planlama bilgisayarına aktarılıyor. Daha sonra bu kesitler üzerinde radyasyon onkoloğu hedef bölgeleri (tümör, tümör yatağı ve tümörün yayılma olasılığı olan bölgeler) ve normal dokuları belirliyor ve dijital ortamda bu bölgelerin çizimini gerçekleştiriyor. Bir sonraki aşamada, yapılacak tedavi türüne göre (klasik konformal, IMRT, IGRT) uygun planlama sisteminde medikal fizik mühendis radyoterapi planlamasını yapıyor.

Radyasyon onkoloğu tarafından değerlendirilen bu plan tüm parametreler açısından (doz dağılımı, kritik organ dozları gibi) uygun bulunursa, gerekli kalite kontrol işlemleri de yapıldıktan sonra hasta tedaviye alınıyor. Tüm bu süreç, simülasyondan tedavi aşamasına kadar yaklaşık 1-2 hafta sürüyor.

Klasik 3 boyutlu, IMRT ve IGRT teknikleri arasındaki en temel farklar, kullanılan tedavi planlama yazılımı ve tedavinin veriliş şeklinde. Tedavi planlaması, ticari olarak satılan çok gelişmiş bilgisayar yazılım ve donanımlarıyla gerçekleştiriliyor. Radyoterapinin verildiği cihazsa, bilgisayar kontrollü olarak hareket ettirilen ve çok yapraklı kolimatör adı verilen özel sistemlere sahip lineer akseleratörlerle (doğrusal hızlandırıcı) uygulanıyor.

## Avantaj ve Dezavantajlar

Tüm tıbbi tedavilerde olduğu gibi, bu yeni üç boyutlu konformal radyoterapi teknolojilerinin de birtakım avantajlarının yanı sıra dezavantajları ve riskleri bulunuyor. Bu tekniklerin en önemli avantajı, çevre normal dokuları klasik radyoterapi tekniklerine oranla

## Uzay Neşteri (Cyberknife)

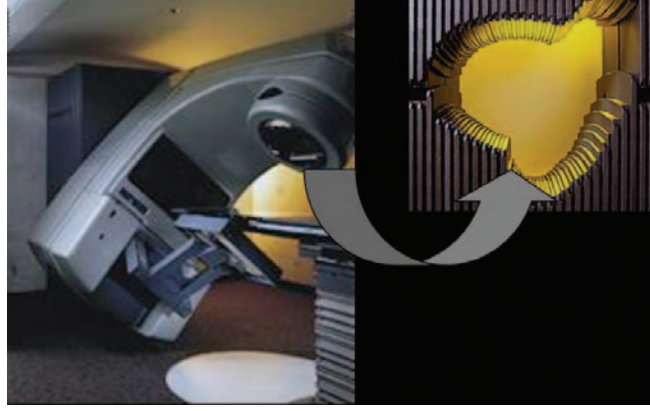
Stanford Üniversitesi'nde geliştirilen ve ilk klinik kullanımı 1994 yılında gerçekleştirilen uzay neşteri, radyasyon onkolojisindeki en gelişmiş teknolojilerden biri olarak kabul ediliyor. Uzay neşteriyle vücudun her bölgesindeki ancak belli boyutu aşmayan tümörlere ulaşmak olası. Beyin tümörleri için kullanılacaksa hastaya çerçeve takılması gerekmiyor. Yalnızca basit bir maske yapılması yeterli oluyor. Bu yeni teknolojinin en önemli özelliği lineer akseleratör kafasının robotik bir kol yardımıyla hareketli olması. Ayrıca hasta ya da organ hareketlerine bağlı değişiklikler cihaz tarafından özel yöntemler aracılığıyla saptanabilir ve gerçek zamanlı olarak tedavinin en doğru şekilde verilmesi sağlanıyor. Uzay neşterinin başlıca kullanım alanları beyin tümörleri, bazı akciğer kanserleri, omurilik tümörleri ve pankreas kanserleri. Ancak bu teknolojinin de geliştirilmeye muhtaç kısımları var ve %100 garantili bir yöntem değil. Uzay neşteri,



bazı web sitelerinde reklam amacıyla yoğunluk ayarlı radyoterapiyle kıyaslanıyor; ancak, bu bilimsel olarak uygun bir karşılaştırma değil. Çünkü mevcut teknolojiyle uzay neşteri stereotaktik radyoterapilerle aynı kategoride. Üstelik yoğunluk ayarlı radyoterapiyle rahatlıkla tedavi edilebilen büyük boyutlardaki tümörlerin uzay neşteriyle tedavi edilmesi de teknik olarak mümkün değil. Eğer iki teknoloji aynı sistemde tüm avantajlarıyla birleştirilebilirse, gerçek devrimden bahsetmek söz konusu olabilir.

daha iyi koruyabilmeleri. Ayrıca, prostat, baş-boyun ve akciğer kanserlerinde tümör kontrolü için daha yüksek radyoterapi dozlarının kullanımına olanak tanıyorlar. Bu sayede tümöre daha yüksek doz verilirken, çevredeki kritik organlar daha iyi korunabiliyor. Sonuç olarak yan etkilerin azaltılması ve tümör kontrol oranlarının artırılması söz konusu.

Ancak bu tekniklerle tedaviye bağlı risklerin sıfıra inmesi gibi bir durum söz konusu değil. Çünkü bu tedaviyi uygulayabilmek için, daha önce de bahsettiğimiz gibi yalnızca üstün teknolojinin var olması yeterli değil. Bu tedavilerden minimum riskle maksimum yarar sağlayabilmek için, radyoterapinin temel ilke ve prensiplerini bilen, hedef bölge çizimi için yeterli anatomi ve radyoloji bilgisine sahip, radyasyon doz-cevap ilişkilerini iyi kavramış ve 3 boyutlu konformal teknikler üzerinde tecrübeli bir radyas-



Modern bir Lineer akseleratör. Bu cihazla IMRT ve IGRT tedavileri yapılabilmekte. Sağda büyütülmüş kısımda Linak kafasında bulunan ve bilgisayar kontrolüyle her biri bağımsız hareket ederek, radyoterapi alanının şekillendirilmesini sağlayan çok yapraklı kolimatör ('multileaf collimator') düzeniği görülmüyor.

yon onkolojisi ekibinin olması şart. Ayrıca, bu teknolojilerin de geliştirilmeye gereksinim duyulan kısımları var. Kalite kontrol işlemlerinin uzun ve zahmetli, tedavi basamaklarının da klasik radyoterapiye göre daha uzun oluşu ve özellikle organlara bağlı hareketlere (solunum gibi) oldukça duyarlı olması bunlar arasında.

## Kimlere Uygulanabilir?

Günümüzde 3-boyutlu konformal radyoterapi teknikleri yalnızca seçilmiş hastalara uygulanabiliyor. Yani her hasta için bu radyoterapi teknikleri uygun olmayabiliyor. Bu kararı, muayeneyle beraber ilgili tüm radyolojik tetkikleri (bilgisayarlı tomografi, manyetik rezonans gibi) değerlendirdikten sonra radyasyon onkoloğu veriyor.

Üç boyutlu tekniklerin başlıca uygulama alanları erken evre prostat kanserleri, baş-boyun kanserleri, akciğer kanserleri ve santral sinir sistemi tümörleri. Mevcut bilimsel çalışmalar bu tedavi tekniklerini kullanarak radyoterapiye bağlı yan etkilerin önemli ölçüde azaldığını göstermekle beraber, tümör kontrolünü artırmada klasik tedavilere üstünlüklerini gösteren veriler henüz yeterli değil. Ancak ön klinik sonuçlar oldukça umut verici.



Yoğunluk ayarlı radyoterapiyle radyasyon çok küçük demetçiklere bölünüyor ve bu demetçiklerin yoğunlukları ayarlanarak radyoterapi dozları istenildiği gibi şekillendirilebiliyor. Koyu renkli bölgeler radyasyonu yoğun olarak alan, gri ve beyaz bölgelerse daha az yoğunlukta radyoterapi alan bölgeleri temsil ediyor.

## Son Gelişmeler

Bu konudaki en önemli gelişme, radyoterapi ana demetinin daha küçük demetçiklere bölünmesi ve radyoterapinin oluşan yeni demetçiklerin yoğunluklarının ayarlanarak uygulanması. Tümünüyle bilgisayar kontrollü sistemler aracılığıyla yapılan ve yoğunluk ayarlı radyoterapi olarak (intensity modulated radiotherapy, IMRT) adlandırılan bu teknik sayesinde, radyasyon alanına istenilen şekil verilebiliyor.

Diğer bir önemli gelişme ise, radyoterapide dördüncü boyut olarak, zaman faktörünün eklenmesiyle geliştirilen 4 boyutlu radyoterapi teknikleri. Bu sayede çeşitli dedektörler yardımıyla solunum gibi organ hareketlerinin frekansları saptanıyor ve radyoterapinin bu hareketlerle senkronize olarak verilmesi sağlanıyor. Böylelikle harekete bağlı riskler en aza indirilebiliyor. Benzer şekilde, hasta hareketine bağlı yer değiştirmeler saptandığında da, anında gerekli parametreler ayarlanarak radyasyonun yeniden hedefe doğru şekilde verilmesi sağlanıyor. Ayrıca, radyoterapi alanlarının doğrulanması işlemi, başka bir deyişle radyoterapinin doğru bölgeye verilip verilmemesinin kontrolü, görüntüleme sistemlerinin lineer akseleratörle entegre bir biçimde çalışmasıyla denetleniyor ve sonuç olarak daha kaliteli ve daha güvenli tedavi biçimleri geliştiriliyor.

Yrd. Doç. Dr. Gökhan Özyiğit  
Hacettepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi,  
Radyasyon Onkolojisi ABD

### Kaynaklar

- Chao.K.S.Clifford, Özyiğit Gökhan, "Intensity modulated radiation therapy for head and neck cancers." Lippincott Williams&Wilkins, 2003.  
Chao K.S. Clifford, Apisarnthanarax Smith, Özyiğit Gökhan, "Practical essentials of intensity modulated radiation therapy.", Lippincott Williams&Wilkins, 2005.

## Stereotaktik Radyoterapi Teknikleri



'Stereotaksi' kelime olarak 3 boyutlu yer belirlemesi yapmak anlamına geliyor. Klasik dışarıdan tedavi yapan linak ve kobalt gibi radyoterapi cihazlarında, ışınların hastaya odaklandığı bölüm tek ekseninde çalışır. Hastaya farklı eksenlerden radyoterapi verilmek istenirse tedavi masasına açı vermek gerekir. Bu yöntem kullanılarak, yani tedavi masasına çeşitli açılar verilerek ve linak cihazının kafasına özel bir aparat takılarak uygulanan stereotaktik radyoterapiler uzun yıllardır yapılıyor ve 'kansız beyin cerrahisi' olarak biliniyorlar. Eğer tedavi bir günde uygulanırsa stereotaktik radyocerrahi, fraksiyonlar şeklinde verilirse stereotaktik radyoterapi olarak adlandırılıyor. Ancak bu yöntemde hastanın tamamen hareketsiz kalması gerektiğinden, hastanın başına lokal anesteziyle yapılan ufak bir operasyonla, demir çerçeve takılması gerekiyor. Bunların kullanım alanı, primer ya da metastatik beyin tümörleri, bazı damar anomalileri ve hipofiz tümörleriyle sınırlı. Benzer şekilde gamma-knife üniteleri de yalnızca bu işlem için ayrılmış tedavi cihazları. Gamma-knife ünitelerinin linak tabanlı stereotaktik radyoterapilerden en önemli farkı 101 adet Kobalt 60 kaynağının kullanılması. Kullanım alanlarıysa linak tabanlı yöntemle aynı.