



[www.medikalfizik2019.org](http://www.medikalfizik2019.org)



# 17. ULUSAL MEDİKAL FİZİK KONGRESİ

18-19 Ekim 2019  
The Marmara Taksim



# KONGRE KİTABI

Sevgili Meslektaşlarımız,

1987 yılında 1. Ulusal Medikal Fizik kongresi ile başlayan kongre heyecanımız 17. Medikal Fizik Kongresini gerçekleştirme yolunda devam etmektedir. Kongremiz 18-19 Ekim 2019 tarihinde İstanbul'da Taksim The Marmara Hotel'de yapılacaktır.

Zamanı ve maddi kaynakları ekonomik kullanabilmek amacıyla tüm konuları içerecek şekilde bilimsel açıdan zengin iki ayrı salonda bir program oluşturmayı hedefledik. Kongrede konuşulacak konu başlıkları bilimsel kurul ile İstanbul'da yapılan toplantıda belirlenmiştir. Sabahın erken saatleri genç meslektaşlarımızın mesleki gelişimlerine katkı sağlamak amacıyla katılımcıların istekleri doğrultusunda temel düzeyde kurslara ayrılmıştır. Ayrıca Radyoterapi teknikerleri için "RT Kalite Temininde (QA) Radyoterapi Teknikerinin Rolü" konulu bir kurs düzenlenmiştir. Kongremizin, araştırmacıların deneyimlerini paylaşmalarına, Medikal Fizik alanında güncel konuları takip etmelerine, katılacakları kurslar, konferanslar ve sözlü/poster/e-poster sunumları ile eksikliğini hissettikleri konularda daha donanımlı hale gelmelerine katkı sağlayacağını umuyoruz.

Radyasyon Onkolojisi, Nükleer Tıp, Radyoloji ve Radyasyondan Korunma konusuyla ilgili değerli katılımcıları ve araştırmacıları kongremizde aramızda görmekten büyük onur ve mutluluk duyacağız. Konuyla ilgili tüm bilim insanlarını kongremize davet ediyoruz. Kongremizin başarılı geçmesini diliyor düzenleme komitesi adına hepinize en içten sevgi ve saygılarımızı sunuyoruz.

**Düzenleme Kurulu Adına Kongre Başkanı**  
**Hatice Bilge BECERİR**

18 Ekim 2019, Cuma

A Salonu

08:15-09:15 Kurs - Doz-Zaman İlişkileri  
*Moderatör: Vildan Alban*  
Konuşmacılar: Aydın Çakır, Fadime Alkaya

B Salonu

08:15-09:15 Kurs - SPECT/BT ve PET/BT Kalite Kontrol Testleri  
*Moderatör: Mustafa Demir*  
Konuşmacılar: Leyla Poyraz, Nami Yeyin

A Salonu

09:15-09:30 Açılış  
09:30-10:30 PET-BT ve PET-MR'ın Onkolojide Kullanımı  
*Oturum Başkanları: Salih Gürdallı, Mustafa Demir*  
Konuşmacı: Almos Elekes

10:30-11:00 Kahve Molası

11:00-12:30 Brakiterapi  
*Oturum Başkanları: Songül Karaçam, Şule Parlar*  
3 Boyutlu Brakiterapide Doz-Volüm Tanımlamaları - Nural Öztürk  
Brakiterapide Ters(inverse) Planlama (IPSA) - Kadir Yaray

B Salonu

11:00-12:30 Nükleer Tıpta Dozimetri Yöntemleri-I  
*Oturum Başkanları: Ahmet Bozkurt, Yasemin Parlak*  
Lu-177 Dozimetrisi - Türkay Toklu  
Ra-223 (Alfaredin) Dozimetrisi - Nami Yeyin  
Sözel Bildiriler  
S-21 Lu-177 PSMA-617 Tedavisi Uygulanan Prostat Kanseri Tanılı Hastalarda MIRD Yöntemi İle Kritik Organ Dozlarının Belirlenmesi - Burcu Kozanlılar  
S-22 Lutesyum-177 Tedavilerinde Kantitatif SPECT/CT İle Hastaya Özgü Dozimetri - Gülçin Çelik

12:30-13:30 Öğle Yemeği

A Salonu

13:30-15:00 Radyoterapide Özel Teknikler  
*Oturum Başkanları: Bahar Dirican, Esra Kaytan Sağlam*  
Klasik Teknik ile TBA Foton Işınlamaları - Aysun İnal  
Modern Teknikle TBA Foton Işınlamaları - Bora Taş  
Tüm Cilt Elektron Işınlamaları - Murat Köylü  
Kraniospinal Işınlamalar - Emel Hacıislamoglu

B Salonu

13:30-15:00 Bilgisayarlı Tomografi  
*Oturum Başkanları: Turan Olgar, Bağnu Uysal*  
Bilgisayarlı Tomografi'de Doz ve Azaltım Yöntemleri - İsmail Özsoykal  
Ultra Düşük Doz Bilgisayarlı Tomografi Sistemleri - Ayşegül Yurt  
Sözel Bildiriler  
S-23 Bilgisayarlı Tomografi Çekimlerinde Over Dozları: Fantom Çalışması - Özge Ulu  
S-24 Bilgisayarlı Tomografide İteratif Rekonstrüksiyon Algoritmalarının Görüntü Kalitesi Ve Hasta Dozu Üzerindeki Etkileri - Elif Ecem Alcan

15:00-15:30 Kahve Molası

A Salonu

15:30-18:00 Sözel Bildiriler  
*Oturum Başkanları: Nezahat Olacak, T.Öğuz Gürsoy*  
S-01 Türkiye'de Radyoterapi Cihazlarının Durumu Ve İnsangücü - Hatice Bilge Becerir  
S-02 Sol Meme Kanseri Hastalarının Radyoterapi Tedavisinde Vmat ve Imrt Tekniklerinin Dozimetrik Olarak Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi - Yılmaz Bilek  
S-03 Akciğer Kanseri Radyoterapisinde Dört Boyutlu Bilgisayarlı Tomografi İle Hedef Hacim Tanımlama Stratejilerinin Hareketli Fantom ve Film Dozimetrisi İle Araştırılması - Canan Köksal  
S-43 Meme Tedavisinde Farklı Algoritma Kullanmanın Doz Doğruluğuna Etkisi - Yaprak Erözmen  
S-05 Medikal Bir Lineer Hızlandırıcı Foton Faz Uzayının Gate/Geant4 Simülasyon Yöntemiyle Elde Edilmesi ve Analizi - Hediye Acun Bucht

### A Salonu

- S-06** Baş-Boyun Kanserli Hastaların Radyoterapi Planlamalarında, Işınlanan Bölgede Bulunan Diş İmplant Malzemelerin Doz Dağılımına Etkisinin Monte Carlo Simülasyon Yöntemi ve Pencil Beam Konvülsiyon Algoritması Kullanılarak Belirlenmesi - Oya Akyol
- S-07** Stereotaktik Beyin Radyoterapisinde Seri Işınlamalar İçin CT Kalınlığı ve Demet Giriş-Çıkış Engellemesinin Plan Kalitesine Etkisi - Melisa Akmanlar
- S-08** İleri Evre Sol Meme Kanserinde Sanal Bolusun VMAT Plan Kalitesi Üzerine Etkisi - Berat Tuğrul Uğurlu
- S-09** Senkron Bilateral Meme Kanserleri İçin Simültane İntegre Boost Radyoterapisinde Volumetrik Ark Terapi (VMAT) ve Helikal Tomoterapi Tedavi Planlarının Dozimetrik Karşılaştırılması - Canan Ertunc
- S-10** Farklı Tedavi Algoritmalarının SRS ve SBRT Tedavi Planlamalarına Etkisinin Dozimetrik İncelenmesi - Esra Serin
- S-11** Prostat Stereotaktik Radyoterapi Tedavilerinde Linac Tabanlı Cihazların Kolimasyon Sistemlerinin Tedavi Kalitesine Etkisinin Araştırılması - Pelin Çetin
- S-12** Sağ Meme Kanserinde Farklı Planlama Tekniklerinin Dozimetrik Karşılaştırılması - Derya Yücel
- S-13** Dozimetrik Yaprak Açıklığı Değerinin Stereotaktik Vertebra Metastazı Tedavi Planlarında Doz Hesabına Etkisi - Uğur Akbayırlı
- S-14** Bakteriyele Selüloz Yara Örtülerinin Bolus Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi - Yeliz Yalçın
- S-15** Ozon Yağı Nanopartikülerinin Malign Melanom Hücre Hattında Radyoduyarlılık Etkisinin İncelenmesi - Yeliz Yalçın
- S-16** Özel Tasarlanmış Prostat Fantomu ile Esnek Eşleştirme Programlarının Doğruluğunun Dozimetrik Kontrolü - Evren Ozan Göksel
- S-44** Tomoterapi Planlamasında Pitch Faktörü ve Alan Genişliğinin Farklı Densitelerin Maksimum Dozuna Etkisinin Değerlendirilmesi - Songül Barlaz Us
- S-45** Prostat Brakiterapisi Hasta Dozu Hesaplamalarında Monte Carlo Yönteminin Kullanılması - Serhat Aras

### B Salonu

#### 15:30-17:00 Monte Carlo Simülasyon Yöntemleri

**Oturum Başkanları:** Türkay Toklu, Leyla Poyraz

Radyonüklid Tedavi Uygulamalarında Monte Carlo - Ahmet Bozkurt  
Monte Carlo Uygulamalarındaki Güncel Gelişmeler - Kadir Akgüngör  
Sözel Bildiriler

**S-26** Glanduler Doku ve Cilt Dozunun Derinlik ve Konuma Bağlı Dağılımının Makroskopik ve Mikroskopik Voksel Boyutlarında Monte Carlo Simülasyonu İle İncelenmesi - Gizem Şişman

**S-27** Mamografide Homojen Olmayan X-Işını Alanındaki Doz Gradyentinin Ölçülmesi Ve Geant4 İle Monte Carlo Simülasyonu - Gizem Şişman

**S-28** Yüksek Atom Numaralı Kompleks Geometrik Yapılı Materyallerin Yüze Dozlarının Monte Carlo Simülasyonu İle Değerlendirilmesi - Gizem Bakıcıerler Aybars

#### 17:00-18:00 Sözel Bildiriler

**Oturum Başkanları:** Yasemin Parlak, Kadir Akgüngör

**S-34** Radyoloji ve Radyoterapideki Temel Dozimetrik Uygulamalarda Medikal Fizik Eğitime Yönelik İnteraktif Bir Kullanıcı Arayüzünün Geliştirilmesi - İsmail Özsoykal

**S-25** Tof Özelliği Olan ve Tof Özelliği Olmayan PET/BT Sistemlerinde Lezyon Detektabilitesinin Karşılaştırılması - Yağmur İdil Ulusoy

**S-33** Radyasyonun Oksidatif Stres ve Apoptozis Üzerindeki Etkilerinde Rac1 Molekülünün Rolü - Yaşar Aysun Manisalıgil

### 19 Ekim 2019, Cumartesi

### A Salonu

**08:00-09:00 Kurs - Radyoterapide Oda Dizaynları ve Çevre Doz Ölçümleri**

**Moderatör:** Bülent Yapıcı

Konuşmacılar: Doğan Yaşar

### B Salonu

**08:00-09:00 Kurs - Nükleer Tıp ve Radyolojide Oda Dizaynı ve Radyasyon Korunması**

**Moderatör:** Ayşegül Yurt

Konuşmacılar: Bilal Kovan, Bağnu Uysal

### A Salonu

**09:00-10:40 Medikal Fizikte Yenilikler**

**Oturum Başkanları:** Gönül Kemikler, Nazmi Oğuz

Medikal Fizik Geleceği - Mehmet Ertuğrul Ertürk

Radyocerrahide Yenilikler - Öznur Şenkesen

Partikül Tedavilerde Yenilikler - Serap Çatlı

Brakiterapide Yenilikler - Yücel Sağlam

Tiroit Uptake ve Nodül Ablasyonu - Muhammed Abuqbeith



C Salonu (RT Teknikerleri için Kurs programı)

**09:00-10:40 RT Kalite Temininde (QA) Radyoterapi Teknikerinin Rolü**

**Oturum Başkanları: Abidin Tecik, Halil Küçük**

RTQA'nde Genel Kavramlar - Murat Okutan  
Radyoterapide Hata Kaynakları - Nadir Küçük  
Radyoterapide Kazalar - Songül Karaçam  
Tartışma

**10:40-11:10 Kahve Molası**

A Salonu

**11:10-13:00 MR Linak Tabanlı Tedaviler**

**Oturum Başkanları: Tülay Ercan, Hilal Acar**

MR Rehberliğinde Radyoterapi - Enis Özyar  
MR Linak Temel Prensipleri - Görkem Güngör

**Elekta Unity – Breakthrough technology  
and clinical experience - Kevin Brown**



Extracting information from the ViewRay MR images: Where we are and where we are going - Davide Cusumano

B Salonu

**11:10-13:00 Nükleer Tıpta Dozimetri Yöntemleri-II**

**Oturum Başkanları: Türkay Toklu, Turan Olgar**

Tiroit Kanseri Uzak Met. Tedavisinde Dozimetri - Mustafa Demir  
Tiroit Kanseri Bakiye Doku Ablasyon Dozimetrisi - Yasemin Parlak  
Karaciğer Hastalıklarında Dozimetri - Bilal Kovan  
Sözel Bildiriler

**S-31 Y-90 Görüntüleme Kolimatör ve Enerji Penceresi Optimizasyonu - Caner İnce**

**S-29 Y90 Mikroküre Tedavisinde Pre-Post Tedavi Doz Değerlerinin Karşılaştırılması - Gamze Ergiyen Buldu**

**S-30 Tc-99 Maa Sintigrafisinde SPECT/BT Görüntülerine Uygulanan Foton Atenüasyonu ve Saçılma Düzeltmelerinin (Ac ve Sc) Y-90 Dozimetrisi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi - Özgür Taylan Akdağ**

C Salonu (RT Teknikerleri için Kurs programı)

**11:10-13:00**

**Oturum Başkanları: Ali Güneş, Zeynep Özen**

Cihaz QA'leri ve Radyoterapi Teknikerlerinin Rolü - Vildan Alpan  
Görüntüleme QA Radyoterapi Teknikerlerinin Rolü - İlkay Serbez  
Adaptif RT ve QA - Evren Ozan Göksel  
Tartışma

**13:00-14:00 Öğle Yemeği**

A Salonu

**14:00-15:30 Adaptif RT'nin Klinik Uygulamaları**

**Oturum Başkanları: Yavuz Anacak, Nina Tunçel**

Baş-Boyunda ne zaman ve nasıl Adaptif RT? - Gökhan Özyiğit, Fatih Biltekin  
Memedede Nefes Kontrolü Yapılamıyorsa ne Yapılmalı? - Fusun Tokatlı, Nazmiye Dönmez Kesen  
Akciğer SBRT mi Konvansiyonel mi? - Ayşe Nur Demiral, Zafer Karagüler

B Salonu

**14:00-15:30 Görüntüleme Yöntemlerinde Güncel Yaklaşımlar**

**Oturum Başkanları: Ayşegül Yurt, Kadir Akgüngör**

Görüntüleme Yeni Yöntemler - Özcan Gündoğdu  
Girişimsel İncelemelerde Güncel Yaklaşımlar ve Doz Azaltım Yöntemleri - Turan Olgar  
Sözel Bildiriler

**S-37 Cdznte Kristaller Kullanarak Türkiye'De Gama-Prob ve Gama-Kamera Geliştirilmesi - Emrah Kalemci**

**S-36 99mTc-Nanocolloid Sentinel Lenf Nodu Görüntüleme; Planar, Spect ve Spect/Ct Sistemleri Arasındaki Karşılaştırma: Fantom Tasarımı Ve Klinik Araştırmalar - Nazenin İpek İşıkci**

**15:30-16:00 Kahve Molası**

### A Salonu

16:00-17:30 Sözel Bildiriler

**Oturum Başkanları: Ayşe Koca, Haluk Orhun**

**S-17** Abdominal Bölge Radyoterapi Uygulamalarında Solunum Hareketinin Riskli Organlardaki Hacimsel ve Dozimetrik Etkilerinin Değerlendirilmesi - Yılmaz Bilek

**S-18** Sinonazal Kavite Tümörünün Radyoterapi Cevabının Adaptif Metotla Değerlendirilmesi - Sibel Karaca

**S-19** Üç Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Fantomun Radyocerrahi Tedavi Planlarının Kalite Kontrolünde Kullanılması - Hasan Uysal

**S-20** Akciğer Kanseri Stereotaktik Beden Radyoterapisinde Dört Boyutlu Bilgisayarlı Tomografi İle Hedef Hacmin Belirlenmesindeki Yaklaşımların Araştırılması - Canan Köksal

**S-38** Monte Carlo Metodu Kullanılarak Mikro Yapraklı Bir Medikal Lineer Hızlandırıcının Modellenmesi ve Alternatif Bir Tedavi Planlama Sisteminin Oluşturulması - Derya Yücel

**S-39** Hdr Brakiterapi Afterloading Sisteminde Miami Aplikatör Kullanımı Sonrası Gelişen Sıvı Kontaminasyonu: Advers Olay - Özge Bozdoğan

**S-40** Tandem-Ovoid Aplikasyonu Yapılan Brakiterapi Planlamaları İçin Her Fraksiyonda Yeni Tomografi Gerekli mi? - Mine Doyuran

**S-41** Dual Enerjili Bilgisayarlı Tomografi (DEBT) Yöntemiyle Efektif Atom Numarası (Zeff) ve Elektron Yoğunluğu (Qe) Türetilmesi - Rıza Dilek

**S-42** Yoğunluk Ayarlı ve Ark Radyoterapi Uygulanan Baş-Boyun Kanseri Tanılı Hastalarda Hedef ve Riskli Organlardaki Değişimin Retrospektif Araştırılması - İbrahim Meral

**S-04** Yüzey Takip Sistemi (BH-CT) Ve 4D-CT Teknikleri ile Tedavi Edilen Akciğer Sbrt Hastalarında Tümör Takibi - İsmail Faruk Durmuş **S-46** Proton Demetinin CSDA Menzili Belirlemesi Ve Lucite (C5O2H8) İle Silikon (Si) Materyallerinin Wer Hesaplamaları - Rıza Dilek

**S-35** Akciğer SBRT Uygulamalarında Hedef Hacim Pozisyonunun 4D Cone Beam CT ve Symmetry Özelliği İle Belirlenmesi - Elif Lokumcu

**S-32** Picket Fence Testi ile Belirlenen Mlc Pozisyon Doğruluğunun SRS/SBRT/VMAT Planlarının Kalite Kontrolünde Gamma İndeks Değerine Etkisi - Serpil Yöndem İnal

**S-47** Karaciğer Tümörlerinin Stereotactic Vücut Radyoterapisinde Fraksiyon İçi ve Fraksiyonlar Arası Tümör Yer Değişiminin Dozimetrik Olarak İncelenmesi - Aydın Çakır

### B Salonu

16:00-17:30 Medikal Fiziğin Uygulama Alanlarında Yasal Mevzuatların Güncel Durumu

**Oturum Başkanları: Doğan Yaşar**

Sağlık Bakanlığı Temsilcisi - Recep Uslu

TAEK Mevzuatındaki Değişiklikler - Pınar Çelik

### A Salonu

17:30-18:00 Dilek ve Temenniler/ Kapanış



# KONUŞMA ÖZETLERİ

## Eksternal Radyoterapide Doz-Zaman İlişkileri

Dr. Aydın ÇAKIR, İstanbul Bilgi Üniversitesi

1895 yılında Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen'in X-ışınlarını keşfi aynı zamanda diagnostik radyolojinin başlangıcı kabul edilir. 1896 ve 1898 yıllarında sırasıyla Antonie Becquerel ve Marie Curie uranyum ve radyumun radyoaktivite özelliklerini keşfetti. Radyasyonun ilk kaydedilen biyolojik etkisi, yanlışlıkla cebinde radyum tüpü unutan Becquerel ile başladı. Unutulan radyum tüpünün yarattığı ülserasyonun iyileşmesi haftalar sürer. 1906 yılında Bergonie ve Tribondeau fareler üzerinde deneyler yaparak farklı dokuların radyasyona cevaplarını inceledi ve geçiriliğini bugün de koruyan, hızlı çoğalan dokuların radyasyona daha duyarlı olduklarını gösteren özelliğini keşfetti. Bu aynı zamanda farklılaşan hücrelerin radyasyona karşı duyarlılığı, hızlı çoğalan hücrelerden daha az olduğu anlamına gelmektedir. 1927 yılında Muller'ın Drosophila'larda radyasyon etkisi ile oluşan mutasyonların oranının saptanması kantitatif radyobiolojinin temelini oluşturmuştur. 1953 yılında Gray, canlı organizmada oksijenin duyarlılaştırıcı etkisini saptadı. 1956 yılında, Puck ve Marcus, çeşitli radyasyon dozu uyguladıktan sonra canlı kalabilen hücrelerin sağ kalım eğrilerini oluşturdu.

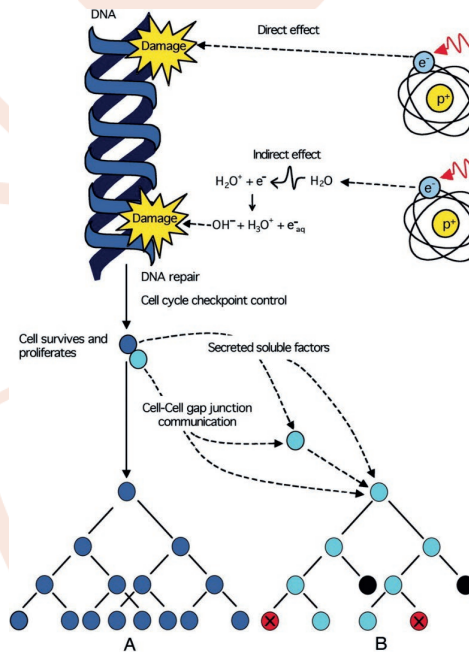
İyonlaştırıcı radyasyonun canlı hücrenin makro mekölü olan DNA üzerindeki hasarı iki şekilde ortaya çıkar: a- Direkt etki b-İndirekt etki.

Direkt Etki:

Oluşan en önemli etki tek veya çift sarmal bağ kırıklarıdır. Bu bağ kırıkları tek olursa hücre tarafından tamir edilebilir ancak çift bağ kırıkları çoğunlukla hücre ölümüyle sonuçlanır. İyonize radyasyon bir atom ya da moleküle çarpıp atomdan elektron kopararak iyonizasyon oluşturursa direkt etkileşim olur. Özellikle yüksek lineer enerji transferi (LET) değerine sahip, alfa partikülü gibi ağır iyonlar DNA molekülünü iyonlaştırır. Bu da DNA'nın yapısında reaktif iki komşu parça oluşmasına neden olmaktadır. Bu ayrılan iki parça derhal aynı orijinal molekülü oluşturmak üzere tekrar birleşirse hasar oluşmaz. Fakat DNA gibi büyük bir makro molekülde direkt etki ile bağ kırıkları oluşabilir. DNA üzerinde direkt etki eden iyonizan radyasyon ile Purin halkaları açılabilir, fosfo diester bağları kırılabilir veya DNA'nın tek ya da çift sarmalı kırılabilir. (Şekil1).

Radyasyonun biyolojik sistemde etkisini belirleyen faktörler:

1. Radyasyonun kalitesi (Lineer Enerji Transferi)
2. Radyasyon dozu
3. Doz hızı
4. Fraksiyon sayısı
5. Hücre veya doku tipi



Şekil 1 - Direkt ve indirekt etki.



#### İndirekt Etki:

Radyasyonun hücre içindeki su molekülleri ile etkileşerek bu moleküllerin iyonlaşması sonucu serbest radikaller oluşması ve oluşan bu serbest radikallerin DNA' yı etkilemesi ile molekülde hasar oluşmasına denir.

X ışını ve Gama ışını gibi düşük LET' li radyasyonlar, daha çok sublethal hasar yapar yani indirekt etki ile serbest radikallerle etki göstererek DNA da tek sarmal kırığına yol açarlar. Bu sublethal hasar genellikle onarılabılır ve bu tamir olayı için 4-6 saat gibi bir süre gerekir. Tablo 1'de bazı radyasyon türlerine ait LET değerleri verilmiştir.

Radyasyonun tipi	LET keV/ $\mu$ m
Cobalt-60	0.25
250 kVp x-ışınları	2.0
Diagnostik x-ışınları	3.0
10 MeV protonlar	4.7
150 MeV protonlar	0.5
14 MeV nötronlar	12.0
2.5 MeV alfa partikülü	166.0
Ağır çekirdekler	1000.0

Tablo 1 –İyonize radyasyonların LET değerleri.

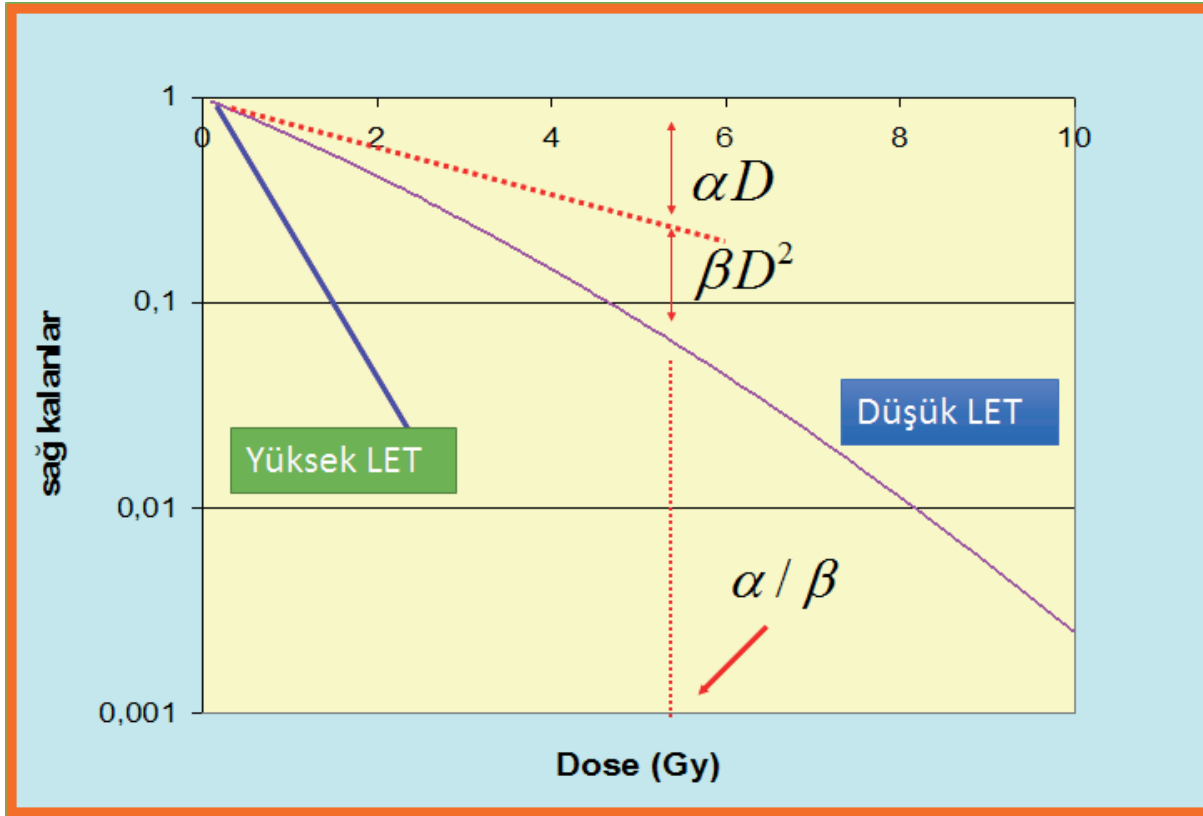
Radyasyonun DNA'ya direkt etki etmeden, vücut içerisinde moleküllerle etkileşime geçerek bu molekülleri iyonize etmesi ve serbest radikaller oluşturmasıdır. Oluşan bu reaktif serbest radikallerin DNA'yı etkilemesi indirekt etki olarak tanımlanmaktadır. Serbest radikal, bir veya birden fazla tek elektron içeren yüksek reaktiviteli molekül veya gruplardır.

Örnek olarak; iyonize radyasyonun insan vücudunda yüksek miktarda var olan su moleküllerine etki ederek serbest radikal oluşturması verilebilir.

Yüksek LET'li radyasyon genellikle direkt DNA hasarında etkili iken düşük LET'li radyasyonlar indirekt DNA hasarından sorumlu olurlar.

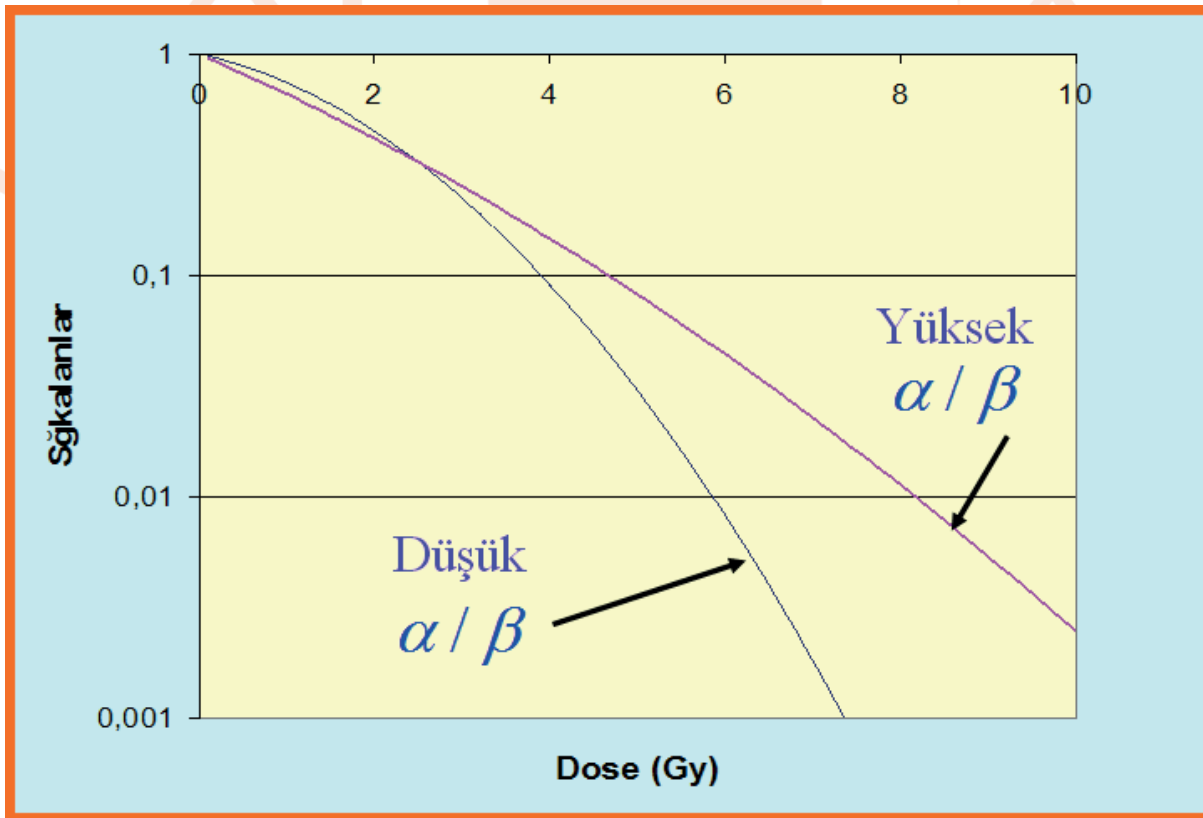
#### Sağ Kalım Eğrileri:

Çeşitli radyasyon dozlarının uygulanmasından sonra sağ kalan hücre oranlarını gösteren eğrilere sağ kalım eğrisi denir. Logaritmik olarak çizilen sağ kalım eğrileri düşük dozlarda bir omuz bölgesine sahipken, yüksek dozlarda ise eksponansiyel karaktere sahiptir (Şekil2). Şekil 2 de Lineer olarak azalma gösteren eğri yüksek LET değerine sahip olan nötrona ait olup, logaritmik bir omuz bölgesine sahip olan eğri ise X-ışınlarına aittir.



Şekil 2- Düşük ve yüksek LET değerli radyasyonlara ait sağ kalım eğrileri.

Bu eğrilerde  $\alpha$  eğrinin lineer komponentidir. Tek vuruşta tamir edilemez hücre hasarını gösterir.  $\beta$  ise eğrinin quadratic komponentidir. Birden fazla vuruşta meydana gelen tamir edilemez hücre hasarını gösterir.  $\alpha/\beta$  ise tek vuruştaki hücre ölümleri ile birden fazla vuruştaki hücre ölümlerinin aynı olduğu doz değerini gösterir. Doz cevap eğrisinde eğim büyükse  $\alpha/\beta$  oranı küçük, eğim küçükse  $\alpha/\beta$  oranı büyük ( Şekil 3).



Şekil 3- Düşük ve yüksek  $\alpha/\beta$  oranlarının doz cevap eğrileri.

Logaritmik olarak çizilen sağ kalım eğrileri, düşük dozlarda bir omuz bölgesine sahipken, yüksek dozlarda ise eksponansiyel bir karaktere sahiptir.

İnsan normal doku ve tümörleri ile fare fibrosarkom metastasları için  $\alpha/\beta$  oranları Tablo 2' de erken ve geç etkiler olarak sınıflandırılmıştır.

ERKEN ETKİ	$\alpha/\beta$	GEÇ ETKİ	$\alpha/\beta$
Jejunal mucosa	13	Spinal cord	1,6-5
Colonic mucosa	7	Kidney	0,5-5
Skin epitelium	10	Lung	1,6-4,5
Spermatogenic cells	13	Liver	1,4-3,5
Bone marrow	9	Human skin	1,6-4,5
Melanocytes	6,5	Cartilage/sub mucosa	1-4,9
Mouse fibrosarcoma	10	Dermis	1,5-3,5
Human tumors	6-25	Bladder	5-10
Experimental tumors	10-35	Bone	1,8-2,5

Tablo 2- Erken ve geç cevap veren insan ve fare fibrosarcoma hücreleri için  $\alpha/\beta$  oranları

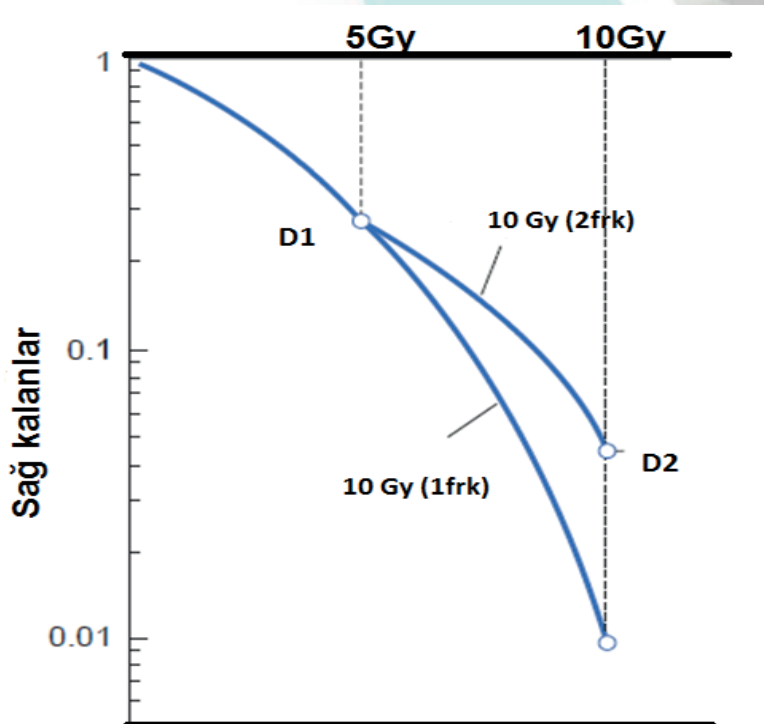
#### Radyasyon Hasarları

**Lethal Hasarlar (LD):** Onarılamayan dönüşümsüz olaylardır. Hücrenin ölümüne yol açarlar. Bu durum, sürekli bölünen hücrelerde bölünme yeteğinin kaybı, farklılaşmış ve bölünmeyen hücrelerde ise hücrenin özel fonksiyonlarının kaybı şeklinde ortaya çıkar.

**Subletal Hasarlar (SLD):** Bu tür hasarlar, ikinci bir doz uygulaması ile yeni subletal hasarların eklenmemesi durumunda bir kaç saat içinde onarılabilir.

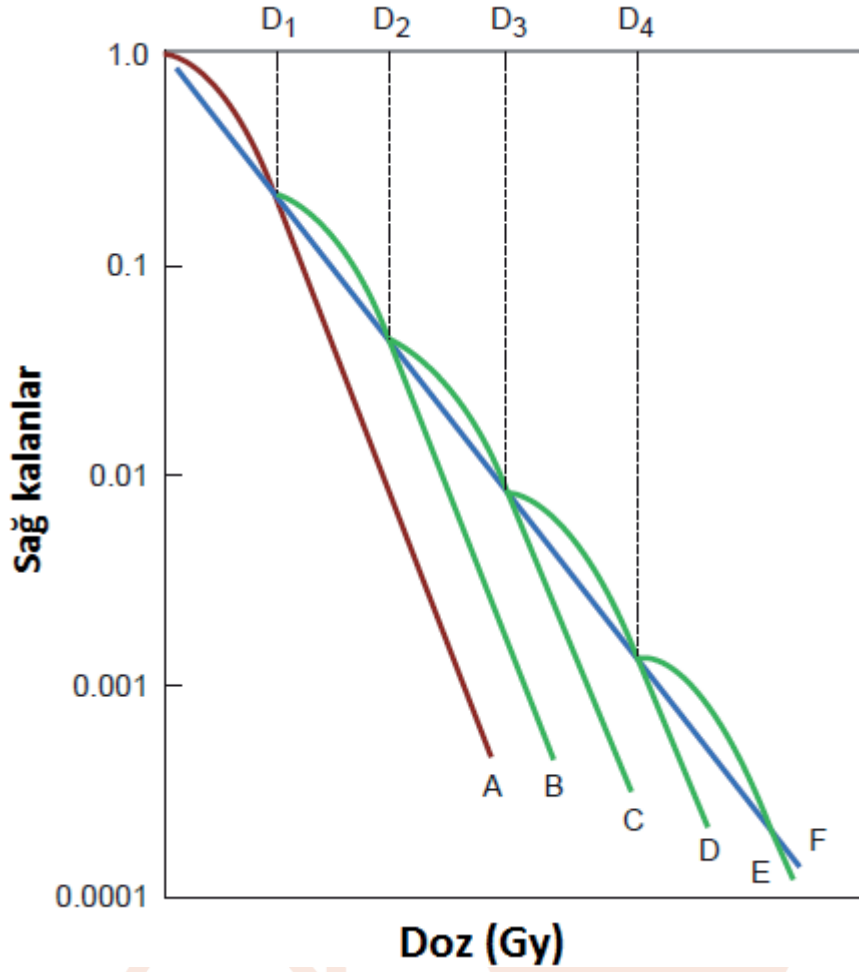
**Potansiyel Letal Hasarlar (PLD):** Bu hasarlar, ışınlamadan sonra hücrelerin buldukları ortam koşullarına göre değişkenlik gösteren hasarlardır.

**Subletal hasarın onarımı:** Omuz bölgesi radyasyon hasarının tamir edildiğini gösterir. Şekil 4' de 10 Gy'lik doz bir fraksiyonda verildiğinde canlı kalan hücrelerin oranını gösterir. Eğer 10 Gy'lik doz 5+5 şeklinde iki fraksiyon şeklinde uygulanırsa sağ kalan hücre oranlarında belirgin bir artış gerçekleşir.



Şekil 4- 10Gy (tek fraksiyon) ve 5+5Gy (bölünmüş doz) şeklinde 2 fraksiyonda uygulanan radyasyonun hücre sağ kalım eğrileri.

D1, D2 eşit doz fraksiyonları, subletal hasarların onarımına izin veren zaman aralıklarında uygulandığında, sağ kalım eğrilerinde omuz bölgeleri tekrarlanır.



Şekil 5- Aynı fraksiyon dozunun bölünerek (D1,D2,D3,D4) uygulandığı sağ kalım eğrileri.

Fraksiyon sayısını 4'e çıkartıldığında F eğrisindeki gibi bir sağ kalım eğrisi elde edilir. Bu eğriye göre sağ kalan hücre sayısında belirgin artış olmuştur (Şekil 5).

Radyoterapinin 5R'si:

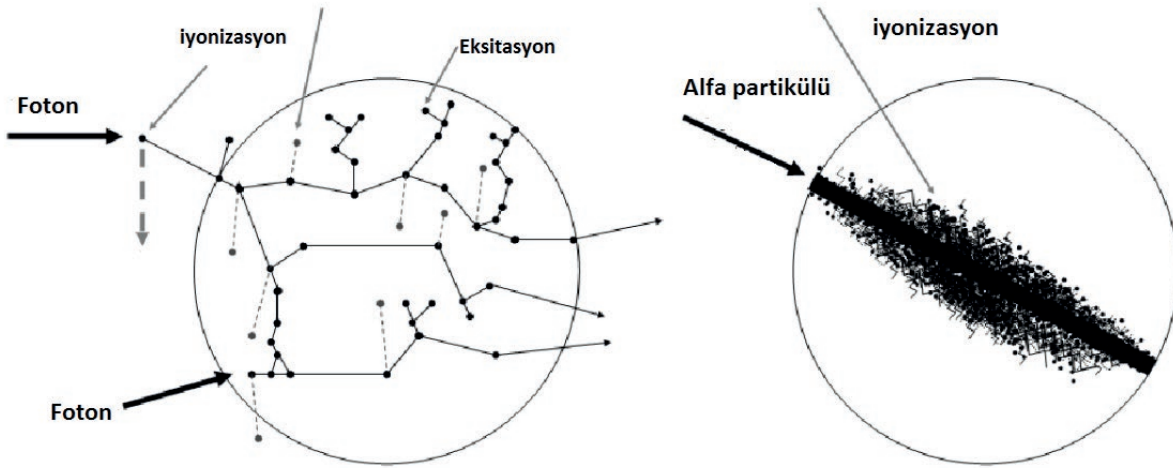
Konvansiyonel fraksiyonasyonda makroskopik olarak radyasyon-tümör etkileşiminin biyolojik sonuçları radyoterapinin 5R' si ile açıklanır. İlk 4R tarihi 1975 yılında yapılırken; hemotolojik, epitelyal kök hücreler gibi radyasyon duyarlılığı fazla olan ya da radyasyona dirençli olan nöronlar, bazı tümör hücreleri (melanoma, sarkom hücreleri) gibi hücrelerin yukarıda belirlenen 4R'ye olan cevaplarının farklı olacağını açıklayan beşinci R'ye iklediler.

- Repair
- Repopulation
- Redistribution
- Reoxygenation
- Radiosensitivity

Repair: Tamir, hücrenin hasarı onarmasıdır. Bu, düşük LET'li hücre yaşam eğrisinin eğriliği ile gösterilir. Yüksek LET'li radyasyonlardaki gibi tamirin olmadığı durumda yaşam eğrisi düz olacaktır. Yüksek LET'li radyasyonlarla hücre içindeki bireysel target molekülleri içindeki yoğun iyonizasyon tamir yeteneğini ortadan kaldırır (Şekil 6). Düşük LET'li radyasyonlarda ise bir seri enzimatik olaylar neticesinde DNA'nın kendini tamir etmesi ve hasarlı bölgenin çıkarılarak hasarsız bölgenin bilgilerinin kopyalanması sonunda hücre tamir edilecektir. Daha düşük LET'li radyasyon uygulamalarında daha çok tamir olayı olacaktır. Böylece yaşam eğrisi daha yatay olacaktır. Tamir, hem tümör hem de normal hücrelerde meydana gelir.



Ancak radyoterapide hayati önem taşıyan bir fark vardır. Özellikle geç cevap veren dokular, tümör hücrelerinden ve erken cevap veren dokulardan daha fazla tamir edebilmeye eğilimlidir. Geç cevap veren normal dokular, tümör hücrelerine göre, başlangıçta ( düşük dozlarda) daha az eğimli yaşam eğrisine sahiptir. Bu, iki eğrinin kesim noktasından önceki düşük dozlarda geç cevap veren normal doku hücrelerinden daha çok tümör hücrelerinin öleceği anlamına gelir.



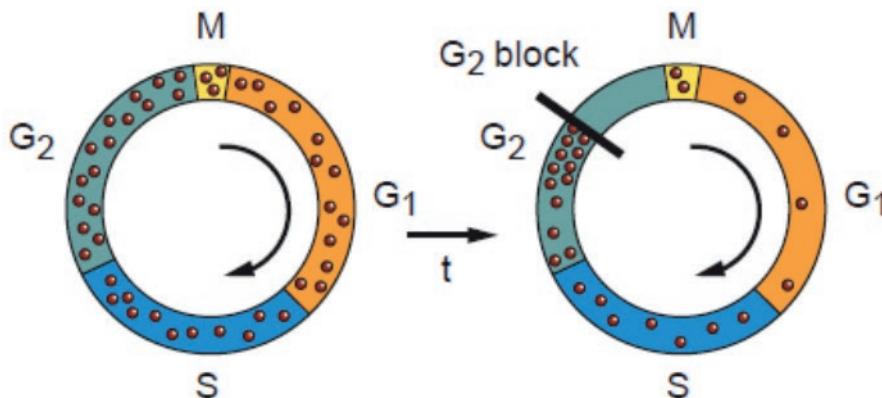
Şekil 6- Düşük LET değerine sahip foton ışını daha az iyonizasyona sahipken ve yüksek LET değerine sahip alfa partikülleri daha yoğun iyonizasyona sebep olurlar.

Repopulation:

Repopulasyon, ekstraselular onarımını gösterir. Özellikle hasardan kaçan hücreler bölünür ve ölü hücrelerle yer değiştirir. Tüm tedavi süresi artarken radyoterapi ile elde edilen local kontrol anlamlı şekilde azalır. Tedavi zamanı artarken tümör hücreleri daha hızlı popule olduklarından radyasyonun hücreleri yok etme kabiliyeti azalır. Bu özellik potansiyel ikilenme zamanı kısa olan tümör hücrelerinde önemlidir. Repopulasyon, tedavi rejiminin etkinliğini azaltacaktır. Eğer uygulanacak fraksiyonlar arasında 6-8saat ara olursa radyasyon dirençli hücreler radyasyon duyarlı faza geçerek Redistribution kısmı gerçekleşir. Böylece bir sonraki fraksiyon daha çok tümör hücresi ölümüne sebep olur. Eğer verilecek ara 6-8saatten fazla ise Repopulation kısmı gerçekleşir.

Redistribution:

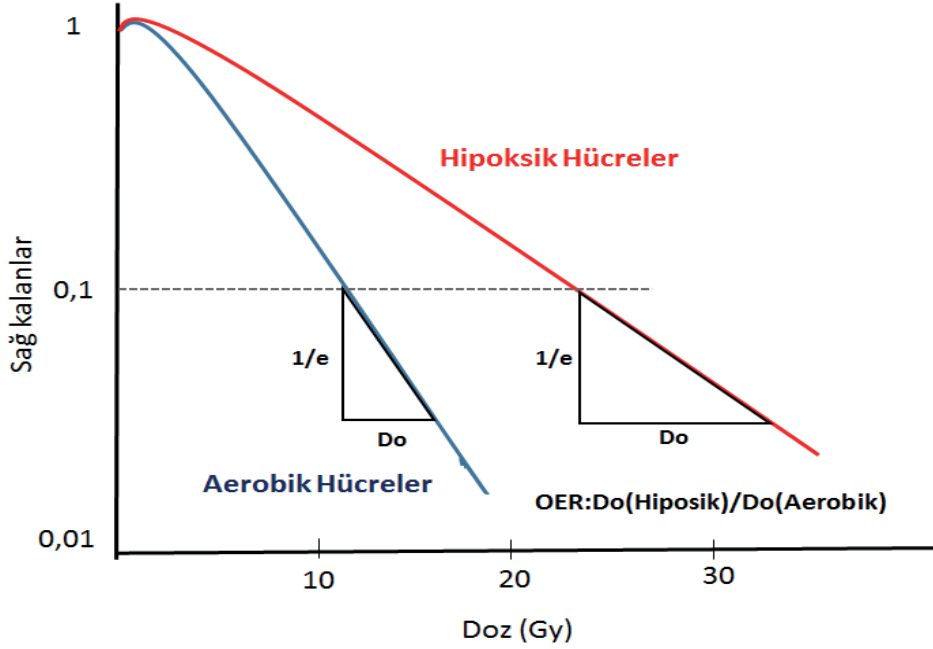
Redistribution, özellikle geç G2 ve M fazları en hassas, tüm kontrol noktaları geçilmiş ve hücre mitozaya girmiş yada girmek üzeredir. Geç S ve erken G2 en dirençli fazlardır, bu esnada DNA'da oluşan bir kırığı tamir etmek mümkündür. Böylece hemen ışınlamayı takiben hücre siklusunun dirençli fazında olan yaşayan hücrelerin bir yığılımı olacaktır. Bunlar, bölünen hücre popülasyonunda bir kısmı senkronizasyon eğilimi yaratacaktır, yani hücreler hücre siklusunda yeniden dizileceklerdir (Şekil 7).



Şekil 7- Hücre siklusu.

### Reoxygenation:

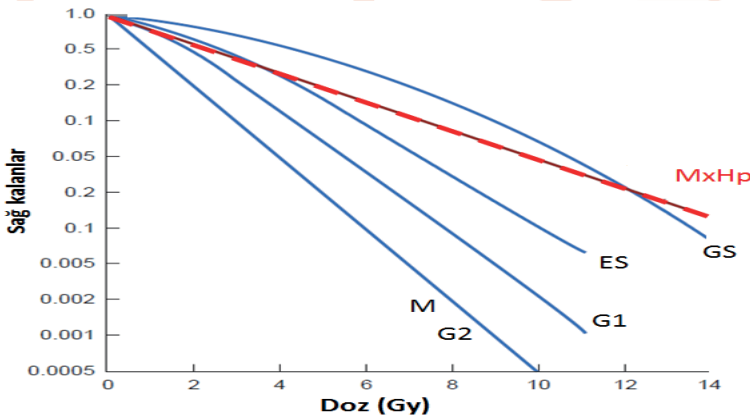
Oksijenin varlığı biyolojik etkileri dramatik bir şekilde değiştirir. Tümör hücrelerinin Reoxygenation kısmı kan akışına bağlıdır ve hücrenin radyasyona duyarlılığını belirleyen bir etkidir. Çoğu tümörde zayıf damarsal yapılanmadan dolayı tümör hacmi içinde hipoksik alanlar vardır ki bu da tümörü radyasyona dirençli hale getirir. Radyasyona maruz kalma sonunda hücre sıvısında oluşan peroksitler DNA'daki hasarı stabilize eder ve aynı zamanda onarım mekanizmasının çalışmasını baskılar. Bu nedenle oksijen hücre içinde radyasyona duyarlılığı artırıcı bir katalizör olarak çalışır ve hipoksik hücrelerin tekrar oksijenlenmesine yardımcı olur. Tekrar oksijenlenen tümör hücreleri radyasyona daha hassas olacaklarından bir sonraki fraksiyonda hücre ölümü artar (Şekil 8).



Şekil 8- Oksijenin radyoduyarlılaştırıcı etkisi ve sağkalıma etkisi.

### Radiosensitivity:

Repair ile fraksiyonlar arasında normal dokuların kendini onarması ile daha az yan etki sağlanırken, aynı zamanda tümör dokuları da kendini onaracağından radyasyona dirençli bir populasyon oluşmaya başlar. Hücrelerin hücre döngüsü içinde buldukları fazlar o hücrenin radyasyon duyarlılığını tayin eder. G2 ve M fazları radyasyona en duyarlı fazlardır ( Şekil 9).

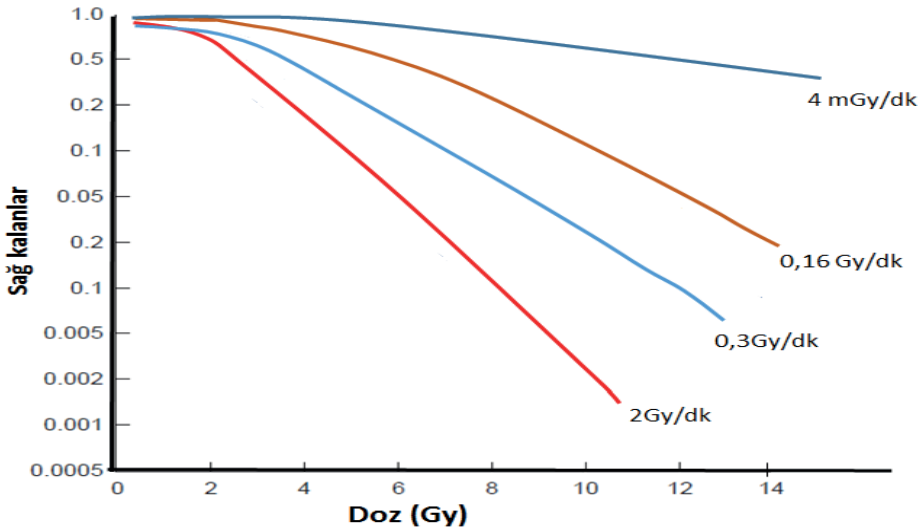


Şekil 9- Hücre fazları ve radyasyona duyarlılıkları.(M:Mitoz, ES:Erken S fazı, GS: Geç S fazı, MxHp:Mitoz fazındaki hücrelerin hipoksik ortama alınması ile elde edilen sağ kalım eğrisi)

- M ve G2 fazlarının sağ kalım eğrilerinin oldukça dik ve omuzsuz oluşu bu hücrelerin radyasyona karşı en duyarlı fazda olduklarını göstermektedir.

- Geç S fazındaki hücrelerin radyasyona karşı en dirençli fazda oldukları bilinmektedir.
- G1 ve erken S fazı gibi fazlar ise, radyasyona karşı duyarlılık açısından bunların arasında yer almaktadır.
- Koyu kahverengi eğri ise mitoz fazındaki hücrelerin hipoksik ortamda ışınlanmasıyla elde edilmiştir.

Doz Hızının Hücre sağkalımına Etkisi:



Şekil 10- Çin hamster hücrelerinin farklı doz hızlarında ışınlanmaları sonucu elde edilen hücre sağ-kalım eğrileri.

Çin hamster hücreleri için doza cevap eğrileri in vitro olarak büyütülmüş ve çeşitli doz hızlarında radyasyona maruz bırakılmıştır. Yüksek doz hızlarında, 2 Gy, 0.30 Gy ve 0.16 Gy / dak doz hızlarını karşılaştırırken bile doz hızı etkisi belirgindir. Hücre ölümündeki azalma, doz oranı daha da azaldıkça daha da çarpıcı hale gelir. Düşük doz hızlı radyasyon uygulaması durumunda hücrelerin radyasyondan daha az etkilendiği, hücrelerin korunduğu anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, radyoterapinin 5R'sinin tümör ve normal dokular için anlamı Tablo 3'deki gibi özetlenebilir.

Mekanizma	Tümör	Normal doku
Repair	Kötü	İyi
Repopulasyon	Kötü	İyi
Redistribüsyon	İyi	Kötü
Reoksijenasyon	İyi	Kötü
Radyosensitivity	İyi	Kötü

Tablo 3- Radyoterapinin 5R'sinin tümör ve normal dokular için anlamı.

Güncel tedaviler ve Radyobiyojik Değerlendirme:

Teknolojik gelişmelerle daha etkin SRS/SBRT uygulamaları yapılırken SBRT' nin radyobiyojik etkisi konvansiyonel radyoterapi için kullanılan kuramlarla tam olarak açıklanamamaktadır.

SRS ve SBRT tekniklerinin başarılı klinik sonuçları yayınlandıkça, yüksek tümör kontrol oranlarının ve kabul edilebilir normal doku hasarlarının gözlenmesi üzerine konvansiyonel radyoterapide radyobiyolojik etkiyi açıklayan 5R ve Lineer Quadratic (LQ) modellerinin SRS/SBRT uygulamalarındaki doğruluğu araştırılmaya başlanmıştır.

Konvansiyonel fraksiyon dozları tümör hücresinde damarsal hasar oluşturamazken SRS/SBRT uygulamalarındaki 10 Gy ve üzerindeki yüksek dozlarda damarsal yapı bozulur. Bu nedenle konvansiyonel fraksiyonasyonda bir avantaj olan tekrar oksijenlenme SRS/SBRT uygulamalarında görülmez yani reoksijenasyon sonrası hücre ölümü SRS/SBRT’de olmaz. Ancak damarsal yapının bozulmasından dolayı indirekt tümör hücresi ölümleri artar. SRS/SBRT uygulamalarında fraksiyon dozlarının yüksek olmasından dolayı tedavi süresi de uzun olacağından ışınlama süresince sublethal hasarın onarımı gerçekleşebilir. Bununla birlikte SRS ve SBRT’de oluşan damarsal hasar ve reoksijenizasyondan kaynaklı etki, hücre onarımından daha etkili olacağından hücre onarımının etkisi göz ardı edilebilir. Konvansiyonel radyoterapi sırasında uzun fraksiyonasyonlarda tekrar çoğalma (Re- population) SRS/SBRT uygulamalarının en çok 2 hafta sürmesinden dolayı SRS/SBRT’de anlamlı değildir. Konvansiyonel radyoterapide farklı fraksiyonasyon ve doz şemaları kullanıldığında tümör hücrelerinde ölüm miktarının hesaplanabileceği Lineer Kuadratik (LQ) modelin geliştirilmesi ile Hücre Sağ kalım Eğrileri elde edilir. LQ modeli konvansiyonel radyoterapide ve fraksiyon başına dozun, 10 Gy’ in altında olduğu SRS ve SBRT uygulamalarında hücre ölümünü doğru tahmin ederken, fraksiyon başına düşen dozun 10 Gy’den büyük olduğu SBRT uygulamalarında LQ modelinin hücre ölümünü doğru tahmin edemediği bildirilmiştir. Bunun nedeni LQ modelinin damarsal hasardan kaynaklı indirekt/nekrotik hücresel ölümlerini, tümör bağışıklık yanıtını ve reoksijenizasyondan kaynaklı tümör sağ kalımını dikkate almamasıdır. LQ modelinin SRS/SBRT uygulamalarındaki bu eksiklerini gidermek için çalışmalar yapılsa da tümör hücresi sağ kalımın gen farklılıkları, tümörün damarsal ve bağ dokusu yapısı, reoksijenasyon ve immün fonksiyonlar gibi matematiksel formüllerle açıklanamayacak çok etkenli olması nedeniyle doğru biyolojik bir sistemin matematiksel olarak modellenmesi oldukça zordur.

#### Kaynaklar

1. Gray JW, Dolbeare F, Pallavicini MG, et al. Cell cycle analysis using flow cytometry. *Int J Radiat Biol.* 1986;49:237–255.
2. Griffith TD, Tolmach LJ. Lethal response of HeLa cells to S-irradiation in the latter part of the generation cycle. *Biophys J.* 1976;16:303–318.
3. Hall EJ. Radiobiological measurements with 14-MeV neutrons. *Br J Radiol.* 1969;42:805–813.
4. Hartwell LH, Weiner TA. Checkpoints: controls that ensure the order of cell cycle events. *Science.* 1989;246:629–634
5. Hall, Eric J. *Radiobiology for the radiologist.* Lippincott William Wikins 7.th edition Philadelphia-Baltimore-New York, 2012.
6. Fowler JF. Dose-response curves for organ function in cell survival. *Br J Radiol.* 1983;56:497–500.
7. Fowler JF. Fractionated radiation therapy after Strandqvist. *Acta Radiol.* 1984;23:209–216.
8. Fowler JF. The linear-quadratic formula and progress in fractionated radiotherapy. *Br J Radiol.* 1989;62:679–694.



## BRAKİTERAPİDE DOZ-ZAMAN İLİŞKİLERİ

**Tıbbi Radyofizik Uzmanı Fadime Alkaya- Medicana International İstanbul Hastanesi**

Brakiterapi, Radyoaktif kaynakların tümörün çok yakınına yerleştirilmesi ve hızlı doz düşüşü avantajı ile normal dokuların tolerans dozlarını aşmadan hedef içinde çok yüksek dozların elde edilmesine olanak tanır. Konformal radyoterapinin ilk formu olarak tanımlanmıştır. Klinik ve radyolojik olarak iyi tanımlanmış marjları olan, genellikle düşük histolojik dereceli (grade) olarak sınıflandırılan, bölgesel ve metastatik yayılım riski düşük olan tümörler, brakiterapi için uygundur. Daha az normal doku ışınlaması ile yüksek tümör dozunun elde edilmesi için Brakiterapi en iyi tedavi seçeneğidir. Brakiterapi uygulamaları başlangıçta ampirik olarak geliştirilmiş, brakiterapide kullanılan dozlar klinik olarak sağlam dokuların tolerans durumu gözlemlenerek belirlenmiştir. Zaman içinde geliştirilen radyobiolojik modeller, tümöre ve çevresindeki normal dokulara verilen dozların biyolojik etkilerinin öngörülmesine olanak tanımıştır. Böylece kür şansı ve toksisite riski için daha doğru tahminler yapılabilmektedir. Tüm brakiterapi tedavilerinde radyobiolojik ilkeler önemlidir, ancak düşük doz hızlı (LDR) tedaviden yüksek doz hızlı (HDR) geçişle birlikte brakiterapide dozu reçetelendirmede radyobiolojinin önemi daha da artmıştır. Kaynakların yerleştirilmesi göreceli olarak kötü ve iyileştirilemeyen bir geometriye sahipse, normal ve tümörlü dokuların farklı cevap verme özelliği göz önüne alınarak, radyobiolojik faktörlerin (doz hızı ve fraksiyonasyon) değiştirilmesiyle, biyolojik etkiyi ve dolayısıyla klinik sonuçları kontrol etmek mümkün olabilir. Bu durumda kaynakların yerleştirilmesi, brakiterapide değiştirilemeyen tek önemli faktör olarak kalır.

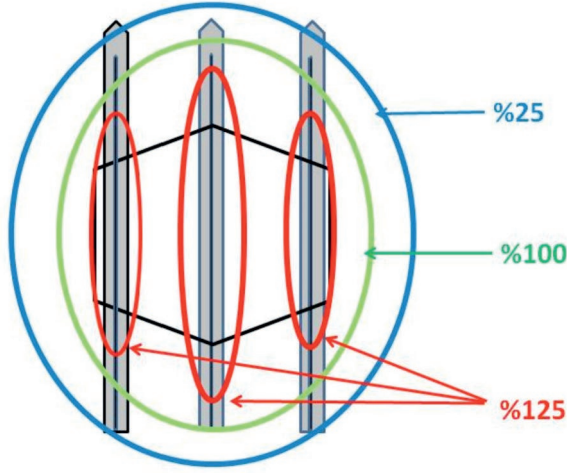
Eksternal radyoterapi (ERT) ve Brakiterapinin (BT) radyobiolojik prensipleri benzerdir. Ancak biyolojik etkiler, ışınlanan hacmin büyüklüğü, doz hızı, fraksiyon büyüklüğü ve sayısı, doz dağılımı ve tedavi süresiyle doğrudan ilişkili olduğu için eksternal RT ve brakiterapi sonuçlarında farklı etkileri vardır.

ERT'de, nispeten büyük bir hacimde homojen doz dağılımı vardır, böylece hacim içindeki doz değişimi tipik olarak reçete edilen dozun % 95 ile % 107'si arasında değişir yani -%5 ve +%7 aralığındaki sapmalar kabul edilebilir ("International Commission On Radiation Units And Measurements" (ICRU) 50 (1993), ICRU 62 (1999)). Brakiterapi ile küçük bir hacim son derece heterojen bir doz dağılımı ile tedavi edilir. Doz kaynaklara yakın bölgede hayli yüksekken, periferde doğru hızla (uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak) düşer (Şekil 1). Bu, birçok durumda, hacim etki ilişkisinden dolayı tolere edilebilir. Küçük normal doku hacimleri, nispeten büyük hacimlerin tolere edemeyeceği, çok yüksek dozları tolere edebilir. Seri organize olmuş normal dokular (spinal kord gibi) bu duruma istisna oluşturur. Bununla birlikte, paraspinal çok düşük doz hızlı ("Very Low Dose Rate": VLDR) brakiterapi ile korda 167.3 Gy kadar yüksek bir doz verilmesinin miyelite neden olmadığı da bildirilmiştir. Heterojenitenin etkisi tedavi alanına bağlıdır. Brakiterapide, kaynaktan uzaklaştıkça ters kare kanunu nedeni ile dozda hızlı bir düşüş vardır. Birçok kaynak ya da duruş pozisyonu nedeni ile implant boyunca doz, reçetelendirilen isodozdan çok farklı olabilir. Bu nedenle eşdeğer uniform doz (EUD- Equivalent uniform dose) kavramı ortaya atılmıştır. Hedef hacim içinde eşdeğer ortalama dozun hesaplanmasını içerir. Kaynaktan uzak bir noktaya doz reçetelendirme yapıldığında, tek bir hat üzerinde olan kaynak ve daha az duruş pozisyonu kullanıldığında EUD daha yüksek olacaktır.

ERT planlamasında da kullanılan diğer bir brakiterapi konsepti, homojenite indeksidir. Doz homojenite indeksi (DHI) aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$DHI = V100 - V150 / V100$$

Bu formül ile V100 ile V150, referans izodoza verilen dozun %100'ünü ve %150'sini alan hacimlerdir. Homojenite indeksinin 0.75'ten yüksek olması önerilir ve 0.85'ten daha büyük değerler idealdir. Yüksek doz bölgelerinin sınırlanması için kullanılan bir başka kavram Dose non-uniformity ratio (DNR)'dir. DNR, (V150/V100) x 100 formülü ile hesaplanır. Homojen bir doz dağılımı oluşturmak için, DNR'nun 0.25-0.30'dan küçük bir değer olması istenir. Brakiterapideki doz heterojenitesi iyi mi yoksa kötü müdür? Bu sorunun cevabı özetle tedavi bölgesine bağlıdır. Bazı durumlarda heterojenite klinisyen tarafından istenir. Aksine bazı durumlarda ise homojenite tercih edilir. Örneğin serviks kanserinin küratif tedavisinin bir parçası olan brakiterapide doz heterojenitesi son derece önemlidir. Yoğunluk ayarlı eksternal radyoterapinin (YART) kullanıldığı planlama çalışmaları göstermiştir ki hedef hacim boyunca homojen doz vermek, bir tandem ve ovoidlerden oluşan implantta olduğu gibi parametrial/paraservikal tümör yükü içeren komşu bölgeye "ultra" yüksek dozlar verilmesini sağlayamaz. Bu nedenle nüks için riskli olan bu bölgeye brakiterapideki ile eşdeğer biyolojik doz verilemez ve hastalığın kontrolü riske girer. Sağlam doku dozları YART planlarında yüksektir. Bunun uzun dönemde toksisite artışına yol açacağı öngörülür. Buna ek olarak brakiterapi ile otomatik olarak elde edilen doz heterojenitesini YART ile sağlamaya çalışmak çok zor ve zaman kaybettiricidir.



**Şekil1:** Brakiterapi uygulamalarında kaynaklara yakın bölgede oluşan yüksek doz bölgeleri ve kaynaktan uzaklaştıkça dozun hızla düşüşü (centrifugal doz dağılımı).

### BRAKİTERAPİDE DOZ HIZI

Zaman/doz faktörleri de eksternal radyoterapi ve brakiterapi için farklıdır. Eksternal radyoterapi fraksiyonlar arasında tam iyileşmeye olanak tanımak için genellikle günde bir kere saniyeler ya da birkaç dakika süren uygulamalar şeklinde verilir. Toplam tedavi süresi küratif bir tedavide 6–7 haftayı bulur. Aksine brakiterapide doz, kesintisiz (LDR, MDR) ya da kesintili (PDR, HDR) olarak verilir ve toplam tedavi süresi nispeten kısadır (birkaç saat ya da gün).

Doz hızı bir hastanın radyasyona maruz kalma hızının bir ölçüsüdür. Uluslararası Radyasyon Üniteleri ve Ölçümleri Komisyonunda üç kategoride brakiterapi doz hızı tanımlanmıştır (ICRU 38).

- **Düşük Doz Hızı (LDR- Low Dose Rate) : 0,4- 2Gy / saat**

Klinik uygulamalarda genellikle 0.4–1 Gy/saat aralığında doz hızları kullanılır. Manuel ya da otomatik afterloading sistemleri ile uyumludur

- **Orta doz oranı (MDR-Medium Dose Rate) : 2 - 12 Gy/saat**

Manuel ya da otomatik afterloading sistemler ile verilebilir. Bununla birlikte modern uygulamalarda çok nadir kullanılır.

- **Yüksek Doz hızı (HDR-High Dose Rate) >12 Gy/saat**

Yalnızca uzaktan yükleme ile uygulanır, çünkü kaynak aktivitesi çok yüksektir.

- **Çok düşük doz hızlı (VLDR -Very Low Dose Rate) <0.4 Gy/saat**

Kalıcı "seed"ler kullanılarak uygulanan brakiterapi, yüksek bir toplam doz, çok düşük bir doz hızı ile verilir.

### Puls (PDR -Pulsed Dose Rate) Doz Hızlı Brakiterapi

LDR brakiterapinin teorik avantajı dikkate alınarak biyolojik etkilerini taklit etmek için geliştirilmiştir. ~1 Ci aktiviteli kaynak ile çok sayıda küçük fraksiyon dozları uygulanır. Saatte en az 10'ar dakikalık "pulse,,lar kullanılır. PDR uygulamalarına uygun, hastanın birkaç günlük yatışına olanak sağlayan zırhlı odalar tasarlanmıştır. Hücre iyileşme parametreleri ile ilgili data yetersizdir. Bu konuda belirsizlikler vardır. LDR uygulamalar ile aynı toplam sürede, 1 ya da 2 saatte bir 1 Gy/h'ten büyük olmayan pulslar ile uygulandığında terapotik oranda %10'u aşmayan bir kayıp ile LDR brakiterapiye benzer bir etki elde edilmesi amaçlanmaktadır. Daha büyük puls dozları ve daha kısa iyileşme süreleri (kısa puls aralığı) ile özellikle küçük  $\alpha/\beta$  değerine sahip dokulardaki etkileri beklenenden çok daha büyük olabilir

Taklit edilen ve biyolojik etki olarak hedeflenen tedavi LDR brakiterapi olmasına rağmen, PDR brakiterapi aslında pulslar arasında iyileşmenin tam olmadığı bir hiperfraksiyone HDR tedavi, bir bakıma ultrafraksiyone HDR tedavidir. Gece tedaviye ara verilen PDR brakiterapi semaları için bu durum daha bariz hale gelir. PDR brakiterapinin uygulandığı -saatte- 10 dakikalık sürede, LDR brakiterapideki doğrusal kaynağın

oluşturduğu etkiye benzer bir etki oluşturabilmek için, nokta kaynak birbirini takip eden çok sayıda duruş yapmalıdır. Bu sırada kaynağın durakladığı bölgede -kaynağa yakın- küçük hacimler hücresele düzeyde yüksek dozlar alır. Bu etki, Fowler ve Van Libergen tarafından "Golf Topu Etkisi" olarak adlandırılmıştır. Güncel modellerin bu etkiyi öngörememesi, PDR brakiterapi ile beklenmeyen -yüksek- klinik toksisiteye yol açabilir. HDR brakiterapi teknolojisinin doz optimizasyonu için sağladığı avantajı ve LDR brakiterapinin radyobiolojik avantajını bir arada taşır. PDR brakiterapide de -HDR brakiterapide olduğu gibi- biyolojik etki için doz hızından ziyade fraksiyon büyüklüğü önemli faktördür. Hastaların LDR brakiterapideki gibi zırlanmış bir odada uzun süreli olarak (genellikle birkaç gün) yatırılması gerekir. Bunun getirdiği -LDR brakiterapideki benzer- tıbbi ve teknik sorunlar burada da geçerlidir. PDR brakiterapinin değerlendirildiği çalışmalar uygulamada bir üstünlük ortaya koymamıştır.

### Fraksiyon Büyüklüğü/Toplam Doz

HDR doz aralığında, doz hızından çok fraksiyon dozu önemlidir. Orton ve ark., serviks kanserinin küratif tedavisinin bir parçası olarak uygulanan HDR brakiterapisinde A noktasındaki fraksiyon dozu 7 Gy'i aştığında grade 2-4 toksisite riskinin %7.6'dan %11.2'ye, grade 3-4 toksisite riskinin %1.3'ten %3.4'e çıktığını bildirdiler. Bunu destekleyen çalışmalara rağmen Patel ve ark., normal doku doz-volüm sınırlamalarına uyularak, görüntü kılavuzluğunda brakiterapi uygulandığında, fraksiyon sayısının azaltılıp, fraksiyon dozunun artırılmasının toksisiteyi arttırmadığını bildirdiler

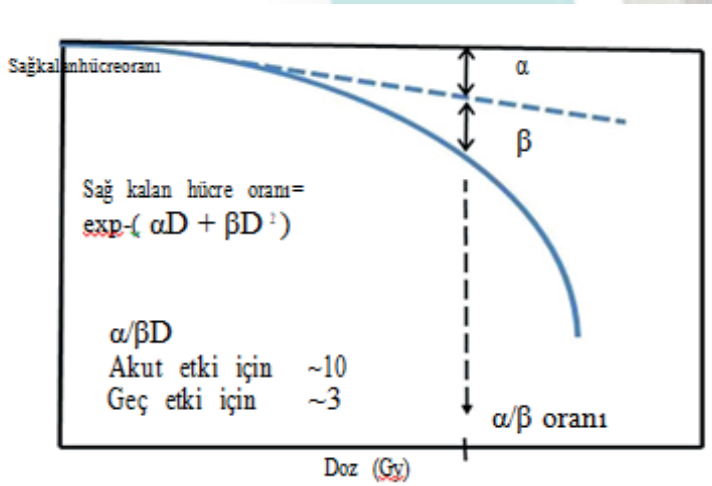
### RADYOBİYOLOJİK FAKTÖRLER

#### "Linear-Quadratic Model"

Biyolojik etki için en sık kullanılan radyobiolojik model, dozu ve hücre ölümü oranını dikkate alan "Linear Quadratic (LQ) Model"dir.

$$\text{Sağ kalan hücre oranı} = \exp(-\alpha D + \beta D^2)$$

Burada alfa bileşeni onarılamayan hasara neden olan tek bir iyonize radyasyon olayını temsil eder ve doz ile doğrusal olarak artar. Bu nedenle fraksiyonasyondan ziyade toplam dozdan etkilenir. Beta bileşeni, letal bir etki oluşturmak üzere birleşen iki sublethal iyonizan olayın yol açtığı hasarı temsil eder. Bu hasar potansiyel olarak tamir edilebilir ve quadratik olarak artar. Beta bileşeni, toplam doz yanı sıra fraksiyonasyon ve doz hızından etkilenir.  $\alpha/\beta$  oranı, bir dokunun toplam doz, fraksiyonasyon veya doz hızındaki bir değişime nasıl tepki vereceğinin bir ölçüsüdür. (Şekil 2).



Şekil 2. Hücre sağkalım eğrisi.  $\alpha/\beta$ , hücre ölümünün "linear" ve "quadratic" komponentlerinin eşit olduğu doz.

#### Biyolojik Etkin Doz:(BED)

BED farklı fraksiyonasyon şemalarının eşdeğer etkinlik sonuçlarını "Linear-Quadratic Model" prensiplerini kullanarak hesaplayan bir metoddür. BED, "gerçek doz" değildir. Ancak, özel  $\alpha/\beta$  oranıyla karakterize bir doku için doku toleransını elde etmek için alınan teorik bir dozdur.

$$BED = Nd \left( 1 + \frac{d}{\alpha/\beta} \right)$$

n: fraksiyon sayısı ve d: fraksiyon dozu Tedavi devam ederken ortaya çıkan proliferasyonu da dikkate alan BED formülleri arasında en sık kullanılanı:

$$BED = nd \left( 1 + \frac{d}{\alpha/\beta} \right) - KT$$

KT= Tedavi sırasındaki tm repopulasyon/rejenerasyon miktarıdır. Erken reaksiyon ve tümör cevabı için dikkate alınır.



Ancak geç reaksiyon için ihmal edilir.

$K = Gy.gün^{-1}$ ; Günlük repopülasyona eşdeğer doz

T= Tedavi süresi (gün)

Standart BED denklemi, tedavinin toplam süresi, normal doku veya tümörde, tamamlanmamış tamir ve tamir hızları, doz hızı ve diğer tedavi faktörlerini dikkate almak üzere modifiye edilebilir. Kümülatif BED sonuçlarını karşılaştırmak için  $EQD_2$  (Equivalent dose 2Gy) denklemi ile verilen, 2 Gy lik fraksiyonlardaki eşdeğer doz için aşağıdaki deşitlik kullanılır.

$$EQD_2 = BED / (1 + d / \alpha / \beta)$$

BED, ışınlanmanın fiziksel doz değeri yanı sıra ışınlanan dokuya özel radyobiolojik parametreleri dikkate alır. Farklı radyasyon uygulamalarının toplanmasında kullanılır. Brakiterapi dozları ile ERT dozlarının toplam BED değeri hesaplanabilir

$$BED_{ERT} + BED_{BT} = BED_{Toplam}$$

Eşdeğer etkin doz hesaplarının LQ Model'e dayandığı dikkate alınarak iki temel uyarı yapmak gerekir. 24–30 saati aşan sürekli ışınlamalarda, doz hızı etkisini araştıran hemen hiçbir invivo data yoktur. Bu nedenle matematik modeller, klasik LDR'nin uygulandığı doz hızlarında tam olarak onaylanmamıştır. İkincisi LQ modelin büyük fraksiyon dozlarında geçerliliği tartışmalıdır. Bu modelin biyolojik etkileri 0.5 Gy ile 5–6 Gy doz aralığında doğru şekilde kantite ettiğine inanılmaktadır. 6–10 Gy'in üzerindeki fraksiyon dozlarında LQ formülü biyolojik etkileri olduğundan fazla öngörebilir. Bu durum jinekolojik tümörler, prostat ve meme kanseri gibi günlük pratikte  $\geq 6$  Gy fraksiyon dozu kullanma eğiliminin olduğu hastalıkların tedavisinde klinisyenlerce dikkate alınmalıdır. Ayrıca eşdeğer etkinlik,  $\alpha/\beta$  ve T1/2 değerlerinin değişmesi ile büyük oranda değişir. Bu nedenlerle, LDR ve HDR tedavileri eşitleyen sihirli formül tehlikeli bir illüzyondur. Yani farklı doz hızlarını karşılaştırmak için geliştirilmiş hiçbir formülün güvenilirliği %100 değildir

## FRAKSİYONASYON

Biyolojik etkiler çoğunlukla toplam doz ve fraksiyon büyüklüğüne bağlıdır. Stitt ve arkadaşları HDR fraksiyonlarının sayısı azaldığında, fraksiyon başına doz arttıkça, geç hasar olasılığının arttığını göstermişlerdir. Bu aynı zamanda normal dokunun aldığı doz yüzdesi ile de ilgilidir. Hama ve arkadaşları dört veya daha az fraksiyon kullanıldığında geç komplikasyonların arttığını göstermişlerdir. Bununla birlikte, Patel ve arkadaşları 18 Gy'i iki fraksiyonda verdiklerinde, geç komplikasyonların hala çok düşük bir oranda kaldığını göstermişlerdir. Görüntü kılavuzluğunda brakiterapi kullanılarak daha doğru doz tahmini ile, normal dokuların, reçetelendirilen dozun klinik olarak tolere edilen oranlarını alıp almadığı tespit edebiliyorsa, fraksiyon sayısını azaltmak veya fraksiyon başına tedavi dozunu arttırmak mümkün olabilir.

## BRAKİTERAPİDE RADYOBİYOLOJİNİN 5R'Sİ VE ÖNEMİ

Dokuların radyoterapiye cevabını etkileyen faktörler radyobiyojinin 5R'si olarak isimlendirilmiştir. Bunlar tamir (repair), yeniden çoğalma (repopulation), yeniden oksijenlenme (reoxygenation), yeniden dağılım (reassortment) ve beşinci olarak eklenen radyoduyarlılıktır (radiosensitivity). Ancak radyoduyarlaştırıcılar konusu henüz brakiterapide geniş bir şekilde incelenmemiştir.

**Onarım (Repair):** Subletal hasar (SLH) görmüş hücreler eğer yeterli süre verilirse onarılabirler. Onarım tamamlanmadan daha fazla radyasyona maruz bırakılırsa, SLH letal hasara dönüşebilir. Bir hücrenin maruz kaldığı radyasyon dozu hızı ne kadar düşük olursa, o hücrede onarım o kadar olasıdır. Geç reaksiyon gösteren normal dokular birçok tümör hücresinden daha fazla onarım kapasitesine sahip olduğu için, fraksiyone edilmiş terapötik doz ile normal dokudan daha öncelikli olarak tümör hücresi ölür. LDR'in bir kaç gün olan tedavi süresi, SLH'in onarımına izin verir. HDR uygulamanın kısa tedavi süresi ise ışınlama sırasında bu onarıma izin vermez. Bununla birlikte, HDR fraksiyonları arasında 6 saatten fazla bir süre verilirse, normal dokularda tam onarım meydana gelebilir. HDR'nin LDR'e eşdeğer tümör hücresi öldürme etkisi olması için, fraksiyon başına düşük doz, çoklu fraksiyonda verilmelidir. Esas olarak, PB bunu sağlar. Ancak HDR için klinik olarak pratik değildir. Örneğin, serviks kanseri tedavisinde, çoğu merkez dört ila altı HDR brakiterapi fraksiyonunu ile LDR' ye benzer sağ kalım ve komplikasyon oranları göstermişlerdir. Bu etki onarım yarı ömrü ile açıklanabilir. Işınlama sırasında onarım yapılan radyasyon koşullarında, BED formülü bir zaman faktörü (g) eklenerek değiştirilir.

$$BED = Nd [ 1 + dg / \alpha / \beta ]$$

$$g = \frac{2}{(\mu T)^2} [ \mu T - 1 + e^{(-\mu T)} ]$$



Burada T, tedavi süresidir ve  $\mu = 0.693 / (T_{1/2})$  bağıntısı ile monoüstel tamir yarı ömrü ile ilgilidir ve DNA SLH onarım zamanı sabittir. Onarım için bu faktör, ışınlama süresine ve SLH onarım hızına bağlıdır. Değeri, kısa ışınlamalar için 1, uzun ışınlamalar için sifra yaklaşma eğilimlidir. LQ bir sağ kalım eğrisi, alfa ile ilgili hücre ölümü, beta ile ilgili ölümlerden daha baskın olacağı için kısa ışınlamalardan uzun süreli ışınlamalara doğru kademeli olarak daha doğrusal hale gelir (g, sifra yakın olduğu için, vLDR'de beta ilişkili ölüm sifra doğru yaklaşma eğilimindedir). Esas olarak, 10 ila 12 saatten uzun süreler için,  $g = 2 / (\mu T)$  kullanılır.

Orton ve arkadaşları servikte geç yanıt veren normal dokunun onarım yarı-ömrünün diğer araştırmacılar tarafından önerilen 1-1,5 saatlik tahminlerden daha uzun olduğunu teorik olarak ortaya koymuştur. Onarım yalnızca zamanın bir fonksiyonu olmayabilir, hızlı ve yavaş bileşenlere sahip olabilir.

**Yeniden Çoğalma (Repopulation):** Radyoterapi sırasında geç cevap veren normal dokularda genellikle yeniden çoğalma meydana gelmez, ancak erken cevap veren normal dokularda repopülasyon 2-3 hafta içinde başlayabilir ve doku toleransı artar. Aynı şekilde, birçok tümörde, özellikle hızla büyümekte olanlarda, tümör hücresi repopülasyonu veya hızlandırılmış repopülasyon radyasyona maruz kaldıktan birkaç hafta içinde başlar ve eğer tedavi süresi uzarsa dozda bir artış yapmak gerekebilir. Örneğin, serviks kanserinde yapılan çalışmalar radyoterapinin en kısa sürede verildiğinde tümör kontrolünün iyileştiğini ve sağ kalımı artırdığını göstermiştir. Bunun nedeni, daha kısa tedavi sürelerinin hızlandırılmış repopülasyona izin vermemesidir. LDR' in sürekli uygulanması, tedavi sırasında repopülasyonu önler. Çalışmalar, bir ERT şemasından sonra HDR kullanımının toplam tedavi süresini arttırdığını göstermiştir. Okkan ve ark, HDR kullanıldığında 70 gün olan ortalama tedavi süreli uygulama ile, LDR ile toplam 57 gün olan uygulamanın karşılaştırıldığı çalışmada, tümör kontrolü olasılığının azaldığını göstermişlerdir. Chen ve ark, serviks kanserini HDR brakiterapi ile tedavi ederken, tedavinin 63 günden daha uzun sürmesi durumunda hastalısız sağkalım % 83 den % 65'e (P = 0.004) ve lokal kontrolde % 93 den % 83'e (P = 0.02) belirgin azalma olduğunu gösterdiler. Pek çok araştırmada tedavi süresinin etkilerini değerlendirmek için maksimum 55 gün kullanıldığından, 63 gün sınırı çok uzun bir süre olarak düşünülmektedir. 63 günden daha az süren tedavilerde geç komplikasyonlar arasında fark görülemediğinden, toplam tedavi süresinin uzatılmasının morbiditeye bir faydası olmadığı gösterilmiştir. HDR'nin fraksiyone doğası, BT'nin ERT şemasına entegrasyonunu sağlar ve toplam tedavi süresi kısalır. Uygun ERT ile tümör küçülmesine izin verilir. Retrospektif bir çalışmada ERT' nin 1. haftasından itibaren haftalık brakiterapi kullanıldığında, kontrolün azaldığı gösterilmiştir. Bu çalışmanın, reçetelendirmenin A noktasına yapıldığı, görüntü rehberliği ile hedef tanımından önceki dönemde olduğu unutulmamalıdır. Tümör dozu kapsanmasının artmasıyla bu kontrol büyük olasılıkla daha iyi olurdu. Ancak, risk altındaki organlar kaçınılmaz olarak tedavi alanına gireceğinden, brakiterapi başlangıcında tümör büyükse normal doku toksisitesi daha yüksek olacaktır. Büyük hacimli tümörlerin, 20 fraksiyon ERT'den sonra brakiterapiye başlanması önerilmektedir.

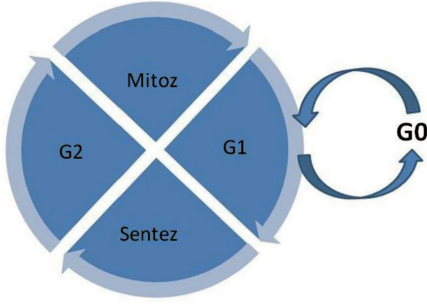
Tümör BED hesapları, repopülasyon etkisi için günlük eşdeğer BED'in çıkarılmasıyla yeniden yapılabilir. Bu, birkaç yolla elde edilebilir. Skuamöz hücreli kanserler için en bilinen yöntem radyoterapinin başından yaklaşık 21-28 gün bir zaman geçtikten sonra (Time delay,  $T_{del}$ ) repopülasyonun anlamlı olarak hızlandığını varsaymaktır. BED,  $K (T_{XR} - T_{del})$  değeri ile azalır. Hücre ölümü için bu değer standart tümör BED' değerinden çıkarılır.  $T_{XR}$ , tüm radyoterapinin (ERT ve BT de dahil olmak üzere) toplam süresidir ve K, repopülasyon için günlük BED eşdeğeridir ve genellikle skuamöz hücreli kanserler için 0,5 - 1 Gy/gün olarak alınır.

**Yeniden Oksijenlenme (Reoxygenation):** Reoksijenasyon, hipoksik hücrelerin ışınlandıktan sonra yeniden oksijenlenmesidir. Bu hücreler hipoksik hücrelerden daha fazla radyasyona duyarlıdır. Serviks kanserinde, hipoksinin tümör kontrolü üzerindeki etkisi incelendiğinde, başlangıçta düşük hemoglobin düzeyi olan hastalarda hayatta kalmanın düşük olduğu dökümanite edilmiştir. İki tip hipoksi vardır. Akut hipoksi, ışınlanan alanın içindeki damarların daralmasına bağlıdır ve geçmesi yaklaşık 8 saat alır. Kronik hipoksi ise tümörün büyümesi nedeniyle olur. Tümör büyürken yeni vasküleritenin oluşmasına izin vermez. Tümör küçülürken onu çevreleyen damarlardan oksijenin geçişi düzelir. Bunun oluşması haftalarca sürer. HDR tedavilerinde, fraksiyonlar arasındaki süre tümörün küçülmesi ve reoksijenasyonuna izin verir. Bu durum, tümör içindeki ince damarlar arasındaki mesafeyi düşürür ve hücrelerde oksijenlenmeyi artırır, böylece kronik hipoksi alanlarının yeniden oksijenlenmesi sağlanır. LDR, HDR'den daha düşük oksijenlendirme etkisine sahiptir. LDR'de uygulama süresi nedeniyle, tedavi süresince tümör içinde akut hipoksinin düzelmesi için yeterli zaman olur.

**Yeniden Dağılım (Reassortment):** Hücrenin mitotik siklusunun farklı evrelerinde radyasyonun etkisinin farklı olduğu deneysel çalışmalarda gösterilmiştir. G2 ve mitoz fazlarında radyasyona daha duyarlı iken sentez (S) ve erken G1 fazlarında daha dirençlidir. G1 fazının geç döneminde ise radyasyona oldukça duyarlı hale gelirler.

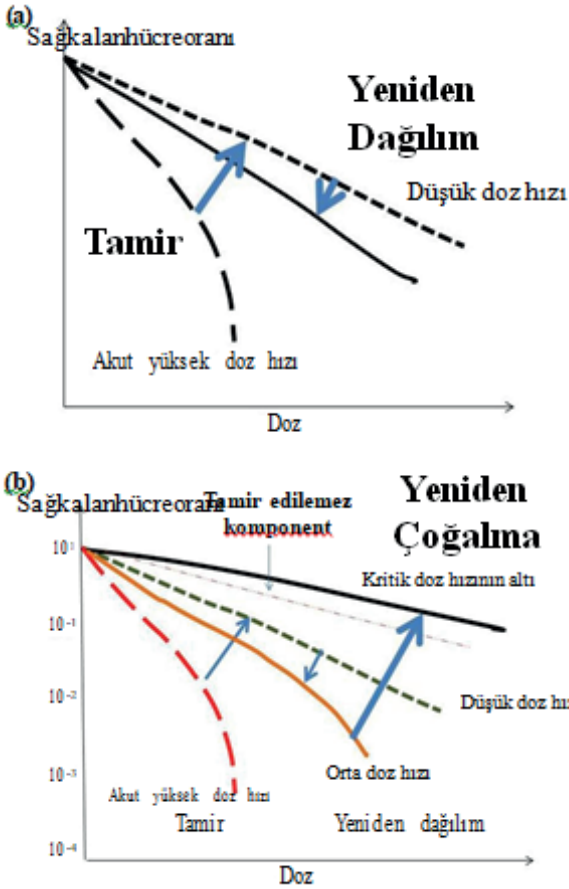
LDR tedavisinde, tümör hücresi döngüsü yeniden dağılımına bağlı olarak iyileştirici etkinin teorik bir avantajı

vardır. Uzayan tedavi süresi nedeniyle hücreler nispeten radyodirençli fazların dışına çıkacaktır. Geç S ve G1 başlangıç fazları toplam tedavi süresi boyunca G2 ve M' nin daha radyoduyarlı fazlarına geçebilir. Bu etki belli hücrelerde in vitro olarak gösterilmiştir. Klinik uygulamalarda, yeniden dağılımın herhangi bir katkısı gösterilmemiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Hücre siklusunun fazları.

Işınlanan hücrelerin "sublethal" hasar tamiri, yeniden dağılımı ve repopülasyonu, doz hızı değişiminden etkilenir. Doz hızı azaldıkça sağkalım eğrisi daha düz hale gelir; çünkü daha çok sublethal hasar tamiri olur. Doz hızı biraz daha düşerse, hücrelerin sıklısta daha duyarlı fazlara doğru dağılımı nedeniyle sağkalan hücre oranı azalır (hücre ölümü artar). Doz hızı bir eşik sınırın altında ise ( $\sim <10\text{cGy/h}$ ) hücre proliferasyonu nedeniyle sağkalım eğrisinin eğimi daha da azalır (Şekil 4a, b).



Şekil 4. (a, b) Tamir, yeniden dağılım ve yeniden çoğalma prensiplerinin doz hızına göre hücre sağkalım oranına etkisi.

**Radyoduyarlılık (Radiosensitivity):** Radyoduyarlılık dokunun radyasyona verdiği cevabı gösterir. Dokunun özelliğine bağlıdır ve bu nedenle kendiliğinden değişmez. Brakiterapi ile birlikte radyoduyarlastırıcı ilaçlar kullanılarak yapılan çalışmalar henüz yeterli sayıda değildir.

## Tümör küçülmesi (Regression)

Radyobiyojinin 5R'si dışında brakiterapide tümör küçülmesi de (regression) göz önüne alınması gereken bir etkidir. Dozun mesafeye keskin bir şekilde azalması nedeniyle, tümör hacminin küçülmesi, brakiterapi doz dağılımlarını değiştirebilir. Hızlı repopülasyon, hızla büyüyen skuamöz hücreli kanserler gibi kanser türlerinde, küçülmenin yararlı etkilerini ortadan kaldırır. Belirli bir erteleme süresinden sonra önemsiz repopülasyonun gerçekleştiği, hacmin küçüldüğü durumlarda avantajlıdır. Brakiterapi kateterleri tümöre uygun şekilde yerleştirilmedilse, tümör küçülmesinin faydaları sınırlı kalır. Doz dağılımları açısından tümör küçülmesinden faydalanmak için yaklaşık 28 güne kadar brakiterapiyi erteleme gereği olarak regresyon kullanılabilir, ancak brakiterapinin daha fazla ertelenmesinden kaçınılmalıdır. Yavaş regresyon klinik bir sorun olabilir. Örneğin, bazı tümörler, external radyoterapi ve haftalık kemoterapiden sonra hala küçülmeyebilir. Bu durumda brakiterapi doz dağılımı optimal olmayabilir. Brakiterapiye devam edip etmeme veya daha fazla ERT verme konusunda klinik bir ikilem oluşur. İkinci seçenek, normal doku toksisitesinin ve komplikasyonların hızla artmasına neden olabilir. Makul bir alternatif seçenek, daha farklı (platin bazlı) kemoterapi veya diğer aktif ajanları kullanarak birkaç hafta geçene kadar uzatmak ve daha sonra brakiterapiyi kullanmaktır. Hiçbir şey yapılmadan brakiterapinin ertelenmesine, sadece yavaş küçülen tümörler için izin verilebilir.

## BRAKİTERAPİNİN HEDEF DIŞI ETKİLERİ

### Bystander Etki

Radyasyona maruz kalan hücrelerde ortaya çıkan moleküler sinyaller vasıtası ile radyasyona maruz kalmayan komşu hücrelerde ortaya çıkan biyolojik etkilere "bystander" etki denilmektedir. Özellikle son 30 yılda yapılan çalışmalarda DNA'sı direkt olarak radyasyona maruz kalmamış hücrelerde de benzer DNA hasarlarının görüldüğü saptanmıştır. Radyoterapi (ya da brakiterapi) esnasında ışınlanan alana komşu tümör hücrelerinin hasarı tedavi için faydalı ve istenen bir etkidir. Bununla birlikte, normal doku hücrelerinin hasarı ve bu hücrelerde ortaya çıkan genetik instabilite nedeni ile uzun dönemde ikincil kanserlerin oluşumu da ihtimal dahilindedir. Hücre kültüründe yapılan çalışmalar, "bystander" etkiler açısından düşük ve yüksek dozlar arasında fark olmadığını göstermiştir. Diğer bir deyişle, göreceli olarak düşük dozlarda bystander etkiler olabilmekte ve dozun artırılması bu etkinin artmasına sebep olmamaktadır. Bugün için tedavi planını etkileyen bir faktör değildir.

### "Abscopal" Etki

Geçmişte bir lokal tedavi olarak sistemik etkilerinin olmayacağı düşünülürken, çalışmalar radyoterapinin immün sistemi aktive ederek sistemik etkilere de sebep olduğu görülmüş ve bu etkinin basamakları giderek aydınlatılmıştır. Preklinik ve son dönemde ortaya çıkan klinik veriler lokal ışınlamanın kompleks bir doku cevabını tetiklediği ve -tümör hücreleri üzerine- sistemik etkiler sağlayabileceğini göstermiştir. Lenfositler radyasyon dozlarına son derece duyarlı olduğundan konvansiyonel fraksiyonasyon şemalarındaki, tekrarlayan (1.8–2 Gy'lik) fraksiyonlar "abscopal" etkinin ortaya çıkmasını sağlayan immün efektör hücrelerin göçünü engelleyebilir. Yüksek fraksiyon dozları ile yapılan -stereotaksik vücut radyoterapisinde- hipofraksiyone radyoterapi, efektör hücreleri ortadan kaldırmadığı için tümörosidal immün cevap ortaya çıkarma ihtimali daha yüksektir. HDR brakiterapideki yüksek fraksiyon dozları aynı potansiyeli taşımaktadır. Bu etkinin görüldüğü vaka sunumları vardır. Son dönemde, radyoterapinin abscopal etkisinden faydalanmak için immünoterapi ile kombine kullanılması, daha iyi sonuçlar için umut olmuştur. Brakiterapi-immünoterapi kombinasyonu için henüz yeterli gelişme yoktur.

## SONUÇ

Brakiterapi, eksternal radyoterapiden ışınlanan hacim, doz dağılımı, doz hızı, fraksiyonasyon ve tedavi süresi açısından farklılık gösterir. Hücre ölümü üzerine doz hızı değişiminin etkisi daha çok "sublethal" hasar tamirinden etkilenirken, toplam tedavi süresi uzadıkça hücre proliferasyonunun etkisi artar. Yeniden çoğalmanın tedavi sonuçları üzerine olan olumsuz etkisi dikkate alınarak toplam tedavi süresinin uzamasından kaçınılmalıdır. Radyobiyojik dezavantajlarına rağmen jinekolojik tümörlere yönelik HDR uygulamalar ile doz dağılımı optimizasyonu ve modern aplikatörlerin kullanımı sayesinde geçmişteki LDR uygulamalara kıyasla geç toksisitede artış olmamaktadır. Bu nedenle HDR brakiterapi uygulamaları giderek yaygınlaşmıştır. LDR uygulamalardan HDR uygulamalara geçiş, normal doku tamir kapasitesi dikkate alınarak fraksiyone şemalar uygulanmasını gerektirmiştir. "Linear Quadretic Model", brakiterapideki farklı doz hızı uygulamalarının etkilerini öngörmek, birbiri ile ve eksternal radyoterapi şemaları ile karşılaştırmak için



kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu kıyaslamayı yapmak için mükemmel bir radyobiyojik model yoktur. Klinisyenler tedavi planını yaparken radyobiyojik belirsizlikleri dikkate almalıdır.

## Kaynaklar

- Stewart AJ, Jones B. Radiobiologic Concepts for Brachytherapy, edit. Devlin PM, Brachytherapy: Applications and Technique, 1st Edition, Boston, Lippincott Williams & Wilkins, 2007(1-19)
- Dale RG, Jones B. The clinical radiobiology of brachytherapy. Br J Radiol. 1998;71(845): 465– 483.
- Corn BW, Hanlon AL, Pajak TF, Owen J, Hanks GE. Technically accurate intracavitary insertions improve pelvic control and survival among patients with locally advanced carcinoma of the uterine cervix. Gynecol Oncol. 1994;53 (3):294–300.
- Stewart A J, Cormack R A., and Held KD, Radiobiologic Concepts for Brachytherapy, Devlin PM, Cormack RA, Holloway CL., Stewart AJ, Brachytherapy Applications and Techniques Second Edition, New York, Demos Medical , 2016(37-50)
- Stewart AJ, Hepel JT, O'Farrell DA, Devlin P M , Price LL, Dale RG. et al. Equivalent uniform dose for accelerated partial Breast irradiation using the MammoSite applicator. Radiother Oncol. 2013;108(2):232–235.
- D. Chassagne, A. Dutreix, P. Almond, J. M. V. Burgers, M. Busch, C. A. Joslin. International Commission on Radiation Units and Measurements. Dose and Volume Specifications for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology (Report 38).
- Haie-Meder C, Kramar A, Lambin P, Lancar R, Scalliet P, Bouzy J, et al. Analysis of complications in a prospective randomized trial comparing two brachytherapy low dose rates in cervical carcinoma. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1994;29(5):953–960.
- Joiner MC, van der Kogel AJ. The linear quadratic approach to fractionation and calculation of isoeffect relationships. In: Steel GG, ed. Basic Clinical Radiobiology. 3rd ed. London, UK: Arnold; 1997:106–122.
- Stitt JA, Fowler JF, Thomadsen BR, Buchler DA, Paliwal BP, Kinsella TJ. High dose rate intracavitary brachytherapy for carcinoma of the cervix: the Madison system: I. Clinical and radiobiological considerations. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1992;24(2):335–348.
- Hama Y, Uematsu M, Nagata I, Shioda A, Suda A, Sakurai Y. et al. Carcinoma of the uterine cervix: twice- versus once weekly high-dose-rate brachytherapy. Radiology. 2001;219(1):207–212.
- Patel FD, Sharma SC, Negi PS, Ghoshal S, Gupta BD. Low dose rate vs. high dose rate brachytherapy in the treatment of carcinoma of the uterine cervix: a clinical trial. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1994;28(2):335–341.
- Withers HR. The four Rs of radiotherapy. Adv Radiat Biol. 1975;5:241–247.
- Orton CG. What minimum number of fractions is required with high dose rate remote afterloading? Br J Radiol. 1987;60(711):300–302.
- Orton C. High dose rate brachytherapy may be radiobiologically superior to low dose rate due to slow repair of late responding normal tissue cells. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2001;49:183-189)
- Perez CA, Grigsby PW, Castro-Vita H, Lockett MA. Carcinoma of the uterine cervix. I. Impact of prolongation of overall treatment time and timing of brachytherapy on outcome of radiation therapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1995;32(5):1275–1288.
- Okkan S, Atkovar G, Sahinler, Oner Dincbas F, Koca A, Koksall S, et al. Results and complications of high dose rate and low dose rate brachytherapy in carcinoma of the cervix: Cerrahpasa experience. Radiother Oncol. 2003;67(1):97–105.
- Kapp DS, Fischer D, Gutierrez E, Kohorn EI, Schwartz PE. Pretreatment prognostic factors in carcinoma of the uterine cervix: a multivariable analysis of the effect of age, stage, histology and blood counts on survival. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 1983;9(4):445–455.
- Lee SW, Suh CO, Chung EJ, Kim GE. Dose optimization of fractionated external radiation and high-dose-rate intracavitary brachytherapy for FIGO stage IB uterine cervical carcinoma. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2002;52(5):1338–1344.
- Ning S, Knox SJ. G2/M-phase arrest and death by apoptosis of HL60 cells irradiated with exponentially decreasing low-dose-rate gamma radiation. Radiat Res. 1999;151:659-669.
- Fyles A, Keane TJ, Barton M, Simm J. The effect of treatment duration in the local control of cervix cancer. Radiother Oncol. 1992;25:273-279.
- Mert Saynak, Funda Çukurçayır, Ayşenur Arlı, Dilruba Okumuş. Yüksek Doz Hızlı Brakiterapi Radyobiyojisi. Turk J Oncol 2017;32(Supp 1):11-22.
- Fowler JF, Van Limbergen EF. Biological effect of pulsed dose rate brachytherapy with stepping sources if short half-times of repair are present in tissues. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1997;37(4):877–83.
- Gönül Kemikler, Işık Aslay. Brakiterapinin Radyobiyojisi. Türkiye Klinikleri J Radiat Oncol-Special Topics. 2017;3(1):60-71
- Öznur Şenkesen. Radyoterapi Fiziği Kitabı 2019



## PET/BT Kalite Kontrol Testleri Nami Yeyin

Günümüz Nükleer Tıp'ın en modern görüntüleme cihazlarından biri olan Pozitron Emisyon Tomografisi/Bilgisayarlı Tomografi (PET/BT) cihazı hastalara uygulanan radyofarmasötüğün fizyolojik tayininini PET kısmı ile yapmakta iken BT kısmı ile anatomik lokalizasyon hakkında bilgi sahibi olmamıza yaramaktadır. PET/BT cihazı günümüz modern teknolojisinde hemen her cihazda yapılması gerekli olan periyodik kalite kontrol ve kalibrasyon testlerine gereksinim duyarlar. PET/BT sistemlerinde kalite kontrol testlerinin temel amacı hastalara radyofarmasötik uygulaması sonrası elde edilen görüntülerin doğruluğu hakkında kesin bir bilgi sahibi olmamızdır. PET sistemlerinin yanında BT sistemlerinde de kalite kontrol testlerinin yapılması görüntü değerlendirilmesinin doğruluğunda oldukça önemlidir. Bu nedenle PET ve BT kısımlarının kalite kontrol testleri ayrı ayrı ve birlikte değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir. Kalite kontrol uygulamaları rutin ve referans testleri olmak üzere iki ana temel başlıkta incelenmektedir.



### 3 BOYUTLU BRAKİ TERAPİDE VOLÜM KAVRAMLARI

Dr.Öğretim Üyesi Nural ÖZTÜRK

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi AD, Fizik Bölümü

[nural.ozturk@adu.edu.tr](mailto:nural.ozturk@adu.edu.tr)

#### ÖZET :

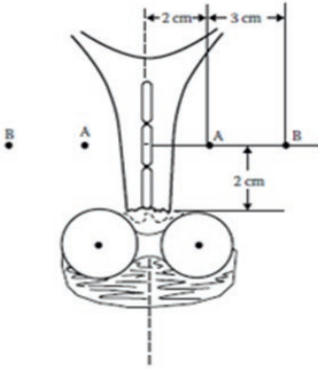
Brakiterapi (BT) kelimesi eski Yunanca'dan “ kısa, yakın” ve “tedavi anlamına gelen” sözcüklerinden oluşmaktadır ve radyoaktif kaynakların ışınlanacak olan dokunun yakınına veya içine yerleştirilmesiyle yapılan radyoterapinin bir şeklidir.

Bu tedavide, çevre dokularda hızlı bir doz düşüşüyle yüksek doz lokal olarak tümöre verilebilir.

Bu tedavide radyasyon kaynağı ile tümörlerin uzun sürede tedavi edildiği eksternal terapinin aksine, kısa süreli tümör tedavisinde kullanılmaktadır. Tek başına kullanılabileceği gibi eksternal radyoterapi, cerrahi ve kemoterapi ile birlikte de kullanılabilmektedir.

ICRU'nun 38 No'lu Raporu'na göre, geniş klinik deneyime dayalı üç temel sistem Brakiterapi ile serviks kanseri tedavisi için geliştirilmiştir: Bu sistemler; Stockholm Sistemi, Paris Sistemi ve Manchester Sistemidir. 1938 yılında tanımlanan Manchester Sistemi, orijinal Paris Sistemi'nden türetilmiş ve en yaygın kullanılan sistemdir. (Tod ve Meredith, 1938)

Manchester Sistemi aslında, uterus ve vajinanın şekil ve büyüklüğünden bağımsız olarak serviks yakınındaki A noktasına ~54 cGy/h'lik sabit bir LDR (Düşük Doz Hızı) dozu vermek için tasarlanmıştır (Şekil 1). Anatomik değil geometrik bir noktadır.

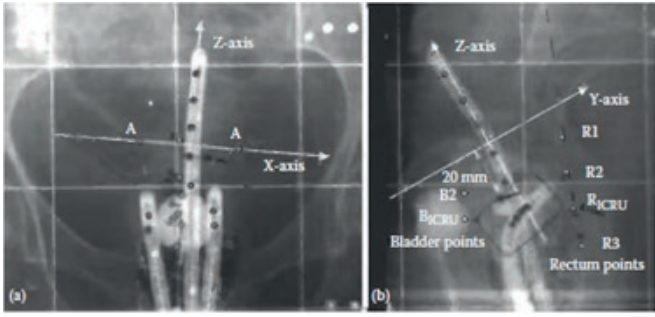


**Şekil 1.** Klasik Manchester sisteminde “A” ve “B” noktalarının tanımı. A Noktası, uterusun merkez kanalına 2 cm yanal ve uterus ekseninde lateral fornikse mukozadan 2 cm yukarı olarak tanımlanır. B noktası, A noktasından enine ekseninde, orta çizgiden 5 cm uzakta olarak tanımlanır.

Konvansiyonel iki boyutlu (2B) brakiterapinin asıl sınırlılığı, aplikatör ve noktaya dayalı olmasıdır. Bu nedenle, tümör hacimleri ve risk altındaki organ (OAR) hacimleri hakkında bilgi eksikliği vardır. Jinekolojik brakiterapi için, ICRU Rapor 38'in tavsiyelerine göre, rektum ve mesane için nokta dozları ( Şekil 1'de görüldüğü gibi) geleneksel olarak hesaplanır (ICRU Report 38, (ICRU, 1985)).

Bu nokta dozları her zaman organın tüm hacmi tarafından alınan dozu temsil etmemektedir. Sonuç olarak, risk altındaki organ (OAR) hacimlerine yönelik dozlar çoğu zaman doğru bir şekilde bilinmez (1. Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 62 (2005) 131–137. 2. Radiother. Oncol. 30 (1994) 231–238).

İki boyutlu brakiterapi planlamasında her bir hasta için hesaplanan dozimetri, aplikatörlerin iki adet radyografi görüntülerinin kullanımıyla elde edilen, tümörü saran pelvik anatomisiyle gerçekleştirilir (Gerbaulet ve ark. 2002). Radyoaktif olmayan dummy kaynaklar, kaynağın aplikatör içinde gerçek yerleşimini simule etmek için kullanılır (Şekil 2).



**ŞEKİL 2.** Manchester tipi bir aplikatör ile rahim ağzı kanserinin tipik bir tedavisi için ortogonal radyografiler, aktif kaynak pozisyonları (daha karanlık dolu daireler) ve mesane ve rektum dozu hesaplama noktaları (daha açık renkli daireler). (a) AP projeksiyonu; (b) yanıl (lateral) izdüşüm.

Brakiterapi tedavi planlaması için Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntülerinin kullanımı hem serviks bölgesi (Lee ve ark. 1980) ve hem de interstisyel implantlar (Elkon ve ark. 1981) için ilk kez 1980 yılında rapor edilmiştir. 1985'te ICRU'nun 38 No'lu Raporu, kullanılan dozimetrik referans noktalarına alternatifi olarak çok az BT görüntü eşliğinde tedaviden bahseder. 1997'de ICRU'nun 58 No'lu Raporunda ise ek bilgiler olarak Doz-Volüm-Histogramı (DVH) verilerinden bahsedilmiştir. Bugün, piyasa da bulunan ticari Brakiterapi Tedavi Planlama Sistemleri BT (Bilgisayarlı Tomografi) - tabanlı aplikatör/kaynak lokalizasyonu, üç boyutlu (3D) anatomik yapı tanımını ve DVH (Doz-Volum-Histogramı) analizini desteklemektedir.

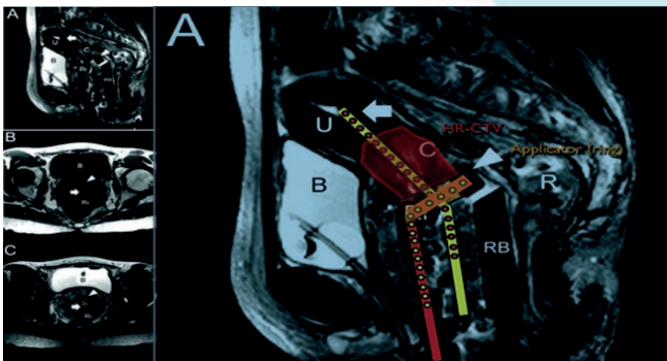
Bir 3D yüksek doz hızlı (HDR) brakiterapi programının tasarımı ve uygulaması, tedavinin güvenli ve etkili olması için bir dizi işlem gerektirir.

Bu işlemler;

a) Aplikatörü doğru şekilde yeniden yapılandırmak ve test etmek; geleneksel aplikatörler artefak oluştururken yeni nesil 3D'de kullanılan aplikatörler kompozit fiber v.b. malzemelerden yapılır ve 3D görüntüleme sistemleriyle tam bir uyum içindedir. Unutulmamalıdır ki AAPM Task Group 43 artefaklı görüntülerde düzeltme yapılarak dozimetri için kesinlikle önermemektedir.

b) Tümör hacmini (GTV), klinik hedef hacmini (CTV) ve risk altındaki organ (OAR) hacimlerini belirlemek için yüksek kaliteli 3D tıbbi görüntüleme cihazlarının kullanılması; uygun aplikatörle birlikte, gross tümör hacmini (GTV), klinik hedef hacmini (CTV) ve Risk Altındaki Organ (OAR) hacimlerini belirlemek için yüksek kaliteli üç boyutlu (3D) tıbbi görüntüleme cihazlarının (MRI, BT, Ultrason v.b.) kullanılması gerekmektedir. Planlama sırasında 3D görüntüleme (BT ve MRI (Manyetik Rezonans Görüntüleme)) kullanılarak tanımlanan limitler ve belirsizlikler anlaşılmalı ve hesaba katılmalıdır.

Ancak hedef tanımı için 3D görüntümeden gelen ilave bilgi; OAR tanımlama, katater ve aplikatörün yeniden yapılması, doz planlama, genel tedavi kalitesini elde etmek için yardımcı olan, en fazla önem taşıyan güvenlik önlemleridir Şekil 3' de 3D görüntü eşliğinde anatomik organların, tümörün ve aplikatörlerle birlikte kaynak pozisyonunun tanımlanması görülmektedir. Her aplikatör için offset değerlerinin tespit edilerek planlama sistemine doğru olarak tanımlandığından emin olunması gerekir.



**Şekil 3:** 3D görüntü eşliğinde anatomik organların, tümörün ve aplikatörlerle birlikte kaynak pozisyonunun tanımlanması.

c) Bekleme sürelerini ve pozisyonlarını optimize etmek için 3D tedavi planlama sistemlerinin (TPS'ler) kullanılması; 3D görüntüleme; anatomiye bağlı katater yerleşiminin görselleştirilmesi, hastanın istenen yerlerindeki doz hesaplaması, brakiterapi doğasının yerleşimleri, genliklerinin değerlendirilmesi ve dozimetrik endekslerin hesaplanmasını sağlar. Yeni nesil planlama sistemleri genellikle BT veya MR'lı primer bir 3D görüntü data setine bağlı tanımla 3D planlamaya izin verir. Yeni

nesil planlama sistemleri Target veya target+marjin içindeki tüm kaynak pozisyonlarını otomatik aktive eder ve bu alan dışında kaynak pozisyonları aktive olmaz.

d) GTV, CTV ve OAR hacimlerinde 3D dozunun hesaplanması; Eksternal Radyoterapi ile benzer bir şekilde, ilgili anatomik yapılar konturlanır ve CTVs ve OARs'ları belirlemek için kullanılırdı. Burada CTVs ve OARs'lar sık sık brakiterapide aynı kabul edilir.

e) Doz hacmini histogramları (DVH'ler) ve 3D doz görselleştirme araçlarını kullanarak doz planını değerlendirmek; 3D planlama sistemlerinden yeni nesli planlama sistemleri DVHs'leri oluşturabilir. Herhangi bir konturlu organın doz dağılımı onun DVH ile tanımlanabilir.

$V_n$ , reçete dozunun % n'sini alan ilgili bölgenin (ROI) hacmidir. Genel olarak  $V$ , ROI hacminin yüzdesi olarak bildirilir. Örneğin,  $V_{100}$ 'ünü alan ROI hacminin yüzdesini gösterir. Benzer şekilde  $D_m$ , ROI hacminin % m'sini kapsayan minimum dozdur.  $D_m$ , reçete edilen dozun yüzdesi olarak yada sadece Gy olarak ifade edilebilir.  $D_{90}$  (Gy) dolayısıyla ROI hacminin %90'ını kapsayan minimum dozu gösterir. Planların klinik olarak değerlendirilmesinde 3D görüntüleme ve planlamanın girişinin en önemli faydalarından birisi anatomisiyle doz dağılımının uzaysal uygunluğunu doğrulama yeteneği ve her görüntü üzerindeki izodoza ve konformite doğrulama ve doz dağılımlarındaki uygunsuzluğu kolayca tespit etmeye yardımcı olmasıdır.

f) Plan verilerini tedavi cihazına doğru şekilde aktarmak; yeni nesil planlamalarda planlama verileri network üzerinden online olarak aktarıldığından hatalar en az düzeye iner. Ama sistem hatalarına karşı planlama ve cihaza aktarılan parametrelerin doğruluğu kontrol edilmelidir.

g) Tedavinin sonucunu ölçmek, tedavi prosedürleri açısından izlenmesi gereken mecburi bir yoldur.



## Brakiterapide Ters(Invers) Planlama (IPSA)

Dr. Kadir YARAY

Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Kayseri

Brakiterapi planlaması, kaynak duruş yerinin ve buradaki süresinin değiştirilmesi ile istenen doz dağılımına ulaşılan ancak kaynak aktivitesinin değişmediği, istenilen optimum doz dağılımına ulaşılabilmek için yapılan bir dizi deneme yanılma sürecinden oluşur. Birden fazla kaynak pozisyonu ve hedeflenen çok sayıda kriterin olduğu uygulamalarda optimum planı oluşturmakta optimizasyon algoritmalarının kullanılması, brakiterapi planlamalarında daha hızlı çözümler sunarak, istenen en yakın doz dağılımları elde edilmesini sağlayabilir. Tedavi planlama sistemleri, radyasyon dozunu normalize etmek için farklı bir dizi doz hesaplama yöntemi sunar. Tanımlanan tümör volümü üzerinde doz optimizasyonu sağlarken, bitişik normal dokulara zarar vermeden tümör büyümesini azaltarak istenilen tedavi dozuna ulaşmak için farklı özellikler sunar.

Brakiterapi uygulamaları kalıcı ve geçici uygulamalar şeklinde yapılmaktadır. Kaynak pozisyonu, hızlı doz gradyenti nedeniyle ; 3 mm'den daha az belirsizlik bile %10 doz değişimine yol açar. Tümör içindeki dozların tanımlanan dozdan çok daha yüksek olduğu unutulmamalıdır.

İnterstisyel brakiterapide kullanılan Manchester ve Quimby sistemleri Ra-226 radyoaktif kaynağı için geliştirilmiş sistemlerdir. Günümüzde kullanılmamaktadır. Paris sistemi ise Ir-192 için geliştirilmiş sistemlerdir. 3D planlamada bazal doz noktası kavramı kullanılmaktadır. İntrakaviter brakiterapide kullanılan Stokholm, Paris ve Manchester sistemleri de Ra-226 kaynağı için geliştirilmiştir. Günümüzde Manchester sisteminin tanımladığı A noktası kavramı halen kullanılmaktadır.

Tedavi planlamasında doz optimizasyonundan amaç; normal dokuların dozunu toleransın altında tutarken tümöre istenen dozu vermektir. HDR brakiterapide optimizasyon yapılması durumunda, bir çok teknik kullanılır. Manuel ve grafiksel optimizasyon gibi çok pratik optimizasyon metodları vardır. Bu yöntemler hedef hacmin yeterli dozu aldığı, normal dokularda aşırı doz olmadığını garanti etmez. Bu nedenle, kaynak duruş zamanları daima manuel ayarlanmalıdır. İzodoz eğrilerinin şekilleri, hedef hacime uydurmak için değiştirilebilir. Yapılan değişiklikler sonrası bilgisayar , doz dağılımını yeniden hesaplar. Forward optimizasyon adı verilen bu teknikte hedef amaç elde edilinceye kadar işlemlere devam edilir.

Forward optimizasyonun yanısıra anatomiye dayalı invers(ters) optimizasyon teknikleri de vardır. Yapılan tedavi planlamasının çok planlı, çok kateterli olması durumunda forward optimizasyon ile istenen hedefe ulaşmak çok zor olabilir. Bu durumda invers optimizasyon çözüm sunar. Hedef hacim ve kritik organlardaki doz sınırlamaları tanımlanır. Forward planlamanın tersine, amaç önceden belirlenir. Bu modeller hasta anatomisini dikkate alır. Optimizasyon işlemi esnasında hedef hacim ve kritik organ volümleri kullanılır. Sistem sonuçta hedef hacim ve kritik organların doz sınırlamalarını karşılayan optimal duruş zamanlarını tayin eder.

Manuel ayarlamalara genelde gerek yoktur. Bu modele uyan optimizasyondan "inverse planning" olarak söz edilir. Bu teknikler, planlanan hedef hacmin (PTV) belirli bir doz ile kapsanması ve riskli organların korunması gibi birbirini etkileyen birçok hedefi göz önüne almalıdır. Bu hedefler, hedef hacimdeki veya organların ve PTV yüzeyindeki doz ile ilgili olabilir. Ayrıca optimizasyon prosedüründe DVH tabanlı hedeflerde kullanılır. Hedefler, bireysel hedef fonksiyonların ağırlıklı bir toplamı ile oluşturulan tek bir hedef fonksiyona birleştirilebilir veya çok hedefli optimizasyon kullanılır. İlk durum için, bir optimizasyon algoritması tarafından bulunan optimal değer, kullanılan ağırlıklara bağlıdır ve mümkün olan en iyi sonuç bulunmayabilir. Bu durumda doz hedeflerine dayanan optimizasyon ağırlıkları değiştirilerek optimizasyon bir kaç kez yenilenir.

İnvers planlama algoritmaları ; Integer linear programming model, Genetic Algorithm (GA), Genetic Single Objective Algorithm, Multiobje BTi ve optimization, Simulated Annealing (SA) (IPSA) (Inverse Planning Simulated Annealing), HIPO gibi çok sayıda algoritma kullanılmaktadır. Invers planlama, İnterstisyel çoklu plan uygulamaları için ( meme, yumuşak doku ve prostat) kullanışlıdır. pratik değerinden söz etmek zordur. Forward optimizasyon yöntemlerine göre daha yüksek doz homojenitesi ve daha düşük riskli organ dozları sağlar. İntrakaviter uygulamalarda pratik değerinden söz etmek zordur. Manuel uygulamalarda daha iyi doz kapsama imkanı sağlar.

Sonuç olarak; brakiterapi çok aşamalı bir fizik planlama gerektirir. Tüm aşamalarda oluşabilecek belirsizlikler dozi-metrik ve klinik sonuçlara yansıtacaktır. Brakiterapide, doz planlamadan tedavinin verilmesine kadar oluşacak belirsizlikleri minimize etmek OAR toksisitesi ve hastalısız sağ kalım gibi hasta sonuçları üzerinde önemli iyileştirici etki yapacaktır.

## Lu-177 DOZİMETRİSİ

Dr. Türkay Toklu

Yeditepe Üniversitesi, Sağlık Fiziği AD.

Koşuyolu Mh. Koşuyolu Cd. No:168 Kadıköy İstanbul

Nöroendokrin tümörlerin tedavisinde Lu-177 ile işaretli DOTATATE ve prostat kanseri tedavisinde yine Lu-177 ile işaretli PSMA radyofarmasötikleri, Nükleer Tıp tedavileri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Radyoterapi uygulamalarında da olduğu gibi bu tedavide de temel amaç, sağlıklı doku en az radyasyon hasarına uğrarken tümöre en yüksek hasarın verilmesini sağlamaktır.

Her iki tedavide de hastalara verilebilecek toplam aktivite değerini sınırlayan en önemli organ böbreklerdir. Eksternal radyoterapi çalışmalarına göre böbreklerin tolere edebilecekleri en yüksek soğurulmuş doz miktarı 23–25 Gy aralığındadır. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRPM)'e göre böbreklerin 23 Gy'lik (soğurulmuş) doza maruz kalması hastaların % 5'inde 5 yıl içerisinde deterministik etkilerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki, böbrekleri toksik doza ulaştıran Lu-177 aktivitesi nedeniyle kemik iliğine verilen doz 2 Gy'i aşmamaktadır. Tedavinin özellikle böbrekler için olan toksik etkilerinden kaçınabilmek için radyasyon dozimetrisi yapılmalıdır.

Nükleer Tıp tedavilerinde dozimetrik hesaplamalar Medical Internal Radiation Dose (MIRD) şeması yönteminde olduğu gibi organ seviyesinde yapılabildiği gibi; Dose Point Kernel (DPK) veya Monte Carlo (MC) yöntemlerinde olduğu gibi vokselle seviyesinde yapılabilmektedir. Lu-177 ile işaretli peptidlerin böbreklerde homojene yakın bir dağılım göstermesi nedeniyle, bu tedavilerde böbrek dozimetrisi genellikle MIRD şeması yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu yöntem ile hesaplama yapılabilmesi için radyofarmasötüğün vücut içerisindeki biyokinetiğinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Lu-177'nin düşük abandans faktörüne sahip iki adet gama ışını kullanılarak farklı zaman dilimlerinde gama kameralar ile görüntüleme yapılmaktadır.

Dozimetrik hesaplamalar planar tüm vücut görüntülemeler ile yapılabildiği gibi SPECT/CT görüntülemeler kullanılarak veya hibrid olarak da gerçekleştirilebilmektedir. Bu metodolojilerden en doğru sonucu, tamamı SPECT/CT ile gerçekleştirilmiş bir dizi görüntüleme ile elde edilebilmektedir. SPECT/CT görüntüleme ile foton azalımı, kolimatör-dedektör cevabı ve saçılan foton düzeltmesi gibi görüntüyü bozucu etkenler düzeltilerek kantitatif bir görüntüleme sağlanabilmektedir.

Lu-177 peptid tedavilerinde dozimetri, yaygın olarak tedavi sonrası görüntülemeler ile gerçekleştirilir. Tedavi sonrası 4, 24, 72 ve 168inci saatler gibi geniş bir aralıkta ve son görüntülemenin en az bir fiziksel yarı-ömür (6.7 gün) olduğu sürede alınan görüntüler biyokinetiğinin belirlenmesinde yeterli olmaktadır. İlk tedavi aktivitesi hastanın tıbbi durumuna ve literatür verilerine göre belirlenmektedir. İlk tedavi aktivitesi için dozimetri çalışması bir gereklilik olmamakla birlikte, ilk tedavi dozimetrisi sonraki tedavilerin planlanması için bir elzemdir.

Lu-177 peptid tedavilerinde hastaların böbrek dozları geniş bir dağılım göstermektedir. Enjekte edilen birim aktivite başına kimi hastada düşük böbrek dozları ölçülürken, kimisinde yüksek dozlar ölçülmektedir. Hastaya özgü dozimetri çalışmaları yapılarak, hastaların böbrekleri radyasyonun zararlı etkilerinden korunurken tedavilerinin de eksik kalmaması sağlanabilmektedir.

## Ra-223 (Alfareadin) Dozimetrisi

Nami Yeyin

Nükleer tıp merkezlerinde son yıllarda farklı radyofarmasötikler kullanılarak birçok kanser türünde hedefe yönelik tedavi metodları geliştirilmektedir. Radyasyon tedavisinden temel amaç; tümörde maksimum oranda radyasyon soğurulması iken sağlıklı dokularda ise maksimum güvenlidir. Bu nedenle uygulanan tedavilerde hastaya özgü radyasyon dozimetrisinin yapılması gerekmektedir.

Radyofarmasötikler ile yapılan tedavilerde beta ve alfa radyasyonu kullanılmaktadır. Alfa radyasyonunun lineer enerji transferinin (LET) çok yüksek olmasına bağlı olarak tümör hücresi DNA' sında çift zincir kırığı oluşturmakta ve tedavi etkinliği artmaktadır. Bu nedenle son yıllarda alfa tedavileri üzerine yapılan çalışmalar ve uygulamalar hızla artmaktadır. Bu tedavi radyonüklidlerinden biri olan Ra-223 alfa kaynağıdır. Ra-223 (Alfareadin) kemik metastazı olan kastrasyona dirençli prostat kanseri hastalarının özellikle ağrı palyasyonlarının azaltılması amacıyla kullanılmaktadır.

Ra-223 radyonüklidinin bozunumu sırasında enerjisinin %95 inin alfa radyasyonu (28 MeV) olması tedavi etkinliğini artırırken gama radyasyonunun (%2 gibi) düşük verimde olması ise çevre radyasyon güvenliği açısından oldukça güvenilirdir. Fakat gama radyasyonun veriminin düşük olması nedeniyle tedavi sonrası görüntüleme sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle dozimetri uygulamaları ICRP metodu ile ya da tedavi sonrası farklı zamanlarda alınan planar görüntüler üzerinden yapılmakta ve değerlendirilmektedir.





## Klasik Teknik ile TBA Foton Işınlamaları

Aysun İnal<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Antalya Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü

**Amaç :** Total Vücut Işınlaması (TBI), multiple miyelom, lenfoma, lösemiler ve aplastik anemi gibi bazı hastalıkların tedavisinde kemik iliği transplantasyonuna (KIT) hazırlık aşamasında kullanılan bir bileşendir. TBI, geleneksel kemoterapinin etkisiz kaldığı merkezi sinir sistemi (MSS) ve testis gibi bölgelere nüfuz edebilmektedir. TBI'nın amacı, rezidüel kanser hücrelerini yok etmek, kemik iliği yok ederek kök hücre oluşumuna yer açmak ve donör kemik iliğinin immünosupresyon yoluyla reddedilmesini önlemektir.

**Gereç ve Yöntem :** TBI için iyonlaştırıcı radyasyon miktarı bildirilen değeri 0,5 - 1,4 Gy iken insan lösemi hücreleri için 0,8-1,5 Gy'dir. İdeal doz çizelgesi hastanın yaşına, hastalığına ve amaçlanan KIT tipine bağlıdır. Doz oranları genellikle AAPM TG-17'nin önerileriyle tutarlı olarak 6-15 cGy/dak'dır, doz hızının <20 cGy/dak'ın komplikasyonları azaltmaya yardımcı olduğu bildirilmiştir. AAPM TG-29, doz hesaplamaları için öneriler sağlar. Bu hesaplamaları yapmak için, hasta kalınlığı belirlenen noktada, genellikle umbilikus seviyesinde ölçülmelidir.

**Bulgular :** Yayınlanan protokoller, TBI için 4-18 MV arasında karşılıklı paralel tedavi alanlarını önermektedir. AAPM'in TG-51 kalibrasyon protokolü, yüksek enerjili foton ışınlarının dozimetrisi için önemli bir klavuzdur. Son çalışmalar, helical tomoterapi ve dinamik ark tekniklerinin TBI tedavi süresini azaltma ve verilen radyasyonun homojenliğini artırmada başarılı göstermektedir. AAPM TG-51, mutlak dozun, 10x10cm<sup>2</sup> alan büyüklüğü kullanılarak 100 cm SAD' da kalibre edilmesini önerir, ancak TBI tedavileri daha büyük alarlar kullanılarak (40x40cm<sup>2</sup>) ve uzaklaştırılmış SSD'ler de uygulanır. Bu nedenle, klasik TBI uygulama öncesi; output faktörünü tedavi mesafesinin merkezi noktasında ölçmek, tedavi mesafesinin merkezi noktasında doku maksimum oranı (TMR) tablosunu oluşturmak ve screen faktörünü ölçmeyi gerekmektedir. Tedavide, hasta genellikle, uzunlamasına eksen boyunca 180° döndürülür. Her alan için, hastanın koronal orta hattı, TBI hazırlık sırasında yerde işaretli tedavi düzlemi ile hizalanır. AP-PA yönündeki ışınlama, daha iyi doz homojenliği sağlar. TBI standları, tedavi koltukları veya masaları, hastanın sırtüstü, eğilimli veya dik durmasını sağlayabilmek için birçok yöntem ve pozisyon içeren seçenekler sunmaktadır. Tedavide, dozun homojen olarak dağılmasını sağlamak en önemli kriterdir. Bu sırada, akciğer için radyasyon dozunu azaltan kurşun akciğer koruyucu, özellikle eşzamanlı akciğer fonksiyon bozukluğu olan hastalarda, pnömoni riskini azaltmak için önerilir. Bununla birlikte korumanın, lösemi tekrarı riskini artırabildiği raporlanmıştır, bu yüzden korumalar genellikle radyasyon dozunda % 10 ila % 50 oranında bir azalmaya karşılık gelmelidir. Hesaplama, akciğer boyutları ve yoğunluğu dikkate alınmalıdır. Akciğer blokları, timus, hilum, torakik vertebra ve kalbin korunmasını önlemek için uyarlanabilir. Böbrek koruyucu, verilen radyasyon seviyesini azaltmak için kullanılan bir tekniktir. Hipertansiyon, proteinüri, ödem, anemi ve azalmış glomerüler filtrasyon hızı ile böbrek fonksiyon bozukluğundan oluşan KIT nefropatisi, TBI'nın olası ciddi komplikasyonlarından biridir. TBI'da, tüm komplikasyonlar göz önüne alınarak klinik tarafından en doğru kullanılacak tekniğin seçilmesi ve ölçümlerin dikkatle yapılması tedavi kaynaklı komplikasyon görülme olasılığını azaltacaktır.

**Sonuç :** TBI, KIT yapılacak hastalarda MSS ve testis tutulum riski fazla olduğunda hazırlık rejiminin önemli bir parçasıdır. Birçok yan etki ile ilişkili olsa da, lösemi ve lenfomaların transplantasyonla tedavisinde, en başarılı tedavi formlarından biri olmaya devam etmektedir. Helikal tomoterapi gibi daha hızlı ve daha homojen radyasyon sağlama yöntemleri üzerine yapılan araştırmalar, TBI'yı daha geniş bir hasta yelpazesinde erişilebilir hale getirebilmekle beraber, henüz bu teknolojilerin uzak dönem yanıtlarına dair fazla çalışma yoktur. Net olan en temel nokta ise, hesaplanan verileri bağımsız olarak doğrulamak gerektiği ve en iyi yöntemin in-vivo ölçümler yapmak olduğudur.

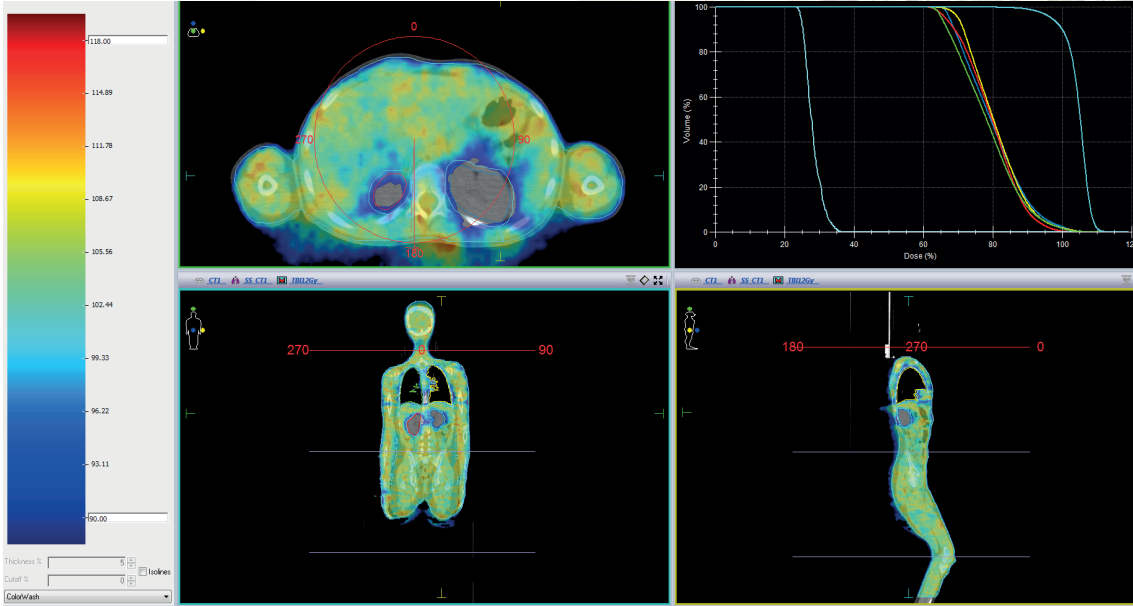
**Anahtar Kelimeler:** TBI, Dozimetri, Radyoterapi



## Modern Teknikle TBI Işınlanması

Doç. Dr. Bora TAŞ

Tüm vücut ışınlanması (TBI) radyasyon komplikasyonlarını özellikle akciğerlerde minimize edecek şekilde sağlarken tüm vücut da homojen bir doz dağılımı elde etmeyi amaçlayan bir tedavi yöntemidir. TBI ışınlaşmasının üç ana nedeni vardır. Bunlar; Kalıntı kanser hücrelerini ortadan kaldırmak, kök hücreler için kemik iliğinde yer açmak, immün sistemi baskılayarak kök hücre transplantasyonunun reddedilmesini önlemektir. Günümüzde de kullanılan lineer hızlandırıcı tabanlı foton TBI teknikleri genişletilmiş SSD mesafesinde uygulanan çeşitli tedavi teknikleridir. Ancak, bu standart genişletilmiş SSD tekniklerinde sağlam organ koruması sadece akciğerlere bloklar yardımıyla gerçekleştirilmeye çalışılırken, doz dağılımlarını hedef yapıda homojen şekilde elde etmek mümkün olmamaktadır. Çalışmamızda modern teknikle tek alan VMAT, çift alan VMAT ve dual tek alan VMAT teknikleri dozimetrik olarak birçok BT görüntüsü üzerinde aynı optimizasyon parametreleri kullanılarak birbirleriyle karşılaştırıldı. Tüm bu hesaplamalar Monaco tedavi planlama sisteminde Monte Carlo algoritması ile gerçekleştirildi. Dual arc VMAT tekniği ile diğer iki teknikten daha düşük MU değerleri elde edildi ve kritik organ dozlarında daha düşük, hedef yapıda ise daha homojen doz dağılımları sağlandı. 2015-2019 tarihleri arasında tedavi edilmiş 90 ALL veya AML hastasının dual VMAT tedavi yöntemi ile elde edilen doz dağılımlarında; ortalama böbrek ve akciğer dozları 10 Gy'in altında elde edildi. Toplam tedavi süresi pediatrik hastalarda iki veya üç izomerkez kullanıldığında ortalama  $35 \pm 5$  ve erişkin hastalarda ise beş izomerkez kullanıldığında  $55 \pm 5$  dakika olarak elde edildi.



Şekil 1. Dual ark VMAT tekniği ile TBI tedavi planlaması doz dağılımları

TBI ışınlamaları için uygulanan modern VMAT tekniğinin doğruluğu, fizibilitesi ve güvenilirliği elde edilen çalışmalar sonucunda, Yeni Yüzyıl Üniversitesi Gaziosmanpaşa Hastanesi Radyasyon Onkolojisi ve Hematoloji Bölümleri tarafından incelenmiş olup, klinikte rutin olarak uygulanmaktadır.

## Tüm Cilt Elektron Işınlamaları

Murat Köylü

Tüm cilt elektron ışınlaması(TCEI); vücut yüzeyinde geniş bölgeleri kapsayan lezyonların elektron ışınları kullanılarak tedavisidir. Standart RT alanlarından daha geniş tedavi alanları kullandığından özel bir radyoterapi tekniğidir. Bu teknikle; tüm cilde homojen radyasyon dozu verilirken cilt altındaki doku ve organların radyasyondan etkilenmemesi amaçlanmaktadır. TCEI T-hücreli deri lenfomaları(Mycoşis Fungoides ve Sezary Sendromu), Deri lösemileri ve Kaposi Sarkomlarının tedavisinde kullanılmaktadır. En sık görülen tür T-hücreli deri lenfomalarıdır(Mycoşis Fungoides).

Kutanöz T-hücreli lenfomaların tedavisinde radyasyonun ilk kullanımı 1902 yılında Scholtz tarafından düşük enerjili x-ışınları(40-70 kV) ile Mycoşis Fungoides tedavisiyle gerçekleşti(alan çakışması, ışın geometrisi ve geniş alan problemleri, yan etkiler). Sommerville J. 1939 yılında hastalara x-ışını banyosu tekniğini kullanmayı önerdi. Ancak bu tip bir tedavi kemik iliği baskılanması gibi ağır yan etkilere yol açması sebebiyle sınırlı uygulanabiliyordu. Trump ve Van de Graaff tarafından 1937'de geliştirilen "Van de Graaff Hızlandırıcıları" ile enerjisi 3MeV olan elektronlar sınırlı olarak cilt kanserlerinde kullanılmaya başlandı. Trump tarafından 1951 yılında ilk Mycoşis Fungoides ışınlaması 2,5 MeV enerjili "Van de Graaff Hızlandırıcıları" ile gerçekleştirildi (toplam 6-8 Gy, 10günlük aralar vererek). TCEI ilk olarak 1953'de Trump tarafından tanımlanmıştır. 1958 yılında ilk kez TCEI tekniği Stanford Üniversitesi tarafından geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan teknik Stanford Tekniği'dir.

Elektronların kullanılmasıyla yan etkiler ve iç organ dozları azaltıldığından tedavi dozları da artış gösterdi. Stanford Üniversitesinin 1971 yılındaki 2,5 MeV ile tedavi edilen 107 hastalık tedavi sonuçları doğrultusunda doz toplam 30 Gy'e çıkarıldı. Yine Stanford Üniversitesinin 1979'da yayınladığı 4MeV elektron ile tedavi edilen hastaların tedaviye yanıtlarının; 8-20 Gy düşük tedavi dozlarında %47, 20-30 Gy orta seviye tedavi dozlarında %67 ve 30-40 Gy arasındaki yüksek dozlarda ise %94 olduğu belirlenmiştir.

Elektronlar, 10MeV'den düşük enerjilerde derin doz dağılımı karakteristikleri sayesinde yüzeysel lezyonun hemen altında hızlı doz düşüşüne sahip olmasından dolayı kemik iliği ve diğer organların aşırı doz almasını engeller. Elektronlar bu özellikleriyle x-ışınlarına oranla belirgin avantaja sahiptir. Tüm cilt ışınlamalarında kullanılmaya başlamasından itibaren x-ışınlarının bu tedavideki yerini elektronlar almıştır. TCEI'nın 1953 yılında tanımlanmasından sonra çeşitli tedavi teknikleri geliştirilmiştir.

Beta parçacıklarıyla ışınlama tekniğinde stronsiyum-90 radyoaktif kaynağından elde edilen beta parçacıkları(ortalama 1.12 MeV) kullanılır. Düşük ortalama enerjileri sebebiyle penetrasyonları düşük ve dokuda sınırlı derinliğe kadar etkili olduğundan TCEI için uygundur. Tedavi mesafesi 40 cm iken 2Gy doz için 15 dk. çalışması gerekir. Beta parçacığı kaynağı 2 cm genişliğinde 53 cm uzunluğunda alana doz dağıtabilir. TCEI için başarılı olmasına rağmen lineer hızlandırıcıların yüksek output ve çeşitli elektron enerjilerine sahip olmasından dolayı TCEI için hızlandırıcılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Dar dikdörtgen ışınlar tekniğinde kullanılan Van de Graff Hızlandırıcıları 1,5-4,5MeV enerjilerde yukarı-aşağı doğrultuda ışınlama yapabilir. hasta motorlu düzenekte çevrilerek tedavi edilir. Hastaya 1cmx45cm koni kolimatörden geçerek 118cm uzaktan gelen hasta dozu, tedavi süresince koni altındaki cilt mesafesi değiştiğinden dolayı %15 kadar değişir. Hastalar 4 pozisyonda tedavi edilmiştir. Tek alan ışınlama tekniği lineer hızlandırıcı kullanılarak Tetenes ve Goodwin tarafından geliştirilen ve hastanın ayakta konumlandırılmasıyla uygulanan TCEI tekniğidir. SSD:7m mesafede 6MeV'lik elektron enerjisi kullanılır. Paralel alan çifti ile ışınlama tekniğinde tek alan ışınlamanın aksine kısa tedavi mesafesi kullanılır. Birbirine paralel iki yatay ışının kullanıldığı bu teknikte 2m. tedavi mesafesi ve 8MeV'luk elektron enerjisi kullanılır. İki yatay ışın 150 cm'yi dikey merkezi ekseninde böler ve 200 cm yüksekliğinde bir tedavi düzlemi için %5 doz dağılımı sağlamıştır. Sewchand W. Tarafından uygulanan sarkaç ark ışınlama tekniğinde 8MeV elektron kullanılır ve ayakta duran hastanın kafa tepesinden ayaklarına doğru tedavi boyunca 50 derecelik ark dönüşüyle doz verilir. Vertikal ekseninde daha düzgün doz dağılımı elde etmek için tedavi süresince doz hızı ve ganty dönüş hızı değiştirilebilir. Hastanın 5cm. önüne yerleştirilen büyük pleksiglas tabakası sayesinde hem ışın enerjisi azaltılabilir hem de geniş açılı elektron saçılmasını sağlayarak cilt dozu artırılabilir. Hastaya 6 ark alanı uygulanan bu teknikte 10 cm derindeki x-ışını kontaminasyonu %4,2 olarak belirlenmiştir. Açılı alan Çifti ile Işınlama tekniğinde büyük alanları elde etmek için kullanılan açılı ışın çifti tekniğinde 2 ile 8 arasında değişen sayıda alan çifti kullanılır. İleriye yönelik oluşan x-ışını kontaminasyonunu engellemek için ışık merkezi eksenlerinin hastanın ayağının altı ve başının üstünden geçmesi hedeflenir. Hasta rotasyonu tekniği hastanın dikey bir eksen etrafında dönmesi esasına dayanır. Tedavi mesafesi 7m'dir. Hastanın 20cm önüne geniş saçıcı pleksiglas yerleştirilir. Oluşan x-ışını kontaminasyonu %2.2-%4 arasında değişmektedir. Rotasyon tedavisi ile hasta set-up ve tedavi süreleri kısalmış ve hastanın hareket etmesinden kaynaklanan hataları kompanse edilmiştir. Zaman içerisinde geliştirilen bu tekniklerden günümüzde en yaygın kullanılanı "Stanford Tekniği" olarak da bilinen "Altı çift Alanlı Işınlama Tekniği"dir.

Altı çift alan(Stanford) eknğinde hastalar 4m. mesafde, 6 farklı pozisyonda ve her pozisyonda alt ve üst olmak üzere iki farklı gantry açısı kullanılarak ışınlanmaktadır. Böylece tüm vücut yüzeyi boyunca düzgün doz dağılımı elde edilebilmektedir. Geniş alan ve uzak SSD mesafesi nedeniyle yüksek output'a sahip cihazlar kullanılmaktadır(HDR elektron modu-3000 Mu/dk). Bu teknikte hastaya 1,2Gy/frk olmak üzere haftada 5 gün uygulanarak toplamda 30-36 Gy doz verilmektedir.

Tüm cilt yüzeyinin ışınlandığı büyük alanlarda absorbe dozu ölçmenin zorluğu ve elektronların kısa menzilli olmaları nedeniyle dozimetri ölçümleri karışıktır. Birçok dedektör yüksek gradientli derin doz alanları için farklı yanıtlar verdiği için bu ölçümlerde uygun ve doğru dozimetre seçimi önemlidir. TCEI için kullanılacak dozimetreler; iyon odaları, film dozimetreler, TLD'ler, fricke dozimetreler, elektron toplayıcılarıdır. Ayrıca katı fantom ölçümlerinde paralel plan iyon odalarının kullanılması uygundur. Yüksek duyarlılıkta, iyon odaları kadar hassas olmaları, kablo bağlantısız ve küçük olmaları nedeniyle TCEI için kullanılması en uygun dozimetreler TLD'lerdir.

Stanford tekniği kullanarak TCEI'ni uygulayabilmek için yapılacak başlangıç ölçümlerini 6 başlık altında toplayabiliriz. Bunlar; tedavi gantry açılarının belirlenmesi, tedavi mesafesindeki derin doz eğrisinin belirlenmesi ve absorbe doz kalibrasyonu, tedavi MU değerinin belirlenmesi, film ile tedavi derinliğinin ölçümü, x-ışını kontaminasyonu enerjisi ve miktarının ölçülmesidir. Bu ölçümlerin ardından dozimetrik olarak hastaların tedaviye alınması için bir engel kalmaz.

Stanford tekniği kullanılarak yapılan TCEI'lerinde hastaların tedavi edilebilmeleri için gerekli yardımcı aparatlar ve koruma gereçleri vardır. Bunlardan en önemlisi tedavi platformudur. Aliminyumdan yapılmış platform sayesinde el ve kafa bloklarının konumlanması, tedavi mesafesinin doğru ayarlanması ve azaltıcı(saçıcı) pleksiglas materyalin konumlandırılması sağlanır. Diğer bir tedavi yardımcı aparatı ise el korumalarıdır. El korumaları hem gerekli olduğunda hastanın ellerinin korunması hem de hastanın pozisyonunu koruması için destek olarak kullanılır. Ayak korumaları ise ek bir platforma sahiptir, ana platformun hemen önüne yerleştirilir. Kafa koruma bloğu ise ana platforma asılarak takılıp çıkarılabilir. Gözler için ise özel standart korumalar kullanılmaktadır.

TCEI tedavisinin belirli fraksiyonlarında tüm vücut yüzeyinde belli noktalarda TLD ölçümleri yapılarak; tedavi dozu doğruluğu, hasta pozisyon doğruluğu ve eksik veya fazla doz alan bölgeler için koruma yada ek tedavi(boost) yapılması gerekliliği kontrol edilir. Gövde noktaları için doz doğruluğu limiti %10 ekstremite noktaları için ise %15'tir. İlk ölçüm 2. fraksiyonda yapılır. İlk ölçüm sonuçlarında limit doz sınırını aşan tedavi bölgelerinin hastanın duruş hatasından kaynaklandığı varsayılır. Gerekli düzeltmeler yapılarak hastanın pozisyon hatası giderilir ve 4. fraksiyonda ikinci doz kontrolü yapılır. İkinci ölçüm sonuçlarında düşük doz alan bölgeler varsa ek tedavi tasarlanır, yüksek doz alan bölgelerde ise koruma yapılarak tedavinin geri kalan kısmının güvenle uygulanması sağlanır.

Öğr. Gör. Murat Köylü



## KRANYOSPİNAL IŞINLAMALAR

Emel Hacıslamoğlu

Beyin tümörlerinin birincil tedavi seçeneği cerrahidir. Beyin tümörlerini; Santral Sinir Sistemi (SSS) ve hipofiz bezinden orijin alan primer veya sekonder tümörler oluşturur. Radyoterapi (RT) genellikle postoperatif olarak uygulanmakta olup sağkalım ve lokal kontrol üzerinde önemli etkilere sahiptir. Kranyospinal ışınlama, serebrospinal sıvı boyunca ekilimi yüksek riskli olan ve tüm subaraknoid boşluğun ışınlanmasını gerektiren bazı primer veya metastatik beyin tümörlerinin küratif veya palyatif RT'sinde kullanılan kompleks bir ışınlama tekniğidir. Kranyospinal ışınlama; embriyonal SSS maligniteleri (medulloblastom, primitive nöroektodermal tümör, atipik teratoid / rabdoid tümör), uzak SSS metastazı bulunan intrakranial germ hücreli tümörler, uzak SSS metastazı veya BOS tutulumu bulunan ependimomalar gibi hastalıklarda uygulanır. Kranyospinal ışınlama gerektiren SSS tümörleri arasında medulloblastom ilk sırayı alır.

Kranyospinal ışınlama tekniğinin klasik yaklaşımında hasta yüzüstü (prone) pozisyonda yatar ve bu pozisyonda termoplastik baş maskesi, vakumlu yatak veya basit bir köpük ile immobilizasyon sağlanır. Ancak bazı özel durumlarda veya modern RT tekniklerinin kullanıldığı hastaların sırtüstü (supine) pozisyonda tedavi edilmesi gerekebilir. Bu pozisyon, hem hasta için konfor sağlarken hem de anestezi gereken durumlarda hava yolunun daha iyi kontrol edilmesine imkan vermektedir. Kranyospinal ışınlamalarda; lens, retina, optik sinirler, kiazma, beyin sapı, koklea, tükürük bezleri, akciğerler, karaciğer ve böbrekler risk altındaki organlardır. Kranyospinal ışınlamada hedef volüm; tüm beyin, spinal kord ve tüm meninkslerden oluşmaktadır. Işınlama alanının çok uzun olmasından dolayı, tedavi birden fazla alandan oluşmaktadır. Bitişik tedavi alanların birleşme noktalarında oluşabilecek sıcak veya soğuk doz bölgeleri nedeni ile kranyospinal ışınlamalar RT'deki en karmaşık planlama teknikleri arasındadır.

Konvansiyonel RT tekniklerinde tüm beyin iki lateral alandan, spinal kord ve meninksler ise posterior spinal alan/alanlar ile tedavi edilir. Kranial alanlar tüm beyni kapsar ve C2 vertebranın altından geçen hatta kadar uzanır. Kranial alanlarda, her hasta için özel olarak belirlenen bloklu alanlar ile gözler, yüzün ön kısmı ve üst solunum yolları korunur. Spinal alanın alt sınırı ise S2'nin altından geçecek şekilde belirlenir. Sinir uçları sakrum içinde yatay dağıldığı için sakrumu içine alan alt spinal alan geniş açılır. Ancak sakrum haricinde kalan lomber vertebraların iki yanına koruma yerleştirilerek alanın eni üst spinal alanın enine uygun hale getirilir.

Kranyospinal ışınlamalarda karşılıklı paralel kranial alanların spinal alanlar ile birleşimi kritik bir öneme sahiptir. Bu alanların çakışma bölgelerinde oluşabilecek doz düşüşü ya da doz artışına engel olmak için değişik yöntemler kullanılır. Konvansiyonel tekniklerde kullanılan yöntemlerden biri, kranial lateral alanlar ile spinal alanın demet diverjansını paralel hale getirmek için kolimatöre 7-10°'lik açı vermektir. Diğer yöntemler ise kranial alanların alt sınırı ile posterior alanın üst sınırı arasında doz çakışmasına engel olacak şekilde bir mesafe (gap) bırakmak veya asimetrik alanlar kullanmaktır.

Konvansiyonel yöntemler ile kıyaslandığında, modern teknolojik cihazlarla (Yoğunluk Ayarlı RT, Tomoterapi, vb) uygulanan kranyospinal ışınlamalarda alan çakışması sorunu ortadan kalkmakta, alan birleşim bölgelerinde doz kontrolü sağlanabilmekte ve hedefe yönelik daha homojen doz dağılımları elde edilebilmektedir. Fakat spinalin tek bir posterior alan ile ışınlandığında doz almayan hedef dışı organ ve dokuların dozu artmaktadır. Özellikle çocuk hastalarda kranyospinal ışınlamalar için modern tedavi yöntemlerinden en uygun olanı, proton ışınları ile RT'dir. Protonların, Bragg peak avantajı ile hedefe yüksek doz verilirken hedef dışı bölgelerde doz çok düşük tutularak doz dağılımlarında ciddi iyileşmeler sağlanabilir. Proton RT, çıkış doza neden olmadığı için tedaviye bağlı komplikasyonları azaltmaktadır. Ancak proton tedavisi oldukça sınırlı RT merkezinde bulunan pahalı bir yöntemdir. Ayrıca kranyospinal ışınlamalarda modern RT tekniklerinin, geleneksel RT tekniklerine göre önemli bir avantaj sağlayıp sağlamadıkları tartışmalıdır.

Konuşmacı: Dr.Emel Hacıslamoğlu

Karadeniz Teknik Üniversitesi Tıp Fakültesi

Radyasyon Onkolojisi AD.



## Bilgisayarlı Tomografide Doz ve Azaltım Yöntemleri

İsmail Özsoykal

70'li yılların başında geliştirilen bilgisayarlı tomografi (BT), kesitsel görüntülemeyi klinik kullanıma sokan ilk görüntüleme sistemi olması bakımından radyolojik incelemeler alanında büyük bir dönüm noktasını temsil etmektedir. 90'lı yılların sonuna doğru x-ışını tüpünün tasarımında, dedektör sistemlerinde ve bilgisayar teknolojilerinde kaydedilen ilerlemeler hem BT sistemleri hem de radyolojik uygulamalar için rönesans etkisi yaratmıştır. Halen büyük bir hızla devam eden bu ilerlemeler sayesinde, BT birçok inceleme türünde klasik röntgen görüntülemenin yerini almış, travmatik olgulardan anjiyo çalışmalarına kadar birçok değerli yeni uygulamaya fırsat sunmuş ve böylece radyolojik tanı-tedavi yöntemlerinin çok önemli bir parçası haline gelmiştir.

İngiltere'deki büyük tıp merkezlerinde yapılan son araştırmalar, 1998 yılından 2008 yılına gelindiğinde, BT'nin tüm radyodiagnostik incelemeler arasındaki kullanımının %5'ten %11'e yükseldiğine işaret ederken, bu incelemelerin toplum dozuna katkısının %40'tan %68'e çıktığını bildirmektedir. Dünya genelinde de paralel ilerleyen bu durum, tıbbi ışınlamalarda BT incelemelerinden kaynaklanan hasta dozlarıyla ilgili tartışmaları beraberinde getirmiştir. ICRP ve UNSCEAR gibi resmi ve uluslararası kuruluşlar, radyolojik incelemelerden kaynaklanan etkin dozların hastayla ilgili risk analizinde kullanılmasına yönelik ciddi sınırlılıkların olduğunu, 100 mSv ve altındaki maruziyetler için kansere yakalanma riskinin istatistiksel olarak anlamlı değerler taşımadığını, ancak, bunun radyolojik incelemelerin herhangi bir risk barındırmadığı anlamına da gelmediğini vurgulamıştır. Bunun üzerine, konuyla ilgili yapılan çeşitli çalışmalarda, Japonya'ya atılan atom bombasının ardından radyasyonun sağ kalanlar üzerinde yol açtığı epidemiyolojik etkiler referans alınarak BT taramalarından kaynaklanan tahmini kansere yakalanma riskleri paylaşılmıştır. Ciddi belirsizliklere yol açan bir takım varsayımlar üzerinden yürütülen bu çalışmalarda BT ile ilgili tartışmalı bir risk senaryosu çizilmiştir. Halen elde edilen sonuçlar üzerinde genel bir uzlaşma bulunmasa da, bu çalışmalar BT incelemelerindeki dozların gözden geçirilmesini ve devlet kurumlarından cihaz üreticilerine kadar ilgili tüm mercilerin bu konuda inisiyatif üstlenmesini zorunlu kılmaları bakımından uyarıcı olmuştur.

BT incelemelerinden kaynaklanan gereksiz hasta dozlarının önlenmesi veya azaltılabilmesi radyasyondan korunma ilkelerinden "gerekçelendirme" ve "optimizasyon" prensiplerine dayanmaktadır. İlk olarak, hekimin BT tetkiki istemeden önce hastanın durumuyla ilgili fayda-risk değerlendirmesini iyi yapması ve tetkiki geçerli bir gerekçeye dayandırmış olması gerekmektedir. Bu noktada, T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından Temmuz ayında yayınlanarak yürürlüğe sokulan "Akılcı Tıbbi Görüntüleme Kullanımı Projesi" aracılığıyla hekimlerin bir üst mekanizma tarafından denetime tabi tutulması hasta sağlığı bakımından önemli bir adımdır. Öte yandan, optimizasyon ilkesi gereği, gerekçelendirilmiş bir BT incelemesinin mümkün olan en düşük radyasyon dozuyla gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu aşamada, kullanıcının radyasyondan korunma ilkelerinin bilincinde olarak cihazı hasta ve inceleme özelinde en uygun şekilde kullanabilmesi kadar önemli olan bir diğer faktör de cihazın doz azaltım stratejilerine yönelik teknik donanımdır.

Son 20 yılda, BT cihazlarının teknik donanımları doz yönetimi ve optimizasyon stratejileri üzerine odaklanarak geliştirilmiştir. Otomatik ışınlama kontrolü, açısal ve boylamsal otomatik tüp akımı modülasyonu gibi teknikler bu stratejinin önemli bileşenleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu teknikler, hasta boyutunu ve kullanıcı tarafından seçilen görüntü kalitesini dikkate alarak ışınlama boyunca tüp akımının her kesitte veya her açıda optimize edilmesi prensibine dayalı çalışmakta ve kullanılmaları durumunda %60'a varan doz azalimleri sağlamaktadır. Bu tekniklerin yanı sıra, dinamik kolimasyon, tüp voltajının otomatik seçimi ve özellikle son 10 yılda önemli bir ivme kazanan iteratif görüntü rekonstrüksiyon algoritmaları gibi mevcut yöntemler kullanıldığında bu oranın %75'e kadar çıkabildiği bildirilmektedir.

Bu sunumda, öncelikle BT'deki doz ve doz azaltım yöntemleri, daha sonra cihaz üreticilerinin doz optimizasyonuna yönelik geliştirdiği ve geliştirmekte olduğu farklı çözümler ve son olarak da mesleki anlamda ilgili şahıs ve kurumların hasta sağlığı gözetilerek BT dozlarıyla ilgili alması gereken tedbirler paylaşılacaktır.

## ULTRA DÜŞÜK DOZ BİLGİSAYARLI TOMOGRAFİ SİSTEMLERİ

Dr.Öğr.Üyesi Ayşegül YURT

Dokuz Eylül Üniversitesi, Medikal Fizik Anabilim Dalı

Bilgisayarlı Tomografi(BT), tanı ve girişimsel uygulamalara rehberlik etme konusunda en yaygın kullanılan görüntüleme cihazıdır. BT, daha iyi kanser teşhisi ve tedavisi, daha iyi patoloji ve travmayı tanımlama, inme ve kalp koşulları ile ilgili daha iyi tanı koyma olanaklarına sahiptir. Bununla birlikte, cihaz ve bilgisayarlardaki teknolojik gelişmelerle 20 yıl önce dakikalarca süren bir tetkikin şimdilerde tek bir nefes tutma süresinde ve saniyeler içinde bitirilebilmesi, daha fazla doku-organın daha kısa sürede ve daha yüksek çözünürlükte incelenebilmesi, dinamik, angiyoğrafik ve fonksiyonel incelemelere imkânları nedeniyle BT kullanımı her geçen artmaktadır. Örneğin Amerika'da 2000 yılında 46 milyon, 2007'de 69 milyon (7 milyonu çocuk) ve 2018'de toplam 270 milyon BT çekimi gerçekleştirilmiştir. Bunun bir sonucu olarak, 2009 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bir araştırmada, tüm görüntüleme yöntemlerinden elde edilen etkin radyasyon dozunun % 75.4'ünün % 11'i X-ışını bazlı diğer incelemeler olmak üzere büyük çoğunluğunun BT'den kaynaklı olduğu vurgulandı.

2000'li yılların başında BT'de radyasyon dozlarıyla ilgili endişeler başladı. İlk olarak pediatrik BT'ye odaklanılmış olup tıbbi görüntüleme uygulamalarından kaynaklı kanser olma riski tartışmalı olmasına rağmen endişe uyandıran makalelerin sayısı da her geçen gün artmaktadır. Örneğin, 200 mSv'lık bir doza maruz kaldıktan sonra bazı vakalarda 55 yıl boyunca bir sorun görünmemesine rağmen 2 yıl gibi kısa sürede lösemide artışlar gözlemlendiğini tanımlayan kaynaklar bulunmaktadır. Kişilerin yaşamları boyunca çeşitli nedenlerle kansere yakalanma riski %40 civarında olduğu düşünülürse mevcut kanser riskine ilave olarak; her alınan 1 mSv doz için kansere yakalanma riski yüz binde 5, tek bir akciğer filmi çektirenlerde milyonda 1-2 ve tek bir BT inceleme yaptırılarda ise bu olasılık 2 binde 1'dir.

Tüm bu tartışmaların arasında BT tarayıcılarındaki teknik gelişmeler, BT'nin tanısız güvenilirliğini geliştirmiş, bu da hem BT uygulamalarının hem de radyasyon dozunun çok fazla artmasına neden olmuştur. Bu nedenle radyologlar ve konunun uzmanları, ALARA prensibi'ne göre tanısız görüntü kalitesini korurken BT çekimlerinde hasta dozlarını azaltmak için uğraşmaya ve yenilikçi yaklaşımları kullanmaya başladılar. BT'de radyasyon dozunun x ışını tüp voltajı ve akımı, rotasyon süresi, pitch, kesit kalınlığı seçimi, tarama süresi ve akım modülasyon tekniklerini içeren birkaç kontrol edilebilir parametreden etkilendiği bilinmektedir. Ancak bu konuda alınacak önlemler yeterli olmadığından üretici firmalar görüntü kalitesini koruyarak hasta dozlarını azaltmak amacıyla Düşük Doz BT/Ultra Düşük Doz BT cihaz teknolojilerini ileri sürdüler. Bu teknoloji, düşük gürültülü verilerin elde edilmesi için optimize edilmiş dedektör tasarımlarını, rekonstrüksiyon (görüntü oluşturma) algoritmalarını ve görüntü filtrelerini içerir. Burada uygulanabilir en önemli yenilikçi yaklaşım Iterative Rekonstrüksiyon(IR) algoritmalarıdır ve farklı üretici firmaların farklı ticari isimlerle IR algoritmaları vardır (Tablo 1).

Tablo 1: Üretici Firmalara göre Model Tabanlı ve Hibrid-Tip Iterative Rekonstrüksiyon Algoritmaları

	Metod	Üretici Firma
Model-tabanlı Iterative Rekonstrüksiyon(IR)	Veo	General Elektrik (GE)
	IMR	Philips
	FIRST	Canon Medikal Sis. (Toshiba)
Hibrid-Tip Iterative Rekonstrüksiyon (IR)	ASIR	General Elektrik (GE)
	iDose	Philips
	IRIS	Siemens
	SAFIRE	Siemens
	ADMIRE	Siemens
	AIDR 3D (integrated)	Canon Medikal Sis. (Toshiba)
	Intel IP	Hitachi

Her firmanın farklı IR uygulamaları (görüntü tabanlı, istatistiksel / hibrit tabanlı, model tabanlı ve bilgi tabanlı) bulunmakla birlikte klinik sonuçları çarpıcı bir şekilde değişmektedir. Örneğin; IMR'li referans protokollerinin büyük çoğunluğu için 5 dakikadan daha kısa sürede görüntü hesaplama ile önemli ölçüde daha düşük doz ve görüntü kalitesinde önemli gelişmeler göstermiştir. Fantom testleri, filtreli geriye projeksiyon yöntemi ile ilişkili olarak IMR'nin % 60 - % 80 daha düşük radyasyon dozu, % 43 - % 80 düşük kontrast tespit edilebilirlik iyileştirmesi ve % 70 - % 83 daha az görüntüde gürültü göstermiştir. Bu rekonstrüksiyon algoritmalarının görüntü kalitesini artırma, radyasyon dozunu azaltma ve rutin hastane iş akışına entegrasyonuna uygunluğu açısından sağladığı önemli avantajları vardır.

## Radyoterapide Oda Dizaynları ve Çevre Doz Ölçümleri

Doğan Yaşar<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kırşehir

**Amaç :** Yüksek enerjili iyonlaştırıcı radyasyon içeren radyoterapi odalarının tasarımında, gerek çalışanın ve gerekse çevredeki bulunan insanların radyasyondan korunması esastır. Bu bağlamda, odaların tasarımında kontrollü ve denetimli alanlar belirlenirken mesleki ve toplum üyeleri için önerilen doz sınırlamaları kullanılmaktadır. Bu nedenle, mesleki ve toplumun radyasyona maruz kalmasına karşılık gelen kişisel doz sınırlarının aşılması için doz sınırları esas alınmaktadır.

**Gereç ve Yöntem :** Radyoterapi odaları birincil ve ikincil bariyerlerden oluşur. Radyasyon demetinin isabet ettiği alanlar birincil bariyer olarak adlandırılır. Radyoterapi odası, bir mekânın üzerinde bulunuyorsa, oda zemini birincil bariyer olmalıdır. İkincil bariyerler, yalnızca saçılan ve sızıntı radyasyonuna karşı koruma sağlamaktadır. Birincil ve ikincil bariyerlerin tasarımında iş yükü, kullanma faktörü ve meşguliyet faktörü belirlenmelidir. Bu bağlamda; {İş yükü (W)}, haftalık radyasyon dozu hesabında kullanılır. Lineer hızlandırıcılarda, bir iş günü 8 saat kabulü ile tedavi edilen ortalama hasta sayısı 50'dir. NCRP Raporu 49, hızlandırıcılar için haftada beş gün kabulü ve hasta başına 1 m'de 4 Gy doz ile haftada 1000 Gy'lik bir iş yükünü önermektedir. {Kullanma faktörü (U)}, her bir ışın yönünde gereken bariyer kalınlığını hesaplamada kullanılır. {Meşguliyet faktörü (T)}, çalışma alanında en uzun kalan bir kişi tarafından harcanan zamanın bir kesri olarak düşünülür. Radyasyondan korunmada bariyerleri tasarlarlarken iş yükünün yıl boyunca eşit olarak dağıldığı varsayılır. Bu nedenle, yıllık sınırın bir buçuk katına eşit haftalık bir doz sınırını karşılayacak bir bariyer tasarlanır. Tedavi odalarının zırhlama tasarımında iki farklı doz ölçüm tekniği kullanılmaktadır. {Anlık doz hızı sınırını (IDR)}, Bu yöntemde bir dakika üzerinden, saat cinsinden doz hızı ölçen dozimetrenin doğrudan okumasının ortalamasıdır. {Zaman ortalamalı doz hızı (TADR)}, belirli bir süre boyunca ortalama doz hızını zayıflatan bariyerdir. Radyasyondan korunmada kullanılan malzemeler normal veya yüksek yoğunluklu beton, çelik veya kurşundur. Betonun temini ve inşaat için kullanımı daha kolay olduğundan, genellikle en ucuz malzemedir. Bina yapımında beton yoğunluğu 2350 kg/m<sup>3</sup> standart beton kullanılmalıdır. {Labirentler (Şaşırtma Duvarları)}, girişe yakın radyasyon dozunu azaltmak için, odaya giden sınırlı bir geçiş yoludur. Bir labirent tasarlarlarken, hasta ve oda duvarları tarafından X ışınlarının saçılma özellikleri bilinmelidir. 60Co ve 10 MV altında çalışan X ışını sistemlerinde sızıntı ve saçılan radyasyon dikkate alınmalıdır. {Kanalların Sızıntı Durumu}, tedavi odası duvarlarındaki kanallar ve iletim hattı yeterince sızdırmazlık sağlanmalıdır. Kanalların sadece tedavi odasına ikincil engellerle girmesi önerilir. Kanal radyasyon yönünde bariyere dik planlanmamalıdır. {Çatılar}, radyasyon demetinin isabet ettiği çatı birincil bir bariyer olmalı. Tek katlı bir bina ise, çatı alanına erişimin sınırlandırılması göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda bitişik binaların ışınlanmasına neden olabilecek skyshine etkisi de düşünülmelidir. {Kapı özellikleri}, kapı önündeki gerekli tasarım doz sınırına bağlı olarak belirlenir. Kontrollü bir alan için yıllık belirlenen doz sınırı, İngiltere'de yılda 6 mSv veya ABD'de NCRP yılda 10 mSv'lik bir kesri önermektedir. 60Co teleterapi sisteminde erişimin kullanım saatleri dışında sınırlandırılabilmesi için kilitlenebilir kapıları olması önerilir. {Nötronların Zırhlaması}, yüksek enerjili lineer hızlandırıcılarda 10 MV'nin üzerinde nötron üretimi önem kazanmaktadır. Fotonlar, kolimatörler, düzleştirici filtreler, elektron ve foton demetinin yolu üzerindeki diğer malzemelerle etkileştiğinde foto-nötronlar üretilmektedir. Bununla birlikte (n,2n) ve (n,p) etkileşimleri ve diğer esnek olmayan saçılmalar nedeniyle, ağır metaller nötronların ortalama enerjisini düşürerek koruyucu etkiler sağlarlar.

**Sonuç :** Cihazın faaliyete geçmesiyle birlikte tesisin fiziki koruma yeterliliği, radyasyon sızıntı ölçümlerine dayanmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyondan korunma, radyoterapi, zırhlama,



## Medikal Fiziğin Geleceği

Mehmet Ertuğrul Ertürk

Medikal fizik uygulamalı fizik ve mühendisliğin bir koludur. Medikal Fizik temel olarak tedavi ve görüntüleme olmak üzere iki kısımdan oluşur. Medikal görüntülemenin oluşmasında en önde yer alan disiplinlerdendir ve Radyasyon Onkolojisinin öncülüğünü yapmıştır. Medikal Fizik Uzmanları, çalışanların mesleki maruziyet için radyasyon güvenliğini sağladığı gibi hastaların ve kamunun da radyasyon güvenliğini sağlar. Medikal Fizik günümüzde ayrıca optik görüntüleme, nanoteknoloji ve nanotıpta da yer almaya başlamıştır. Son gelişmelerle birlikte radyoterapide görüntü kalıvuzluğunun bilgisayarlı tomografiden (BT) nükleer manyetik rezonans görüntülemeye (MR) dönmeye başladığını görülmektedir. Görüntülemeye ise BT dozu halen dahi önemli bir husustur. Bunun yanı sıra gündemi meşgul eden diğer konular yüksek riskli hastalarda akciğer kanseri taraması ve yeni algoritmalarıdır. Sağlık alanındaki önemli yeri olan Medikal Fizik endüstri 4.0 ile gelen kavramlarla beraber kendini yeniden şekillendirmeye ihtiyaç duymaktadır.

Endüstri 4.0 ile gelen kavramlar tüm dünyada gelecek sorusunu gündeme getirmiş ve konu sosyal bilimler için önemli araştırma konusu haline gelmiştir. Her endüstri adımının tarihte ve mesleklerde önemli değişimlere neden olması Medikal Fizik içinde “gelecek” sorusunun doğmasına neden olmuştur. Tarihiçi Prof. Dr. Yuval Noah Harari'nin kitaplarında verdiği güzel bir örnek vardır. Eğer 14. yüzyılda yaşamakta olan bir insanı alıp 16. yüzyıla getirirseniz çevresine adapte olmakta hiç sıkıntı çekmeyecektir. Çünkü dünyadaki değişim bu geçen yüzyıllar arasında o kadar azdır ki, bu iki yüzyılın imalat ve tarım teknikleri arasında neredeyse hiçbir değişiklik yoktur ve kişinin 200 yıl öteye gittiğini anlaması mümkün değildir. Ancak çağlar arası geçiş yapan kişinin çağ değiştirdiğini anlamaması 19. yüzyıldan günümüze geldikçe mümkünlüğünü kaybedecektir. Günümüzde değişim o kadar hızlanmıştır ki bırakın yüzlerce yıl öteye gitmeyi on yıllık bir uykudan uyunan kişi bile çevresinde gördüklerine adapte olmakta zorlanacaktır. Bu baş döndürücü gelişim Medikal Fizik için de geçerlidir. Günümüz popüler kavramlarından olan “büyük veri” ve yapay zeka başlıklarına dört yıl öncesinde neredeyse hiçbir kongre ve toplantıda rastlanmazken, 2018 AAPM'de 210 toplantının yaklaşık kırk tanesi büyük veri, yapay zeka ve benzeri konular hakkındadır. Ancak sadece bir sene önce; 2017'de ise bu başlıklar sadece dört tane oturumda ele alınmıştır. Bu durum gelişimin ne kadar hızlı olduğunu ve aynı zamanda bu kavramların medikal fizik literatürüne de ne kadar güçlü giriş yaptığının göstergesidir. Değişim ve gelişimin bu kadar hızlı olduğu ve trendlerin bu kadar çabuk değiştiği bir süreçten Medikal Fiziğin etkilenmemesi mümkün değildir. Bu kestirilemez hızlı değişim her alanda olduğu gibi “gelecek” sorusunu dile getirmiştir. Hayatın ve bilimin içinde olmasının sonucu olarak Medikal Fizik'te de “gelecek” sorusu sorulmaya başlanmıştır.

Teknoloji çok hızlı değişmektedir. Endüstri ve araştırmalardaki güçlü gelişmeler sayesinde farklı modaliteler değişik kombinasyonlarla birleştirilmektedir. Uzun zaman önce BT ile pozitron emisyon tomografisi (PET) birleştirilmesi gibi farklı modalitelerin birleştirilmesi denemektedir. MR\BT, MR\PET ve PET\CT-MR oluşturulması konularında çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bu modalitelerin görüntülerinin füzyon yapılması ile daha iyi tanınabilir sonuç elde etmeye yönelik çalışmalar da mevcuttur. Radyoterapide de tedavinin nasıl gerçekleştiğini görmek amacıyla çeşitli görüntüleme sistemlerinden faydalanılmaktadır. Radyoterapide, doğrusal hızlandırıcılar düzlemsel görüntüleme sistemleri, inroom CT, Conebeam CT, ultrason görüntüleme (USG) ve MR ile birleştirilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmaların önemli bir kısmı meyvelerini vermiş ve günümüzde de aktif olarak kullanılmaktadır. Nükleer tıpta radyonüklid tedavisinde ise onlarca yıldır gelişim sözcüğünün içini dolduran birçok ilaç denenmiştir. Her geçen gün üstün araştırmalar ve gelişen dozimetrik sistemler sayesinde yeni radyonüklidler ve yeni moleküller sahneye çıkmaktadır. Tüm bunlarsa göz açıp kapayıncaya kadar gerçekleşmektedir. En büyük değişimse büyük veri “big data” ve yapay zekada gerçekleşmektedir. Bu iki kavram ise Medikal Fiziğin tüm yönlerde gelişimini hızlandırmaktadır. Hızla gelişen bunca sistem ise kalite kontrolün önemini arttırmakta ve vazgeçilmez hale getirmektedir. Kalite kontrol yeni gelişimlere adapte edilmeli ve onlara paralel geliştirilmelidir.

Yazının başında da ifade edilmeye çalışıldığı üzere “gelecek” kelimesini içeren başlıklar sadece Medikal Fiziği ilgilendiren bir başlık değildir. Endüstri 4.0 ile beraber gelen kavramlar ve yeni endüstriyel gelişmeler ışığında kartların yeniden dağıtıldığı bu dönemde medikal fiziğin nerede yer alması gerektiği sorusu kaçınılmaz olmuştur. Bu soruya cevap Medikal Fizik 3.0 ile verilmeye çalışılmaktadır. Geleneksel yaklaşımda, yaklaşık yüz yıldır süre gelen süreçte Medikal Fizik Uzmanı cihazların kabulü, devreye alınması, kalibrasyonu, kalite kontrol süreçleri, akreditasyonu ve dozimetresi gibi Medikal Fizik 1.0 içinde kabul edilen konularla ilgilenmiştir. Şüphesiz, Medikal Fizik Uzmanının bu alanlardaki yetkinliği, verimliliği, etkinliği ve başarısı tartışmaya açıktır 2011 yılında medikal Fizik 2.0 kavramı gündeme gelmiştir. Medikal Fizik 2.0 kavramı Ehsan Samei ve J. Anthony Seibert tarafından kaleme alınan Medical Physics 38, 2011 dergisinde yayınlanan “The tenuous state of clinical medical Physics in diagnostic imaging” adlı editoryal makedir. Yazı Medikal Fizikçinin klinikte daha fazla yer alması gerektiğini savunmaktaydı. 2012 yılında “The 2014 initiative can have potentially unintended negative consequences for medical Physics in diagnostic imaging and nuclear medicine” başlıklı tartışma yazısı Samei ve Button tarafından kaleme alındı ve Medical Physics dergisinin 39. sayısında yayımlandı. Aynı yıl içinde SEAAPM Sempozyumunda “Quality, Safety and Compliance: How to address the triple challenge of modern imaging and therapy” başlıklı sunum gerçekleştirildi. Bu yazılar ve sunumlar Medikal Fizik Uzmanının kliniğe daha fazla katkı yapması gerektiğini savunan çalışmalarıdır. Medikal Fizik 3.0 kavramı



ise Medikal Fiziğin mevcut ilgi alanları olan görüntüleme ve tedavideki rolünden öteye geçerek tıbbın başka alanlarında da yer alması gerektiğini savunmaktadır. Medikal Fizik 3.0 a göre medikal fizik pekâlâ cerrahi, ortopedi, dişçilik, kardiyo-  
loji, nanotıp ve nörotıp gibi benzeri alanlarda tıbbı büyük katkılar sağlayabilir. Çünkü fizik her yerdedir. Medikal Fizik 3.0 kavramı “Her Hasta için Fizik” sloganı ile yola çıkmıştır. Bu iddialı vizyon modern tıpta fiziğin rolünü yeniden tanımlamak ve güçlendirmeyi hedeflemektedir.

Medikal Fizik 3.0 kendini Medikal Fizikte sürdürülebilir mükemmelliği tanımlamak ve uygulamak için bir girişim olarak tanımlanmaktadır. Böyle bir girişime gerekçe olarak sağlık hizmetinde geniş ve derin değişikliklerin devam etmekte ve hızlanmakta olduğunu belirterek mesleğin bu değişimleri baştan ele almasının acil olduğu savunulmaktadır. Medikal Fiziğin değere dayalı, kişiselleştirilmiş ve kanıta dayalı tıp sunmak için yeni görevlerle karşı karşıya olduğu ifade edilmekte ve bu gerçekliklerin Medikal Fiziğin değişmesini gerektirdiğini belirtmektedir. Bu durumun Medikal Fiziği bir dönüm noktasına getirdiği ve bu nitelikteki herhangi bir ilerlemede, hedefleri anlamak ve ilerlemeyi netleştirmek, birleştirmek ve motive edebilmek için proaktif bir standart belirlemek çok önemli olduğu dile getirilmiştir. Medikal Fizik 3.0 girişimi bu kapsamda bir yol haritası yayınlamıştır.

Medikal Fiziğin geleceğine dair önemli sorulardan biri de geleceğin Medikal Fizik Uzmanlarının nasıl yetiştirilmesi gerektiğidir. Bu soru İtalya Milan’da düzenlenen 38. Estro’da tartışılmıştır. Physicsworld internet sitesinde ve MedFiz@online elektronik dergisinin 22 sayısında yer alan habere göre tartışmaya katılan 5 uzman Medikal Fizik eğitiminde neye ağırlık vermesi gerektiği konusunda görüşlerini dile getirmişlerdir. Her bir uzman farklı bir konuyu savunmuştur. Tartışmada uzmanlar sırası ile Medikal Fizikçilerde görüntüleme bilgisinin geliştirilmesi, matematiksel modelleme bilgisinin geliştirilmesi, bilişim bilgisinin geliştirilmesi, liderlik ve yönetim bilgisinin geliştirilmesi ve temel fizik becerilerinin geliştirilmesi gerektiğini savunmuşlardır.

Değişim çağının içinde olduğumuz bu dönemde biz Medikal Fizik Uzmanlarına düşen görev meslektaşlarımızla, radyologlarla, onkologlarla, servis mühendisleriyle ve yönetimle güçlü bir ilişki kurmaktır. Bu ilişkide bilimsel yeterliliğimizi ve gerçekten konunun uzmanı olduğumuzu göstermemiz gerekmektedir. İşimizin sadece kalite kontrol, kalite temini ve plan yapmaktan ibaret olmadığını kavramalı ve kavratmalıyız. Klinik protokollerin oluşturulmasında aktif rol almamız sadece konumuzun gereği değil aynı zamanda hasta tedavilerinin kalitesini arttırmaya yönelik atmamız gereken bir adımdır. Gelecek ne olursa olsun sürekli kendimizi geliştirmeli ve eğitimi hayatımızın rutinine yerleştirmeliyiz. Sadece klinikle yetinmemeli, araştırmalarda yer almaya çalışmalı ve klinik işleyiş, araştırmalar ve eğitim arasındaki bağlantıyı güçlendirmeliyiz. Çağın gereği olarak artık görüntüleme fiziği ve radyoterapi fiziğini birlikte değerlendirmeliyiz. Unutmamalıyız ki değer katabileceğimiz bir sürü yeni ekipman hala cevap bekleyen sorularıyla hayatımıza girmektedir. Mesleğimizin sınıflandırılmasında kullanılan “uygulamalı” kavramını ne ölçüde yerine getirdiğimiz medikal fiziğin geleceği sorusunda vereceğimiz cevap olacaktır.

Radyocerrahide Yenilikler  
Fiz. Dr. Öznur Şenkesen

Teknoloji ve yazılım dünyasının her alandaki gelişimine paralel olarak, son yıllarda Radyoterapi tedavi cihazlarında, tedavi planlama sistemlerinde ve dijital görüntüleme alanlarında yaşanan gelişmeler radyoterapi uygulamalarında devrim yaratmaya devam etmektedir.

Radyoterapinin hemen tüm iş akışını etkileyen yüksek teknolojideki baş döndüren gelişmelere ek olarak, moleküler tedavilerin (hedefe yönelik ajanlar, immünoterapi vb) uygulandığı bazı hasta gruplarında, sağ kalım sürelerinin önemli oranda arttığı yapılan çalışmalarla ortaya konmaktadır. Son yıllarda SRC/SBRT/SABR (Stereotaktik Radyocerrahi / Stereotaktik beden radyoterapisi/ Stereotaktik ablatif radyoterapi) teknikleri giderek artan sayıda hastaya uygulanmaya başlamıştır. Beyin metastazlarında, standart olan tüm beyin ışınlamaları yerini, nörokognitif fonksiyonların korunmasını sağlayan SRC'ye bırakmıştır. Bir çok kanser türü, özellikle küçük hücreli dışı akciğer kanseri ve meme kanseri hastalarında sıklıkla görülen, lokal tedavi ile kür sağlanma potansiyeli olan sınırlı yaygınlıkta metastatik hastalık olan Oligo metastazların tedavisinde, palyatif standart tedavi yerine, SRC uygulanmasının immünoterapiye katkı sağlayarak abskopal etkiye neden olduğunu ve sağ kalımı arttırdığını gösteren çalışmalar yayınlanmıştır. Kemik metastazlarında özellikle vertebra ışınlamalarında nörolojik fonksiyonların korunmasında, bir çok organ için normal doku fonksiyonlarının korunmasında, ağrı kontrolünde, hastalığın lokal kontrolüne katkısı ve tedavi süresinin kısalığı avantajları nedeniyle standart tedaviler yerine SRC uygulamaları sıklıkla tercih edilmektedir.

Radyoterapinin, 1-5 fraksiyonda çok küçük bir hacme, çok yüksek dozların uygulandığı SRC alanında yaşanan yenilikleri dört ayrı başlıkta toplayabiliriz. 1) Cihazların uygulama teknolojileri 2) IGRT sistemlerindeki yenilikler ve eşzamanlı adaptif uygulama teknolojileri 3) Tanı ve Takipte kullanılan Görüntüleme Sistemlerindeki gelişmeler 4) Tedavi planlama sistemi yazılımlarının katkısı.

SRC uygulamalarında, Kobalt-60 kaynaklı konik kolimatör sistemli cihazlar, Dinamik konformal ark ve Volumetrik ark yapabilen linaklar, Robotik non izosentrik linaklar, MR-Linaklar gibi farklı cihazlar kullanılmaktadır. SRC/SBRT (Stereotaktik beden radyoterapisi) uygulamalarında kullanılan cihazların son yıllardaki dönüşümünü kısaca özetleyecek olursak; İlk defa 1951 yılında SRC'nin uygulandığı cihaz olan Gamma knife'in, yıllar içinde 4 farklı modeli üretildi. İlk Gamma knife (GK) dizaynından bazı küçük farklılıklarla iyileştirilen ama çok önemli değişiklikler göstermeyen cihaz, 2006 yılında Perfexion modeli ile yepyeni bir uygulama platformuna dönüştü. Bu sistemle GK'nın kolimatör sistemi ve kaynak dizilimi tamamen değişirken hasta pozisyonlama sisteminde de önemli değişiklikler gerçekleşti. 2016 yılında Perfexion modele On-line IGRT - CBCT, on line takip sistemi, görüntü eşleştirme algoritmaları ve eş zamanlı adaptif planlama fonksiyonları eklenerek ICON model kullanıma sunuldu. ICON (Elekta) sistemi ile çerçeve kullanılarak tek fraksiyonda yapılan ve invaziv olması nedeniyle dezavantaj olarak görülen uygulamalardan, termoplastik maske kullanımı ile fraksiyone SRS uygulamalarına imkan tanındı. Volumetrik ve konformal ark yapabilen lineer hızlandırıcılarda, yüksek doz hızlı FFF (düzleştirici filtresiz) foton enerjileri kullanımı, SRC uygulamalarında tedavi süresinin düşürülmesini sağlamıştır. Yüksek teknolojiye sahip HD MLC lineer hızlandırıcılarda Co-planar ve non co-planar ark alanları ile daha keskin doz düşüşü elde edilerek, kritik organ dozları minimuma düşürülebilmektedir. 2016 yılında ilk kez duyurulan ve hala üzerinde çalışılan Hyper Arc VMAT (HA-VMAT, Varian Med. Sys.), çoklu beyin metastazları için tedavi planlama sistemine eklenen bir yazılım ile masa, gantri, kolimatör açısı ve MLC hareketini optimize ederek oluşturulan ve lineer hızlandırıcıda masa açısı, görüntüleme, gantri rotasyonu ve ışınlamayı senkron bir şekilde yapan, oda içine girilmeden tamamlanabilen algoritma destekli volümetrik ark optimizasyon ve tedavi uygulama tekniği olarak sunulmaktadır. 4Pi (BrainLAB AG) tekniğinde yine algoritma destekli VMAT optimizasyon yöntemi olarak geliştirilmektedir.

Radyocerrahi uygulamaları CyberKnife (Accuray Int.) ile 2004 yılından itibaren yapılmaktadır, yıllar içinde MLC kolimatörü eklenmesi ve IGRT sisteminin yenilenmesi ile uygulama alanları genişlemiş, tedavi sürelerinde önemli oranda azalma sağlanabilmiştir.

2017 yılında ilk hasta tedavilerine başlanan MR Linak sistemleri, halen online adaptif ve tümör takibi yapabilen cihaz olarak özellikle hareketli hedeflerin SRS ve SBRT uygulamaları için tercih edilen bir sistemdir. MR teknolojisinin IGRT sistemi olarak tedavi sırasında tümör takibinde kullanılması cihazın en önemli üstünlüğüdür. Ayrıca her gün hedefin yeri ve pozisyonunun yeniden belirlenmesiyle yeniden plan optimizasyonu yapılabilmesi, gerçek on line adaptif uygulamasını gerçekleştirmesine izin vermektedir.

Proton cihazlarında SRS/SBRT uygulamaları, pencil-beam scanning (PBS) teknik kullanılarak yoğunluğu ayarlı proton tedavisi (IMPT) ile mümkün olmaktadır.

Son günlerin en çok konuşulan yöntemi Flash tedavi, saniyeler içinde (40Gy/sn- Ultra high dose rate) istenen dozu belirlenen hedefe verirken, sağlam dokuların korunmasını sağlayan yöntem henüz çok yeni, ancak deneysel sonuçlar oldukça umut vericidir. Hayvan çalışmalarından elde edilen başarılı sonuçlardan cesaretlenilerek ilk hastalara uygulanmaya başlanmıştır. Henüz çok az sayıda merkezde başlanan uygulamalara ait klinik sonuçlar merakla beklenmektedir. Radyocerrahi uygulamalarında kullanımı henüz bildirilmemiş olsa da gelecekteki radyoterapi uygulamalarını değiştirebilecek potansiyele sahip olduğu bildirilmektedir.

Lattice ve Grid tedavi teknikleri de, başlangıcı eski olmasına rağmen son yıllarda yeniden gözde olmaya aday tekniklerdir. Büyük hedefin içinde küçük hacimler ışınlanarak tümörün içine çok yüksek dozlar verilirken toksisitenin düşük olması sayesinde tedavinin tolere edilebilirliğinin arttığı görülmüş ve bu sayede güvenli şekilde uygulanması sağlanabilmektedir. Tedavi cihazlarındaki gelişmeler yanısıra IGRT sistemlerinde de önemli gelişmeler devam etmektedir.

Yenilenen IGRT yöntemleri ile iCBCT( iterative cone beam CT) ve stereotaktik görüntülemeler yardımıyla, 6 boyutta masa düzeltmesi ile tedavi pozisyonunun doğruluğu daha güvenli hale getirilmektedir. Intra fraksiyon solunum kontrolü için kullanılmakta olan sistemlere cilt yüzeyi takip sistemleri entegre edilerek kullanılan sistemler IGRT tekniğini bir adım daha ileri getirmiştir. Halen üzerinde çalışılmaya devam edilen Exactrac Dynamic (BrainLAB, AG) sistemi, Stereotaktik x-ışını temelli IGRT sistemi ile 4 boyutlu termal kamera sistemini birleştirerek, vücut ısısını göz önüne alan bir yüzey takip sistemi kullanıma sunmuştur. Bu sistem ile tedavi sırasında başlangıç pozisyonundan olan sapma sadece yüzey şekli değil ısısını da göz önüne alarak, on-line masa düzeltmesi yapılabilmektedir.

Radyoterapide planlama amaçlı, hedef belirlemede kullanılan PET/CT-MR görüntülemelerinin ileri görüntü eşleştirilme algoritmaları ile daha hassas ve doğru sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Son yıllarda, Yapay zeka (AI-artificial intelligence), makine öğrenmesi (machine learning- deep learning), Neural network gibi yöntemler, görüntüleme teknolojileri ve hedef ve kritik organların otomatik konturlaması için geliştirilen yazılımların oluşturulmasında sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Aktif tümör ve tümör dokusu olmayan bölgelerin ayrımı ile ilgili klinisyenlere yön gösteren TRAM (Treatment response assessment maps, BrainLAB, AG) tümörün progresyonunu nekrozdaki ayırt edilebilmesini yüksek oranda başaran yeni nesil yazılımdır. Radyoterapi uygulanmış bölgenin 2.seri radyoterapi kararını büyük ölçüde değiştirme potansiyeline sahiptir. Yapay zekanın, konturlama için kullanılan MR görüntülerinden beyin metastazlarını ayırt edebilmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda önemli oranda doğru sonuçlar alındığı bildirilmektedir.

Tedavi Planlama sistemlerinde makine öğrenmesi dönemi 5 yıl önce başlamıştır. Yapılan çalışmalarla, hem hedef hacim ve kritik organlar için otomatik konturlama yazılımları hemde otomatik plan yapan yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlar daha önce bilgisayardan alınan verileri kullanarak, belirlenen hedef ve normal dokular için en iyi doz dağılımlarını, en hızlı şekilde yapabilmeyi başarmaktadır. Çoklu beyin metastazlarında tek izomerkez ile tedavi planlama ve spinal SRS gibi çok özel SRS uygulamaları amacıyla geliştirilen algoritma destekli volümetrik arc planlama yazılımı (Elements – BrainLAB , AG) ve İstenen planı en iyi, hızlı ve doğru şekilde karşılaması için geliştirilen optimizasyon algoritmaları (knowledge base-Rapid Plan, Varian Med. Sys.) otomatik plan değerlendirme ve kontrolü için geliştirilen yazılımlar bu alandaki gelişmelerden bazılarıdır.

Önümüzdeki yıllarda damarsal yapılar, immün sistem yanıtı, DNA hasarları vb. gibi mekanizmaların daha iyi anlaşılmasını sağlayan yeni bilim dalları, görüntüleme, on line ve off line plan değerlendirme ve gerçek zamanlı güvenli adaptif tedavilerin yapılması gibi yeni yaklaşımlar ve yapılan klinik çalışmaların sonuçlarından elde edilen yeni bakış açıları radyoterapi uygulamalarına ışık tutacak gibi görünmektedir.



## PARTİKÜL TEDAVİLERDE YENİLİKLER

Serap Çatlı

Hadron terapi, nükleer kuvvetlerle etkileşen parçacıkları kullanarak yapılan bir radyasyon tedavi yöntemidir. Bu parçacıklar protonlar, nötronlar, pionlar ve çeşitli ionlardır (alpha, Ne, C,..vb gibi). Hadron terapinin, yaygın olarak kullanılan ışın tedavisinden farkı, tümürlü hücreleri bombardıman ederken ağır parçacıkların kullanılmasıdır. Hadron terapide kullanılan "hadronlar" adı üstünde "ağır" parçacıklardır. Ağır parçacık kullanmanın zorluğu yanında, bir çok avantajı bulunmaktadır: protonlar radyasyon dozunu çok iyi bir şekilde dağıtabilirler, istenilen yere odaklayabilirler; nötronlar ise çok iyi bir tümör yokedicilerdir. Partiküler radyasyonun klinik araştırmaları özellikle hızlı nötronlarda olmak üzere devam etmektedir. Nötronlara göre daha küçük bir skalada olmasına rağmen proton ışın radyoterapisi de klinik olarak çalışılmaktadır. Diğer atomik ve subatomik partiküllerden özellikle p-mezonlar ve ağır iyonların araştırmaları genellikle sınırlı kalmıştır. Nötron radyasyonunun ana avantajı hücre ölümü için oksijene daha az bağımlı olduklarından hipoksik hücrelere karşı foton radyasyonuna göre daha etkin olmalarında yatar. Nötronların diğer potansiyel avantajları hücre siklusu fazı ile radyosensitivitede daha az değişime içermeleri ve radyasyonun yaptığı hasarda daha az tamir oluşmasıdır. Bu potansiyel avantajların klinik ilişkisi tümör hasarı yaparken normal doku hasarı yapmadığı sınırlara bağımlıdır. Nötron radyoterapisinde major dezavantaj mevcut cihazlar ile elde edilebilir kötü doz dağılımlarındadır. Baş ve boyun, pelvis ve beyinin ilerlemiş tümörlerinin nötron tedavisi araştırılmakta olan tümörlerden birkaçıdır. Nötronlar artmış RBE ve düşük OER ile yüksek LET li radyasyonlardır. Proton ışınlamasının potansiyel avantajı daha iyi doz lokalizasyonunda yatar. Proton ışınının BRAGG-PEAK diye bilinen yüksek doz bölgesi tümör üzerine doğru ve hassas olarak yönlenebilir. Işının keskin bir distal inişi ve sınırlı saçılması vardır ki bu da normal doku dozunu minimuma indirir. Proton üretimi, çok ileri teknoloji ve çok büyük alan gerektirdiği için oldukça yüksek maliyetlidir. Bu nedenle dünyada sayılı merkezde kullanılmaktadır ve ülkemizde henüz proton tedavi merkezi yoktur. Türkiye de kurulması düşünülen proton tedavi merkezlerinin teknik gelişmelere ve temel araştırmalara hem parasal hem de uygun şartlarda olanak sağlayacak şekilde planlanması ve mutlaka uluslararası deneyimli merkezlerle işbirliği yapılması önerilmektedir. Foton ya da elektron demetleriyle yapılan partiküler radyasyon proton tedavisine oranla çok daha ucuz, tüm dünyada daha yaygın kullanılan ve tedavide yüz güldürücü sonuçlar sağlayan bir tedavi şeklidir.



## Tiroit Uptake ve Nodül Ablasyonu

Mohammad Abuqbeith

M.Sc. Ph.Dc. Nuclear Medicine - Cerrahpaşa School of Medicine Istanbul University - Cerrahpaşa

**Amaç:** Bu çalışmanın amacı Graves, Toksik Adenom ve tiroid kanseri ablasyonunda tedavi yanıtını değerlendirerek doz hesaplamasının etkinliğini göstermek ve farklı hesaplama yöntemlerinin etkisini analiz etmektir.

**Materyal ve metodlar:** Hastalar (n = 25) Graves, (n = 15) Toksik Adenom (n = 10) ve 21 tiroid kanseri hastasıydı. 0.5-5.5 MBq <sup>131</sup>I uygulanmasından sonra 2, 24, 48, 72, 96. saatlerde tiroid uptake değerlerini ölçmek için sodyum iyodür kristali NaI (TI) ile kullanıldı. Boyun ve femur bölgeden 1 dakikaya kadar sayım alındı ve sapma hatasını azaltmak için 3 kez tekrarlandı. OLINDA, EANM ve elipsoidal tiroid modelini kullanarak absorbe edilen dozu hesaplandı.

**Results:** Ortalama efektif yarı ömür 125.8 saat (aralık: 73.7-180.1 saat) ve ortalama kalış süresi 110.1 saat (aralık: 38.4-210.2 saat) idi. OLINDA'ya göre Graves hastaları için 200 Gy verecek olan hesaplanmış aktivite (n = 15),  $359 \pm 246$  MBq idi. EANM ve elipsoidal tiroid modelinin ortalama sapması sırasıyla -% 4 ve % 15 idi. Toksik adenom hastalara 300 Gy vermek için hesaplanan aktivite, EANM ve elipsoidal tiroid modelinin ortalama sapma sırasıyla % 41 ve % 65 olduğu OLINDA temel alınarak  $672 \pm 348$  MBq olarak belirlenmiştir. TA hastaları, absorbe edilen dozun  $360 \pm 99$  Gy olduğu bir yıllık takipte otorit olarak değerlendirildi. Graves hastaları için 15 hastadan 10'u  $240 \pm 55$  Gy aldı ve otitroid durumu gösterirken  $\geq 385$  Gy alan kalan hastalar aşırı hipotiroidizm olarak sınıflandırıldı.

**Sonuç:** Dozimetri bazlı terapi, radyoablasyon ve hipertiroidi tedavisinin optimize edilmesinde büyük öneme sahiptir. ayrıca, tedavi önceden hastaya özel doz tespiti ve belirlenmesi, nükleer tıpta radyasyondan korunma ve uygulamanın gerekçelerinin temeli oluşturulmasına yol açar.



Uzm.Fiz.Bağnu UYSAL Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı.

Uzm.Fiz.Bilal KOVAN İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı

#### NÜKLEER TIP UYGULAMALARINDA ODA DİZAYNI VE RADYASONDAN KORUNMA

Nükleer Tıp, radyoaktif elementlerle işaretlenen biyolojik ve kimyasal yapılar sayesinde hastalıkların tanı ve tedavisiyle ilgilenen bir bilim dalıdır.Nükleer Tıp görüntüleme ve tedavi amacıyla kullanılmaktadır.Diğer yöntemlere göre en büyük avantajı fizyolojik görüntüyü de sunmaktır.

Nükleer tıp ünitelerinin öncelikle yapısı hakkında bilgi sahibi olunmalıdır. Hangi alanlardan oluştuğu, çalışma ortamı, ne tür cihaz ve aletlerin bulunduğu, havalandırma ve yalıtımın nasıl yapıldığının bilinmesi gerekir. Yalıtım konusunda dikkatli olunmalıdır. Herhangi bir radyoaktif sızıntıda hastalar ve çalışanlar zarar görebilir. Kurulum yapılacak olan laboratuvar için TAEK tarafından gerekli izinler alınması gerekir.

Tesislerin tasarımı ve kaynakların güvenliğinde. genel prensip, kaynakları kontrol altında tutmak ve kontaminasyonun yayılmasının sonuçlarını asgariye indirmektir. Hastaneler ve üretim tesislerdeki herhangi bir küçük kaynağın yerini seçerken aşağıdakiler göz önünde bulundurulmalıdır. :

a)Kaynağın emniyet ve güvenliğini etkileyecek faktörler

b) Havalandırma, zırlama ve insanların bulunduğu alanlardan uzaklık gibi özellikler dahil kaynağın neden olacağı mesleki ve toplumsal ışınlamaları etkileyen faktörler.

c)Öne çıkan faktörler hesaba katılarak, mühendislik tasarımının fizibilitesi

Nükleer tıp bölümlerinin güvenli etkin ve ekonomik işlevi açısından yerleşiminin planlı yapılması gereklidir.Tercihen müstakil bir bina içerisinde, mümkün olmayan durumlarda ise buldukları binanın zemin katında diğer bölümlerden bağımsız hasta ve çalışan yoğunluğunun en az olduğu yerde kurulmalıdır.Bölüm dışı hastaların girişleri engellenebilecek, diğer hastane çalışanlarının girişleri sınırlandırılabilir ve nükleer tıp hastalarının giriş çıkışlarını kontrol edebilecek şekilde planlanmalıdır.Yerleşim planları yapılırken ilgili alanlarda bulundurulacak radyoaktivite miktarları göz önüne alınarak yerleştirme işlemi girişten itibaren en düşük aktiviteden en yüksek aktiviteye gidecek şekilde yapılmalıdır.

Nükleer Tıpta kullanılan kaynaklar genellikle açık kaynaklardır.. Kalibrasyon ve ekipman kalite kontrolü için kapalı kaynaklar kullanılır.

Pek çok açık kaynak (radyofarmasötikler) farklı teşhis ve tedavi uygulamalarında kullanılır.

Radyonüklid	Diagnostik	Tedavi
Saf gama yayıcı (ör. Tc-99m, In-111, Ga-67, I-123)	X	-
Pozitron yayıcı ( $\beta^+$ ) (ör. F-18)	X	-
$\beta^-$ yayıcı ve gama yayıcı (ör. I-131)	X	X
Saf $\beta^-$ yayıcılar (ör. P-32, Sr-89, Y-90, Er-169)	-	X
Alfa yayıcılar (ör. At-211, Bi-213)	-	X

Bina, güvenlik sistemleri yada ekipman yada odada bulunan cihazlar, istenmeyen bir radyasyon maruziyetinin oluşma olasılığını azaltacak biçimde tasarlanmalıdır.Bina tasarımı, yapılacak işin türünü ve kullanılacak radyonüklidleri (ve aktivitelerini) dikkate alınmalıdır. Havalandırma, tesisat, duvar,döşeme ve tezgahlarda kullanılacak malzemeler ile ilgili özel ihtiyaçları belirlemek için, ICRP'nin tehlike ve güvenlik değerlendirme standartlarına uyulmalıdır.Yıkanabilir ve kimsayal değişikliğe dirençli geçirgen olmayan bir materyal ile denetimli alanların döşemesi yapılmalıdır. Çeker ocağın bacası,

toplumsal ışınlamaya neden olmamalıdır.

Çalışma alanına yakın düşük trafikli bir yere yıkama için lavabo koyulmalıdır. Musluklar doğrudan el teması olmadan çalıştırılmalı ve tek kullanımlık havlular ve sıcak hava üfleyen kurutucu bulunmalıdır. Laboratuvar yakını veya içerisinde acil duş bölgesi olmalıdır.

Enjeksiyon yapılan, hastaların kullanımı için ayrı bir tuvalet tavsiye edilir. Binalarda, normal hijyen tedbiri olarak ayrı bir yıkama lavabosu bulunmalıdır Radyoaktif atıkların geçici olarak depolanması ve kaynakların saklanması için gerekli biçimde korunaklı bir alan gereklidir.

Uygun personel koruyucu ekipman sağlanmalı ve çalışan tüm personelin kullanımı için uygun biçimde bakımı yapılmalıdır. Sağlanan güvenlik ekipmanı, koruyucu giysiler (önlük, eldiven, ayakkabı, galoş vb) ilgili şahıslar için vücut kontaminasyonunu engelleyecek biçimde olmalıdır.

Kaynak ve el arasındaki mesafeyi artırarak radyasyon ışınlanmasını azaltmak için, forseps ve maşalar bulunmalı ve kullanılmalıdır. Özellikle el ve kolların ölçümünü kolaylaştırmak için seyyar bir kontaminasyon monitörü hazırda bulunmalıdır.

Nükleer Tıp ve radyofarmasi ekibi, şırınga ve şişe zırhları kullanılmalıdır. Zırhlama esasen gama radyasyonundan korunmak için kullanılır ancak,  $^{32}\text{P}$  ve  $^{90}\text{Y}$  gibi yüksek enerjili bazı beta yayıcılar için de gereklidir.

Genellikle mümkün olduğunda kaynağı zırhlamak, odayı yada şahsı zırhlamaktan daha uygundur. Zırhlama materyali ve kalınlığı, kullanılan radyonüklidlerin tipi ve miktarına bağlıdır. Gama ışınları için en sık zırhlama materyali kurşundur, ancak  $^{32}\text{P}$  gibi, yüksek enerjili beta yayıcılar, bremstrahlung üretimini engellemek için içte akrilik gibi düşük atom numaralı bir materyal de gerektirir

Nükleer Tıp departmanında, sık zırhlama konfigürasyonları zırhlı iş istasyonları, şırınga zırhları, radyonüklid kaynak şişelerinin zırhlı biçimde saklanması, kameralar arasında zırhlı paravanlar, radyoaktif atık için zırhlı kaplar olarak sıralanabilir. Ayrıca, kaynakların zırhlanmasına ek olarak, özellikle de komşu yerlerde yüksek insan yoğunluğu varsa radyofarmasötiklerle meşgul olunan yerlere de zırh koyulmalıdır. Bazen, beton yada tuğla gibi materyallerle inşaat malzemesi avantajı da zırhlama için kullanılır.

Belli bir radyonüklid için gereken zırh kalınlığını hesaplarken, bolluğu düşük olsa bile, en yüksek enerjiye sahip foton emisyonları dikkate alınmalıdır.

Uygulamalarda hedef, ALARA prensiplerine göre efektif dozların azaltılması için gerekli koruyucu çalışmaların yapılmasıdır. Hasta çalışan ve çevre güvenliği için optimum koşullarda düzenlenmiş alanlarda çalışılmalıdır.

## Radyoterapide Kalite Temini (QA) Genel Kavramlar

Murat Okutan

Radyoterapide Kalite Temininin amacı, kararlaştırılmış radyasyon dozunu bilimsel olarak kabul edilmiş kriterler içinde doğru olarak hastaya verilmesini sağlamaktır. WHO (Dünya Sağlık Örgütü) 52 ülkede, 56 enstitüye sorduğu sorulardan aldığı cevaplara göre Quality Assurance (QA) programlarının radyoterapi merkezlerinde uygulanması gerekliliğinin nedenlerini aşağıdaki şekilde sıralamıştır;

- Tedavi planlamasındaki yanlışlıklar minimuma iner,
- Ülke içindeki radyoterapi merkezleri ve uluslararası merkezlerin dozimetri ve tedavi sonuçları karşılaştırılabilir,
- Radyoterapi cihazların maksimum performansta çalışmasını sağlar,
- İstenilen kalitede tedavinin yapılmasını sağlar.

Hedef hacim dozundaki % 7 - 10 arasındaki bir değişiklik tümör kontrol olasılığında belirgin bir etkiye neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar hedef hacme verilen doz farklılığının %5 'in içinde olması gerektiğini göstermiştir.

Radyoterapi tedavisi; aşağıdaki süreçleri içerir.

Hastanın kliniğe kabulü ve tedavi kararı ile başlar. Uygulanacak tedavi protokolüne karar verildikten sonra, tedavi simülasyonu için tedavi pozisyonu ve immobilizasyon işlemi yapılır. Bu işlemde lazerlerin doğruluğu önemlidir. Hasta verileri Bilgisayarlı Tomografi (BT) cihazı kullanılarak alınır. Kullanılan BT cihazının mekanik ve görüntü testlerine uygun çalışması önemlidir. Sonra ki aşama bu hasta verilerinin işlenmesi için veri transferi ve tedavi planlama sürecidir. Tedavi planlama sürecinde hasta BT kesitleri üzerine kritik organlar ve hedef hacimlerin tanımlanması gerekir. Tanımlanan hedef hacme kritik organlara en az hasarı vererek Tedavi Planlama Sisteminde (TPS) plan yapılması izler. Daha sonra ki aşamada tedavi için uygun tedavi planının değerlendirilmesi ve bu tedavi planının onaylanıp tedavi cihazına gönderilmesi işlemi gerçekleşir. En son ve aşama hastanın TPS de yapılan ve onaylanan plan ile tedaviye girmesidir. Hasta tedaviye girmeden önce hem hasta QA 'i hem de tedavi sırasında hastanın yatış pozisyonunun (set-up) doğrulama işlemi yapılır. Set-up ise hastanın tedavi sırasındaki yatış pozisyonunu doğrulama işlemidir. Eğer hasta tedavi planı yapıldığı gibi tedavi cihazında yatıyorsa tedaviye alınır ve bu işlem tedavi boyunca tekrarlanır.

Radyoterapi, farklı disiplinleri (Radyasyon Onkoloğu, Sağlık Fizikçisi, Radyoterapi Teknikeri ile Cihaz Servis Mühendisi) içeren bir bilim dalıdır. Sorumluluklar bu farklı disiplinler arasında paylaşılmalı ve açıkça belirtilmelidir. Her görevli kendi sorumluluk ve rollerine uygun niteliğe (eğitim, deneyim) sahip olmalıdır.

Radyoterapide QA ile ilgili kanun ve düzenlemeler henüz yapılmamıştır. Bazı topluluklar (AAPM; The American Association of Physicists in Medicine. ICRP; International Commission on Radiological Protection. ICRU; International Commission on Radiation Units and Measurement. HPA; Hospital Physicists Association (U.K). IAEA; International Atomic Energy Agency) bu konuda çıkardıkları raporlarla öneride bulunmaktadır.

Radyoterapi merkezlerinde QA programları iki temel başlıkta incelenir.

- Cihaz QA
  - Güvenlik testleri
  - Mekanik testler
  - Dozimetrik testler
- Hasta QA

Cihaz QA programı, cihazların kabulü sırasında yapılan kontrollerin sürekliliğini sağlamak amacıyla hazırlanır. Günlük, haftalık, aylık ve yıllık periyotlarla yapılacak kontrolleri içerir. Bu testler cihazın kliniğe kurulduğu kabul ve kullanıma alma (Acceptance and commissioning tests) testleri ile başlar. Çeşitli periyotlarla da cihazın ilk gün çalışmasına uygun çalıştığı kontrol edilir. Her klinik çalıştığı her cihaz QA' i için kliniğine özgü günlük, haftalık, aylık ve yıllık testleri oluşturmalı, bu testlerde yapılmayacak hiçbir test bulunmamalıdır. Bu testler zamanında yapmalı ve sorumlu kişiye onaylattıktan sonra arşivlenmelidir.



Hasta QA amacı; yapılan tedavi planının dozimetrik olarak doğruluğunu tespit etmektir. Günümüzde Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (IMRT) tedavi tekniği çok sık kullanılan tekniktir. Bu teknik, cihazın kolimatör yapısındaki Multi Leaf (MLC) yaprakların hareketine bağlı olarak ışınlama sırasında oluşturduğu doz haritasına dayanır. IMRT tedavisinin başarısı TPS de oluşturulan bu doz haritasının doğruluğu ile ilişkilidir. O yüzden, yapılan IMRT hasta planının QA 'i hastayı tedaviye almadan önce tedavi planının fantoma aktarılarak tedavide ışınlandığı gibi ışınlanmasını sağlamaktır. Bu ışınlamanın sonucunda doz haritasının tespit edebilmek için fantoma yerleştirilen dozimetrik ekipmanlardan faydalanılır. Her klinik kullanım amacına uygun dozimetrik ekipmanı seçmeli ve QA testlerinde kullanılmalıdır. Yapılan hasta QA ' lerinin arşivlenmesinin önemli olduğu unutulmamalıdır.



## Radyoterapide Hata Kaynakları

Nadir Küçük

Günümüzde modern teknolojilerin radyasyon onkolojisinde kullanılmaya başlanması sonucu birçok yeni tedavi tekniği geliştirilmiş ve bu teknikler yardımıyla radyoterapi tedavilerinde kabul gören klasik yaklaşımlar tek tek değişmeye başlamıştır. Radyoterapinin doğru bölgeye yüksek hassasiyetle sıfır hata ile verilmesi daha da önem kazanmıştır. Bu nedenle modern radyoterapi departmanlarında hastanın departmana girişinden tedavisinin sonuna kadar tüm süreçte takip edilmesi ve hata risklerinin azaltılması için birçok prosedür yürütülmektedir. Bunun yanında tedavinin hazırlanmasında ve verilmesinde hala birçok belirsizlik söz konusudur. Kongremiz esnasında yapılacak bu sunumun temel amacı radyoterapide meydana gelebilecek hata kaynaklarını belirleyebilmek ve hata risklerini azaltıcı klinik faaliyetlerden dinleyicileri haberdar etmek olacaktır.

Radyoterapide “hata” deyince “planlanan” ve “uygulanan” tedavi arasında farklar aklımıza gelir. Hataları “büyük” ve “küçük” hata şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Büyük hataların birçok örneği olmak ile beraber genelde hedeflenen doza >%10 etki eden hatalar büyük hata olarak sınıflandırılabilir. Küçük hatalar ise genellikle kendi içerisinde belirsizlik ve varyasyon olarak sınıflandırılabilir. Belirsizlikten kasıt önceden tahmin edilmesi güç fakat standart sapma yardımıyla miktarı belirlenebilen sistematik ve random hatalardır. Random ve sistematik hataların kaynakları ve hesaplama yöntemleri sunum içerisinde detaylı bir şekilde bahsedilecektir. Varyasyon ise önceden tahmin edilebilen ve periyodik olan tedavi planlama/ verilmesi sürecinde hata getireceğini bildiğiniz fakat engel olması güç hataları tarif etmektedir.

Ford ve arkadaşları 2009 yılında yayınladıkları bir çalışmada rutin bir radyoterapi uygulamasında 270 farklı hata kaynağı olabileceğinden bahsetmektedir. IAEA Safety Report Series 17 raporunda radyasyon onkolojisindeki kazalardan söz ederken 92 farklı olaydan bahsetmektedir. Bu olaylar kabaca şu başlıklar altında toplanmaktadır;

- Radyasyon Ölçüm Sistemlerine Bağlı Hatalar
- Cihazın Kabul Testleri ve Kalibrasyonları Sırasındaki Hatalar
- Tedavi Planlaması Sürecinden Gelen Hatalar
- Hasta Set-up ve Tedavi Sürecinde Hatalar
- Mekanik Elektronik Problemlere Bağlı Hatalar
- Brakiterapide LDR veya HDR Uygulamaları Sırasında Meydana Gelen Hatalar

Bir hasta tedavisi sürecinde hata kaynağı olabilecek faktörler aşağıda sıralanmıştır;

### 1. Bireysel Hatalar

- Tehlikeyi fark edememek
- Rutin dışı olaylarda karar verme sürecinde hatalar
- Kuşku duymama
- Ekip iletişim hataları
- Yasalara riayet etmeme

### 2. Prosedürel Hatalar

- Prosedür/protokol olmaması
- Yetersiz prosedür/protokol olması
- Prosedür/protokollere riayet etmeme
- Prosedür dizaynında aksaklıklara bağlı hatalar

### 3. Teknik Hatalar

- Cihaz veya IT network hataları

-Kabul testleri/kalibrasyon/bakım hataları

-Cihaz/ürün dizaynından kaynaklanan hatalar

4. Hasta Bazlı Hatalar

-Hastanın medikal durumunda olan karışıklığa bağlı hatalar

-Hasta ile olan iletişimde oluşan hatalar

-Hastanın söylenenlere itaat etmemesi kaynaklı hatalar

5. Ekip Çalışması/Yönetim/Organizasyon Hataları

-Yetersiz liderlik etme sonucu oluşan hatalar

-Belirsiz sorumluluklardan kaynaklı hatalar

-Yetersiz eğitim

-Kaynakların yetersiz kullanımı

-Personel kalitesi ve bilgi düzeyindeki yetersizlikler

-Risk tahmin ölçümlerini yetersiz yapmak

6. Çevresel Faktörlere bağlı Hatalar

-Çalışma alanının fiziksel şartlarından kaynaklanan hatalar

-Doğal yangın, deprem vs gibi sebeplerden oluşan hatalar

Sunumun son bölümünde Anadolu Sağlık Merkezi özelinde yaklaşık iki yıldır üzerinde çalıştığımız “Failure Mode Effect Analysis (FMEA)” çalışmamız ile ilgili bilgileri ve sonuçları hakkında bilgi vereceğim. Bu çalışma ile kliniğimizde potansiyel hata risklerinin nasıl analiz edildiği ve AAPM Task Group 100 raporunda bahsedilen risk analiz metodları ile karşılaştırmalarımız paylaşılacaktır. FMEA öncesi 405 olan kliniğimiz risk skorunun çalışma sonucunda %77.5 düşerek 91’e iniş süreci ile ilgili detaylar dinleyiciler ile paylaşılacaktır.

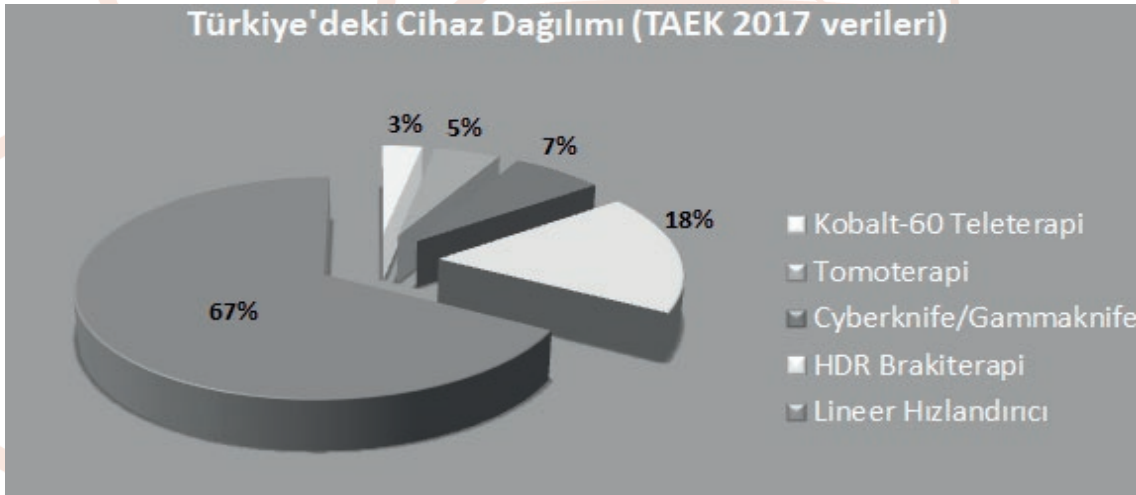


## RADYOTERAPİDE KAZALAR

Doç.Dr. Songül Karaçam

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İstanbul

X-ışınlarının ve radyoaktivitenin keşfedilmesinden bu yana radyasyon ve radyoaktif maddeler yaşantımızda başta sağlık olmak üzere endüstri, malzeme, uzay, çevre, tarım, gıda ve hayvancılık gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Giderek artan sayı ve çeşitlilikte kullanım beraberinde radyasyon kazalarını da getirmiştir. Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) nükleer ve radyasyon kazalarını “insanlara, çevreye ya da tesise dair ciddi sonuçlar doğuran olay” olarak tanımlamaktadır. Türkiye Atom Enerjisi Kurumu(TAEK) Radyasyon Güvenliği Tüzüğü’nde radyasyon kazasını “istenmeyen bir olay sonucu radyasyon korunması standartlarıyla belirlenen sınırların çok üzerinde radyasyon dozu alınması veya radyoaktif bulaşma meydana gelmesidir” şeklinde tanımlamıştır. IAEA tarafından 2000 yılında yayınlanan 17 nolu raporda eksternal, brakiterapi ve izotopla tedavi sırasında gerçekleşmiş 90 olay özetlenmiştir. 1980-2013 yılları arasında rapor edilen radyasyon kazalarının verildiği derleme çalışmada ise kazaların % 27’ sinin endüstriyel alanlarda, % 32’ sinin radyoterapide, % 31’inin fluoroskopik uygulamalarda, % 5’inin sahipsiz kaynak sebebiyle, % 1’inin askeri tesislerde ve % 5’ inin diğer alanlarda olduğu bildirilmiştir. Yine aynı derleme çalışmada 96 ölümlü radyoterapi önemli bir sayısal veriye sahiptir. İyonizan radyasyonun kanser tedavisinde kullanılmaya başlamasından buyana küçük veya büyük çaplı bazı kazalar meydana gelmiş ve yaşanmış radyasyon kazalarına ait ayrıntılı raporlar hazırlanmıştır. Radyoterapide süreç içerisinde <sup>60</sup>Co ya da <sup>137</sup>Cs kaynaklı teleterapi cihazlarından lineer hızlandırıcı cihazlarına doğru bir gelişme söz konusudur. Teknolojideki hızlı gelişmeler ve radyoaktif kaynak kullanımının azalması dünyada olduğu gibi ülkemizde de söz konusudur(Şekil 1).



Şekil 1- TAEK verilerine göre Türkiye’de ki cihaz dağılımı

Ancak yüksek teknoloji içeren her konuda olduğu gibi, iyonize radyasyon uygulamalarında da kaza riskini tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu değerlendirmelerin yanı sıra son yıllarda Tablo 1’de verilmiş olduğu üzere ramak kala değerlendirmelerinin yapılması da önem kazanmıştır.



Ülke	Yıl	Sebepler/Katkı Faktörleri	Kazadan zarar görenlerin sayısı		Ramak Kala sayısı
			Toksisiste	Ölüm	
A.B.D.	1974-1976	Co-60 yanlış decay	426		
	1985-1987	Therac-25 yazılım programlama hatası	6	3	
	1992	Hasta brakiterapi kaynağıyla evine yollandı		1	
	1999-2000	Yanlış veri girişi			9
Kanada	1989-1996	Tedavi planlarının değerlendirilmesinde hata			234
	1992-2002	Yanlış tedavi plan parametresi, veri transferi hatası			596
	1997-2002	hatası			555
	2004-2007	R/V sistemi programlama hatası, hesaplama hatası	326		
		Yanlış out-put hesabı			
Kosta Rika	1996	Co-60 kalibrasyon hatası	114	6	
Panama	2000-2001	TPS yanlış veri girişi	28	11	
İngiltere	1982-1991	TPS kabulünde hata	1045		
	1988	Co-60 kalibrasyon hatası	250		
	1988-1989	Cs-137 brakiterapi kaynak tanımlama hatası	22		
	2000-2006	Tedavi plan parametrelerinde hata			28
	2005-2006	Linak update hatası	5	1	
Almanya	1986-1987	Co- 60 yanlış doz tablosu	86		
İspanya	1990	Linak bakımı sırasında hata	27	9	
Belçika	1995-1997	Hesaplama hatası			1769
İrlanda	1998-2000	TPS kullanım, hesaplama, dökümantasyon hatası			177
		Linak arızası sonrası hata	5		
Polonya	2001	Linak update ve eksik bilgilendirme hatası	25	6	
Fransa	2004-2005	Yanlış tedavi plan parametresi, veri transferi/ oluşumunda hata, eksik iletişim, hastayla ilişkili tanımlamada hata, bolus uygulaması, blok/ wedge yerleşiminde hata			854
Avrupa	2001-2007	TPS le ilişkili hata, yetersiz iletişim	734	1	
	1990-2004	Doz tanımlama ve planlamada hata			235
	1993-1995	Yanlış tedavi plan parametresi, veri transferi/ oluşumunda hata, bolus ya da koruma uygulamasında hata			159
		Tüm kazalar	3087	38	4616

Tablo 1- Günümüze kadar rapor edilmiş radyoterapi kazaları

Ramak kala; işyerinde meydana gelen; çalışan, işyeri ya da iş ekipmanını zarara uğratma potansiyeli olduğu halde zarara uğratmayan olaylar olarak tanımlanabilir. Ramak kala olayları kazanın habercisi durumundadır. Eğer yaşanan olay bildirilmez/ engellenmezse kaza ile karşılaşma olasılığı artar şeklinde kısaca özetlenebilir. Heinrich'in kaza piramidi teorisine göre ağır yaralanma ya da ölümlü ya da ağır yaralanmalı kaza meydana gelmektedir. Buna dayanarak ramak kala olaylar ve hafif atlatılmış kazalar daha büyük kazaların habercisi olarak değerlendirilmelidir. Dolayısıyla çalışma ortamı içerisinde yaşanan ramak kala olaylarının belirlenmesi, kayıt altına alınması ve yaşanabilecek kazaların önlenmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Bu konuda son yıllarda yapılan 'olay öğrenme sistemlerinin' oluşturulması ve yaygınlaştırılması ile ilgili öneriler artmış; Kanada, Amerika gibi bazı ülkelerde uygulamaya geçilmiştir. Pawlici ve ark. yaptıkları derlemede aşağıda verilen örnek olay raporunu vermişlerdir.

Örnek olay raporu:

Hasta XXX'de set –up ve tedavi hatası vardı. Konvansiyonel akciğer tedavisi yapılan hastada tedavinin 16. fraksiyonu, boost tedavinin 2 . günüydü(1080 cGy/fr). Ct simülatör teknikeri kıdemli tekniker yalnız çalıştığı için lineer hızlandırıcı cihazına yardıma gitti. Linakta yoğun bir gündü ve hastanın set- upı her günküden farklı yapıldı. Kıdemli tekniker setuptaki farklılığı gördü ve daha önceki hasta set-uplarını kontrol ederek set-up hatasını belirledi. Olayın taksonomik olarak sınıflandırması aşağıdaki gibidir(Tablo 2):

Veri Grubu	Veri grubundaki öge
Etki	Gerçek Olay
Farkeden	Radyoterapi teknikeri
Hasta	Kadın
Ayrıntılar	Yanlış hasta pozisyonu, set-up noktası ya da kaydırma
Tedavi bölgesi	Toraks
Araştırma	Hardware/software süreci: Görüntü temelli hasta pozisyonlama verifikasyonu Süreç: teknikerin tedavi pozisyonu değerlendirmesi

Tablo 2: Örnek olay raporu

Ayrıca European Council Directive 2011/59/EURATOM'da uygulamalar sırasında olan olayların yukarıda verilen örnekteki benzer şekilde raporlanması ve olayları öğrenmenin yasal bir gereklilik olduğu ifade edilmektedir.

Günümüze kadar radyoterapide meydana gelen radyasyon kazalarında hastalar tedavi dozu için gerekli olandan yüksek veya düşük radyasyon dozuna maruz kalmış ve bu sebeple ölümler meydana gelmiştir. Tüm bu sonuçlara rağmen radyoterapinin sağladığı olanaklardan milyonlarca kanser hastasının faydalandığı düşünüldüğünde vazgeçilmesi mümkün değildir. Ancak ışınlanan tüm hastaların risk altında olduğu kabul edilerek akut ve kronik yan etkiler dikkatle takip edilmelidir.

Son yıllarda gelişen teknolojiyle daha kompleks hale gelen tedavi cihazları ve ek donanımlar, üç boyutlu tedavi planlama sistemleri, hasta bilgilerinin network aracılığıyla aktarımını sağlayan yazılımlar nedeni ile kapsamlı nitelik temini programlarına ve bu programlar içerisinde cihaza uygun kalite kontrol prosedürlerine gereksinimi beraberinde getirmiştir. Kalite güvence programlarının oluşturularak uygulanması, ulusal ve uluslararası düzenlemelere uyulması meydana gelebilecek kazaları minimuma indirecektir. Meydana gelen radyasyon kazalarının detaylı analizlerinin yapılması ve bu kazalardan dersler çıkartılması, ileride meydana gelebilecek benzer kazaların engellenmesine yardımcı olacaktır.

İyonlaştırıcı radyasyon kaynakları kullanılarak yürütülen uygulama ve faaliyetlerin TAEK tarafından lisanslama veya izin verme yoluyla yetkilendirilmesi gerek şart olmakla birlikte radyasyondan korunmanın sağlanması ancak uygulayıcıların bu konudaki mevzuatı ve temel kuralları benimseyerek günlük görevlerinin bir parçası olarak değerlendirmesi ve öncelik verilmesi ile başarılabilir. Bu nedenle; radyoterapi departmanlarında gerek personel gerekse ekipman açısından yeterli alt yapının oluşturularak çalışanların yetki, görev ve sorumluluklarını belirlenmesi, gerekli eğitimlerin sağlanması, yeterli sıklıkta güvenlik değerlendirmesi yaparak olay ve ramak kala durumlarının analiz edilmesi, bu bilgilerin paylaşılması, altyapı ve prosedürlerde düzenleme yapılarak gerekli önlemlerin alınması radyasyon kazalarının önlenmesinde en önemli husustur.

- Kaynaklar
1. Radyasyon Güvenliği Tüzüğü, Resmi Gazete Tarih/Sayı: 07.09.1985/18861
  2. International Atomic Energy Agency. "Lessons Learned from Accidental Exposures in Radiotherapy." IAEA SRS-17. (Vienna: IAEA), 2000.
  3. Ortiz López P, Cosset JM, Dunscombe P, Holmberg O, Rosenwald JC, Pinillos Ashton L, Vilaragut Llanes JJ, Vatnitsky S. ICRP publication 112. A report of preventing accidental exposures from new external beam radiation therapy technologies. Ann ICRP. 2009 Aug;39(4):1-86. doi: 10.1016/j.icrp.2010.02.002.
  4. Coeytaux K., Bey E., Christensen D., Glassman E.S., Murdock B., Doucet C. Reported Radiation Overexposure Accidents Worldwide, 1980-2013: A Systematic Review. doi:10.1371/journal.pone.0118709
  5. Shafiq J, Barton M, Noble D, et al. An international review of patient safety measures in radiotherapy practice. Radiother Oncol 2009;92(1):15-21.
  6. Pawlicki T., Coffey, M., Milosevic M. Incident Learning Systems for Radiation Oncology: Development and Value at the Local, National and International Level. Clinical Oncology 29 (2017), 562-567.
  7. Council Directive 2013/59/EURATOM. Laying down basic safety standards for protection against the danger arising from exposure to ionizing radiation. Official Journal of the European Union; 5 December 2013.

## MR Rehberliğinde Radyoterapi

Prof. Dr. Enis Özyar

Acibadem MA Aydınlar Üniversitesi, Tıp Fakültesi,

Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi,

Acibadem Maslak Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü,

Maslak, İstanbul

Yirmi yıldan uzun süren uzun bir uğraş sonucunda radyoterapi tedavi cihazlarına IGRT sistemi olarak Manyetik Rezonans (MR) Görüntüleme sistemi entegre edilmesi mümkün hale gelmiştir. Geliştirilen MR temelli IGRT lineer hızlandırıcılarda, farklı manyetik alan güçleri ve ışın demetine göre magnetlerin yerleştirme yöntemleri kullanılmıştır. MR-linak radyoterapisi sadece yeni bir teknoloji olmaktan öte yeni bir tedavi algoritmasıdır. Hastanın tedavi masasına yatırılıp tedavi alanının belirlenmesi IGRT yöntemleri arasında en iyi yumuşak doku görüntülemesi olan MR görüntüleme ile yapılır. Klasik radyoterapide kullanılan tedavi süresince sıkı hasta sabitleme sistemlerinin kullanımına, tüm tedavilerde adaptif radyoterapi olanağının olmasından dolayı ihtiyaç kalmamaktadır. MR görüntülemenin üstün yumuşak doku kontrastı nedeni ile klasik radyoterapide kullanılan ve tümör takibi için gerekli olan invaziv ve pahalı marker yerleştirme işlemi veya normal dokuları tümörden uzaklaştırmak için doku planları içerisine enjekte edilen özel maddelerin kullanımına ihtiyaç duyulmamaktadır. Her tedavide öncesi hasta tedavi masasında yatarken elde edilen MR görüntüleri ile “günün anatomisi”ndeki normal dokuların ve tümörün yerinin yeniden kesit kesit çizilmesinden sonra “günün anatomisi”ne göre tedavi planının yeniden planlanması o güne özel olarak yapılmaktadır. Bu işleme “Adaptif planlama” adı verilmektedir. Işınlama sırasında gerçek zamanlı ve anlık olarak sürekli MR görüntüleme yapılarak tümörün gerçek zamanlı takibi yapılmaktadır. Bugüne kadar kullanılan hiç bir sistemde olmayan sürekli tümör takibi sadece bu yöntemle mümkün olmaktadır. Tedavi süresince hastanın MR görüntüsünden etkilenmemesi için müzik de dinleyebileceği bir kulaklık takılmaktadır. Hastanın prizmatik bir gözlükle cihaz arkasında bulunan ekran aracılığıyla kumanda odasındaki ekranı görmesi sağlanmaktadır. Özellikle solunum tutma sırasında hastanın ekranda işaretli tümörünü, farklı renkteki hedefin içine sokması istenmektedir. Böylece hastanın tedaviye aktif katılımı da sağlanmaktadır. Bütün bu işlemler nedeni ile radyasyon onkoğu, sağlık fizikçisi ve radyoterapi teknisyeninin sürekli kumanda odasında olmasını gerektiren klasik radyoterapiden farklı bir sürece ihtiyaç duyulur. MR-Linak tedavisi klasik radyoterapiye göre 2-3 kat daha uzun sürebilmekte ve tedavi ekibinin yoğun enerji ve dikkatini gerektirir. MR-Linak tedavi algoritması, klasik radyoterapiye göre bir çok klinik avantaj sağlar. Yukarıda anlatılan yöntemler kullanılarak, MR-linak yönteminde klasik radyoterapiye göre hedef tümörler etrafında daha az emniyet sınırı verilebilir. Tümörün adaptif radyoterapi ile planlanan yüksek dozlarda ışınlanması nedeni ile yüksek lokal kontrol oranı sağlanırken komplikasyon oranlarında kabul edilebilir seviyede kalır. Klasik radyoterapide tedavi planı, ilk gün çekilen planlama amaçlı bilgisayarlı tomografideki günün anatomik özelliğine göre düzenlenir. Sonraki tedavilerde, anatomik olarak değişiklik olmadığı kabul edilerek tedavilere devam edilir. Gerçek durumda ise, tümörler tedavi sırasında küçülmeye başlar, küçülen tümörün yerini normal dokular almaya başlar, ve organların günlük doluluk/boşluk özelliğine göre çevredeki tümörlerin ve diğer normal dokuların yer değiştirmesine neden olurlar. İlk gün elde edilen tedavi planının sonraki tedavi fraksiyonlarına uygulanması tümör dokusu ve normal dokularda planlanan dozun daha az yada çok olmasına neden olabilir. Adaptif planlama “günün anatomisi”ne göre günlük olarak tedavi planlamasının tekrar yapılması ile tümörlerde ve normal dokularda meydana gelen doz hatalarını en aza indirir. Son yıllarda, meme, akciğer, pankreas, karaciğer, prostat, beyin, hepatobiliyer sistem ve jinekolojik tümörlerin primer ve sekonder tümörlerinde artan şekilde hipofraksiyone tedaviler kullanılmaya başlanmıştır. MR-Linak bizlere bu tümörlerin büyük çoğunluğunda planlanan dozun, en az yan etki olasılığı ile invaziv marker kullanılmadan uygulanmasına olanak vermiştir. Sonuç olarak, MR-eşliğinde uygulanan SBRT, oligometastazların tedavisinde en etkin ve güvenilir tedavi yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Hiç kuşkusuz bugün için radyoterapinin rolünün en tartışmalı olduğu hepatopankreatobiliyer sistem tümörleri en önemli grubu oluşturmaktadır. Son yıllarda SBRT, inoperabl pankreas kanserlerinde etkin dozların verilmesi için alternatif bir tedavi yöntemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. MR-temelli SBRT bu hastaların tedavisinde adaptif planlama kullanılması ile potansiyel yeni bir tedavi yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Gelecekte, hiç şüphesiz radyasyon onkologları MR-temelli lineer hızlandırıcılar kullanılarak, bu yöntemle ideal olarak tedavi edilebilecek hastalıkları ortaya koyabileceklerdir.



#### Referanslar

1. van Herk M., McWilliam A., Dubec M., Faivre-Finn C., Choudhury A., Magnetic Resonance Imaging Guided Radiation Therapy: A Short Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats Analysis. *Int J Radiation Oncol Biol Phys*, 101,5, 1057-1060, 2018
2. Pollard JM, Wen Z, Sadagopan R, Wang J, Ibbott GS. The future of image-guided radiotherapy will be MR guided. *Br J Radiol*, 90:20160667, 2017.
3. Nahum AE. The radiobiology of hypofractionation. *Clin Oncol (R Coll Radiol)*. 2015 May;27(5):260-9.
4. Palma DA, Olson R, Harrow S, Gaede S, Louie AV, Haasbeek C, Mulroy L, Lock M, Rodrigues GB, Yaremko BP, Schellenberg D, Ahmad B, Griffioen G, Senthil S, Swaminath A, Kopeck N, Liu M, Moore K, Currie S, Bauman GS, Warner A, Senan S. Stereotactic ablative radiotherapy versus standard of care palliative treatment in patients with oligometastatic cancers (SABR-COMET): a randomised, phase 2, open-label trial. *Lancet*. 2019; 18; 393: 2051-2058.
5. Badiyan SN, Molitoris JK, Chuong MD, Regine WF, Kaiser A. The Role of Radiation Therapy for Pancreatic Cancer in the Adjuvant and Neoadjuvant Settings. *Surg Oncol Clin N Am*. 2017 ;26(3):431-453.
6. Rudra S, Jiang N, Rosenberg SA, et al. Using adaptive magnetic resonance image guided radiation therapy for treatment of inoperable pancreatic cancer. *Cancer Med* . 2019;00:1–10.



## Tiroid Hastalıklarında Dozimetri: Uzak Metastaz Dozimetrisi

Prof.Dr.Mustafa Demir

Radyoiyot (RI, <sup>131</sup>I) 20. yüzyılın ortalarında ilk defa benign tiroit hastalıklarından olan hipertiroidi tedavisi amacıyla kullanılmış, o günden sonra da hipertiroidi ve iyi differansiye grup olan folliküler ve papiller tiroit kanserlerinin tedavisinde teranostik olarak kullanılmaktadır (1,2). Tiroit bezi ve metastazlarının epitel hücrelerinde yüksek oranda iyot tutulumu gerçekleşir. İşte bu özellikten yararlanılarak hastalara çok düşük miktarlarda <sup>131</sup>I uygulanmış olsa bile radyoiyodun yeterli "uptake"inden dolayı dozimetrik hesaplamalar yapılabilmekte ve tedavi için uygulanacak maksimum güvenli aktivite belirlenmektedir (3). <sup>131</sup>I radyonüklidinin 606 keV enerjili beta ışınları ile tedavi yapılırken, 365 keV enerjili gama ışınlarından yararlanılarak tanı ve tedavi sonrası hasta takibi de yapılabilmektedir.

Radyoiyot tedavilerinde hastaya uygulanacak aktivite miktarının belirlenmesinde iki yöntem vardır. Bunlar; sabit doz (empirik) yöntem ve dozimetri yöntemidir. Sabit doz yönteminde hastanın tedavi öncesi klinik olarak hazırlanması ve bazı testlerinin yapılması gerekir. Patolojik olarak tiroit kanseri tanısı konan hastalar total tiroidektomiden 2 hafta sonra iyottan yoksun diyetle sokulur.

Ameliyattan yaklaşık 4 hafta sonra hastaların biyokimyasal kan sonuçlarına (T4, Tg, TSH) bakılır. Ayrıca 10 µCi <sup>131</sup>I oral yolla içirildikten sonra 2. ve 24. saatlerde bakiye doku uptake ölçümü yapılır. Hastaların patoloji sonuçlarına, biyokimya ve uptake ölçümlerine bağlı olarak risk sınıflaması yapılır ve tedavi aktivitesi belirlenir. İyi differansiye tiroit kanseri tedavi planlaması yapan American Thyroid Association (ATA) 2015 raporunda; düşük risk grubu hastalarda klinisyenin görüşüne bağlı olarak hastanın belirli periyotlarda takip edilmesi ve düşük doz 1110-1850 MBq (30-50 mCi) RI

tedavisi verilmesi önerilmektedir. Orta risk grubu hastalarda 3700-5550 MBq (100-150 mCi), yüksek risk grubu hastalarda ise 5550-9250 MBq (150-250 mCi) sabit doz RI tedavisi uygulanabileceği bildirilmiştir (4). Sabit doz uygulanacak hastalarda iyot atılımının göz önünde bulundurulmaması,

tamamen laboratuvar bulgularına dayalı olarak tedavi verilmesi kişiye özgü değil risk grubuna özgü tedaviyi ön plana çıkarmaktadır.

Dozimetri yönteminde hastanın tiroit uptake değerlerinin ölçülmesi, doku hacminin belirlenmesi hesaplamaların yapılmasında kullanılan spesifik parametrelerdendir. 1962 yılında Benua ve ark.nın yapmış olduğu çalışmada <sup>131</sup>I ile tiroit kanseri tedavisinde kemik iliği toksisitesinin oluşmaması için kemik iliği dozunun <2 Gy olması gerekliliği bildirilmiştir. Özellikle kemik metastazı olan hastalarda kemik iliği dozunun izin verilen sınırların üstüne çıkmaması için maksimum güvenli doz prensibi ön planda değerlendirilir. Kıselleştirilmiş dozimetri çalışmalarında farklı bir yaklaşım 1983 yılında Maxon ve ark. tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada, <sup>131</sup>I tedavisi alan 76 hastada hedef dokuya verilen radyasyon dozu ile klinik sonuç arasındaki ilişkiye bakılmış, bakiye tiroit dokusuna 300 Gy, metastazlara 80 Gy veya daha üstü radyasyon dozu verilen hastalarda başarılı klinik sonuç alınırken bu dozun altında kalan hastalarda klinik sonuç yetersiz kalmıştır. Aynı araştırmacılar bulgularını 1992 yılında 85 hasta üzerinde yaptığı başka bir çalışma ile teyit etmişlerdir (5) Özetlemek gerekirse, dozimetri yapılarak hem kemik iliği dozu hem de lezyon dozu belirlenir. Lezyona yüksek doz verilmesi amaçlanırken kemik iliği dozunun da <2 olmasına dikkat edilmelidir.

### MIRD Yöntemi

MIRD 1968 yılından beri çeşitli raporlar yayınlamakta olup teknolojideki gelişmelere de bağlı olarak internal doz hesaplama yöntemlerini geliştirmektedir. MIRD yönteminde standart insan fantomları kullanılmakta, fantomdaki taklit organların anatomik yerleşimi, kütleleri ve benzeri özelliklerine göre geliştirilmiş matematiksel formüller kullanılmaktadır. Radyofarmasötikğin toplandığı organdan (kaynak organ) bu organın kendisine veya çevresindeki organlara (hedef organ) verilen doz miktarları MIRD yöntemi ile hesaplanabilmektedir.

MIRD yöntemine göre doz miktarı aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır (6).

Buna göre, kaynak organdan (k) gelen ve bir hedef organda (h) soğurulan doz (D) şu formül ile hesaplanır.

$$D_{(hedef \leftarrow kaynak)} = \frac{k \tilde{A}_{kaynak} \sum_i n_i E_i \phi_i}{m_{hedef}}$$

Bu formülde; D: Hedef organda soğurulan doz (Gy),

$\tilde{A}_k$  :: Bir kaynak organdaki kümülatif aktivite (MBq x sn),

n: Nükleer bozunma başına E enerjisinde salınan radyasyon enerjisinin hedefte soğurulma oranı

m: Hedef organ kütlesi (kg)

K: Orantı sabiti (Gy- kg/MBq-s-Mev) olarak tanımlanır.

Buna göre:

$$D_{(hedef \leftarrow kaynak)} = \tilde{A}_{kaynak} \times S_{(hedef \leftarrow kaynak)}$$
$$= A_0 \times \tau_{kaynak} \times S_{(hedef \leftarrow kaynak)}$$

Eşitlikleri geçerlidir. Burada:  $A_0$ : Hastaya enjekte edilen aktivite miktarı (MBq),  $\tau$ : Aktivitenin kaynaktan kalış süresi (sn), S: Dönüşüm faktörü (Gy/MBq-sn), A: Kümülatif aktivite olarak tanımlanmaktadır.

Metastatik Tiroit Kanseri Tedavisinde Kemik İliği ve Lezyon Dozimetrisi

Metastatik tiroit kanseri hastalarında yüksek aktivite miktarlarında  $^{131}\text{I}$  kullanılmaktadır. Bu nedenle kemik iliği dozunun <2 Gy, uzak metastazların 80-100 Gy doz alması için dozimetri yapılarak radyoaktif miktarı belirlenir. Kemik iliği dozunun hesaplanmasında tedavi öncesi düşük aktivite miktarlarında 74 MBq (2 mCi)  $^{131}\text{I}$  uygulanarak hastalardan belirli zamanlarda kan örnekleri alınır. Bu kan örnekleri gama sayıcıda sayılır, böylece kandaki  $^{131}\text{I}$  miktarı takip edilerek zaman-aktivite eğrisi oluşturulur. Wessel ve ark.nın önerdiği kemik iliği absorbe dozunun hesaplanmasında kullanılan yöntem takip edilerek uygulanacak maksimum güvenli aktivite miktarı belirlenebilir (7). Bu yöntemle göre;

$$D_{ki} = D_{ki}(\text{kan}) + D_{ki}(\text{kan dışı})$$
$$D_{ki} = \tilde{A}_{kan} \times \frac{RMECF}{1-HCT} \times \left(\frac{1.5}{5.2}\right) \times S_{(ki \leftarrow ki)} \times \frac{70}{M}$$
$$D_{ki} \text{ kan dışı} = \left\{ \tilde{A}_{TV} - [\tilde{A}_{kan}] \times \frac{RMECF}{1-HCT} \left(\frac{1.5}{70}\right) \times M \right\} \times S_{(ki \leftarrow ki)}$$
$$S_{(ki \leftarrow ki)} = \left\{ S_{(KI \leftarrow TV)} \times \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{1.5}{70}\right)}\right) - S_{(KI \leftarrow KI)} \times \left(\frac{\left(\frac{1.5}{70}\right)}{1 - \left(\frac{1.5}{70}\right)}\right) \right\}$$

denklemleri kullanılmaktadır. Burada;  $D_{ki}$ : Kemik iliğinde absorbe olan doz miktarı,  $\tilde{A}_{kan}$ :

Kanda biriken aktivite miktarı, RMECF: Kırmızı kemik iliği hücre dışı (ekstrasellüler) sıvı miktarı, HCT: Hemotokrit değeri,  $S_{(KI \leftarrow KI)}$ : Standart doz dönüşüm faktörü, M: Hastanın kilosu,  $A_{TV}$  Tüm vücutta biriken aktivite miktarıdır.

MIRD fantomunda taklit metastaz olmadığı için dozimetrik hesaplamalarda birim yoğunluklu

küre modeli kullanılır. Kürelerin 1 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olduğu varsayılarak lezyon dozu için;

$$D_{lezyon} = \tilde{A}_{lezyon} \times S_{lezyon}$$
$$D_{lezyon} = A_0 \times \tau_{kaynak} \times S_{lezyon}$$

formülleri kullanılır. Burada;  $D_{lezyon}$ : Lezyonda soğurulan doz miktarı (Gy),  $\tilde{A}_{lezyon}$ : Lezyonda biriken aktivite miktarı,  $A_0$ : Başlangıçta uygulanan aktivite miktarı,  $S_{(hedef \leftarrow kaynak)}$ : Kaynak organdan hedef organa standart doz dönüşüm faktörüdür.

Tiroit kanseri metastazlarına 80-100 Gy radyasyon dozu verilmesi amaçlanır. Bu dozların belirlenmesi amacıyla hastalara tedavi öncesi düşük miktarda (~74 MBq)  $^{131}\text{I}$  oral yolla uygulanır. Sonra belirli zamanlarda gama kamerasıyla tüm vücut planar görüntüleme yapılır. Alınan görüntülerden lezyonların ve lezyon dışı zemin aktivite bölgelerinden ilgi alanları (ROI) çizilir. Bu işlem farklı zamanlarda çekilen sintigrafik görüntülerden tekrarlanır. ROI sayımları zaman-aktivite değişimini, zaman-aktivite eğrisi altındaki alan ise kümülatif aktiviteyi ( $\tilde{A}$ ) verir. Kümülatif aktivitenin ve radyoaktif dozun bakiye

dokuda/metastatik odakta kalış süresinin ( $t_{\text{kaynak}}$ ) belirlenmesi için çeşitli software programları kullanılabilir. Bu amaçla en yaygın kullanılan yazılım OLINDA EXM'dir. Bu program kullanılarak ROI sayımları, sayım aktivite dönüşümleri, kümülatif aktivite ve kalış süreleri hesaplanabilir. Yine bu yazılım kullanılarak S tablo değerleri hastaya uygun seçilebilir (8).

Sonuç olarak, tiroit kanseri metastazları da tıpkı tiroit bakiye dokusunun radyoyotla ablasyonu gibi tedavi edilmektedir. Bu tedavi yönteminde önemli olan hastanın doz aşımına bağlı olarak kemik iliği hipopilazisine girmemesinin sağlanmasıdır. İşte bunun için kemik iliği dozimetrisi önem kazanır. Kemik iliğinin 2 Gy dozu aşmaması için bu tür hastalara dozimetri yapılması gereklidir.

#### Kaynaklar

1. Karaaslan Şİ, Toklu T, Alan Selçuk N. Radyonükleit Tedavide Kişiselleştirilmiş Dozimetri: Dozimetrik Yöntemler, Artıları ve Eksileri. Nucl Med Semin 2015;1:150-7.
2. Wyszomirska A. Iodine-131 for therapy of thyroid diseases. physical and biological basis. Nucl Med Rev Cent East Eur 2012;15(2):120-123.
3. Jameson JL, De Groot JL. Endocrinology Adult and Pediatric. In: Pacini F, Marchisotta S, De Groot JL, eds. Thyroid Neoplasia. 6th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2010. p.1668-701.
4. Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, Doherty GM, Mandel SJ, Nikiforov YE, et al. 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer 2016;26(1):1-133.
5. Maxon HR, Thomas SR, Hertzberg VS, Kereiakes JG, Chen IW, Sperling MI, et al. Relation Between Effective Radiation Dose and Outcome of Radioiodine Therapy for Thyroid Cancer. N Engl J Med 1983;309(16):937-941.
6. Siegel JA, Thomas SR, Stubbs JB, Stabin MG, Hays MT, Koral KF, et al. MIRD Pamphlet No. 16: Techniques for Quantitative Radiopharmaceutical Biodistribution Data Acquisition and Analysis for Use In Human Radiation Dose Estimates. J Nucl Med 1999;40(2):37-61.
7. Wessels BW, Bolch WE, Bouchet LG, Breitz HB, DeNardo GL, Meredith RF. Bone Marrow Dosimetry Using Blood-Based Models for Radiolabeled Antibody Therapy: A Multi Institutional Comparison. J Nucl Med 2004;45:1725-1733.
8. Stabin MG, Konijnenberg MW. Re-Evaluation of Absorbed Fractions for Photons and Electrons In Spheres of Various Sizes. J Nucl Med 2000;41(1):149-60.

## TİROİT KANSERİ BAKİYE DOKU ABLASYON DOZİMETRİSİ

Yasemin PARLAK

MCBÜ Tıp Fakültesi Nükleer Tıp AD

Nükleer tıp uygulamalarında tedavi amaçlı birçok radyonüklid kullanılmaktadır. Bu radyonüklidler doğrudan kanser hücresine gitmektedir. Böylece sağlam hücreler en az hasarı görürken, kanserli hücrelere maksimum hasar vererek, hedefe yönelik tedavi yapılmaktadır. Radyoiyot (<sup>131</sup>I), tiroit hastalıklarının tanısında, tiroit kanseri hastalarının total tiroidektomi sonrası bakiye doku ablasyonunda, differansiye tiroit kanseri metastazlarının tedavisinde uygulanacak aktivite miktarlarının belirlenmesinde rutin olarak kullanılmaktadır. Vücuttaki farklı organlar tarafından soğurulan radyasyon dozunun bilinmesi bu uygulamaların risklerinin ve yararlarının değerlendirilebilmesi açısından oldukça önemlidir. Tedavi amaçlı verilen radyonüklidlerin radyasyon korunmasında hedef organ, kaynak organ doku dozları ve çevresel maruziyetlerini tespit etmek amacıyla İnternal Dozimetri metotları uygulanır. Tiroit kanserinde bakiye dokunun ablate olabilmesi için gerekli radyasyon dozu 300-350 Gy olarak hesaplanmıştır. Bu radyasyon dozunu verebilmek için gerekli radyoaktif I-131 miktarı dokuda birikim oranı ve birikim zamanı hesaplanarak belirlenir. Buna ek olarak, lezyon dozimetrisi için tümör çapının veya hacminin bilinmesi gereklidir. Tümör hacminin hesaplanabilmesi için USG, gama kamera, SPECT/BT ve/veya PET/BT gibi görüntüleme teknikleri kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Tiroid kanseri, internal dozimetri, radyonüklid tedavi



## ADAPTİF RT VE QA

Evren Ozan Göksel

Radyoterapide (RT), geleneksel olarak anatomik değişiklikleri hesaba katmak için klinik hedef hacimlerin etrafına bir güvenlik marjı tanımlanır ve böylece bu hedeflerin reçetelendirilen dozu alması sağlanmaya çalışılır. Bu marjlar genelede hastaya özgü değildir ve populasyon istatistiklerine göre belirlenir. Bu yöntemde hedefi çevreleyen normal doku da radyasyonun yan etkilerini artıracak seviyelerde yüksek dozlara maruz kalır. Bu güvenlik marjlarını azaltmak için, görüntü kılavuzluğunda RT (IGRT) geliştirilmiştir.

IGRT, klinik uygulamada geniş çapta kabul görmüş olsa da, hedefin (neredeyse) değişmez bir şekle sahip olduğunu ve risk altındaki organların (OAR) maruz kaldığı dozun önemli ölçüde değişmediğini varsaydığı için sınırlı bir çözüm sunar. Örneğin postür değişiklikleri, mesane, rektum veya serviks şeklindeki değişiklikler, kilo kaybı ve tümör regresyonu gibi anatomik değişiklikler, çoğunlukla bu varsayımlarla uyumsuz.

Kanser hastalarının anatomisi, radyoterapi süresince tedavi planlaması ve tedavi arasında değişmektedir. Adaptif radyoterapi (ART), hasta anatomisindeki bu tür değişikliklerin varlığında radyasyonu hedef hacime doğru ve kesin olarak vermeyi amaçlar. Bunun için tedavi planı anatomik değişikliklere adapte edilecek şekilde yeniden optimize edilir. Bu amaçla, ART bu değişiklikleri ölçmek ve tedavi planını buna göre değiştirmek için bir görüntüleme geri besleme döngüsü kullanır. ART ilk defa 1997 yılında Yan D. ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır. ICRU83'e göre yer, morfoloji ve fizyolojideki değişimlerin ölçülmesi ve tedavi planının bu değişikliklere adaptasyonu 4D ART olarak tanımlanır.

Anatomik değişiklikler, tedavi alanının herhangi bir bölgesinde meydana gelebilir ve normal dokuların yanı sıra tümörleri de etkileyebilir. Kafatasının genellikle kranial lezyonlar için yeterli bir referans yapı olduğu düşünülür, ancak beyin metastazlarında 5 mm'ye kadar kayma rapor edilmiştir. Baş-boyun radyoterapisinde 3-4 mm (sistemik ve rastgele) postür değişiklikleri bildirilmiştir. Buna ek olarak, ortanca hızında tümör hacminde azalma günde %1.8 ve parotid hacminde değişiklik günde 0.19 cm<sup>3</sup> olarak bildirilmiştir. Ayrıca, simülasyon ile ilk tedavi arasında, ortalama %16 tümör hacminde artış bildirilmiştir. Mesane kanseri için, interfraksiyon mesane duvarı hareketi, kaudal yönde 1 mm iken, su içirme protokollerine rağmen kraniyal-anterior yönde 12 mm'ye kadar çıktığı bulunmuştur. Ayrıca mesane doluluğundaki değişimler serviks kanserinde, uterusun uç noktasının 50 mm'ye kadar yer değiştirmesine ve şekil değişikliklerine neden olur.

Bu anatomik değişiklikler IGRT kullanılmasına rağmen düzeltilemeyen rezidüel geometrik hatalar kaldığını göstermektedir. Bu tür geometrik belirsizlikleri hesaba katmak için 5 mm'den (baş-boyun) 40-50 mm'ye (mesane ve mide) kadar olan marjlar verilmesi gerekir. Böylece ışınlanan normal doku hacmi ve buna bağlı olarak toksisite artar. Oysa tedavi planının anatomik değişikliklere uydurulduğu ART, OAR dozlarını ve toksisiteyi azaltma veya hedefte doz yükselterek tümör kontrolünü iyileştirme potansiyeline sahiptir. Adaptif radyoterapi uygulamalarında anatomik değişimlerin oranına göre farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Tedavi boyunca günler, haftalar süren kilo verme, tümör hacmi küçülmesi/büyümesi gibi değişimler için offline yaklaşımlar; mesane bağırsak doluluğu gibi saatler içerisinde olan değişimler için online yaklaşımlar; solunum, peristaltis hareketi gibi sürekli olan değişimler için dinamik (gerçek zamanlı) yaklaşımlar ve hedefin fizyolojik değişimleri için biyolojik, fonksiyonel görüntü rehberliğinde ART yaklaşımları kullanılmaktadır. Öncelikle offline ART için kullanılan yaklaşımlar:

### Ortalama Anatomi Modeli

Ortalama anatomi modelinin aşamaları şu şekildedir; (1) planlama tomografisi (BT), ilk fraksiyonlarda alınan BT görüntülerine deforme edilir (2) ortalama deformasyon vektör alanı hesaplanır ve (3) planlama BTsi ve buna bağlı yapılar uygun şekilde deforme edilerek ortalama anatomik konfigürasyonu temsil eden bir sentetik BT elde edilir. Daha sonra ortalama anatomi modeli kullanılarak yeni bir tedavi planı optimize edilebilir. Örneğin ilk hafta boyunca planlama anatomisine göre günlük prostat rotasyonunu ölçerek, ortalama prostat rotasyonu belirlenebilir ve CTV belirlenen şekilde döndürülerek yeni CTV için yeni bir tedavi planı optimize edilebilir. Bu konsept daha karmaşık anatomik değişikliklere genişletilebilir. Bu model için optimal BT görüntüsü sayısı, tahminin doğruluğuna, sistemik ve rastgele hatalar arasındaki dengeye ve toplam fraksiyon sayısına bağlı olarak yaklaşık 5 ila 12 arasında değişir.

### Plan Kütüphanesi

En sık uygulanan yaklaşım, mesane hacmindeki değişimler gibi önceden beklenen anatomik değişiklikleri hesaba katarak önceden oluşturulan tedavi planları kütüphanesinden oluşur. Planlar kütüphanesi" (LoP) yaklaşımının uygulanması, diğer adaptif uygulama yöntemlerinden görece daha kolay olsa da, pratikte uygulanmasının detaylarının geniş ölçüde değiştiğine dikkat etmek önemlidir. Tipik olarak, farklı BT taramaları kullanılarak bir LoP yapılabilir (örneğin bir "dolu mesane" taraması ve ardından "boş mesane" taraması veya ilk birkaç fraksiyonun CBCT'leri kullanılarak). Ayrıca hastaya özgü değişimlere

dayalı bir kütüphane oluşturmak yerine, popülasyon istatistiklerine dayalı oluşturulan farklı CTV'ler veya PTV'ler için bir kütüphane tasarlanabilir. Her bir fraksiyon için tedavi öncesi alınan günlük BT taraması görüntüleri kütüphane planlarının konturlarıyla görsel olarak karşılaştırılır ve kütüphaneden en uygun plan seçilir. Pratik nedenlerden dolayı, sadece sınırlı sayıda plan (2-5) içeren kütüphaneler oluşturulabilir. Sonuç olarak, bir LoP stratejisinin uygulanması, mesane doluluğu veya serviks-uterus şekli değişikliği gibi tek bir değişken tarafından domine edilen anatomik değişikliklerle sınırlıdır. Daha karmaşık rastgele anatomik değişiklikleri hesaba katmak için online yeniden planlama stratejileri gerekir.

#### Tetiklenen Adaptasyon

Tetiklenen adaptasyon, örneğin hastanın kilo kaybı gibi önemli anatomik değişiklikler yaşadığı durumlarda, belirli bir "eşiği" aştığı zaman tedavi planını adapte etme sürecini ifade eder. Bu, "adaptif radyoterapi" teriminin başlangıcından bile önce kullanılan en yaygın offline adaptasyon biçimidir. Çoğu durumda, bir adaptasyonu tetikleme kriterleri kalitatifdir, örneğin, sabitleme ekipmanının artık hastaya uygun olmadığı veya anatomik değişikliklerin önemli miktarda olduğuna görsel olarak karar verilir. Bu yaklaşımda sabitleme ekipmanları yeniden hastaya uygun hale getirilir, yeni planlama BT'si çekilir ve yeniden plan optimizasyonu yapılır.

#### Planlanmış Adaptasyon

Tetiklenen adaptasyon öngörülemez olmanın dezavantajına sahiptir. Buna karşılık, adaptif sürecin zaman noktalarının önceden belirlenmesi, bölümlerin yeniden planlama işlemine hazırlıklı olmasını sağlar. Planlama amaçlı yeniden BT çekimi, bir kez (örneğin tedavi süresinin yarısında) veya birkaç kez (örneğin tedavi süresi boyunca haftalık olarak) gerçekleştirilebilir. Zaman kazanmak için, orijinal tedavi planı yeni BT üzerine aktarılarak, tümör kapsamının ve OAR korumasının klinik hedefleri hala yerine getirip getirmediğini değerlendirilir. Buna bağlı olarak aynı planla devam edilebilir veya plan tekrar optimize edilebilir.

#### Online Adaptasyon

Hem sistematik hem de rastgele karmaşık anatomik değişiklikleri hesaba katmak için günlük online yeniden planlama yapılabilir. Böyle bir yaklaşımla, plan her fraksiyon için yeniden optimize edilir. Bu yaklaşımda görüntüleme hasta tedavi masasındayken yapılır ve hasta hareket ettirilmeden yeniden konturlama ve yeniden planlama işlemleri her fraksiyonda tekrarlanır. Günümüzde radyoterapi teknolojisi en çok online adaptif uygulamalar yönünde ilerleme kaydetmeye çalışmaktadır. Online adaptif uygulamalarda en ümit veren teknoloji MR-Linac cihazlarıdır. CBCT üzerinden online yeniden planlama teknolojisi ise yakın bir gelecekte klinik uygulamalardaki yerini alacaktır.

#### Gerçek Zamanlı Adaptasyon

Radyoterapi tedavisinin gerçek zamanlı adaptasyonu, hareketli lezyonların hedeflenme doğruluğunu artırarak tedavinin etkinliği artırmayı amaçlar. Uygulamanın doğruluğunun artmasıyla birlikte, hedefe verilen marjlar azaltılabilir ve böylece çevre sağlıklı dokunun maruz kaldığı radyasyon miktarı azalır.

Robotik hedef takibi (Cyberknife, Accuray), Multileaf kolimatör (MLC tracking) ile hedef takibi ve gimbal izleme (Vero SBRT System, Brainlab) de dahil olmak üzere klinik olarak uygulanan tüm takip sistemlerinde, akciğer kanserinde hedef marjlarında % 50'ye kadar azalma sağlandığı ve gerçek zamanlı adaptasyon ile ortalama akciğer dozunun 1 Gy'ye kadar azaltıldığı gösterilmiştir.

MR linaklar, PET linaklar ve gelişmiş görüntü registrasyon sistemeleri sayesinde hem gerçek zamanlı geometri (konum/şekil) hem de radyobiyojik (fonksiyonel görüntüleme) tedavi adaptasyonları sağlanabilecektir.

#### Adaptif Radyoterapinin Klinik Uygulamaları

Prostat kanseri radyoterapisi, adaptif protokollerin klinik olarak uygulandığı ilk hastalık bölgelerinden birisidir. Nijkamp ve arkadaşları, CBCT kullanarak offline bir ART protokolü ile tedavi edilen ilk yirmi hastanın klinik sonuçlarını yayınladı. Güvenlik marjında ortalama %29 azalma raporlanırken, 65 Gy'den yüksek doz alan rektum hacminde %19 ve anal duvar dozunda ortalama 4.8 Gy azalma gösterilmiştir.

ART'ın sıklıkla kullanıldığı bir diğer tedavi alanı ise baş-boyun bölgesidir. IMRT ile tedavi olan 317 Squamoz hücreli baş-boyun kanseri hastasından %19'una tedavilerinin ortasında, kilo verme, maske bollaşması ve tedaviye ara verilmesi gibi nedenlerden dolayı ART uygulanmıştır. Adaptif radyoterapi uygulanan hastalarda iki yıllık lokal-bölgesel kontrol %88 iken, ART uygulanmayan hastalarda %79 olarak bulunmuştur.

Møller ve ark. lokal ileri evre akciğer kanseri için günlük CBCT görüntülerinin sistematik olarak değerlendirildiği tetiklenmiş



bir ART protokolü hakkında çalışmalarını sunmuşlardır. Bu protokole göre; tümör, lenf nodları veya omurların planlama BT'si ile uyumsuzluklarının ardışık 3 gün boyunca sırasıyla 2.5 ve 5 mm'lik eşikleri aşması veya normal dokularda, pnömoni, atelektazi veya plevral efüzyon gibi büyük anatomik değişikliklerin ardışık 3 gün boyunca devam etmesi durumunda yeni bir BT çekerek adaptif planlama yapılmıştır. Aynı zamanda, ART uygulanan hastalarda lokal-bölgesel kontrol oranının artışı (%65-%47) bildirilmiştir. Daha büyük marjların kullanıldığı ART uygulanmayan konvansiyonel kola göre, ART uygulanan kol- da tedaviye bağlı yan etkilerde herhangi bir artış gösterilmemiştir.

Otuz erken evre meme kanseri hastasına 40 Gy tedavi uygulandıktan sonra tekrar BT çekildiğinde lumpektomi hacminde ortalama 32.1 cc (ortalama %22.5) azalma olduğu görülmüştür. Meme hacmindeki değişiklik ise ortalama %0.11 azalma olarak bildirilmiştir.

#### Rezidüel Belirsizlikler

Adaptif radyoterapi, geometrik ve muhtemel biyolojik belirsizlikleri azaltmak için bir çok farklı strateji sunar. Adaptif radyoterapi'nin sınırlı bir kesinliğe sahip olması, bazı geometrik belirsizlik kaynaklarına karşı çözümsüz kalması ve ayrıca radyoterapiye özel yeni geometrik belirsizlik kaynaklarını tetiklemesi nedeniyle adaptif radyoterapiye rağmen bazı rezidüel belirsizlikler kalmaktadır. Modern radyoterapide en zayıf halkalardan biri hedef tanımlamasıdır. Hedef tanımlamada kullanıcılar arası ve kullanıcının kendi içerisindeki farklılıklar IGRT ve ART uygulamalarında başlıca geometrik belirsizlik kaynağıdır. Benzer şekilde, ART, tedavi cihazının mekanik doğruluğu ile ilişkili belirsizliklere karşı da hassastır. Adaptif radyoterapi ayrıca yeni geometrik belirsizlik kaynakları da getirmektedir. Her şeyden önce, CBCT ve MRI gibi ART stratejileri için kullanılan oda içi görüntüleme sistemlerinin linak izomerkezine göre kalibre edilmeleri gerekir. Böyle bir kalibrasyonun sınırlı hassasiyeti, tedavi sırasında anatominin kesin pozisyonu hakkında belirsizlikler getirir. Benzer şekilde, tedavi öncesi alınan görüntülerdeki distorsiyonlar görselleştirilmiş anatominin tam konumuna belirsizlikler katar. Görüntü alınmasının ardından, oda içi görüntüler tipik olarak planlama tomografisi ile rijit veya deforme olarak register edilir. Bu registrasyonlar, setup hatalarını görmek, anatomik değişimleri ölçmek, konturları transfer etmek ve verilen toplam dozu hesaplamak için kullanılabilir. Tüm bu işlemler görüntü registrasyonlarının sınırlı hassasiyetinden etkilenir. Adaptif radyoterapi sürecinin kendisi de sınırlı bir kesinliğe sahiptir. Ortalama anatomi yaklaşımı, planlama geometrisine göre yanlış hizalamaları tahmin etmek ve sistematik hataları azaltmak için ilk fraksiyonlarda alınan görüntüleri kullanır. Böyle bir tahminin doğruluğu, gözlem sayısının karekökü ile orantılıdır. Benzer şekilde, bir plan kütüphanesi yaklaşımı sınırlı sayıda plana (tipik olarak 2-5) dayanır ve bu nedenle her planın bir hareket aralığını kapsamaması gerekir. Ayrıca, plan kütüphanesinin oluşturulduğu BT görüntüleri tipik olarak tedavinin ilk gününde veya ilk haftasında elde edilir ve bu nedenle tedavi sırasında olabilecek mevcut hareketin karmaşıklığını tam olarak karşılayamaz.

#### Adaptif Radyoterapideki Potansiyel Tehlikeler

ART, radyoterapi'nin doğruluğunu artırmak için güçlü bir strateji oluştursa da, kabul edilmesi gereken bazı önemli sınırlamaları vardır. Öncelikle, tümörler sıklıkla radyoterapiye cevap verir ve böylece tedavi boyunca daha küçük hale gelirler. Ancak, alınan yeni planlama BT görüntüsüne deformable registrasyon yoluyla kontur transferinin tümör hacmini küçültmesi muhtemeldir. Bununla birlikte, başlangıçta GTV'nin bulunduğu bölge hala mikroskobik hastalık içerebileceğinden, GTV hacminin küçültülmesinin güvenli olup olmadığı henüz açık değildir. Bu, regresyonun elastik olup olmamasına (yani, çevreleyen doku gerileyen tümörle içeriye doğru hareket eder) veya aşınmaya (yani, tümör gerilerken orijinal konumunda kalır) bağlı olacaktır. Bunun için GTV hacminin rigid registrasyon ile transfer edilmesi ve manuel olarak düzeltilmesi önerilmektedir.

CTV konturu normal doku ve mikroskobik hastalık içerdiğinden deformable registrasyon ile transferinde normal doku ve mikroskobik hastalık arasındaki ilişki bozulabilir. Bu nedenle CTV'nin de rigid registrasyon ile yeni BT'ye transfer edilmesi tavsiye edilmektedir.

CTV'ye benzer şekilde, PTV konturu da normal doku içerir. PTV konturundaki normal dokunun deformasyonu, gerekli PTV marjı ile çok az veya hiç korelasyon göstermez. Bu nedenle, PTV'nin de rigid registrasyon ile transfer edilmesi veya adapte edilen CTV'den yeniden genişletilmesi önerilmektedir.

#### Kalite Güvencesi

Adaptif radyoterapi'nin klinik uygulamasının önündeki zorluklardan birisi plan için kalite güvencesidir (QA). Hastaya özel tedavi planlarının tedavi öncesi QA'ı zaten birçok radyoterapi kliniğinde medikal fizik grubu üzerinde ağır bir iş yükü oluşturmaktadır. Hasta başına birden fazla tedavi planının yapıldığı, gelişmiş ART protokolleri böyle bir QA yaklaşımını daha da zorlaştırır.

Offline uygulamada oluşturulan bir plan için kalite güvencesi süreci, genellikle sıkıştırılmış bir zaman çizelgesinde de olsa, kapsamlı bir değerlendirme ve verilecek dozun fantom üzerinde ölçümüne dayalı bir test de dahil olmak üzere standart

yeni planlarla aynı adımları izler. Online ART uygulamalarında ise hasta tedavi pozisyonunda masada kalmalıdır. Bu nedenle, tedavi öncesi ölçüme dayalı hastaya özel kalite güvencesi (örneğin, planan doz dağılımının bir fantom üzerinde ölçülmesi) pratikte mümkün değildir. Online ART uygulamalarında hastaya özel QA için alternatif metodlar geliştirilmektedir. Bunlar: (1) Bağımsız bir doz hesaplama algoritması kullanılarak doz dağılımının yeniden hesaplanması (MR-Linakta kullanılan Monte Carlo tabanlı yeniden hesaplama programı vs.); (2) tedavi planı dosyaları ve uygulanan tedavinin log dosyaları kullanılarak, uygulanan tedavinin bağımsız bir program yardımıyla verifikasyonu (Varian Mobius vs.); (3) linak kolimatörüne, MLC ile hasta arasına monte edilmiş bir geçirgen detektör sistemi (IBA Dolphin, PTW DAVID vs.) ve (4) elektronik portal görüntüleme cihazı temelli bir portal dozimetri algoritması olabilir (Tomotherapy Delivery Analysis vs.).

Aslında, eğer tedavi planlama sistemi ve tedavi cihazı birlikte, dikkatli ve kapsamlı bir şekilde ölçümleri tamamlanarak ve değerlendirilerek devreye alınmışsa, online ART sürecini göz önünde bulundururken öngörülen doz uygulamasının doğruluğu en önemli güvenlik kaygısı değildir. Bunun yerine, tedavi öncesi alınan görüntünün aslına uygunluğu ve doğruluğu, OAR'ların ve hedefin yeni pozisyonlarının ve göreceli elektron yoğunluğunun doğru şekilde tanımlanması, güvenli ve doğru bir online ART uygulaması için temel kaygılar olmalıdır. Bu nedenle online ART için kapsamlı bir kalite güvencesi programında iyi eğitilmiş ve iyi hazırlanmış bir ekibin yanı sıra konturlama ve planlama parametrelerindeki potansiyel hataları kontrol edebilen bir otomasyon sisteminden de faydalanılır.

Radyoterapi uygulama sisteminin gerçek zamanlı değişikliklere anında cevap vermesi gereken gerçek zamanlı ART için makine loglarının analizi de eşzamanlı olarak yapılmalı ve tercihen başka bir anlık geri bildirim yöntemi ile birleştirilmelidir (örneğin, portal dozimetri ve çıkış dozu analizi gibi).

#### Sonuç

Adaptif RT günümüz radyoterapisinde en çok araştırılan uygulama tekniklerinden birisidir ve tedavinin kalitesine olan katkısı azımsanamaz ölçüdedir. Tedavi odasında bulunan görüntüleme sistemleri, görüntü registrasyon, oto segmentasyon ve hızlı plan optimizasyon programları ve hedef takip sistemlerindeki teknolojik gelişmelerle birlikte özellikle online ve gerçek zamanlı ART uygulamalarının günlük pratiğe daha çok girmesi beklenmektedir.



## Meme Radyoterapisinde Solunum Kontrolü Yapılamıyorsa Ne Yapılmalı?

Prof. Dr. Füsün Tokatlı

Medicana Int.İst.Hast.Rady.Onkolojisi Kliniği

Meme koruyucu cerrahi/mastektomi sonrasında radyoterapinin lokal kontrol ve sağkalımı arttırdığı bilinmektedir. Erken evre hastalıkta artış, radyoterapi teknolojisindeki gelişmeler, cerrahi ve sistemik tedavilerdeki gelişmeler uzun sağkalım beklentisinde artışa ve bu durum da tedaviye bağlı kronik yan etkiler için yüksek hassasiyet göstermemize yol açmıştır. Günümüzde volüm temelli planlanan radyoterapide solunum gibi fizyolojik hareketler nedeniyle hedef volümlerde doz düşüklüğü ve normal dokuların korunamaması yan etkilerde artışa ve tedavide başarısızlığa yol açacaktır. Bu nedenle nefes döngüsüne bağlı hareketleri ve hedef ve komşu dokulardaki anatomik değişiklikleri dikkate alarak tedavi planını uyarlamak için solunum kontrollü radyoterapi teknikleri geliştirilmiştir. Temeli; solunum döngüsünün belirli bölümlerinde radyoterapinin uygulanması esasına dayanır. Gating (RPM), nefes tutma, zorlanmış sığ nefes alma, gerçek zamanlı tümör izleme gibi teknikler kullanılmaktadır. Ancak, meme radyoterapisinde solunum kontrollü teknikler uygulayamadığımızda neleri kontrol etmek isteriz? Kardiyotoksisteyi azaltmak ve hedefin doğrulukla ışınlanmasını sağlamak. Özellikle sol taraf ışınlanan hastalarda ortalama kalp ve LAD dozları önemlidir. Kardiyotoksistite kalbin aldığı ortalama doz ile orantılıdır, maruz kaldıktan sonraki bir yıl içinde başlar ve en az 20 yıl boyunca devam eder. Kardiyak olay gelişen olguların %54'ünün iskemik kalp hastalığından öldüğü bilinmektedir. Kalp dozunu azaltmak için geliştirilen teknikler; Kalp ile göğüs duvarı arasındaki mesafeyi arttırmak için yapılan manevralar (solunum döngüsü ile radyoterapi zamanlaması, pozisyonlandırma veya prone pozisyon), Radyoterapide daha sofistike, ileri teknolojiler kullanmak (IMRT veya proton radyoterapisi), tüm memenin geleneksel hedefini daha sınırlı bir bölgeye kaydırmak (hızlandırılmış kısmi meme ışınlaması=APBI veya intraoperatif RT=IORT) gibi tekniklerdir. IMRT tedavisinin; tüm meme RT'si için daha iyi doz homojenitesi sağlanması, tümör kavitesinin daha iyi kapsanması, simultane integre boost tekniğinin uygulanabilirliği, kritik organ dozlarında azalma, özellikle sol meme/göğüs duvarı RT'de kalp dozunda azalma gibi dozimetrik avantajlarının yanı sıra, düşük radyasyon dozlarına maruz kalan doku hacminde artış ve ikincil malignite riskinde artış (yüksek integral doz) gibi dezavantajları vardır. IMRT; maksimum, minimum kardiyak doz parametreleri ve ortalama kalp dozlarında azalma, V5 de, Kalp NTCP'sinde azalma,3D-CRT'ye kıyasla ortalama kalp dozunda anlamlı azalma sağlayan bir tekniktir. Prone teknikle kombine edildiğinde kalp dozlarında anlamlı azalma sağladığı gösterilmiştir. Çalışmalarda, IMRT'nin geleneksel tedaviye kıyasla LAD ve sol ventrikül dozlarında azalttığı gösterilmiştir. Bir diğer teknik olan tüm meme field in field IMRT (FiF) tekniği, kalp dozunun en çok azaltılabildiği tekniktir. Daha modern çalışmalar, kalp mesafesi, kardiyotorasik oran ve meme büyüklüğü gibi sayısız kardiyak ölçüme dayanarak, hangi hastaların IMRT'den en fazla fayda sağladığını tanımlamaktadır. FiF IMRT ile meme dozimetrisi önemli ölçüde iyileştirilebilir, daha iyi kozmetik sonuçlar sağlanır, yöntem daha basittir, daha az MU, daha az saçılma, daha az planlama süresi ve daha az tedavi süresi sağlar. Sonuçta; IMRT kalp korumasını sağladığı kanıtlanmış bir tekniktir. Solunum teknikleri, prone pozisyonlandırma ve APBI ile birlikte de kullanılabilir. Bir diğer tedavi Proton tedavisi olup, ilk dozimetrik çalışmalarda IMRT ve geleneksel foton tedavileri ile kıyaslandığında ortalama meme dozları arasında fark yokken, maksimum kalp dozunu azalttığı gösterilmiştir. IMProtonT'li çalışmalarda kardiyak dozların azaldığı (V5 ve V20) gösterilmiştir. Ancak pahalı olması ve sınırlı çalışma olması nedeniyle meme radyoterapisinde şu an önerilmemektedir. APBI'nın mantığı ise nükslerin %80-90'nın indeks bölgeden çıkması nedeniyle sadece bu bölgenin ışınlanmasına dayanır. Normal doku dozunu azaltır, konvansiyonel RT'den daha yüksek dozda RT verilebilir, toplam tedavi süresini önemli ölçüde azaltır. Haklı bir endişe olarak hipofraksiyone tedavinin kardiyak morbiditeyi arttırmadığı gösterilmiştir. APMI, IMRT ve prone pozisyon ile birlikte de önerilmektedir. IORT ise yüksek lokal nüksler nedeniyle önerilmemektedir. Sonuç olarak; sol meme kanserli hastalar eğer mümkünse kalp dozunu azaltacak teknikler kullanılarak ışınlanmalıdır. Gerek MKC gerekse MRM yapılmış ve bölgesel lenf nodları ışınlanacak hastalara uygulanmalıdır. Bugün için birbirine üstün teknik yoktur. Yöntem hasta bazında seçilmelidir.

## MEME'DE GATING YAPILAMIYORSA NE YAPILMALIDIR?

Nazmiye Dönmez Kesen

Solunum adapte radyoterapi, radyasyon tedavisinin, solunum hareketi takibi ile tümör hareketleriyle senkronize şekilde yapılmasını sağlayan tekniktir. Solunum takibiyle planlamaya bir 4. boyut getiren tekniğin, özellikle akciğer, meme, prostat ve pankreas kanseri hastaları üzerindeki uygulamalarında yüksek tümör kontrolü sağladığı, normal dokularda da anlamlı doz farklılıkları oluşturduğu görülmektedir. Meme RT'de en sık kullanılan solunum takip yöntemi "Derin Nefes Alıp Tutma" yöntemidir. Derin nefes alma sırasında kalp, akciğerin genişlemesi ve diyafragmatik hareketler nedeniyle posterior ve inferior olarak hareket eder. Böylece göğüs duvarı ile kalp arasındaki mesafe alınan nefesin derinliğine göre artar, bu da kalbin radyasyon alanının dışına çıkmasını sağlar. Birçok çalışmada, derin nefes alıp tutularak yapılan sol meme ışınlamasında kalp ve akciğer dozlarının anlamlı olarak düştüğü bildirilmiştir.

Meme radyoterapisinde gating (solunum takibi) yapılamıyorsa, farklı ışınlama yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemleri 3 başlık altında toplayabiliriz;

1. Kalp ile göğüs duvarı arasındaki mesafeyi arttırmak için manevralar yapmak (solunum döngüsü ile radyoterapi zamanlaması veya prone pozisyon)
2. Radyoterapi için daha sofistike, ileri teknolojiler kullanılarak ( IMRT veya proton ışını radyoterapisi) kardiyak dozu sınırlandırmak
3. Tüm memenin geleneksel hedefini daha sınırlı bir bölgeye değiştirmek (hızlandırılmış kısmi meme ışınlaması veya intraoperatif RT).

Meme boardı kullanılması; hastaya vereceğiniz eğim ile ön kalbin ön kısmını korumak için göğüs duvarı boyunca tedavi açısını daha iyi hale getirir. Konumdaki iyileşmelerin, düz kalp pozisyonu ve kolimasyonla yapılan tedaviye kıyasla ortalama kalp dozunu % 60'a kadar ve kalbin maksimum dozunu % 30 oranında azalttığı gösterilmiştir.

Hastaların yüzüstü (prone) pozisyonlandırılması meme dokusunu öne düşürerek, tümör yatağını/ meme dokusunu göğüs duvarından uzaklaştırabilir. Meme dokusunda doz homojenitesini sağlar. Memenin separasyonunu, özellikle meme hacmi yüksek olan hastalarda akciğer ve kalp dozlarını azaltır. Öte yandan bu pozisyon bazı hastalarda toleransı zor bir pozisyon olabilir (rahatsız edici ve bazen daha fazla kaygıya neden olabilir). İlk araştırma prone pozisyonlandırma ile dermatit artışı için bir potansiyel öne sürerken, daha yeni veriler teknik ile akciğer dozunda bir düşüş olduğunu ve geleneksel (sırtüstü) yatar tekniklere eşdeğer ya da daha üstün olan klinik ve kozmetik sonuçları doğrulamaktadır. Genel olarak, teknikle ilgili homojen doz dağılımı sağlaması, cilt toksisitesini düşürmesi, akciğer ve kalp dozlarında iyileştirme gösteren çalışmalar olsa da; fayda sağlayabileceği düşünülen hastalarda, yöntemin uygulanmasına hastanın anatomisine göre karar verilmelidir. Bununla birlikte prone pozisyonda IMRT tekniği uygulamalarında sonuçların daha iyi olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur.

Meme radyoterapisinde ileri teknolojiler kullanılarak da kardiyak dozlarının düşürülmesi mümkündür. Hedeflenen hacim üzerinde açılan konformal alanların hesaplanması sonrasında oluşan yüksek doz bölgelerinin, MLC'ler kullanılarak bloklanması mantığına dayanan Field-in-Field Tekniği ile kalp, akciğer ve çevre dokularda 3DKRT tekniğine kıyasla daha düşük dozlar elde edilebilirken hedeflenen hacimde yüksek doz homojenitesi sağlanabilmektedir. Teknik uygulanırken hastanın nefes alışveriş hareketi ile ışınlanacak memenin alan dışına çıkma olasılığını ortadan kaldırmak ve cilt dokusunun istenen miktarda radyasyon dozunu alabilmesi amacıyla tanjansiyel alanların meme tarafından geçen kenarları meme üzerinden bir kaç cm uzaklık bırakacak şekilde açılmalıdır (Skin Flash).

IMRT, terim olarak istenen doz dağılımı sağlayacak şekilde, tedavi alanının herhangi bir pozisyonunda nonuniform bir akının hastaya uygulandığı bir radyasyon tedavi tekniğidir. IMRT tekniğinin genel prensibi, hastayı farklı yönlerde birden fazla açı ya da sürekli dönen bir ark sistemiyle (VMAT) tedavi etmektir. Her iki radyoterapi yöntemi de meme ışınlamalarında daha iyi doz homojenitesi sağlanabilen tekniklerdir. Yapılan çalışmalarda sol yerleşimli meme kanserlerinde bu yöntemler kullanılarak düşük kalp dozu ve düşük ipsilateral akciğer dozu elde edilebildiği bildirilmiştir.

3 Boyutlu konformal RT'de alan boyutu ve lifler fizikçi kontrolündedir. IMRT ve VMAT lifler optimizasyonda gösterilen hedef organa göre otomatik olarak şekillenmektedir. Işınlanan meme dokusu ile lifler arasında boşluk bırakılarak nefes alışveriş sebebiyle memenin alan dışına çıkması engellenmelidir. Her bir alan için, akı nefes hareketi, ödeme bağlı muhtemel anatomik değişiklikleri ve pozisyondaki olası herhangi bir belirsizliği hesaba katarak ışınlanacak meme volümünün (CTVmeme) body kontürünün dışına doğru genişletilmesi gerekir. Bu işlem "skin flash" olarak ifade edilir. IMRT tekniği için bazı tedavi planlama sistemlerinde bu sorunu çözebilecek toollar mevcutken (örn. Eclipse TPS skin flash tool) aynı TPS'nde IMRT için kullanılan çözüm VMAT için uygulanamayabilir. Literatürde bu problemi ortadan kaldırmak amacıyla 2 farklı yöntemden bahsedilmektedir.

1. Pseudo skin flash (Nicolini ve ark. 2011)
2. Pseudo skin flash strategy using bolus (Lizondo ve ark. 2019)

Gating yapılamayan meme kanserli hastalarda kullanılabilir yöntemlerden birisi de akselere parsiyel meme radyoterapisidir (APBI). Bu teknik, seçilmiş hastalarda rekürrens riski yüksek olan sınırlı bir bölgeye RT'nin uygulandığı bir tedavidir şeklindedir. Tüm meme RT'ye kıyasla hedeflenen hacme daha kısa sürede daha yüksek doz verilebilir. Diğer taraftan akciğer, kalp ve göğüs duvarı gibi radyasyon alan normal doku miktarı minimum düzeydedir. Akselere parsiyel meme radyoterapisi, 3-boyutlu konformal eksternal radyoterapi (EBRT),intraoperatif radyoterapi (IORT),intrakaviter brakiterapi ve intertisyel brakiterapi teknikleri kullanılarak yapılabilmektedir.





Prof. Dr. Ayşe Nur Demiral

Fizik Uzmanı Zafer Karagüler, MSc

### AKCİĞERDE SBRT Mİ? KONVANSİYONEL Mİ?

Akciğer kanseri kansere bağlı ölümdede ilk sırada yer almaktadır. Erken evre küçük hücreli dışı akciğer kanserinde (KHDAK) standart tedavi cerrahidir. Ancak medikal inoperabl olan veya cerrahiye reddeden hastalar radyoterapi ile tedaviye adaydır. Konvansiyonel fraksiyonasyonla radyoterapide (KFRT) yerel-bölgesel kontrol %60 düzeyindedir. Bu nedenle bu hasta grubunda stereotaktik beden radyoterapisi (SBRT) önemli bir tedavi seçeneğidir. Ayrıca operabl hasta grubunda da SBRT standart tedavi olmamakla birlikte cerrahiye eşdeğer sonuçlar sağlamaktadır.

Timmerman'ın evre I KHDAK tanılı 37 hastada 3 fraksiyonda 24-60Gy SBRT uyguladıkları serilerinde 15 aylık medyan izlemde hastalısız ve genel sağkalımı (GSK) %50 ve %64 idi. Onishi, 245 evre I KHDAK tanılı hastanın analiz edildiği çalışmada SBRT'de BED10Gy>100 olmasının yerel kontrolü (YK) arttırdığını göstermiştir. SBRT ile ilgili prospektif RTOG0236 çalışmasında periferik evre I KHDAK'de 3 fraksiyonda 60Gy uygulanmış olup 3-yıllık aktüaryel GSK %56, YK %98'dir. Periferik erken evre KHDAK'deki RTOG0915 çalışmasına göre 1x34Gy ile 4x12Gy şemaları YK yönünden benzerdir (%97 ve %93). Medikal inoperabl erken evre KHDAK'de ideal SBRT doz fraksiyonasyon (doz-frn) şeması henüz netleşmemiştir. Erken evre periferik yerleşimli KHDAK'de SBRT ile KFRT'yi karşılaştıran 2 randomize çalışma (SPACE, CHISEL) mevcuttur. Tamamlanmış SPACE çalışmasının sonucuna göre 35x2Gy KFRT ile 3x22Gy SBRT progresyonsuz sağkalım ve GSK yönünden benzer olmakla birlikte SBRT'de yaşam kalitesi ve toksisite daha düşüktür.

SBRT'de oluşabilecek yan etkiler; göğüs duvarında ağrı, kosta fraktürü, pnömoni, fibrozis, halsizlik, ösofajit, bra-kial pleksus hasarı veya nadiren fatal olabilen komplikasyonlardır (fistül, bronşial striktür, kalp yetmezliği, pnömotoraks, pnömomediastinum, masif hemoptizi). Ciddi yan etkileri azaltmak amacıyla uygulanan SBRT şemasının BED3Gy cinsinden <210 olması önerilmektedir.

#### Akciğere SBRT veya KFRT seçiminde dikkate alınması gereken faktörler

SBRT veya KFRT seçiminde dikkate alınması gereken faktörler; tümör yerleşimi, tümörün riskli organ/dokulara yakınlığı, endobronşial tümör varlığı, tümör boyutu ve hastaya bağlı faktörler (interstisyel akciğer hastalığı (İAH), vb) olarak belirtilebilir.

Akciğer SBRT'sinde periferik yerleşimde santrale göre toksisite daha düşüktür. Santral yerleşimli akciğer lezyonlarına yönelik 3 fraksiyonda 60-66Gy SBRT uygulanan Timmerman'ın çalışmasında %50'ye yakın ciddi toksisite ve %8.6 mortalite görülmesi üzerine "no-fly zone" tanımı (proksimal bronş ağacına (trakea+ana bronş+lob bronşları) 2cm uzaklık içindeki bölge) getirilmiş ve "santral" yerleşim olarak tanımlanan bu bölgede yüksek fraksiyon dozlu SBRT şemalarının kontrendike olduğu belirtilmiştir. Santral yerleşimde doz artırımını araştıran RTOG0813 çalışmasında (5 fraksiyonda 50-60Gy) ise ek olarak PTV'si mediastinal yapılarla kesişen tümörler de çalışmaya dahil edilmiştir. Santral akciğer lezyonlarında toplam fraksiyon sayısının 4-5'ten az olmaması ve gerekirse 8'e çıkılması önerilmektedir. "Ultrasantral" akciğer lezyonları ise GTV veya PTV'si proksimal bronş ağacına veya mediastene bitişik ya da içine giren lezyonlar olarak tanımlanmaktadır. "Ultrasantral" lezyonlarda ciddi morbidite ve mortalite riski yüksek olduğu için ASTRO rehberinde SBRT önerilmemekte, 6-15 fraksiyonluk hipofraksiyone radyoterapi veya KFRT önerilmektedir. Özellikle endobronşial tümör varlığı fatal komplikasyon riskini arttırdığı için SBRT doz-frn'u uzatılmalı veya RAO sınırlamaları karşılanamıyorsa KFRT uygulanmalıdır.

SBRT'de tümör boyutu >5cm ise YK azalırken yan etki riski artmaktadır. Büyük tümörlerde uygun SBRT şeması ile RAO sınırlamaları dışına çıkmazsa tedavi güvenli olabilir. Bunun sağlanamadığı durumlarda KFRT tercih edilebilir.

Hasta özellikleri ile ilgili olarak ileri yaş ve KOAH SBRT yönünden kontrendikasyon oluşturmamaktadır. Ancak tüm kanser tedavileri yönünden risk yaratan İAH'da SBRT'ye bağlı ölüm riski de yüksektir. İAH'da tedavi kararı multidisipliner olarak verilmelidir.



## GİRİŞİMSEL İNCELEMELERDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE DOZ AZALTIM YÖNTEMLERİ

Turan Olğar<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, Ankara

**Amaç :** Girişimsel kardiyoloji incelemeleri yüksek hasta dozlarına neden olabildiğinden, hastaları cilt eritemi, kardiyovasküler doku reaksiyonlarına veya radyasyona bağlı kanser oluşumuna karşı korumak için özel önlemler alınmalıdır. Bu tür incelemelerde uzun floroskopi süreleri nedeniyle incelemeyi gerçekleştiren personel de yüksek doz seviyelerine maruz kalabilmektedir. Bu nedenle literatürde bu alanda yapılmış çok sayıda çalışmaya rastlamak mümkündür. Göz merceğinin iyonize radyasyona karşı hassasiyeti epidemiyolojik veri kümelerine dayanan birçok çalışmada açıkça gösterilmiştir. Genel olarak girişimsel anjiyografi incelemelerini gerçekleştiren radyologların inceleme sırasında hastaya daha yakın mesafede durmaları nedeniyle, diğer radyasyon çalışanlarına göre katarakt gibi radyasyona bağlı göz hasarı riski daha yüksektir. Gittikçe artan epidemiyolojik kanıtlara dayanarak, radyasyon çalışanları için göz merceği için yıllık eşdeğer doz sınırı son yıllarda güncellenmiştir. Uluslararası Radyasyondan Korunma Komitesi (The International Commission on Radiological Protection , ICRP) 2011 yılında göz merceği için yeni bir eşdeğer doz sınırı tavsiye etti. Göz merceği için şimdiki yürürlükte olan eşdeğer doz sınırı, beş yılın ortalaması olmak üzere yıllık 20 mSv'dir. Tek bir yılda ise 50 mSv değerini aşmamalıdır. ICRP'nin 2007'deki 103 raporundaki göz merceği için tavsiye edilen eski doz limiti yine beş yılın ortalaması olmak üzere yıllık 150 mSv şeklinde idi. Bu nedenle son zamanlarda, göz merceği dozunun en doğru şekilde nasıl ölçülebileceği ilgi konusu olmuştur. İdeal olarak hastalar için de cilt dozu uyarı seviyeleri, çevrimiçi doz göstergesinin (uluslararası girişimsel referans noktasındaki kümülatif hava kerma değeri) fonksiyonu olarak cilt yaralanmaları önlemek ve hangi hastaların takip gerektirdiğini belirlemek için kullanılabilir. Ancak girişimsel incelemenin karmaşıklık derecesindeki, optimizasyon seviyesindeki, operatörün tecrübe düzeyindeki ve incelemenin gerçekleştirilme tekniğindeki farklılıklar, önceden belirlenmiş bir cilt dozuna karşılık gelen doz göstergelerinde geniş dağılıma neden olur. Bu konuşmada, hem hasta hem de incelemeyi gerçekleştiren radyasyon çalışanlarının girişimsel anjiyografi incelemelerinden kaynaklı radyasyon dozlarından bahsedilecek ve güncel doz azaltım teknikleri anlatılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Girişimsel Radyoloji, Göz Lens Dozu, Hasta ve Çalışan Radyasyon Dozu





# SÖZLÜ BİLDİRİLER

## 17. ULUSAL MEDİKAL FİZİK KONGRESİ - SÖZLÜ BİLDİRİLER

- S01 Türkiye’de Radyoterapi Cihazlarının Durumu ve İnsangücü - Hatice Bilge Becerir
- S02 Sol Meme Kanseri Hastalarının Radyoterapi Tedavisinde Vmat ve Imrt Tekniklerinin Dozimetrik Olarak Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi - Yılmaz Bilek
- S03 Akciğer Kanseri Radyoterapisinde Dört Boyutlu Bilgisayarlı Tomografi İle Hedef Hacim Tanımlama Stratejilerinin Hareketli Fantom ve Film Dozimetrisi İle Araştırılması - Canan Köksal
- S04 Yüzey Takip Sistemi (Bh-Ct) ve 4D-Ct Teknikleri İle Tedavi Edilen Akciğer Sbrt Hastalarında Tümör Takibi - İsmail Faruk Durmuş
- S05 Medikal Bir Lineer Hızlandırıcı Foton Faz Uzayının Gate/Geant4 Simülasyon Yöntemiyle Elde Edilmesi ve Analizi - Hediye Acun Bucht
- S06 Baş-Boyun Kanseri Hastalarının Radyoterapi Planlamalarında, Işınlanan Bölgede Bulunan Dış İmplant Malzemelerin Doz Dağılımına Etkisinin Monte Carlo Simülasyon Yöntemi ve Pencil Beam Konvülsiyon Algoritması Kullanılarak Belirlenmesi - Oya Akyol
- S07 Stereotaktik Beyin Radyoterapisinde Seri Işınlamalar İçin Ct Kalınlığı ve Demet Giriş-Çıkış Engellemesinin Plan Kalitesine Etkisi - Melisa Akmanlar
- S08 İleri Evre Sol Meme Kanseri Hastalarında Sanal Bolusun Vmat Plan Kalitesi Üzerine Etkisi - Berat Tuğrul Uğurlu
- S09 Senkron Bilateral Meme Kanseri İçin Simültane İntegre Boost Radyoterapisinde Volumetrik Ark Terapi (Vmat) ve Helikal Tomoterapi Tedavi Planlarının Dozimetrik Karşılaştırılması - Canan Ertunç
- S10 Farklı Tedavi Algoritmalarının Srs ve Sbrt Tedavi Planlamalarına Etkisinin Dozimetrik İncelenmesi - Esra Serin
- S11 Prostat Stereotaktik Radyoterapi Tedavilerinde Linac Tabanlı Cihazların Kolimasyon Sistemlerinin Tedavi Kalitesine Etkisinin Araştırılması - Pelin Çetin
- S12 Sağ Meme Kanseri Hastalarında Farklı Planlama Tekniklerinin Dozimetrik Karşılaştırılması - Derya Yücel
- S13 Dozimetrik Yaprak Açıklığı Değerinin Stereotaktik Vertebra Metastazı Tedavi Planlarında Doz Hesabına Etkisi - Uğur Akbayırlı
- S14 Bakteriyel Selüloz Yara Örtülerinin Bolus Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi - Yeliz Yalçın
- S15 Ozon Yağı Nanopartiküllerinin Malign Melanom Hücre Hattında Radyoduyarlılık Etkisinin İncelenmesi - Yeliz Yalçın
- S16 Özel Tasarlanmış Prostat Fantomu İle Esnek Eşleştirme Programlarının Doğruluğunun Dozimetrik Kontrolü - Evren Ozan Göksel
- S17 Abdominal Bölge Radyoterapi Uygulamalarında Solunum Hareketinin Riskli Organlardaki Hacimsel ve Dozimetrik Etkilerinin Değerlendirilmesi - Yılmaz Bilek
- S18 Sinonazal Kavite Tümörünün Radyoterapi Cevabının Adaptif Metotla Değerlendirilmesi - Sibel Karaca
- S19 Üç Boyutlu Yazıcı İle Üretilen Fantomun Radyocerrahi Tedavi Planlarının Kalite Kontrolünde Kullanılması - Hasan Uysal
- S20 Akciğer Kanseri Stereotaktik Beden Radyoterapisinde Dört Boyutlu Bilgisayarlı Tomografi İle Hedef Hacmin Belirlenmesindeki Yaklaşımların Araştırılması - Canan Köksal
- S21 Lu-177 Psma-617 Tedavisi Uygulanan Prostat Kanseri Tanılı Hastalarda Mırd Yöntemi İle Kritik Organ Dozlarının Belirlenmesi - Burcu Kozanlılar
- S22 Lutesyum-177 Tedavilerinde Kantitatif Spect/Ct İle Hastaya Özgü Dozimetri - Gülçin Çelik
- S23 Bilgisayarlı Tomografi Çekimlerinde Over Dozları: Fantom Çalışması - Özge Ulu
- S24 Bilgisayarlı Tomografide İteratif Rekonstrüksiyon Algoritmalarının Görüntü Kalitesi ve Hasta Dozu Üzerindeki Etkileri - Elif Ecem Alcan
- S25 Tof Özelliği Olan ve Tof Özelliği Olmayan Pet/Bt Sistemlerinde Lezyon Detektabilitesinin Karşılaştırılması - Yağmur İdil Ulusoy
- S26 Glanduler Doku ve Cilt Dozunun Derinlik ve Konuma Bağlı Dağılımının Makroskopik ve Mikroskopik Voksel Boyutlarında Monte Carlo Simülasyonu İle İncelenmesi - Gizem Şişman
- S27 Mamografide Homojen Olmayan X-Işını Alanındaki Doz Gradyentinin Ölçülmesi ve Geant4 İle Monte Carlo Simülasyonu - Gizem Şişman
- S28 Yüksek Atom Numaralı Kompleks Geometrik Yapılı Materyallerin Yüzey Dozlarının Monte Carlo Simülasyonu İle Değerlendirilmesi - Gizem Bakıcıerler Aybars
- S29 Y90 Mikroküre Tedavisinde Pre-Post Tedavi Doz Değerlerinin Karşılaştırılması - Gamze Ergiyen Buldu
- S30 Tc-99m Maa Sintigrafisinde Spect/Bt Görüntülerine Uygulanan Foton Atenuasyonu ve Saçılma Düzeltmelerinin (Ac ve Sc) Y-90 Dozimetrisi Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi - Özgür Taylan Akdağ
- S31 Yttrium-90 Görüntülemeye Kolimatör ve Enerji Penceresi Optimizasyonu - Caner İnce
- S32 Picket Fence Testi İle Belirlenen Mlc Pozisyon Doğruluğunun Srs/Sbrt/Vmat Planlarının Kalite Kontrolünde Gamma İndeks Değerine Etkisi - Serpil Yöndem İnal

- S33 Radyasyonun Oksidatif Stres ve Apoptozis Üzerindeki Etkilerinde Rac1 Molekülünün Rolü - Yaşar Aysun Manisalıgil
- S34 Radyoloji ve Radyoterapideki Temel Dozimetrik Uygulamalarda Medikal Fizik Eğitimine Yönelik İnteraktif Bir Kullanıcı Arayüzünün Geliştirilmesi - İsmail Özsoykal
- S35 Akciğer Sbrt Uygulamalarında Hedef Hacim Pozisyonunun 4D Cone Beam Ct ve Symmetry Özelliği İle Belirlenmesi - Elif Lokumcu
- S36 <sup>99m</sup>Tc-Nanocolloid Sentinel Lenf Nodu Görüntülemeye; Planar, Spect ve Spect/Ct Sistemleri Arasındaki Karşılaştırma: Fantom Tasarımı ve Klinik Araştırmalar - Nazenin İpek Işıkcı
- S37 CdZnTe Kristaller Kullanarak Türkiye’de Gama-Prob ve Gama-Kamera Geliştirilmesi - Emrah Kalemci
- S38 Monte Carlo Metodu Kullanılarak Mikro Yapraklı Bir Medikal Lineer Hızlandırıcının Modellenmesi ve Alternatif Bir Tedavi Planlama Sisteminin Oluşturulması - Derya Yücel
- S39 Hdr Brakiterapi Afterloading Sisteminde Miami Aplikatör Kullanımı Sonrası Gelişen Sıvı Kontaminasyonu: Advers Olay - Özge Bozdoğan
- S40 Tandem-Ovoid Aplikasyonu Yapılan Brakiterapi Planlamaları İçin Her Fraksiyonda Yeni Tomografi Gerekli Mi? - Mine Doyuran
- S41 Dual Enerjili Bilgisayarlı Tomografi (Debt) Yöntemiyle Etkif Atom Numarası (Zeff) ve Elektron Yoğunluğu (Qe) Türetilmesi - Rıza Dilek
- S42 Yoğunluk Ayarlı ve Ark Radyoterapi Uygulanan Baş-Boyun Kanseri Tanılı Hastalarda Hedef ve Riskli Organlardaki Değişimin Retrospektif Araştırılması - İbrahim Meral
- S43 Meme Tedavisinde Farklı Algoritma Kullanmanın Doz Doğruluğuna Etkisi - Yaprak Erözmen
- S44 Tomoterapi Planlamasında Pitch Faktörü ve Alan Genişliğinin Farklı Densitelerin Maksimum Dozuna Etkisinin Değerlendirilmesi - Songül Barlaz Us
- S45 Prostat Brakiterapisi Hasta Dozu Hesaplamalarında Monte Carlo Yönteminin Kullanılması - Serhat Aras
- S46 Proton Demetinin Csd Menzil Belirlemesi ve Lucite (C5O2H8) İle Silikon (Si) Materyallerinin Wer Hesaplamaları - Rıza Dilek
- S47 Karaciğer Tümörlerinin Stereotactic Vücut Radyoterapisinde Fraksiyon İçi ve Fraksiyonlar Arası Tümör Yer Değişiminin Dozimetrik Olarak İncelenmesi - Aydın Çakır



# Mobius3D



## The complete patient QA system

Upgrade your patient safety  
by bridging the gap between  
patient QA and machine QA

DoseLab<sup>®</sup> machine QA software, the complete TG-142 solution, is now integrated into the Mobius3D<sup>®</sup> patient QA system!

Learn more @ [varian.com/mobius3d](https://varian.com/mobius3d)



3D patient  
plan QA



3D daily  
treatment QA



Online patient  
positioning QA



3D IMRT/VMAT  
pre-treatment QA

varian

Mobius3D

Safety information: Radiation may cause side effects and may not be appropriate for all cancers.

© 2018, 2019 Varian Medical Systems, Inc. Varian, Varian Medical Systems, DoseLab and Mobius3D are registered trademarks of Varian Medical Systems, Inc.

DoseLab

# The complete machine QA system



Fully automated QA processing



Relied on by >1000 institutions



Efficient and user-friendly interface

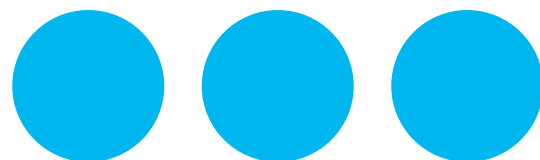


Flexible and convenient

## Now featuring...

- Full support for TG-148
- Web-based interface and trend analysis
- Used-defined custom tests

Learn more @ [varian.com/doselab](https://varian.com/doselab)



**varian** | DoseLab

Safety information: Radiation may cause side effects and may not be appropriate for all cancers.

© 2018, 2019 Varian Medical Systems, Inc. Varian, Varian Medical Systems, and DoseLab are registered trademarks of Varian Medical Systems, Inc.

Yayın No: S-01

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Türkiye’de radyoterapi cihazlarının durumu ve insangücü

Aydın Çakır<sup>1</sup>, Bülent Yapıcı<sup>1</sup>, Fadime Alkaya<sup>1</sup>, Hatice Bilge Becerir<sup>1</sup>, Kadir Yaray<sup>1</sup>, Oğuz Gürsoy<sup>1</sup>, Salih Gürdallı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Medikal Fizik Derneği

**Amaç :** Radyoterapi, insan gücü ve finansal kaynakların doğru kullanılmasının gerektiği yüksek maliyetli bir tedavidir. Bir ülkede radyoterapi tedavilerini sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesi ve kaynakların doğru kullanılması için radyoterapi cihaz donanımı ve insan gücünün iyi planlanması gerekir. İyi bir planlama yapılabilmesi için mevcut durumun tespit edilip ulaşılmak istenen hedefler doğrultusunda planlama yapılmalıdır. Medikal Fizik Derneği tarafından yapılan bu çalışmanın amacı, ülkemizde bulunan radyoterapi cihazlarının ve insan gücünün güncel durumunu tespit etmek ve dünyadaki diğer ülkelerin durumlarıyla karşılaştırmaktır.

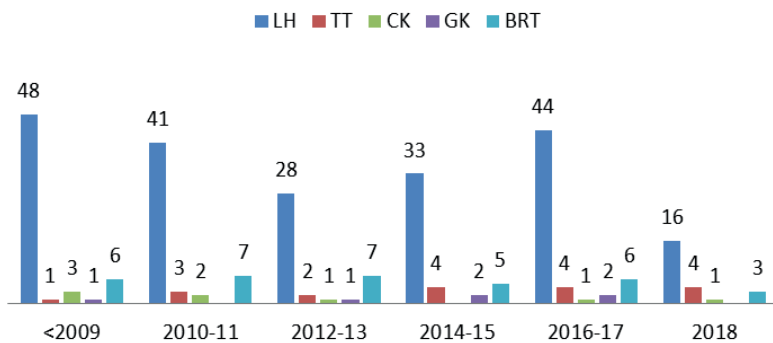
**Gereç ve Yöntem :** Ülkemizde bulunan 137 merkeze sorular gönderilmiş, cihaz sayıları, teknik özellikleri, cihazların alınış tarihleri, merkezlerde bulunan radyasyon onkoloğu, medikal fizik uzmanı ve radyoterapi tekniker sayıları sorulmuştur.

**Bulgular :** Merkezlerden gelen cevaplar bölgelere göre analiz edilmiş ve diğer ülkelerin durumu ile karşılaştırılmıştır. Tablo 1’de Türkiye’de radyoterapi merkezlerindeki cihaz sayısı Tablo 1’de, alındığı yıllara göre dağılımı Grafik 1’de, Radyoterapi merkezlerindeki insan gücü Tablo 2’de görülmektedir.

BÖLGELER	MS	MV (LH/ Co60)	TT	CK	GK	BRT	IORT	BT	NUFUS	MV/1M (BRT/IORT hariç)
Akdeniz	19	29	3	-	1	6	-	20	10 552 942	3,13
Doğu Anadolu	8	9	2	-	-	-	-	7	5 966 101	1,84
Ege	18	25	3	1	1	5	-	21	10 318 157	2,91
GD Anadolu	7	8	1	-	-	1	-	6	8 876 531	1,01
İç Anadolu	25	40+Co60	2	2	-	4	1	28	12 705 812	3,46
Karadeniz	11	12	-	-	-	1	-	10	7 674 496	1,56
Marmara	49	84+1MR	7	5	4	16	5	55	24 465 689	4,13
KKTC	2	2	-	-	-	1	-	2	350 000	5,7
<b>TOPLAM</b>	<b>139</b>	<b>211</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>35</b>	<b>6</b>	<b>149</b>	<b>82 300 882</b>	<b>2,93</b>

Tablo 1: Türkiye’nin bölgelerine göre radyoterapi cihazlarının dağılımı, MS; merkez sayısını, MV; Megavoltaj cihaz sayısı, LH; lineer hızlandırıcı sayısını, TT; Tomotherapy sayısını, CK; Cyberknife sayısını, GK; Gammaknife sayısını, IORT; Intraoperative cihazları sayısını, BRT; Brakiterapi cihaz sayısını, BT; Bilgisayarlı simülatör sayısını göstermektedir MR;Manyetik Rezonans Co60;Kobalt 60; KKTC;Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti

### Cihazların alındığı yıllara göre dağılımı



Grafik 1: Türkiye’deki lineer hızlandırıcıların alındığı yıllara göre dağılımı

Meslek Grubu	Sayısı (2018)	Olması gereken
Radyasyon Onkoloğu	540	680 – 740 (1RO/250 hasta)
Medikal Fizik Uzmanı	401	425 – 462 (1 MF/400 hasta)
Radyoterapi Teknikeri	1013	1700 - 1850 (1RTT/100 hasta)

Tablo 2: Radyoterapi merkezlerindeki insan gücü

Çalışmada toplanan veriler Aralık 2018 tarihine ait verilerdir. Ülkemizde 209 (1 MR linak) Lineer Hızlandırıcı (LH), 18 Tomotherapy (TT), 8 Cyberknife (CK), 6 Gammaknife (GK), 6 Intraoperatife (IORT), 35 Brakiterapi (BRT) cihazı, 147 Bilgisayarlı Tomografi simülatör (BT-Sim) bulunmaktadır. Ülke nüfusu dikkate alınarak yapılan değerlendirmede 1 milyon kişiye 2,93 megavoltaj (MV) eksternal tedavi cihazı düşmektedir. Dağılım tüm bölgelerde homojen değildir. En yüksek Marmara bölgesinde 4,13 iken en düşük Doğu Anadolu bölgesinde 1,01 dir. Asya ülkelerinde bu ortalama 2, Afrika ülkelerinde 1, Avrupa ülkelerinde 4'ten fazladır. Medikal fizik (MF) uzmanı sayısı 401 dir. Her MV cihaz için ortalama 1,62 MF uzmanı düşmektedir, bölgelere göre dağılım homojen değildir. Uluslararası önerilen ise ortalamanın 2'in üstünde olması, cihaz ve kullanılan tedavi tekniklerin özellikleri dikkate alınarak MF sayısının belirlenmesidir.

Sonuç : Çalışmamız, son on yılda ülkemizde radyoterapi cihaz donanımları ve insan gücü bakımından çok yol alındığını, ancak gelir düzeyi yüksek Avrupa ülkelerinin standartlarına yaklaşmakla birlikte yetişemediğini, orta gelir düzeyine sahip ülkelerin içinde ise oldukça iyi durumda olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Türkiyedeki radyoterapicihazları, insangücü

Yayın No: S-02

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Sol meme kanseri hastalarının radyoterapi tedavisinde vmat ve imrt tekniklerinin dozimetrik olarak karşılaştırılması ve değerlendirilmesi

Yılmaz Bilek<sup>1</sup>, Aykut Oğuz Konuk<sup>2</sup>, Gökay Ceyran<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Adana Eğitim Ve Araştırma Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, Adana.

<sup>2</sup>Elazığ Fethi Sekin Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, Elazığ.

Amaç : Çalışmamızda 7-alan Dinamik Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (D-IMRT) tekniği ve 6 farklı parsiyel Hacimsel Yoğunluk Ayarlı tedavi (VMAT) tekniğinin dozimetrik olarak karşılaştırılması amaçlanmaktadır.

Gereç ve Yöntem : Çalışmada sol meme kanseri tanılı 7 hasta retrospektif olarak kullanıldı. Hastaların üçünde göğüs duvarı, axilla ve supra klaviküler fossa (scf), 4 hasta da ise sol meme, axilla ve scf hedef yapı olarak kullanıldı. PTV oluşturulurken 3 mm marj verildi. Hedef yapılara 50 Gy doz 25 fraksiyon olarak 6MV enerji ile uygulandı. Kritik organ olarak ise sol akciğer, kalp, sağ (karşı) meme, sağ (karşı) akciğer, özefagus ve medulla spinalis yapıları belirlendi. Planlar CMS Monaco 5.11 sürüm tedavi planlama sistemi (TPS) ile yapıldı. D-IMRT tekniğinde tüm hastalar için 300°, 315°, 320°, 50°, 129°, 133°, 138° gantry açıları kullanılarak yedi alanlı planlar tasarlandı. VMAT tekniği ise 300° gantry açısı ile başlayıp saat yönünde 200°, 210° ve 220° yay yaptıktan sonra saatin tersi yönünde 300° gantry açısında sonlanan parsiyel çift ark ile her hasta için 3 farklı plan olarak tasarlandı. Daha sonra aynı planlar 3 ark olarak tekrarlanarak üçer plan daha elde edildi. Her hasta için 7 plan olmak üzere toplamda 49 plan elde edilmiş oldu. Tüm hastalarda önce D-IMRT tekniği ile planlar yapıldı ve aynı hasta için hedef yapı ve riskli organ kriterleri sağlandıktan sonra optimizasyonda kullanılan doz sınırlamaları hiç değiştirilmeden diğer planlar yapıldı. Dozun en az % 95'inin bütün hedef yapıların en az %95'ini sarması amaçlandı. Hedef yapılar için konformalite indeksi (CI) ve heterojenite indeksi (HI) değerlendirildi. Kritik yapılar için ise Emami ve QUANTEC doz sınırlamaları dikkate alınarak değerlendirildi. Sol akciğerde V30, V20, V5 ve ortalama doz; kalpte V25 ve ortalama doz; sağ akciğerde V5; sağ memede V5; spinal kord için maksimum doz ve özefagus için V35 ile ortalama doz değerlendirildi. Ayrıca tüm planlar maksimum doz ve tedavi süreleri bakımından da değerlendirildi.

Bulgular : Yedi hasta için her plandan elde edilen tüm kriterlerin ortalama değerleri tablo 1'de gösterilmektedir.

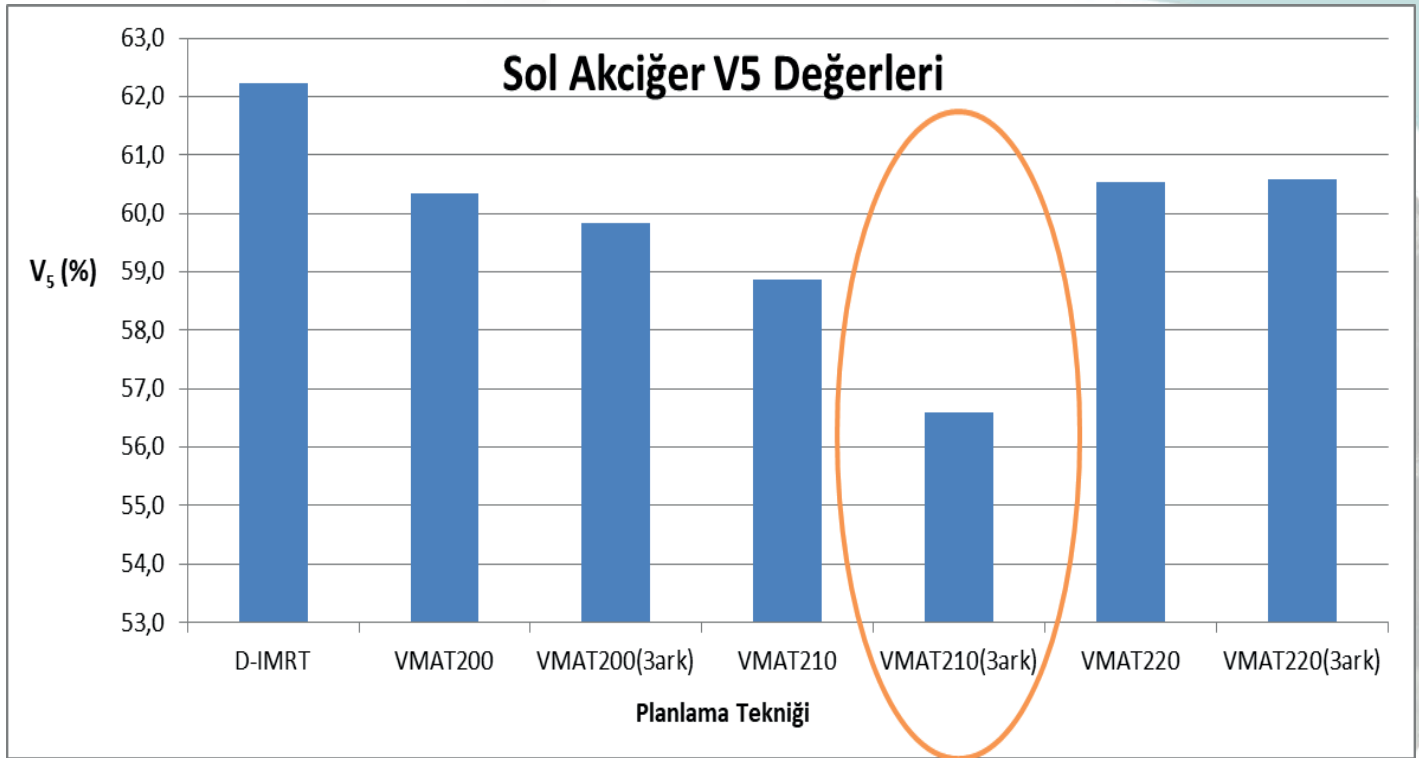
Sonuç : Hedef yapılarda doz sarımı değerlendirildiğinde çift ark VMAT210 planı dışında kalan tüm planlarda sarım yüzde-leri yüksek ve birbirine yakın bulunmuştur. HI ve CI değerleride birbirine çok yakın bulunmuştur. Planlardaki maksimum dozun D-IMRT ve çift ark VMAT220 planlarında en düşük olduğu gözlenmiştir. Kritik organ dozları tüm planlarda tolerans



değerlerinin altında tutulabilmiştir ancak sol akciğer için V5 değerleri Emami tarafından tavsiye edilen %42'den aşağıda tutulamamıştır. IMRT ve VMAT tedavi tekniklerinin konformal tedavi tekniğine göre düşük doz hacimlerinin daha büyük olması zaten beklenmektedir. Sol akciğer dozları ve kalbin V25 değerleri 3 ark VMAT210 planında diğer planlara göre daha düşük tutulabilmiştir. Sol akciğer için V5 değerleri Figür1'de V20 değerleri ise Figür2'de gösterilmektedir. Sağ meme V5, kalp (ortalama doz), özefagus ve ms dozları incelendiğinde ise D-IMRT planı öne çıkmaktadır. Çalışmada genel olarak 3 ark VMAT planların çift ark planlara göre dozimetrik açıdan daha üstün olduğu görülmüştür. Tedavi süresini ortalama olarak yaklaşık 30 saniye uzatma pahasına 3 ark planların aynı açılı çift ark planlara tercih edilebileceği görülmektedir. Tüm planlar karşılaştırıldığında ise D-IMRT ve 3 ark VMAT210 planları öne çıkmaktadır. Tedavi süreleri arasında yaklaşık 2 kat fark olması nedeniyle çalışmamızda 3 ark VMAT210 planının tercih edilmesi daha uygun bulunmuştur.

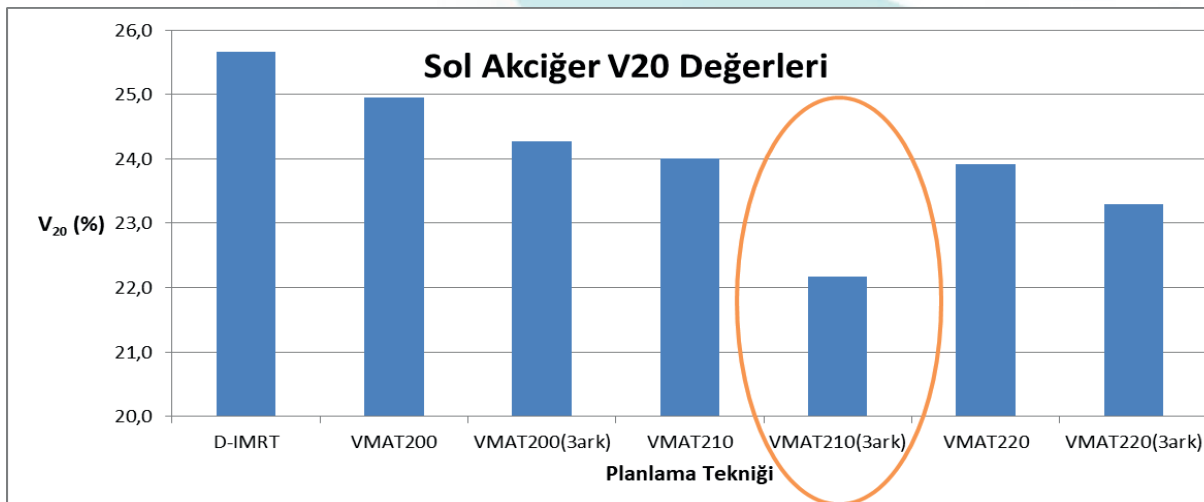
Anahtar Kelimeler: Meme Radyoterapisi, Dinamik IMRT, VMAT,

Figür1



Sol Akciğer V5 ortalama değerlerinin kullanılan teknikler için farklarının gösterildiği grafik.

Figür2



Sol Akciğer V20 ortalama değerlerinin kullanılan teknikler için farklarının gösterildiği grafik.

Tablo1

Değerlendirilen Yapılar	D-IMRT	VMAT200	VMAT200(3ark)	VMAT210	VMAT210 (3ark)	VMAT220	VMAT220 (3ark)
Sol CTV V47,5 (%)	95,6	95	95	90,6	95	95	95
Sol SKF V47,5 (%)	97,8	98,9	98,3	97,4	98,4	98,1	98
Sol Axilla V47,5 (%)	98,4	99,4	96,7	97,1	99,2	99,4	98,7
Sol Akciğer Ortalama Doz (cGy)	1461,8	1379,7	1344,2	1321,4	1255,1	1337,8	1319
Sol Akciğer V5 (%)	62,2	60,4	59,8	58,9	56,6	60,5	60,6
Sol Akciğer V20 (%)	25,7	24,9	24,3	24	22,2	23,9	23,3
Sol Akciğer V30 (%)	20,1	17,3	16,6	15,5	14,4	16,1	15,3
Sağ Akciğer V5 (%)	15	5,8	6,9	8,2	10,2	9,8	10,8
Sağ Meme V5 (%)	1,4	1,5	1,9	2,7	2,9	2,2	3,1
Kalp Ortalama Doz (cGy)	657,9	694,6	714,9	710,7	685,6	694,7	727
Kalp V25 (%)	6,8	5	4,8	4,2	4	4,6	4,3
Özefagus Ortalama Doz (cGy)	673,1	818,3	810,4	817,1	803,6	834,9	812,9
Özefagus V35 (%)	2,9	3,3	3,2	3,4	2,9	3,1	2,9
Medulla Spinalis Maksimum Doz (cGy)	1476,1	2056	2326,1	2290,5	2258,6	2164	2142,7
Maksimum Doz (cGy)	5529	5613	5617,5	5635,1	5570,9	5527,2	5536,5
Tedavi Süreleri (dakika)	5,1	2,2	2,5	2,1	2,6	2,4	2,5
HI	1,15	1,19	1,18	1,23	1,17	1,17	1,16
CI	0,73	0,74	0,75	0,72	0,76	0,75	0,77

Tüm hastaların hedef yapıları ve kritik organları için planlama tekniklerine karşılık gelen ortalama değerleri

Yayın No: S-03

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Akciğer kanseri radyoterapisinde dört boyutlu bilgisayarlı tomografi ile hedef hacim tanımlama stratejilerinin hareketli fantom ve film dozimetrisi ile araştırılması

Canan Köksal<sup>1</sup>, Nazmiye Dönmez Kesen<sup>1</sup>, Bayram Demir<sup>2</sup>, Murat Okutan<sup>1</sup>, Hatice Bilge Becerir<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Sağlık Fiziği Bilim Dalı, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul

Purpose : Akciğer radyoterapisinde tedavi başarısını etkileyen en önemli konulardan birisi solunuma bağlı tümör hareketidir. Akciğer radyoterapisi için görüntülemeye "altın standart" olarak kabul edilen dört boyutlu bilgisayarlı tomografi (4B-BT) ile tümör hareketini içeren bir hedef hacim (ITV) elde edilebilir. 4B-BT ile 10 solunum fazına ait 3B-BT görüntü setleri

elde edilmektedir. ITV oluşturmak için 4B-BT verilerini kullanmanın birkaç yöntemi vardır. "Altın standart" ITV, 10 solunum fazında ayrı ayrı kontrol edilen GTV hacimlerin birleştirilmesiyle oluşturulur. 10 fazda GTV kontrolünün zaman alıcı olması, artan iş yükü nedeniyle özellikle yoğun kliniklerde dezavantaj olmaktadır. Çalışmamızda "altın standart" hedef hacim tanımlama yöntemine alternatif olabilecek, farklı stratejilerle elde edilen hedef hacimlerinin kullanılabilirliği geometrik, volumetrik ve dozimetrik olarak araştırıldı.

**Materials and Methods :** 1 cm ve 4 cm çapında tümörler içeren ve  $\pm 1,5$  cm genlikle hareket eden silindirik mini bir fantom CIRS akciğer fantomuna yerleştirildi (Şekil 1). Hareket sinyalleri ile eşzamanlı olarak fantomun 4B-BT'si çekildi. 10 faza ait 3B-BT görüntüleri kullanılarak maksimum yoğunluk projeksiyon (MIP) ve ortalama yoğunluk projeksiyon (AIP)-BT görüntüleri Varian Eclipse 15.6 TPS'de oluşturuldu. 10 fazda kontrol edilen GTV'lerin birleşimiyle altın standart ITV (iç hedef hacim) üretildi. 2faz (%0, %50); 4faz (%0, %20, %50, %70); maksimum yoğunluk projeksiyon (MIP)-BT ve ortalama yoğunluk projeksiyon (AIP)-BT görüntülerinde kontrol edilen GTV'ler ile alternatif ITV'ler oluşturuldu. 5 mm setup marjıyla PTV\_10faz (altın standart) ve PTV\_2faz, PTV\_4faz, PTV\_MIP, PTV\_AIP (alternatif PTV'ler)'ler üretildi. Alternatif PTV'lerin PTV\_10faz'a göre uygunluk numaraları (CN) hesaplandı. CIRS akciğer fantomun AIP-BT üzerinde 5 farklı PTV için ark planları yapıldı. Planlarının 2B doz dağılımlarının fantom hareketli durumdayken geçerliliğini kontrol etmek için, fantomun hareket eden kısmında tümör merkezinin olduğu eksene Gafkromik EBT3 film yerleştirilerek doz dağılımları ölçüldü (Şekil 2). Alternatif PTV'ler ile optimize edilen planların film ile ölçülen doz dağılımları, PTV\_10faz ile optimize edilen planın film ile ölçülen doz dağılımlarıyla gamma analiz metodu kullanılarak karşılaştırıldı.

**Results :** 1 cm çapındaki tümör için elde edilen PTV hacimlerinin gerçek değerlerinin sıralaması 10faz>4faz>MIP>AIP>2faz şeklinde olup 4 cm çapındaki tümör için ise bu sıralama 10faz>4faz>MIP>2faz>AIP şeklindedir. 1 cm ve 4 cm çapındaki tümörlerin 2faz, 4faz, MIP, AIP görüntülerinde oluşturulan PTV'lerin PTV\_10faz'a göre CN değerleri sırasıyla 0,813; 0,971; 0,846; 0,817 ve 0,936; 0,953; 0,946; 0,901'dir. Fantom hareketli iken alternatif PTV'ler ile optimize edilen planların film ile ölçülen doz dağılımları, PTV\_10faz ile optimize edilen planın film ile ölçülen doz dağılımlarıyla karşılaştırılması sonucunda %3-3 mm kriterine göre gamma geçme oranı; 1 cm çapındaki tümör için 4faz optimize planında %90'nın üzerindeyken, 4 cm çapındaki tümör için ise tüm alternatif hacim optimize planların her birinde %90'nın üzerindedir.

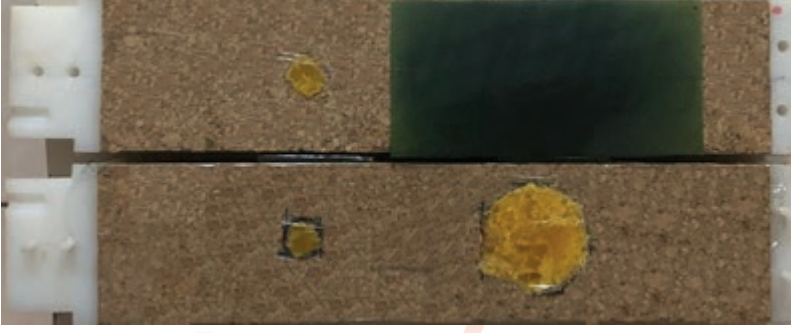
**Conclusions :** Fantom çalışmamıza göre artan hedef çapı ile birlikte, alternatif hacimler "altın standart" hacim ile uyum göstermektedir. 1 cm çapındaki tümör için, PTV\_4faz'ın PTV\_10faz'a en uygun alternatif hacim olduğu görülmektedir. 4 cm çapındaki tümör için ise, 4 alternatif hedef hacmin de PTV\_10faz'a uygun olduğu görülmektedir. Fantom çalışmasına göre her iki tümör boyutu için 4faz'ın kullanımının, altın standarda göre en uyumlu olduğu, tümör büyüklüğü 4 cm için ise diğer 4 alternatif hedefinde kullanılabilineceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Akciğer kanseri, 4B-BT, ITV, film dozimetrisi

**Şekil 1:** CIRS XSight akciğer fantom seti



Şekil 2: Gafkromik EBT3 filmin fantoma yerleştirilmesi



Yayın No: S-04

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Yüzey takip sistemi (bh-ct) ve 4d-ct teknikleri ile tedavi edilen akciğer sbrt hastalarında tümör takibi

İsmail Faruk Durmuş<sup>2</sup>, Dursun Eşitmez<sup>1</sup>, Ayşe Okumuş<sup>1</sup>, Nezihe Seden Küçüçük<sup>1</sup>, Berrin Pehlivan<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Yeni Yuzyıl Üniversitesi Özel Gaziosmanpaşa Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü, İstanbul

<sup>2</sup>Nişantaşı Üniversitesi, Radyoterapi Bölümü, İstanbul

<sup>3</sup>Bahçeşehir Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü, İstanbul

**Amaç :** Akciğer SBRT de hedefe verilen emniyet marjları kritik öneme sahiptir. Hem hedefi iskalamamak hem de ışınlanan sağlıklı doku miktarını azaltmak için optimum emniyet marjı belirlenmelidir. Çalışmamızda 2017-2019 yılları arasında tedavi edilen 40 akciğer SBRT hastasına 4D-CT ve yüzey takip sistemi (SGRT) ile BreathHold-CT teknikleri kullanılarak solunum kontrolü tedaviler uygulanmıştır. 40 Hasta için 181 fraksiyonda tedaviler arası (inter-) ve tedavi esnasında (intra-) hedef ve hasta pozisyonundaki hareket takibi ile emniyet marjları ve tedavilerin doğruluğu araştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** 12 Akciğer SBRT hastasına BH-CT tekniği ile, 28 Akciğer SBRT hastasına ise 4D-CT tekniği ile tedavi planları hazırlanmıştır. 40 Akciğer SBRT hastalarına 3-5 fraksiyonda 48-60Gy arası doz ile tedavileri planlanmıştır. BH-CT ile 47 fraksiyonda, 4D-CT ile 134 fraksiyonda inter- ve intra-fraksiyon tümör takibi yapılmıştır. 4D-CT ve BH-CT tekniği ile tedavi edilen hastalara, tedaviden önce CBCT veya 4D-CBCT ile, tedavi esnasında da CBCT taraması yapılmıştır.

**Bulgular :** Inter-fraksiyon takipte her iki teknik ile de benzer sonuçlar bulunmuştur (Tablo 1). 40 Akciğer SBRT hastalarının çoğunda ilk fraksiyonda büyük farklar görülmüştür. İlk fraksiyondan sonra ise tedaviler arasındaki farklar daha az olduğu tespit edilmiştir. Intra-fraksiyon tümör takibinde 4D-CT ile daha düşük sapma değerleri elde edilmiştir. Ortalama ve en büyük farklar en fazla BH-CT tekniğinde longitudinal ekseninde bulunurken (Tablo 2), 4D-CT ile daha düşük sapma değerleri bulunmuştur. BH-CT tekniğinde hedefe emniyet marjı olarak 0.1cm marj verilmesi halinde üç ekseninde güven aralığı X; %63, Y; %60 ve Z; %57 olurken, 0.3cm emniyet marjı verilirse üç ekseninde güven aralığı X; %97, Y; %95 ve Z; %98 olarak bulunmuştur. 4D-CT tekniğinde ise hedefe emniyet marjı olarak 0.1cm marj verilmesi halinde ise üç ekseninde güven aralığı X; %55, Y; %49 ve Z; %62 olurken, 0.3cm emniyet marjı verilmesi halinde üç ekseninde güven aralığı X; %98, Y; %96 ve Z; %96 olarak bulunmuştur.

**Sonuç :** Çalışmamızda tedaviler arası ve tedavi içi tümör hareketi araştırılmıştır. Tedaviler arası sapma miktarının fazla olması her tedavi öncesi CBCT taramasının yapılması zorunluluğunu haklı çıkarmaktadır. Tedavi içi tümör hareketi için de, hedefe 0.3cm emniyet marjı verilirse her iki teknik de %95 ve üzeri güven aralığında tedavilerin uygulanabilirliğini göstermiştir. SGRT tekniği ile ışınlanan sağlıklı doku miktarı azaltılmaktadır ayrıca SGRT ve 4D-CT tekniği ile 0.3cm PTV emniyet marjı ile güvenilir sınırlar içinde tedaviyi uygulanabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** 4D-CT, BH-CT, Intra-fraksiyon Takip, SGRT



Tablo 1. BH-CT ve 4D-CT tekniklerinde tümörde Inter-fraction (tedaviler arası) hareket miktarları

		Inter-fraction		
		Lateral (X)	Longitudinal (Y)	Vertical (Z)
BH-CT (n:47)	Ortalama (cm)	0.54±0.35	0.6±0.41	0.57±0.5
	En Büyük Fark (cm)	1.50	1.81	1.96
4D-CT (n:134)	Ortalama (cm)	0.5±0.4	0.48±0.4	0.54±0.4
	En Büyük Fark (cm)	1.85	2.0	1.96

Tablo 2. BH-CT ve 4D-CT tekniklerinde tümörde Intra-fraction (tedavi içi) hareket miktarları

		Intra-fraction		
		Lateral (X)	Longitudinal (Y)	Vertical (Z)
BH-CT (n:47)	Ortalama (cm)	0.11±0.09	0.14±0.11	0.11±0.09
	En Büyük Fark (cm)	0.36	0.5	0.4
4D-CT (n:134)	Ortalama (cm)	0.1±0.09	0.11±0.09	0.11±0.09
	En Büyük Fark (cm)	0.38	0.40	0.40

Yayın No: S-05

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Medikal bir lineer hızlandırıcı foton faz uzayının GATE/Geant4 Simülasyon yöntemiyle elde edilmesi ve analizi

Hediye Acun Bucht<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Abd. Şanlıurfa

Amaç : GATE, Geant4 Monte Carlo simülasyon kodu temelli açık bir yazılım olup, son yıllarda radyoterapi dozimetrisi çalışmalarında kullanımı giderek artmaktadır. Faz uzayı, simülasyonda radyasyon etkileşimleri sonucu oluşan parçacık bilgilerinin (enerji, koordinat, uçuş yönleri, vs) kaydedildiği sanal bir düzlemdir. Bu çalışma, Elekta Synergy lineer hızlandırıcının (linac) 6 MV foton demeti için foton faz uzayının elde edilmesi ve bu faz uzayının parçacık dağılımı, enerji spektrumu ve akısı açısından analiz edilmesini amaçlamaktadır.

Gereç ve Yöntem : Elekta Synergy linac 6 MV foton simülasyonunda kullanılacak başlangıç elektron demeti, yarı maksimum tam genişliği (FWHM) ve ortalama enerji değerleri belirlenerek (foton demeti doz profili doğrulamasıyla), Gauss şeklinde bir kaynak olarak tanımlandı. Linac kafasındaki tüm bileşenler gerçek geometri ve malzeme bilgileriyle modellendi. Faz uzayı, demet kolimasyon sisteminin üzerine (hastadan bağımsız kısım olarak adlandırılan bölgenin aşağısında) konumlandırılarak, 6\*109 parçacıkla simülasyon başlatıldı. Simülasyon sonucu oluşa faz uzayı, root programı kullanılarak incelendi.

Bulgular : Elde edilen faz uzayı 3.34\*108 parçacık içermekte olup, bunun %99,3'ü foton olarak hesaplandı. Faz uzayındaki fotonlar üretildikleri linac bileşenlerine göre değerlendirildiğinde, fotonların %98,5'inin target, %0,7'sinin primer kolimatör ve %0,8'inin düzleştirici filtre kaynaklı olduğu görüldü. Fotonların büyük çoğunluğunun, elektron demeti ve target arasındaki bremsstrahlung olayı sonucu oluştuğu gözlemlendi. Enerji spektrumunda ortalama foton enerjisi 1.36 MeV, akının homojen olduğu bölgedeki foton enerji akısı ise 28566,2 MeV/mm2 olarak hesaplandı.

Sonuç : Monte Carlo simülasyon yöntemiyle elde edilen faz uzayı kullanılarak enerji spektrumu, dolayısıyla da enerji akısı hesaplanabilir. Foton enerji spektrumu ve akısı, doğrudan (target orjinli) ve dolaylı fotonlar için ayrı olarak hesaplanabilmektedir. Doğrudan foton enerji spektrumu kullanılarak istenilen alan boyutları için fantom saçılma faktörleri, bu çalışmanın devamı olarak hesaplanabilir.

Anahtar Kelimeler: Foton faz uzayı, enerji spektrumu, GATE /Geant4

Yayın No: S-06

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Baş-boyun kanserli hastaların radyoterapi planlamalarında, ışınlanan bölgede bulunan diş implant malzemelerin doz dağılımına etkisinin monte carlo simülasyon yöntemi ve pencil beam konvülasyon algoritması kullanılarak belirlenmesi

Oya Akyol<sup>1</sup>, Turan Olğar<sup>2</sup>, Bahar Dirican<sup>3</sup>, Türkay Toklu<sup>4</sup>, Hakan Eren<sup>5</sup>,

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara

<sup>3</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara

<sup>4</sup>Yeditepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara

<sup>5</sup>Ankara Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş Ve Çene Radyolojisi Anabilim Dalı, Ankara

**Amaç :** Bu çalışmanın amacı, ticari olarak kullanılan farklı diş implant malzemelerinin baş-boyun kanserli hastaların radyoterapi planlamalarında doz dağılımına etkisini incelemektir.

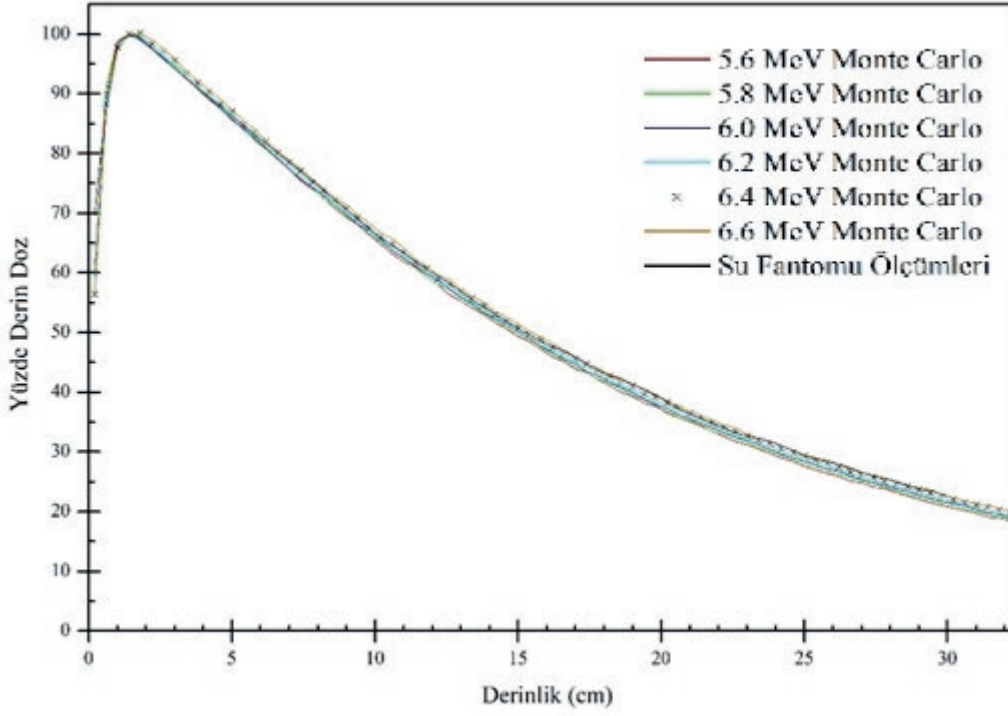
**Gereç ve Yöntem :** Çalışmada, Zirkonyum (Y-TZP), Titanyum (Ti), Alümina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ve Polietereeterketon (PEEK) diş implantları kullanılmıştır. Diş implantlarının radyoterapi doz dağılımına etkisi, Monte Carlo (MC) simülasyon yöntemi ve Eclipse Tedavi Planlama Sistemi (TPS) Pencil Beam Konvülasyon (PBC) algoritması kullanılarak incelenmiştir. Varian 2300 C/D lineer hızlandırıcınının 6 MV nominal enerjisininin X ışını demeti, EGSnrc tabanlı BEAMnrc (Versiyon 2010) MC kod sistemi kullanılarak simüle edilmiştir. Kafa geometrisi, üretici firmanın cihaz özellikleri (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) kullanılarak modellenmiştir. Hedef, birincil kolimatör, vakum penceresi, düzleştirici filtre, iyon odası, ayna ve çenelerin simülasyonu sırasıyla BEAMnrc'nin SLABS, CONS3R, SLABS, FLATFILT, CHAMBER, MIRROR ve JAW CM'ler (bileşen modülleri) kullanılarak yapılmıştır. Her bir diş implant malzemesinin doz dağılımlarını hesaplamak için, DOSXYZnrc'de 30x30x20 cm<sup>3</sup> boyutlarında fantomlar oluşturulmuştur. Foton demeti yönü doğrultusunda fantomların voksel boyutları 0.3x0.3x0.2 cm<sup>3</sup>'tür. Her bir malzeme için, fantomda 2 cm derinliğe 1cm kalınlığında diş implant malzemesi yerleştirilmiştir. İmplant malzemelerinin, fiziksel yoğunlukları ve kimyasal bileşimleri, 700ICRU.peg4dat PEGS4 dosyasına eklenmiş ve bu dosyadan kesitsel veri üretilmiştir. Fantom doz hesaplamalarında 10x10 cm<sup>2</sup> alan için seçilen ortalama elektron enerjisi ile üretilen faz-uzay dosyası kullanılmıştır. İstatistiksel belirsizliğin %0.5'in altında tutulması için başlangıçtaki kullanılan hedefe çarpan elektron sayısı 10x10 cm<sup>2</sup> alan boyutu için 2x10<sup>9</sup> olarak ayarlanmıştır. İzomerkez, diş implantının merkezi olarak ayarlanmış ve %DD'lar merkezi eksen boyunca hesaplanmıştır. Tüm dozlar 1.5 cm derinliğindeki doza normalize edilmiştir. Dört farklı diş implant malzemesi için, implantın hemen önünde geri saçılma etkisinden dolayı doz artışı ve hemen arkasında doz azalımı hesaplanmıştır.

**Bulgular :** Ölçüm sonuçlarına göre, MC simülasyonu ile hesaplanan diş implant malzemenin önündeki doz artışı %0.4-20.2 aralığındadır ve PBC ile hesaplanan değerlerden olan fark % 0.1-17.2 aralığındadır.

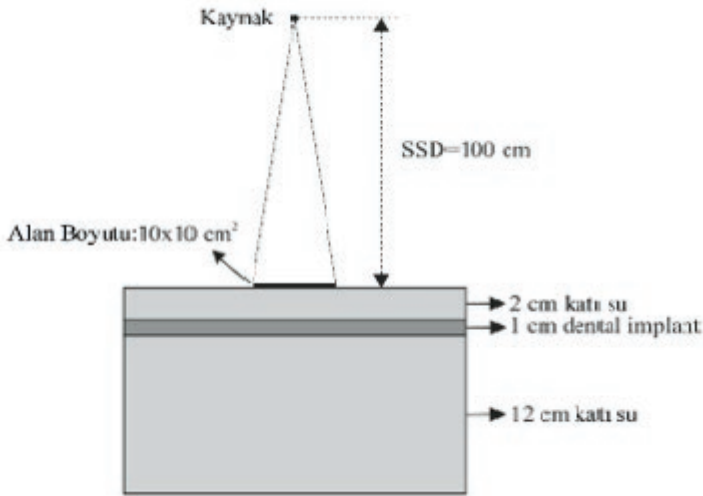
**Sonuç :** Maksimum doz artışı Y-TZP implant, minimum doz artışı PEEK implant için bulunmuştur. Geri saçılma nedeniyle implant malzemesinin önünde meydana gelen doz artışı, malzemenin yoğunluğunun artmasıyla orantılıdır. Bu artışın nedeni; Compton etkileşiminin malzemenin atom numarasından neredeyse bağımsız olmasına karşın malzemenin elektron yoğunluğu ile orantılı olmasından dolayıdır. Dozdaki bu artış, ikincil elektronların malzeme üzerindeki saçılmalarından kaynaklanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo, Radyoterapi, Diş implant, Pencil Beam Konvülasyon Algoritması

**Farklı başlangıç enerjileri kullanılarak:** 10x10 cm<sup>2</sup> alan ve SSD: 100 cm için MC simülasyonu ve su fantomu ile elde edilen %DD eğrilerinin karşılaştırılması



MC simülasyonunda DOSXYZnrc kodu kullanılarak oluşturulan fantom geometrisi



6 MV foton enerjisinde farklı diş implantları için MC simülasyonu sonucu elde edilen yüzde doz artış ve doz azalımı

	Y-TZP	Ti	Alümina	PEEK
Diş implantının önündeki saçılan doz (%)	20.2	11.2	3.3	0.4
Diş implantının arkasındaki doz azalımı (%)	24.4	15.4	7.0	1.1

Yayın No: S-07

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Stereotaktik beyin radyoterapisinde seri ışınlamalar için ct kalınlığı ve demet giriş-çıkış engellemesinin plan kalitesine etkisi

Melisa Akmanlar<sup>1</sup>, Çağatay Çarga<sup>1</sup>, Alpay Levent<sup>1</sup>, Alaattin Özen<sup>2</sup>, Melek Akçay<sup>2</sup>, Durmuş Etiz<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Medideal Medikal Projeler ve Çözümler San. Tic. A.Ş., İstanbul

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi A.d., Eskişehir

**Amaç :** Hacimsel yoğunluk ayarlı radyoterapi (VMAT) tekniği ile stereotaktik beyin radyoterapisi uygulanan hastaların planlarındaki CT kalınlıklarının seçimi ve kritik yapılardan demet geçişinin engellenmesinin, seri ışınlamalar (reirradiation) öncesinde plan kalitesine etkisinin incelenmesi.

**Gereç ve Yöntem :** Varian TrueBeam HDMLC120 (2.7 platform) lineer hızlandırıcı cihazı için, Eclipse v15.6 tedavi planlama sistemi ile planlanan beyin metastazı tanılı 10 SRS hastasının tedavi planları, CT kalınlıkları 1 mm ve 3 mm seçilerek yapılmıştır. Planlarda 6X-FFF enerjisi ve 1400 MU/dakika doz hızı kullanılmıştır. Plan optimizasyonu Photon Optimizer (PO) algoritması ile 1.25 mm ızgara boyutunda (grid size) yapılmış ve hesaplamalarda AAA algoritması 1mm ızgara boyutu ile kullanılmıştır. 2 farklı CT kalınlığında yapılan planlar Eclipse V15.6'da bulunan kritik organlar için demet giriş ve çıkışının engellenmesini sağlayan araç (tool) kullanılarak yeniden optimize edilmiştir. Kontrol kritik organı olarak beyin sapı değerlendirilmiştir. Tüm planlarda fraksiyon şeması olarak 900 cGy x 3 fraksiyon kullanılmıştır. PTV hacminin %95'i dozun %100'ünü alacak şekilde PTV normalizasyonu sağlanmıştır. Planlara ait kalite güvence (KG) testleri Varian Portal Dosimetry (VPD) sisteminde gama analiz metodu ile doz farkı (DF) %2, kabul mesafesi (KM) 2 mm ve doz farkı %1, kabul mesafesi 1 mm kriterleri ile değerlendirilmiştir.

**Bulgular :** Beyin sapı maksimum dozu, beyin-PTV V18 hacmi ve V21 hacmi için bulunan doz farklarına ait ortalama ve standart sapma değerleri Tablo1 de verilmiştir. Buna göre CT kalınlığı farkı giriş-çıkış engellemesi aracı kullanıldığı ve kullanılmadığı her iki durumda da beyin sapı maks dozunda belirgin bir fark oluşturmamıştır. Giriş-çıkış engellemesi kullanıldığında her iki CT kalınlığı için de beyin sapı maks dozunda aynı ölçüde belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Beyin-PTV değerleri için giriş-çıkış engellemesi aracı kullanıldığında V18 ve V21 değerlerinde artış gözlemlenmiştir. En fazla artış ise 1mm CT kalınlığı ile yapılan planlarda görülmüştür. VPD ile yapılan KG değerlendirmelerinin sonucu Tablo 2'de verilmiştir. Giriş-çıkış engelleme aracı kullanıldığında doz modülasyonunun artması sebebiyle gama analizi sonuçlarında düşüş gözlenmiştir. CT kalınlığı ve giriş-çıkış engellemesi aracı kullanımı ile elde edilen planların KG sonuçları %95 üstü puanla tolerans seviyesi içindedir.

**Sonuç :** Bu sonuçlara göre giriş-çıkış engellemesi aracı kullanıldığında beyin sapı dozlarında anlamlı bir düşüş sağlanırken, beyin-PTV dozlarında dikkate değer bir değişim olmamıştır. Seri ışınlamalarda beyin sapı ve benzeri kritik yapıların doz kontrolünün sağlanmasında bu araç kritik organ korumasını iyileştirmeye yönelik kullanılabilir. Yapılan bu çalışmada CT kalınlıkları belirlenirken 3mm'lik kesit kalınlığı ile çekilmiş CT'lerin 1 mm ile yeniden rekonstrüksiyonu yapılmıştır. İki farklı kalınlıkta CT çekiminin sonuçların iyileştirilmesi adına faydalı olabileceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** CT kalınlığı, SRS beyin radyoterapisi, VMAT



TABLO 1 VE TABLO 2

**Tablo 1**

Ortalama Değerler	Değer (SS)			
	$\Delta(3 \text{ mm} - 1 \text{ mm})$	$\Delta(3 \text{ mm GÇE} - 1 \text{ mm GÇE})$	$\Delta(3 \text{ mm} - \text{GÇE} 3\text{mm})$	$\Delta(1 \text{ mm} - \text{GÇE} 1\text{mm})$
<b>Beyin Sapı Maks Doz</b>	-3 cGy (0,686)	-46 cGy (0.137)	513 cGy (483)	439 cGy (451)
<b>V18</b>	0,21 cc (0,9)	-0,87 cc (2,30)	-0,94 cc (1,219)	-2,02 cc (4,628)
<b>V21</b>	0,14 cc (0,651)	-0,85 cc (1,129)	-0,37 cc (0,432)	-5,86 cc (7,422)

$\Delta$ : Planlar arası okunan değerlerin farkı, (-) değer ikinci değerın yüksek olduğunu gösterir, GÇE: Giriş-Çıkış Engelleme Aracı Kullanıldı, SS: Standart Sapma

**Tablo 2**

Ortalama Değerler	Gama Analizi Sonucu [%] (SS)			
	3 mm kesit		1 mm kesit	
	GÇE yok	GÇE var	GÇE yok	GÇE var
<b>DF %2, KM 2 mm</b>	99,5% (0,9)	99,2% (1,17)	99,4% (0,77)	99,7% (0,3)
<b>DF %1, KM 1 mm</b>	96,6% (2,41)	96,1% (4,6)	96,6% (3,4)	96,7% (2,18)

DF: Doz Farkı, KM: Kabul Mesafesi, GÇE: Giriş-Çıkış Engelleme Aracı Kullanımı, SS: Standart Sapma

**BULGULAR KISMINDAKİ VERİLERİN TABLO 1 VE TABLO 2 OLARAK SUNULMASI**

Yayın No: S-08

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

İleri evre sol meme kanserinde sanal bolusun VMAT plan kalitesi üzerine etkisi

Berat Tuğrul Uğurlu<sup>1</sup>, Nazmiye Dönmez Kesen<sup>2</sup>, Canan Köksal<sup>2</sup>, Seden Küçücük<sup>2</sup>, Kamuran İbiş<sup>2</sup>, Hatice Bilge<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Inonu University Turgut Ozal Medical Center

<sup>2</sup>Istanbul University Oncology Institute

**Amaç :** Amaç: Solunum ve intrafraksiyonel hareketin yanı sıra hedef hacimdeki şekil farklılıkları ve set-up hataları, Yoğunluk Ayarlı Ark Tedavisi (YAAT) ile tedavi edilen meme kanserinde hedef kapsamasında eksikliğe neden olabilir. Bu sorun, sanal bolus (SB) yardımı ile fall-off bölgesi ışın alanına dahil edilerek çözülebilir. Bu çalışmada, serbest nefesli ileri evre sol meme kanserli hastaların YAAT planlarında sanal bolus yardımı ile fall-off bırakılmasının doz dağılımına etkisinin araştırılması amaçlandı.

**Gereç ve Yöntem :** Gereç ve Yöntemler: Öncelikle 15 farklı hasta için bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri üzerinde sanal bolus kullanılmadan 4 alanlı YAAT planları oluşturuldu. Ardından 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm ve 2 cm sanal bolus kullanılarak fall-off bölgesi ışınlanan hacme dahil edildi. Sanal bolus kaldırılarak planların doz hesabı yapıldı. Oluşturulan planlar ilk olarak doz hacim histogramı (DVH) üzerinden karşılaştırıldı. Elde edilen sonuçların doğruluklarını kontrol etmek amacıyla rando fantom üzerinde temoluminesans dozimetre (TLD) kullanarak referans noktalarda dozimetrik ölçümler gerçekleştirildi. Dozimetrik ölçümler neticesinde elde edilen veriler tedavi planlama sisteminde (TPS) elde edilen veriler ile karşılaştırıldı.

**Bulgular :** Sonuçlar: Tüm planlar planlama kriterlerimizi sağlamıştır. SB kullanılan planlarda homojenite indeksi (HI) ve konformite indeksinde (CI) bozulma görülmüştür, ancak klinik olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir. Sol akciğer doz hacim kriterlerinde istatistiksel farklılık gözlemlenmemiştir. Ortalama sol akciğer dozu sanal bolusuz planda 13.7 Gy, 2 cm sanal bolus kullanılan planda ise 13.5 Gy olarak tespit edilmiştir. Kalp değerlendirmesinde de benzer sonuçlara ulaşılmıştır (orta-

lama kalp dozu sanal bolussuz planda 6.4 Gy, 2 cm sanal bolus kullanılan planda ise 6.3 Gy'dir). Karşı akciğer ve karşı meme dozlarında, fall-off bölgesinin hedef hacme dahil edilmesi ve böylelikle ışınlanan hacmin artması sebebiyle, artış tespit edilmiştir. Karşı akciğerin 5 Gy alan hacmi en yüksek 2 cm bolus kullanılan planda %39,6 olarak ölçülmüştür. TLD ile yapılan ölçümlerin sonuçları değerlendirildiğinde, 75 ölçümün 16'sında %5 ve üzeri farklılık tespit edilmiştir. Anlamlı bir farklılığa ise rastlanmamıştır.

**Sonuç :** Sonuç: Çalışmanın sonucunda, 0,5, 1 ve 1,5 cm SB kullanımının doz dağılımını değiştirmedeği, 2 cm sanal bolus kullanımının ise doz dağılımını değiştirdiği tespit edilmiştir. Serbest nefesli YAAT tedavi planları hazırlanırken SB kullanılarak fall-off bırakılmasının uygun olduğu görüşüne varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Breast cancer, VMAT, Virtual bolus, Skin flash, Rando phantom, dosimetric

**Yayın No:** S-09

**Bildiri Grubu:** Radyasyon Onkolojisi

Senkron bilateral meme kanseri için simültane integre boost radyoterapisinde volumetrik ark terapi (vmat) ve helikal tomoterapi tedavi planlarının dozimetrik karşılaştırılması

Canan Ertunç<sup>1</sup>, Recep Bozca<sup>1</sup>, Hikmet Yalçinkaya<sup>2</sup>, Özlem Gün<sup>1</sup>, Halil Sağınç<sup>1</sup>, Papatya Bahar Baltarlı<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Denizli

<sup>2</sup>Denizli Özel Sağlık Hastanesi, Radyoterapi Merkezi, Denizli

**Amaç :** Bu çalışmada, senkronize bilateral meme kanserinin simültane integre boost radyoterapisinde Volumetrik Ark Terapi (VMAT) ile Helikal Tomoterapi (HT) tedavi planlarının hedef yapılar ve kritik organlar açısından dozimetrik olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Bilateral meme koruyucu cerrahi uygulanmış 5 olgu için standart yaklaşım olan tüm meme ışınlanması ve tümör yatağına ek doz verilmesi eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. 28 Fraksiyonda bilateral tüm meme (PTV50.4) dozu 50.4 Gy olarak belirlenirken; tümör yatağı (PTVboost) için 60 Gy doz verilmiştir. Planlar, Volumetrik Ark tedavi yöntemi (Varian Trilogy Lineer Akselaratör) için Eclipse v.13 ve Helikal Tomoterapi tedavi yöntemi için IDMS Precision 1.1.1.1 ile yapılmıştır. Hastaların integral dozları hakkında bilgi edinmek için hasta cildinden PTV50.4 konturları marjinsiz olarak çıkarılarak Normal Doku (ND) adı verildi. Hedef doz homojenitesini değerlendirebilmek için PTV50.4 'den PTVboost konturları 5mm marjin ile çıkarıldı. PTV'ler için Homojetine İndeksleri (HI) ve Konformite İndeksleri (CI) değerlendirilirken risk altındaki organlar için total akciğer, kalp ve özofagus dozları incelenmiştir.

**Bulgular :**

**Sonuç :** Sonuç olarak, Helikal Tomoterapi tedavi planlamasındaki kalp, özofagus dozlarında ve total akciğer V5Gy (%) dozlarının, VMAT tedavi planlamasına göre istatistiksel olarak anlamlı olacak şekilde düşük olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Bilateral Meme Radyoterapisi, Simültane İntegre Boost, VMAT, Helikal Tomoterapi

Yayın No: S-10

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Farklı tedavi algortimalarının srs ve sbrt tedavi planlamalarına etkisinin dozimetrik incelenmesi

Esra Serin<sup>1</sup>, Pelin Paçacı<sup>1</sup>, Mine Doyuran<sup>1</sup>, Erhan Dişçi<sup>1</sup>, Hilal Acar<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Medipol Mega Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü , İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı , İstanbul

**Amaç :** Bu çalışmanın amacı vücudun homojen ve heterojen anatomik bölgelerindeki hedefler için farklı doz hesaplama algoritmaları kullanarak oluşturulan tedavi planlarının karşılaştırılmasıdır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmada 10 akciğer 10 beyin olmak üzere iki farklı anatomik bölgeye sahip 20 hasta secildi. Her birinde küçük, orta ve büyük olmak üzere üç farklı hacme sahip hedefler oluşturuldu. Hedefler için, Eclipse TPSde Vmat tekniği ile AAA ve AcurosXB doz hesaplama algoritmaları kullanılarak tedavi planları oluşturuldu. Reçete doz, beyin hastalarında 1x1700 cGy, akciğer hastalarında 3x1800 cGy belirlendi. Enerji 6MV FFF ve doz hızı 1400 MU/dk kullanıldı. Normalizasyon değeri, tüm planlarda PTV'nin %95'inin tanımlanan dozun %100' ünü alacak şekilde yapıldı. Yapılan beyin hastalarına ait tedavi planları CI, GI ve toplam MU değerlerine bakılarak karşılaştırıldı. Eclipse tedavi planlama sisteminde yapılan akciğer hastalarında ise RTOG0813 'de belirtilen kriterler R100% , R50% , D2cm , V20 karşılaştırıldı. Verilere istatistiksel test uygulanarak sonuçların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı belirlendi.

**Bulgular :** Beyin hastalarının verileri karşılaştırıldığında küçük tümöre sahip hastalarda CI, GI ve toplam MU değerlerine uygulanan istatistiksel test sonucu bulunan p değerleri sırası ile 0.662 , 0.233 , 0.297 olmuştur. Orta tümöre sahip hastalarda CI, GI ve toplam MU değerlerine uygulanan istatistiksel test sonucu bulunan p değerleri sırası ile 0.102 , 0.677 , 0.395 olmuştur. Son olarak büyük tümöre sahip hastalarda ise CI, GI ve toplam MU değerlerine uygulanan istatistiksel test sonucu bulunan p değerleri sırası ile 0.046 , 0.005 , 0.704 olmuştur. Akciğer hastalarının verileri karşılaştırıldığında küçük tümöre sahip hastalarda R100% , R50% , D2cm , V20 değerlerine uygulanan istatistiksel test sonucu bulunan p değerleri sırası ile 0.108, 0.005 , 0.005 , 0.005, 0.007 olmuştur. Orta tümöre sahip hastalarda R100% , R50% , D2cm , V20 değerlerine uygulanan istatistiksel test sonucu bulunan p değerleri sırası ile 0.010 , 0.005 , 0.005 , 0.005 olmuştur. Son olarak büyük tümöre sahip hastalarda ise R100% , R50% , D2cm , V20 değerlerine uygulanan istatistiksel test sonucu bulunan p değerleri sırası ile 0.205 , 0.019 , 0.013 , 0.007 olmuştur. Sonuc olarak küçük ve orta boyutlu tümörler için yapılan AAA ve AXB planlarına ait GI, CI ve toplam MU değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmamasına karşın büyük tümörlerde AAA ve AXB ile yapılan planlar arasında CI ve GI değerleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark çıkmıştır. Bu fark değerlendirildiğinde CI açısından AXB plan verileri daha iyi çıkarken GI açısından AAA plan verileri daha iyi sonuçlar vermiştir. R100% değeri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde küçük ve büyük tümör boyutuna sahip AAA ve AXB de yapılan hasta planları arasında anlamlı fark olmamasında rağmen orta tümöre sahip hasta planları arasında anlamlı fark bulunmuştur. R50% , D2cm ve V20 kriterleri için tüm tümör boyutlarına ait farklı algoritma planları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur.

**Sonuç :** Homojen yapıdaki beyinde plan sonuçları benzer çıkarken heterojen yapıdaki akciğerde planlar arasında ciddi farklar hesaplanmıştır. Eclipse TPS için beyinde algoritmalar birbirine üstünlük sağlayamamış ancak akciğer planları değerlendirildiğinde AXB algoritması AAA algoritmasına nazaran RTOG0813 kriterlerine daha başarılı sonuçlar vermiştir. Bunun en önemli sebebi Acuros algoritmasının doz hesabı sırasında LBTE kullanarak lateral elektron saçılmasını dikkate aldığı için doku inhomojenitesini daha iyi hesaplamasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Akciğer, Beyin, Eclipse, SRS , SBRT



Yayın No: S-11

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Prostat stereotaktik radyoterapi tedavilerinde İnac tabanlı cihazların kolimasyon sistemlerinin tedavi kalitesine etkisinin araştırılması

Pelin Çetin<sup>1</sup>, Esra Serin<sup>1</sup>, Mine Doyuran<sup>1</sup>, Erhan Dişçi<sup>1</sup>, Hilal Acar Demir<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Medipol Mega Üniversite Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü

<sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı

**Amaç :** Radyoterapide kullanılan çok yapraklı kolimatörler tedavi verimliliğini arttırmak, sağlıklı dokuları ve kritik organları korumak adına önemlidir. Bu çalışmada Truebeam STx ve Trilogy cihazlarında bulunan kolimasyon sistemlerinin prostat SBRT hastaları için hazırlanan tedavi planlarının kalitesine etkisinin araştırılması ve dozimetrik doğruluğunun tayini amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Bu çalışmada tedavi planları oluşturmak için 10 prostat kanseri hastası seçildi. Prostat hastaları mesane dolu ve rektum boş bir biçimde simülasyona alınmasına dikkat edilip, hastaların BT görüntüleri 1 mm kesit kalınlığında, supine ve ayak gantry olarak çekilmiştir. Tüm hastaların farklı MLC kalınlıklarına sahip Truebeam STx ve Trilogy cihazları için Eclipse tedavi planlama sistemi kullanılarak Vmat tekniği ile 6 MV enerjide 5x7.25 Gy verilecek şekilde tedavi planları yapılmıştır. Planlanan ortalama tümör hacmi 92.3 cc'dir. Tedavide kullanılan Truebeam STx cihazına ait MLC kalınlıkları iç taraftaki 32 çift tungsten yaprakların genişliği izomerkezde 2.5 mm iken dış taraftaki 28 çift yaprağın genişliği 5mm'dir. Trilogy cihazına ait MLC kalınlıkları ise iç tarafta 5mm'lik 40 çift ve dış tarafta 10mm'lik 20 çift yaprağa sahiptir. Bütün planlarda cihazların arasındaki MLC kalınlığı farklılığı hariç optimizasyonda ve normalizasyonda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Yapılan tedavi planlamalarından elde edilen doz dağılımları ile kritik organ dozları, konformite indeks(CI) , gradient indeks(GI) ve MU değerleri karşılaştırılmıştır. Her bir plan için verifikasyon planı oluşturulduktan sonra iyon odası ölçümleri ile hesaplanan dozlar karşılaştırılmıştır.

**Bulgular :** Bu çalışmada toplam 10 hastada yapılan 20 tedavi planı değerlendirmeye alınmıştır. Truebeam ve Trilogy cihazlarında 6 MV enerji kullanarak yapılan prostat hasta planlarından elde edilen CI değerleri arasındaki maksimum fark %5.6 bulunmuştur. Truebeam ve Trilogy cihazındaki planlara ait ortalama CI değerleri sırasıyla 0.85 ve 0.83'dir. Ortalama CI değerleri arasındaki fark %2.3 iken p değeri 0.011 bulunmuştur. Ortalama CI değerleri arasındaki fark anlamlıdır. Hasta planlarından elde edilen GI değerleri arasındaki maksimum fark %7.9 bulunmuştur. 6 MV enerjide Truebeam ve Trilogy cihazlarındaki planlara ait ortalama GI değerleri sırasıyla 2.99 ve 3.05 elde edilmiştir. Ortalama GI değerleri karşılaştırıldığında p değeri 0.041 bulunmuştur ve aralarındaki fark anlamlıdır. Truebeam cihazına ait kolimasyon sistemi ile yapılan planların daha iyi gradiyente sahip olduğu görülmüştür. Elde edilen MU değerleri arasındaki maksimum fark %16.0 bulunmuştur. Truebeam ve Trilogy cihazlarında yapılan planların ortalama MU değerleri sırasıyla 1726 ve 1590'dır. Ortalama MU değerleri karşılaştırıldığında yüzdelerik fark %7.8 iken p değeri 0.011 bulunmuştur. Bulunan sonuç istatistiksel olarak anlamlıdır. Trilogy cihazında yapılan planlardan elde edilen MU değeri, Truebeam cihazındaki planlardan elde edilenlere göre daha düşük bulunmuştur. Kritik organ dozları karşılaştırıldığında her iki cihazda yapılan planlarda anlamlı farklılık saptanmamıştır.

**Sonuç :** Truebeam ve Trilogy cihazları karşılaştırıldığında, Truebeam cihazında CI , GI ve MU değerleri anlamlı derecede iyi bulunmuştur. Bu sonucu yaratan en büyük neden MLC kalınlığının Truebeam cihazında daha az olmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Prostat kanseri, MLC, CI,GI,MU



Yayın No: S-12

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Sağ meme kanserinde farklı planlama tekniklerinin dozimetrik karşılaştırılması

Gülcihan Cödel<sup>2</sup>, Derya Yücel<sup>2</sup>, Gökçe Kaan Olcay<sup>2</sup>, Merdan Fayda<sup>2</sup>,

<sup>2</sup>Liv Hospital Radiation Medicine Center, Tbilisi, Gürcistan

**Amaç :** Bu çalışmada meme koruyucu cerrahi sonrası hedef ve hedef dışı dozların Üç boyutlu konformal radyoterapi (3D-KRT), step and shoot yoğunluk ayarlı radyoterapi (s-IMRT), dinamik yoğunluk ayarlı radyoterapi (d-IMRT) ve volumetrik ark terapi (VMAT) dozimetrik farklılıklarının değerlendirilmesi amaçlandı.

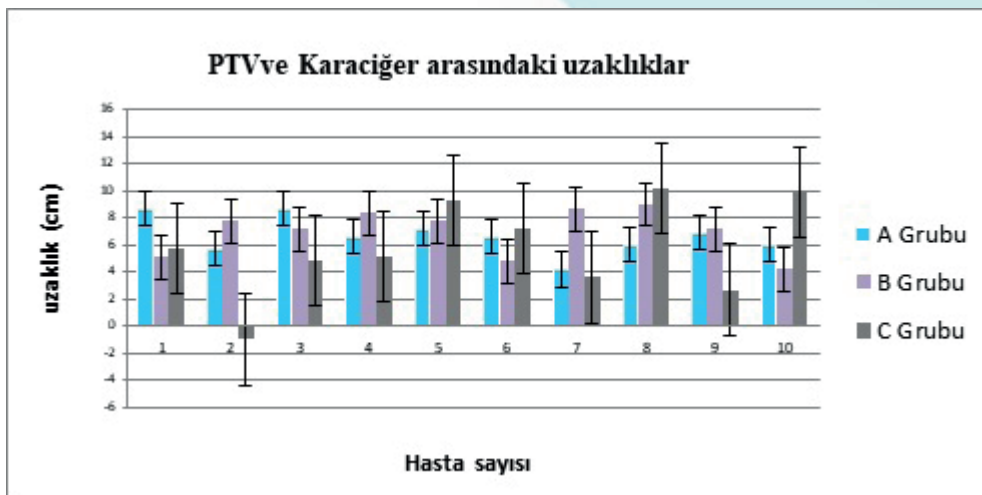
**Gereç ve Yöntem :** Kliniğimizde tedavisi yapılmış 30 adet T1N0M0 evreli sağ meme kanseri hastası seçildi. Tedavi dozu olarak 2Gy/fr x 25 fr uygulandı. Tüm planlar hedef hacmin %95'inin 46 Gy alacağı şekilde Monaco tedavi planlama sisteminde (v5.11) Monte Carlo (s-IMRT, d-IMRT ve VMAT için) ve Collapsed Cone (3DCRT için) algoritmalarını kullanılarak planlandı. Her hasta için dört tedavi planı hazırlandı. Birinci grup: 6 MV enerji, 3DCRT, iç (50°-60°) ve dış (230°-240°) tanjansiyel alanları içeren. İkinci grup: 6 MV enerji, s-IMRT ve d-IMRT, 9-11 koplanar alanı içeren. Üçüncü grup: 6 FFF ve 6 MV enerji VMAT 460° toplam hareketi olmak üzere, planlar hazırlandı. 30 meme kanseri hastası meme hacmine bağlı olarak 3 gruba ayrıldı: PTV hacmi ortalama A grubu (589.511cc - 953.775cc), B grubu (953.775cc - 1357.039cc) ve C grubu (1357.039cc - 1766.233cc). Tüm planlar uygunluk indeksi (CI), homojenlik indeksi (HI), karaciğer hacim dozları ve PTV nin merkezinden ekseninden periferine doğru 1,2,3 ve 5 cm uzaklıklarındaki maksimum nokta dozlar incelendi.

**Bulgular :** PTV nin merkezinden ekseninden periferine doğru 1,2,3 ve 5 cm uzaklıklarındaki maksimum nokta doz Gy değerleri Tablo 1 de verildiği gibidir. 30 Sağ meme kanseri hastanın, PTV nin alt kesiti ve karaciğerin ilk kesiti arasındaki dikey mesafe uzaklıklarına Şekil 1 de gösterildi. Konformite indeksi sonuçları Şekil 2 de gösterildi

**Sonuç :** CIRTÖG (3D-KRT(1.1 ± 0.03), s-IMRT(0.99±0.02), d-IMRT(0.99±0.01), VMAT(0.99±0.01)), Cİknö (3D-KRT(0.97 ± 0.03), s-IMRT(0.99±0.01), d-IMRT(0.98±0.01), VMAT(0.99±0.01)), ve CİPaddick (3D-KRT(0,84 ± 0.06), s-IMRT(0.98±0.02), d-IMRT(0.98±0.02), VMAT(0.98±0.02)), formülleri ile hesaplanan bütün planlar CI değeri elde edildi. HI % (5.5 ± 0.81) ile en iyi sonuç VMAT planında A grubunda gözlemlendi. PTV'nin alt kesiti ile karaciğerin başlangıç kesiti arasındaki dikey uzaklıklar incelendiğinde, aradaki mesafe arttıkça karaciğerin aldığı dozların arttığı gözlemlendi. Karaciğerin aldığı mean doz, max doz, V5, V10, V20 ve V40 % dozları incelendiğinde en düşük dozlar C grubunda görüldü. PTV nin merkezinden ekseninden periferine doğru max dozlar incelendiğinde en yüksek doz değerleri 1 cm uzaklık: C grubu 3D-KRT planında, 2 cm uzaklık : C grubu 3D-KRT planında, 3 cm uzaklık: A ve C grubu s-IMRT, d-IMRT ve VMAT planlarında, 5cm uzaklık: C grubunda s-IMRT, d-IMRT ve VMAT planlarında görüldü. PTV hacmi arttıkça düşük doz bölgeleri arttığı ve düşük doz bölgeleri için en iyi sonucu 3DCRT'nin verdiği gözlemlendi. PTV nin alt kesitiyle karaciğerin üst kesiti arasındaki dikey mesafe uzaklığı arttıkça karaciğer dozunun etkisinin arttığı gözlemlendi.

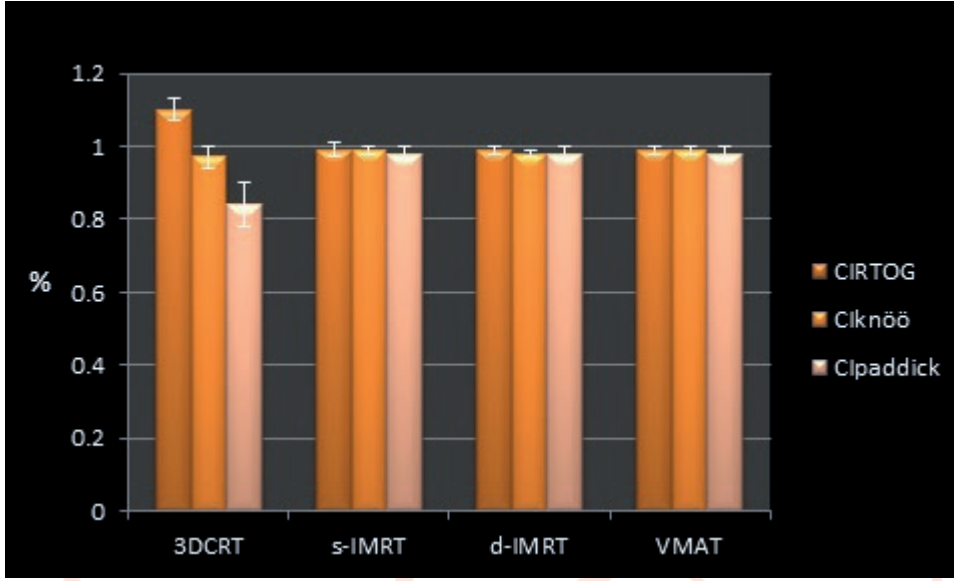
**Anahtar Kelimeler:** Meme ca, IMRT, VMAT, CI, Perifer doz

PTV nin alt kesitiyle karaciğerin üst kesiti arasındaki dikey mesafe uzaklıkları



PTV nin alt kesitiyle karaciğerin üst kesiti arasındaki dikey mesafe uzaklıkları

Konformite indeksi (Ort ± Stn) sonuçları



Konformite indeksi (Ort ± Stn) sonuçları

PTV nin merkezi ekseninden perifere doğru uzaklıklarda okunan max doz(Gy) noktaları

	A Grup (589.511cc - 953.775cc)	A Grup (589.511cc - 953.775cc)	A Grup (589.511cc - 953.775cc)	A Grup (589.511cc - 953.775cc)	B Grup (953.775cc - 1357.039cc)	B Grup (953.775cc - 1357.039cc)	B Grup (953.775cc - 1357.039cc)	B Grup (953.775cc - 1357.039cc)	C Grup (1357.039cc - 1766.233cc)	C Grup (1357.039cc - 1766.233cc)	C Grup (1357.039cc - 1766.233cc)	C Grup (1357.039cc - 1766.233cc)
Uzaklık	3D-KRT (Ort ± Stn)	s-IMRT (Ort ± Stn)	d-IMRT (Ort ± Stn)	VMAT (Ort ± Stn)	3D-KRT (Ort ± Stn)	s-IMRT (Ort ± Stn)	d-IMRT (Ort ± Stn)	VMAT (Ort ± Stn)	3D-KRT (Ort ± Stn)	s-IMRT (Ort ± Stn)	d-IMRT (Ort ± Stn)	VMAT (Ort ± Stn)
1 cm	29.57±5.54	20.85±6.67	20.08±6.44	24.69±7.18	34.17±3.97	20.16±7.89	15.74±7.65	21.11±6.09	32.78±5.22	20.37±5.91	17.8±5.84	21.08±7.68
2 cm	11.59±4.04	13.26±4.49	13.81±4.70	16.74±6.47	15.97±5.12	14.62±5.13	13.53±4.47	12.99±4.08	15.96± 9.1	13.53±3.97	12.50±3.86	15.34±6.39
3 cm	5.05± 1.35	10.36±4.23	11.22±4.11	11.77±5.44	5.72 ±1.12	10.62±3.70	10.52±4.43	9.08± 2.50	6.61± 2.24	11.46±2.75	11.63±3.87	11.36±3.77
5 cm	1.93± 0.31	5.82± 2.85	6.36±2.89	5.85± 2.84	2.21± 0.28	5.15± 2.54	5.74± 2.06	5.81± 1.85	2.65± 0.41	8.09± 1.76	7.43± 2.74	7.79± 2.33

PTV nin merkezi ekseninden perifere doğru uzaklıklarda okunan max doz(Gy) noktaları

Yayın No: S-13

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Dozimetrik yaprak açıklığı değerinin stereotaktik vertebra metastazı tedavi planlarında doz hesabına etkisi

Uğur Akbayırlı<sup>1</sup>, Mustafa Tintaş<sup>1</sup>, Alpay Levent<sup>1</sup>, Haldun Şükrü Erkal<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler San. Tic. A.Ş.

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi A.D.

Amaç : Tedavi planlama sistemlerinde kullanılan hesaplama algoritmalarında çok yapraklı kolimatör (ÇYK) sisteminin özelliğinin bir girdisi olarak dozimetrik ölçümler sonucunda belirlenen dozimetrik yaprak açıklığı (DYA) ölçüm hassasiyetinin, küçük alanların kullanıldığı stereotaktik tedavilerde hesaplama doğruluğuna etkisinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem : Millenium 120 model ÇYK'ya sahip Varian VitalBeam model linak cihazında 6X-FFF foton enerjisinde 1400 MU/dakika doz hızında, Standard Imaging Exradin A19 (0,6 cc), Sun Nuclear 125c (0,125 cc), PTW Pinpoint (0,03 cc) ve Standard Imaging Exradin A26 (0,015 cc) iyon odaları kullanılarak su fantomunda SSD:90cm d:10cm koşullarında DYA ölçümleri alınmıştır. Elde edilen değerler Eclipse 15.1 planlama sisteminde AAA algoritması için tanımlanarak, önceden klinik uygulanabilirliği kabul görmüş 17 Gy x 1 fraksiyon şemasına sahip olan 10 stereotaktik vertebra metastazı hastasının

planları başka hiçbir parametresi değiştirilmeyerek yeniden hesaplatılmıştır. İlgili planlar simülasyon bilgisayarlı tomografi kesit kalınlığı 1mm ve heterojenite düzeltmesi açık olarak 1 mm hesaplama çözünürlüğünde AAA algoritması ile hesaplatılmıştır. Plan değerlendirmelerinde RTOG 0831 protokolü kullanılmıştır. Yeniden hesaplanan planlar için PTV ortalama dozu ile konformite indeksi (KI), homojenite indeksi (HI) ve gradyent mesafesi (GM) değerleri ile RTOG 0831 protokolünde belirtilen konvansiyonel spinal kord 0,35 cc ve 0,03 cc dozları değerlendirilmiştir. Farklı DYA değerlerine sahip tedavi planları, VitalBeam EPID sisteminde ışınlanmış kalite kontrol (KK) planları ile Epidos Epiqa yazılımında %3 doz farkı (DF) ve 3 mm doz kabul mesafesi (DKM), %2 DF ve 2 mm DKM, %1 DF ve 1 mm DKM kullanılarak gama analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir.

**Bulgular :** Farklı dedektörlere ait ölçülen DYA değerlerinde hesaplanan planların değerlendirme sonuçları Tablo 1.'de verilmiştir. Spinal Kord 0,35 cc' lik hacmin aldığı doz, spinal kord 0,03 cc 'lik hacmin aldığı doz ve PTV ortalama dozu için en düşük değerler 0,03 cc, en yüksek değerler 0,6 cc hacimli iyon odaları ile ölçülen DYA değerlerinde sağlanmıştır. Tüm DYA değerleri için RTOG 0831 protokolünde belirtilen kritik değerler sağlanmaktadır ve değerler arası fark kabul edilebilir ölçüdedir. KK sonuçları (Tablo 2.) arası fark farklı gama kriterleri için benzerlik göstermektedir. Her 3 gama kriteri için de hem ortalama olarak hem de tüm hasta popülasyonunu tekil olarak incelendiğinde en iyi sonuçlar 0,125 cc ile ölçülen DYA ile hesaplanan planlarda gözlenmiştir.

**Sonuç :** Küçük alanlar ve yüksek doz hızlı FFF enerjisi kullanılan stereotaktik tedaviler için dozdaki minimal değişimler büyük öneme sahiptir. Bu nedenle hesaplama algoritmasındaki doz hesaplama parametrelerinin daha hassas belirlenmesi gerekmektedir. Millenium 120 ÇYK için merkezi 20 x 20 alanda 0,5 cm kalınlıklı ÇYK'ların kullanıldığı düşünüldüğünde ve stereotaktik tedavilerde özellikle bu bölge kullanıldığından bu kalınlıktan daha büyük veya çok daha küçük hacimli dedektörlerin DYA ölçümünde kullanılması küçük alanlı tedavilerde belirsizliği arttırabileceği düşünülebilir. Hesaplanan planlama kriterleri ve KK sonuçları birlikte değerlendirildiğinde 0,125 cc hacimli dedektör ile belirlenen DYA değerinin bu 4 dedektörle belirlenen sonuçlar arasında en optimal sonuç olduğu söylenebilir. Daha ileri değerlendirmelerin farklı alan boyutlarında değişen doz hızı, gantri hızı ve kolimatör rotasyonlarında daha çeşitli dozimetrik materyaller ile yapılmasının yerinde olacağı düşünülebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Stereotaktik Radyoterapi, Vertebra Metastazı, Küçük Alan, Çok Yapraklı Kolimatör, Dozimetrik Yaprak Açıklığı, Hesaplama Algoritması

Tablo 1. Stereotaktik Vertebra Radyoterapisinde Plan Değerlendirilmesinde İncelenen Kriterlerin DYA Değişimine Bağlı Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Ölçümde Kullanılmış Dedektör	SI A19	SNC 125C	PTW Pinpoint	SI A26
<b>Dedektör Hacmi (cc)</b>	0,6	0,125	0,03	0,015
<b>Ölçülen DYA Değeri (cm)</b>	<b>0,0934</b>	<b>0,0806</b>	<b>0,1240</b>	<b>0,1023</b>
<b>Spinal Kord 0,35 cc Dozu (Gy)</b>	8,36 ± 0,93	8,20 ± 0,92	8,23 ± 0,95	8,01 ± 0,93
<b>Spinal Kord 0,03 cc Dozu (Gy)</b>	10,78 ± 1,13	10,57 ± 1,11	10,70 ± 1,04	10,47 ± 1,01
<b>PTV ortalama Dozu (Gy)</b>	17,96 ± 0,35	17,82 ± 0,36	17,93 ± 0,31	17,71 ± 0,35
<b>KI</b>	1,23 ± 0,15	1,17 ± 0,12	1,22 ± 0,16	1,10 ± 0,11
<b>HI</b>	1,18 ± 0,04	1,16 ± 0,04	1,19 ± 0,04	1,17 ± 0,04
<b>GM (cm)</b>	1,12 ± 0,19	1,14 ± 0,20	1,12 ± 0,20	1,16 ± 0,21



Tablo 2. DYA Değişimine Bağlı Olarak Farklı Doz Farkı (DF) ve Doz Kabul Mesafesi (DKM) Değerlendirmeleri için Hasta Kalite Kontrol Planlarının Gama Analizi Sonuçlarının Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Ölçümde Kullanılmış Dedektör	SI A19	SNC 125C	PTW Pinpoint	SI A26
Dedektör Hacmi (cc)	0,6	0,125	0,03	0,015
Ölçülen DYA Değeri (cm)	<b>0,0934</b>	<b>0,0806</b>	<b>0,1240</b>	<b>0,1023</b>
% 3 DF - 3 mm DKM	99,72 ± 0,20	99,86 ± 0,16	99,12 ± 1,72	99,09 ± 1,25
% 2 DF - 2 mm DKM	98,65 ± 0,83	99,14 ± 0,46	95,78 ± 1,93	96,96 ± 2,13
% 1 DF - 1 mm DKM	87,16 ± 2,71	88,54 ± 2,22	80,72 ± 3,32	82,13 ± 3,74

Yayın No: S-14

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Bakteriyel selüloz yara örtülerinin bolus olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi

Yeliz Yalçın<sup>1</sup>, Seda Tıgılı Aydın<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bülent Ecevit Üniversitesi, nanoteknoloji Müh. , zonguldak

Amaç : Bu çalışmanın amacı, yara ve yanık tedavisinde kullanılan Bakteriyel Selüloz yara örtülerinin radyoterapide bolus materyali olarak kullanılabilirliğinin incelenmesidir.

Gereç ve Yöntem : Çalışmada ticari olarak kullanılan bolus materyali ile bakteriyel selüloz yara örtüsünün bolus olarak fiziksel özellikleri ve radyasyon geçirgenlik testleri karşılaştırılmıştır. Yara örtüsünün bolus ile eşdeğerliği için katı su fantomunda SSD=100 cm'de 5 cm derinlikte 6 Mv ve 15 Mv foton enerjisinde 100 MU verilerek ölçümler yapılmıştır. Aynı şartlarda 1 cm kalınlıkta katı su fantomu kaldırılarak 1 cm kalınlıkta bolus ve yara örtüsü için ölçümler tekrarlanmıştır. Build-up bölgesindeki doz değişimini görmek için 10 cm yükseklikte katı su fantomunun ve üzerinde 0.5 cm bolus ve yara örtüsü olan katı su fantomun 2mm kalınlıkta CT kesitleri taranarak Eclipse planlama sistemine aktarılmıştır. 3 çekim için 10x10 cm<sup>2</sup> alan boyutu için hesaplamalar yapılmış olup, farklı değerdeki izodoz eğrileri karşılaştırılmıştır. Her iki malzeme için HU değerleri ölçülmüştür. Bolus ve yara örtüsü için ışınlama öncesi ve sonrasında SEM görüntüleri çekilerek malzemenin mikroyapısal incelenmesi yapılmıştır. Her iki malzeme için mekanik çekme deneyi yapılarak malzemenin dayanıklılığının ölçülmesi ve gaz geçirgenlik testleri yapılmıştır. Ayrıca sadece bakteriyel selülozun sıvı çekme kapasitesi testi yapılarak malzemenin su tutma kapasitesi ölçülmüştür.

Bulgular : 10x10 cm<sup>2</sup> alan için yapılan planlamalarda bolus ve yara örtüsünün build-up bölgesini yüzeye doğru yaklaştırdığı ve izodoz eğrilerinin birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. 1 cm kalınlıkta ki ticari bolus materyalinin radyasyon geçirgenliğinin 1 cm kalınlıkta yara örtüsüne eşdeğer olduğu tespit edilmiştir. Ticari bolus materyali, katı su fantomu ve yara örtüsünün HU değerleri karşılaştırıldığında yara örtüsünün (± 10 HU) suya daha yakın değerler vermiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde malzemenin yapısal değişime uğramadığı ve bakteriyel selülozun nano yapıda olduğu görülmüştür. Sıvı çekme kapasitesi incelendiğinde bakteriyel selülozun kendi hacminin yaklaşık 10 katına kadar su tutabildiği görülmüştür. Ayrıca bu test için kurutulan numunelerin tekrar sıvı çekmedeği gözlemlenmiştir. Mekanik çekme testi sonucuna göre bakteriyel selülozun ticari bolusa göre daha dayanıklı olduğu görülmüş olup ,Bakteriyel selülozun oksijen geçirgenliğine sahip olduğu gösterilmiştir.

Sonuç : Yara örtülerinin yara ve yanık iyileştirici etkisinin olması ve yapılan ölçüm-karşılaştırmalara göre ticari bolus ile uyumlu olması ayrıca gaz geçirgenliği ve malzeme maliyeti göz önüne alındığında bakteriyel selülozun build-up materyali olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: bolus, biyomateryal , bakteriyel selüloz



Yayın No: S-15

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Ozon yağı nanopartiküllerinin malign melanom hücre hattında radyoduyarlılık etkisinin incelenmesi

Yeliz Yalçın<sup>1</sup>, Seda Tıǧlı Aydın<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Bülent Ecevit Üniversitesi, Nanoteknoloji Mühendisliği, Zonguldak

**Amaç :** Malign melanom hücre hattında zeytinyağı ile ozonlanmış ozon yağı nanopartikülleri kullanılarak hücre hattında oksijenlenme oluşturulması ve ozon yağı nanopartiküllerinin radyoterapi sırasında radyo-duyarlılıklarının saptanmasıdır.

**Gereç ve Yöntem :** Ozonun klinikte kronik yaraları, diş ve ağız enfeksiyonları, iskemik hastalıklar, onkolojik hastalıklar, kas-iskelet sistemi ağrı ve hastalıkları, erişkin maküler dejenerasyon, kozmetoloji ve immün sistem hastalıkları gibi hastalıklarda etkin olarak uygulanmaktadır. Ozon gazının yüksek reaktivitesi ve uygulama zorluklarından (düşük çözünürlük ve vücuda düşük emilim) dolayı ozonun bitkisel yağlarla olan reaksiyonu sonucu oluşan formunun “ozonlanmış yağ” veya “ozon yağı” kullanımı öngörülmüştür. . Radyoterapi etkinliği için oksijenin ışınlama esnasında ya da ışınlamadan birkaç milisaniye sonra ortamda olması gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle radyoterapide kullanılmak üzere hipoksik melanom hücrelerini hedefleyecek ozon yağı bazlı yeni bir nanopartikül sisteminin incelenmesi amaçlanmıştır. Hücre kültür çalışmaları fare B-16 melanoma hücre hattı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hücreler 12 çukurlu hücre kültür plaklarına ekilip, bir gecelik inkübasyondan sonra besiyeri değişimi ile deneyler için hazır hale gelmiştir. 4 farklı grup hücre kültür plağı hazırlanmıştır. İlk grup kontrol grubu, diğer 3 grup da farklı radyasyon dozları için kullanılmıştır. 12 çukurlu hücre kültür plağının her iki çukuruna farklı miktarlarda ozon yağı nanopartikülleri (5, 10, 20, 50 ve 100 µl) eklenerek artan miktardaki nanopartiküllerin etkileri de incelenmiştir. Bilgisayarlı tomografi cihazında hücre plaklarının 3 mm kalınlıkta görüntüleri çekilerek Eclipse tedavi planlama sistemine aktarıldı. Plakları tam kapsayacak şekilde ışınlanacak alan belirlendikten sonra kaynak cilt mesafesi 100 cm, 300 cGy/dk doz hızı, 6 MV foton enerjisinde her fraksiyon dozu (2 Gy, 8Gy, 15 Gy) için hesaplamalar yapıldı. Plakların üzerine 1.5 cm kalınlıkta su eşdeğeri bolus konularak homojen doz dağılımı elde edildi. Hesaplamalar sonucu elde edilen planlama Varian IX lineer hızlandırıcı sistemine yüklenerek hücre plakları ışınıldı. Işınlama sonrasında DNA ve apoptoz analizi için hücreler akış sitometresinde değerlendirildi.

**Bulgular :** Nanopartikül eklenmiş tüm hücre kültür plaklarında nanopartikül miktarındaki artışa bağlı olarak ortam pH'nda değişimler gözlemlendi. Özellikle 20 µl'den itibaren ortam daha bazik kalmıştır. Işınlamadan 48 saat sonra mikroskopta incelenen hücrelerde önemli ölçüde hücre ölümü gözlemlendi. Apoptoz deneyi için hücrelere Annexin V ve PI eklenip 15 dk inkübe edildi ve akış sitometride okutuldu. Annexin V-PI negatif hücreler canlı, ikisi pozitif olanlar geç apoptotik/nekrotik ve sadece annexin V pozitif olanlar apoptotik olarak değerlendirildi. Değerlendirme sonucunda 5 ve 10 µl eklenen hücrelerde anlamlı bir fark gözlenmezken 20µl'den itibaren hücre ölümünde artış gözlemlendi.

**Sonuç :** Yapılan deneyler sonucunda ozon yağı nanopartiküllerinin hücre içine girebildiği, radyoterapi ile beraber hücre ölümünü artırdığı ve ölmeyen hücrelerde mitoz girme süresini uzattığı görülmüştür. Bu sonuçlara göre biyo-uyumlu ozon yağı nanopartiküllerinin radyoduyarlılaştırıcı etkisi olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** radyoduyarlılaştırıcı, nano-ozon yağı, melanom

Yayın No: S-16

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Özel tasarlanmış prostat fantomu ile esnek eşleştirme programlarının doğruluğunun dozimetrik kontrolü

Evren Ozan Göksel<sup>1</sup>, Halil Küçüçük<sup>2</sup>, Öznur Şenkesen<sup>1</sup>, Zeynep Özen<sup>2</sup>, Meriç Şengöz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Şmyo, Radyoterapi

<sup>2</sup>Acıbadem Altunizade Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü

<sup>3</sup>Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Abd

**Amaç :** Adaptif Radyoterapide (RT) toplam dozu hesaplamak için tedavi öncesi alınan CBCT görüntülerindeki anatomik farklılıklar planlama BT görüntüsü üzerine esnek eşleştirme (EE) yöntemiyle aktarılır. Daha sonra doz dağılımı da aynı eşleştirmeye bağlı olarak planlama BT'sine esenitilerek transfer edilir. Bu çalışmada adaptif RT sürecinde kullanılan iki EE programının doğruluklarının özel yapım prostat (P) fantomuyla dozimetrik olarak araştırılması amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmada prostat hastasının anatomisine benzer yapıda bir fantom tasarlanmıştır. Fantomda, femur (F) ve pubis kemikleri, mesane (M), rektum (R) ve P taklit edilmeye çalışılmıştır. Planlama amaçlı alınan BT sırasında P'nin ve M'nin 80cc dolulukta, R'nin çapı 3cm olması sağlanmıştır. Ayrıca "Target Registration Error" (TRE) değerini ölçebilmek için M'nin etrafına 4 adet radyopak işaretleyici yerleştirilmiştir. Bu BT kullanılarak VMAT tekniği ile 4Gy/fr için bir plan (Eclipse13.6) oluşturulmuştur. Birinci setupda fantom, Truebeam cihazında, planlananla aynı anatomide önce CBCT görüntüsü alınarak ışınlanmıştır. Işınlama sırasında M, R, F ve P'nin superior-inferior ve lateral duvarlarına 2x2cm boyutlarında EBT3 filmler yerleştirilmiştir. İkinci setupda M hacmi 70cc, R çapı 2cm; üçüncü setupda M 50cc, R 4cm ve F'ler 5mm anteriorda; dördüncü setupda M 90cc, R 4cm; beşinci setupda M 110cc, R 2cm ve F'lerin 5mm anteriorda olması sağlanarak, fantom ışınlanmıştır. Her bir ışınlamadan önce fantomun CBCT görüntüleri alınmış ve filmler değiştirilmiştir. Alınan CBCT görüntüleri Eclipse ve MIM planlama sistemlerine aktarılmış ve planlama BT'si ile esnek olarak karşılaştırılmıştır. MIM sisteminde, planlamadan alınan izodozlar EE işlemi sonrasında BT üzerine görüntüyle aynı şekilde esenitilerek transfer edilmiştir. Eclipse sisteminde ise tedavi planı deforme edilen BT üzerine aktarılarak doz dağılımı yeniden hesaplatılmıştır. Ayrıca EE işleminin doğruluğunu belirlemek için "Dice Similarity Coefficient" (DSC) ve TRE değerleri araştırılmıştır. Deforme edilen BT üzerinde oluşturulan doz dağılımlarının doğruluğunu araştırmak amacıyla; tedavi planlama sistemlerinden, filmlerin yerleştirildiği noktalardan okunan doz değerleri ile ışınlanan filmlerden ölçülen doz değerleri karşılaştırılmıştır (doz farkı).

**Bulgular :** En yüksek (maks) TRE değerleri MIM için 0,34cm (ort 0,26cm) ve Eclipse için 1,58cm (ort 1,46cm) olarak dördüncü setupta bulunmuştur. P için maks doz farkı Eclipse'te 47cGy ve MIM'de 43,5cGy ile dördüncü setupda ölçülmüştür. M için maks doz farkı Eclipse'te 57cGy ile dördüncü setuptayken, MIM'de 6cGy ile beşinci setupta. F'ler için maks doz farkı Eclipse'te 43cGy ve MIM'de 38cGy olarak beşinci setupta ölçülmüştür. R için maks doz farkı ikinci setupta Eclipse ve MIM'de sırasıyla 67cGy ve 89cGy bulunmuştur.

**Sonuç :** Kliniğimizde kullandığımız EE algoritmalarının BT-CBCT karşılaştırmasında P, R ve F'ler gibi kemik, ve suya yakın yoğunluktaki yapıları deforme etmekte daha başarılı olduğu ancak, içi havayla dolu R yapısını deforme etmekte zorlandığı anlaşılmıştır. EE işleminin doğruluğu tedavinin başarısını doğrudan etkileyeceği için EE kullanılırken algoritmaların sınırlamaları dikkate alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Özel Tasarlanmış Fantom, Deformable Registrasyon, Film Dozimetri

Yayın No: S-17

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Abdominal bölge radyoterapi uygulamalarında solunum hareketinin riskli organlardaki hacimsel ve dozimetrik etkilerinin değerlendirilmesi

Evrım Duman<sup>1</sup>, Yılmaz Bilek<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi Antalya Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, Antalya

<sup>2</sup>Adana Eğitim Ve Araştırma Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, Adana

**Amaç :** Klinik pratikte genel olarak klinisyenler hedef hacim üzerine konsantre olmakta ve tedavi başarısını arttırmak için tedavi sırasında ve tedavi arasında hedef hacim değişikliklerine odaklanmaktadır. Kanser tedavisi alan hastalarda riskli organların aldığı radyasyon dozu komorbidite açısından önemlidir. Bu konudaki çalışmalar akciğer, meme ve prostat gibi sık görülen kanser grupları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmanın amacı abdominal bölgeye radyoterapi uygulanan hastalarda tedavi sırasında riskli organ hareketlerinin, riskli organ hacim ve dozları üzerine olası etkilerini incelemektir.

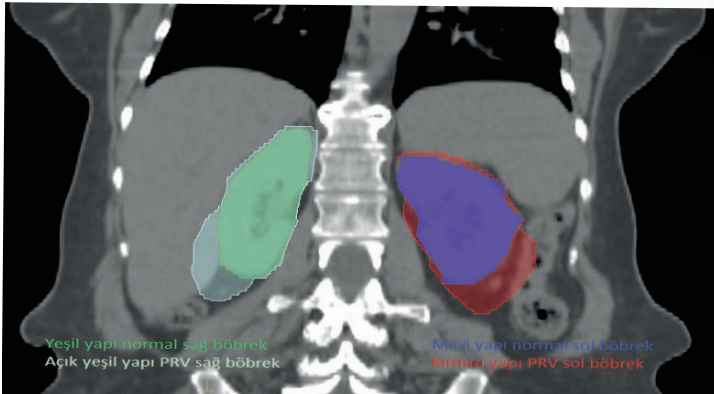
**Gereç ve Yöntem :** 2017-2018 yılları arasında abdominal bölgeye radyoterapi uyguladığımız toplam 11 hastanın (6 mide kanseri, 4 lenfoma, 1 pankreas kanseri) tedavi planları retrospektif olarak değerlendirilmiştir. Hastaların tamamına normal solunum hareketi sırasında çekilen planlama tomografisine (CTN) ek olarak derin inspiryum (CTİ) ve derin expiryum (CTE) sırasında planlama tomografisi çekilmiştir. Hedef hacim (CTV) ve riskli organ hacimleri (VN) CTN üzerinde konturlanmıştır, CTİ ve CTE ile yapılan füzyon sonrasında ışınlanan tedavi hacmi (ITV) ve solunum hareketine bağlı riskli organ hacimleri (VİE) oluşturulmuştur. Bu yöntemle oluşturulan karaciğer, sağ ve sol böbrekler; hacimsel değişimin en fazla olduğu hasta için figür 1 ve figür 2'de gösterilmiştir. Radyoterapi tedavi planları CTN üzerinde yapılmış, tedavi dozunun %95' inin ITV'ye 5 mm marj verilerek oluşturulan, planlanan tedavi hacminin (PTV) en az %95'ini sarması hedeflenirken riskli organ limit dozları VN ile sınırlandırılmış, VİE doz-hacim verilerinin uygunluğu da kontrol edilmiştir. Toplam radyoterapi dozu 5 hastada 45 Gy, 1 hastada 50 Gy, 1 hastada 54 Gy ve 4 hastada 36 Gy olacak şekilde 1.8-2 Gy fraksiyon dozu ile haftada 5 fraksiyon olarak uygulanmıştır.

**Bulgular :** Alan içinde alan yoğunluk ayarlı radyoterapi (Field in Field-IMRT) tekniği ile 3 hastaya, hacimsel yoğunluk ayarlı ark tedavi (VMAT) tekniği ile 8 hastaya radyoterapi planlanmış, ITV'nin %95'ini saran radyoterapi dozu ortalama %99 ( $\pm 1$ ) bulunmuştur. Hastaların tedavi hacmi ve kritik organ hacimleri Tablo-1'de, riskli organ doz-hacim histogram bulguları ise Tablo-2'de özetlenmiştir. Solunum hareketi dikkate alındığında hedef tedavi hacmi % 43,3 artarken, karaciğer hacminde görülen ortalama %40,6 artış karaciğer ortalama dozunda %5,5 ( $p=0.131$ ), toplam böbrek hacminde görülen %50,5 artış ise toplam böbrek ortalama dozunda %12,6 ( $p=0.009$ ) artışa sebep olmuştur. Toplam böbreğin 28 Gy, 23 Gy, 20 Gy ve 12 Gy doz alan hacimleri sırasıyla %52.8, %36.5, %29.8 ve %7.4 artmıştır (sırasıyla,  $p=0.005$ ,  $p=0.005$ ,  $p=0.005$ ,  $p=0.093$ ).

**Sonuç :** Diyaframın altında bulunan CTV ve komşu riskli organlar (böbrekler ve karaciğer) solunum hareketine bağlı olarak hareket etmektedir. Tedavi planlama amaçlı kullanılacak olan solunum bazlı tomografi görüntüleri ITV hacminin oluşturulması ile tedavi başarısının artmasını sağlarken riskli organlar için oluşturulacak planlanan riskli organ hacimleri (PRV) özellikle ters planlama (VMAT, IMRT, vb.) sırasında riskli organın bulunabileceği konumları koruyarak yan etki riskini azaltıp tedavi kalitesini arttırabilir.

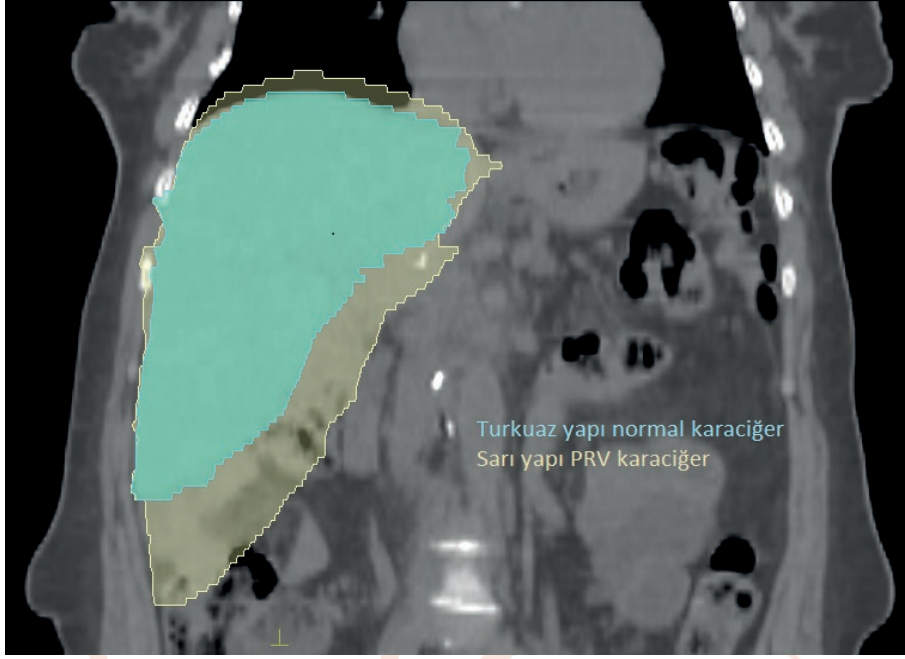
**Anahtar Kelimeler:** Solunum hareketinin dozimetrik etkisi.

**Figür 2:** Sağ ve sol böbrekler için oluşturulmuş yapılar





Figür1: Karaciğer için oluşturulmuş yapılar.



Tablo1:Tedavi hacmi ve kritik organ hacim verileri

	Ortalama Hacim (cc)	% değişim	P değeri
CTV (Hedef Hacim)	819 (±427)		
ITV (Hedef Hacim)	1086 (±414)	43.5	
Karaciğer VN	1553 (±436)		
Karaciğer ViE	2151 (±522)	40.6	0.003
Total Böbrek VN	363 (±62)		
Total Böbrek ViE	543 (±96)	50.5	0.005

CTV: Klinik hedef hacim, ITV: Işınlanan tedavi hacmi, VN: Normal solunum sırasında organ hacmi, ViE: Organın inspiryum ve expiryum sırasında hareketinin organ hacmine etkisi

Tablo 2: Karaciğer ve Total Böbrek için DVH verileri

	VN	ViE	% Değişim	P Değeri
Karaciğer Dmean (Gy)	22.26 (±6.16)	23.11 (±5.24)	5.5	0.131
Total Böbrek Dmean (Gy)	14.40 (±1.83)	16.25 (±2.85)	12.6	0.009
Total Böbrek V28 (%)	10.37 (±4.38)	15.09 (±5.83)	52.8	0.005
Total Böbrek V23 (%)	15.34 (±5.12)	20.63 (±6.68)	36.5	0.005
Total Böbrek V20 (%)	19.60 (±5.65)	25.30 (±7.49)	29.8	0.005
Total Böbrek V12 (%)	48.55 (±8.69)	52.08 (±11.14)	7.4	0.093

Vx (%): X Gy doz alan yüzde hacim VN: Normal solunum sırasında organ hacmi, ViE: Organın inspiryum ve expiryum sırasında hareketinin organ hacmine etkisi



Yayın No: S-18

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Sinonazal kavite tümörünün radyoterapi cevabının adaptif metotla değerlendirilmesi

Sibel Karaca<sup>1</sup>, Kadriye Ayşenur Arlı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erzurum Bölge Eğitim Ve Araştırma Hastanesi

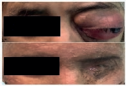
**Amaç :** Sinonazal kavite tümörleri baş boyun kanserlerinin nadir görülen bir çeşitidir. Sino-Nazal kavite tümörlerinde tedavi sürecinde tümörün radyoterapiye (RT) verdiği yanıtı bağlı olarak planlanan hedef volüm (PTV) ve kritik organ volümlerinde (OAR) değişiklikler meydana gelebilir. Adaptif RT (ART) tedavi sürecinde oluşabilecek anatomik değişiklikleri gözlemleyip plan tekrarı sağlayan önemli bir sistemdir. Bu çalışma, 3 fazlı ART uygulanan sinonazal kavite tümörü olan hastayı dozimetrik açıdan değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** 52 yaşında, bayan, T4N2M0 sinonazal kavite tümörü olan hastanın ilk tedavi planı çekilen başlangıç CT'si ile Helikal Tomoterapi (HT) tedavi cihazında PTV'ler 70 Gray (Gy), 60 Gy ve 54 Gy (33 fraksiyon) olacak şekilde SIB tekniği ile RT planı oluşturulmuştur. Tedavi başlangıcından 3 hafta sonra hastanın tümör boyutunun küçüldüğü gözlenmiş, HT ART yazılımı yardımıyla ART plan değerlendirme sonrasında yeni CT çekilerek 2. faz planla hasta tedavisine devam etmiştir. Yapılan kontrollerde 2. plandan sonraki 2. haftada tedavi volümlerinde tekrar değişiklik gözlenerek hastaya 3. CT çekimi yapılmış ve çizilen yeni tedavi alanları ile hasta 3. faz planla RT tamamlamıştır (Görüntü 1.).

**Bulgular :** PTV volümleri tedavi sürecinde azalma göstermiştir. PTV70'te maksimum %17.57cc azalma gözlenirken PTV60'da bu oran % 3.22cc, PTV 54'te %4.59cc'dir (Tablo 1.). Yapılan ART planlarda yeni CT öncesi PTV ve OAR dozlarında değişimler gözlenmiştir. Başlangıç CT PTV70 ile üçüncü CT öncesi ART değeri arasında maksimum %5.03 Gy doz değişimi gözlenirken bu oran PTV 60'da maksimum %4.59, PTV54 için maksimum %4.64Gy'dir. Kritik organ dozlarında ise yeni çekim CT öncesi dozlarındaki değişimler sağ gözde maksimum %4.75, sağ optik sinir için maksimum 1.30, beyin sapında maksimum %3,75, kiazmada maksimum %3.21, medulla spinalis için maksimum %1.02 ve oral kavitede maksimum %3.42'dir (Tablo2).

**Sonuç :** Sinonazal kavite tümörünün tedavisi sırasında oluşabilecek anatomik değişiklikler ART metot ile dozimetrik olarak gözlenebilir. Tedavi planı yenilenerek daha homojen dozlarla hasta tedavisi tamamlanabilir.

**Anahtar Kelimeler:** Helikal Tomoterapi, adaptif radyoterapi, sinonazal kavite tümörü



Görüntü 1. Hasta (a. tedavi başlangıcı, b. tedavi bitimi) görüntüsü.

Yayın No: S-19

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Üç boyutlu yazıcı ile üretilen fantomun radyocerrahi tedavî planlarının kalite kontrolünde kullanılması

hasan Uysal<sup>1</sup>, Nihal Büyükçizmeçi<sup>2</sup>, Erdem Uzel<sup>3</sup>, Burak Korkut<sup>5</sup>, Tamer Başer<sup>5</sup>, Murat Eğri<sup>6</sup>, Yıldız Güney<sup>5</sup>, Sait Şirin<sup>7</sup>, Kaan Oysul<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Medicana International Ankara Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü, Ankara

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Fizik Bölümü, Konya

<sup>3</sup>Radontek Medikal Sistemler, Ankara

<sup>5</sup>PhySMART Medikal Sistemler, Ankara

<sup>5</sup>Memorial Ankara Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü, Ankara

<sup>6</sup>Btech Innovation, Ankara

<sup>7</sup>Medicana International Ankara Hastanesi, Beyin Ve Sinir Cerrahisi Bölümü, Ankara

**Amaç :** Bu çalışmada üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak oluşturulan doku eşdeğeri fantomda; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C dozimetre kullanılarak dört farklı hedefte CyberKnife® Multiplan tedavi planlama sisteminde tedavi planlaması yapılmıştır. Dört farklı hedefte yapılan tedavi planlarına göre ışınlanan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C dozimetreler okunarak planlama sisteminden elde edilen dozlarla karşılaştırılmıştır.

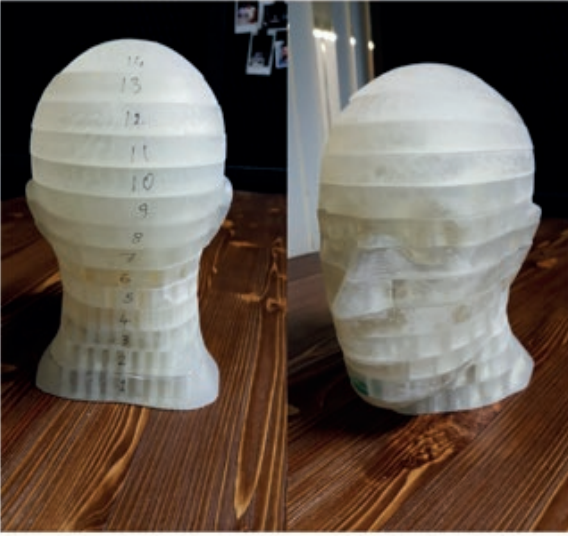
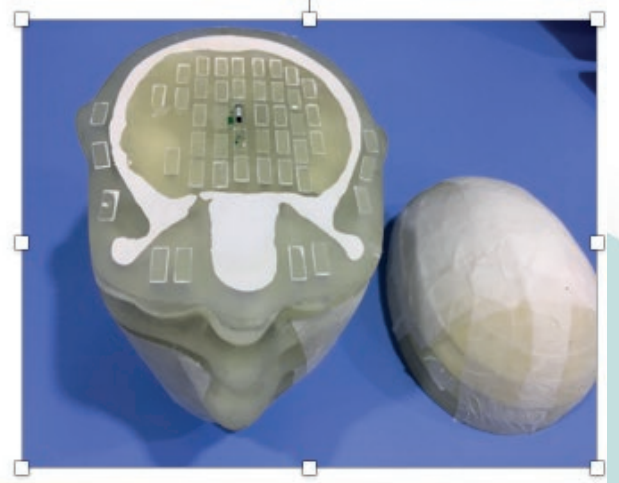
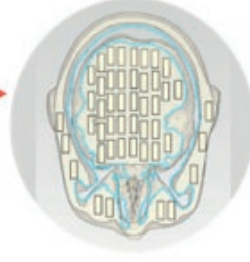
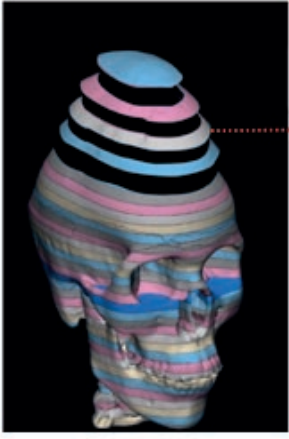
**Gereç ve Yöntem :** Fantom yapımı için standart bir kafanın DICOM bilgisi indirilerek, hastanın DICOM bilgisi MIMICS programına aktarıldı. Bu program aracılığıyla kemik, yumuşak doku ve hava olan kısımlar ayrı ayrı çalışıldı. Kemik ve yumuşak doku olacak kısımlar yazılım üzerinde ayrı ayrı belirlenirken, hava olan kısımlar boş bırakıldı. Servikal 7'ye kadar MIMICS'de fantom 14 kesite ayrılarak modellendi. Yapılan çalışmalar sonucunda kafa tabanına olan kemik kısım CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O karışımı (800-2000 HU), yumuşak doku için clear resine (30-70 HU) ve omurgalar için olan kısım polidimetilsiloksan (120-150 HU) kullanıldı. Kafa tabanına olan kemik kısım için sıvı formda CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, omurgalar için polidimetilsiloksan (PDMS) fantomun her bir katmanına vakumlu ortamda ayrı ayrı dökülerek soğumaya bırakıldı. Soğuma işlemi bittikten sonra fantomun her bir katmanı bir araya getirildi. Bilgisayarlı tomografisi çekilen fantom, CyberKnife® Multiplan tedavi planlama sisteminde Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C kristallerinin boyutu belirlenerek konturlandı. Fantomda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C dozimetre için 4, 8, 9 ve 10. kesitteki hedefler seçildi. Konturlama işlemi, bu dört kesit için de ayrı ayrı aynı şartlar altında yapıldı. Seçilen hedefler; fantomun cilt kısmına yakın olan bölgesinde, kafa tabanına yakın olan kısmında, kemik ve yumuşak doku gibi geçişlerin yoğun olduğu orta hatta ve de hava boşluklarının yakınında olmak üzere dört farklı ölçüm noktasında denendi. 5mm, 7.5mm, 10mm, 12.5mm, 20mm, 30mm, 40mm ve 60mm kolimatörler ile CyberKnife® Multiplan tedavi planlama sisteminde bütün planlara 200 cGy doz tanımlandı. Dozimetrelerde ışınlamalar 3'er kez yapıldıktan sonra ortalaması alındı. Fantomun herbir ışınlamada aynı şartlarda ışınlandığını göstermek için Root-Mean-Square (RMS) değerlerine bakıldı.

**Bulgular :** 4. ve 10. kesitte bulunan hedefler, fantomda giriş ve çıkış dozlarının ölçülmesi için koyuldu. 8. ve 9. kesitte bulunan hedeflerle, yumuşak doku-kemik geçişi ve de yumuşak doku-kemik-hava geçişlerinin dozimetre üzerine etkisi araştırıldı. 4. ve 10. hedeflerde büyük kolimatör konulduğunda havadaki dozun da hesaba katılmasından dolayı doğru bir sonuç elde edilmediği için, bu hedeflerde büyük kolimatörler ihmal edildi. Planlama ve ölçülen dozlar arasındaki en büyük % fark 19,9; en küçük % fark 4,18'dir. Küçük kolimatörlerde genel olarak % fark değerleri daha büyük çıktı. Büyük kolimatörlere doğru gidildiğinde % fark değerleri azaldı. Literatüre bakıldığında büyük kolimatörlerde % fark değerleri %2-3 civarındadır. Bizim çalışmamızda ise %4-5 civarında çıktı. Kullanılan Landauer dozimetre sisteminde; daha önceden belirlenen kalibrasyon faktörlerinin kullanılması ve cihazda termal sıfırlama yapılmasının mümkün olmaması sebebiyle büyük kolimatörlerde sonuçlarımız literatürden daha yüksek çıktı. Dört farklı bölgede seçilen hedefler içerisinde heterojenitenin fazla olduğu bölgelerde 8.- 9. kesitte, planlama ve okunan dozimetreler arasındaki % fark değerleri daha yüksek çıktı. Işınlamalardan elde edilen RMS değerleri 0,19 - 0,9 mm arasında bulundu.

**Sonuç :** Halihazırda kullanılan ve dozimetrik özelliği olan kristaller BeO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C'dür. Bu çalışmada Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C kristali kullanılmıştır. Bu kristaller özellikle radyoterapide kullanıldığında, termal sıfırlamalarının yapılması gerekmektedir. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C kristali kullanılarak küçük ve büyük kolimatörlerde ölçümler alındı. Dozimetrelerden okunan değerler, planlama sisteminden elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında; CyberKnife cihazında 10mm, 7.5mm ve 5mm kolimatörleri kullanılırken, daha dikkatli olunması önerilir.

**Anahtar Kelimeler:** Dozimetre, Cyberknife, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C dozimetre

## FANTOM



fantomun MIMICS ile modellenmesi, 3 boyutlu yazıcı ile yumuşak doku ve kemik halinin oluşturulması, CyberKnife cihazında fantomun ışınlanmasını göstermektedir.



## Dozimetre Sonuçları

	5 mm kolimatör	5 mm kolimatör	5 mm kolimatör	7.5 mm kolimatör	7.5 mm kolimatör	7.5 mm kolimatör	10 mm kolimatör	10 mm kolimatör	10 mm kolimatör
	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark
4.kesit	253	211	-16,6	241	214	-11,2	236	211	-10,59
8.kesit	261	209	-19,9	286	255	-10,89	280	243	-13,21
9.kesit	289	236	-18,3	264	234	-11,36	269	245	-8,92
10.ke-sit	287	213	-17,7	259	225	-13,12	256	237	-7,42
	12.5 mm kolimatör	12.5 mm kolimatör	12.5 mm kolimatör	20 mm kolimatör	20 mm kolimatör	20 mm kolimatör	30 mm kolimatör	30 mm kolimatör	30 mm kolimatör
	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark
4.kesit	265	254,66	-3,9	219	225	2,74	-	-	-
8.kesit	296	320	8,1	237	246,33	3,93	222	235,33	6
9.kesit	235	255	8,51	323	300	-7,12	247	257,33	4,18
10.ke-sit	302	284,66	-5,74	246	254,33	3,39	-	-	-
	40 mm kolimatör	40 mm kolimatör	40 mm kolimatör	60 mm kolimatör	60 mm kolimatör	60 mm kolimatör			
	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark	TPS (cGy)	OKUMA (cGy)	% fark			
4.kesit	-	-	-	-	-	-			
8.kesit	228	243,66	6,86	237	249,33	5,2			
9.kesit	220	236,33	7,42	227	240	5,73			
10.ke-sit	-	-	-	-	-	-			

Al2O3:C kristalinden okunan sonuçları göstermektedir

Yayın No: S-20

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Akciğer kanseri stereotaktik beden radyoterapisinde dört boyutlu bilgisayarlı tomografi ile hedef hacmin belirlenmesindeki yaklaşımların araştırılması

Canan Köksal<sup>1</sup>, Nazmiye Dönmez Kesen<sup>1</sup>, Leyla Süncak<sup>1</sup>, Şule Karaman<sup>2</sup>, Nergiz Dağoğlu Sakin<sup>2</sup>, Murat Okutan<sup>1</sup>, Hatice Bilge Becerir<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Sağlık Fiziği Bilim Dalı, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İstanbul

Purpose : Akciğer kanseri SBRT planlaması için, hastaya özgü tümör hareketi belirlenerek her hasta için kişiselleştirilmiş ITV tanımlanmasında 4B-BT taramasının kullanılması önerilmektedir. Bireyselleştirilmiş ITV oluşturmak için 4B-BT verilerini kullanmanın birkaç yöntemi vardır. Altın standart yöntem, tüm solunum fazlarına ait BT görüntülerinde GTV hacimlerinin konturlanarak birleştirilmesidir. Çalışmamızda, akciğer SBRT tedavilerinde 4B-BT ile elde edilen 10 solunum fazına ait veri setlerinin her birinde GTV konturlamanın getirdiği iş yükünü azaltmak için alternatif hedef tanımlama stratejilerinin uygunluğu ve bu yöntemlerin dozimetrik etkileri araştırıldı.

Materials and Methods : Çalışmamızda akciğer kanseri tanısı almış 15 hastanın görüntüleri kullanıldı. Tümörleri alt lobda



olan 6 hasta Grup A, üst lobda olan 9 hasta ise Grup B olarak isimlendirildi. Hastaların solunum sinyalleri ile eşzamanlı alınan 4B-BT görüntülerinin rekonstrüksiyonu yapılarak, 10 solunum fazına ait 3B-BT görüntüleri oluşturuldu. 10 faza ait görüntüler kullanılarak maksimum yoğunluk projeksiyon (MIP) ve ortalama yoğunluk projeksiyon (AIP)-BT görüntüleri Varian Eclipse 15.6 TPS'nde oluşturuldu. Her hastanın 10 solunum fazında ayrı ayrı konturlanan GTV'lerin birleşimiyle altın standart ITV üretildi. 2faz (%0, %50); 4faz (%0, %20, %50, %70); MIP-BT ve AIP-BT görüntülerinde konturlanan GTV'ler ile alternatif ITV'ler oluşturuldu. 5mm setup marjıyla PTV\_10faz(altın standart) ve PTV\_2faz, PTV\_4faz, PTV\_MIP, PTV\_AIP(alternatif PTV'ler)'ler üretildi. Akciğer, kalp, spinal kord, özofagus, aort, trakea ve bronşlar AIP-BT üzerinde konturlandı. Her hasta için konturlanan alternatif PTV'lerin PTV\_10faz'a göre uygunluk numaraları (CN) hesaplandı. Her hastaya ait 5 farklı PTV için IMAT-SBRT planları AIP-BT üzerinde yapıldı. Hedef hacim için 54Gy(3fr) doz tanımlandı. PTV'nin %95'i tanımlanan dozu [PTV D95=100 (54Gy)] ve %99'u tanımlanan dozun en az %90'ını [PTV D99yrk31%90 (48,6 Gy)] alacak şekilde plan normalizasyonu yapıldı. Her hastaya ait alternatif PTV hacimleri ile optimize edilen planlarda, PTV\_10faz'ın D99 ve D95 değerleri kaydedildi. Akciğerin V5, V20, V30, Dmean; diğer kritik organların maksimum ve ortalama doz değerleri Wilcoxon Signed-Rank Testi kullanılarak karşılaştırıldı. P<0,05 değerleri anlamlı olarak kabul edildi.

Results : Superior-inferior(SI) yöndeki tümör hareketi alt lob tümörlerinde (Grup A) 1 cm'den büyük; üst lob tümörlerinde (Grup B) ise 1 cm'den küçüktür. Grup A için; 2faz, 4faz, MIP, AIP görüntülerinde oluşturulan PTV'lerin CN değerleri sırasıyla; 0,842±0,054; 0,920±0,028; 0,798±0,076; 0,730±0,088'dir. Alternatif PTV hacimleri ile optimize edilen planlarda PTV\_10faz'ın D95 ve D99 değerleri incelendiğinde; sadece PTV\_4faz optimizeli planda %3'ten az doz farkı ile PTV\_10faz için istenilen dozlar sağlandı(Tablo 1). PTV\_10faz ve PTV\_4faz planları karşılaştırıldığında kritik organ dozları benzer bulundu (p>0,05). Grup B için; 2faz, 4faz, MIP, AIP görüntülerinde oluşturulan PTV'lerin CN değerleri sırasıyla 0,931±0,025; 0,959±0,011; 0,827±0,043; 0,816±0,059'dur. Alternatif PTV hacimleri ile optimize edilen planlarda PTV\_10faz'ın D95 ve D99 değerleri incelendiğinde PTV\_2faz ve PTV\_4faz optimizeli planda PTV\_10faz için istenilen dozlar sağlandı(Tablo 2). PTV\_10faz ve PTV\_2faz planlarının karşılaştırılmasında, akciğer V20 değerlerinin farklarının ortalaması %0,26 (p=0,008); PTV\_10faz ve PTV\_4faz planlarının karşılaştırılmasında ise bu ortalama %0,16'dır (p=0,018). Farklar istatistiksel olarak anlamlı olsa da oldukça azdır.

Conclusions : Çalışmamızda, akciğer kanseri SBRT tedavilerinde hedef hacim tanımlamasında iş yükünü azaltmak için, altın standart olarak kabul edilen 10faz uygulamasına en yakın alternatif hedef hacim tanımlama stratejisinin 4faz olduğu; SI hareketi az olan (<1 cm) üst lob tümörlerinde 2faz kullanımının güvenilir olduğu görüldü. AIP ve MIP kullanımının hedef hacim tanımlamada yeterli olmadığı sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Akciğer kanseri, 4B-BT, SBRT

Tablo 1: Grup A tümörleri için alternatif PTV hacimleri ile optimize edilen planlarda PTV\_10faz'ın D95 ve D99 değerleri (=tanımlanan dozun % değeri)

Grup A (6)	PTV 2faz optimizeli plan	PTV 4faz optimizeli plan	PTV_MIP optimizeli plan	PTV_AIP optimizeli plan
<b>D95 (cGy)</b>				
Ortalama	4888 (%90,5)	5252 (%97,3)	4344 (%80,4)	4072 (%75,4)
SD	454,7	54,0	1849,5	1140,7
Medyan (Min.-Maks.)	5067 (3989-5194)	5243 (5189-5329)	5125 (577-5194)	4227 (2231-5179)
<b>D99 (cGy)</b>				
Ortalama	4117 (%76,2)	4782 (%88,6)	3706 (%68,6)	3017 (%55,9)
SD	1109,7	212,0	1717,8	1641,2
Medyan (Min.-Maks.)	4519 (1868-4790)	4771 (4457-5095)	4375 (336-4863)	3054 (903-4931)

Tablo 2: Grup B tümörleri için alternatif PTV hacimleri ile optimize edilen planlarda PTV\_10faz'ın D95 ve D99 değerleri (=tanımlanan dozun % değeri)

Grup B (9)	PTV_2faz optimize plan	PTV_4faz optimize plan	PTV_MIP optimize plan	PTV_AIP optimize plan
<b>D95 (cGy)</b>				
Ortalama	5300 (%98,1)	5345 (%99,0)	5157 (%95,5)	5004 (%92,7)
SD	37,8	13,7	234,4	249,9
Medyan (Min.-Maks.)	5306 (5242-5354)	5348 (5317-5359)	5247 (4820-5524)	5053 (4596-5279)
<b>D99 (cGy)</b>				
Ortalama	5025 (%93,1)	5103 (%94,5)	4701 (%87,1)	4372 (%81,0)
SD	79,7	40,4	406,1	416,1
Medyan (Min.-Maks.)	4990 (4928-5173)	5109 (5045-5161)	4735 (4210-5320)	4410 (3467-4884)

Yayın No: S-21

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

Lu-177 PSMA-617 tedavisi uygulanan prostat kanseri tanılı hastalarda MIRD yöntemi ile kritik organ dozlarının belirlenmesi

Burcu Kozanlılar<sup>1</sup>, Burçak Yılmaz<sup>1</sup>, Özlem Erez<sup>1</sup>, Tevfik Fikret Çermik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Eğitim Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği, İstanbul

**Amaç :** Radyonüklid tedavinin temel prensiplerinden biri de önemli bir toksisiteye neden olmadan tümöre maksimum dozu verebilmektir. Prostat kanseri tanılı hastalarda son yıllarda başarı ile uygulanan Lutesyum-177 (Lu-177) Prostat Spesifik Membran Antijen (PSMA) -peptit tedavisinde doz sınırlayıcı organlar karaciğer, böbrekler, parotis bezleri ve kemik iliğidir. Toksikiteyi önlemek için, bu organlara verilen radyasyon dozu miktarı hesaplanmalıdır.. Bu çalışmada, Lu-177 PSMA-617 tedavisi uygulanan metastatik kastrasyona dirençli prostat kanseri tanılı hastalara Medikal İnternal Radyasyon Dozimetri (MIRD) yöntemi ile kişiye özgü dozimetre yaparak doz sınırlayıcı organlarda sağlanan radyasyon dozlarını hesaplanması amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Metastatik kastrasyona dirençli prostat kanseri tanılı Galyum-68 PSMA PET/BT ile PSMA reseptör afinitesi saptanmış daha önce Lu-177 PSMA tedavisi uygulanmamış 15 hasta (Yaş ortalaması: 73,4) Mayıs 2018- Ağustos 2019 tarihleri arasında prospektif olarak çalışmamıza dâhil edildi. İlk tedavisi sırasında intravenöz yol ile verilen Lu-177 PSMA-617 aktivitesi, 96 mCi ile 201 mCi aralığında idi. Organlarda sağlanan doz değerlerini hesaplamak için zaman aktivite profili aktivitenin damar yolu ile enjeksiyonunu izleyen 4, 24, 48, 72 veya 120 saatlerinde alınan tüm vücut planar sintigrafisi ve 24. saat Tek Foton Emisyon Bilgisayarlı Tomografi/ Bilgisayarlı Tomografi (SPECT/BT) görüntüleri (MEDİSO: Medical Imaging Systems, Budapeşte, Macaristan; Orta enerjili genel amaçlı kolimatör ile 208 keV pikinde; %15 enerji penceresinde; 24 cm/dak. ) kullanılarak elde edildi. Kümülatif aktiviteyi hesaplamak için hibrid görüntüleme yararlandı. SPECT/BT görüntüleme ile aynı zaman diliminde elde edilen tüm vücut planar görüntülerindeki organ bölgesel aktivite sayımları (ROI) denkleştirildi. Diğer zaman dilimlerinde elde edilen sayımlar bu oran kullanılarak aktivite değerine çevrildi. Zemin aktivite sayımı tümör alanı ve aktivite tutulumu olmayan alanlara çizilen ROI'ler yardımıyla hesaplandı. Organ ve tüm vücut sağlanan doz değerleri OLINDA/EXM Software kullanılarak hesap edildi. Parotis bezlerinde sağlanan doz, bezin bir küre ile benzer bir morfolojisine sahip olduğunu varsayarak, OLINDA / EXM programında mevcut olan, birim yoğunluk küre modeli ile hesaplandı (yoğunluk = 1 g / cm<sup>3</sup>). MATLAB (MathWorks Inc., Natick, MA, ABD) programı, parotis ve lakrimal bezlerdeki etkin kümülatif aktiviteyi, (t = 0) zamandan son edinme zamanına kadar hesaplamak için kullanıldı.

**Bulgular :** Kritik organlar için hesaplanan soğurulan radyasyon dozları, hastalar arasında büyük farklılıklar gösterdi. Kritik organlar için hesaplanan soğurulan radyasyon dozları parotis bezleri için  $3,04 \pm 1,62$  Gy idi. Böbrekler için hesaplanan soğurulan doz  $1,92 \pm 1,23$  Gy, Karaciğer için  $0,96 \pm 0,40$  Gy, Kemik iliği için  $0,18 \pm 0,13$  Gy olarak hesap edildi.

**Sonuç :** Lu-177 PSMA-617 tedavisi prostat kanseri tanılı hastalarının tedavisi için güvenli bir yöntem gibi görünmektedir. Organ dozimetresi doz sınırlayıcı organlardaki dozu hesaplayabilmek için yapılması gerekir. Yapılan hesaplar sonucu Uluslararası standartlar da verilen güvenli organ doz değerleri dikkate alınarak tedavide hastaya verilecek toplam aktivite miktarına karar verilmelidir. Kritik organlarda soğurulan doz miktarı hastalar arasında önemli bir farklılık göstermektedir. Bu nedenle, organ toksisitesini önlemek için hastaya özgü dozimetrik yaklaşım uygulanmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** dozimetre, Lutesyum, MIRD,

Yayın No: S-22

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

Lutesyum-177 tedavilerinde kantitatif spect/ct ile hastaya özgü dozimetri

Gülçin İrim Çelik<sup>1</sup>, Şerife İpek Karaaslan<sup>1</sup>, Nalan Alan Selçuk<sup>1</sup>, Emre Demirci<sup>1</sup>, Türkay Toklu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yeditepe Üniversitesi, Sağlık Fiziği AD.

**Amaç :** Bu çalışmada, Yeditepe Üniversitesi İhtisas Hastanesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı'nda bulunan SPECT/CT sisteminde Lu-177 izotopunun kantitatif olarak görüntülenebilmesi ve Lu-177 PSMA ve DOTATATE tedavilerinde hastaya özgü dozimetri yapılması amaçlanmaktadır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışma kapsamında 22 hastaya (14 PSMA, 8 DOTATATE) dozimetri hesaplaması gerçekleştirildi. Lu-177 tedavileri sonrası hastaya 4, 24, 72 ve 168 saatlerde SPECT/CT görüntüleri alındı. Görüntüler foton azalımı, saçılan foton, kolimatör-dedektör cevabı etkileri için düzeltildi. Görüntüler iteratif rekonstrüksiyon algoritması kullanılarak elde edildi. Gama kamera sayım-aktivite kalibrasyonu NEMA kriterlerine göre gerçekleştirildi. Elde edilen görüntülerden böbrek, karaciğer ve dalak için her zaman diliminde hastalara ait hacimler ve aktiviteler hesaplandı. Elde edilen zaman-aktivite eğrilerinden kümülatif aktiviteler belirlendi. MIRD yöntemi kullanılarak organ dozları hastaya özgü olarak belirlendi. Hastaların CT uygulamalarından maruz kaldıkları dozlar IMPACT CTdosimetry yazılımı ile hesaplandı.

**Bulgular :** Lu-177 PSMA tedavisi için ortalama uygulanan aktivite 5,94 GBq'dir (aralık: 4,59-7,77 GBq). Ortalama organ dozları böbrekler için  $0,59 \pm 0,08$  Gy/GBq, karaciğer için  $0,07 \pm 0,03$  Gy/GBq olarak hesaplandı. Lu-177 DOTATATE tedavisi için ortalama uygulanan aktivite 5,98 GBq'dir (aralık: 2,92-8,25 GBq). Ortalama organ dozları böbrekler için  $0,58 \pm 0,09$  Gy/GBq, karaciğer için  $0,08 \pm 0,03$  Gy/GBq olarak hesaplandı. ve dalak için  $0,28 \pm 0,25$  Gy olarak elde edilmiştir. Dört CT çekiminde hastaların toplam böbrek dozları 0,024 Gy olarak hesaplanmıştır.

**Sonuç :** Çalışma kapsamında özellikle PSMA tedavisi için elde edilen böbrek dozları, literatür verileri ile kıyaslandığında yaklaşık %20 oranında daha düşük bulunmuştur. Literatür verileri daha çok planar ve hibrit dozimetri yöntemleri ile hesaplanmıştır. Planar görüntülerden hesaplanan dozimetrik değerlerin olduğundan daha fazla sonuç verdiği bilinmektedir. Bu nedenle daha doğru dozimetrik hesaplamalar için tüm zaman dilimlerinde SPECT/CT ile görüntüleme yapılması önerilmektedir. CT çekimlerinden dolayı hastaların maruz kaldıkları ekstra böbrek dozları ihmal edilebilir seviyededir.

**Anahtar Kelimeler:** Prostat kanseri, Nükleer Tıp Tedavi, Dosimetri, Kantitatif, Lutesyum



Yayın No: S-23

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

Bilgisayarlı tomografi çekimlerinde over dozları: fantom çalışması

Özge Ulu<sup>1</sup>, Osman Günay<sup>2</sup>, Mert Karagöz<sup>1</sup>, Yağmur İdil Ulusoy<sup>1</sup>, Özgür Taylan Akdağ<sup>1</sup>, Mustafa Demir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-cerrahpaşa, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul

<sup>2</sup>Okan Üniversitesi, Sağlık Meslek Yüksek Okulu, İstanbul

Amaç : Alderson Rando Fantom kullanılarak Bilgisayarlı Tomografi (BT) çekimlerinde over dozlarının belirlenmesidir.

Gereç ve Yöntem : Fantomun görüntülemeleri farklı çekim parametrelerinde 6, 16, 128 ve 640 kesitli dört farklı BT'de ayrı ayrı yapıldı. Overlere TLD'ler yerleştirildi. Pelvis, tüm batin ve tüm vücut helikal taramalı çekimler yapıldı. Her bir bölgenin çekimi tamamlandıktan sonra TLD'ler çıkarılarak yenileri takılarak ölçümler yapıldı

Bulgular : TLD ile ölçülen over dozları pelvis, tüm batin ve tüm vücut görüntülemelerinde 6 kesit için sırasıyla, 5.35 mSv , 5.02 mSv ve 4.08 mSv; 16 kesit için sırasıyla, 5.90 mSv, 4.91 mSv, 4.32 mSv; 128 kesit için sırasıyla 5.33 mSv, 5.19 mSv, ve 5.30 mSv; 640 kesit için sırasıyla 4.10 mSv, 5.27mSv, 3.80 mSv olarak hesaplandı. Doz ölçümlerinin ortalamaları arasındaki fark %19 bulundu.

Sonuç : BT cihazlarında kesit sayısı ile aynı çekim bölgesinden ölçülen doz değerleri arasında bir ilişki bulunmadı.

Anahtar Kelimeler: BT, Alderson Rando Fantomu, over dozları, fetüs dozu

Tablo:1

Çekim Yeri	BT'de kesit sayısı ve Over dozları (mSv)			
	6 Kesit	16 kesit	128 kesit	640 kesit
Pelvis	5.35	5.90	5.33	4.10
Tüm batin	5.02	4.91	5.19	5.27
Tüm vücut	4.08	4.32	5.30	3.80

TLD ile ölçülen over dozları tabloda verilmiştir.

Yayın No: S-24

Bildiri Grubu: Radyasyondan Korunma ve Radyasyon Güvenliği

Bilgisayarlı tomografide iteratif rekonstrüksiyon algoritmalarının görüntü kalitesi ve hasta dozu üzerindeki etkileri

Elif Ecem Alcan<sup>1</sup>, Türkay Toklu<sup>1</sup>, Nalan Alan Selçuk<sup>1</sup>, Şerife İpek Karaaslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yeditepe Üniversitesi Sağlık Fiziği Ad.

Amaç : Bu çalışmada, bilgisayarlı tomografide iteratif rekonstrüksiyon algoritmalarının görüntü kalitesi ve hasta dozu üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Gereç ve Yöntem : Çalışmada Yeditepe Üniversitesi İhtisas Hastanesindeki PET/CT cihazının bilgisayarlı tomografi kısmı kullanıldı. Bu sistemde hem filtrelendirilmiş geriye projeksiyon (FBP) hem de iteratif rekonstrüksiyon (IR) algoritmasıyla tomografik kesit görüntüsü oluşturma olanağı bulunmaktadır. 120 kVp ve 65, 125, 255 mA değerlerinde bilgisayarlı tomografi doz indeksi (CTDI) değerleri, CTDI fantomu ve 10cm uzunluğunda kalem tipi iyon odası kullanılarak hesaplandı. Görüntü kalitesi değerlendirmesi için Cathpan 600 fantomu kullanıldı. CNR, SNR ve MTF gibi görüntü parametreleri 120 kVp ve 65, 125, 255 mA değerlerinde ve 2,5 ile 5 mm kesit kalınlığı için değerlendirildi. Catphan 600 fantomuna ait görüntüler standard ve detay filtreleri kullanılarak FBP ve farklı derecelerde IR ile elde edildi. Görüntü kalite parametrelerinin değerlendirmeleri IMAGE J ve IQWORKS yazılımları kullanılarak gerçekleştirildi.

Bulgular : Farklı mA değerleri için ölçülen CTDI değerlerinin sistemin gösterdiği değerler ile uyumlu olduğu belirlendi. MTF



değerlerinin IR yöntemi ile FBP'ye göre daha iyi olduğu gözlemlendi. Benzer şekilde CNR ve SNR değerlerinde IR yöntemi ile FBP'ye göre daha iyi sonuçlar elde edildi.

**Sonuç :** Sonuç olarak, IR algoritması ile görüntü kalitesi parametrelerinde iyileşme sağlandığı belirlendi. Bu sonuca göre IR algoritması ile görüntü kalitesi korunarak daha düşük mA değerlerinde (ve dolayısıyla daha düşük doz değerlerinde) FBP ile eş kalitede görüntüler elde edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** ERATİF REKONSTRÜKSİYON ALGORİTMALARI

**Yayın No:** S-25

**Bildiri Grubu:** Nükleer Tıp

TOF özelliği olan ve TOF özelliği olmayan PET/BT sistemlerinde lezyon detektabilitesinin karşılaştırılması

Yağmur İdil Ulusoy<sup>1</sup>, Mustafa Demir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul

**Amaç :** Bu çalışmanın amacı, standart kalite kontrol testleri ve retrospektif hasta görüntülerinde yapılan analizler kullanılarak TOF ve konvansiyonel PET görüntüleme sistemleri arasındaki görüntü kalitesindeki farklılıkları araştırmak ve istatistiksel olarak değerlendirmektir.

**Gereç ve Yöntem :** TOF bilgisi kullanılarak rekonstrükte edilen ve konvansiyonel PET/CT görüntüleri hasta taraması yapılarak elde edilmiştir. Nükleer Tıp uzmanları tarafından malign tümör tanısı konmuş 28 hasta ve bu hastalarda gözlenen toplam 40 lezyon çalışmaya dahil edilmiştir. Veriler Cerrahpaşa Tıp fakültesi hastanesinde bulunan GE Discovery PET/CT 690 cihazıyla toplanmıştır. Sistem 3D-PET iteratif rekonstrüksiyon algoritmaları uygulayan güçlü bir bilgi işlem platformu ile karakterizedir. Görüntüler 256x256 matris boyutunda alınmış ve hasta taraması için standart prosedür izlenmiştir. Lezyon detektabilitesi Rose kriterine göre değerlendirilmiş olup, her bir hastanın background ve lezyonlarından alınan sayım verileriyle aktivite konsantrasyonu (AC), lezyon/background (L/BG), kontrast gürültü oranı (CNR) ve kontrast (C) için TOF ve non-TOF iyileştirmeleri analiz edilmiştir. Sınıflandırma ve veri analizlerinde regresyon ve korelasyon modellerini oluşturmak için MATLAB (The Mathworks Inc., Natick, MA) kullanılmıştır.

**Bulgular :** Yapılan çalışmalarda TOF bilgisiyle rekonstrükte edilen PET/BT görüntülerinin beklendiği gibi konvansiyonel PET/BT görüntülerine göre görüntü kalitesi özneliklerinde üstün olduğu görülmüştür. Korelasyon analizlerinde istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler Pearson korelasyon testi yapıldığında, dFOV ve AC kurtarma arasında { $r = 0.39$ ,  $p < 0.01$ }, dFOV ve C kurtarma arasında { $r = 0.60$ ,  $p < 0.01$ } ve son olarak dFOV ve CNR kurtarma arasında { $r = 0.65$ ,  $p < 0.01$ } bulunmuştur. Regresyon Analizlerinde AC, CNR, C ve L/Bg değerlerini modellemek için Genelleştirilmiş Doğrusal Karışık Modelleme tekniği kullanılmıştır. Sabit efekt olarak dFOV, lezyon hacmi ve TOF'lu olup olmama durumu, rassal(random) efekt olarak her bir hastanın sabit değerleri kullanılmıştır. TOF'lu olup olmama durumunun AC, C, CNR ve L/Bg değerlerinin hepsi üzerinde istatistiksel olarak etkisinin olduğu gözlemlenmiştir { $p < 0.01$ }. Buna ek olarak lezyon hacminin, CNR değerleri üzerinde istatistiksel olarak etkisinin olduğu görülmüştür { $p < 0.01$ }. Ayrıca d\_FOV'un da AC üzerinde istatistiksel olarak etkisinin olduğu görülmüştür { $p < 0.01$ }.

**Sonuç :** Hastalardan alınan sayım verilerine dayalı lezyon detektabilitesinin lezyon boyutuyla ve FOV merkezinden uzaklaştıkça TOF'un görüntü kalite parametrelerindeki artışı gözlenmiştir. İlerideki çalışmalarda, daha büyük hasta popülasyonlarında çalışılarak çalışmanın doğruluğu artırılması hedeflenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Time of flight (TOF), PET/BT, Görüntü kalitesi, lezyon deteksiyonu

<b>Longitudinal Test non-TOF - TOF</b>		
	<b>Tahmin</b>	<b>p_value &lt;</b>
<b>AC (kBq/ml)</b>	<b>2,33</b>	<b>2,51E-04</b>
<b>C</b>	<b>1,4555</b>	<b>5,38E-09</b>
<b>CNR</b>	<b>52,648</b>	<b>1,35E-08</b>
<b>L/BG</b>	<b>1,4625</b>	<b>4,45E-08</b>

Tablo: TOF'lu görüntülerin TOF'suz görüntülere göre bir birimdeki ortalama artışı ve p değerleri.

Yayın No: S-26

Bildiri Grubu: Diğer

Glanduler doku ve cilt dozunun derinlik ve konuma bağlı dağılımının makroskopik ve mikroskopik voksel boyutlarında monte carlo simülasyonu ile incelenmesi

Gizem Şişman<sup>1</sup>, Gizem Bakıcıerler Aybars<sup>1</sup>, Ayşegül Yurt<sup>1</sup>, Hakan Epik<sup>2</sup>, İsmail Özsoykal<sup>1</sup>, Kadir Akgüngör<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü

**Amaç :** Mamografik incelemelerde düşük enerjili x-ışınlarının oluşturacağı stokastik etkiler, hastaya verilen radyasyon dozu ile önemli ölçüde artmaktadır. Radyasyona bağlı karsinogenez riskinin tahmin edilebilmesi için memedeki en duyarlı doku olan glanduler yapılarda soğrulan dozun doğru değerlendirilmesi gerekmektedir. Çalışmada; Geant4 programında ICRU 46 no'lu rapordan yararlanılarak, yağ dokusu, glanduler doku ve cilt dokusundan oluşan heterojen yapıya sahip meme modelinin oluşturulması, farklı glanduleritelere sahip meme modellerinde farklı derinliklerde ve göğüs duvarından farklı mesafelerdeki doz dağılımının hem makroskopik (milimetre boyutunda) hem de mikroskopik (mikrometre boyutunda) voksel boyutlarında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, glanduler doku ve yağ dokudan cilt dokusuna geçerken ortam geçişlerindeki doz değişimleri ve cilt dokusunun doza etkisinin değerlendirilmesi araştırmanın amacını oluşturmaktadır.

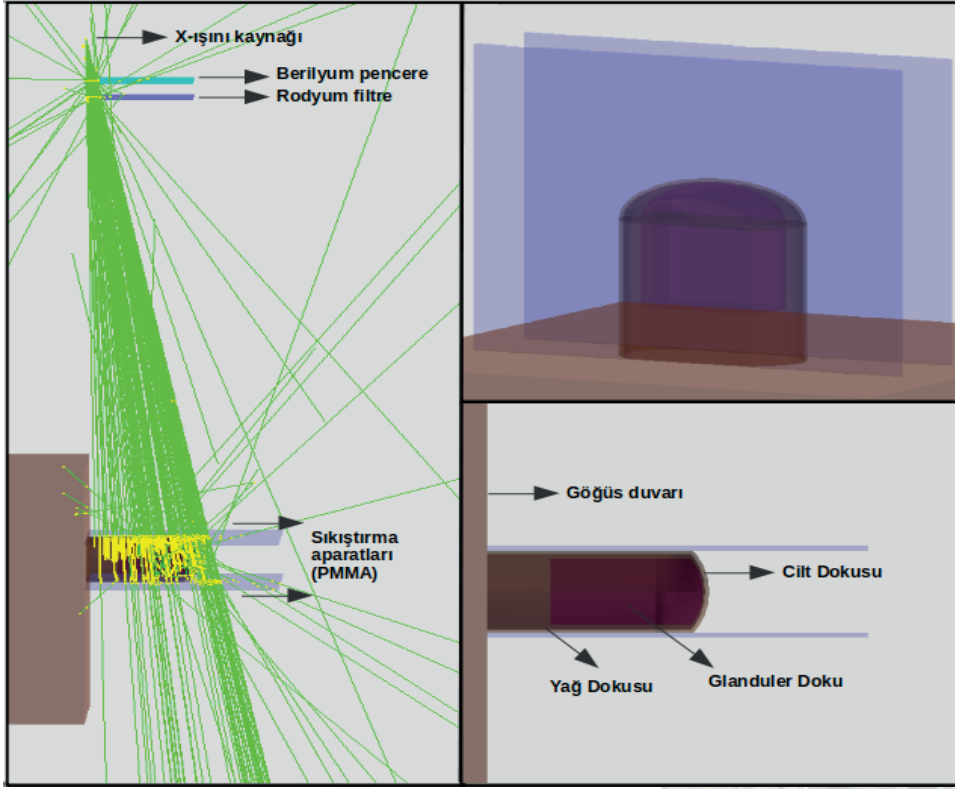
**Gereç ve Yöntem :** GEANT4 programında AAPM TG-195 no'lu raporda mamografi cihazı için önerilen kaynak cilt mesafesi, kompresyon sisteminin materyali, kalınlığı, göğüs duvarı, meme boyutu ve sıkıştırılmış kalınlığı, ayrıca cilt için önerilen kalınlık bilgileri referans alınarak simülasyon yapılmıştır. Yağ, glanduler ve cilt dokusu olmak üzere memeyi oluşturan farklı yoğunluklara sahip bu dokular, ICRU 46 no'lu raporda belirtilen elementler ve kütleli fraksiyonları referans alınarak simüle edilmiştir. Farklı glanduleritelere sahip (% 33 ve % 50) meme modelleri oluşturularak, bu modeller üzerinde önce makro boyuttaki voksellere sahip sanal bir dedektör ile memenin farklı derinliklerinde ve katottan (göğüs duvarı) anoda doğru değişen mesafelerde doz dağılımı değerlendirilmiştir. Daha sonra mikro boyutlarda voksellere sahip dedektör ile derinlik ve konuma bağlı doz dağılımına bakılarak, dokular arası geçişlerde ve ciltteki doz varyasyonları incelenmiştir.

**Bulgular :** Simülasyonlarda glanduler ve yağ dokudan cilde geçişte, arayüzde %10 civarında doz düşüşleri gözlenmiştir. Bu farklılık dokuların enerjiye bağlı kütle atenuasyon katsayılarındaki farklılıklar ile ilişkilidir. Cilt dokusunda yağ ve glanduler dokuya kıyasla %20 civarında daha yüksek dozlar görülmüştür.

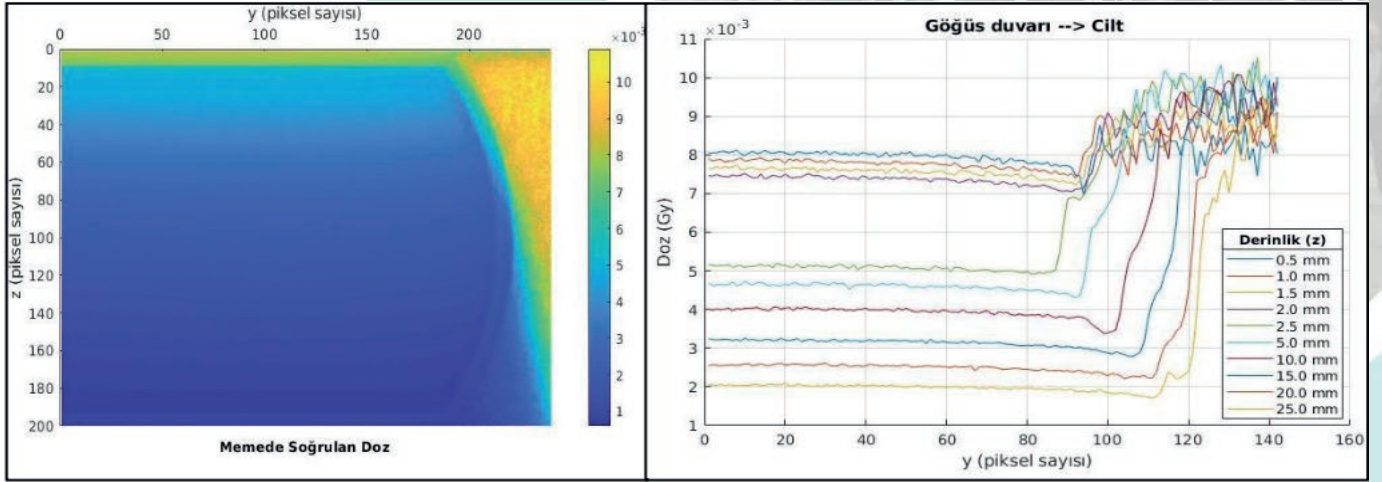
**Sonuç :** Farklı glanduleritelere sahip meme modellerinde, derinlik ve konuma bağlı doz dağılımı makroskopik ve mikroskopik skalalarda değerlendirilmiştir. Mamografide, meme dozimetrisi için kullanılan metotlar makroskopik veya mikroskopik boyutlarda soğrulan enerji/doz miktarını dikkate almamaktadır. Araştırmada mikroskopik boyutlarda çalışıldığında glanduler, yağ ve cilt dokusunda soğrulan enerji/doz miktarında varyasyonlar gözlenmiştir. Bu durum, mikrodozimetrik araştırmalar üzerine yoğunlaşılması gerektiğini vurgulamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo Simülasyonu, Mamografi, Glanduler Doz

Şekil 1. GEANT4’da mamografi cihazının ve heterojen meme modelinin simülasyonu.



Şekil 2. Memede derinliğe ve göğüs duvarından uzaklığa göre soğrulan doz haritası ve çizgi grafikleri





Yayın No: S-27

Bildiri Grubu: Diğer

Mamografide homojen olmayan x-ışını alanındaki doz gradyentinin ölçülmesi ve geant4 ile monte carlo simülasyonu

Gizem Şişman<sup>1</sup>, Ayşegül Yurt<sup>1</sup>, Kadir Akgüngör<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İzmir

**Amaç :** Mamografide dozimetrik değerlendirmelerin yapılabilmesi amacıyla Monte Carlo (MC) metodunun kullanıldığı teorik çalışmalarda x-ışını spektrumunun ve ışın kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Spektrumun elde edilmesinde, spektral ölçümden veya bilgisayar ile simülasyon yönteminden yararlanılmaktadır. Işın kalitesinin ölçülmesinde; HVL (Half Value Layer) ve QVL (Quarter Value Layer) hesapları kullanılmaktadır. Çalışmanın amacı; GEANT4 programında dozimetrik değerlendirmelerinin yapılabilmesi için, deneysel çalışmanın yapılacağı dijital mamografi cihazının geometrik simülasyonunun yapılması, x-ışını spektrumunun tahmin edilmesi, aynı ışın kalitesinin sağlanması ve literatürden farklı olarak x-ışını görüntüleme alanındaki homojen olmayan konumsal ve açısal doz değişiminin yeni geliştirilen metod ile simülasyona dahil edilmesidir.

**Gereç ve Yöntem :** GEANT4 programında, DEU Radyoloji Anabilim Dalı'nda bulunan Selenia Hologic Dimension Dijital Mamografi Cihazının anod materyali ve açısı, tüp çıkışındaki pencerenin, ilave filtrelerin ve kompresyon aparatının materyal ve kalınlık bilgileri, x-ışını alan boyutu bilgilerinden yararlanılarak simülasyonu yapıldı. Mamografi cihazında manuel moda, 28 kVp, 50 µm W/Rh anod/filtre kombinasyonu için HVL ölçümü ve hesapları yapıldı. Cihaz firması tarafından x-ışını spektrum verileri sağlanmadığı için SPEKTR yazılımından yararlanıldı. Simülasyonda aynı ışın kalitesini sağlamak amacıyla, GEANT4'da MC hesapları ile bulunan HVL değerini, ölçüm ile bulunan HVL değeri ile eşleştirmek için, simülasyonlarda literatürde önceden yapılan çalışmalara benzer şekilde ilave filtrasyon kullanıldı. Dijital mamografi cihazının x-ışını görüntüleme alanında, RTI probe dedektörü ile konumsal olarak 1'er cm aralıklar ile oluşturulan ölçüm haritası sayesinde hem topuk etkisi hem de yarıçapa/açıya bağlı olarak meydana gelen inhomojen doz dağılımı elde edildi. Konuma ve açığa bağlı olarak hesaplanan düzeltme faktörleri bu ölçüm değerlerine uygulandı. Normalizasyonu yapılan bu değerler, GEANT4 programında oluşturulan mamografi modelinde konuma ve açığa bağlı ağırlık (biasing) katsayısı olarak alandaki parçacık/doz dağılımını simüle etmek için kullanıldı. Bu ağırlık katsayılarının simülasyonlarda kullanıldığı ve kullanılmadığı durumların toplam doza etkisi değerlendirildi. MC simülasyonu  $10^9$  parçacık ile gerçekleştirildi. Simülasyonlarda, AAPM TG-195 no'lu raporda da önerildiği şekilde, elektromanyetik fiziği kullanan düşük enerjili fizik paketi G4EmStandardPhysics\_option4 kullanıldı. Katotdan (Göğüs duvarı) farklı uzaklıklar için alandaki doz eğrileri MATLAB'de analiz edilerek simülasyon ve ölçüm için alandaki doz dağılımları karşılaştırıldı.

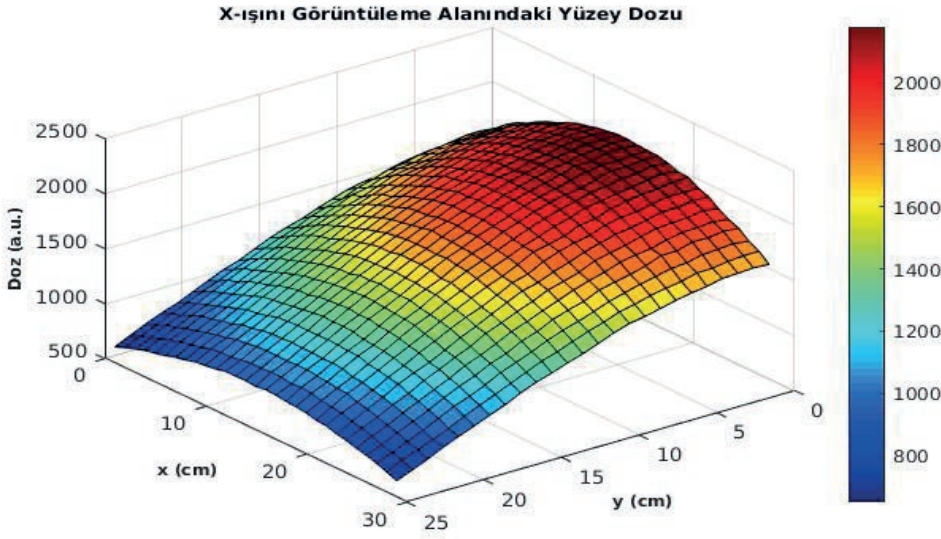
**Bulgular :** Simülasyon ve ölçüm sonuçları karşılaştırılarak, x-ışını alanındaki doz dağılım değerlerinin standart sapması hesaplandı. Konum ve açığa bağlı ağırlık katsayıları simülasyonlarda kullanılmadan standart sapma değeri % 11'e ulaşırken, ağırlık katsayıları simülasyonlara dahil edildikten sonra standart sapmanın % 1'den küçük olduğu görüldü.

**Sonuç :** Mamografide ışın kalitesinin belirlenmesinde yalnızca HVL'ye bakmak yeterli değildir. Bu sebeple, cihazın x-ışını alanındaki inhomojen doz dağılımı, geliştirilen bu yöntem ile simülasyonlara dahil edildi. Ek filtrasyona gerek kalmadan cihazın x-ışını kalitesi sağlandı. Radyasyona duyarlılığı en yüksek olan glanduler meme dokusunda soğrulan dozun mümkün olduğunca gerçeğe yakın hesaplanabilmesi için görüntüleme alanındaki konuma ve açığa bağlı ağırlık katsayılarının kullanımı ile mamografide teorik olarak yapılacak değerlendirmelere önemli bir katkı sağlanmış oldu.

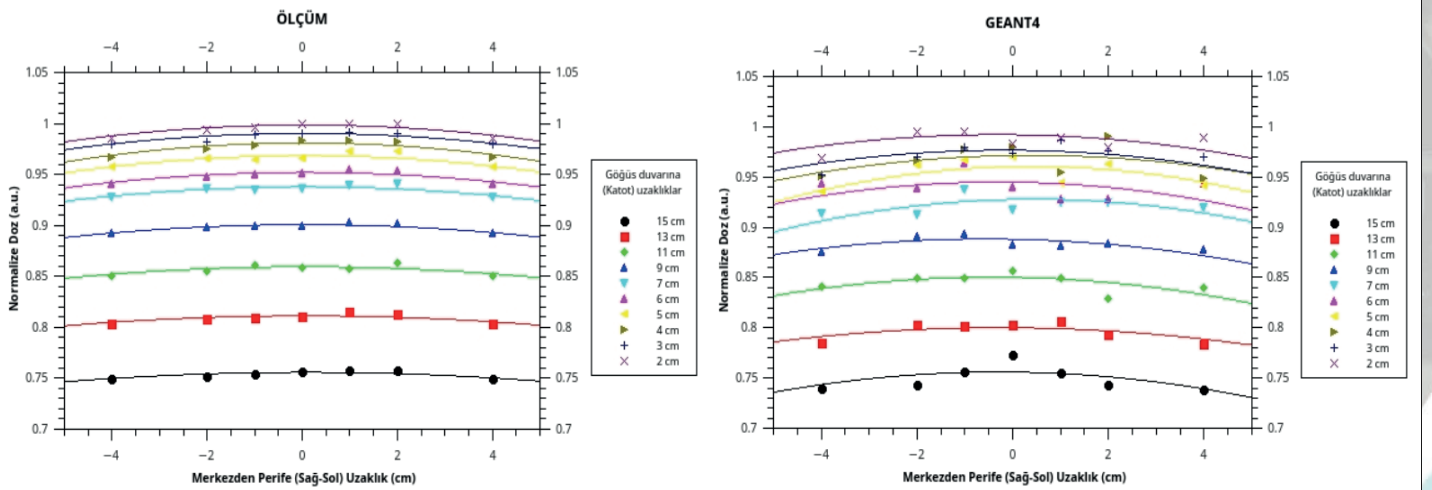
**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo Simülasyonu, Mamografi, X-ışını spektrumu, X-ışını kalitesi



Şekil 1. GEANT4’da simülasyon sonucu dedektör yüzeyinde elde edilen homojen olmayan doz dağılımı.



Şekil 2. X-ışını görüntüleme alanında ölçüm (solda) ile ve MC simülasyonu (sağda) ile elde edilen doz eğrileri



Yayın No: S-28

Bildiri Grubu: Diğer

Yüksek atom numaralı kompleks geometrik yapıları materyallerin yüzey dozlarının monte carlo simülasyonu ile değerlendirilmesi

Gizem Bakıcıerler Aybars<sup>1</sup>, Gizem Şişman<sup>1</sup>, Ayşegül Yurt<sup>1</sup>, Hakan Epik<sup>2</sup>, Kadir Akgüngör<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İzmir

**Amaç :** Radyoterapide kullanılan megavoltaj enerjilerinde yüksek atom numaralı materyallerin, hedef ve normal doku dozlarını büyük ölçüde etkileme potansiyeli bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda yüksek atom numaralı protezden kaynaklanan doz değişimlerinin enerji, materyal malzemesi, kalınlık gibi faktörlere bağlı değişimi makroskopik boyutlarda incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı; yüksek yoğunluklu titanyum protezlerinin kompleks geometrik yapılarının ve ışın içindeki pozisyonlarının yüzeye yakın bölgelerdeki doz dağılımı üzerine etkisini Monte Carlo simülasyonu ile mikroskopik boyutta değerlendirmektir.

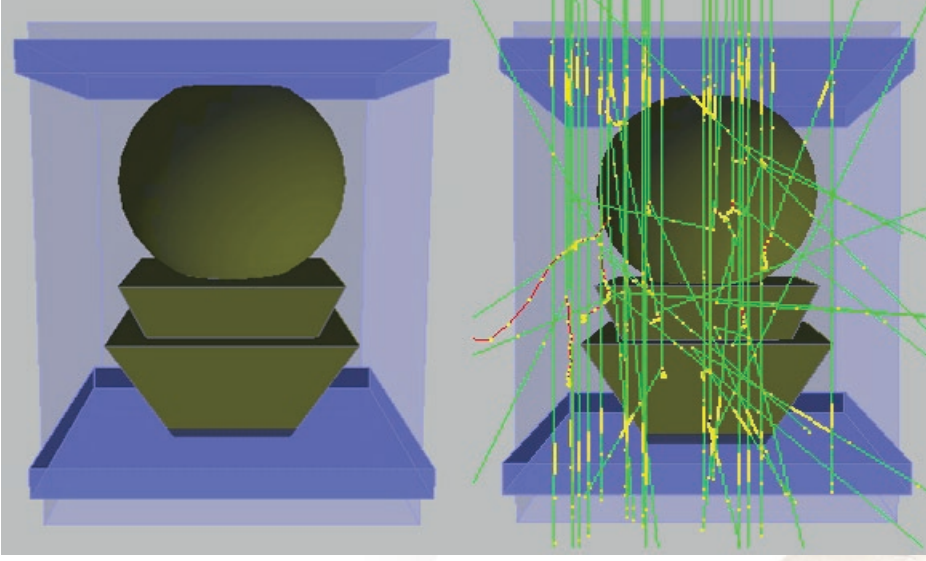
**Gereç ve Yöntem :** Klinik olarak kullanılan protezlerin farklı geometri ve materyal kombinasyonları bulunmaktadır. Literatürde belirtildiği gibi teorik olarak her bir protezi kesin olarak simüle etmek ve mikroskopik boyutta deneysel olarak ölçmek mümkün değildir. Yapılan çalışmada şekil 1’de gösterilen küresel ve keskin kenarlı kompleks bir geometri yaklaşımı ile tasarlanan protez (~8 cm boyutunda), su içerisine yerleştirilerek Monte Carlo tabanlı GAMOS.6.0.0 simülasyon programında modellendi. Mono enerjili 6 MV foton demeti ile 0° ve oblik açılarda, 10<sup>9</sup> parçacık kullanılarak simule edildi. Protezin farklı doğrultulardaki ışın giriş ve çıkış yüzeylerine ~100 mikrometre voksel boyutlarında dedektörler yerleştirildi. Elde edilen 3 boyutlu doz ve doz-enerji-parçacık ilişkisine dayalı veriler Matlab’da oluşturulan yazılım programları ile analiz edildi. Su, titanyum protez ve materyal arayüzündeki doz dağılımları değerlendirildi.

**Bulgular :** Voksel tabanlı doz analizlerinde oblik ışınlamalarda protezin giriş ve çıkış yüzeylerindeki maksimum yüzey dozları arasında yaklaşık olarak %30 azalma görülmektedir. Yüzeydeki maksimum dozlar 0°’lik ışınlamada, oblik ışınlamaya oranla %20 daha yüksek bulunmuştur. Oblik ışınlamada titanyum materyalinin giriş bölgesinde doku-metal arayüzünden ~3mm mesafede, çıkış bölgesinden ise en fazla 500 mikrometre mesafede doz birikimleri (rebuild-up) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 2). Tüm ışınlamalarda arayüzdeki etkileşimler değerlendirildiğinde elektronların gamalardan daha fazla lokal sıcak doz bölgelerine katkısının olduğu görülmüştür. 0-1 MV enerji aralığında kinetik enerjiye sahip elektronlar için bu katkı yaklaşık %60 olarak bulunmuştur. Foton arayüz etkileşimindeki doz artışının %92’sinin çoklu saçılmalardan, %7’sinin ise iyonizasyondan kaynaklandığı görülmüştür. Monte Carlo hesaplamalarındaki istatistiksel standart sapma %1’in altındadır.

**Sonuç :** Monte Carlo hesaplamaları, deneysel olarak ölçümünün zor olduğu yüksek atom numaralı kompleks geometriye sahip materyalin varlığında geometriye ve ışın içindeki pozisyonuna bağlı saçılmalar nedeniyle büyük doz değişikliklerinin olabileceğini ayrıntılı bir şekilde göstermiştir. Tedavi bölgelerindeki protezlerin altında hedeflenen dozun atenüasyonundan dolayı tümör kontrolünde azalma ya da çevresindeki lokal doz artışlarından dolayı yumuşak doku, kemik nekrozları, implant fiksasyonunda azalma gibi komplikasyon oranlarında artış meydana gelebileceği literatürde belirtilmiştir. Vücuttaki yüksek yoğunluklu heterojeniteden ve geometrik farklılıklardan kaynaklanan doz değişimleri tedavi planlama sistemlerinde doğru bir şekilde dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle, doz dağılımlarının doğruluğu Monte Carlo hesaplamaları ile iyileştirilmelidir. Bu çalışmanın devamında geometri çeşitliliği artırılarak, geometri ve doz ilişkisi arasında mikroskopik boyutta değerlendirmelerden genel ifadeler türetilmesi hedeflenmektedir.

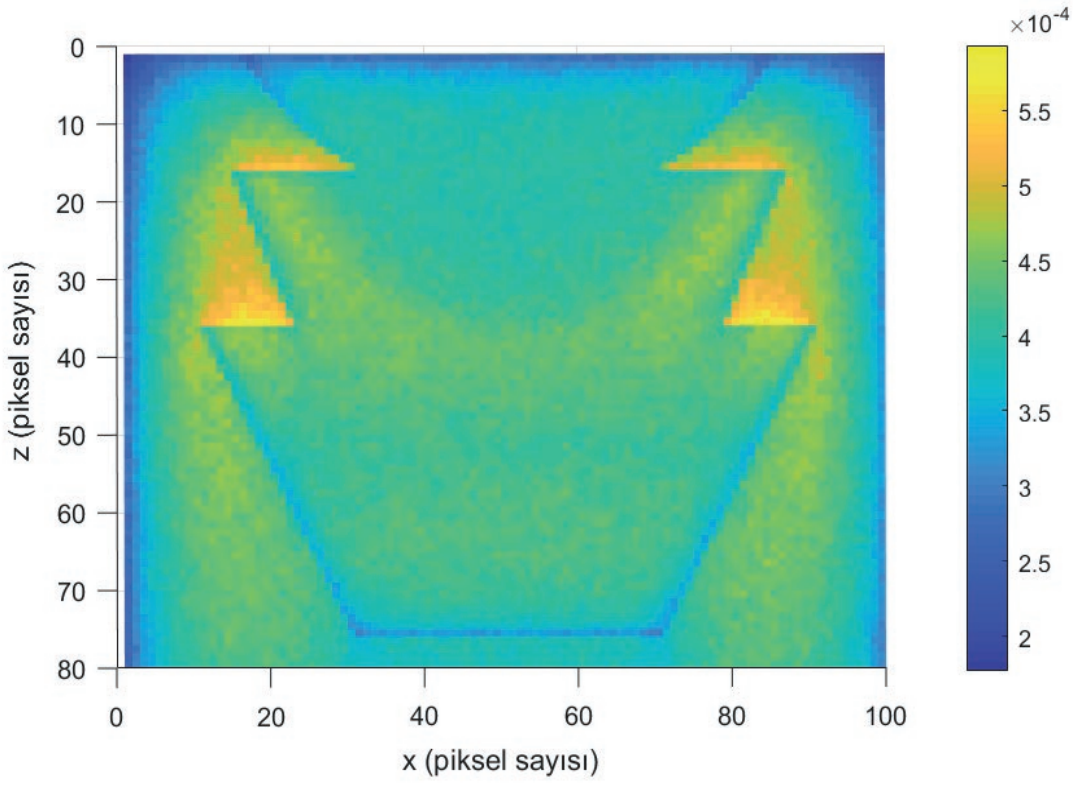
**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo Simülasyonu, Nokta Doz, Yüzey Etkisi

Şekil 1:



Monte Carlo simülasyonunda oluşturulan protezin geometrisi

Şekil 2:



Protezin orta hattında oblik ışınlama doz haritası

Yayın No: S-29

Bildiri Grubu: Radyoloji

$Y^{90}$  mikroküre tedavisinde pre-post tedavi doz değerlerinin karşılaştırılması

Gamze Ergiyen Buldu<sup>1</sup>, Nalan Alan Selçuk<sup>1</sup>, Türkay Toklu<sup>1</sup>, Emre Demirci<sup>1</sup>, Şerife İpek Karaaslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yeditepe Üniversitesi, Sağlık Fiziği, İstanbul

**Amaç :** Bu çalışmada  $Y^{90}$  mikroküre tedavisi almış hastalarda tedavi öncesi  $99mTc$ -MAA SPECT ve tedavi sonrası  $Y^{90}$  PET/CT görüntülerinden, tümör, ışınlanmış sağlıklı parankim ve sağlıklı tüm karaciğer ortalama dozlarının karşılaştırılması amaçlandı.

**Gereç ve Yöntem :** Akciğer şant fraksiyonları  $>0,2$  olan hastalar tedaviden çıkarıldı. Çalışmaya Mayıs 2018, Şubat 2019 tarihleri arasında Yeditepe Üniversitesi Hastanesi'nde,  $Y^{90}$  mikroküre tedavisi uygulanan toplam 15 hasta (8 Kadın, 7 Erkek, Yaş: 35-76 yıl, toplamda 18 tümör) katıldı. Hastalara anjiyografi sırasında ortalama 5 mCi  $99mTc$ -MAA enjekte edilerek SPECT görüntüleri elde edildi. SPECT görüntüleri kullanılarak hastalara uygulanması gereken doz miktarı, partitasyon metodu kullanılarak tümör, ışınlanmış sağlıklı parankim ve sağlıklı tüm karaciğer için VOI (Volume of Interest) çizilerek hesaplandı.  $Y^{90}$  tedavisi sonrası PET/CT çekilerek doz miktarı  $Tc^{99m}$  MAA SPECT ile aynı yöntem kullanılarak tümör, ışınlanmış sağlıklı parankim ve sağlıklı tüm karaciğer için VOI (Volume of Interest) çizilerek hesaplandı.

**Bulgular :** SPECT görüntülemesinde ortalama tümör, ışınlanmış sağlıklı parankim ve sağlıklı tüm karaciğer dozları sırasıyla  $226,2 \pm 162,2$ ;  $84,0 \pm 45,3$ ;  $32,3 \pm 14,2$  Gy iken, aynı değerler PET/CT görüntülemesinde  $289,8 \pm 181,0$ ;  $105,8 \pm 67,9$ ;  $28,6 \pm 16,1$  Gy olarak elde edildi.

**Sonuç :** PET/CT ve SPECT görüntülerinden hesaplanan tümör, ışınlanmış sağlıklı parankim ve sağlıklı tüm karaciğer doz miktarı Bland Altman yöntemi kullanılarak karşılaştırıldı ve neredeyse bütün değerlerin güven aralığında olduğu tespit edildi. Bu çalışmada SPECT'ye dayanan  $Tc^{99m}$  MAA taraması ve aktivite planlamasının,  $Y^{90}$  mikroküre PET/CT kullanılarak tedavi sonrası yapılan dozimetri ile yakından ilişkili olduğu söylenebilir.  $Y^{90}$  mikroküre PET/CT'ye dayalı tedavi sonrası dozimetri, tedavinin etkinliğini tahmin etmek için etkili bir yöntemdir.

**Anahtar Kelimeler:**  $Y^{90}$  mikroküre nükleer tıp sırt

Yayın No: S-30

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

$Tc$ -99 MAA sintigrafisinde SPECT/BT görüntülerine uygulanan foton atenüasyonu ve saçılma düzeltmelerinin (AC ve SC)  $Y$ -90 dozimetrisi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi

Özgür Taylan Akdağ<sup>1</sup>, Mert Karagöz<sup>1</sup>, İdil Ulusoy<sup>1</sup>, Mohammed Abuqbeith<sup>1</sup>, Nami Yeyin<sup>1</sup>, Mustafa Demir<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa - İstanbul

**Amaç :** SPECT/BT görüntülerinde Foton Atenüasyonu ve Saçılma Düzeltmelerinin {(AC ve SC)} karaciğer dozimetrisi üzerine etkisinin incelenmesi.

**Gereç ve Yöntem :** 18 Hastaya (K:5, E:13) {(8:Kolon Kanseri, 2:HCC, 8:diğer)}  $Y$ -90 dozimetrisi yapmak için {3-6 mCi}  $Tc$ -99 MAA uygulandı. Pik penceresi {140 keV}, alt-üst pencere genişliği %15 ve tarama hızı {17 cm/dk} olacak şekilde, tüm vücut taraması (WBS) yapmak için yeni bir görüntüleme protokolü oluşturuldu (Şekil 1). Her bir hastanın SPECT/BT'den elde edilen görüntülerine uygulanan düzeltmeler neticesinde her hastaya ait üç tip görüntü aşağıdaki gibi oluşturulmuş oldu: 1- Zayıflama ve piksel bazla saçılım düzeltmesi uygulanmış SPECT/BT görüntüsü (AC-SC) 2- Herhangi bir düzeltme uygulanmamış SPECT görüntüsü (NoAC-NoSC) 3- Piksel bazlı saçılım düzeltmesi uygulanmış ancak azalım düzeltmesi uygulanmamış SPECT görüntüsü (NoAC-Sc)

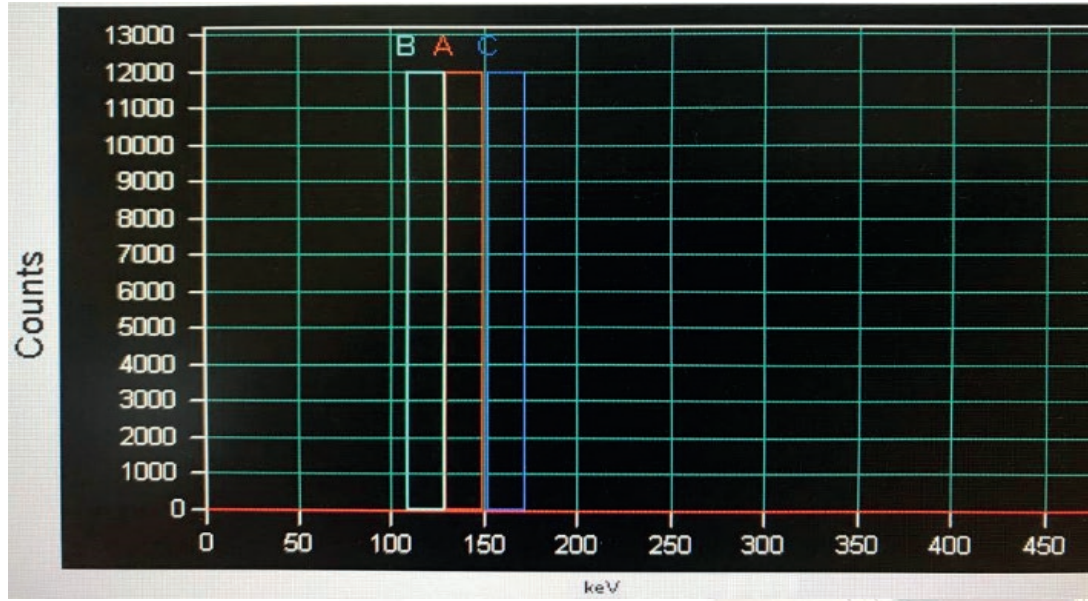
**Bulgular :** Tümör dozları tümör tabloda verildi.

**Sonuç :** Karaciğer parankim dozlarında %7'lik güvenli artış, Tümör dozlarında %5'lik güvenli artış yapılabileceği sonucuna varıldı.



Anahtar Kelimeler: Dozimetri, Atenüasyon, Saçılma, Spect/BT, 90Y 99Tc-MAA,

Şekil-1



Saçılım düzeltmesi için ayarlanmış üçlü enerji penceresi.

Tümör Dozu (Gy/GBq) (Farklı tipte görüntülere göre hesaplanmış)

Hasta	Rutin	SPECT/BT (AC-SC)	SPECT/BT (NoAC-SC)	SPECT AF (wb-sc)
1	38	42	36	37
2	115	118	102	100
3	50	51	49	44
4	47	48	50	44
5	79	82	80	68
6	264	278	309	299
7	57	59	71	67
8	68	75	73	72
9	130	144	146	136
10	182	190	170	166
11	126	135	123	122
12	41	42	44	46
13	354	375	472	427
14	55	58	57	53
15	76	79	84	75
16	18	20	17	16
17	144	155	153	146
18	52	53	76	64
Ortalama	105	111	117	110
SD	85	90	108	100

rutin: akciğer fraksiyonu standart tüm vücut sintigrafisinden ama tümör ve parankim dokudaki tutulum SPECT/BT (AC-SC) görüntüsünden elde edildi. SPECT/BT (AC-SC): Akciğer fraksiyonu, tümör ve parankim dokudaki tutulum SPECT/BT (AC-SC) görüntüsünden elde edildi. SPECT/BT (NoAC-SC): Akciğer fraksiyonu, tümör ve parankim dokudaki tutulum SPECT (No-AC-SC) görüntüsünden elde edildi. SPECT AF (wb-sc): Akciğer fraksiyonu WB-SC modeliyle, tümör ve parankim dokudaki tutulum ise SPECT (NoAC-NoSC) görüntüsünden elde edildi

Yayın No: S-31

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

Yttrium-90 görüntüleme kolimatör ve enerji penceresi optimizasyonu

Caner İnce<sup>1</sup>, Özlem Karadeniz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Nükleer Fizik Anabilim Dalı, İzmir

**Amaç :** Yttrium-90, hedeflenmiş radyonüklid tedavisinde, primer hepatik ve metastatik tümörlerinde (mikroküreler ile radyoembolizasyon) kullanılır. Yttrium-90; fiziksel yarı ömrü 2.67 gün olan saf beta yayınlı bir izotoptur. Yayılan parçacıklar 2.27 MeV' lik maksimum enerjiye sahiptir ve ortalama enerjileri 0.93 MeV' dir. Konvansiyonel SPECT görüntüleme, Tc-99m gibi bariz fotopike sahip (140 keV enerji fotopiki) gama yayınlı radyoizotoplar kullanılır. Bunun aksine Yttrium-90 bremsstrahlung fotonları, beta parçacıklarının hasta vücudu ile etkileşiminden üretilir ve belirgin bir fotopiki olmayan sürekli ve geniş bir enerji spektrumuna sahiptir. Dolayısıyla görüntü kalitesi seçilen enerji penceresine ve ayrıca kolimatöre bağlıdır. Bu çalışmada Yttrium-90 kaynağı ile optimum bremsstrahlung görüntüleme şartlarının belirlenmesi hedeflenmiş, bu amaçla kolimatör, kaynak-kolimatör mesafesi ve enerji pencere genişliklerinin görüntü kalitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

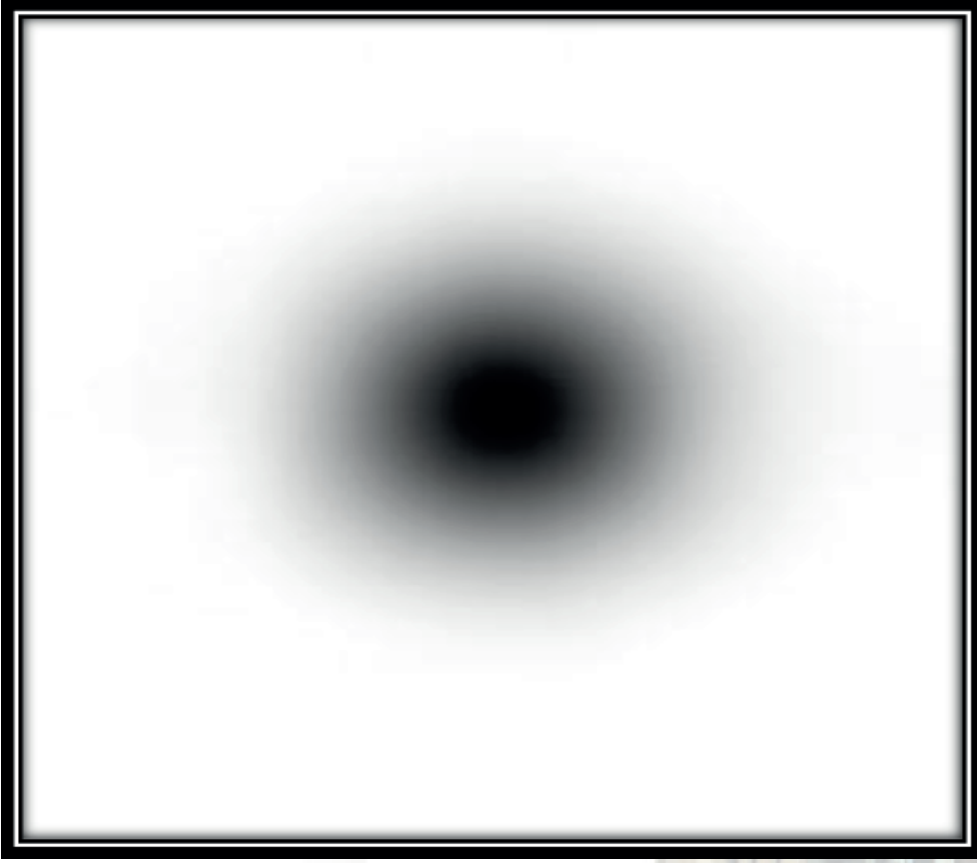
**Gereç ve Yöntem :** Araştırmada, Philips Forte JET stream markalı, iki başlı gama kamera sistemi ve akrilik zırh içine yerleştirilmiş 1,0 mL'lik cam flakon içinde bulunan ve ortalama 20-30 µm büyüklüğünde cam küreleri olan TheraSphere Yttrium-90 kaynağı kullanılmıştır. Planar görüntüler sırasıyla LEHR, MEGP ve HEGP kolimatörler ile 55-285 keV enerji aralığında 20 farklı enerji penceresi açılarak, iki farklı kaynak - detektör (25 ve 40 cm) mesafesi için alınmıştır. SPECT verileri; 128x128 matriks boyutu, iki rotasyon ve projeksiyon başına sayım süresi 28 saniye olmak üzere, 64 projeksiyon ile elde edilmiştir. Görüntülerin rekonstrüksiyonu filtreli geri projeksiyon ve iteratif yöntemleri ile yapılmıştır. Görüntü kalite parametreleri (hassasiyet, %FOV, kontrast ve S/B), farklı enerji pencereleri ve kolimatör kombinasyonları için araştırılmıştır.

**Bulgular :** Temel görüntü kalite parametreleri karşılaştırıldığında, en yüksek S/B, %FOV ve kontrast değerleri, HEGP kolimatörü ile 25 cm' lik kaynak-detektör mesafesinde ve planar görüntülerde sırasıyla 34, %50 ve 436 iken; SPECT görüntülerde 460, %71, 3578 olarak bulunmuştur.

**Sonuç :** Yttrium-90 vialinin en kaliteli görüntüsü, HEGP kolimatörü ve 25 cm' lik kaynak-detektör mesafesinde, Butterworth filtre, 0,5' lik kesim frekansı ve 8' lik güç faktörü ile Filtreli Geri Projeksiyon yöntemi kullanılarak ve 90-110 keV' lik enerji pencere seçimi ile alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bremsstrahlung, Görüntüleme, Kontrast, SPECT, Yttrium-90

Yttrium-90 kaynak vialinin bremsstrahlung SPECT görüntüsü.



Yapılan değerlendirmelerin ışığında Yttrium-90 vialinin en kaliteli görüntüsünün, HEGP kolimatörü ve 25 cm' lik kaynak-dektör mesafesinde, Butterworth filtre, 0,5' lik kesim frekansı ve 8' lik güç faktörü ile Filtreli Geri Projeksiyon yöntemi kullanılarak ve 90-110 keV'lik enerji pencere seçimi ile alındığı sonucuna varılmıştır.

Yayın No: S-32

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Picket fence testi ile belirlenen mlc pozisyon doğruluğunun srs/sbvt/vmat planlarının kalite kontrolünde gamma indeks değerine etkisi

Cemile Ceylan<sup>1</sup>, Serpil Yöndem İnal<sup>2</sup>, Elif Şenol<sup>2</sup>, Hanieh Mabhouti<sup>3</sup>

1İstanbul Onkoloji Hastanesi

2Memorial Şişli Hastanesi

3Bezmialem Vakıf Hastanesi

**Amaç :** Picket Fence testi ile yapılan cihazın MLC sisteminin pozisyon doğruluğunun, VMAT/SRS/SBRT gibi karmaşık planların hasta kalite kontrolüne etkisi ve hasta kalite kontrol değerlendirilmesinde kullanılan Gamma İndeksi değerinin kasıtlı yaratılan MLC pozisyon hatası ile nasıl değiştiği araştırılmıştır. MLCQA ile yapılan cihaz kalite kontrolünün hasta kalite kontrolü değerlendirmesine katkısının nasıl olacağı incelendi.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmada Versa HD cihazında 160 lif Agility MLC sisteminin lif pozisyon doğruluğu önce MLC pozisyonlaması hatası yok iken kartezyan gentri açılarındaki Picket Fence testi ile doğrulandı. EPID sistemi ile alınan görüntüler MLCQA (IBA) programı kullanılarak, MLC pozisyonlamasında  $\pm 1$  mm geçer değer olarak kabul edilerek değerlendirildi. Referans test olarak kabul edilen bu değerlendirme sonrasında 15 hastaya ait VMAT/IMRT teknikleri ile planlanan SRS/SBRT ve VMAT planlarının EPID ile kalite kontrol ölçümleri yapıldı. Değerlendirmeleri sırasında Gamma İndeks değeri  $\pm 2$  mm DTA, %2 Doz Farkı kriterine göre hesaplandı. Daha sonra MLC pozisyonlamasında +1 mm, -1 mm ve +2 mm offset değerleri verilerek yapılan MLC kalibrasyonundan sonra kartezyan gentri açılarındaki Picket Fence testi tekrarlanıp, MLCQA (IBA) programı ile MLC pozisyon doğruluğu aynı kabul kriterleri ile değerlendirildi. MLC pozisyonlamasında yapılan her offset değerinden sonra hasta planlarına ait kalite kontrol ölçümleri tekrarlanıp, aynı Gamma İndeks değerleri için değerlendirildi. MLC pozisyonlamasındaki hatanın Picket Fence testleri ile belirlenmesi ile elde edilen sonuçlar ile hasta ölçüm sonuçları arasındaki ilişki değerlendirildi.

**Bulgular :** Referans olarak kabul edilen MLC pozisyonlamasında hata olmayan Picket Fence ölçümleri MLCQA programında değerlendirme kriterlerine göre incelendiğinde %97 oranında lif pozisyonlaması doğruluğu belirlendi. Bu durumda yapılan hasta planı kalite kontrol ölçümlerinde sadece 1 hastada %92 oranında  $\gamma \leq 1$  değeri ile sağlanırken, 14 hasta ölçümünde en az %95 oranında  $\gamma \leq 1$  sağlandı. +1 mm ve -1 mm offset ile MLC pozisyon hatası yaratılarak ölçülen Picket Fence testi sonuçlarında MLCQA programında %92 ve %91 oranında lif pozisyonlama doğruluğu belirlendi. Bu offset değerleri ile yapılan hasta kalite kontrol ölçümleri sonuçlarında ise sırasıyla 6 ve 4 hasta planında %92 oranının altında  $\gamma \leq 1$  oranı sağlandı. 2 mm offset ile yapılan Picket Fence test sonuçlarında ise %87 oranında lif pozisyon doğrulaması belirlenirken, bu offset ile yapılan hasta ölçümlerinde ise 8 hasta planında  $< \%92$  oranında, 2 hasta palanında %92 ila %95 arasında  $\gamma \leq 1$  oranı sağlanırken, 5 hastada  $> \%95$  oranında  $\gamma \leq 1$  oranı sağlandı. Değişim akciğer gibi heterojenite farkının fazla olduğu planlarda ve alan boyutuna göre farklılık gösterdi. Picket Fence testi ile kolere edilmek istendiğinde offset değeri 2mm olması durumunda VMAT planlarının etkilenmesi SRS/SBRT planlarına göre daha fazla iken,  $\pm 1$  mm offset değerinde MLC pozisyon doğru değeri ile hasta kalite kontrol kabul değerleri uyumlu bulundu.

**Sonuç :** Çalışmada MLCQA programı ve iView Dose programları kullanılarak MLC pozisyon doğru ile SRS/SBRT ve VMAT planlarının kalite kontrol ölçümlerinin uyumuna bakıldı. Hasta kalite kontrol ölçümleri özellikle SRS/SBRT planlarında tedavi öncesi yapılması açısından oldukça önemli iken, özellikle konvansiyonel fraksiyon VMAT uygulamalarının kalite kontrolleri yapılamadığı durumlarda lineer hızlandırıcıların haftalık kalite kontrol ölçümleri sırasında MLCQA programı kullanılarak yapılan Picket Fence testi ile belirlenen geçerlilik oranına göre hasta kalite kontrolleri değerlendirilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** QA, MLC, Picket Fence Testi



Yayın No: S-33

Bildiri Grubu: Diğer

Radyasyonun oksidatif stres ve apoptozis üzerindeki etkilerinde rac1 molekülünün rolü

Yaşar Aysun Manisalıgil<sup>2</sup>, Ayşegül Yurt<sup>2</sup>, Mukaddes Gümüştekin<sup>2</sup>, Zahide Çavdar<sup>3</sup>, Cemre Ural<sup>3</sup>, Serap Cilaker Mıcılı<sup>4</sup>, Gizem Şişman<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik A.D., İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Farmakoloji A.D., İzmir

<sup>3</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Moleküler Tıp A.D., İzmir

<sup>4</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Histoloji Ve Embriyoloji A. D., İzmir

**Amaç :** İyonlaştırıcı radyasyon, farklı radyolojik görüntüleme uygulamalarında ve kanser tedavisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tanı ve tedavi sırasında hastaya uygulanacak radyasyon dozu mümkün olduğunca az tutulması ve radyasyondan koruyucu önlemler alınmasına rağmen; hastada radyasyona bağlı hasarların oluşma olasılığı bulunmaktadır. İyonlaştırıcı radyasyonun canlılar üzerinde erken ve geç dönemdeki etkilerinin başında; DNA hasarı, reaktif oksijen türlerinin oluşumu ve apoptozis gelmektedir. GTPaz ailesi; hücre büyümesi, hücre iskeletinin yeniden yapılanması, protein kinaz aktivasyonu, ROS oluşumu ve endotelial geçirgenliğin düzenlenmesi gibi çeşitli fizyolojik ve patolojik olaylarda görev alır. Rac1 molekülünün; hücre döngüsü, hücre-hücre adezyonu, aktin bağlantılı motilite ve epitelial farklılaşma gibi görevleri de vardır. Rac1 molekülünün oksidatif stres ve apoptozisin arttığı patolojik durumlarda ekspresyonu ve/veya aktivitesinin arttığı pek çok dokuda gösterilmiştir. Bu çalışmada, tanı ve tedavide kullanılan radyasyon dozlarının testis dokusu üzerindeki erken ve geç dönemdeki olası etki mekanizmalarında Rac1 molekülünün rolünü araştırılması amaçlandı.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmamızda; 60 adet, 7-8 haftalık, 250 ± 20 g, erkek Wistar albino sıçan kullanılmıştır. Sıçanlar 10 gruba ayrılmıştır. Radyasyon uygulaması yapılmayan kontrol grubu dışındaki sıçanlara her gruba tek bir doz; 20 mGy, 100 mGy ve 5 Gy radyasyon uygulaması yapılarak 2 saat, 24 saat ve 7. günde kan ve doku örnekleri alınmıştır (Tablo 1). Düşük doz radyasyon uygulaması için; iyon odası (RTI, R100) ile 20 mGy doz için gerekli ışınlama parametreleri belirlendi. Sıçanlar radyasyonu kolayca geçirebilen, 13x18x10cm boyutlarındaki plastik kabın içerisine yerleştirildi (Şekil 1). Kolimasyon alanı 13x18 cm, cilt kaynak mesafesi (Skin Source Distance, SSD) 83 cm ayarlanarak, 133 kV, 300 mA ve 0.5 sn parametreleri ile ışınlama yapıldı. Orta ve yüksek doz radyasyon uygulamalarında ise Siemens Primus lineer hızlandırıcı cihazı kullanılmıştır. ROS oluşumunu değerlendirmek için testis dokusunda; hücre içi ROS ve MDA analizleri serumda da MDA analizleri yapılmıştır. Testis doku hasarı histolojik, apoptozis immünohistokimyasal olarak değerlendirilmiştir. Küçük GTPaz Rac1'in rolünü belirlemek için testis dokusunda; aktif Rac1 biyokimyasal analizi ve Rac1 immünohistokimyasal değerlendirmesi yapılmıştır. Gruplar arasındaki parametrik değerlerin karşılaştırılması için varyans analizi (ANOVA) ve gruplar arasındaki farkın anlamlılık testi için Bonferroni testi uygulandı. Gruplar arasındaki farklılığın hangi gruptan kaynaklandığı ise Mann-Whitney U testi ile analiz edildi.

**Bulgular :** Her üç dozda, 2. saat, 24. saat ve 7. günde saptanan intraselüller ROS miktarı kontrole göre anlamlı olarak artmıştır. Serum ve testis dokusunda MDA düzeyleri 7. gün yüksek doz grubunda anlamlı olarak artmıştır. Testis hasarı, gruplarda doza ve zamana bağlı olarak artmıştır. Tübül çapı da erken dönemde doza bağlı azalma gösterirken 7. gün gruplarında dozdan bağımsız olarak azalmıştır. Apoptozis için yapılan aktif kaspaz-3 immünohistokimyasal değerlendirmesinde, 2. saat gruplarında radyasyon dozuna bağlı bir artış gözlenmiştir. 24. saat ve 7. gün gruplarındaki apoptozis, kontrole göre dozdan bağımsız şekilde artmıştır. Rac1 ekspresyonu, tüm radyasyon gruplarında erken dönemlerde (2. saat) ve geç dönemde (7. gün) kontrole göre anlamlı olarak azalarak doza bağımlı pattern göstermiştir. Tüm gruplardaki Rac1 aktiviteleri arasında anlamlı fark gözlenmemiştir. Sadece 7. gün yüksek doz grubundaki Rac1 aktivasyonu belirgin olarak artmış ancak istatistiksel anlamlılık yoktur.

**Sonuç :** Radyasyon dozuna bağlı olarak, Rac1 ekspresyonu azalırken aktivasyonunu artırma eğilimi içinde olması, ROS ve apoptozis gibi hücrel mekanizmalarda Rac1 molekülünün önemli rolü olabileceğini düşündürmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Apoptozis, İyonlaştırıcı radyasyon, Küçük GTPaz, Reaktif oksijen türleri (ROS), Radyasyon hasarı

grafikler

çalışmanın deney grupları

	2.saat düşük doz radyasyon (n=6)	2.saat orta doz radyasyon (n=6)	2.saat yüksek doz radyasyon (n=6)
kontrol grubu (n=6)	24.saat düşük doz radyasyon (n=6)	24.saat orta doz radyasyon (n=6)	24.saat yüksek doz radyasyon (n=6)
	7.gün düşük doz radyasyon (n=6)	7.gün orta doz radyasyon (n=6)	7.gün yüksek doz radyasyon (n=6)

Yayın No: S-34

Bildiri Grubu: Diğer

Radyoloji ve radyoterapideki temel dozimetrik uygulamalarda medikal fizik eğitime yönelik interaktif bir kullanıcı arayüzünün geliştirilmesi

İsmail Özsoykal<sup>1</sup>, Gizem Şişman<sup>1</sup>, Gizem Bakıcıerler Aybars<sup>3</sup>, Ayşegül Yurt<sup>1</sup>, Kadir Akgüngör<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Medikal Fizik, İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fizik Bölümü, İzmir

<sup>3</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi, Manisa

**Amaç :** Bu çalışmada, radyoloji ve radyoterapide kullanılan X-ışınlarının ve elektron demetlerinin suda meydana getirdiği doz dağılımlarının analiz edilebilmesini sağlayan bir yazılım geliştirilmiştir. Bir kullanıcı arayüzüne sahip olan bu yazılım sayesinde, farklı ışın tiplerinde, ışın enerjilerinde ve ışın alanlarında derinliğe bağlı doz dağılımları, tercih edilen derinliklerdeki doz profilleri, farklı parçacıkların veya etkileşimlerin doza katkısı, farklı derinliklerdeki enerji spektrumları gibi veriler incelenebilecek ve birbiriyle karşılaştırılabilecektir. Teorik bilgilerin interaktif yöntemlerle öğrenimini teşvik eden bir eğitim materyali olma özelliğine sahip bu çalışmayla ülkemizdeki medikal fizik eğitime bir katkı sunulması hedeflenmiştir.

**Gereç ve Yöntem :** MATLAB (versiyon: R2019a) tabanında oluşturulan arayüz yardımıyla kullanıcı tarafından incelenebilecek olan veriler GEANT4 tabanlı GAMOS (versiyon: 5.1.0) simülasyon programı kullanılarak elde edilmiştir. GAMOS'ta oluşturulan geometrik modellemede ışın kaynağı ve hedef arasındaki mesafe (SSD) hem radyoloji hem de radyoterapi enerji aralığındaki ışınlama düzenekleri için 100 cm olarak tasarlanmış ve kaynakla hedef hacim eşmerkezli olarak konumlandırılmıştır. Radyolojik uygulama aralığında bulunan 80 kVp, 100 kVp, 120 kVp ve 140 kVp X-ışını enerjilerine ait spektrumlar Spektr (versiyon: 3.0) programı kullanılarak elde edilmiştir. SSD=100 cm'de 10x10, 20x20 ve 30x30 cm<sup>2</sup> boyutlarında ışın alanları oluşturabilmek amacıyla kaynak-hedef arasına uygun kolimatörler yerleştirilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda yüzde derin doz eğrileri ve doz profilleri gibi grafiklerin yanı sıra cilt giriş dozuna karşılık gelecek ve etkin doz hesabı yapılabilecek hava kerma değerleri de kaydedilmiştir. Radyoterapi uygulama aralığında yer alan 6 MV ve 10 MV enerjili foton ile 6 MeV, 9 MeV ve 12 MeV enerjili elektron ışın demetlerine ait spektrum bilgileri ise IAEA tarafından sunulan faz uzay dosyalarından elde edilmiştir. Bu ışın demetleri de SSD=100 cm'de 5x5, 10x10 ve 20x20 cm<sup>2</sup> boyutlarında ışın alanları verecek şekilde uygun kolimatörler kullanılarak hedefe yönlendirilmiştir. Her bir hesaplamanın 1x10<sup>9</sup> parçacık kullanılarak gerçekleştirildiği simülasyon çalışmalarında hedef hacim olarak 50x50x50 cm<sup>3</sup> boyutlarına sahip bir su fantomu kullanılmıştır. Su fantomunun kaynağa karşılık gelen yüzeyinin merkezinden başlayarak 25 cm derinliğe kadar inen ve 1x1x1 mm<sup>3</sup> boyutlarına sahip vokseller dedektör olarak kullanılmıştır. Bu voksellerden elde edilen doz, enerji, parçacık sayısı gibi veriler ayrı ayrı metin dosyalarında kaydedilmiştir. Simülasyonların doğrulaması için ışınların yüzde derin doz eğrilerine ait TPR<sub>20,10</sub>, d<sub>max</sub> ve R<sub>50</sub> gibi parametreler referans alınmış ve literatürdeki verilerle karşılaştırılmıştır. Son olarak MATLAB'a ait Appdesigner uygulaması kullanılarak bu verilerin metin dosyalarından okunup grafiklerle gösterimlerinin yapıldığı ve bunun yanı sıra çeşitli sayısal çıktılarının sunulduğu bir kullanıcı arayüzü oluşturulmuştur.

**Bulgular :** GAMOS'tan elde edilen ve MATLAB Appdesigner aracılığıyla kullanıcıya sunulan hesaplamalara ait verilerin literatürdeki deneysel değerlere uygun olduğu gözlenmiştir.

**Sonuç :** Sonuç olarak, deneysel uygulamaların sınırlı bir şekilde yapılabildiği koşullar düşünülerek tasarlanan bu çalışmayla medikal fizik eğitime giriş niteliğinde olan bir takım deneysel çalışmalar modellenmiş ve ullanımı kolay interaktif bir eğitim uygulamasına dönüştürülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Monte Carlo Simülasyonu, Medikal Fizik Eğitimi, Kullanıcı Arayüzü

**Yayın No:** S-35

**Bildiri Grubu:** Radyasyon Onkolojisi

**Akcığe SBRT uygulamalarında hedef hacim pozisyonunun 4d cone beam ct ve symmetry özelliği ile belirlenmesi**

Cemile Ceylan<sup>1</sup>, Elif Lokumcu<sup>1</sup>, Meryem Gürel Kanmaz<sup>1</sup>, Onur Müezzinoğlu<sup>1</sup>, Asena Zeynep Koç<sup>1</sup>, Berrin Şermin Yılmaz<sup>1</sup>, Alper Özkan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Onkoloji Hastanesi

**Amaç :** Radyoterapide hasta set-up tekrarlanabilirliği ve hedef hacim lokalizasyonunun doğruluğu IGRT yöntemleri ile günümüzde daha doğru bir şekilde sağlanmaktadır. Bu amaçla geliştirilen CBCT görüntüleme tekniği tedavi sırasında hedef hacim lokalizasyonunu 3 Boyutta doğrulanmasına olanak sağlar. Ancak hasta solunumu ile hareketli tümörlerde hareket artefaktından dolayı hedef hacim lokalizasyonunun doğruluğu azalır. Bu nedenle lineer hızlandırıcılara entegre edilen 4 Boyutlu CBCT sistemlerinden biri olan Elekta cihazındaki Symmetry 4D CBCT sistemi ile özellikle solunumla yer değiştiren lezyonların tedavisi sırasında zamana bağlı lokalizasyon değişimi tespit edilebilmektedir. Bu çalışmada kliniğimizde SBRT ile tedavi edilen hastalarımızın Symmetry 4D CBCT sistemi ile tümör takip sonuçları değerlendirilmiş, Symmetry sisteminin tümör lokalizasyonundaki doğruluğu araştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmada kliniğimizde akciğer yerleşimli primer ya da metastatik lezyonları olan ve Elekta Versa HD cihazında SBRT ile tedavi edilen 10 hastanın, tedavi sırasında tümör lokalizasyonu belirlemek amacı ile Symmetry 4D CBCT görüntüleri geriye dönük olarak incelenmiştir. Planlama görüntüleri 3 faz tekniği ile (inspiyum, ekspirum ve normal soluk alıp-verme) ile yapılan olguların planlama sırasında oluşturulan Maksimum İntensite Projeksiyon (MiP) görüntüleri kullanılarak Internal Target Volume (ITV) belirlenirken, normal solunum olan tomografik görüntüleri kullanılarak kritik organların belirlenmesi sonrasında Monaco Planlama Sistemi ile SBRT planlamaları yapıldı. Her tedavi öncesi tüm olgular için 3B CBCT ve 4D CBCT görüntüleri alındı. 3D CBCT ile belirlenen kayma değerleri kaydedilirken, 4D CBCT görüntüleri alınan olguların planlama CT ile 4D CBCT eşlemesi Symmetry sistemi ile Dual Eşleme seçeneği kullanılarak yapıldı. Eşleştirme sırasında Clipbox yapısı CBCT ile aynı olması adına vertebra seçilirken, Mask yapısı ITV+5 mm olarak belirlendi. Bu eşleştirme sonrasında belirlenen kayma değerleri ile hasta pozisyon düzeltmesi sonrasında tedaviye geçildi. Tüm hastalara ait 3D CBCT ve 4D CBCT Symmetry ile belirlenen kayma değerleri arasındaki farklılık geriye doğru inlenerek Symmetry sisteminin katkısı araştırıldı.

**Bulgular :** Tüm hastalara ait 3D CBCT ve 4D CBCT görüntüleri incelendiğinde ilk farkın görüntü kalitesinde olduğu gözlemlendi. Görüntü kalitesinin 4D CBCT'de daha iyi olduğu, tümör hacminin belirlenmesinin CBCT'ye göre daha kolay olduğu gözlemlendi. Symmetry ile görüntü eşlemesi yapılırken diyafram konumunun otomatik algılanmasına bağlı olarak görüntüleri solunum boyunca 10 fazda sıralar. Daha sonra biri tümörü, çevre dokuları ve kemikli yapıları içeren (Clipbox), diğeri sadece genişletilmiş bir hedef hacme (Mask) göre iki bağımsız yoğunluk tabanlı eşleme ile PTV'nin merkezine göre kayma hesaplanır. Planlama CT ile 3D CBCT eşleştirme sırasında bulunan kayma değerleri ile Symmetry ile eşleştirilen planlama CT ile 4D CBCT sonucu elde edilen kayma değerleri farklı bulundu. Her iki eşleştirme görsel olarak değerlendirildiğinde hedef hacmin solunumla yer değişimi 4D CBCT'de dikkate alındığından PTV'de herhangi bir kayıt olmadan eşleme yapıldığından pozisyonlamanın daha doğru olduğu bulundu.

**Sonuç :** Çalışmada Elekta Versa HD lineer hızlandırıcısının IGRT çözümlerinden biri olan 4D CBCT Symmetry sisteminin solunum ile hareketli tümörlerin tedavisinde tümör lokalizasyonunun belirlenmesinde doğruluğun artırılabilceği, hedef hacmin hareketten kaynaklı bulanıklaşmasının azaltabileceği ve tedavi öncesinde hasta solunum bilgisini kazandıracağı gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** SBRT, Solunum Takibi, Symmetry, 4D CBCT,



Yayın No: S-36

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

99mTc-nanocolloid sentinel lenf nodu görüntüleme; planar, SPECT ve SPECT/CT sistemleri arasındaki karşılaştırma: fantom tasarımı ve klinik araştırmalar

Nazenin İpek Işıkcı<sup>1</sup>, Mohammad Abuqbeita<sup>2</sup>, Osman Gunay<sup>3</sup>, Nami Yeyin<sup>2</sup>, Lebriz Uslu-besli<sup>2</sup>, Sait Sager<sup>2</sup>, Dogan Yasar<sup>4</sup>, Mustafa Demir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nisantaşı Üniversitesi,genetik Ve Biyomühendislik Bölümü,istanbul

<sup>2</sup>Istanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa,nükleertıp,istanbul

<sup>3</sup>Istanbul Okan Üniversitesi,myo,istanbul

<sup>4</sup>Ahi Evran Üniversitesi,fizik Bölümü,kırşehir

**Amaç :** Bu çalışmada, Sentinel Lenf Nodu (SLN) deteksiyonunda Planar, SPECT ve SPECT/CT görüntü kalitelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışma iki aşamada gerçekleştirildi: Fantom ve hasta çalışması. Fantom çalışmasında, Acrylic glass malzemeden (Yoğunluk: 1,18 gr/cm<sup>3</sup>) bir Lenf nodu kontrast fantomu (LNCP) yapıldı. Meme tümörü ile farklı boyutlarda olan lenf nodlarını taklit eden 1 cm çaplı plastik deney küreleri kullanıldı. SPECT görüntüleri üzerinde CT'nin atenuasyon düzeltme etkisini kantitatif olarak belirlemek için fantomun üst, yan ve arka kısımlarına 2 cm kalınlığında 1.82 gr/cm<sup>3</sup> yoğunluklu 3 adet tuğla yerleştirildi. Fantom çekimleri vücudu ve lenf nodlarının derinliklerini taklit etmek üzere, su ile dolu tank içinde 1 cm, 3 cm, 5 cm, 7 cm ve 9 cm derinliklerde yapıldı. Fantomdaki lezyonlardan ve zeminden ilgi alanları (ROI) çizilerek kontrast-gürültü oranı (CNR) hesaplandı. Sentinel lenf nodu sintigrafisi çekilmiş olan ve rastgele seçilen 20 hastadan toplam 20 adet lenf nodu analiz edildi. Hasta çalışmasında her bir lezyon ve background alanlarından VOI'lerdeki ortalama sayım ve piksel değerleri belirlenerek CNR değerleri hesaplandı.

**Bulgular :** Fantom çalışmasında derinlik arttıkça taklit lezyonların CNR değerlerinin azaldığı, 9 cm derinde 1 cm<sup>3</sup>, 0.5 cm<sup>3</sup> ve 0.25 cm<sup>3</sup> hacimli taklit lezyonların CNR değerleri sırasıyla 14, 6 ve 5 bulundu. SPECT çalışmasında taklit SNL inin %100 ünün CNR değerleri Rose Kriterindeki 5 lik değerin üzerinde bulundu. SPECT çalışmasında ortalama CNR değerleri 1 cm<sup>3</sup> 0.5 cm<sup>3</sup> ve 0.25 cm<sup>3</sup> hacimli taklit lezyonlar için sırasıyla 56±3, 39±2 ve 15±1 bulundu. SPECT/CT çalışmasında ise ortalama CNR değerleri 1 cm<sup>3</sup> 0.5 cm<sup>3</sup> ve 0.25 cm<sup>3</sup> hacimli taklit lezyonlar için sırasıyla 89±6, 57±4 ve 21±1 olarak hesaplandı.

**Sonuç :** Hem fantom çalışmasında hem de hasta çalışmasında lezyon görülebilirliğinin kantitatif bir ölçümü olan CNR değerleri planar ve SPECT (No AC- with SC) çekimlerine göre SPECT/CT de daha iyi bulundu.

**Anahtar Kelimeler:** Kontrast-gürültü oranı (CNR),Lenf nodu kontrast fantomu,Planar, SPECT, SPECT/CT.

Yayın No: S-37

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

CdZnTe kristaller kullanarak Türkiye'de Gama-prob ve Gama-kamera geliştirilmesi

Emrah Kalemci<sup>1</sup>, Raşit Turan<sup>2</sup>, Kezban Berberoğlu<sup>4</sup>, Cemile Ceylan<sup>5</sup>, Ayhan Bozkurt<sup>1</sup>, Ali Mürteza Altıngün<sup>1</sup>, Milad Diba<sup>1</sup>, Kaan Veziroğlu<sup>1</sup>, Mehmet Elen<sup>6</sup>, Ercan Yılmaz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sabancı Üniversitesi, Mühendislik Ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İstanbul

<sup>2</sup>Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fizik, Ankara

<sup>3</sup>Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fizik, Bolu

<sup>4</sup>Anadolu Sağlık Merkezi, Nükleer Tıp, Kocaeli

<sup>5</sup>Istanbul Onkoloji Hastanesi, Nükleer Tıp, İstanbul

<sup>6</sup>İleri Ar-ge Ltd., Ankara

**Amaç :** CdZnTe kristal kullanan görüntüleme cihazlarının, konvansiyonel sintilatör bazlı sistemlerle göre bir çok üstün özelliği vardır: daha iyi enerji çözünürlüğü, daha büyük dedektör alanı kullanma şansı, daha iyi görüntüleme çözünürlüğü, ha-



fiflik ve esneklik. Ama bu kristalleri büyötmek zahmetli ve pahalıdır, üstelik askeri uygulamaları yüzünden büyük miktarda ithal etmek de zordur. CdZnTe kristalleri Türkiye’de büyötmek ve x ışını algılayıcısı olarak kullanmak amacı ile ODTÜ Kristal Büyötmek Laboratuvarı (KBL), Sabancı Üniversitesi Yüksek Enerji Astrofiziği Algılayıcı Laboratuvarı (HEALAB) ve İleri Ar-Ge Ltd. bir Tübitak 1003 projesi çerçevesinde ortak çalışma yürötmektedir. Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Anadolu Sağlık Merkezi ve İstanbul Onkoloji Hastanesi’nde çalışan araştırmacılarımız da projeye destek vermektedir. Böylece CdZnTe tabanlı gama algılayıcıların geliştirilerek, hastanelerin nükleer tıp ünitelerinde kullanılabilen özelliklerde Gama-prob (GP) ve Gama-kamera (GC) prototiplerinin üretilmesi mümkün olacaktır.

**Gereç ve Yöntem :** Proje şu aşamalardan oluşmaktadır: CdZnTe kristalinin yüksek kalitede üretimi ve karakterizasyonu. CdZnTe kristalinin yüzeyinin algılayıcı üretimine hazırlanması. Kesme ve parlatma işlemleri Algılayıcı aygıt piksel geometrisinin GEANT4 ve diğer benzetimler yardımı ile tasarlanması, fotolitografi ile kristal yüzeyine aktarılması, kristalin PCB kart üzerine yerleştirilmesi. Okuyucu devrenin ve diğer elektronik bileşenlerin tasarlanması ve testleri ve üretilmesi. Gama-prob ve gama-kamera cihazlarının mekanik aksamının (kol, zırh, kolimatör, kontrol ünitesi) tasarımı ve üretilmesi Cihaz entegrasyonu ve laboratuvar testlerinin yapılması. Fantom ve gerçek hastalar üzerinde klinik testlerin yapılması Üretilen ve test edilen cihazın ticari pazara hazırlanması.

**Bulgular :** Gama-prob tasarımı GEANT4, COMSOL ve C++ kodları kullanılarak, ve medikal araştırmacılarımızın önerileri doğrultusunda tamamlanmış ve prototip test aşamasına geçilmiştir. Elektronik okuma devrelerinin testleri devam etmektedir. Benzer şekilde GEANT4 benzetimleri ile elle tutulur büyüklükte bir Gama-kameranın ön tasarımı tamamlanmış ve okuma elektroniği ile ilgili kartların siparişi verilmiştir.

**Sonuç :** Türkiye’de ilk kez CdZnTe kristal kullanan Gama-prob ve gama-kamera geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir. Bu konuşmada bu çalışmaların geldiği son nokta anlatılacak ve prototiplerin ticari muadilleri ile karşılaştırılması yapılacaktır. Bu çalışma Tübitak tarafından 1003 Projeleri 116E641 no’lu ana proje kapsamında desteklenmektedir.

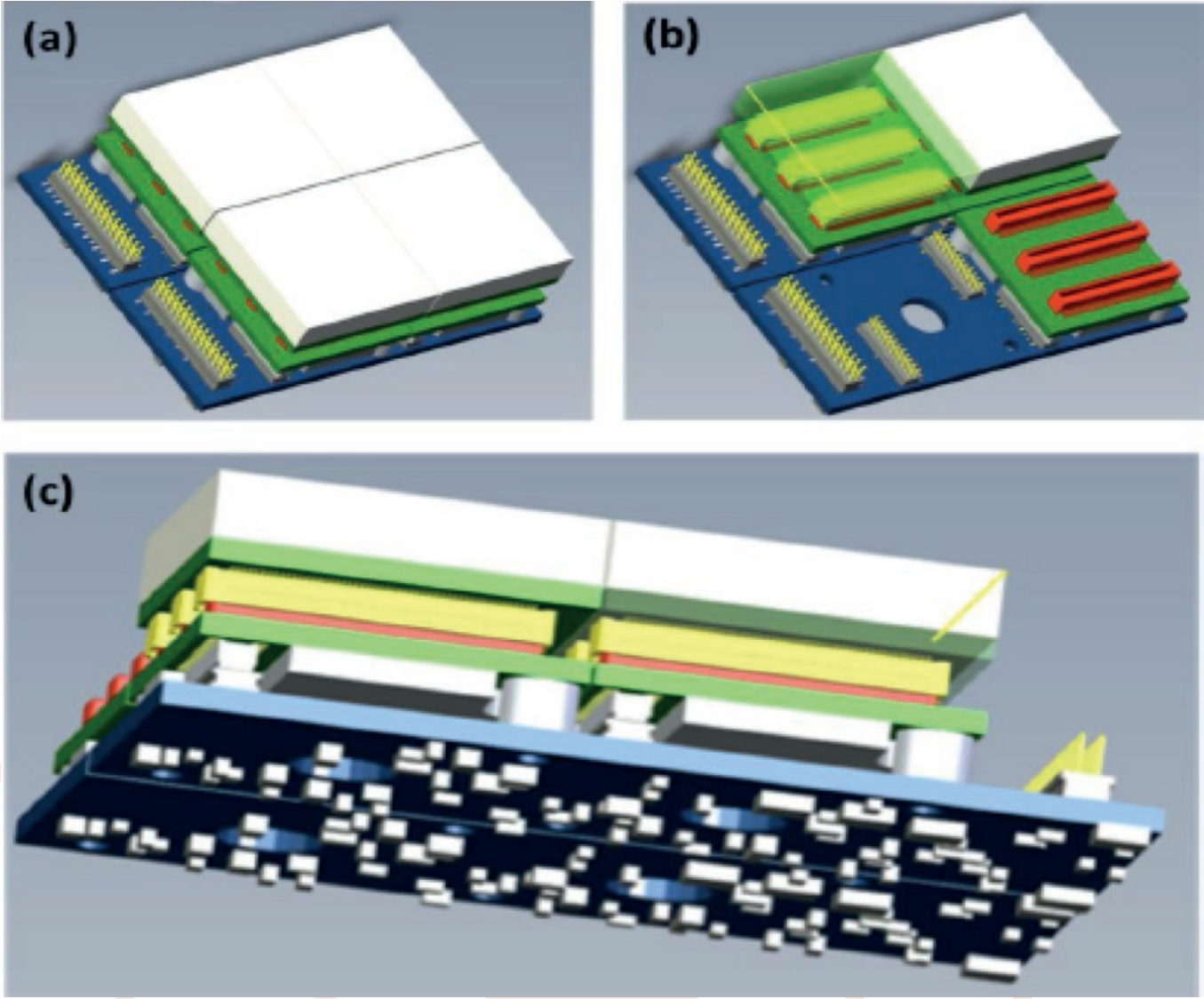
**Anahtar Kelimeler:** Gama kamera, gama prob, CdZnTe, SNLE

Gama-Probe



CdZnTe kristal, kolimatör ve okuma elektroniğini içeren gama-prob prototipi

Gama kamera elektronik ve mekanik tasarımı



Gama kameranın Altium ile elde edilmiş elektronik tasarımı ve üzerinde kristaller oturtulduğunda nasıl görüneceğini gösteren teknik çizimi.

Yayın No: S-38

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Monte carlo metodu kullanılarak mikro yapraklı bir medikal lineer hızlandırıcının modellenmesi ve alternatif bir tedavi planlama sisteminin oluşturulması

Derya Yücel<sup>1</sup>, Hatice Bilge Becerir<sup>1</sup>, Aydın Çakır<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniv., Temel Onk. ABD, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Bilgi Üniv., Sağlık M.y.o., İstanbul

Amaç : Bu çalışmada, Monte Carlo metodunu kullanarak, günümüzün en gelişmiş ve tercih edilen medikal lineer hızlandırıcılardan biri olan TrueBeam STx cihazını tamamen modelleyi ve alternatif bir tedavi planlama yöntemini oluşturmayı amaçladık. Oluşturduğumuz planlama yönteminin doğruluğunu su fantomu ölçümleri ve Eclipse tedavi planlama sistemi (TPS) algoritmaları karşısında inceledik.

Gereç ve Yöntem : Çalışmamızda HDMLC kolimatör sistemine sahip Varian TrueBeam STx lineer hızlandırıcısı (v2.0), Varian

Eclipse tedavi planlama sisteminde yer alan Analytical Anisotropic Algorithm (AAA) ve Acuros XB (AXB) Algoritmaları (v13), EGSnrc Monte Carlo programı, MATLAB ve CERR yazılımları kullanıldı. Modelleme 10 MV ve 10 MV FFF (düzleştirici filtresiz) foton demetleri kullanılarak hazırlandı. Modelin doğrulanması PTW Pinpoint, Sun Nuclear 3D Scanner su fantomu ve EBT3 Gafchromic film kullanılarak hem sadece Jaw hem de Jaw ve HDMLC'yi birlikte içeren statik alanlarda yapıldı. Yüzde derin doz (PDD) ve Profiller sayısal olarak ve 2B Gama Analizi yöntemi kullanılarak incelendi. Gama analizi yönteminde, ICRU 42 kriterlerine uygun olarak, %2 Depth Dose (DD) ve 2 mm Distance to Agreement (DTA) kriterleri kullanıldı. AAA ve AXB algoritmaları kullanılarak akciğer ve serviks odaklı hedefler için insan benzeri rando fantom üzerinde hazırlanan 3B tedavi planları (3DCRT), oluşturulan Monte Carlo simülasyonu ve alternatif planlama sistemimizde simüle edildi. AAA ve AXB algoritmalarının başarısı Monte Carlo modellemesi karşısında doz volüm histogramı ve 3B Gama Analizi yöntemi kullanılarak incelendi. Gama analizleri %1 DD ve 1 mm DTA, %2 DD ve 2 mm DTA ile %3 DD ve 3 mm DTA kriterlerinde yapıldı.

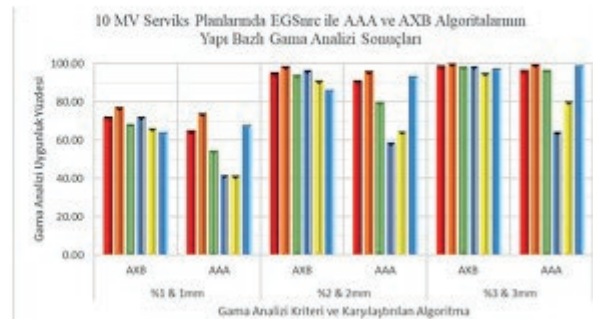
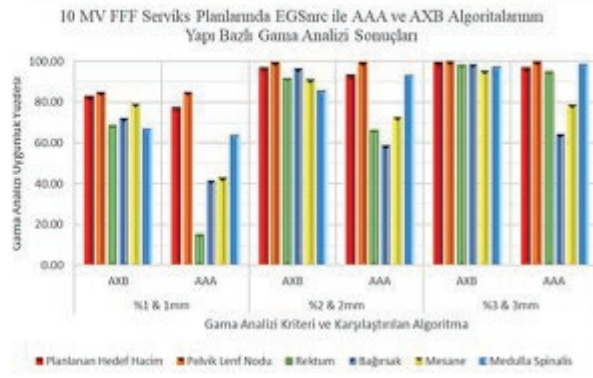
Bulgular : 10 MV ve 10 MV FFF foton demetlerinde, sadece Jaw ile Jaw ve HDMLC içeren alanların ölçüm ve Monte Carlo modeli arasında oluşan fark; PDD karşılaştırmalarında Derinlik (D) 50, D100, D200 ve Kalite İndeksi (QI) için %1'in altında, Profil karşılaştırmalarında alan boyutu, sol penumbra ve sağ penumbra için 2 mm; ve Dmaks ile Dmin için %2'nin altında bulundu. 3DCRT plan karşılaştırmalarında hem akciğer hem de serviks planları için hem nokta doz hem de %1 DD ve 1 mm DTA kriterlerinde yapılan analizlerde AAA algoritmasının AXB algoritmasına göre Monte Carlo modeli ile daha düşük uyum gösterdiği görüldü. Bu uyumsuzluğun hedeften uzaklaştıkça ve heterojen ortamlarda arttığı tespit edildi.

Sonuç : Çalışmamızda TrueBeam STx'de oluşturulan 10 MV ve 10 MV FFF foton demetleri kullanılarak herhangi bir ortamda ve herhangi bir materyalde oluşturulacak statik doz dağılımı ile 3B konformal tedavi planlarını simüle edebilecek bir sistem geliştirilmiştir. Tamamen özgün olan bu sistemin doğruluğu su fantomu ölçümleri ve Eclipse tedavi planlama sistemi algoritmaları (AAA ve AXB) karşısında başarıyla doğrulanmıştır. Çalışmamızda, diğer çalışmalardan farklı olarak, algoritmaların başarısı tedavi planlarında ve organ bazlı 3B gama analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmamız yoğunluk ayarlı tedaviler için geliştirilecektir.

Anahtar Kelimeler: Monte Carlo, EGSnrc, TrueBeam, Eclipse, Tedavi Planlama Sistemi

Serviks 3B Gama Analizi

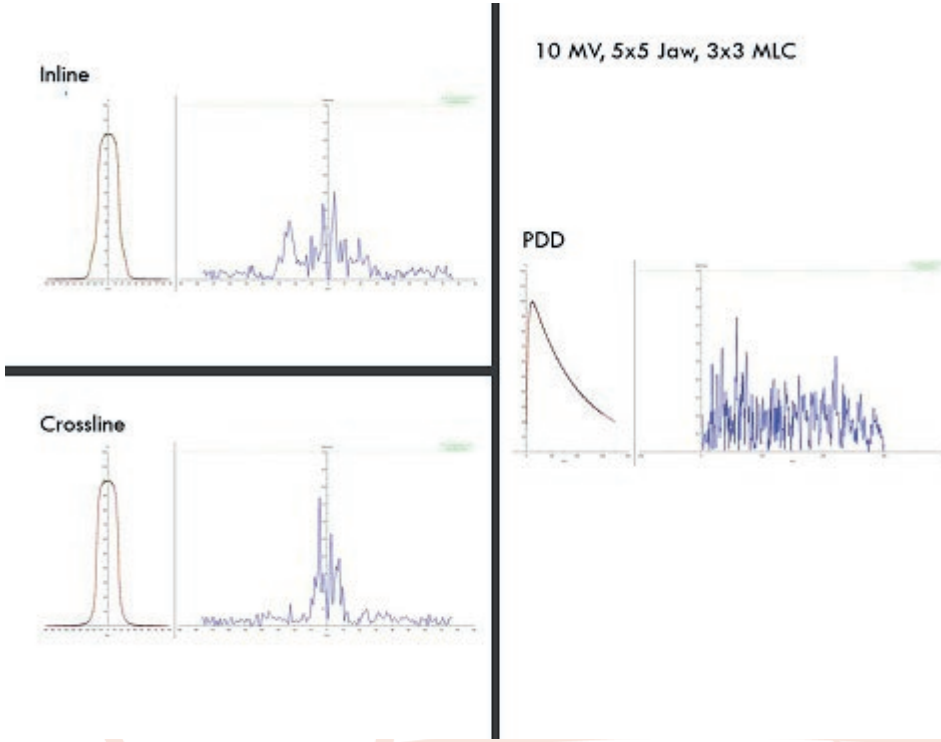
## SERVİKS TEDAVİ PLANLARININ KARŞILAŞTIRMALARI



Serviks planlarının (AAA, AXB, Monte Carlo) Organ Bazlı Gama Analizi Sonuçları

PDD Profil 2B Gama Analizi





10 MV Foton Demetleri Kullanılarak, 5x5 cm Jaw ile 3x3 cm MLC açıklığında alınan PDD ile Inline ve Crossline Profillerinin Monte Carlo simülasyonu ile 2D Gama Analizi Yöntemi Kullanılarak Karşılaştırılması.

Yayın No: S-39

Bildiri Grubu: Radyasyondan Korunma ve Radyasyon Güvenliği

HDR brakiterapi afterloading sisteminde miami aplikatör kullanımı sonrası gelişen sıvı kontaminasyonu: advers olay

Alaattin Özen<sup>1</sup>, Özge Bozdoğan<sup>1</sup>, Kerem Duruer<sup>1</sup>, Melek Akçay<sup>1</sup>, Durmuş Etiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Eskişehir Osmangazi Üni. Tıp Fak. Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı

**Amaç :** Brakiterapi uygulaması lokal ileri serviks kanseri tanılı hastaların tedavisinde önemli bir yer tutmaktadır. Miami Aplikatör özellikle vajen duvarının bir bölümünün tutulu olduğu serviks kanseri tanılı hastaların brakiterapi tedavisinde tercih edilmekte olup yapısı itibarı ile Afterloading Sisteminde sıvı kontaminasyonu gelişebilmektedir. Bu sunumda Miami Aplikatör kullanımı sonrası HDR Brakiterapi Afterloading sisteminde gelişen sıvı kontaminasyonu advers olayını bildirmek istiyoruz.

**Gereç ve Yöntem :** Lokal ileri serviks kanseri tanılı hasta eksternal pelvik radyoterapi sonrası brakiterapi tedavisi ilk uygulaması için brakiterapi odasına alındı ve sedasyon sonrası işleme başlandı. Fizik muayene sonrası idrar sondası takılan hastanın servikal kanal açıklığı histerometri yardımı ile kontrol edildi. Sonra uterin kanal uzunluğu ölçülerek Miami Aplikatörünün birleştirilmesi işlemine başlandı. Aplikatörün tandem parçası hastaya yerleştirildikten sonra hasta içerisinde silindir kısmı ile birleştirme işlemi gerçekleştirildi. Tüm bu aşamalarda parçaların düzgün bir şekilde birleştirildiğine emin olunarak ilerlendi. Sonrasında planlama aşamasına geçildi ve başarılı bir planlama sonrası tedavi verildi. Tedavi sonrası uygulama odasına girildiğinde bağlantı tüplerinin içerisinde hasta kaynaklı olduğunu düşündüğümüz pembe renkli sıvı olduğu görüldü. Prosedür gereği hasta alımı durduruldu, teknik servis ile iletişime geçildi ve ilgili birimlere olay bildirildi. Olayı takip eden günlerde sıvı ile teması olabileceği düşünülen tüm parçaların ve radyoaktif kaynağın değişimi teknik servis tarafından gerçekleştirildi ve sonrasında tekrardan hasta alımına başlandı.

**Bulgular :** Brakiterapi uygulamasında farklı aplikatörler kullanılabilen olup çok kanallı Miami Aplikatör'ü özellikle vajenin belirli bir kısmının tutulduğu lokal ileri serviks kanseri tanılı hastalarda tercih edilmektedir. Miami Aplikatör'ü 3 farklı çapta



çok kanallı bir silindir ile 2 farklı açılı bir intrauterin yerleştirilen tandemden oluşmaktadır. Her farklı çap için aplikatörün silindir kısmı döndürülerek iç içe geçen 2 parçadan oluşmakta ve bu 2 parça sıkıştırıldığında aplikatörün silindir kısmı hastaya uygulanabilir hale gelmektedir. Hastaya uygun açılı tandem yerleştirildikten sonra serviks dışında kalan tandem boyunca oluşturulan silindir ilerletilerek silindirin üst ucu serviks ağzına dayandırılır ve tandem ile silindir çevrilerek sıkılabilen bir somun yardımı ile sabitlenir. Aplikatörün sıvı kontaminasyonuna neden olmasındaki en zayıf noktası silindiri oluşturan iç içe geçen 2 parçanın üst ucudur. 3 farklı çapta kullanılabilen silindirin tek bir iç parçası bulunmakta ve radyoaktif kaynağın ilerlediği kanallar üzeri açık bir şekilde burada yer almaktadır. Silindirin uç kısımda sızıntı olması durumunda sıvı kanal boyunca ilerleyerek kaynak kılavuz tüpleri yoluyla Afterloading Sistemine geçebilmektedir. Kullanım kılavuzunda bu sorunun olabileceği ve her 25 uygulama bir sızıntı testi yapılması gerektiği ve nasıl yapılacağı belirtilmiştir. Ancak bu testin yapılması sıvı kontaminasyonu olmayacağı anlamına gelmemektedir. Buradaki esas sorun sistem içerisine geçen sıvının yapışıklıklara neden olarak tedavi süresince radyoaktif kaynağın herhangi bir pozisyonda takılmasına ve buna bağlı olarak radyasyon kazalarına sebep olabilmesidir. Bir diğer sorun böyle bir olay yaşandığında sıvı ile temasın olabileceği tüm sistem parçalarının ve radyoaktif kaynağın değişmesi gerektiği ve bu süre boyunca tedaviye hasta alınımının durdurulmasıdır. Online olarak tarandığında 2009 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde Gıda ve İlaç İdaresi'ne benzer şekilde sıvı kontaminasyonu advers olay bildirimini yapıldığı görülmektedir.

**Sonuç :** Afterloading sisteminde sıvı varlığı tedavi esnasında ya da sonrasında radyoaktif kaynağın yolu boyunca herhangi bir noktada takılabilmesine neden olabileceği için önemli bir sorundur ve radyasyon kazalarına neden olabilir. Bu nedenle Miami Aplikatörü kullanılırken çok dikkatli olunması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Brakiterapi, Miami Aplikatörü, Sıvı Kontaminasyonu, Advers Olay

Yayın No: S-40

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Tandem-ovoid aplikasyonu yapılan brakiterapi planlamaları için her fraksiyonda yeni tomografi gerekli mi?

Mine Doyuran<sup>1</sup>, Esra Serin<sup>1</sup>, Pelin Paçacı<sup>1</sup>, Erhan Dişçi<sup>1</sup>, Hilal Acar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medipol Mega Üniversitesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü

<sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı

**Amaç :** Bu çalışma ile tandem-ovoid uygulanacak hastalarda ilk fraksiyon için yapılan planlamanın diğer fraksiyonlarda da aynı şekilde uygulanması durumunda hedef ve kritik organlarda oluşturacağı doz farklılığının değerlendirilmesi ve yeniden görüntüleme ve planlama yapılmasının önemi araştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Bu çalışmada, serviks kanseri tanısı ile brakiterapi planlanmış beş hasta için ilk fraksiyon öncesi alınmış tomografi görüntüsü Eclipse V13 tedavi planlama sistemine aktarılarak yüksek ve orta riskli hedefler ve kritik organlardan rektum ve mesane konturlanmış, Fletcher Delclos tandem-ovoid aplikatörleri tomografi görüntüleri üzerinde tanımlanmıştır. Tedavi planları, GEC-ESTRO (The Groupe Européen de Curiethérapie (GEC) and the European Society for Radiotherapy & Oncology (ESTRO)) kriterlerine uyacak şekilde; yüksek riskli hedefin 90%'ı tanımlanan dozun 90%'unu, orta riskli hedefin tamamı da tanımlanan dozun 50%'sini alacak şekilde yapılmıştır. GEC-ESTRO kriterlerine göre; rektumun; 1cc'lik hacmi 5Gy, 2cc'lik hacmi 3Gy'i, mesanenin 1cc'lik hacmi 7Gy, 2cc'lik hacmi 5Gy'i geçmeyecek şekilde kritik organ doz sınırlamalarına uyulması da gerekmektedir. Brakiterapi tedavilerinde farklı fraksiyonlarda aplikasyonu yapan kişi aynı olsa da tandem-ovoidin yerleşimi ve rektum, mesane gibi kritik organların hacimleri ve hedef bölgeye olan mesafeleri farklı olabilmektedir. Kliniğimizde tandem-ovoid kullanılarak beş fraksiyon brakiterapi planlanmış hastalarımıza her fraksiyon için aplikatör yerleştirildikten sonra yeni bir tomografi görüntüsü alınmaktadır. Hedef ve kritik organ konturlamaları ve aplikatör tanımlamaları yapıldıktan sonra her fraksiyon için doz kriterlerine uyacak şekilde yeni bir tedavi planı oluşturulmaktadır. Bu çalışma için ilk fraksiyonda uygun doz değerlerini elde etmemizi sağlayan kaynak bekleme süreleri, diğer fraksiyonlar için alınmış görüntülerdeki tanımlanmış aplikatörlere kopyalanarak, bu tomografi görüntüleri üzerinde yeniden konturlanmış hedef ve kritik organlarda yarattığı doz dağılımları incelenmiştir.

**Bulgular :** Yüksek ve orta riskli CTV ve kritik organ dozları değerlendirildiğinde; yüksek riskli CTV için maksimum 66% ve ortalama 15%, orta riskli CTV için maksimum 63% ve ortalama 85% daha düşük dozlar elde edilmiştir. Rektumun 1cc'lik

hacmi için; maksimum 37% ve ortalama 2%, 2cc'lik hacmi için; maksimum 36% ve ortalama 3%, mesanenin 1cc'lik hacmi için; maksimum 47%, 2cc'lik hacmi için; maksimum 48% fark görülmüştür. Mesanenin 1 ve 2cc'lik hacimlerinin aldığı ortalama dozlarda farka rastlanmamıştır.

Sonuç : Yapılan bu çalışma ile kritik organların ortalama dozlarında anlamlı farklılıklara rastlanmamasına rağmen, kritik organlardaki maksimum doz farklılıkları ve hedef bölgelerdeki belirgin düşük dozlar göz önüne alındığında, her yeni fraksiyon ve hatta her aplikasyon için yeni tomografi görüntüsü üzerinde kontrolleme ve aplikatör tanımlamalarının yeniden yapılması ve planın değerlendirme kriterlerini sağlayacak şekilde yeniden oluşturulması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Brakiterapi, Serviks Kanseri, Tomografi

Yayın No: S-41

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Dual enerjili bilgisayarlı tomografi (debt) yöntemiyle efektif atom numarası (zeff) ve elektron yoğunluğu (qe) türetilmesi

Rıza Dilek<sup>1</sup>, Yeşim Öktem<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>İstanbul Gedik Üniversitesi, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Nükleer Fizik, İstanbul

Amaç : Proton terapide, durdurma gücü ve menzil hesaplamalarının doğru yapılması için hedefin efektif atom numarası (Zeff) ve elektron yoğunluğu (qe) bilgilerine ihtiyaç vardır. Dual Enerjili Bilgisayarlı Tomografi (DEBT) iki farklı enerji sağladığı için Zeff ve qe nin türetilmesinde daha kesin bilgiler sunar. Ancak, ışın sertleşme, kısmi hacim etkisi, saçılma, hasta hareketliği vb. gibi CT görüntüleme kusurları sonuçların kesinliğini etkilemektedir. Bu çalışmada 17 farklı doku eşdeğeri tüp içeren kalibrasyon fantomunun SOMATOM DEFINITION AS 20 Siemens DECT ile taranarak Zeff ve qe değerlerinin türetilmesinde en uygun enerji çiftinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Gereç ve Yöntem : Deneysel olarak elde edilen Hounsfield Unit (HU) değerlerinde ışın sertleşme ve kısmi hacim etkisini azaltmak için 5 farklı tek enerjili X ışını demeti (69,70,120,125 ve 135 keV), 400 mAs akımda 80 kVp ve 140 kVp protokolleri beraber kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca gürültü sebebiyle ortaya çıkan standart sapmayı (???) azaltmak ve görüntü kalitesi arttırmak için ham veri tabanlı yinelemeli yeniden yapılanma algoritması SAFIRE kullanılmıştır.

Bulgular : 5 farklı enerji için elde edilen HU değerleri ile 10 enerji çifti için Zeff ve qe teorik olarak türetilmiştir.

Sonuç : Elde edilen sonuçlar üretici firmaya ait qe sonuçları ile karşılaştırılıp en uygun sonucun 70-120 keV enerji çiftine ait olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: DECT, Durdurma Gücü, Efektif Atom Numarası, Elektron yoğunluğu, Proton Terapi

Yayın No: S-42

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Yoğunluk ayarlı ve ark radyoterapi uygulanan baş-boyun kanseri tanılı hastalarda hedef ve riskli organlardaki değişimin retrospektif araştırılması

İbrahim Meral<sup>1</sup>

1S.b. Sağlık Bilimleri Üniversitesi Okmeydanı Eğitim Ve Araştırma Hastanesi

Amaç : Radyoterapi görmüş baş-boyun kanserli hastalarının tedavi süresince çekilen kontrol filmleri kullanılarak tedavi sırasında oluşan anatomik ve dozimetrik değişiklikleri retrospektif olarak araştırmaktır.

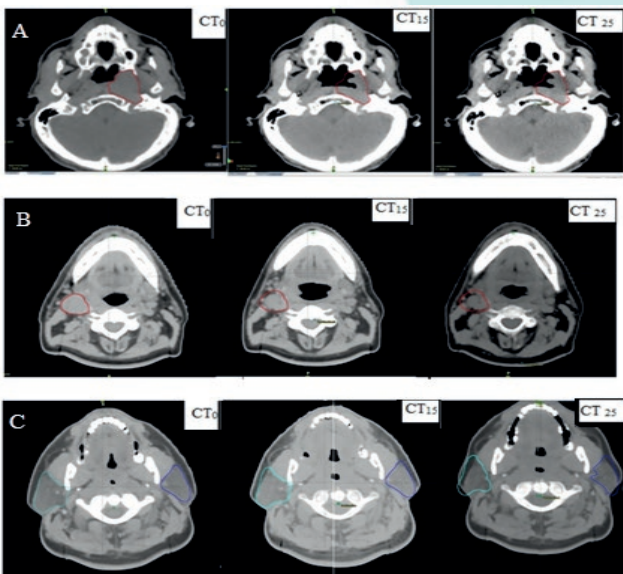
Gereç ve Yöntem : Medot: Çalışmaya IMRT/VMAT ile tedavi edilmiş 10 nazofarinks kanseri hastasına dahil edildi. Tedavi plan için çekilen CT0 ile kontrol amaçlı 15.fraksiyonda çekilen CT15 ve 25.fraksiyonda çekilen CT25 üzerindeki GTV ve parotis hacimleri (şekil1) karşılaştırıldı. CT15 ve CT25 kullanılarak sanal adaptif planlar ve hibrit planlar oluşturuldu. PTV, CTV, ipsilateral parotis, kontralateral parotis hacimlerinde doz değişimleri ile spinal kord ve beyin sapındaki doz değişimleri araştırıldı.

Bulgular : Bulgular: GTV-tm hacmi CT15 ve CT25 görüntülerine göre %22,7 ve %32,2 azalmıştır. GTV-lap ise sırasıyla %31,5 ve %39,4 azalmıştır. İpsilateral parotis sırasıyla %29,5 ve %40,6 azalmıştır. Kontralateral parotis sırasıyla %25,5 ve %33,5 azalmıştır. Hacimlerdeki azalma istatistiksel olarak anlamlıdır. Boyun çap azalması oransal olarak sırasıyla %5,7 ile %7,4'dür, faklar anlamlıdır. CTV hacimlerin %98'nin ve PTV hacimlerinin %95'inin doz değerlerindeki değişim istatistiksel olarak anlamlı değildir. İpsilateral parotis D-ortalama dozu adaptif planlarda %13,5 ile %20,2 artarken hibrit planlarda %16,5 ile %22,1 artmıştır. Kontralateral parotis D-ortalama dozu adaptif planlarda %10,9 ile %16,5 artarken hibrit planlarda %14,8 ile %19 artmıştır. D-ortalama artışları istatistiksel olarak anlamlıdır. Spinal kord ve beyin sapının maksimum dozlarındaki değişim anlamlı değildir. Boyun çap ile hacimsel değişimler arasında anlamlı ve yüksek korelasyon vardır. Çap azalması ile parotis D-ortalama dozu, spinal kord ve beyin sapının maksimum dozu arasındaki korelasyon anlamlı değildir.

Sonuç : Baş boyun tümörlerinde tedavi boyunca tümör ve kritik organ hacminin değiştiği ve buna bağlı olarak hacimlerin aldığı dozların değiştiği görülmüştür. Bu değişikliklerin tedavi sırasında düzeltilmesi tedavinin başarısını arttıracaktır.

Anahtar Kelimeler: Adaptif plan, Hibrit plan, Hacimsel değişim, Dozimetrik değişim, Boyun çap azalması

Şekil-1



Hacimsel değişimler A; GTV-tm, B;GTV-lap C; parotis bezi



Yayın No: S-43

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Meme tedavisinde farklı algoritma kullanmanın doz doğruluğuna etkisi

Hilal Acar<sup>1</sup>, Erhan Dişçi<sup>1</sup>, Mine Doyuran<sup>1</sup>, Esra Serin<sup>1</sup>, Pelin Paçacı<sup>1</sup>, Yaprak Erözmen<sup>1</sup>

1Medipol Mega Hastanesi

**Amaç :** Çalışmamızda tüm meme ışınlanmasında kullanılan iki tedavi tekniği (intensity modulated radiation therapy (IMRT) ve field in field conformal radiotherapy (FIF)) için yapılan planlarının iki farklı algoritma (Acuros XB (AXB) ve analytical anisotropic algorithm (AAA) algoritmaları) ile hesaplatılmış değerleri ile EBT3 film ve TLD ile ölçülmüş değerleri karşılaştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Alderson randofantomun 2 mm kesit kalınlığı ile elde edilmiş CT'sine iki farklı teknik kullanılarak tedavi planı yapılmış ve yapılan planlarda PTV ve kalp, ipsilateral ve kontralateral akciğerler, left ascending coronary artery (LAD), karşı meme dozları EBT3 film ile 2 boyutlu ayrıca TLD ile nokta doz ölçümü ile karşılaştırılmıştır.

**Bulgular :** EBT3 film ölçümlerinin planlamada iki farklı algoritma ile hesaplatılmış değerleri ile gamma index analiz yöntemi ve  $\pm$  %3/3mm kriterleri kullanılarak yapılan karşılaştırılmasında geçme yüzdeleri bütün planlar üzerinden ortalamalandırıldığında AAA için %93.5, AXB\_Dm için %93.9 ve AXB\_Dw için %99.0 olarak bulunmuştur. Film ölçüm sonuçları heterojen ortamdaki birim yoğunluklu suyu temsil ettiği için AXB\_Dw hesaplaması ile en yakın sonucu vermiştir. TLD ile yapılan nokta doz karşılaştırmasında ise hesap ile ölçüm dasetindeki max yüzde fark bütün planlar üzerinden ortalamalandırıldığında AAA için %6.8, AXB\_Dm için %4.7 ve AXB\_Dw için %3.9 olarak bulunmuştur.

**Sonuç :** Meme hastalarının tedavisinde Eclipse planlama sisteminde bulunan her iki algoritma da uluslararası kabul kriterleri içinde yeterli doğrulukta doz hesaplaması yapsa da AAA yerine AXB kullanılması hesaplanan dozların daha doğru olmasını sağlar.

**Anahtar Kelimeler:** AAA; AXB; Breast cancer; FIF technique; IMRT; TLD; GafChromic® EBT3 film

Yayın No: S-44

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Tomoterapi planlamasında pitch faktörü ve alan genişliğinin farklı densitelerin maksimum dozuna etkisinin değerlendirilmesi

Songül Barlaz Us<sup>1</sup>

1Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı Mersin

**Amaç :** Helikal tomoterapi (HT), 6 MV foton enerjisinin kullanıldığı özel bir yoğunluk ayarlı radyoterapi (IMRT) tekniğidir. Tedavi, masanın gantriye doğru hareket ederken, gantrinin hasta etrafında dönmesi esasına dayanmaktadır. HT planlaması, alan genişliği (Field width (slice width)-FW), pitch faktörü (PF) ve modülasyon faktörünü (Modulation factor-MF) içeren optimizasyon parametrelerine bağlıdır. FW, longitudinal eksenindeki alan genişliği olarak tanımlanmaktadır. Tomoterapi sistemi 1, 2.5 ve 5 cm olmak üzere üç alan genişliğine sahiptir. Pitch faktörü, tedavi alanı genişliği için gantri rotasyonu başına masa hareketin oranıdır ve rutinde  $0,86/n$  (n tam sayı) değerleri kullanılmaktadır. MF ise maksimum lif açma süresinin, ortalama lif açma süresine oranıdır. Tanımlanan bu optimizasyon parametreleri tedavi planının kalitesini ve tedavi süresini etkilemektedir. Bu çalışmada, farklı densiteye sahip dokularda FW ve PF optimizasyon parametrelerinin maksimum doza etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmada “cheese” fantom kullanılmıştır. Fantom içerisine 0.29-1.823 g/cm<sup>3</sup> arasında değişen 7 farklı yoğunluk yerleştirilmiştir. 3 mm slice kalınlığı ile fantomun bilgisayarlı tomografisi (BT) çekilmiş ve kesitler tomoterapi planlama sistemine aktarılmıştır. Koronal kesit merkezine hedef hacim çizilmiş ve eşit uzaklıkta bulunan farklı yoğunluklar kritik dokular olarak tanımlanmıştır. Hedef hacim 2 Gy doz alacak şekilde, her bir FW’de 3 farklı PF (0.227, 0.297 ve 0.438) kullanılarak 1000 iterasyonda tedavi planlamaları yapılmıştır. PF ve FW değişimlerinin, densitelerin maksimum dozlarına olan etkisi % değişim olarak hesaplanmıştır.

**Bulgular :** Düşük yoğunlukta (0.29 g/cm<sup>3</sup>), aynı PF’de FW arttıkça maksimum dozun arttığı, pitch faktörü arttıkça farklı FW’ler arasındaki maksimum farkın %11’e çıktığı görülmüştür. Bu değişimler arasındaki fark, densite değeri yükseldikçe (1.559 ve 1.823 g/cm<sup>3</sup>) %2-%3’ye kadar azalmıştır. Fakat densite artışına bağlı maksimum fark değişimlerinin, düzenli bir azalma şeklinde olmadığı görülmüştür.

**Sonuç :** Normal organ doz tolerans limitleri değerlendirilirken, özellikle düşük densiteli organlarda maksimum doz değişimlerin bilinmesi tedavi planlamasının kalitesi açısından oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Tomoterapi, Densite, Alan genişliği, Pitch faktörü

Yayın No: S-45

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Prostat brakiterapisi hasta dozu hesaplamalarında monte carlo yönteminin kullanılması

Serhat Aras<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Tıbbi Görüntüleme ve Teknikleri, İstanbul

**Purpose :** Tedavi planlama sistemlerinde, organ ya da dokuların tamamı su eşdeğeri kabul edilerek (Dw, w) su ortamında gerçekleştirilen radyasyon doz hesaplarının, brakiterapi tekniği ile gerçek prostat kanser tanılı hastalara (Dm, m) verilen ışın doz miktarı değerlerinde önemli derecede farkın olup olmadığını BrachyDose Monte Carlo kodu kullanılarak belirlemektir.

**Materials and Methods :** Bu çalışmada bir doz simülasyon hesaplaması yapılmıştır. Prostat kanser tanılı hastalar, Bilgisayar Tomografi (CT) ile taranarak elde edilen görüntü verileri (DICOM-CT), CTCREATE programıyla CT verilerini belirli bir materyale dönüştürme gibi işleme tabi tutularak sadece hasta verisinden oluşan fantomlarda Monte Carlo parçacık simülasyonu yoluyla doz hesaplamaları gerçekleştirildi. Fantom hazırlandıktan sonra prostat dokusundaki doz dağılımlarını hassas bir şekilde elde etmek için hesaplamalarda kaynaktan yayınlanan 50 milyar foton simüle edildi. Prostat dokusu içerisinde doz gradiyentinin düşük olduğu bir nokta seçilerek bu noktadaki doz değeri 125Gy normalize edildi. Prostat hastalarının BT verilerine bağlı fantom boyutları ve hastaların prostat hacim büyüklükleri dikkate alınarak kullanılan brakiterapi tohum kaynak sayıları her hasta için ayrı ayrı tercih edildi.

**Result :** Prostat dokusu ve su ortamında 125I, 103Pd ve 131Cs brakiterapi tohum kaynakları için hesaplanan doz değerleri kullanılarak bulunan DVH grafiklerinden elde edilen D90 değerleri sırasıyla; %10.4, %13.8 ve %8.4 olarak hesaplandı. Doz hacim grafiğinde elde edilen sonuçlara göre, 125I, 103Pd ve 131Cs brakiterapi tohum kaynakları için 400Gy altındaki doz bölgelerinde, su ortamında elde edilen doz değerlerinin, prostat dokusunda elde edilen doz değerlerinden %2 ile %15 arasında doz farkının olduğu hesaplandı. Farklı brakiterapi tohum kaynaklarının kullanıldığı prostat dokusu Dm,m ve su ortamı Dw,w için X-eksenindeki (koronal kesit) doz dağılım profilleri hesaplanıp karşılaştırıldı. Bu hesaplama sonucunda özellikle, 103Pd kaynağının kullanıldığı prostat dokusunda ve su ortamında belirlenen aynı noktalarda hesaplanmış doz değerlerinin diğer 125I ve 131Cs tohum kaynaklarına göre normalizasyon noktası civarında daha fazla doz farklılıklarının olduğu gözlemlendi. Ayrıca bu çalışmada, brakiterapi tohum kaynaklarının kullanıldığı prostat dokusunda elde edilen doz dağılımlarında prostat dokusunun kemik dokusuna çok yakın olan bölgelerinde kemik dokusunun yüksek doku yoğunluğuna sahip olmasından dolayı meydana gelebilecek istenmeyen çok yüksek doz değerleri (>200Gy) tespit edildi.

Conclusion : Brakiterapi tohum kaynaklarından yayınlanan foton enerjileri (<100keV) göz önüne alındığında baskın etkileşme türünün fotoelektrik olay olduğu ve vücut dokularının tamamının su eşdeğeri kabul edilemeyeceği literatürde tartışma konusudur. Bu çalışmada TG-43 ile TG-186 raporları baz alınarak prostat dokusu ve su ortamı için hesaplanan doz değerlerinde ortaya çıkabilecek farklılıklar incelenmiştir. Dokuya yerleştirilen çoklu kaynakların etrafındaki doz dağılımları her hasta için farklı olacağından hastaya verilen gerçek doz miktarı ile tedavi planlama sırasında TG-43 formalizmi kullanılarak hesaplanan doz değerleri arasında farklılıkların meydana gelebileceği öngörüldü. Sonuçta, tedavi planlama sistemlerinde TG-43 tabanlı doz hesaplamalarının organ ve doku materyallerini dikkate alacak şekilde yeniden düzenlenmesi ya da bu etkileri dikkate alan Monte Carlo tabanlı doz hesaplama programlarının tedavi planlama sistemlerinde kullanılmasının kesin ve doğru doz hesaplamaları için gerekli olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar Kelimeler: Brakiterapi, Prostat kanseri, Monte Carlo, Brachydose

Yayın No: S-46

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Proton demetinin CSDA menzil belirlemesi ve lucite (C5O2H8) ile silikon (Si) materyallerinin WER hesaplamaları

Rıza Dilek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Gedik Üniversitesi, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Pr., İstanbul

Amaç : Proton terapide su eşdeğeri kalınlık oranı olarak kullanılan WER, su eşdeğeri kalınlık değerinin (WET), malzemenin radyolojik kalınlığına oranı olarak bilinir. WER hesaplamaları için, proton demetinin sudaki ve materyal üzerinden geçtikten sonra sudaki menzil değerlerinin deneysel olarak belirlenmesi veya teorik olarak hesaplanması gereklidir. Bu çalışmada Lucite (C5O2H8) ve Silikonun (Si) WER değerlerini belirlemek için menzil hesaplamaları, su fantomu ve Marcus Chamber dedektörü kullanılarak yapılmıştır.

Gereç ve Yöntem : Su fantomu içerisine yerleştirilen hareketli dedektörün, 58.7 MeV enerjiye sahip Proton demeti için depoladığı yük oranı tahmin edilerek, demetin Bragg-Peak pozisyonu deneysel olarak belirlenmiştir. Öte yandan teorik menzil hesabı için, durdurma gücü (Stopping Power-SP) tanımına dayalı ve sürekli yavaşlama yaklaşımı olarak adlandırılan CSDA (continuous slowing-down approximation) için analitik bir formül geliştirilmiş ve SP değerlerini hesaplamak için efektif SP formülü kullanılmıştır.

Bulgular : Elde edilen sonuçlar Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) veri tabanı ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç : Sonuç olarak, proton demeti için geliştirilen basit, analitik CSDA formülünün menzil hesaplamaları için kullanılabilirliği ve Lucite ile silikon için elde edilen WER değerlerinin daha sonra yapılacak menzil tahminlerinde herhangi bir menzil ölçümüne veya hesaplamasına gerek olmadan kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Proton Terapi, CSDA, WER, WET, Durdurma Gücü, Proton Radyografi



Yayın No: S-47

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Karaciğer tümörlerinin stereotactic vücut radyoterapisinde fraksiyon içi ve fraksiyonlar arası tümör yer değişiminin dozimetrik olarak incelenmesi

Aydın Çakır<sup>1</sup>

1İstanbul Bilgi Üniversitesi

**Amaç :** Stereotactic vücut radyoterapisi (SBRT), primer veya metastatik karaciğer kanseri hastaları için oldukça yaygın bir tedavidir. SBRT planlaması, tedavi sınırlarını azaltmayı ve normal doku dozunu ve toksisiteyi azaltmayı amaçlayan bir tedavi tekniğidir. Solunum hareketleri, nefes tutuşları ya da Abdominal Compresyon (AC) ile azaltılarak ya da açılan havanın iletilmesine izin veren aktif solunum kontrol cihazları kullanılarak engellenebilir. Görüntü kılavuzluğunda radyoterapi (IGRT), karaciğer pozisyonundaki (kemiğe göre) taban hareketlerini, solunum hareketini veya tedavi öncesi deformasyonu potansiyel olarak belirleyebilir ve düzeltebilir. Doğrudan tümör görüntülenmesi mümkün değildir, bu nedenle karaciğer SBRT'si için IGRT yöntemleri, iki boyutlu floroskopi veya nefes hareketinin varlığında üç boyutlu (3D) CBCT kullanılarak kemik yapılar, yumuşak dokular ve de fiducial gibi referans işaretler görüntülenebilir.

Karaciğer SBRT doz hesaplamalarına solunum hareketini kontrol etmek, potansiyel olarak tümör ve normal dokuları etkileyebilir. Çalışmamızda CBCT işleğinde karaciğer SBRT tedavisi gören hastaların fraksiyon içi ve fraksiyonlar arası hareket miktarları araştırıldı.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmaya, kliniğimizde 2016-2018 yılları arasında tedavi olmuş 20 hypofraksiyone karaciğer SBRT hastası dahil edildi. Tüm hastalara sırtüstü yatar pozisyonda Elekta Body frame immobilization system ( Elekta, SE-Stockholm) aracıyla pozisyon verildi.

Hastalara 1 dakika boyunca yavaş nefes almaları talimatı verildi. Tüm hastalarda planlama ve tedavi için tekrarlanabilir tümör hareketini sağlamak amacıyla Abdominal Compression (AC) uygulandı. Siemens Somatom CT tarayıcı (Siemens Medical Systems, Germany) kullanılarak serbest nefes alma sırasında çok fazlı kontrastlı CT ve yavaş CT yapıldı.

Helical modlu kontrastlı taramalar (rotasyon süresi: 1 sn), bir kontrast maddesinin intravenöz uygulamasından 30, 45 ve 180 sn sonra 2.5 mm kesit kalınlığında CT görüntüleri alındı. Tüm CT görüntüleri Eclips tedavi planlama sistemine (Varian, Palo alto- USA) transfer edildi.

SBRT tedavi planlaması için, Varian Trubeam STX cihazında mevcut olan enerjilerinden tümörün derinliğine göre 6 veya 10 FFF (Flattening Filter Free) photon enerjileri seçildi. 6 MV FFF photon ışınları için doz hızı 1400 ve 10 MV FFF photon ışınları için doz hızı 2400 cGy/dak. seçildi. Tümörün yerleşimi ve kritik organlara yakınlığı göz önüne alınarak bazı hastalarda 2 tam VMAT planlama, bazı hastalarda ise 2 parsiyel VMAT planlaması yapıldı.

Her hasta 3 fraksiyon tedaviye alındı her bir tedaviden sonra 1 gün ara verildi. Her fraksiyon öncesi ve sonrası 3D CBCT görüntüleri alınarak, left-right, cranial-caudal, anterior-posterior yer değiştirmeleri hesaplandı.

Çalışmada her hasta için iki türlü karşılaştırma yapıldı; a- Tedavi öncesi CBCT görüntüleri b- Tedavi sonrası alınan CBCT görüntüleri kendi içinde kıyaslandı. Toplam yer değiştirme vektörü hesap edilerek maksimum ve minimum yer değiştirmeler bulundu.

**Bulgular :** Çalışmamızda, left-right (LR) yönünde  $4 \pm 4$  mm (1-12mm), cranial- caudal (CC) yönünde  $9 \pm 5$  mm ( 2-19mm), anterior-posterior (AP) yönünde  $5 \pm 3$ mm(2-12mm) tumorde yer degisimi saptandı. Bu çalışmada CC yönündeki hareket diğer yönlerdeki hareketlerden çok büyük olmasına rağmen tümör bu hareketten etkilenmemiştir.

Çalışmamızda sol lob tümörlü hastalardaki tümör yer değişimi LR ( $2 \pm 1$ mm) ve AP( $3 \pm 2$ mm), sag lob tumorlu hastalardaki tümör yer degisimine LR ( $5 \pm 4$ mm) ve AP( $6 \pm 3$ mm) kıyasla daha azdır.

Çalışmamızda fraksiyon içi hareketler değerlendirildiğinde 1.fraksiyonlar içi toplam yer değişimi  $1,29 \pm 0,98$ mm, 2.fraksiyonlar içi yer değişimi  $0,68 \pm 0,64$ mm, 3.fraksiyonlar içi yer değişimi  $1,64 \pm 1,89$ mm. Birbirini takip eden ardışık fraksiyonlar arası yer değiştirme miktarı sırasıyla 1-2 fraksiyonlar arasında  $2,52 \pm 2,77$ mm, 2-3 fraksiyonlar arasında  $1,52 \pm 2,22$ mm ve 1-3 fraksiyonlar arası  $4,31 \pm 9,58$ mm olarak tespit edildi.

**Sonuç :** Çalışmamızın sonucunda fraksiyonlar arasında en büyük yer değiştirme ilk tedavi ile son tedavi arasında tespit edildi. Bu durumun ilk tedavi ile son tedavi arasındaki zaman uzamasına bağlı olabileceği düşünüldü. Çok uzun tedavi sürelerinin hasta ve tümör hareketlerindeki değişimi artıracığı, böylece normal doku komplikasyon olasılıklarını (NTCP) artıracığı ve de tümör kontrol olasılıkları (TCP)'ni etkileyeceği unutulmamalıdır.

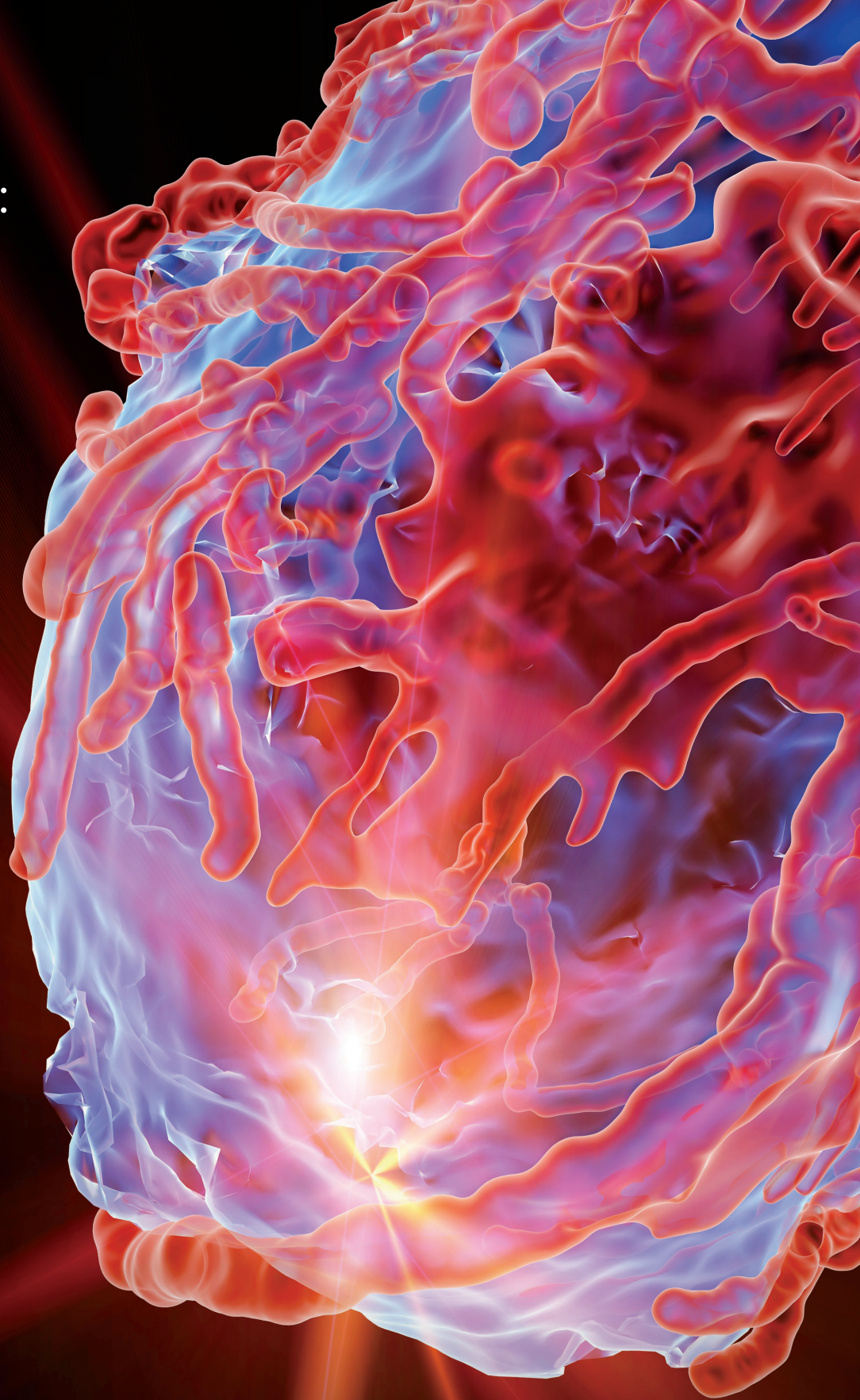


**POSTER  
BİLDİRİLER**

- P01 Derin İnspryumlu Sol Meme Radyoterapisinde Düzleştirici Filtreli ve Filtresiz Planlama Tekniklerinin Karşılaştırılması - Ceren Ezgi Erdoğan
- P02 Mide Kanseri Radyoterapisinde Dalak Hacminin Aldığı Dozun, Dalak Hacim Değişimi İle İlişkinin Belirlenmesi - Mustafa Tintaş
- P03 Baş-Boyun Hastalarının Pencil Beam ve Aaa Algoritma Hesaplamalarının Karşılaştırılması - Görkem Çevikbaş
- P04 Tümör Hareketinin Vmat Tekniği İle Işınlamalarda Doz Dağılımı Üzerine Etkisi: Akciğer Fantom Çalışması - Canan Köksal
- P05 Farklı Igrt Yöntemlerinin 6 Boyutlu Düzeltme Verilerinin Karşılaştırılması} - Şeyma Çavdar
- P06 Prostat Kanseri Tedavisinde Farklı Planlama Tekniklerinin ve Hasta Tabanlı Kalite Kontrol (Qa) Değerlerinin Karşılaştırılması - Gizem Var
- P07 Radyoterapi Tedavisi Sonrası İnsan Dışının Elastik Özelliklerinin 320 Mhz Taramalı Akustik Mikroskop İle Tanısı - İrem Demirkan
- P08 Akciğer Sbrt Planlanan Hastalarda Normal Doku ve Qa Sonuçları İçin Hesaplama Grid Boyutunun Etkisinin Araştırılması - Sezgi Turan Eruğuz
- P09 Meme Imrt'inde Dvh Değerlendirmesi Akut Cilt Toksisitesini Öngörebilmek İçin Güvenilir Bir Yöntem Midir? - Berat Tuğrul Uğurlu
- P10 Imrt'De Akı Yumuşatma İşleminin Tedavi Planı Üzerindeki Etkisi - Kamil Erkan Özgen
- P11 Meme Ca Hastalarında Vmat (Volumetrik Ayarlı Ark Terapi) Tedavi Tekniğinde Skin Flash Tool Yaratılarak Kritik Organ Dozlarına Etkisinin Kıyaslanması - Taylan Yıldırım
- P12 Prostat Ca Hastalarının Stereotaktik Vücut Radyoterapi İçin Elektronik Portal Görüntüleme Sistemi Tabanlı İn Vivo Doz Doğrulaması - Yağız Yedekçi
- P13 Üç Boyutlu Brakiterapi Planlamaları İle İki Boyutlu (A Noktası) Planlamaların Doz Karşılaştırmaları - Erhan Dişçi
- P14 Akciğer Radyoterapisinde Düzleştirici Filtreli ve Düzleştirici Filtresiz Radyoterapi Tekniklerinin Tedavi Volümü Boyutuna Göre Karşılaştırılması - Burak Şengül
- P15 Akciğer Ca Hastalarının Vmat (Volumetrik Ayarlı Ark Terapi) Tekniği İle Yapılan Planlarında Oluşturulmuş Yardımcı Yapının (Shell) Kritik Organ Dozlarına Etkisi - Taylan Yıldırım
- P16 Akciğer Tümörlerinde Stereotaktik Radyoterapi Uygulama Yöntemlerinde Kritik Organ Doz Hacim Parametrelerinin Karşılaştırılması - Berna Tırpancı
- P17 Bladder Scanner Cihazının Cbct Görüntüleri İle Doğrulanması - Özgür Boran
- P18 Beyin Srt Tedavilerinde 6B Masa Düzeltmesinin Önemi - Özlem Göksel
- P19 Intrakranial Stereotaktik Radyocerrahide (Srs) Farklı Hasta Plan Kalite Kontrol Yöntemlerinin Karşılaştırılması - Basri Günhan
- P20 Radyoterapide Bt Kesit Kalınlığının Tedavi Doğruluğuna Etkisi - Gülçin Doğru
- P21 Radyoterapi Tedavi Planlaması İçin Akciğer Eşdeğeri Bir Materyal Kullanılarak Solunum Hareketindeki İki Fazın Bilgisayarlı Tomografi Verilerinin Değerlendirmesi - Aysun İnal
- P22 Dosimetric Comparative Study Of 2 Different Postoperative Radiotherapy Techniques ( Imrt And Tomotherapy) For Total Scalp Irradiation - Çağla ÇETİNKAYA
- P23 Leipzig Cilt Aplikatörünün Dozimetrik İncelemesi - Sule Parlar
- P24 Özofagus Kanserinde Akciğer Hacminin Radyoterapi Planlama Tekniği Üzerine Etkisi: Helikal Radyoterapi Ne Zaman Seçilmeli? - Sibel Karaca
- P25 Geçmişten Günümüze Tomotherapy Tedavi Cihazına Genel Bakış - Sibel Karaca
- P26 Tbgamosgu: Gamos Monte Carlo Linak Grafik Arayüzü - Recep Kandemir
- P27 Pytrendqa: Python Dilinde Yazılmış Hasta Kalite Kontrol Takip Yazılımı - Recep Kandemir
- P28 Akciğer Sbrt Tedavi Planlarında Farklı Planlama Tekniklerinin Dozimetrik Karşılaştırılması - İbrahim Kaptan
- P29 Solunum Fantomu İle Solunum Takip Sistemi Doz Verimi Testi - Alpay Levent
- P30 Lokalize Prostat Kanseri Hastalarında Vmat ve Cyberknife Tedavi Planlarının Dozimetrik Karşılaştırılması - Ahmet Murat Şenişik
- P31 Bilgisayarlı Tomografide Tüp Akımı Modülasyon Sisteminin Hasta Dozuna Etkisi - Salih Görür
- P32 Nükleer Tıp Uygulamalarında Hastadan Çevreye Yayılan Radyasyon Doz Hızı Ölçümleri - Yağmur Aykurtlu
- P33 Avrupa Radyolojik Veri Değişim Platformu ve Türkiye'Nin Platformdaki Rolünün Araştırılması - Adil Merih



Meet cancer's  
biggest threat:  
**Precision  
Radiation  
Medicine.**



Elekta is committed to ensuring everyone in the world with cancer has access to—and benefits from—more precise, personalized radiotherapy treatments.

**Focus where it matters.**

[elekta.com/PRM](http://elekta.com/PRM)

 **Elekta**

LADXX190306



Yayın No: P-01

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Derin inspiyumlu sol meme radyoterapisinde düzleştirici filtreli ve filtresiz planlama tekniklerinin karşılaştırılması

Ceren Ezgi Erdoğan<sup>1</sup>, Merve Çetinkaya<sup>1</sup>, Süleyman Çelebi<sup>1</sup>, İpek Arslan<sup>1</sup>, Güven Çankaya<sup>2</sup>, Pelin Selağzı<sup>3</sup>, Cemgil Erdoğan<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Haydarpaşa Numune Eğitim Ve Araştırma Hastanesi /İstanbul

<sup>2</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü /ankara

<sup>3</sup>Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler /İstanbul

<sup>4</sup>İstanbul Eğitim Araştırma Hastanesi / İstanbul

**Amaç :** Amacımız sağ kalımı yüksek olan radyoterapi grubundan sol meme radyoterapisinde gelişen cihaz teknolojileri ile birlikte her geçen gün daha fazla iyileştirmeler yapılmasının planlanmasıdır. Sol memeye özel uygulanan derin nefes tutma tekniği ile tomografileri çekilen hastaların enerjinin filtreli ve filtresiz modları ile yapılan farklı planlama tekniklerinde tedavi süresi, kritik organ koruması, bununla birlikte dinamik tedavilerin uygulanabilirliği açısından incelenmesidir. Çalışmamızda temel olan durum tüm bu parametreler için enerji filtresi kullanımının derin nefes tutma tekniği ile uygulanan sol meme radyoterapisindeki yerini ve uygulanabilir olup olmadığının gösterilmesidir.

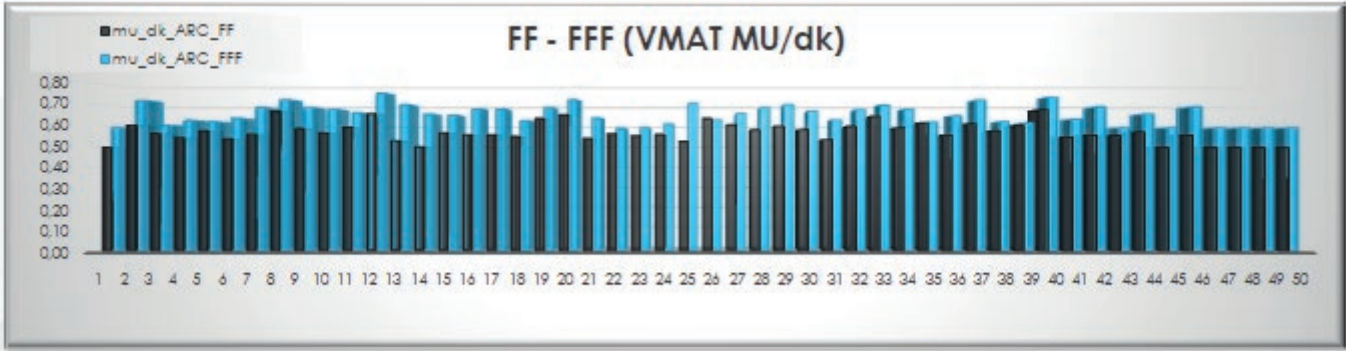
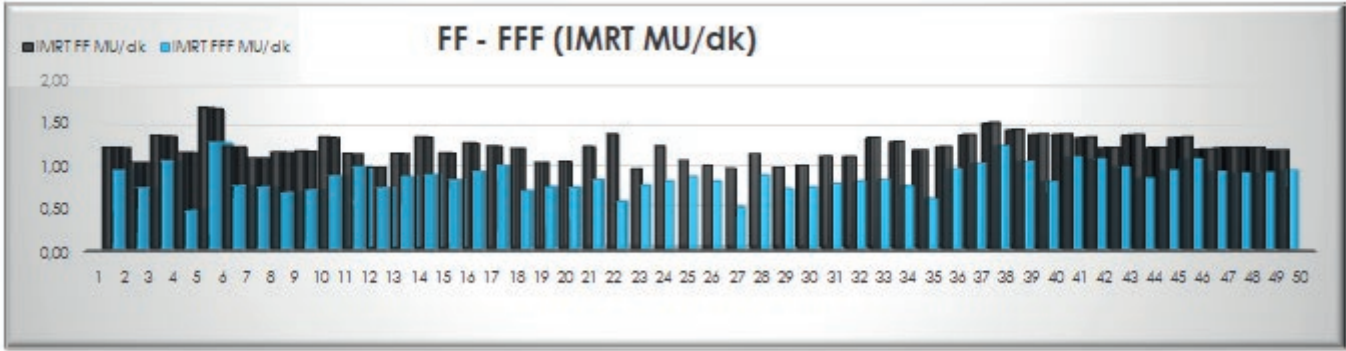
**Gereç ve Yöntem :** Nefes Tutma tekniğine uygun, uyumlu 50 sol meme kanserli hastaya Toshiba Bilgisayarlı tomografide RPM nefes takip sistemi kullanılarak Derin İnspiyum tekniği ile tomografileri çekilmiştir. Tüm hastalar için nefes alma kriteri hastaların kendi derin nefes alma ve tutma kapasiteleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bu tomografilere Eclipse Tedavi Planlama sistemi üzerinde enerjinin 2 farklı modu olan 6 FF ve 6 FFF modlarında ve bu modlarının 2 farklı doz hızı için 3BKRT, IMRT, VMAT teknikleri ile planlama optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Planlamalar sonucunda Doz Hacim Histogramında elde edilen verilerin analizi, kalp dozu, MU/dk değerleri, CI hesaplamaları ve verilerin istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır.

**Bulgular :** Plan kalite parametrelerinden CI; 3BKRT FF için  $0,78\pm0,08$ , FFF için  $0,78\pm0,07$ , IMRT FF için  $0,78\pm0,05$ , FFF  $0,78\pm0,06$ , VMAT planlamalarında FF için  $0,78\pm0,6$ , FFF için  $0,75\pm0,05$  bulunurken sonuçlar her planlama tekniği içinde istenilen değer aralığındadır. Tedavi süresi parametresi MU/dk ; 3BKRT planlamalarda FF için  $0,40\pm0,02$ , FFF için  $0,21\pm0,02$ , IMRT planlamalarında FF için  $1,21\pm0,15$ , FFF  $0,85\pm0,17$ , VMAT planlamalarında FF için  $0,57\pm0,05$ , FFF için  $0,33\pm0,02$  olarak elde edilmiştir. Kalp dozu sonuçları Dmean (cGy) ; 3BKRT planlamalarda FF için  $324\pm148$ , FFF için  $285\pm131$ , IMRT planlamalarında FF için  $624\pm173$ , FFF  $593\pm166$ , VMAT planlamalarında FF için  $1401\pm307$ , FFF için  $1377\pm276$  olarak bulunmuştur.

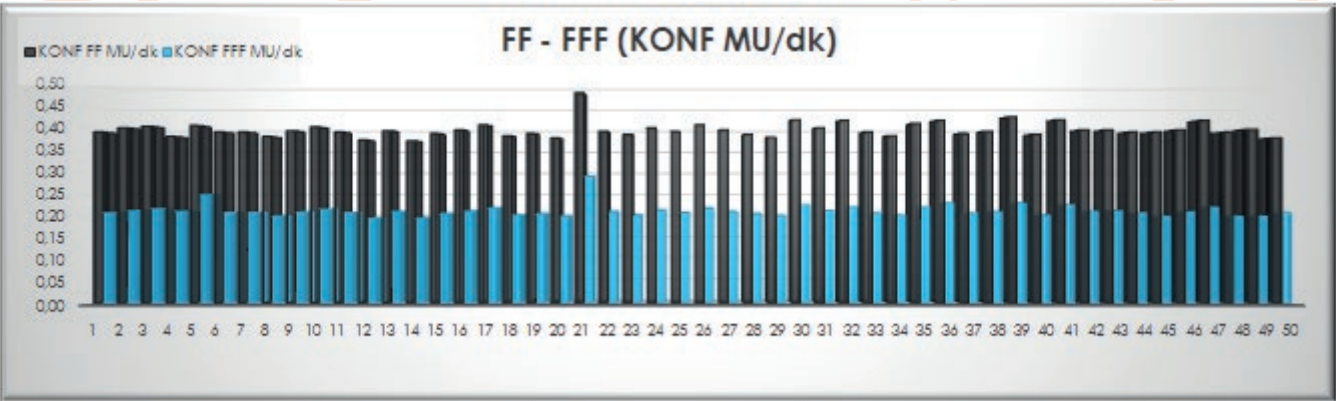
**Sonuç :** Çalışmamızın sonucunda FF ve FFF modlarının sol meme radyoterapi planlama tekniklerindeki tüm parametreler için ayrı ayrı avantaj yada dezavantaj yarattığı durumlar bulunmaktadır. Tedavi tekniklerinin hasta koordinasyonu ile birleştiği derin nefes tutma tekniğinde FFF modu hasta planlama teknikleri ve hasta açısından uygulamada en önemli parametrelerden biri olan süre bakımından anlamlı avantajlar sağlamaktadır. elde edilen istatistiksel analiz sonuçları da bu durumu desteklemektedir. Planlama tekniklerinde planda oluşturulmak istenen değerler belirli kriterler çerçevesindedir. Bununla birlikte her planlama tekniği hastaya özgüdür. Sol meme radyoterapisi için kabul gören ve uygulanan planlama tekniklerinin geliştirilmesine destek olmak amacıyla hazırlanan çalışmamızda FFF enerjilerinin tüm planlama tekniklerinde kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığını görmekteyiz. Her ne kadar enerjinin FFF modunun kesin olarak her anlamda fayda sağladığı kesinleştirilemese de bizim çalışmamızda sol meme radyoterapi tekniklerine ve derin nefes tutma tekniğine olumlu yönde katkısı olduğu gösterilmektedir. Klinik ve istatistiksel anlamlılık ise birbirinden farklıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Derin nefes tutma tekniği, filtreli ve filtresiz enerjiler, meme radyoterapisi, sol meme radyoterapi tedavi süresi

Imrt-Vmat Tedavi Süresi



### 3bkrT Tedavi Süresi



Yayın No: P-02

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Mide kanseri radyoterapisinde dalak hacminin aldığı dozun, dalak hacim değişimi ile ilişkisinin belirlenmesi

Mustafa Tintaş<sup>1</sup>, Hatice Halis<sup>2</sup>, Uğur Akbayırlı<sup>1</sup>, Alpay Levent<sup>1</sup>, Haldun Şükrü Erkal<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler San. Tic. A.ş.

<sup>2</sup>Sakarya Üniversitesi Eğitim Ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü

<sup>3</sup>Sakarya Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi A.d.

Amaç : Amaç: Mide kanseri tanılı hastalarda radyoterapi sırasında farklı dalak hacimlerinin aldığı radyasyon dozunun, tedavi sonunda dalak hacminde oluşturduğu değişimin radyoterapi ile ilişkisi incelenmiştir.

Gereç ve Yöntem : Gereç-Yöntem: Çalışmada Sakarya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi bölümünde Varian Vital Beam lineer hızlandırıcı ile radyoterapi alan mide kanseri tanılı 20 hasta incelenmiştir. Tüm hastalara fraksiyon dozu 180cGy ve 25 fraksiyon(4500cGy) olacak şekilde VMAT ve IMRT tedavi planları uygulanmıştır. Dalak hacimleri hastaların tedavi planlama CT'lerin de ve tedavilerin son fraksiyonunda çekilen CBCT'ler de çizilmiştir. Tedavi planında dalak için tedavi dozunun %25,50,75 ve 100 ünü alan volümler (V25%, V50%, V75%, V100%) ve dalak ortalama dozu belirlenerek volüm-doza ilişkisi incelenmiştir.



**Bulgular :** Bulgular: Tüm hastalar için yapılan değerlendirmede ortalama dalak hacmi 223,62 cc (50,91-552,72) gözlenmiştir. Tedavi dozunun %25' ini alan dalak hacmi ortalama %93 (%71-%100), %50' sini alan hacim ortalama %63(%17-%88), %75' ini alan hacim ortalama %25 (%4-%45), %100' ünü alan hacim ortalama %4(%0,3-%10) ve ortalama dalak dozunun 2642 cGy olduğu belirlenmiştir. V25% için p=0,09 ve belirgin ters kolerasyon görülmüştür. V50%,V75%,V100%ve dalak ortalama dozları ile dalak hacmindeki değişim arasında bir ilişki kurulamamıştır.

**Sonuç :** Sonuç: Tüm hastalar için dalak hacimlerinde ortalama %14 (%0,67-%28,3) lük bir azalma saptanmıştır. Dalak hacimlerindeki bu azalma, V25% doz alan hacimlerdeki yakınlık ve V50%,V75%, V100% doz alan hacimler ve ortalama dalak dozunun hacim azalması arasındaki ilişki göz önüne alındığında bunun doğrudan radyoterapi ile ilgili olamayacağı görülmüştür. Fakat daha fazla hasta sayısı ele alınarak ya da dalak hacimleri belirli bir aralıkta bulunan hastalar çalışmaya dahil edilerek dalak hacmindeki azalmanın dozla ilişkisinin tekrar değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** CBCT, Mide Kanseri, Radyoterapi,

**Yayın No:** P-03

**Bildiri Grubu:** Radyasyon Onkolojisi

**Baş-boyun hastalarının pencil beam ve aaa algoritma hesaplamalarının karşılaştırılması**

Görkem Çevikbaş<sup>1</sup>, Leyla Süncak<sup>2</sup>, Fadime Alkaya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Medicana International İstanbul Hastanesi

<sup>2</sup>Ü Onkoloji Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı

**Amaç :** Radyoterapide, teknolojideki ilerlemeler ve farklı ışınlama teknikleri ile amaç, hedef organa tanımlanan dozun tamamını verirken çevresini saran riskli organları olabildiğince düşük doza maruz bırakmaktır. Radyoterapi sırasında sağlıklı dokuların maruz kaldığı radyasyon dozunun biyolojik etkisi erken ya da geç dönemde yan etkiler olarak ortaya çıkabilmektedir. Bu yan etkileri minimuma indirmek için radyoterapi sırasında normal sağlıklı dokular maksimum korunmalıdır. Beyin ve baş-boyun kanserleri hastalar için genellikle yıkıcıdır ve hayatlarını tehdit etmektedir. Fakat tedavi teknolojisindeki gelişmeler ve multi-disipliner yaklaşımlar hastalarımızın yaşam sürelerini uzatmamıza ya da daha iyisi onları iyileştirmemize olanak sağlamaktadır. Radyoterapi multidisipliner tedavinin temel bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Bu bölgelerdeki kritik organlar genellikle tümöre yakın komşulukta olurlar. Bu karakteristikler bu kanser türleri için radyoterapiyi çok zorlayıcı hale getirmektedir. Örneğin farinjiyal duvardaki tümörler genellikle konkavdır ve spinal kord ile genellikle alana dahil edilen lenf nodlarına yakın olan parotis çevresini sarar; paranasal sinüslerden çıkan tümörler ise genellikle optik sinirlere ya da optik kiasmaya komşu olan boşluğu doldurur. Bu organların tolerans dozları 30-60 Gy aralığındadır. Fakat tümör kontrolü için gerekli olan doz genellikle 70 Gy'i aşmaktadır.

**Gereç ve Yöntem :** Bu çalışmada kliniğimizde Eclipse Tedavi Planlama Sisteminde pencil beam(Pencil Beam Convolution 8.6) algoritma kullanılarak IMRT(Intensity Modulated Radiotherapy) SIB (Simultane Integrat Boost) tekniği ile planlaması yapılan 10 baş-boyun hastası seçilmiştir. Bu hastalar aynı koşullarda Çapa Onkoloji Enstitüsünde AAA(Anisotropic Analytical Algorithm 15.6) algoritmaları kullanılarak doz hesaplamaları tekrar yapılmıştır. İki klinikte tedavi cihazı olarak Varian DHX cihazı ve 6MV foton ışınları kullanılmıştır(120 dMLC). Her iki algoritma sonucunda elde edilen plan DVH(Doz Volum Histogram)'leri üzerinden PTV için D%95, D%2 ve Dort dozları ile CI(Conformity Index), kritik organ dozları ve toplam MU(monitör unit)'leri karşılaştırılmıştır.

**Bulgular :** Yapılan çalışmanın sonunda, her iki doz algoritma sistemi ile yapılan baş-boyun tedavi planlarında kritik organlar açısından belirtilen doz sınırlamaları sağlanmıştır. Ayrıca intermediate doz hesaplama modülü kullanılarak hazırlanan baş-boyun planlarının kritik organ dozları, CI değerleri ve toplam MU sonuçları AAA için daha iyi bulunmuştur.

**Sonuç :** Baş ve boyun tedavilerinde, her ışın düşük yoğunluklu dokulardan geçtiği için, iki algoritmanın sonuçtaki doz dağılımları farklılıklar göstermektedir. AAA algoritmasında PTV D%2, D%95 ve Dort için daha yüksek dozlar gözlenmiştir(2, 3 ve 1). Kritik organlar için yakın değerler gözlenmiş AAA algoritması pencil beam algoritmaya göre daha iyi sonuç vermiştir. AAA kullanımı ile ortalama TCP ve ortalama NTCP değerlerinde, kritik organlarda toksisitesinin miktarında bir azalma gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AAA , IMRT, pencil beam,

Yayın No: P-04

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Tümör hareketinin VMAT tekniği ile ışınlamalarda doz dağılımı üzerine etkisi: akciğer fantom çalışması

Canan Köksal<sup>1</sup>, Nazmiye Dönmez Kesen<sup>1</sup>, Bayram Demir<sup>2</sup>, Murat Okutan<sup>1</sup>, Hatice Bilge Becerir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Sağlık Fiziği Bilim Dalı, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul

**Purpose :** Statik olarak hesaplanan doz dağılımlarının hareketli koşullarda uygulanması durumunda gerçekleşen doz dağılımı hesaplanan doz dağılımından farklı olmaktadır. Bu çalışmada VMAT tekniği ile akciğer ışınlamalarda tümör hareketinin doz dağılımı üzerine etkisi araştırıldı.

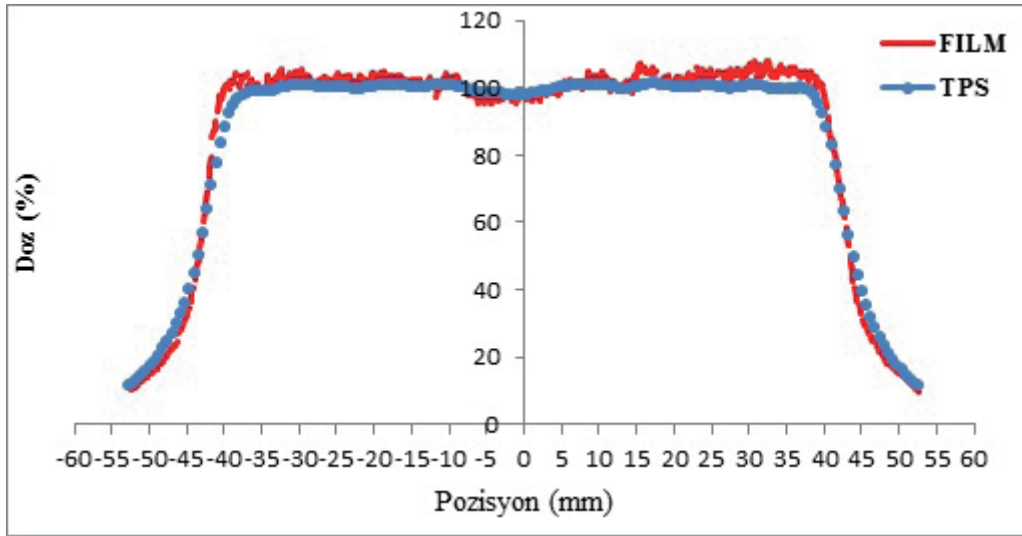
**Materials and Methods :** 4 cm çapında saf balmumundan yapılan tümör düşük yoğunluklu mantardan ( $\rho=0,3 \text{ gr/cm}^3$ ) hazırlanan silindirik bir yapıya yerleştirilerek mini bir akciğer fantomu hazırlandı. CIRS akciğer fantomu üzerine yerleştirilen mini fantom hareket aktüatörüne bağlandı. Mini fantom superior-inferior yönde 5 saniye (sn) periyotla  $\pm 1,5 \text{ cm}$  genlikte hareket etmektedir. Hareket sinyalleri ile eşzamanlı olarak fantomun 4B-BT'si çekildi (Şekil 1). 10 faza ait 3B-BT görüntüleri Varian Eclipse 15.6 TPS'e gönderildi. 10 fazda konturlanan GTV'lerin birleşimiyle hareket büyüklüğünü içeren bir ITV (iç hedef hacim) oluşturuldu. ITV'ye 5 mm setup marjı verilerek PTV elde edildi. VMAT planı, iki yarım ark ile 6 MV enerjili foton ışınları kullanılarak hazırlandı. Fantomun hareket eden kısmında tümör merkezinin olduğu eksene Gafkromik EBT3 film yerleştirildi. Öncelikle fantom hareketsiz durumda ışınlanarak TPS hesaplamaların kontrolü yapıldı. Fantom hareketli ve hareketsiz koşullarda hazırlanan VMAT planıyla ışınlanarak 2B doz dağılımları elde edildi. Elde edilen doz dağılımları birbirleriyle karşılaştırılarak hareketin dozimetrik etkileri incelendi.

**Results :** Fantom hareketsiz iken ışınlanmasıyla film ile elde edilen ve TPS'de hesaplanan doz dağılımlarının merkezi ekseninde Target-Gun yönünde profil karşılaştırılması Şekil 1'de görülmektedir. Fantom hareketli ve hareketsiz durumda ışınlanmasıyla film ile elde edilen doz dağılımlarının birbirleriyle karşılaştırılması sonucunda  $\%3-3 \text{ mm}$  kriterine göre gamma index değeri  $\%63,7$  olarak bulundu. Elde edilen 2B doz dağılımlarının Target-Gun (TG) yönündeki profil karşılaştırılması Şekil 2'de görülmektedir. TG yönünde profil karşılaştırılmasında; merkezden 25 mm'ye (hedef yarıçapı+5 mm setup marjı=25 mm) kadar, hareketli ve hareketsiz koşullar altında alınan dozlar uyum içindedir. 25 mm'den 40 mm'ye (25 mm+hareket genliği) kadar; hareketli koşullar altında alınan doz, hareketsiz koşullar altında olduğundan daha düşüktür. Hareket genliği mesafesinde olan bu doz düşüklüğü bölgesinde en fazla fark  $\%49,1$  olmaktadır. PTV (40 mm'den sonrası) dışında, hareketli koşullar altında alınan doz, hareketsiz koşullar altında alınandan daha fazla olmaktadır. Doz farkı, "interplay" etkiden kaynaklanabilir. "Interplay" etki yalnızca dinamik MLC tabanlı IMRT gibi tekniklerin uygulanması durumunda gerçekleşir. Bu etki, ışına dik olan organ hareketinin, MLC yapraklarının hareketleri ile senkronize olmamasından kaynaklanır.

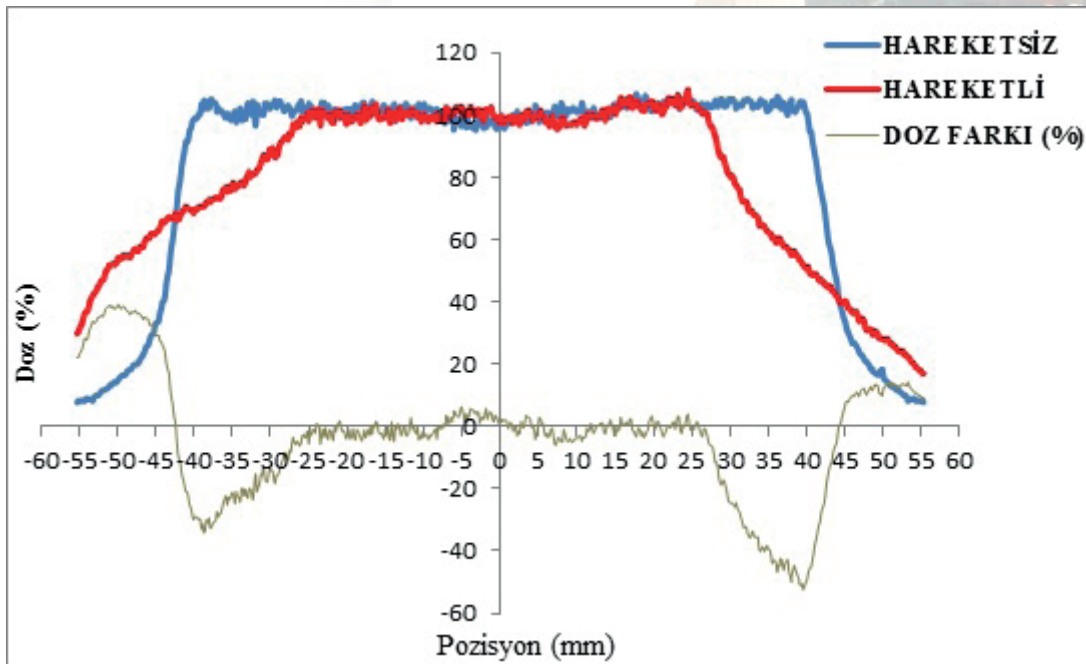
**Conclusions :** Hareket büyüklüğü fazla olduğunda, hareket genliği mesafesinde doz düşüklüğü fazla olmaktadır. Büyük hareket varlığında, çalışmamızda elde ettiğimiz doz dağılımlarında görüldüğü gibi PTV dışında doz planlandığından fazla olmaktadır. Solunumdan kaynaklanan büyük hareket genliği varlığında efektif bir tedavi için "gating" yöntemi ya da gerçek zamanlı tümör takibi tercih edilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Akciğer kanseri, tümör hareketi, VMAT, film dozimetrisi

Fantom hareketsiz iken film ile elde edilen ve TPS'de hesaplanan doz dağılımlarının merkezi ekseninde Target-Gun yönünde profil karşılaştırılması



Fantom hareketsiz ve hareketli durumda ışınlanmasıyla film ile elde edilen doz dağılımlarının merkezi ekseninde Target-Gun yönünde profil karşılaştırılması



Yayın No: P-05

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Farklı IGRT yöntemlerinin 6 boyutlu düzeltme verilerinin karşılaştırılması

Şeyma Çavdar<sup>1</sup>, Gökhan Aydın<sup>1</sup>, Meriç Şengöz<sup>1</sup>, Görkem Güngör<sup>1</sup>, Bülent Yapıcı<sup>1</sup>, Banu Atalar<sup>1</sup>, Enis Özyar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İstanbul

Amaç : Çalışmanın amacı prostat radyoterapisinde farklı IGRT (kV-kV ve kV-CBCT) yöntemleri kullanılarak elde edilen 6 boyutlu(6D) düzeltme değerleri arasındaki sonuçları karşılaştırmaktır.

Gereç ve Yöntem : Bu çalışmada IMRT ve VMAT yöntemleri ile tedavi edilmiş 20 prostat kanserli hastanın 496 kV-kV ve 496



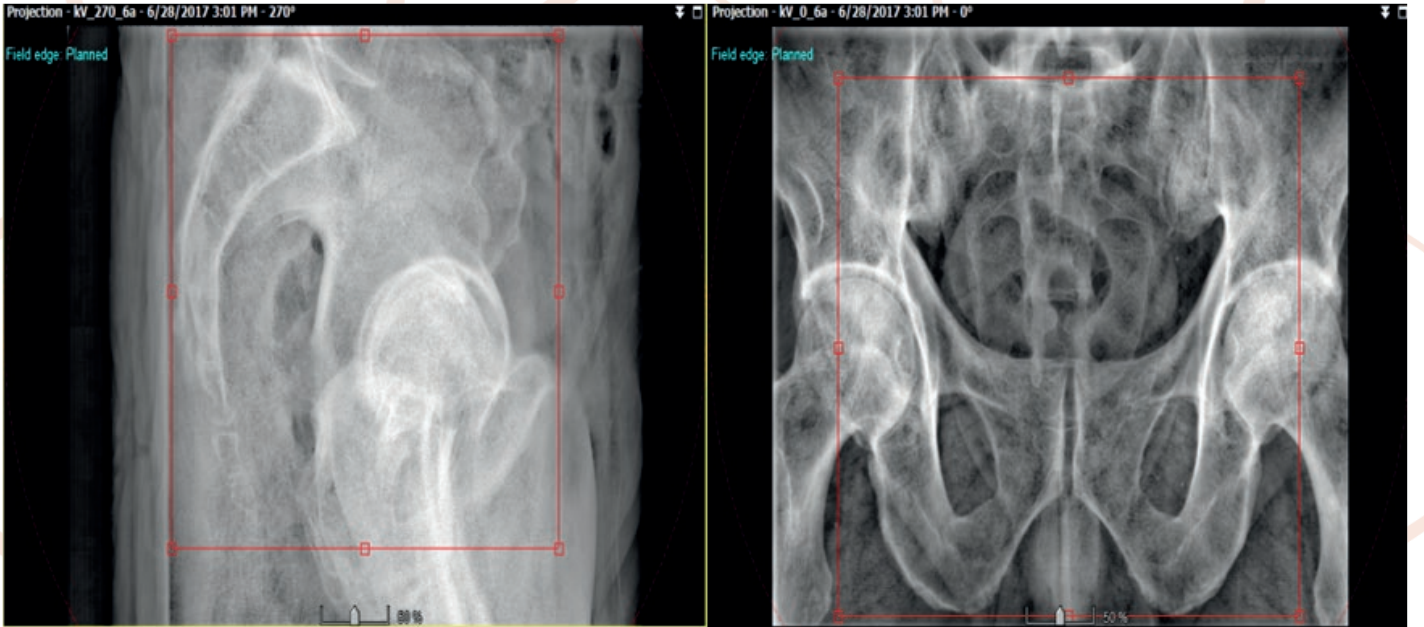
kV-CBCT görüntüsü incelenmiştir. Resim 1. ve Resim 2' deki VOI ler referans alınarak Offline Review yazılımında otomatik eşleştirmeler yapılmıştır. Tüm hastalar için kV-kV verilerine göre kemik, kV-CBCT verilerine göre hacimsel anatomi referans alınarak elde edilen masa kaydırmaları lateral, vertikal, longitudinal, pitch, roll, rotasyonel yönler için hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında net kaydırmaların hesaplanabilmesi için, Offline Review yazılımında hesaplanan değerlerden cihazda yapılan kaydırmalar çıkartılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda tüm fraksiyonlara ait net kV-kV ve net kV-CBCT kaydırma değerleri elde edilmiş ve 2 farklı IGRT yönteminden elde edilen masa kaydırmaları karşılaştırılmıştır.

Bulgular : kV-kV ve kV-CBCT masa kaydırmalarından elde edilen sistematik ve rastgele hatalar Tablo 1 ve Tablo 2' de gösterilmiştir. En yüksek hatalar longitudinal yönünde bulunmuştur.

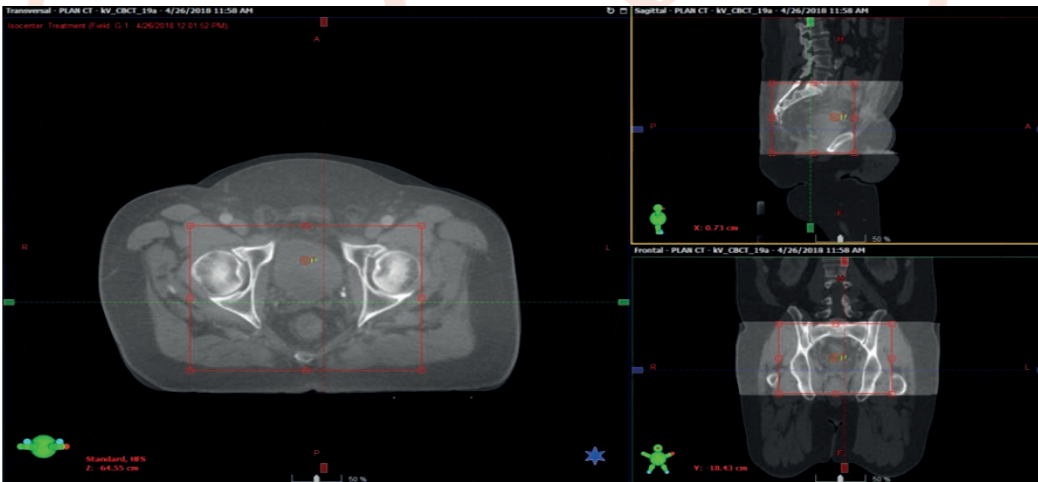
Sonuç : Çalışmadaki farklı IGRT yöntemlerinin sonuçları benzerdir. Prostat kanserinde kV-kV ve kV-CBCT yöntemleri arasında karşılaştırma yapıldığında görüntüleme dozunun daha düşük ve uygulama süresinin kısa olması sebebiyle kV-kV görüntüleme daha avantajlıdır. kV-CBCT görüntüleme ise hacimsel olarak yumuşak doku değerlendirmesi sağladığı için avantajlıdır. 6 boyutlu masa ise rotasyonel düzeltmelerin yapılabilmesi, set-up pratikliği ve doğruluğu açısından avantaj yaratmaktadır.

Anahtar Kelimeler: IGRT, Prostat kanseri, Set-up hataları, Sistematik hata, Rastgele hata.

Resim1. Offline Review' da kV-kV Otomatik Eşleştirme



Resim2. Offline Review' da kV-CBCT Otomatik Eşleştirme



Tablo 1. kV-kV Sistematik ve Rastgele Hatalar

kV-kV	Lat(mm)	Lon-g(mm)	Vrt(mm)	Pitch(°)	Rol-l(mm)	Yaw(°)
Sistematik Hata ±	6.8 ± 10.7	11.1±	2.9± 7.5	1.26±	0.88±	1.00±
Rastgele Hata		17.1		1.45	1.12	0.96

Tablo 2. kV-CBCT Sistematik ve Rastgele Hatalar

kV-CBCT	Lat(mm)	Lon-g(mm)	Vrt(mm)	Pitch(°)	Rol-l(mm)	Yaw(°)
Sistematik Hata ±	6.5 ± 11.6	10.8±	3.4 ± 8.2	1.61±	1.03±	1.03±
Rastgele Hata		18.4		1.69	1.05	1.00

Yayın No: P-06

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Prostat kanseri tedavisinde farklı planlama tekniklerinin ve hasta tabanlı kalite kontrol (QA) değerlerinin karşılaştırılması

Gizem Var<sup>1</sup>, Alpay Levent<sup>2</sup>, Tuba Bastan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>DPÜ Sağlık Bilimleri Üniversitesi Kütahya Evliya Çelebi Eğitim ve Araştırma Hastanesi

<sup>2</sup>Medideal Medikal Projeler ve Çözümler San. Tic. A.Ş.

Amaç : Kütahya Evliya Çelebi Eğitim ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniği'nde Varian Eclipse ( TPS; 13,7) Rapidarc lineer hızlandırıcı cihazı ile 15 prostat kanserli hastanın tedavisinde; 3 Botuylu Konformal Radyoterapi (3BKRT) , 5-7-9 alanlı Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (IMRT) ve tek-çift olmak üzere iki farklı Volümetrik Ayarlı Terapi (VMAT) uygulaması yapılarak, kritik organ dozlarının değerlendirilmesi

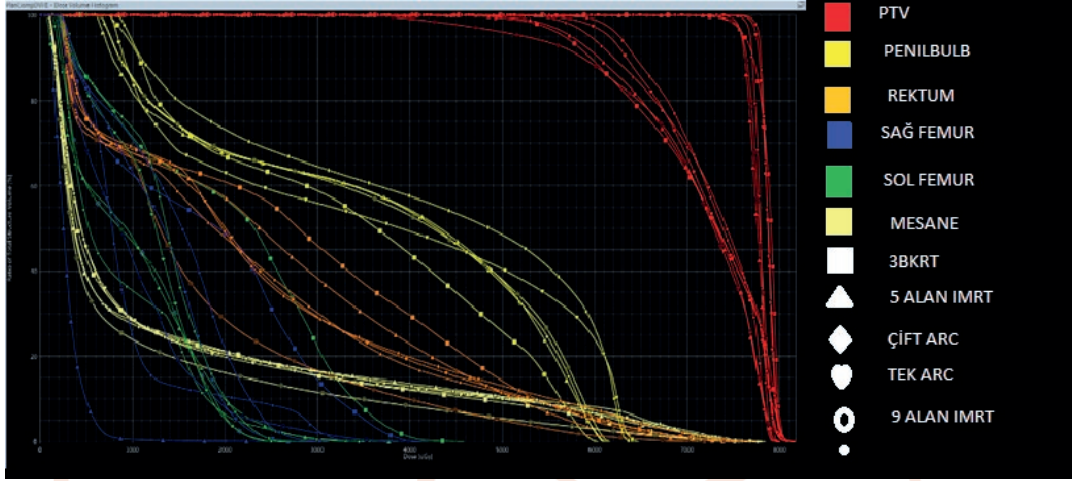
Gereç ve Yöntem : her bir teknik için kalite kontrol uygulamalarında kullanılan arccheck ile portal dozimetri(epid) sonuçlarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bulgular : PTV için Dmax en yüksek 3BKRT de en düşük ise 9 alan IMRT de görülmüştür. Mesanenin V65- V40 en yüksek değeri 3BKRT planında, en düşük değeri ise tek arc planında görülmüştür. Rektum V65 en yüksek değeri çift arc planında, en düşük değeri 9 alan IMRT planı ve V40ı için en yüksek değeri 3BKRT planında, en düşük değeri 9 alan IMRT planında görülmüştür. Sağ femur için V40 değeri en yüksek 3BKRT planında, sol femur için V40 değeri en yüksek 5 alan IMRT planında gözlenmiştir. Penilbulb en yüksek değeri çift arc planında ve en düşük değeri 5 alan IMRT planında gözlenmiştir. Portal dozimetri değerlendirmesi olarak en düşük Gamma değeri çift arc planında, en yüksek Gamma değeri 5 alan IMRT planında gözlenmiştir. Aynı şekilde arccheck diot dedektörü ile elde edilen en düşük değer tek arc planında, en yüksek değer ise 5 alan IMRT planında gözlenmiştir. Portal dozimetri ve arccheck yapılırken zaman açısından bakıldığında tek arc planının en kısa sürede tamamlandığı, 9 alan IMRT planının en uzun süreçte tamamlandığı gözlenmiştir.

Sonuç : Quantec doz sınırları mesane için; 65 Gy ? %25, 40 Gy ? %50, rektum için; 65 Gy ? %17, 40 Gy ? %35, femur başları için; 50 Gy ? %10, penilbulb için; Dort 52.5 Gy olarak verilmiştir. Riskli organ dozları açısından değerlendirme yapıldığında mesane için en iyi koruyuculuğu tek arc planı sağlarken çift arc planının yaklaşık değerinde olduğu gözlenmektedir. Rektum için en iyi koruyuculuğu ise 9 alan IMRT planında gözlemlenmektedir. Sonuç olarak VMAT tedavilerinin konformal veya IMRT tedavilerine göre belirgin bir üstünlüğü yoktur. Tedavilerin hastaya verilmiş süreleri yüksek doz hızına bağlı olarak VMAT tedavilerinde daha üstündür. Kalite kontrol değerlendirildiğinde dozimetrik doğrulama için geliştirilen sistemlerin birbirlerinin yerine kullanılmasının mümkün olduğu gözlenmektedir. Portal dozimetri kalite kontrolünün arccheck kalite kontrolüne göre çok daha kısa sürede TPS de hazırlanması Epid'in klinikte kullanılmasının daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: PROSTAT KANSERİ

DVH



Yayın No: P-07

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Radyoterapi tedavisi sonrası insan dişinin elastik özelliklerinin 320 mhz taramalı akustik mikroskop ile tanısı

İrem Demirkan<sup>2</sup>, Gökhan Yaprak<sup>3</sup>, Cemile Ceylan<sup>4</sup>, Emriye Algül<sup>3</sup>, Ceyda Tomruk<sup>5</sup>, Bükem Bilen<sup>2</sup>, Mehmet Burçin Ünlü<sup>2</sup>

<sup>2</sup>Boğaziçi Üniversitesi, Fizik, İstanbul

<sup>3</sup>İstanbul, Kartal Dr. Lütfi Kırdar Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, İstanbul

<sup>4</sup>Kocaeli Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği, Kocaeli

<sup>5</sup>Yeditepe Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi, Diş Hekimliği, İstanbul

**Amaç :** Radyoterapi, baş boyun kanserlerinin tedavisinde potansiyel iyileştirici bir kaynaktır. Tedavi hastaları iyileştirmede etkili sonuç vermesine rağmen, zaman içerisinde yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek şekilde yan etkiler ortaya çıkarabilir. İnsan dişinin elastik profilinde, radyoterapiden sonra diş komplikasyonları oluşması konusunda literatürdeki veriler hala tartışmalıdır. Önerilen çalışmanın amacı radyasyon tedavisinin ardından akustik ve non-invazif olarak dişte oluşan mekanik hasarın değerlendirilmesinde 320 MHz Taramalı Akustik Mikroskopü'nin (TAM) kullanılmasının ve ayrıca geri dönüşü olmayan diş hasarını engellemek için güvenli doz sınırlarının belirlenmesinde uygulanabilirliğini ortaya koymaktır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışma 320MHz'de çalışan mine ve dentini görüntülemeye yarayan 4.7 mikronluk bir yanal çözünürlük sağlayan Tarama Akustik Mikroskopisi (TAM) ile gerçekleştirildi. Mine ve dentin görünecek şekilde, yatay boyunca 1 mm kalınlığında kesilmiş toplamda çürüksüz 45 adet insan üçüncü molar dişlerinin akustik empedans değerleri ölçüldü. Çalışmada uygulanan her radyasyon doz grubu (kontrol, 2 Gy, 8 Gy, 20 Gy, 30 Gy ve 60 Gy) için 9 adet sağlam insan dişi görüntülenmiş ve akustik impedans değerleri nitel analiz yapmak için değerlendirilmiştir. Altın standard görüntüleme verisi olarak altı farklı radyasyon doz numunesinin emaye ve dentin morfolojisi 50000x büyütme seviyesinde Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile analiz edilmiştir. Kayıt edilen akustik empedans verileri, Tukey testi ve Mann-Whitney U uygulaması sonucunda elde edilen %5 anlamlılık düzeyinde anlamlı farklılıklar için test edilirken, SEM görüntüleri nitel olarak değerlendirildi.

**Bulgular :** Ölçülen akustik empedans değerlerinin analizi mine ve dentini ayırt etmeye yardımcı olurken, aynı zamanda radyoterapi tedavisinin artan doz miktarına göre değişimini de kantitatif olarak belirlemeye olanak sağlamıştır. Radyoterapi protokolü uygulandıktan sonra minedeki mikromekanik karakterde akustik empedans ölçümleriyle görülen değişiklikler sadece 30 Gy ve 60 Gy radyasyon gruplarında, ışınlama öncesi gruplara göre anlamlı bulundu (sırasıyla  $7.24 \pm 0.18$  MRayl ve  $6.49 \pm 0.28$  MRayl;  $p < 0.05$ ). Ek olarak, 20 Gy, 30 Gy ve 60 Gy radyasyon dozlarına maruz kalan dişler, dentin için ışınlanmamış gruba göre daha düşük akustik empedans değerleri Verdi (sırasıyla  $6.52 \pm 0.43$  MRay,  $5.71 \pm 0.66$  MRay ve  $4.82 \pm 0.53$  MRayl  $p < 0.05$ ).

**Sonuç :** Elde edilen veriler, yakın gelecekte TAM'ın radyoterapiden kaynaklanan mikromekanik değişimlerinin takibini hastaya zarar vermeyen güvenli bir akustik inceleme cihazı olarak efektif olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** baş boyun kanseri, ultrason, taramalı akustik mikroskopisi, diş, elastik özellikler



Yayın No: P-08

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Akciğer sbrt planlanan hastalarda normal doku ve qa sonuçları için hesaplama grid boyutunun etkisinin araştırılması

Sezgi Turan Eruğuz<sup>1</sup>, Züleyha Akgün<sup>2</sup>, Emre Merdan Fayda<sup>1</sup>, Hüseyin Sertel<sup>1</sup>, Salih Gürdallı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Liv Hospital, Radyasyon Onkolojisi, İstanbul

<sup>2</sup>Memorial Şişli Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, İstanbul

<sup>3</sup>Mnt Sağlık Hizmetleri, İstanbul

Amaç : Bu çalışmada farklı hesaplama grid boyutlarına göre planlanmış akciğer SBRT (Stereotaktik body radiation therapy) hastalarının, normal doku dozları ve dozimetrik farklılıkları karşılaştırıldı.

Gereç ve Yöntem : Kliniğimizde tedavi gören 10 adet akciğer SBRT hastası seçildi. Bu hastaların planları Eclipse planlama sistemi (v11), AAA (AnisotropicAnalyticalAlgorithm) ile ve 6X FFF enerjisi ile yapıldı. Planlar yapılırken PTV V100=%95, V102<%8 ve V50 dozunun PTV'nin 1 cm'ini geçmeyecek şekilde olmasına dikkat edildi. Yapılan planlar farklı hesaplama grid boyutları (1mm, 1,5mm, 2,5 mm) ile tekrar optimize edildi. Ardından tüm hastaların bilateral akciğer V20, ipsilateral akciğer V20, medullaDmax değerleri ile toplam MU değerleri karşılaştırıldı. Dozimetrik farklılığın görülmesi açısından MapCheck ile tüm planların QA'leri hazırlanarak, %3-3 mm ve %2-2mm kriterleri göz önünde bulundurularak elde edilen yüzdelik geçer değerleri karşılaştırıldı. Bağımlı örneklem t-testi kullanıldı, p>0.05 değeri istatistiksel olarak anlamlı sayıldı.

Bulgular : ; Bilateral akciğer için 1 mm ve 2.5 mm ile ölçülen değerler arasındaki fark istatistiksel anlamlı çıkarken(p: 0.01), ipsilateral akciğer için 1mm ile 1.5 mm hesaplama grid değerleri ile 1 ile 2.5 mm değerleri anlamlı olarak farklı gözlemlendi(p: 0.002, p:0.0008 sırasıyla). Medullaspinalis için değerlendirildiğinde 1 mm ve 2.5 mm arasında anlamlı fark bulunmuştur(p: 0.009). Mapcheck geçer yüzdesi ise 1 mm ve 1.5 mm hesaplama gridi ile ölçülen değerler arasında anlamlı olarak farklı gözlemlendi(p: 0.02).

Sonuç : 1 mm grid plan ile spinalcord dmax dozu anlamlı olarak artarken 1.5 mm grid plan daha uniform doz dağılımı sağlamakta ve daha doğru sonuçlar vermektedir.

Anahtar Kelimeler: SBRT, CALCULATION GRID SIZE, MAP CHECK, AKCİĞER

Normal Dokular için bulunan p değerleri

	1 mm ve 1.5 mm arasındaki p değeri	1 mm ile 2.5 mm arasındaki p değeri
Bilateral Akc V20	0,167	0,01
İpsilateral Akc V20	0,002	0,0008
MS Dmax	0,819	0,009
PTV V2 değeri	0,122	0,138
Toplam MU değeri	0,236	0,916

Map Check sonuçları için bulunan p değerleri

Yayın No: P-09

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Meme IMRT'sinde DVH değerlendirmesi akut cilt toksisitesini öngörebilmek için güvenilir bir yöntem midir?

Berat Tuğrul Uğurlu<sup>1</sup>, Fatma Aysun Eraslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Inonu University Turgut Ozal Medical Center

**Amaç :** Amaç: Meme kanseri radyoterapisinde en sık görülen akut yan etkilerden biri radyasyona bağlı akut cilt toksisitesidir. Ancak akut cilt toksisitesini yüksek doğrulukla öngörebilecek bir yöntem henüz geliştirilememiştir. Akut cilt toksisitesi ile ilişkili dozimetrik faktörleri belirlemede kullanılan en yaygın yol, doz hacim histogramı (DVH) analizidir. DVH analizi sadece teorik doz dağılımını gösterir; solunum hareketini, şekildeki değişiklikleri ve set-up hatalarını içermez. DVH analizine dayanan çalışmalara göre, öngörülen dozun %107'sini (V107) ve %110'unu (V110) alan doku hacmi, akut cilt toksisitesi ile ilişkilidir. Çalışmalarda Yoğunluk Ayarlı Radyoterapinin (IMRT) homojen doz dağılımı sağladığı görülmüştür ve IMRT ile tedavi edilen az sayıda hastada V107 ve V110 değerlerinin yüksek olduğu belirtilmiştir. Bununla birlikte, V107 ve V110'un akut cilt toksisitesi ile ilişkili olmadığına yönelik sonuçlar da yayınlanmaktadır. Bu nedenle, meme IMRT'si için akut cilt toksisitesini öngörmeye güvenilir bir metoda ihtiyaç vardır. Bu çalışma DVH bazlı cilt toksisitesi öngörme yöntemlerinin güvenilirliğini değerlendirmeyi amaçlamıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Gereç ve Yöntemler: Bu retrospektif analiz için erken evre sol meme kanserli 15 hasta seçildi. Tedavi belirsizliklerini göz önünde bulundurmak için, orijinal bilgisayarlı tomografi (BT) veri seti kopyalandı ve planlama hedef hacminin (PTV) çevresinde vücudun dışına doğru 5 ve 10 mm'lik meme dokusu eşdeğerinde ek doku (HU = -70) tanımlaması yapıldı. Böylelikle, BT0 (orijinal BT veri seti), BT5 (5 mm ek dokuya sahip) ve BT10 (10 mm ek dokuya sahip) olmak üzere 3 farklı BT veri seti elde edildi. 6MV fotonları kullanan yedi alanlı IMRT planı (plan0) BT0 veri seti üzerinde oluşturuldu, Aynı plan BT5 (plan5) ve BT10 (plan10) veri setlerinde yeniden hesaplandı. Tedavi dozu 25 fraksiyonda toplam 50 Gy'dir. Tüm planlar, PTV ortalama dozu tanımlanan dozun tamamını alacak şekilde normalize edilmiştir. Çalışmamızda V55, V60, V65 (sırasıyla 55, 60 ve 65 Gy alan hacimler (cc)) ve maksimum nokta dozu (Gy) rapor edilmiştir.

**Bulgular :** Bulgular: BT0 veri setinde hesaplanan tüm planlar planlama kriterimizi sağlamıştır. Ortalama maksimum nokta dozu en yüksek plan10'da 63.3 Gy (61.3-67.3), plan5 ve plan0'da ise sırasıyla 58.2 Gy (56.5-61.5) ve 54.8 Gy (54.1-55.6) olarak tespit edildi. V55 plan5'te 17.3 cc (2.8-40.4), plan10'da ise 100.7 cc (28.0-148.6) olarak tespit edildi. Plan10'da heterojen doz dağılımı görüldü (V60 5.4 cc (0.2-32.7) ve V65 0.1 cc (0-1.1)). Yüksek doz hacimleri özellikle deri bölgesinde görüldü.

**Sonuç :** Sonuç: Sonuçlarımız, meme IMRT'sinde cilt bölgesi etrafındaki doz homojenliğinin, hedef hacimdeki küçük değişikliklere karşı oldukça hassas olduğunu göstermektedir. Akut cilt toksisitesini öngörebilmek için dozimetrik bir kriter belirlemeyi amaçlayan çalışmalar tedavi belirsizliklerini göz önünde bulundurmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** IMRT, Acute skin toxicity, Breast radiotherapy, dosimetric parameter, DVH analysis

Yayın No: P-10

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

IMRT'de akı yumuşatma işleminin tedavi planı üzerindeki etkisi

Kamil Erkan Özgen<sup>1</sup>, Özlem Elmas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>1) Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler A.ş., İstanbul

<sup>2</sup>2) Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sağlık Uygulama Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Zonguldak

**Amaç :** Dinamik IMRT yöntemiyle hazırlanan tedavi planlarının, farklı X-Y yumuşatma değerleri ile planlanarak; bu yumuşatma işlemlerinin, toplam MU değerleri ve riskli organların aldığı dozlar üzerine etkisi incelenmiştir.

**Gereç ve Yöntem :** Reçetelendirilmiş dozu 38 fraksiyonda 76 Gy olan planlar, Varian Eclipse (ver.8,9) tedavi planlama sisteminde (TPS) 9 alanlı dinamik IMRT tekniği ile planlanmıştır. Klinik açıdan onaylanıp, kalite kontrol testleri yapılarak dozimetrik olarak doğrulanmış olan; tedavileri bitmiş 10 adet prostat kanseri tanılı hastanın tedavi planları kullanılmıştır.

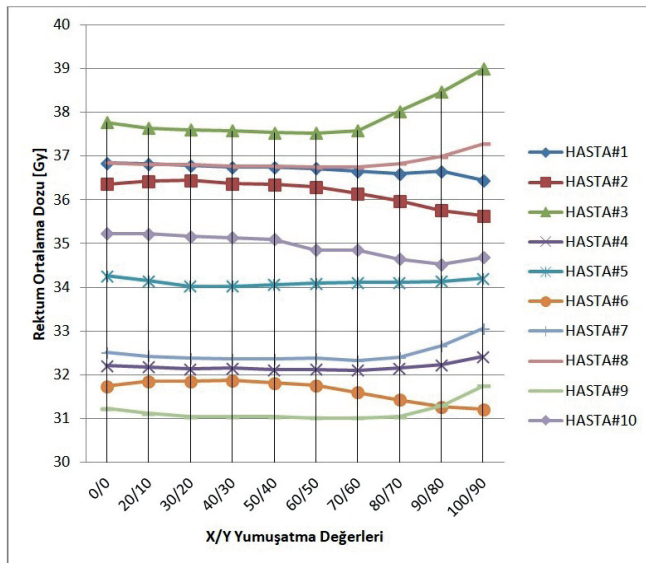
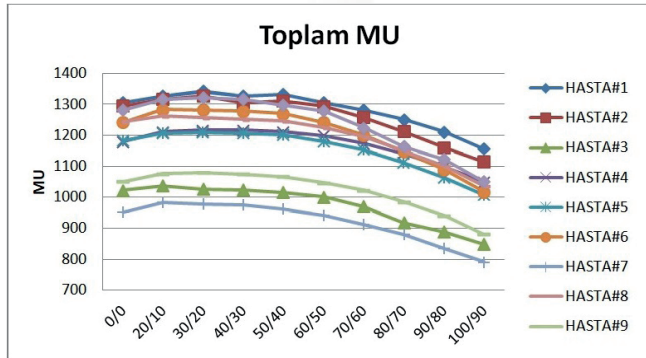
DVO (Dose Volume Optimizer) algoritması ile yapılan optimizasyon işlemi esnasında klinik protokolü olarak uygulanan  $X=40$  ve  $Y=30$  yumuşatma parametreleri kullanılmış olan bu planlar referans olarak alınıp, 0 ile 100 arasında değişen farklı  $X$ - $Y$  yumuşatma parametreleri kombinasyonları ile yeniden optimize edilmiştir. Optimizasyon sonrası elde edilen akıya bağlı olarak yaprak hareketleri LMC (Leaf Motion Calculator) programı ile hesaplanmış ve PBC (Pencil Beam Algorithm) algoritması ile 3 boyutlu doz elde edilmiştir.

**Bulgular :** Toplam MU değerleri ile rektum ve mesane gibi öncelikli kritik organların V40, V65 ve ortalama doz değerleri elde edilmiştir.  $X=0$  ve  $Y=0$  yumuşatma parametreleri uygulanan planlarda elde edilen toplam MU değerlerinin 10 hasta için ortalaması 1175,5 MU iken; parametreler  $X=100$  ve  $Y=90$  iken ortalama 995,4 MU'dur. Her hasta için tek tek bakıldığında planların toplam MU değerlerinin,  $X=20/Y=10$  ile  $X=30/Y=20$  kombinasyonlarıyla optimize edilen planlarda en yüksek olduğu görüldü. Rektum ortalama dozu; parametreler:  $X=0/Y=0$  iken 34,500 Gy,  $X=40/Y=30$  iken 34,405 Gy ve  $X=80/Y=70$  iken ise 34,320 Gy'dir. Aynı şekilde 10 hastanın tedavi planlarından elde edilen mesane ortalama dozlarının ortalaması; parametreler:  $X=0/Y=0$  iken 25,523 Gy,  $X=40/Y=30$  iken 25,377 Gy ve  $X=80/Y=70$  iken ise 25,428 Gy'dir. Rektum ve mesanenin, uygulanan her parametre kombinasyonunda oluşan planlar ile elde edilen V40 ile V65 değerleri de göz önünde bulundurulmayacak şekilde farklılıklar göstermektedir.

**Sonuç :** Akı yumuşatma parametrelerinin değiştirilmesi (özellikle  $X$  yönünde yumuşatma ile düşük MU değerine sahip olmak), plan kalitesinde değişikliklere sebep olduğu ve verilerin değerlendirilmesi ile de tedavinin istenilen optimum değerlerden uzaklaştığı öngörülüyordu. Kendi kliniğimizde yaptığımız bu çalışmada tedavide verilen toplam MU değerleri ile kritik organ dozlarını değerlendirdik. Sonuç olarak yumuşatma işlemi arttırıldığında toplam MU değerlerinin azaldığını; kritik organ dozlarının anlamlı bir şekilde değişiklik göstermediğini tespit ettik.

**Anahtar Kelimeler:** IMRT, Akı, Optimizasyon, Prostat, MU

toplam MU ve rektum ortalama dozu



toplam MU ve rektum ortalama dozunun  $X$ / $Y$  yumuşatma değerlerine göre değişimi



Yayın No: P-11

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Meme CA hastalarında VMAT (volumetrik ayarlı ARK terapi) tedavi tekniğinde skin flash tool yaratılarak kritik organ dozlarına etkisinin kıyaslanması

Taylan Yıldırım<sup>1</sup>, Alpay Levent<sup>1</sup>, Ceren Ezgi Erdoğan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler San. Tic. A.ş. (medigroup)

**Amaç :** Meme kanseri hastalarının volüm ayarlı ark terapi (Volumetric Modulated Arc Therapy = VMAT) planlama tekniğinde 1 izomerkez - 2 yarım ark yapılan planlarında, hedef hacmi güvence altına almak ve cilt dozunu arttırmak için yaratılan skin flash tool'un kritik organ dozlarına yaptığı etkinin araştırılması amaçlanmıştır.

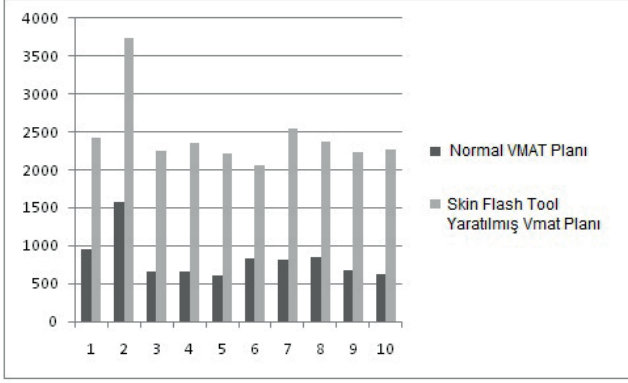
**Gereç ve Yöntem :** Konturlama üzerinden yaratılan yardımcı yapılar sayesinde VMAT planı yaparken skin flash tool yaratılması sağlanarak, Sivas Numune Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Kliniğinde meme kanseri tanısı konan 10 hastaya Varian Cinac IX cihazına bağlı Eclipse tedavi planlama sisteminde (TPS), VMAT tekniğinde, 600MU dose rate ile 1 izomerkez - 2 yarım ark planlaması yapılmıştır. Skin flash tool kullanılarak yapılan plan ile kullanılmamış VMAT planının karşılaştırılmasında, akciğerde V20, V10, V5 ve mean dozlarına; kalpte V25, V5 ve mean; PTV cilt hacminde minimum ve mean; PTV hacminde mean dozlarına ve PTV homojenite indeksine (HI) bakılmıştır. Skin flash tool yaratılırken aşağıdaki basamaklar takip edilmiştir; - Mevcut CT görüntüsü kopyalanmış, planlamada hedef olarak kabul edilen PTV hacmine vertical ve lateral yönlerde 1cm marj verilerek yeni bir PTVcrop oluşturulmuştur. - Oluşturulan PTVcrop, eski PTV hacminden çıkarılarak cilt üzerinde 1cm kalınlıkta kontrol hacmi yaratılmıştır. Yaratılan kontrol hacmine -1000HU değeri atanarak o bölgenin hava olarak görülmesi sağlanmıştır. - Body tanımlanan tüm kontrol hacmini de içerisine alacak şekilde genişletilmiştir. Planlama, hedeflenen hacimler üzerinden optimize edilirken, optimizasyona yalnızca yaratılan kontrol hacmi de katılmış, bunun üzerinden cihazın skin flash tool kullanılmış gibi davranış göstermesi sağlanmıştır.

**Bulgular :**

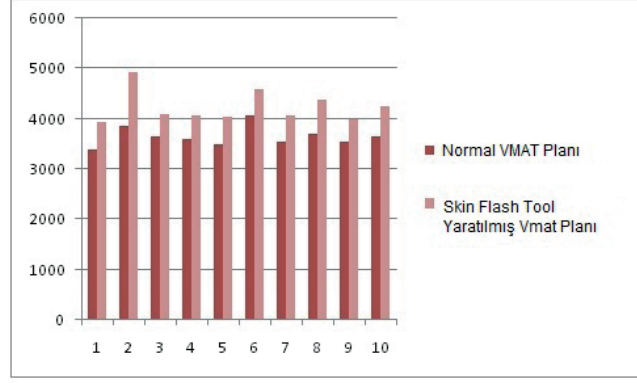
**Sonuç :** Bu çalışmada, meme kanseri tanısı konan hastalara, 25 fraksiyonda 5000cGy doz verilecek şekilde VMAT tedavisi planlanmış, daha sonra aynı hastalara yaratılan yardımcı yapılar ile VMAT planları yeniden tekrarlanarak cilde skin flash tool kullanılması sağlanmıştır. Her iki teknikte de kritik organ değerleri kabul sınırları içinde olup sonuç olarak tümör volüm ve kritik organ dozları açısından her iki teknik arasındaki farklara bakılmıştır. Skin flash tool yaratılarak yapılmış VMAT planlarında hedeflenen meme dokusunun alan içerisinde kalması kesin sağlanırken, akciğer ve kalp hacimlerinde avantaj sağladığı kesin olarak söylenememektedir. Bazı hasta planlamalarında dozlar düşerken, bazı planlamalarda dozların yükseldiği gözlenmiştir. Skin flash tool planlarının asıl avantajı 3mm'lik ve 5mm'lik cilt minimum ve mean dozları üzerinde olmuştur. Tüm planlarda cilt dozlarının minimumları ortalama 2,5 katı kadar, cilt ortalama dozları ise 1500cGy kadar artmıştır. PTV hacmine ait mean dozları ve homojenite indekslerine bakıldığı zaman ise; skin flash tool kullanıldığında ortalamanın yükseldiği ve homojenitenin bozulduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Meme Kanseri, VMAT, Kalp, Akciğer, Skin Flash Fool

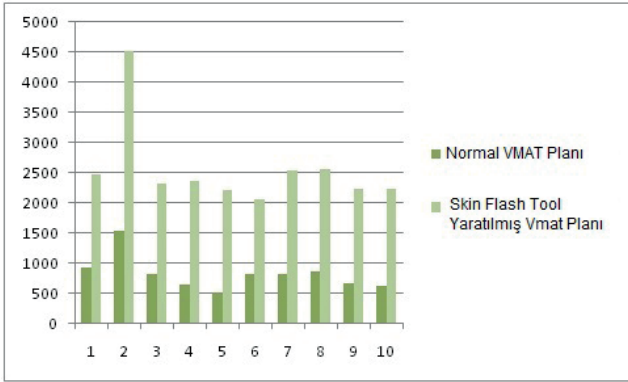
## Sonuçlara Ait Grafikler



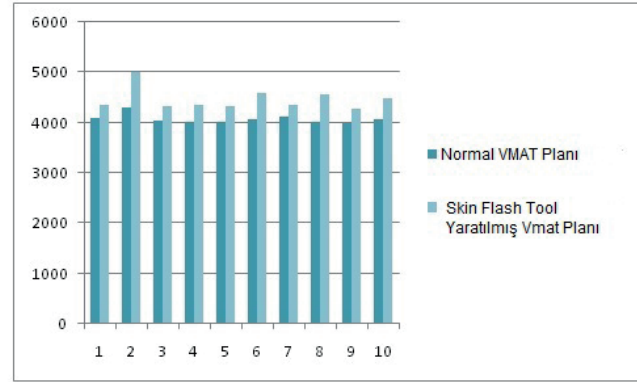
Grafik 1 – PTV 3mm cilt dozunun normal VMAT planı ve yaratılan skin flash tool ile yapılan yeni VMAT planlarına ait PTV minimum dozları



Grafik 2 – PTV 3mm cilt dozunun normal VMAT planı ve yaratılan skin flash tool ile yapılan yeni VMAT planlarına ait PTV mean (ortalama) dozları

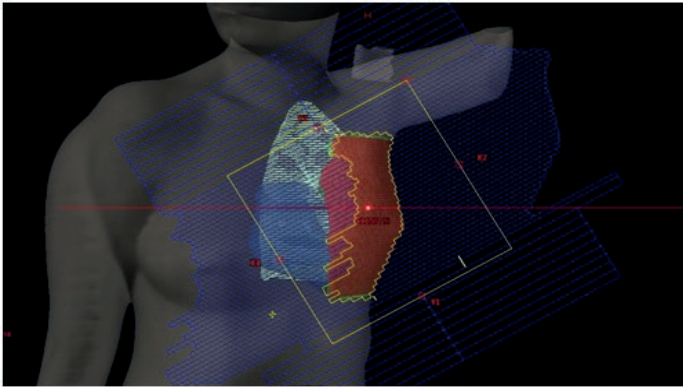


Grafik 3 – PTV 5mm cilt dozunun normal VMAT planı ve yaratılan skin flash tool ile yapılan yeni VMAT planlarına ait PTV minimum dozları

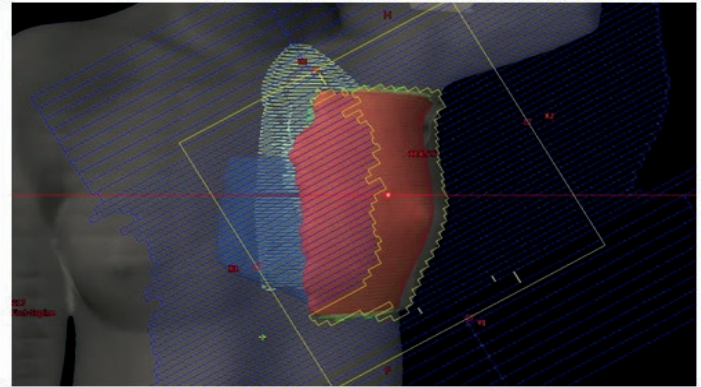


Grafik 4 – PTV 5mm cilt dozunun normal VMAT planı ve yaratılan skin flash tool ile yapılan yeni VMAT planlarına ait PTV mean (ortalama) dozları

## Planlamaya Ait Görüntüler



Şekil 1 – Hedeflenen meme hacmine ait VMAT planı görüntüsü



Şekil 2 – Hedeflenen meme hacmine ait skin flash tool yaratılmış VMAT planı görüntüsü

Yayın No: P-12

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Prostat Ca hastalarının stereotaktik vücut radyoterapisi için elektronik portal görüntüleme sistemi tabanlı in vivo doz doğrulaması

Yağız Yedekçi<sup>1</sup>, Fatih Biltekin<sup>1</sup>, Gökhan Özyiğit<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara

**Amaç :** Bu çalışmada, stereotaktik vücut radyoterapisi (SBRT) ile tedavi edilen prostat kanserli hastalarda elektronik portal görüntüleme tabanlı 3 boyutlu in vivo dozimetrenin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

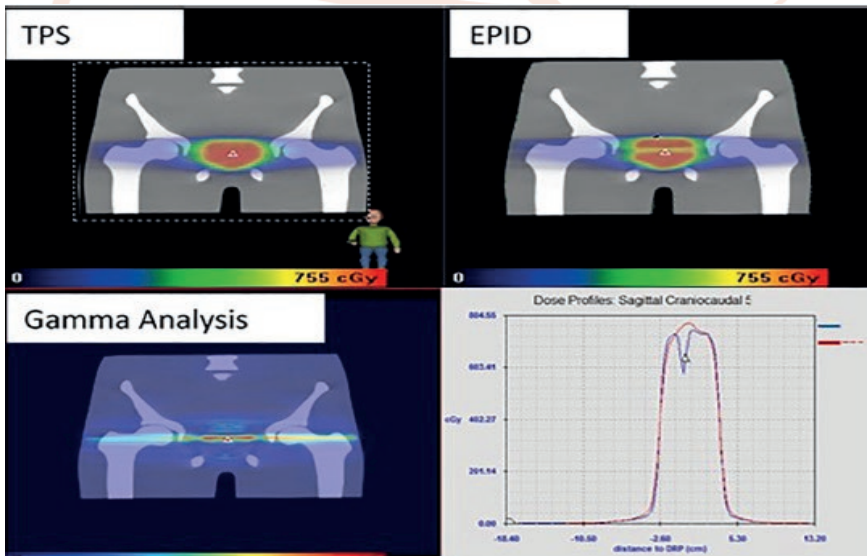
**Gereç ve Yöntem :** Çalışmamız iki kısımdan oluşmaktadır. İlk aşamada, SBRT ile tedavi edilen on prostat Ca hastasının 3 boyutlu EPID tabanlı in vivo ölçümleri tüm fraksiyonlarda alınmıştır. Gama analizi ile in vivo ölçümler değerlendirilmiştir. Gama analizi sonuçları, kritik ve hedef yapılar için tanımlanan referans noktalara ait doz değerleri kayıt edilmiştir. İkinci aşamada ise EPID tabanlı 3 boyutlu in vivo dozimetre ile detekte edilebilecek hatalar BrainLab pelvis fantomunda (BrainLab Medical Systems, Westchester, IL) alınan ölçümler ile araştırılmıştır. Bu hata senaryoları doz kalibrasyon hatasından, hasta pozisyonuna bağlı setup hatalarından, kolimatör hatalarından, MLC pozisyon hatalarından ve hasta anatomisine bağlı hatalardan oluşmaktadır. Setup hataları bilinçli olarak fantomu üç farklı yönde farklı miktarlarda kaydırarak oluşturulmuştur. MLC pozisyon hatası bir MLC çiftini kapatarak yapılmıştır. Hastadaki kilo değişimlerini simüle etmek amacıyla fantom üzerine farklı kalınlıklarda bolus yerleştirilmiştir. Kolimatör hatası, kolimatör açısını 0.5, 2 ve 5 derece değiştirerek yapılmıştır. Ayrıca bu hatalar tedavi planlama sistemine girilerek doz hacim histogramlarındaki meydana getirdikleri değişimler incelenmiştir. Sonuçlar orjinal plan olarak adlandırılan hatasız tedavi planı ile karşılaştırılmıştır.

**Bulgular :** On hastanın ortalama gama analizi (ykrk6% ykrk301) geçme oranı %96,2 olarak bulunmuştur(tablo1). Ek olarak, CTV rektum, mesane, sol ve sağ femur başları için tedavi planlama sisteminden elde edilen ve ölçülen doz arasındaki fark sırasıyla % 1.4, % 8, % 20.8, % 2.3 ve % 4.5 olarak bulunmuştur. Fantom ölçümleri ise hasta pozisyonuna bağlı hataların ve kolimatör açısına bağlı hatalarının tespitten kaçabileceğini göstermiştir(tablo2). Bu hataların DVH parametrelerinin incelenmesi sonucu kabul edilemez tedavi planlarına sebep olduğu görülmüştür(tablo3). Bununla birlikte, linak kalibrasyonu, MLC pozisyonları(şekil2) ve hasta anatomisine bağlı hatalar prostat SBRT ışınlamalarında EPID tabanlı 3 boyutlu in vivo ölçüm sonuçları gama analizinden geçememiştir.

**Sonuç :** EPID tabanlı 3 boyutlu in vivo doz ölçümleri ile prostat SBRT tedavileri için doz dağılımının doğruluğu konusunda etkili bir güvenlik kontrolü sağlamaktadır. Ancak, fantom sonuçları sistemin bazı sınırlamaları olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** in vivo dozimetri, SBRT, EPID

Şekil1 MLC hatasına ait gama analizi sonucu





Tablo3 Yapılan hataların DVH parametreleri üzerindeki etkisi

	$\Delta$ PTV D95% (%)	$\Delta$ Mesane D5cc (%)	$\Delta$ Rektum D1cc (%)
1 cm sol	-19,5	-0,8	-5,6
2 cm sol	-46,7	-2,0	-16,9
5 cm sol	-74,9	-33,4	-45,1
1 cm anterior	-29,9	2,5	-36,8
2 cm anterior	-61,5	3,9	-65,6
5 cm anterior	-84,6	8,4	-84,9
1 cm superior	-34,3	5,6	-40,7
2 cm superior	-87,9	6,9	-44,2
5 cm superior	-98,8	7,8	-62,9
0.5 kolimator	-0,3	-0,8	0,0
2 kollimator	-6,2	-0,8	0,3
5 kollimator	-12,4	-0,8	0,0
%1 doz farkı	0,9	0,3	0,9
%2 doz farkı	2,1	1,4	2,1
%5 doz farkı	5	4,5	5,3
1 cm bolus	-5,6	0,0	0,3
2 cm bolus	-11,2	0,0	0,6

eksi işaret azalan dozu ifade etmektedir

Tablo1 Hastalara ait gama analizi sonuçları

Hastalar	Ortalama gama	gama %1	gama< %1	Plan(- Gy)	İzomerkez Dozu EPID(Gy)	%fark
1	0.4	1.3	95.0	7.4	7.6	2.7
2	0.4	0.8	99.7	7.3	7.3	0.3
3	0.5	1.3	93.6	7.4	7.4	0.3
4	0.5	1.7	95.5	7.4	7.5	1.3
5	0.4	1.1	97.9	7.3	7.6	3.6
6	0.5	1.6	92.7	7.4	7.6	2.2
7	0.4	1.0	99.0	7.4	7.3	1.2
8	0.3	0.8	99.9	7.5	7.6	0.8
9	0.3	0.7	100.0	7.3	7.4	0.5
10	0.4	1.0	98.7	7.4	7.3	0.6

Tablo2 Fantom ölçümlerine ait gama analizi sonuçları

Orjinal Plan	Gama Analizi Sonucu	İzomerkezde doz farkı%	İzomerkez Dozu(Gy)
5 cm sol	98.3	1.8	7.7
5 cm anterior	86.7	4.0	7.9
5 cm superior	67.7	7.5	8.1
1 cm Sol	97.7	1.9	7.7
2 cm Sağ	96.8	2.2	7.7
1 cm superior	94.5	3.2	7.8
2 cm superior	86.1	4.4	7.9
1 cm anterior	97.7	2.1	7.7
2 cm anterior	97.4	2.7	7.8
doz hızı 1400	98.0	1.9	7.7
doz hızı 100	96.6	1.6	7.7
doz hızı 300	98.0	1.9	7.7
0.5 kolimatör	98.1	1.9	7.7
2 kolimatör	98.3	1.9	7.7
5 kolimatör	97.8	1.9	7.7
%1 doz farkı	97.5	3.0	7.8
%2 doz farkı	93.3	3.9	7.9
%5 doz farkı	71.2	7	8.1
1 cm bolus	92.4	-1.3	7.5
2 cm bolus	75.5	-4.1	7.3

Tablo2 Fantom ölçümlerine ait gama analizi sonuçları

Yayın No: P-13

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Üç boyutlu brakiterapi planlamaları ile iki boyutlu (a noktası) planlamaların doz karşılaştırmaları

Erhan Dışçi<sup>1</sup>, Hilal Acar Demir<sup>1</sup>, Yaprak Erözmen<sup>1</sup>, Mine Doyuran<sup>1</sup>, Pelin Çetin<sup>2</sup>, Esra Serin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı, İstanbul

<sup>2</sup>Medipol Mega Üniversite Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü, İstanbul

Purpose : Çalışmada 12 adet tandem-ovoid uygulaması yaptığımız hastaların 3 boyutlu brakiterapi planlamalarına karşılık, iki boyutlu teknikteki "A noktası" kapsayacak şekilde yeni planlamalar yapılarak doz farklılıklarının karşılaştırılması amaçlandı.

Materials and Methods : Her hastanın her fraksiyonu için yeni çekilen planlama tomografilerine HR CTV, IR CTV, REKTUM, MESANE VE SIGMOID konturlamaları yapıldı. 3 boyutlu brakiterapi planlamalarında GEC Estro kriterlerine dikkat edildi. Her 3 boyutlu brakiterapi planlamasına karşılık 2 boyutlu planlamalar yapılarak karşılaştırıldı. Reçetelendirilen tedavi dozları (550 cGy x 5 =2750 cGy) idi. 2 boyutlu planlamalarda reçetelendirilen dozun "A Noktası"ndan geçmesi sağlandı. "A Noktası", ovoidlerin 2cm yukarısı ve tandem 2cm sağ ve solunda olacak şekilde belirlendi (ICRU38). Tedavi planlamaları

Eclipse 13.V ile yapıldı.

Result : Yapılan tüm planlamalar ve karşılaştırmalar sonucunda, A noktasının baz alındığı 2 boyutlu brakiterapi planlamalarında HR CTV nin istenilen tedavi dozunun yaklaşık %50'sinin üzerinde doz aldığı görüldü. Buna bağlı olarak kritik organ dozlarının da, GEC Estro kriterlerinin çok üzerinde dozlar aldıkları görüldü. Üç boyutlu planlamaya göre mesane (dmax %57, 2cc %57, 1cc %57), rektum (dmax %57, 2cc %59, 1cc %58) ve sigmoid (dmax %63, 2cc %62, 1cc %62) oranlarında daha fazla doz değerleri olduğu görüldü.

Conclusion : A noktasından reçetelendirilen dozun izodoz eğrisi geçirildiğinde hedeflenen hacmin gerekenden fazla doz aldığı ve buna bağlı olarak kritik organların da yüksek dozlar aldıkları saptandı. Çalışmanın sonucunda üç boyutlu brakiterapi planlamalarının eskiden kullanılan A noktası tekniğe göre daha konformal tedavi sonuçları verdiği görüldü.

Anahtar Kelimeler: Brakiterapi, A noktası.

Yayın No: P-14

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Akciğer radyoterapisinde düzleştirici filtreli ve düzleştirici filtresiz radyoterapi tekniklerinin tedavi volümü boyutuna göre karşılaştırılması

Burak Şengül<sup>1</sup>, Alaettin Arslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kayseri Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, Kayseri

Amaç : Standart Lineer Akseleratörlerde, Düzleştirici Filtrenin (DF) kaldırılması ile elde edilen Düzleştirici Filtresiz (DFSZ) radyasyon demetlerinin Radyoterapide (RT) kullanımı hızla artmakla birlikte klinik kullanımının getirileri araştırma konusu olmaktadır. DF'nin kaldırılması ile oluşan uniform olmayan doz dağılımına sahip demetlerin, standart olarak kullanılan uniform doz dağılımlı demetlere göre farklılıkları incelenecektir. Bu farklılıklar, farklı tedavi volümlerine (PTV) sahip akciğer hastalarının tedavi planlarında karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırmada tedavi planlarındaki Monitör Unit (MU) değerlerinin, kritik organ dozlarının ve tedavi alanı değerlendirme kriterlerinin istatistiksel farklılıkları baz alınacaktır.

Gereç ve Yöntem : Çalışmamızda, Varian medikal sistemlerinin Eclipse 15.1 versiyon tedavi planlama sistemi kullanılmıştır. Daha önceden tedavisi tamamlanmış olan 20 hasta tedavi volümlerine göre A ve B grubu olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. A grubunda bulunan hastaların tedavi volümlerinin ortalaması 214,61cc (69,1cc-388cc)'dir. B grubunun tedavi volümlerinin ortalaması 1516,6cc (1044cc-3030cc)'dir. Tüm hastalara DF ve DFSZ demetler kullanılarak iki ayrı Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART) planı yapılmıştır. Planlamalarda 5-9 arasında tedavi alanları kullanılmıştır. Fraksiyon başına 2 Gy'den toplamda 60 Gy doz tanımlanmıştır. Akciğer kanseri planlamalarındaki genel kriterler sağlanmaya çalışılmıştır. Optimizasyon hedefleri her iki teknik için de aynı tutulmuştur. İki farklı tekniğin karşılaştırılmasında parametrik olmayan ikili karşılaştırma testi olan Wilcoxon Signed Rank testi kullanılmıştır (Anlamlılık p<0,05).

Bulgular : A ve B grubu için oluşturulan YART-DF ile YART-DFSZ planlarından elde edilen verilerin ortalama± standart sapma ve anlamlılık değerleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmiştir. Her iki grup için PTV'nin D%2(Gy), %98(Gy), D%50(Gy), Homojenite (HI) ve Konformite İndeksi (CI) verilerine bakıldığında iki teknik arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık görülmedi. Kritik organ dozları değerlendirildiğinde, sadece akciğerlerin V20(%) değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmakla beraber bu farklar çok büyük değildi. MU değerleri karşılaştırıldığında YART-DFSZ tekniğindeki değerlerin, YART-DF tekniğindeki değerlere göre daha büyük olduğu görüldü. DFSZ tedavi planlarının MU değerlerinin daha çok olmasının ışın profilindeki farktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç : Standart bir linaktan filtrenin çıkarılması, doz hızının artışına, filtereden kaynaklanan saçılmaların azalmasına, ışın alanı merkezinden kenarlara doğru ışın yoğunluğunun azalmasına ve üniform olmayan ışın profili oluşmasına neden olmaktadır. Bu değişimlerin, büyük ve küçük tedavi alanları ışınlanmasında ne gibi farklılıklar getireceği araştırılmıştır. Akciğer kanserinin standart fraksiyone radyoterapisinde, büyük ve küçük tedavi volümleri için DFSZ ve DF tekniklerinin kullanımı arasında önemli bir fark görülmemiştir.

Anahtar Kelimeler: Akciğer Radyoterapisi, Düzleştirici Filtreli, Düzleştirici Filtresiz



Tablo 1 : A Grubu

Parametreler	YART-DF Ortalama St. Sapma	YART-DFSZ Ortalama St. Sapma	YART-DF vs. YART-DFSZ
PTV D%2 (Gy)	62.61 ±0,73	62.63 ±0,66	0.646
PTV D%98 (Gy)	59.26 ±0,35	59.22 ±0,33	0.44
PTV D%50 (Gy)	61.45 ±0,51	61.46 ±0,44	0.721
HI	0.054 ±0,014	0.055 ±0,013	0.285
CI	1.11 ±0,13	1.12 ±0,13	0.515
Spinal Kord D-Mak(Gy)	30.92 ±9,05	30.16 ±10,32	0.066
Akciğer V20 (%)	18.43 ±9,03	17.87 ±8,85	0.005
Akciğer V5 (%)	46.35 ±11,07	45.21 ±10,51	0.093
Akciğer Ortalama (Gy)	10.88 ±3,38	10.62 ±3,21	0.090
Kalp V40 (%)	3.21 ±3,83	3.01 ±3,64	0.180
Kalp Ortalama (Gy)	7.05 ±5,51	6.93 ±5,54	0.114
Özefagus Ortalama(Gy)	18.22 ±6,84	18.08 ±6,90	0.126
Norma Doku V5Gy (%)	23.33 ±9,53	22.53 ±9,18	0.12
Monitor Unit	869 ±199	1018 ±221	0.005

A grubu PTV<500cc

Tablo 2 : B Grubu

Parametreler	YART-DF Ortalama St. Sapma	YART-DFSZ Ortalama St. Sapma	YART-DF vs. YART-DFSZ
PTV D%2 (Gy)	63.12 ±0,71	63.16 ±0,70	0.413
PTV D%98 (Gy)	58.82 ±0,53	58.73 ±0,33	0.139
PTV D%50 (Gy)	61.85 ±0,62	61.89 ±0,63	0.76
HI	0.069 ±0,01	0.072 ±0,01	0.285
CI	1.03 ±0,04	1.04 ±0,04	0.241
Spinal Kord D-Mak(Gy)	37.76 ±4,04	37.73 ±4,37	0.799
Akciğer V20 (%)	29.65 ±5,91	28.81 ±5,74	0.005
Akciğer V5 (%)	76.09 ±16,53	75.92 ±16,8	0.241
Akciğer Ortalama (Gy)	17.63 ±2,77	17.48 ±2,73	0.093
Kalp V40 (%)	16.34 ±9,31	16.22 ±8,75	0.260
Kalp Ortalama (Gy)	20.47 ±8,23	20.31 ±8,79	0.307
Özefagus Ortalama(Gy)	24.41 ±5,12	24.31 ±5,12	0.386
Normal Doku V5Gy (%)	49.99 ±14,80	49.49 ±15,12	0.169
Monitor Unit	1443 ±368	1731 ±489	0.007

B grubu PTV>1000cc

Yayın No: P-15

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Akciğer CA hastalarının VMAT (volumetrik ayarlı ark terapi) tekniği ile yapılan planlarında oluşturulmuş yardımcı yapının (shell) kritik organ dozlarına etkisi

Taylan Yıldırım<sup>1</sup>, Ceren Ezgi Erdoğan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler San. Tic. A.ş. (medigroup)

**Amaç :** Akciğer kanseri hastalarında volümetrik ayarlı ark terapi (VMAT) planlama tekniğinde 1 izomerkez – 2 yarım tur ve 1 izomerkez - 2 tam tur planlarında yardımcı yapı (shell) çizilerek kritik organ dozları üzerinde doz kontrolünün sağlanması, hedef hacmin doz dağılımının homojen hale getirilmesi ve kritik organ dozlarının düşürülmesi amaçlanmıştır.

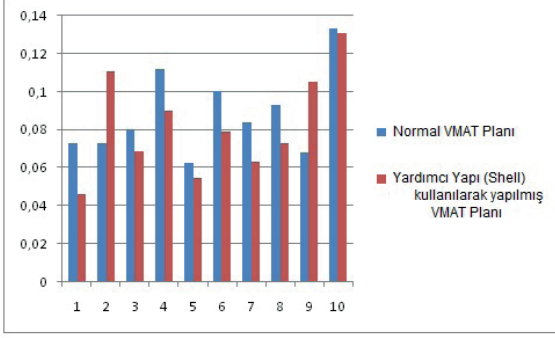
**Gereç ve Yöntem :** Akciğer kanseri tanısı konan hastalara Varian Clinac IX cihazına bağlı Eclipse planlama sisteminde, 600MU dose rate ile 1 izomerkez – 2 yarım tur ve 1 izomerkez – 2 tam tur tekniklerinde VMAT planlaması yapılmıştır. Mevcut CT görüntüleri üzerine konturlama yapılarak çizilen yardımcı yapılar (shell) kullanılarak yeni bir planlama zemini yaratılmış ve VMAT planları yenilenmiştir. Bu iki VMAT planlamasının kıyaslamasında kalbe ait V25, V5 ve mean dozlarına; akciğere ait V20, V10, V5 ve mean dozlarına; PTV homojenite indeksine ve PTV mean dozlarına bakılmıştır. Yardımcı yapı (shell) çizilirken aşağıdaki basamaklar takip edilmiştir; - PTV hacminden başlayarak Shell 1 için 1cm marj, Shell 2 ve Shell 3 için 1,5cm'lik marj, Shell 4 ve Shell 5 için 2,5cm'lik marjlar uygulanarak 5 ayrı shell çizdirilmiştir. - Çizdirilen tüm bu shell'ler crop yapılarak birbirinden çıkarılmış ve doz kontrolü sağlamak için bağımsız 5 bölge oluşturulmuştur. - Optimizasyon yapılırken oluşturulan her bölgenin maksimum dozu ve ortalama (mean) dozu hesaplamaya katılmış, dozlar kademeli olarak aşağı çekilmiştir.

**Bulgular :**

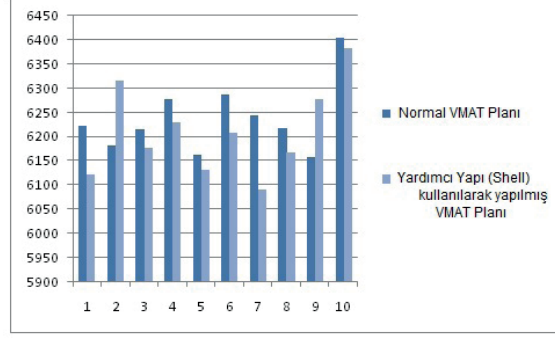
**Sonuç :** Bu çalışmada akciğer kanseri tanısı konan hastalara, 30 fraksiyonda 6000cGy doz verilecek şekilde VMAT tedavisi planlaması yapılmıştır. Planlamalar, çizilen yardımcı yapı ile tekrarlanarak kıyaslandığında, yardımcı yapının (shell) doz kontrolleri üzerinde çok etkin olduğu, PTV mean dozlarını düşürdüğü, PTV'ye ait homojenite indeks hesaplarının daha düşük olduğu görülmüştür. Bununla beraber kalp ve akciğere ait karşılaştırılan tüm parametrelerde anlamlı bir düşüş de sağladığı tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akciğer CA, VMAT, Kalp, Akciğer, Shell, Homojenite indeks

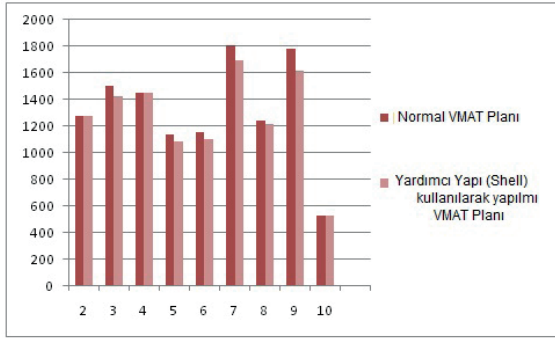
## Sonuçlara Ait Grafikler



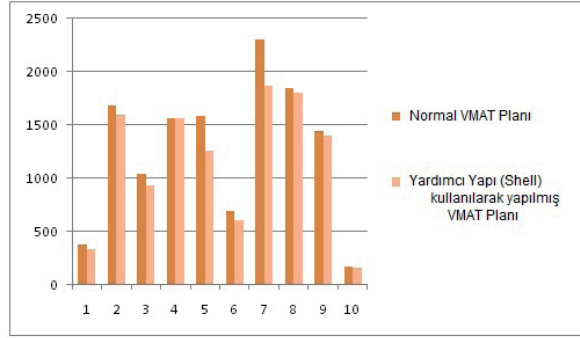
Grafik 1 – Normal VMAT planı ile yardımcı yapı (shell) oluşturularak yapılmış VMAT planlarına ait PTV HI hesap sonuçları



Grafik 2 – Normal VMAT planı ile yardımcı yapı (shell) oluşturularak yapılmış VMAT planlarına ait PTV mean dozları



Grafik 3 – Normal VMAT planı ile yardımcı yapı (shell) oluşturularak yapılmış VMAT planlarına ait akciğer mean dozları



Grafik 4 – Normal VMAT planı ile yardımcı yapı (shell) oluşturularak yapılmış VMAT planlarına ait kalp mean dozları

Yayın No: P-16

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Akciğer tümörlerinde stereotaktik radyoterapi uygulama yöntemlerinde kritik organ doz hacim parametrelerinin karşılaştırılması

Mehmet Sinan Karabey<sup>1</sup>, Berna Tirpanci<sup>1</sup>, Aysegul Karabey<sup>1</sup>, Gorkem Aksu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi AD, Kocaeli

Amaç : Bu çalışmanın amacı; hacim ayarlı kısmi ark tedavi yönteminin PTV ve kritik organ dozları üzerine etkisini diğer tedavi planlama yöntemleri ile karşılaştırmaktır

Gereç ve Yöntem : Ortalama PTV hacmi 51.11 cm<sup>3</sup> olan 13 SBRT hastasının 3D konformal ark, 2 tam ark, esduzlemsel olan ark ve esduzlemsel ark tedavi planları yapıldı. Tüm hastaların dört boyutlu bilgisayarlı tomografi(4DCT) simülasyonları supin pozisyonda, vakum yatak ve akciğer bordu kullanılarak 2mm kesit aralığı ile Siemens Somatom Definition AS 20 kesit bilgisayarlı tomografi cihazı ile çekildi. Görüntüler 10 eşit aralıklı solunum fazının rekonstrükte edilmesi ile oluşturuldu. İnternal hedef hacim (ITV) tüm nefes fazlarında gros tümör çizilerek oluşturuldu. Planlamada doz hesabında kullanmak için tüm çizilen gros tümörler maksimum intensity projeksiyon (MIP) veri setinde birleştirildi. ITV'ye 8mm marj ile PTV hacmi oluşturuldu. MIP üzerinde spinal kanal, plevradan 2cm mesafede göğüs duvarı, özefagus, kalp, kontralateral akciğer, trakea çizildi. PTV ortalama doz, maksimum doz, konformite indeksi ve kritik organ dozları karşılaştırıldı.

Bulgular : Dinamik konformal ark tedavisi ile karşılaştırıldığında rapidark planları daha konformal doz dağılımı sağladı. Kritik organların aldığı dozların, kısmi ark tedavisine göre daha fazla olduğu, elde edilen farkın istatistiksel olarak anlamlı olduğu bulundu. 2 tam ark ile yapılan tedavi planlarının kısmi ark tedavi planları ile karşılaştırıldığında PTV doz sayısı ve konformite-leri arasında anlamlı fark bulunmadı (p>0.05). Normal akciğer dozları arasında anlamlı fark olmazken, karşı akciğer



ve spinal kanal dozları arasında artma yönünde anlamlı fark bulundu ( $p < 0.0005$ ). MU değerleri arasında kısmi arka göre anlamlı fark bulunmadı ( $p < 0.244$ ). Esduzlemsel olmayan tedavi planlarının kısmi ark tedavi ile karşılaştırılmasında PTV doz sarısı ve konformite indeksleri arasında anlamlı fark bulunmadı. Normal akciğer, karşı akciğer, spinal kanal ve göğüs duvarı dozlarında azalma yönünde kısmi arka göre anlamlı fark bulundu. MU değerleri arasında anlamlı fark bulunmadı.

**Sonuç :** Tumor hacmi ortalama 51.11cc olan akciğer sbrt hastaları üzerinde plan karşılaştırması yapıldı. 3D konformal ark tedavi ile yapılan planlarda kısmi ark tedavisine göre daha iyi doz sarısı sağlarken diğer tedavi planlama yöntemlerinde anlamlı fark elde edilmedi. 3D konformal tedavide konformite indeksi olması gereken değerden fazla olduğundan klinik tecrübe olarak iyi plan olarak düşünülmemektedir. Es duzlemsel olmayan ark tedavisi ile yapılan planlarda kritik organların daha iyi korunduğu gözlenmiştir. Yapılan SBRT planlarının es duzlemsel olmayan yöntemle yapılması kritik organ koruması bakımından faydalı olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Akciğer Stereotaktik Radyoterapisi, tedavi planlama teknikleri, risk altındaki organ hacim dozları

Yayın No: P-17

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Bladder scanner cihazının cbct görüntüleri ile doğrulanması

Özgür Boran<sup>1</sup>, Gülçin Doğru<sup>1</sup>, Ebru Cantürk<sup>1</sup>, Zeynep Pınar Kalender<sup>1</sup>, Selnur Özkurt<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bağcılar Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, İstanbul

<sup>2</sup>Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler San. Ve Tic. A.Ş. , İstanbul

**Amaç :** Kliniğimizde kullanılan BS (Bladder Scanner) cihazı pelvik bölgeden radyoterapi tedavisi görecekten hastaların tedaviye alınmadan önce mesane doluluk durumu hakkında bilgi vermesi amacıyla tasarlanmış bir araçtır. Prostat, rektum, serviks ve endometriyum gibi kanserlerin radyoterapisinde simülasyon görüntülerinde elde edilen mesane doluluğunu tedavide de aynı şekilde mümkün kılmak gerekir. Bu durumu her gün hasta tedavisinden önce CBCT (Cone-Beam Computerized Tomography) ile görüntüleyebildiğimiz gibi BS gibi ultrason sistemi ile çalışan mobil cihazlar ile de ölçülebilmekteyiz. Araştırmamızda amacımız her gün CBCT ile tedaviye alınan hastaların BS cihazı ile mesane doluluk oranını kontrol ederek aradaki farkları mukayese etmektir.

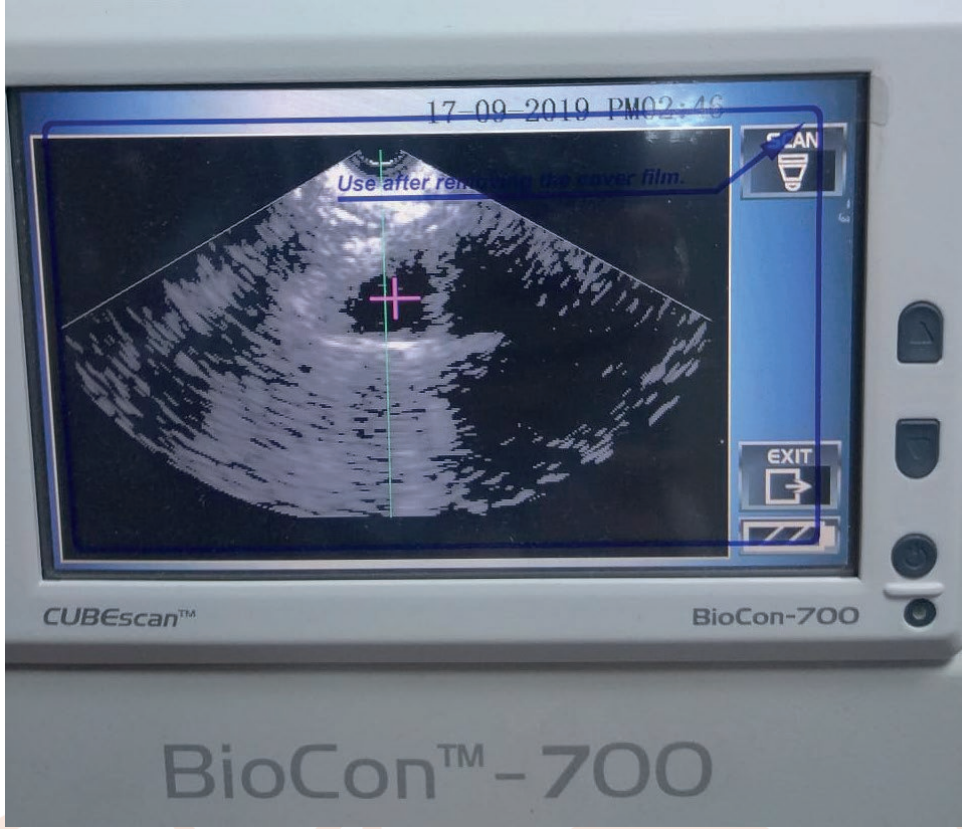
**Gereç ve Yöntem :** Çalışmamızda tedaviye giren prostat, rektum ve serviks kanseri hastasından toplam 24 adet BS CUBES-CAN BioCon-700 model cihazı ile ölçüm alınmıştır. Hastalar günlük rutin radyoterapi tedavisine alınırken, simülasyonda mesane doluluğu sağlanması adına uygulanan protokoller çerçevesinde, CBCT'ye en yakın zamanda BS ile mesane doluluk oranı ölçülmüş ve cihazdan buna dair bir bilgi çıktısı alınmıştır. Daha sonra hastanın 3 mm kesit kalınlığı ile çekilen CBCT görüntüsü üzerine mesane duvarını hacme dahil etmeyecek şekilde mesane konturlaması yapılmıştır. Aradaki farkların istatistiksel olarak değerlendirilebilmesi adına Wilcoxon signed rank testi kullanılmıştır.

**Bulgular :** Hastaların BS ve CBCT mesane hacimleri karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. Her hastanın kendi içinde BS ve CBCT mesane hacimleri dikkate alındığında aralarında ortalama %10 fark oluşmaktadır. Bu farkın BS ile ölçülen bölgenin tam olarak ayarlanamaması kaynaklı minimal hatalar olabileceği düşünülmektedir.

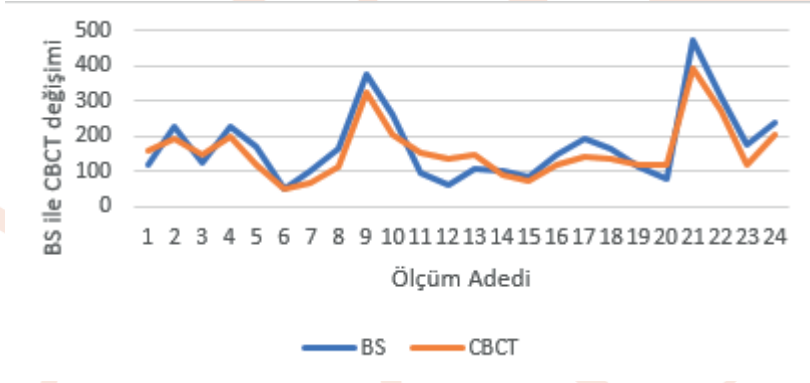
**Sonuç :** BS cihazı ile hastanın mesane ölçümü yapılırken organın doğru yerden ölçülmesi ile CBCT görüntülerine en yakın verilerin elde edildiği, mesane hacminin CBCT görüntüleri üzerinde konturlanması sonucu çıkan ufak farkların ölçüm kaynaklı hata olabileceği ve rutinde hastanın mesane doluluk oranı hakkında BS cihazının iyi bir fikir verdiği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** BS, CBCT, Prostat Kanseri

Şekil 1: BS cihaz görüntüsü



BS ile CBCT Değişim Grafiği



BS ile CBCT Verilerinin ORT. STD. Sapma Değerleri

	ORT. ve STD. Sapma	P Değeri
BS	170,12 ± 100,66	0,103
CBCT	156,48 ± 76,59	



Yayın No: P-18

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Beyin SRT tedavilerinde 6B masa düzeltmesinin önemi

Özlem Göksel<sup>1</sup>, Evren Ozan Göksel<sup>1</sup>, Öznur Şenkesen<sup>1</sup>, Halil Küçüçük<sup>2</sup>, Zeynep Özen<sup>2</sup>, Meriç Şengöz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Shmyo, Radyoterapi Programı

<sup>2</sup>Acıbadem Altunizade Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü

<sup>3</sup>Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Abd

**Amaç :** Beyin SRT (Stereotaktik Radyoterapi) tedavilerinde 6B (Boyutlu) masa düzeltmesinin tedavinin doğru uygulanmasına katkı sağladığı literatürde gösterilmiştir. Bu tedavilerde konformaliteyi ve doz gradientini artırmak için genellikle non-coplanar alanlar kullanılır. Ancak, bazı sistemler sadece masa rotasyonu 0 derecede iken 6B masa düzeltmesine imkan tanır. Bu çalışmada masa rotasyonu 0 dereceden farklı olduğu durumlarda 6B masa düzeltmesinin gerekliliği araştırılmıştır.

**Gereç ve Yöntem :** Çalışmaya beyin SRT tedavisi uygulanmış 50 hasta dahil edilmiştir. Hastalar özel üç katmanlı SRT maske (BrainLab) ile sabitlenmişler ve Novalis Powered By TrueBeam STx cihazında tedaviye alınmışlardır. Hastaların setup düzeltmeleri önce masa 0 derecede iken CBCT ile 3B olarak, daha sonra Exactrac (Versiyon 6.0.6 Novalis) sistemiyle 6B olarak yapılmıştır. Tedavi süresince her bir farklı masa açısı için yeniden stereoskopik görüntü alınarak 6B masa düzeltmesi yapılmıştır. Bu masa düzeltmeleri otomatik olarak sistem tarafından kayıt altına alınmaktadır. Çalışmamızda retrospektif olarak masa kaydırma değerleri 15 er derecelik masa rotasyon aralıkları için belirlenerek, ortalama ve Maks değerler değerlendirilmiştir. Ayrıca bir Rando fantomun pelvis bölgesi kullanılarak (Brainlab) aynı masa açılarındaki Exactrac sistemiyle 6B masa düzeltmesi yapılmıştır. Bunun sonucunda bulunan masa düzeltme değerlerinin sadece masanın rotasyonuna bağlı izomerkezden sapmasından kaynaklanacağı düşünülerek, bu değerler hastaların ortalama ve Maks sapma değerlerinden çıkarılmıştır. Böylece masa rotasyonunda, sadece hastaya bağlı düzeltme (Net hasta) değerleri bulunmuştur.

**Bulgular :** Masa 0 derecedeyken hastanın ilk 6B setup düzeltmesi yapıldığı için bu değerlerin yüksek bulunmasının setup hatalarına bağlı olduğu düşünülmüş ve değerlendirilmeden çıkarılmıştır. Düzlemsel olarak en büyük ortalama ve Maks masa düzeltmesi miktarı sırasıyla 0,46 mm ve 10,8 mm ile Longitudinal yönde (LNG), 315-300 derece açı aralığında bulunmuştur. Rotasyonel olarak en büyük ortalama ve Maks masa düzeltmesi değerleri sırasıyla 0,330 ve 0,460 ile vertical yönde (VERT), 345-330 derece açı aralığında bulunmuştur. Ayrıca fantomla alınan görüntülerden bulunan düzlemsel ve rotasyonel en büyük net masa düzeltmesi değerleri sırasıyla 0,48 mm VERT yönde, 0,40 LAT yönde ve 15-30 derece açı aralığında bulunmuştur. Diğer masa rotasyonu açı aralıkları için bulunan ortalama ve Maks masa düzeltmesi değerleri Tablo1 de verilmiştir.

**Sonuç :** Beyin SRT tedavileri çok küçük bazen de sıfır marjlarla uygulanmaktadır. Yüksek fraksiyon dozlarının uygulandığı bu tedavilerde setup doğruluğunu milimetrenin altında bir hassasiyetle sağlamak çok önemlidir. Çalışmanın sonucunda bu doğruluğu sadece masa rotasyonu 0 derecedeyken sağlamanın yeterli olmadığı diğer masa açılarındaki da yeniden 6B masa düzeltmesine ihtiyaç olduğu görülmüştür. Datanın tek bir cihaza ait olmasının bu çalışmanın eksik yönü olduğunu düşünmekteyiz. Çalışmayı çok merkezli olarak genişletmek ve daha fazla cihaza ait data dahil etmek daha doğru bulgular elde edilmesini sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Beyin SRT, 6B masa düzeltmesi

Tablo1

Masa açısı	0			15-30			30-45			45-60			60-75			0-345			345-330			330 - 315			315-300			300-285		
Masa yönü	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT	LAT	LNG	VERT
Düzlemsel (mm)																														
Net Hasta (Ortalama)	1,22	0,89	0,02	0,02	0,45	-0,3	-0	0,47	-0,1	0,15	0,29	-0	0,29	0,38	-0,1	0,09	0,14	-0,1	0,07	0	-0,2	0,2	0,14	0,01	0,38	0,46	0,33	-0,2	0,16	-0,1
Net Hasta (Maks)	8,19	8,32	10,9	2,59	1,52	-0,1	0,72	1,54	0,2	0,56	0,94	5,15	1,62	2,51	2,12	0,14	0,64	0,1	0,02	0,66	0,58	1,11	0,5	0,06	3,52	10,8	5,51	-0,2	-0,4	-0,1
Masanın sapması*	0,12	0,23	0,6	0,35	0,05	0,48	0,31	0,07	0,3	0,41	0,2	0,39	0,15	0,07	0,38	0,18	0,36	0,22	0,22	0,39	0,39	0,1	0,27	0,16	0,1	0,27	0,16	0,32	0,4	0,27
Rotasyonel (Derece)																														
Net Hasta (Ortalama)	0,46	0,67	1,09	-0,1	0,2	0,28	0,07	0,04	0,09	0,1	0,13	0,19	0,15	0,12	0,19	-0,1	0,03	0,07	0,04	0,16	0,33	-0,1	0,18	0,17	0,18	0,19	0,24	0	0	0
Net Hasta (Maks)	8,8	4,4	6,3	1,6	1,4	0,9	1,1	0,6	1	0,3	0,1	0,4	0,7	1,4	0,5	0,4	0,4	0,2	1,3	1	4,6	0,6	0,4	0,9	0,9	4,6	2,4	0	0	0
Masanın sapması*	0,2	0,1	0	0,4	0,1	0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0	0,1	0,2	0	0,3	0,1	0,1	0,3	0,1	0	0,4	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0	0	0

\*Farklı rotasyon açıları için masanın izomerkezden sapma miktarı (fantom ile ölçüldü).

Masa rotasyonu açı aralıkları için bulunan ortalama ve Maks masa düzeltmesi değerleri



Yayın No: P-19

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Intrakranial steriotaktik radyocerrahide (SRS) farklı hasta plan kalite kontrol yöntemlerinin karşılaştırılması

Basri Günhan<sup>1</sup>, Fatih Karaköse<sup>1</sup>, Salih Gürdallı<sup>2</sup>, Mehmet Ertuğrul Ertürk<sup>2</sup>, Hüseyin Çetin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Neolife Tıp Merkezi, İstanbul

<sup>2</sup>Marmara Nükleer Tıp, İstanbul

<sup>3</sup>Epsilon Elektronik, İstanbul

**Amaç :** Beyin içinde bulunan küçük malin tümörler lokal kontrolü sağlamak için sıklıkla intrakranial Steriotaktik Radyocerrahi (SRS) ile tedavi edilmektedir. Bu tedavi şeklinde oldukça yüksek dozlar çok küçük hacimlere tanımlandığı için sistemdeki milimetre altındaki hatalar tümör yerine sağlıklı dokunun ışınlanmasına neden olabilir ve aynı zamanda tümör hacmine eksik doz verilebilir. Bu nedenle bu sistemlerin mekanik ve dozimetrik kalite kontrolleri dikkatli ve titiz bir şekilde yapılmalıdır. Cihaz kalite kontrolünün yanında her hastanın planının hastaya uygulanmadan önce kontrolü önemli bir aşama haline gelmiştir. Hasta plan doğruluğu kontrolü, nokta doz ölçümü, filmle kontrol, lineer hızlandırıcılara entegre edilen elektronik portal görüntüleme sistemleri ile yapılabileceği gibi sıralı iyon odası veya diyod dedektör içeren (diyod array) sistemlerle de yapılabilmektedir. Bu çalışmadaki amaç tek metastazlı olan 10 beyin metastazlı hastasının yapılan planlarının uygulamadan önce kalite kontrolünü kliniğimizde kullanılan üç farklı yöntem olan film dozimetri, Arccheck(SMC, Sun Nuclear Corp. Melbourne, FL) ve SRS MapCHECK (SMC, Sun Nuclear Corp. Melbourne, FL) ile yapıp, sonuçları gamma analiz değerlendirmesi ile karşılaştırmaktır.

**Gereç ve Yöntem :** Bu çalışmada Varian Truebeam STx (Varian Palo Alto, CA, USA) lineer hızlandırıcıda HD MLC ile 6FFF MV enerjide 1400 MU/min doz hızında planı yapılan tek beyin metastazlı olan 10 hastaya non-coplanar plan yapılarak bu planların tedavi öncesi plan kalite kontrolü yapılmıştır. Plan kalite kontrolü için sırasıyla 1386 dedektörü ve 1cm çözünürlüğü olan SNC Arccheck, dedektör sayısı 1013 ve çözünürlüğü 2,47mm olan SMC ve sonsuz çözünürlüğü olan EBT3 Gafchromic filmler pleksiglass tan yapılmış olan Universal IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy) fantomunda ışınlanmıştır. Işınlama sonuçları SNC Patient yazılımı kullanılarak %1-1mm, %2-2mm ve %3-3mm için değerlendirilmiştir.

**Bulgular :** Seçilen 10 beyin metastazlı SRS hasta için Gafkromik film, ArcCheck ve SMC ölçümleri yapılarak değişik %DD (Doz Farkı) ve DTA (Distance-To-Agrement) değerlendirme kriterleri için (%1-1mm, %2-2mm ve %3-3mm) %10 altında kalan doz değerlendirme dışı bırakılarak (Threshold 10) sonuçlar tablo halinde verilmiştir.

**Sonuç :** Değişik plan değerlendirme kriterine göre; SMC ile %1-1mm kriterinde tüm planların 90'ın üzerinde geçme oranına sahip olduğu, bununla birlikte tüm planların %2-2mm ve %3-3mm kriterine göre 95 üzerinde geçme oranına sahip olduğu görülmektedir. %1-1mm kriterinde en düşük geçme oranı arccheck'te 59,2 iken filmde 46,1 ve SMC'de 92,8. %2-2mm kriterine göre en düşük geçme oranı arccheck'te 82,5 iken filmde 88,5 ve SMC'de 97,9 olup %3-3mm kriterine göre ise en düşük plan geçme oranı arccheck'te 91,0 iken filmde 94,0 ve SMC'de ise 98,3 olarak tespit edilmiştir. SMC kullanım kolaylığı, yüksek doz hızına olan cevabı, anlık değerlendirme gibi nedenlerden dolayı intrakranial SRS hasta plan kontrolünde oldukça kullanışlı bir dozimetrik ekipman olarak klinik kullanımda tercih edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** SRS, QA, FFF, FİLM

Tablo.1

Hastalar	%1 - 1 mm			%2 - 2 mm			%3 - 3mm		
	ArcCheck	Film	SRS Mc	ArcCheck	Film	SRS Mc	ArcCheck	Film	SRS Mc
Hasta 1	68.2	61.8	93.6	86.4	94.6	98.5	94.3	99.1	99.4
Hasta 2	71.6	72.4	97.6	91.8	97.8	100	97	99.5	100
Hasta 3	81.8	95.6	100	96.1	100	100	97.4	100	100
Hasta 4	66.4	61.7	92.8	84.3	88.9	97.9	93.6	94	98.3
Hasta 5	62.8	59.2	98	82.5	89.5	99.2	92.7	96.4	100
Hasta 6	65.2	71.8	99.1	92.3	93.5	100	96.8	99.8	100
Hasta 7	63.7	55.2	97.7	84.4	94	99.7	91	99.2	100
Hasta 8	62.6	64.4	94	89.4	92.7	98.3	95	98.1	99.3
Hasta 9	77.4	73	100	100	99.8	100	100	100	100
Hasta 10	70.9	46.1	98.3	90.8	88.8	99	95	97.5	99.7

Tablo.1.ArcCheck, Film QA ve SRS MapCheck Gamma Analiz Sonuçları

Arccheck, Film QA ve SRS Mapcheck Gamma Analiz Sonuçları

Yayın No: P-20

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Radyoterapide BT kesit kalınlığının tedavi doğruluğuna etkisi

Özgür Boran<sup>1</sup>, Ebru Cantürk<sup>1</sup>, Gülçin Doğru<sup>1</sup>, Zeynep Pınar Kalender<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bağcılar Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, İstanbul

<sup>2</sup>Medideal Medikal Projeler Ve Çözümler San. Ve Tic. A.ş., İstanbul

**Amaç :** Simülasyonda seçilen BT kesit kalınlığı tedavi bölgesindeki hedefin hacim büyüklüğüne, tedavi tekniğine ve kritik organ yakınlığına bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Çalışmadaki amacımız 2 hasta grubunda BT görüntüleri üzerinde kesit kalınlığı değiştirildiğinde hedef ve kritik organ hacimlerinde nasıl bir değişiklik olduğunu saptayıp, bunun TPS (Tedavi Planlama Sistemi)'deki doz dağılımına etkisini incelemektir.

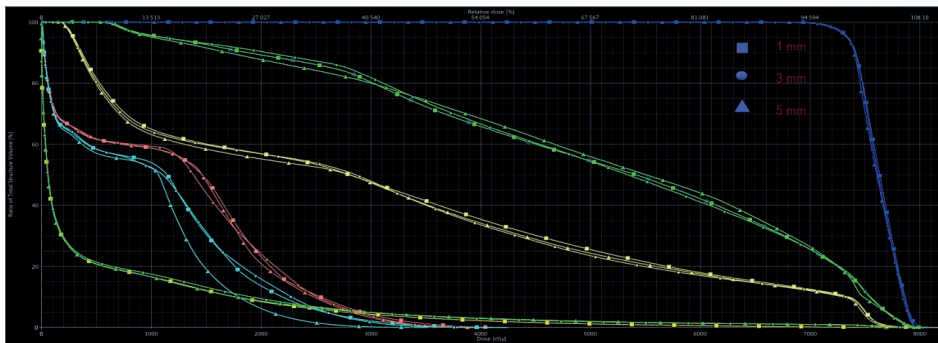
**Gereç ve Yöntem :** Kliniğimizde daha önce tedavileri tamamlanmış olan 5 beyin metastazlı ve 5 prostat kanseri hastası olmak üzere toplamda 2 grup olan 10 hastanın simülasyon görüntüleri 1, 3 ve 5 mm kesit kalınlıklarında BT' de rekonstrüksiyon edilerek TPS' ye gönderilmiştir. Yeni hacimler üzerinden her hasta için 3 ayrı tedavi planı yapılmıştır. Beyin hastalarına günlük 3 Gy' den toplam 30 Gy, prostat hastalarına ise sadece prostat tümör lojuna günlük 2 Gy' den toplam 74 Gy doz tanımlanmıştır. Çalışmamızda Varian marka lineer akseleratör cihazının Eclipse 13.7 versiyon TPS' i kullanılarak beyin hastalarına FIF, prostat hastalarına ise VMAT tekniği ile planlar hazırlanmış, optimizasyonda PO algoritması, plan hesabında ise AAA algoritması kullanılarak 2.5 mm grid size ile hesapları yapılmıştır. Hastaların farklı kesit kalınlıklarındaki tedavi tekniği, plan optimizasyonu, aç değeri değiştirilmeden ve herhangi bir normalizasyon yapılmadan doz, hacim, CI (Conformity Index), HI (Homogeneity Index), MU ve plan isocenter kayma miktarları karşılaştırılmıştır.

**Bulgular :** Beyin ve prostat hastalarının ana planlarında PTV hacimleri 3 mm ve 5 mm' lik kesitlerde sırasıyla 233 cc ile 391 cc, 1564 cc ile 1161 cc arasında seçilmiştir. Hastaların 1, 3 ve 5 mm' de değerlendirmeye alınan kriterlerin ortalama, standart sapma ve p değerleri aşağıdaki Tablo 1 ve Tablo 2 'de gösterilmiştir. CI ve HI değerleri;  $CI = \frac{TV_r(\text{seçilen izodoz hattının hacmi})}{TV}$  (hedef hacim),  $HI = \frac{D\%2 - D\%98}{D\%50}$  formülasyonları ile hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak 3 ayrı grup değerlendirmesi yapıldığından parametrik koşullar sağlandığında One Way ANOVA testi non-parametrik koşullarda ise Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır. Ayrıca Post Hoc testlerden varyansların homojen olması durumunda Bonferroni testi, parametrik koşullar sağlanmamış ise Mann-Whitney U testi kullanılmıştır. Beyin ve prostat kanseri hastalarının verilerine bakıldığında; prostat hastalarının PTVmax değeri dışında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Prostat hastalarında PTVmax değerinde 1 ile 5 mm (p= 0,009) ve 1 ile 3 mm (p= 0,009) arasında anlamlı farklar görülmüştür. Sağlıklı doku ve organların maksimum doz değerlerinde ufak farklar ile kesit kalınlığı düştükçe maksimum nokta doz değerinin arttığı görülmektedir. Lens maksimumlarında 1 mm ile 5 mm' lik kesitler arasında ortalama %15 değişiklik bulunmuştur. Kesit kalınlığı azaldıkça konturlanan yapının hacmi arttığı için hedef hacim doz sınırlarında düşüş görülmüştür. Planların isocenter koordinatlarında, kesit kalınlığı değiştikçe PTV hacminde ne kadar büyük farklar olursa isocenterda da o kadar fazla kayma miktarı olacağı görülmüştür. En büyük fark 1 mm ile 5 mm arasında bulunmuştur. Femur maksimumlarında ise 1 mm kesit kalınlığı 5 mm' ye göre en az 3 Gy' lik bir artış göstermiştir. En fazla rektum hacmi değişimi 1 ile 3 mm kesit kalınlığı arasında görülüp, aradaki fark yaklaşık %4 olarak hesaplanmıştır.

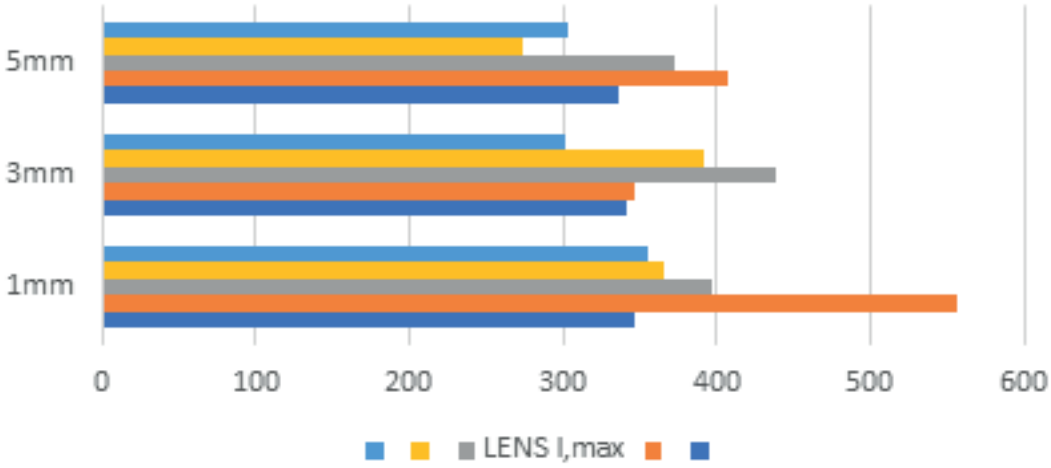
**Sonuç :** Çalışmamızda hesaplanan ortalama hacim değerlerinde kesit kalınlığı değiştikçe farklılıkların gözlemlendiği ve bunun DVH verilerine yansıdığı fakat tedavi başarısında ne kadar bir etki yarattığı ile ilgili daha fazla veriye ve araştırmaya gerek olduğu kanaatine varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** BT, Beyin Metastazı, Kesit Kalınlığı, Prostat Kanseri

**Şekil 1:** Prostat planlarının 1, 3, 5 kesit kalınlıklarında DVH görüntüsü



Şekil 2: Beyin Hastalarında Sol Lens Maksimum Grafiği



Tablo 1: Beyin Metastazlı Hastaların DVH Verileri

	1 mm ORT. STD. Sap- ma	3 mm ORT. STD. Sapma	5 mm ORT. STD. Sapma	P de- ğeri
PTVvolüm (cc)	1394,05 ± 153,38	1344,22 ± 156,76	1342,7 ± 150,53	0,999
PTVmax (cGy)	3261,66 ± 12,15	3254,7 ± 15,88	3259,74 ± 24,33	0,853
PTVmin (cGy)	2785,3 ± 102,44	2842,88 ± 30,90	2729,5 ± 228,33	0,347
PTV%95 (cGy)	3001,4 ± 30,27	3001,2 ± 24,83	3008,4 ± 26,41	0,917
PTV%50 (cGy)	3095,4 ± 27	3097,6 ± 28,82	3102,6 ± 29,98	0,986
PTV%2(cGy)	3216,8 ± 7,72	3216,6 ± 11,41	3219,4 ± 21,64	0,994
PTV%98 (cGy)	2978,2 ± 33,93	2981 ± 31,89	2980,4 ± 35,48	0,997
Spinal Cordvolüm (cc)	16 ± 10,28	15,12 ± 8,90	14,6 ± 8,46	0,975
Spinal Cordmax (cGy)	2948,6 ± 100,31	2927,66 ± 79,79	2897,66 ± 71,39	0,546
Lens r,max (cGy)	478 ± 126,12	469 ± 189,61	424,52 ± 139,80	0,669
Lens l,max (cGy)	403,96 ± 86,98	363,8 ± 47	338,68 ± 47,58	0,295
CI	0,922 ± 0,04	0,932 ± 0,03	0,942 ± 0,03	0,896
HI	0,076 ± 0,015	0,074 ± 0,015	0,076 ± 0,011	0,736
MU	341,4 ± 5,12	330 ± 25,07	339 ± 12,32	0,743



Tablo 2: Prostat Hastalarının DVH Verileri

	1 mm ORT. STD. Sapma	3 mm ORT. STD. Sapma	5 mm ORT. STD. Sapma	P değeri
PTVvolum (cc)	312,86 ± 67,49	311,44 ± 67,90	305,92 ± 68,15	0,987
PTVmax (cGy)	8191,5 ± 42,94	8095,76 ± 49,31	8067,2 ± 43,32	0,009
PTVmin (cGy)	6389,02 ± 127,53	6185,96 ± 166,55	6128,98 ± 213,68	0,279
PTV%95 (cGy)	7338,54 ± 28,37	7343,32 ± 49,31	7314,1 ± 59,78	0,933
PTV%50 (cGy)	7632,8 ± 67,61	7632,2 ± 90,08	7624,8 ± 72,04	0,934
PTV%2 (cGy)	7934,2 ± 20,38	7933 ± 40,12	7927,6 ± 15,67	0,922
PTV%98 (cGy)	7229,4 ± 22,46	7225,8 ± 33,58	7241,4 ± 22,70	0,786
Rektumvolum (cc)	61,52 ± 13,86	60,42 ± 13,78	59,14 ± 13,48	0,963
Mesanevolum (cc)	403,34 ± 147,73	401,8 ± 147,33	400,04 ± 147,81	0,939
Femurl,max (cGy)	4398,42 ± 606	4091,54 ± 460,11	4020,4 ± 254,04	0,301
Femurr,max (cGy)	4598,86 ± 709,36	4272,74 ± 513,19	4139,2 ± 622,39	0,834
Mesanev40 (%)	49,17 ± 27,28	47,61 ± 28,29	46,89 ± 27,83	0,998
Rektumv40 (%)	56,10 ± 5,54	54,07 ± 5,63	56,70 ± 6,58	0,812
CI	0,908 ± 0,02	0,914 ± 0,03	0,922 ± 0,02	0,896
HI	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01	0,086 ± 0,008	0,997
MU	545 ± 31,96	551,6 ± 38,42	542,4 ± 22,04	0,976

Yayın No: P-21

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Radyoterapi tedavi planlaması için akciğer eşdeğeri bir materyal kullanılarak solunum hareketindeki iki fazın bilgisayarlı tomografi verilerinin değerlendirilmesi

Aysun İnal<sup>1</sup><sup>1</sup>Antalya Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi<sup>2</sup>Antalya

**Amaç :** Radyasyon dozimetrisi, insan vücudunun organları ve dokuları ile uyumlu olan özel fantomlar gerektirir. Akciğer, düşük yoğunluklu en önemli organlardan biridir. Bu çalışmanın amacı, kanser hastalarının radyasyon tedavisi planlaması için alınan Bilgisayarlı Tomografi kesitlerinde, iki farklı solunum fazında, akciğer eşdeğeri basit bir düzenek hazırlanarak farklı BT çekim protokollerinde değişimini incelemektir.

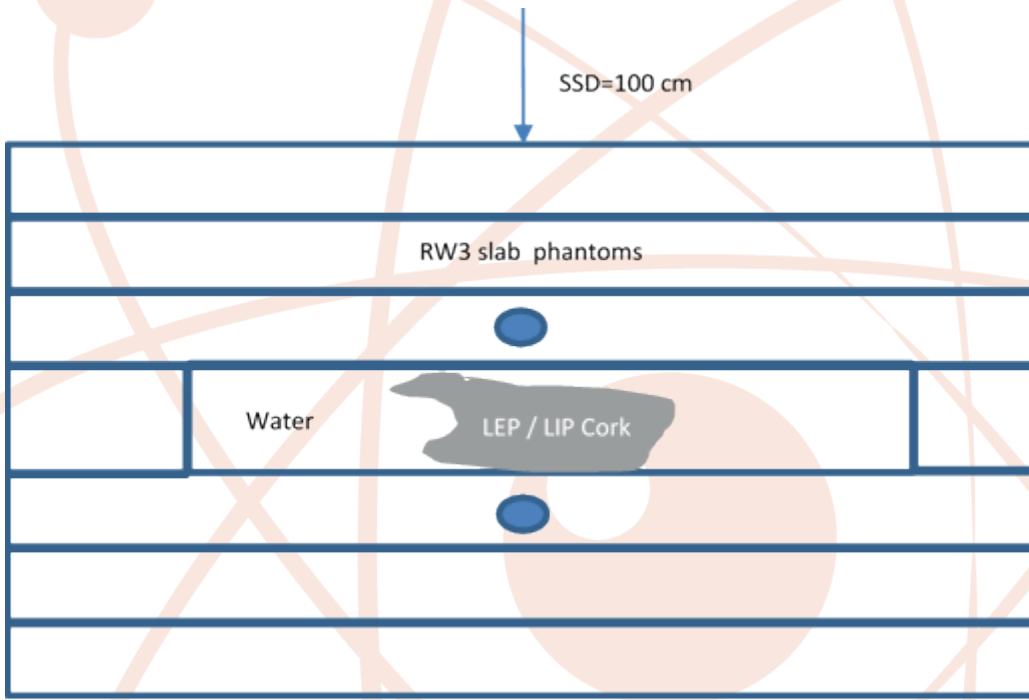
**Gereç ve Yöntem :** İki faz için maksimum akciğer nefes alma (MAI) ve nefes verme (MAE) fantomları oluşturulmuştur. Seçilen dilim kalınlığına ve CT tüp voltajlarına bağlı olarak Hounsfield Birimi değerleri için farklar araştırıldı. MAE fantomunu hazırlamak için, her biri iki mm kalınlığında 15 mantar parçası, parçalar arasında boşluk kalmayacak şekilde 8x17x5.5 cm boyutlarında oval bir kaba yerleştirildi. MAI fantomu için 1/3 kapalı mantar parçaları hava ile değiştirildi. Her iki fantom, suyla doldurulmuş 30x20x3 cm' lik bir kaba sabitlendi. Aynı geometriye sahip su eşdeğeri üçüncü fantom, yalnızca su içerecek şekilde oluşturulmuştur. Her biri 130 mA aynı sabit akımda gerçekleştirilen fantomlar için dört farklı axial BT tarama prosedürü uygulandı, farklı kesit kalınlıkları ve tüp voltajları aşağıdaki gibi yapıldı: (a) 0.625 mm ve 80 kV tüp voltajı (0,625 / 80) kesit kalınlığı (b) 0,625 mm ve 140 kV (0,625 / 140), (c) 3,75 mm ve 80 kV (3,75 / 80) ve (d) 3,75 mm ve 140 kV (3,75 / 140). BT görüntülerinde HU değerleri merkez eksen boyunca seçilen dört farklı noktada (HUmean olarak adlandırıldı) okundu

Bulgular : Aksiyel su-fantom dilimlerindeki HU ortalama değerleri, uygulanan tüp voltajına (kV) ve dilim kalınlığına (hem kV hem de dilim kalınlığı için HUmean =  $1.00 \pm 10$ ) göre değişiklik göstermedi. MAİ için, HUmean değeri, kV'yi artırarak (sırasıyla 80 ve 140 kV için  $-848.5 \pm 47$  ve  $-841.78 \pm 61$ ) artmıştır. Ayrıca, kesit kalınlığı arttırılmasıyla HUmean değeri artmıştır (sırasıyla, 0.625 ve 3.75 mm için  $-841.78 \pm 63$  ve  $-811.68 \pm 49$ ). Aynı davranış, MAE, HUmean değerleri sırasıyla  $784.4 \pm 44$  ve  $-781.29 \pm 52$ , 80 ve 140 kV için, HUmean değeri ise yine kesit kalınlığı arttıkça artmıştır ( $-781.29 \pm 56$  ve  $748.82 \pm 47$ ). Bu sonuçlara göre, HUmean değerindeki dilim kalınlığına göre değişim daha önemlidir ve CT taramalarının küçük dilim kalınlıklarında gerçekleştirildiği anlamına gelir.

Sonuç : Solunum fazlarına göre hazırlanan MAE ve MAİ fantomlarının, solunum fazları sırasındaki dozimetri farkını araştırmak için basit ve ucuz bir yöntem olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Radyoterapi, Hounsfield birimi, Kork, Dozimetri, Tüp Voltajı

Şekil 1. Su eşdeğeri fantom, MAİ ve MAE fantom ölçüm düzeneği



Yayın No: P-22

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Dosimetric comparative study of 2 different postoperative radiotherapy techniques ( IMRT and Tomotherapy) for Total Scalp Irradiation

Çağla ÇETİNKAYA<sup>1</sup>, Doç. Dr. Meryem AKTAN<sup>1</sup>, Recep BOZCA<sup>2</sup>, Prof. Dr.Papatya Bahar BALTALARLI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi,konya

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi,denizli

Aim: Comparative study of 2 different postoperative radiotherapy techniques ( IMRT and Tomotherapy) for Total Scalp Irradiation

Materials and Methods: A retrospective treatment plan databank search was performed and 4 patient cases were randomly selected. Cranial imaging was restored from the initial planning computed tomography (CT) and target volumes and OAR were redelineated. For each patients, two treatment plans were calculated (Tomotherapy IMRT; prescribed dose 60 Gy, single dose 2 Gy). Conformity, homogeneity and dose volume histograms were used for plan.

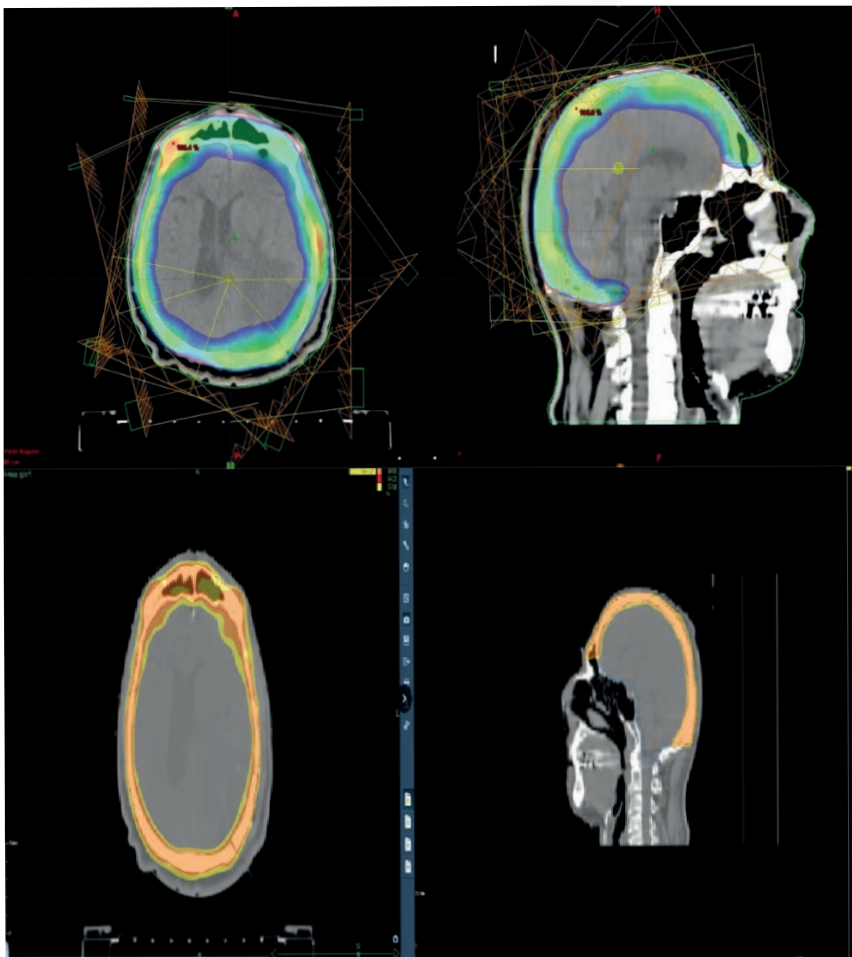
Results: Tomotherapy featured monitor units and the sharpest dose gradient . Planning target volume (PTV) coverage and homogeneity was better inTomotherapy (coverage, 1.07; homogeneity index [HI]) compared to IMRT (coverage, 1.3; HI)

but coplanar Tomotherapy produced the most conformal plans (conformity index [CI],1.22). Minimum PTV dose range was 70,8% -89.4% in coplanar, 77.5%-88.2% in non-coplanar IMRT and 82.8%-92.3% in Tomotherapy. Mean dose to the brain, brain stem, optic system (maximum dose) and lenses were TomotherapyT, 62.9, 29.4, 14.5, and 4,04 Gy for IMRT and 65.0, 44.75, 16.3, and 7.5Gy for IMRT. Maximum optic chiasm dose was 46.5 and 25.1 Gy ( IMRT,Tomotherapy).

Conclusion: Target coverage, homogeneity and OAR protection, was slightly superior in Tomotherapy plans which also produced the sharpest dose gradient towards healthy tissue.

Keywords: scalp,imrt,Tomotherapy

#### IMRT and Tomotherapy for Total Scalp Irradiation



#### IMRT and Tomotherapy for Total Scalp Irradiation Planning target volume (PTV) coverage D 95

Table 1

Patient	Planning Technique	Conformity index (CI)	Homogeneity Index (HI)	R.lens Maximum Dosea(Gy)	L.lens Maximum Dosea (Gy)	Chiasma mean Dosea (Gy)	R. coble mean Dosea (Gy)	L. coble mean Dosea (Gy)	Brain stem Mean Dosea (Gy)
1	IMRT	1,30	1,30	10,45	10,25	30,50	33,62	33,79	48,52
	Tomotherapy	1,14	1,09	4,15	4,24	10,25	10,25	9,30	21,48
2	IMRT	1,40	1,20	6,78	9,51	41,50	28,45	29,72	43,38
	Tomotherapy	1,18	1,07	4,70	4,8	20,25	13,28	15,30	19,20
3	IMRT	1,31	1,27	8,80	9,00	20,58	34,00	36,00	48,00
	Tomotherapy	1,32	1,08	4,16	3,86	5,25	10,22	10,60	33,90
4	IMRT	1,30	1,30	10,45	10,25	30,50	42,62	43,79	45,20
	Tomotherapy	1,14	1,09	4,15	4,24	10,25	11,25	10,10	40,48

Dosimetric comparison of IMRT and Tomotherapy treatment plans for each individual patient



Yayın No: P-23

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Leipzig cilt aplikatörünün dozimetrik incelemesi

Sule Parlar<sup>1</sup>, Mustafa Dogan<sup>1</sup>, Nukhet Kurkcu<sup>1</sup>, Yıldırım Ozguven<sup>1</sup>, Yavuz Aksoy<sup>1</sup>, Mustafa Cem Uzal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Edirne

**Amaç :** Küçük cilt lezyonlarının yüksek doz hızlı brakiterapisinde seçilen aplikatörün hedef volüm için yeterli marjı sağlaması ve her tedaviden önce aplikatörün doğru konumlandırılması tedavinin doğru ve etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi temel faktörlerdendir (1). Ancak cilt lezyonlarına sahip hastalarda çoğunlukla söz konusu olan cilt düzensizlikleri aplikatörün konumlandırılmasını zorlaştırmakta, hatta tedavi sırasında hastaya bağlı hareketler nedeniyle aplikatörün kayabilmesi söz konusu olmaktadır. Bu çalışma ile kliniğimizde küçük cilt lezyonlarının tedavisinde sıklıkla kullanılan Leipzig (Elekta, Nucletron, Stockholm, Sweden) aplikatörünün doz dağılım bilgilerinin elde edilmesidir.

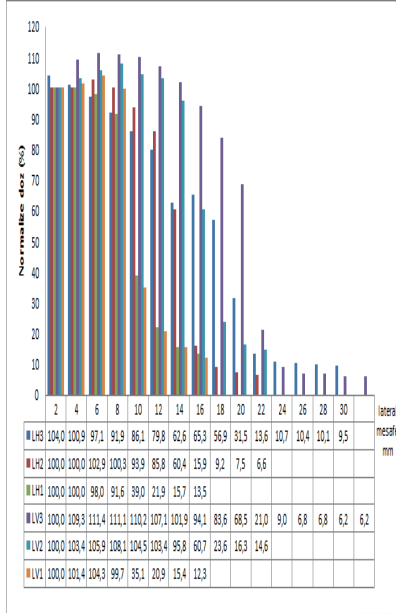
**Gereç ve Yöntem :** Çalışmada, yatay (horizontal/H) ve dikey (vertical/V) olmak üzere üç farklı çaptaki (30, 20 ve 10 mm) Leipzig aplikatörleri (LH3/yatay 30 mm, LH2/yatay 20 mm, LH1/yatay 10mm, LV30/dikey 30 mm, LV2/dikey 20 mm ve LV1/dikey 10 mm) dozimetrik değerlendirme için kullanılmıştır (2). Doz dağılım bilgileri 5 cm'lik iki adet RW3 fantom arasına yatay ve dikey olarak yerleştirilen EBT3 filmler kullanılarak elde edilmiştir. Üretici firmanın önerdiği manuel hesap ile 3 mm referans derinliğe 2 Gy olacak şekilde doz hesabı yapılmış ve MicroSelectron HDR tedavi cihazında Ir-192 kaynağı ile filmler ışınlanmıştır. Film kalibrasyon eğrisi Elekta Agility lineer hızlandırıcı cihazında 0 ile 6 Gy arasında ışınlanan yedi farklı doz değerine ait filmlerden elde edilmiştir. Tüm aplikatörlerden elde edilen yatay ve dikey filmlerden 3 mm referans derinlikteki profil eğrisi ve yüzey ile 30 mm derinlik arasında derin doz dağılımları elde edilmiştir. Film değerlendirmeleri radiochromic online yazılım kullanılarak yapılmıştır.

**Bulgular :** Elde edilen sonuçlara göre LH3 ve LV3 aplikatörlerinin lateral doz değişimlerinde belirgin fark vardır (Şekil 1). Örneğin lateral yönde 10 mm'de LH3 için doz değeri %86,1 iken bu değer LV3 için %110 olarak bulunmuştur. Aplikatör merkezinden 20 mm mesafede, bir başka deyişle 15 mm yarıçap değerinden 5 mm uzakta ise bu değerler sırasıyla %31,5 ve %68,5 olarak bulunmuştur. Diğer 20 mm ve 10 mm çaplı aplikatörler için de durum benzer şekildedir. Aplikatörlerin derin doz dağılımları incelendiğinde ise her iki tip aplikatörde de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 2). Örneğin 10 mm derinlikteki dozlar %55-60 değerlerine düşerken, 20 mm'deki dozlar ise %30 civarına düşmektedir.

**Sonuç :** Özellikle küçük lezyonlar için kullanılan Leipzig aplikatörünün yatay veya dikey tipte hangisinin seçileceği tedavi planlama açısından oldukça önemlidir. Aplikatörün homojen bir doz dağılımı vermediği, aynı zamanda geniş bir penumbraya sahip olduğu da çalışmalar ile gösterilmiştir (2-4). Bununla birlikte bu tipteki aplikatörlerin kullanımı ile küçük cilt lezyonlarının brakiterapi ile tedavisinde hem organ korunumu sağlanmakta hem de tedavide kür sağlanmaktadır. Ancak bu gibi tedavilerde sıklıkla kullanılan Leipzig aplikatörünün oldukça geniş bir penumbraya sahip olduğu hedef volüm marjları ayarlanırken göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca hastada tedavi sırasında oluşabilecek hareketler sebebiyle oluşabilecek konumlandırma hataları, hedef volümde önemli oranlarda doz düşüşüne sebep olabilmektedir.

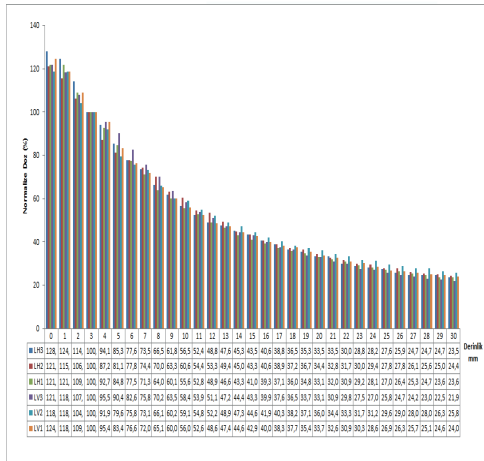
**Anahtar Kelimeler:** Brakiterapi, Leipzig aplikatör, dozimetri

Şekil 1



Tüm Leipzig aplikatörleri için lateral mesafede doz değişimi (tüm değerler merkezdeki doz dağılımına normalize edilmiştir)

Şekil 2



Tüm Leipzig aplikatörleri için vertikal yönde doz değişimi (tüm değerler 3 mm derinlikteki doz değerine normalize edilmiştir)



Yayın No: P-24

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Özofagus kanserinde akciğer hacminin radyoterapi planlama tekniği üzerine etkisi: helikal radyoterapi ne zaman seçilmeli?

Meltem Kırılı Bölükbaş<sup>1</sup>, Sibel Karaca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Devlet Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği

<sup>2</sup>Erzurum Bölge Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği

**Amaç :** Özofagus kanseri radyoterapisi (RT) tümöre verilen marjlar nedeniyle uzun bir alanın ışınlanmasını gerektirir. Bu durum, hastaların mevcut akciğer hacmine bağlı olarak RT sırasında akciğerlerin aldığı dozları etkilemektedir. Çalışmamızda karina üstü özofagus kanserlerinde planlanan hedef hacim (PTV) ile akciğer hacmi arasındaki ilişkinin akciğer dozları üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

**Gereç ve Yöntem :** Karina üstü özofagus ışınlanması için hastalara sanal RT hacim çizimleri yapılmıştır. Tomoterapi planlama sisteminde standart kriterler ile RT planları oluşturulmuştur. PTV için toplam doz 50.4 Gy (1.8 Gy / fraksiyon)'dir. İstatistiksel analiz SPSS 18.0 programında ROC analizi ve Mann-Whitney U testleri ile yapılmıştır. p<0.05 değeri anlamlı olarak kabul edilmiştir.

**Bulgular :** Çalışmaya 65 hasta dahil edilmiştir. Kadın/erkek oranı % 41,5 ile % 58,5 arasındadır. ROC analizinde, akciğer/PTV hacim oranı (AUC: 0.91,% 95 CI: 0.83-0.99, p = 0.000) ve bilateral akciğer hacminin (AUC: 0.81,% 95 CI: 0.70-0.92, p = 0.000), RT planlarının QUANTEC'e uygunluğunu öngördüren faktörler olarak tespit edilmiştir. . Akciğer / PTV oranı ve bilateral akciğer hacmi için cut-off değerleri sırasıyla 7 ve 3500 cc olarak bulunmuştur. Bu cut-off değerlerinin doz verilerine etkisi Mann-Whitney U testi ile değerlendirilmiştir. Ortalama akciğer ve kalp dozları, akciğer V5, V15, V20 ve kalp V5, V20, V30, V45 oranları her iki grupta da anlamlı olarak düşük bulunmuştur (p <0.05).

**Sonuç :** Akciğer / PTV hacim oranı ykrk317 ve bilateral akciğer hacmi ykrk313500 cc olan özofagus karsinomlu olgular helikal radyoterapi için uygun adaylardır.

**Anahtar Kelimeler:** Özofagu kanseri, akciğer volümü, helikal tomoterapi, planlama tekniği

Yayın No: P-25

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Geçmişten günümüze tomoterapi tedavi cihazına genel bakış

Sibel Karaca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Erzurum Bölge Eğitim Ve Araştırma Hastanesi

**Amaç :** Bu çalışma tomoterapi cihazının üretiminden günümüze kadar olan gelişime genel bir bakış amaçlamıştır.

**Gereç ve Yöntem :** X ışınının 1800'lü yılların sonundaki keşfinden sonra radyoterapi (RT) kanser hastalarının tedavisinde hızla uygulanmaya başlanmıştır. RT günümüzde tüm kanser hastalıklarının tedavisinde %40-%60 oranında kullanılmaktadır.

**Bulgular :** Son dönemlerde, yoğunluk ayarlı RT (IMRT) ve görüntü kılavuzluğunda RT (IGRT) yöntemleri sayesinde tedavi hassasiyetini önemli ölçüde arttırmakta, set-up hataları ve organ hareket belirsizliklerini en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Bu iki yöntemin aynı anda kullanımına imkan veren Tomoterapi, 1994 yılından itibaren benzersiz dizaynı ve belirli hasta gruplarında öne çıkan üstünlükleri ile dikkat çeken bir external RT cihazıdır. Özellikle 2000' li yıllardan beri çeşitli hardware and software yenilemeleri ile değişmeye ve gelişmeye devam etmiştir. 6 megavolt (MV) enerjiye sahip lineer hızlandırıcı ve 360 derece dönebilen gentryye sahip olan modeli Helikal Tomoterapi olarak isimlendirilmektedir. Daha sonra yapılan yeni versiyon yükseltme ile TomoDirect ismi verilen sistem kullanılmaya başlanmıştır. TomoDirect helikal IMRT ışınlamanın yanısıra üç boyutlu RT işlemlerini farklı açılı ve rotasyonel olmayan mod ile sağlamaktadır. 2013 yılında TomoHDA ismi verilen yeni sistem TomoHelikal modelin yerini almıştır. TomoHDA ayrıca yeni geliştirilmiş planlama yeteneğine sahiptir. 2015



yılından itibaren de en gelişmiş model olan Radixact kullanımı başlamıştır. Radixact yeniden dizayn edilmiş gentry ve tedavi planlama sistemine sahiptir. Radixact System, daha fazla hastaya daha hassas radyasyon tedavisi verilmesini sağlamak için tasarlanmış yeni nesil TomoTherapy platformudur.

Sonuç : Bütün bu gelişmeler daha hızlı tedavi planlama sistemi, hasta tedavi süresinde azalma ve kritik organ dozunu düşürmeyi hedeflemektedir. Gelecekte daha üstün özelliklerle Tomoterapi tedavi cihazının RT’de yer alacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tomoterapi tedavi cihazı, genel bakış

Yayın No: P-26

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

TbGamosGUI: Gamos monte carlo linak grafik arayüzü

Recep Kandemir<sup>1</sup>, Kadir Akgüngör<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İzmir

Purpose : Literatürde radyoterapi simülasyonlarında Geant4, MCNP, EGS ve Penelope gibi kullanılan bir çok yazılım vardır. Ancak bu yazılımların kullanılması için kullanıcının orta veya ileri derecede programlama bilmesi gerekmektedir. Daha az programlama bilgisi ile sadece geometri ve fizik (girdi) dosyalarının gerekli olduğu kolay kullanımlı Geant4-based Architecture for Medicine-Oriented Simulations (GAMOS) ve The Geant4 Application for Tomographic Emission (GATE) gibi Monte Carlo yazılımları ortaya çıkmıştır. Bu yazılımlarla nispeten ileri programlama bilmeden simülasyon yapılabilmekte olsa da kullanıcının başlangıç seviyesinde programlama bilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, hiç simülasyon bilgisi olmayan araştırmacıların Monte Carlo çalışmalarının başlangıç aşamasında kullanabilecekleri GAMOS Monte Carlo koduyla Varian Truebeam® cihazının modellendiği, Matrix Laboratory (MATLAB) grafik arayüzü tasarlanmıştır.

Materials and Methods : Bu çalışmada simülasyon için gerekli olan girdi dosyaları MATLAB GUI aracı ile tasarlanan grafik arayüzü programı ile oluşturuldu. Girdi dosyaları simülasyonun yapılacağı ana klasöre otomatik olarak aktarıldı. Son olarak Linux komut satırı üzerinden çalıştırılarak simülasyonlar gerçekleştirildi. Ayrıca grafik arayüzü ile simülasyon için gerekli cut-off, fizik listesi ve rastgele sayı üretici gibi özellikler de seçilebilmektedir.

Result : Varian Truebeam® cihazının modellenip Monte Carlo simülasyonu yapılabilmesi için GAMOS için gerekli geometri ve fizik girdi dosyaları MATLAB ile geliştirilen grafik arayüzü ile elde edildi.

Conclusion : Varian Truebeam® cihazı kullanılarak Monte Carlo hesaplaması yapmak isteyen ve başlangıç seviyesinde yer alan araştırmacıların çalışmalarında kullanabilecekleri TbGamosGUI yazılımı bu çalışma ile ortaya çıkarıldı.

Anahtar Kelimeler: Monte Carlo, GAMOS, MATLAB, GUI, Truebeam

Yayın No: P-27

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

pyTrendQA: Python dilinde yazılmış hasta kalite kontrol takip yazılımı

Recep Kandemir<sup>1</sup>, Kadir Akgüngör<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, İzmir

<sup>2</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İzmir

**Purpose :** Radyoterapinin alışlagelmış uygulamalarından biri haline gelen tedavi öncesi hasta plan kontrolü çalışmaları gerek iki boyutlu gerekse üç boyutlu olarak yapılabilir. Bir çok üretici tarafından farklı donanım ve yazılımlarla bu uygulamalar kullanıcılara sunulmuştur. Ancak hasta sayısı arttıkça kalite kontrol sonuçlarının takip ve analizinin yapılması zorlaşmaktadır. Geriye yönelik analiz ve takip için ya kendi takip sistemi yaratılmakta ya da ücretli uygulamalar tercih edilmektedir. Bu çalışmada, ileri radyoterapi teknikleri ile oluşturulan hasta tedavi planları için tedavi öncesi gerçekleştirilen hasta kalite kontrol çalışmalarında elde edilen sonuçların takibi ve analizinde kullanılmak üzere python kod dilinde kullanıcı arayüzü geliştirilmek amaçlanmıştır.

**Materials and Methods :** Bu çalışmada, pyTrendQA isimli yazılımın Python 2.7 programlama dili kullanılarak kullanıcı arayüzü oluşturuldu. Veri kaynağı olarak Sun Nuclear ArcCHECK® ile yapılan hasta kalite kontrol uygulamalarının sonuçları kullanıldı. ArcCHECK® ile alınan kalite kontrollerde genellikle kullanıcı PDF (Portable Document Format) dosyasında sonuçlarını tutmaktadır. Ancak hasta sayısının artmasıyla oluşan PDF dosya havuzu büyük boyutlara ulaşmakta ve analiz etme sorun olmaktadır. Dolayısıyla bu probleme çözüm üretmek üzere tasarlanan yazılıma tek bir ana klasör tanımlanarak altındaki bütün klasörler otomatik olarak yazılım tarafından tarandı. Ardından PDF uzantılı dosyalar tek tek tespit edildi ve veri kaybına neden olmamak için bulunan her bir PDF dosyası özgün bir klasöre taşındı. Taşınan PDF dosyaları analiz edilmeden önce TXT (metin) uzantılı dosya formatına dönüştürüldü. Dönüştürülen TXT dosyaları yeniden adlandırılarak veri tabanı sıralaması oluşturuldu. Sonrasında bütün TXT dosyaları tek tek açılarak istenilen bilgiler ("Hasta İsmi", "Hasta Protokol Numarası", "Planlama Tarihi", "Karşılaştırma Sınırlılıkları" gibi )dosyadan kazındı ve sonuçların yer aldığı çıkış dosyasına satır satır yazdırıldı.

**Result :** Örnek veri seti olarak bin adet hasta kalite kontrol PDF dosyası python kod diliyle yazılan pyTrendQA programı ile 10-20 saniye gibi bir sürede içinde analiz edildi. Elde edilen veriler tek bir çıktı dosyasına başarılı bir şekilde yazdırıldı.

**Conclusion :** Bu çalışma ile hasta kalite kontrol uygulamalarının sonuçlarının takibini ve analizini kolaylaştıracak açık kaynak kodlu bir yazılım ortaya çıkarıldı. Çalışmanın devamı niteliğinde yazılım geliştirilerek diğer üretici firmaların kalite kontrol sonuç dosyalarını da analiz edebilen bir yazılım geliştirilmek hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hasta kalite kontrolü, Takip ve Analiz, Python, ArcCHECK

Yayın No: P-28

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Akciğer SBRT tedavi planlarında farklı planlama tekniklerinin dozimetrik karşılaştırılması

İbrahim Kaptan<sup>1</sup>, Gamze Uğurluer<sup>2</sup>, Yücel Akdeniz<sup>1</sup>, Emine Burçin İspir<sup>1</sup>, Meltem Serin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Acıbadem Adana Hastanesi, Adana

<sup>2</sup>Acıbadem Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Ad, Adana

**Amaç :** Bu çalışmada akciğer kanseri tanısıyla SBRT (Stereotactic Body Radiotherapy-Stereotaktik Vücut Radyoterapisi) uygulanan hastalarda Volumetrik Ark Terapi (VMAT), Dinamik Konformal Ark (DKA), Hibrit-DKA (2/3'ü DKA) ve Hibrit VMAT (2/3'ü VMAT) planlarının dozimetrik olarak karşılaştırılması ve ışın iletim verimliliğinin incelenmesi amaçlandı.

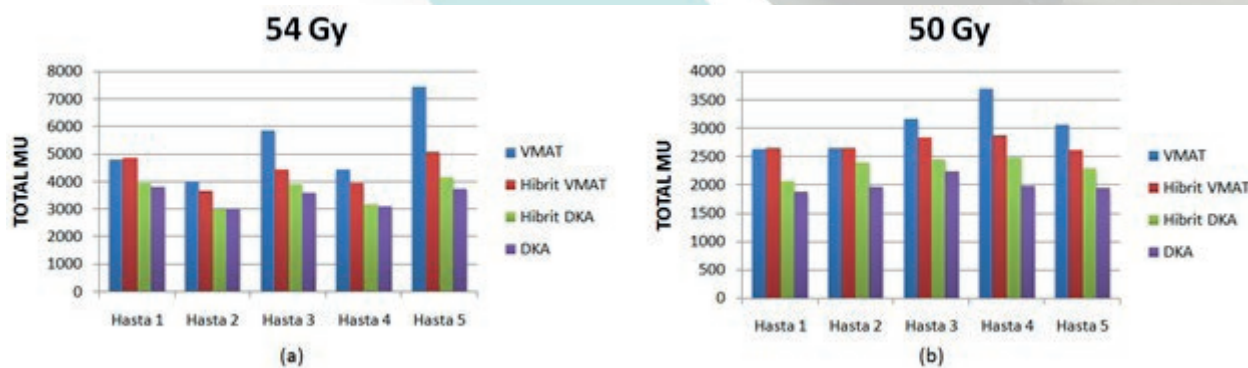
**Gereç ve Yöntem :** Kliniğimizde akciğer kanseri tanısıyla SBRT uygulanan 10 hastanın sekiz fazda, 2 mm kesit aralığıyla çekilmiş dört boyutlu bilgisayarlı tomografi (4B-BT) görüntüleri tedavi planlama sistemine (Eclipse Helios v13.6) aktarıldı. Beş hastaya üç fraksiyonda 54 Gy, beş hastaya beş fraksiyonda 50 Gy tedavi uygulanmıştı. Tüm hastalar sırtüstü pozisyonunda eller yukarıda vakumlu yatak kullanılarak immobilize edildi. Sekiz faz için konturlanan GTV'ler birleştirilerek ITV oluşturuldu ve 0,5 cm marj verilerek PTV hacmi tanımlandı. Risk altındaki organlar her kesitte çizildi. Her bir hasta için VMAT, DKA, Hibrit-DKA (2/3'ü DKA) ve Hibrit VMAT (2/3'ü VMAT) olmak üzere dört ayrı plan tasarlandı ve tüm planlar aynı optimizasyon kriterleriyle optimize edildi. Hesap algoritması olarak Anizotropik Analitik Algoritma (AAA) kullanıldı. Tedavi planları için Varian Truebeam Stx cihazı ve 6 MV-FFF foton enerjisi kullanıldı. Planlar hacmin %95'i dozun %100'ünü saracak şekilde normalize edildi. Tasarlanan planlar CI%50, HI (heterogenite index-heterojenite indeksi), toplam MU (monitor unit), QA (quality assurance-kalite kontrol)(%3-3mm) ve kritik organlar açısından dozimetrik olarak karşılaştırıldı, ışın iletim verimliliğinin incelenmesi için QA analizleri kullanıldı. Verilerin analizi SPSS programı ile yapıldı.

**Bulgular :** VMAT, DKA, Hibrit-VMAT ve Hibrit-DKA teknikleri için sırasıyla; CI%50 değerleri 3.86, 4.45, 4.15 ve 4.48 ( $p=0.026$ ); HI değerleri 1.34, 1.40, 1.35 ve 1.36 ( $p=0.245$ ); toplam MU değerleri ortalama  $4181.4 \pm 1544$ ,  $2731.8 \pm 812$ ,  $3568.4 \pm 973$  ve  $2992.9 \pm 777$  cGy ( $p=0.03$ ); QA gama uyum ortalama değerleri %99.71, %99.97, %99.18 ve %98.79 ( $p=0.009$ ) olarak bulundu. Homojenite açısından bakıldığında planlama teknikleri arasında istatistiksel olarak fark yoktu ancak toplam MU, QA değerleri ve %50'lik CI değerleri açısından değerlendirildiğinde planlama teknikleri arasındaki farkın anlamlı olduğu görüldü. Risk altındaki organların korunması açısından değerlendirilmek amacıyla ortalama dozlar karşılaştırıldı. VMAT, DKA, Hibrit-VMAT ve Hibrit-DKA teknikleri için ortalama dozlar sırasıyla; bilateral akciğer için ortalama V20 değerleri %3.91, %4.26, %4.21 ve %4.37; spinal kord maksimum dozu 1312.40, 1305.87, 1307.13 ve 1214,86 cGy; kalp ortalama dozu 143.29, 158.99, 156.86 ve 161.12 cGy; özefagus ortalama dozu 225.76, 233.09, 237.82 ve 236.09 cGy; trakea ortalama dozu 127.88, 131.00, 130.54 ve 130,56 cGy; bronş ortalama dozu 365.82, 372.94, 410.70 ve 380.34 cGy; küçük hava yolları ortalama dozu 457.68, 400.09, 462.88 ve 469.84 cGy olarak hesaplandı ve tekniklerin karşılaştırılmasında istatistiksel olarak anlamlı fark yoktu (Tablo 1). İstatistiksel olarak anlamlı fark olmasa da düşük doz bölgesi ve normal doku toksisitesi açısından bakıldığında VMAT tekniğinin daha iyi sonuç verdiği görüldü. Ancak toplam MU ve QA gama uyum değerleri dikkate alındığında DKA ve Hibrit-DKA tekniğinin tedavi süresinin daha kısa olması (Fig. 1a,b) ve VMAT'a göre daha az kompleks bir planlama tekniği olması sebebiyle bir avantaj sağladığı görüldü.

**Sonuç :** Klinik açıdan kritik organ korumasının önemli olduğu durumlarda, doz şekillendirme yeteneği nedeniyle VMAT ilk tercih edilen tedavi tekniği olabilir. DKA-VMAT hibrit planlama tekniği ise, daha az kompleks bir teknik olması, ışın iletim verimliliğini artırması ve tedavi süresinin daha kısa olması sebebiyle alternatif durumlarda tercih edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** SBRT, Akciğer Kanseri, Volumetrik Ark Terapi, Hibrit Planlama

Fig. 1: Farklı planlama teknikleri için toplam MU karşılaştırması a) 54Gy b) 50Gy





Tablo 1: Farklı planlama teknikleri ile sonuçların karşılaştırması (AD: Anlamlı Değil)

	VMAT	DKA	Hibrit-VMAT	Hibrit-DKA	p de- ğeri
CI%50	3.86	4.45	4.15	4.48	0.026
HI	1.34	1.40	1.35	1.36	AD
Toplam MU	4181.4±1544	2731.8±812	3568.4±973	2992.9±777	0.030
QA (%3-3mm)	%99.71	%99.97	%99.18	%98.79	0.009
Bilateral Akciğer V20	%3.91	%4.26	%4.21	%4.37	AD
Spinal Kord Maksimum Dozu (cGy)	1312.40	1305.87	1307.13	1214.86	AD
Kalp Ortalama Dozu (cGy)	143.29	158.99	156.86	161.12	AD
Özefagus Ortalama Dozu (cGy)	225.76	233.09	237.82	236.09	AD
Trakea Ortalama Dozu (cGy)	127.88	131.00	130.54	130.56	AD
Bronş Ortalama Dozu (cGy)	365.82	372.94	410.70	380.34	AD
Küçük Hava Yolları Ortalama Dozu (cGy)	457.68	400.09	462.88	469.84	AD

Yayın No: P-29

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Solunum fantomu ile solunum takip sistemli doz verimi testi

Alpay Levent<sup>1</sup>, Tutku Çağatay Çarga<sup>1</sup>, Durmuş Etiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Medideal Medikal Projeler ve Çözümler A.Ş., Medikal Fizik, İstanbul

<sup>2</sup>Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi A.D., Eskişehir

**Amaç :** Solunum takip sistemi kullanılarak genlik ya da faz modülasyonu tekniği uygulanan tedavilerde, alan ışınlamaları sistem tarafından solunuma uygun aralıklarla verilmektedir. Işınlamanın periyodik veya beklenmeyen şekilde kesilerek verildiği bu uygulamada sistemin eşzamanlı ve doğru çalışması hastaya verilecek tedavi doz miktarı ve dağılımına etki edebileceği için önem arz etmektedir. Bu çalışmada lineer hızlandırıcının, solunum takip sistemi ile eşzamanlı çalışmasının dozimetrik ölçümle test edilmesi amaçlanmıştır.

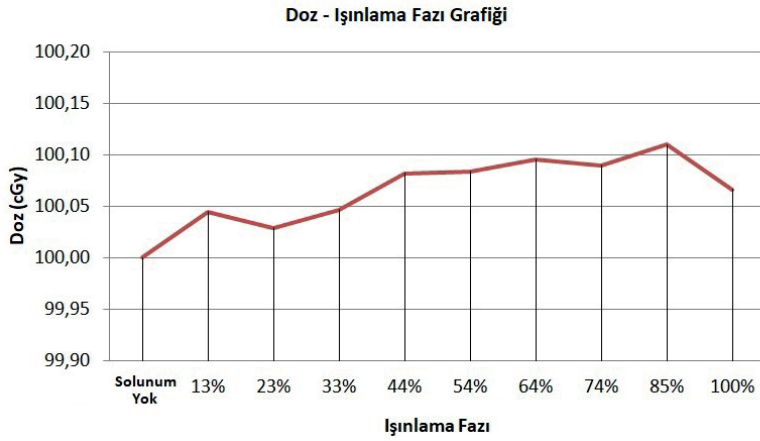
**Gereç ve Yöntem :** Varian marka TrueBeam model lineer hızlandırıcı cihazına kurulu RGSC (Respiratory Gating for Scanners) solunum takip sisteminin kullanıldığı tedavilerde sistemin eşzamanlılığı ve dozimetrik doğruluğunun kontrolünün yapılması için LEVTECH marka Respiratory Platform model solunum platformuna cihaz doz verimi ölçümünde kullanılan 30cm x 30cm x 15cm ölçülerinde fantom düzeneği kurularak 5 cm derinliğe Farmer tipi iyon odası yerleştirilmiştir. Fantom, SSD:95cm'de iyon odası izomerkezde olacak şekilde konumlandırılarak solunum hareketi yokken ve varken farklı genlik kapılama (gating) bantlarında, 6MV foton enerjisinde, 10cm x 10cm alan boyutunda, 105 MU ışınlanarak doz verimi okumaları alınmıştır. Solunum hareketi simüle edilirken platform, 15 RPM (solunum/dakika) ve 35 mm genlikte çalıştırılmıştır.

**Bulgular :** Solunum olmayan ölçüm ve farklı genlik kapılama bantlarıyla alınan ölçümlerin ortalama değerleri tabloda görülmektedir. Bant aralığına bağlı olarak toplam ışınlama parçalarına bölünmüştür. Solunumun yüzde 13, 23, 33, 44, 54, 64, 74, 85, 100'ünün ışınlandığı genlik kapılamalarında sırasıyla ışınlama parçaları başına düşen MU değerleri ortalama 7.5, 12, 14.5, 17.5, 20, 22.5, 25.5, 29.5 ve 105 olarak tespit edilmiştir. 10cm x 10cm alan boyutu içinde, iyon odasının hareket menzilineki mesafede dikkate değer doz farklı beklenmemiş ve referans alınan hareketsiz ölçüme göre maksimum fark %0,11 olarak ölçülmüştür (Doz değerleri grafiktedir).

Sonuç : Solunum takip sisteminin eşzamanlı çalışması ve dozimetrik doğruluğu test edilmiş, farklı solunum bantlarında alınan okumalar doz verimi tolerans seviyesi içinde bulunmuştur. Işınlama başına çok düşük MU'lerle yapılan kesintili ışınlamalarda dahi sistemin başarılı çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Solunum Fantomu, Solunum Takibi, Doz Verimi, Dozimetri

#### Grafik



#### Doz - Işınlama Fazı Grafiği

#### Tablo

Işınlama Sırasında Hareket (mm)	Solunum Yok	Solunum Var									
		±4,5	±8	±11,5	±15,5	±19	±22,5	±26	±29,5	±35	
Solunumdaki Işınlama Oranı		13%	23%	33%	44%	54%	64%	74%	85%	100%	
Okuma (nC)	16,953	16,960	16,958	16,961	16,967	16,967	16,969	16,968	16,971	16,964	
Doz (cGy)	100,00	100,04	100,03	100,05	100,08	100,08	100,10	100,09	100,11	100,07	

\* İki yönlü hareket ± işaretiyle gösterilmiştir.

Fantom hareketine bağlı olarak elde edilen değerler.

Yayın No: P-30

Bildiri Grubu: Radyasyon Onkolojisi

Lokalize prostat kanseri hastalarında VMAT ve cyberknife tedavi planlarının dozimetrik karşılaştırılması

Ahmet Murat Şenışık<sup>1</sup>, Murat Okutan<sup>2</sup>, Ayça İribaş Çelik<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Altınbaş Üniversitesi,shmyo Radyoterapi, İstanbul

<sup>2</sup>İstanbul Üniversitesi, Onkoloji Enstitüsü, İstanbul

<sup>3</sup>İstanbul Üniversitesi, Tıp Fakültesi, İstanbul

Amaç : Bu çalışmada, klinik olarak lokalize prostat kanserinin düzleştirici filtresiz (FFF) ışınlarla hazırlanan stereotaktik vücut radyoterapisi (SBRT) planının, düzleştirici filtreli (FF) ışınlarla hazırlanan VMAT tedavi planına karşılaştırılması amaçlandı.

Gereç ve Yöntem : Çalışmaya lokalize prostat kanseri olan 17 orta ve yüksek risk grubundaki hasta dahil edildi. Her hasta için hem Eclipse Tedavi Planlama Sisteminde (TPS) FF ışınları ile tek izosentrik 2 tam ark VMAT planı hem de Multiplan TPS'inde FFF ışınları ile SBRT planları hazırlandı. Her hasta için hazırlanan planlar 6 MV enerjide 6.7 Gy'lik fraksiyon dozunda 5 fraksiyonda toplam hedef doz 33,5 Gy olacak şekilde planlandı. Tüm planlar için, hedef hacimler ve risk altındaki organlar (OAR) için kümülatif doz hacmi histogramları (DVH'ler) oluşturuldu. Her plan için elde edilen değerler karşılaştırıldı.

**Bulgular :** Tedavi planlarının hedef volümü saracak şekilde ve homojen olması sağlandı. Hedef PTV hacmi ortalama  $79,25 \pm 12,80$  cc şeklindedir. CyberKnife (CK) planlamalarında Max doz VMAT planlarına göre daha fazladır. CI değeri CK için  $1,11 \pm 0,06$  iken VMAT için  $1,07 \pm 0,05$  olarak hesaplandı. Rektum volümünün %35'nin aldığı ortalama doz VMAT planlarında  $2070,70 \pm 338,36$  cGy iken CK planlarında  $1298,76 \pm 273,05$  cGy olarak hesaplandı. Rektumun maksimum dozu ise VMAT için  $3474,65 \pm 35,80$  cGy ve CK için  $3799,06 \pm 70,82$  cGy dir. Mesane duvarı için maksimum doz CK için  $3731,58 \pm 86,56$  cGy iken VMAT için  $3553,50 \pm 246,55$  cGy'dir. Penis Bulb'un %90 hacminin aldığı doz CK için  $656,35 \pm 473,35$  cGy iken VMAT için  $316,66 \pm 174,61$  cGy'dir.

**Sonuç :** Bu çalışma ile FF ışınları kullanılarak hazırlanan VMAT tedavi planının ile FFF ışınları ile hazırlanan CK planının dozi-metrik olarak kabul edilebilir ve uygulanabilir olduğu görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** düzleştirici filtreli (FF) ışınlar, düzleştirici filtersiz (FFF) ışınlar, Lokalize prostat kanseri, stereotaktik vücut radyoterapisi (SBRT), Volümetrik Modülasyonlu Ark Tedavisi (VMAT)

Yayın No: P-31

Bildiri Grubu: Radyoloji

Bilgisayarlı tomografide tüp akımı modülasyon sisteminin hasta dozuna etkisi

Salih Görür<sup>1</sup>

<sup>1</sup>S.b.ü. Samsun Eğitim Ve Araştırma Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Sağlık Fizikçisi

**Amaç :** Günümüz teknolojisindeki Bilgisayarlı Tomografi (BT) cihazları hastaların daha düşük radyasyon dozu almasını sağlayabilmektedir. BT cihazlarındaki "Tüp Akımı Modülasyon Sistemi" özelliği sayesinde hasta dozları azalabilmektedir. Tüp Akımı Modülasyon Sistemi özelliği bulunan BT cihazlarında yapılan çekimlerde görüntü kalitesi belli bir seviyede tutularak homojen görüntü kalitesi sağlamak için tüp hasta etrafında dönerken tüp akımında değişiklik yapılır. Görüntüdeki gürültüler çoğunlukla açılı projeksiyondaki atenuasyonlardan kaynaklanır. Bu sebepten oluşan gürültüyü azaltmak için açılı projeksiyonlarda tüp akımı artırılırken ön-arka projeksiyonlarda tüp akımı azaltılır. Bu yöntem ile gürültü miktarında ve hastanın aldığı radyasyon dozunda azalma sağlanır. Bu çalışmanın amacı "Tüp Akımı Modülasyon Sistemi" özelliği bulunan BT cihazlarında hasta dozunu azaltarak uzun vadede hastada kanser oluşumu riskini azaltmaktır.

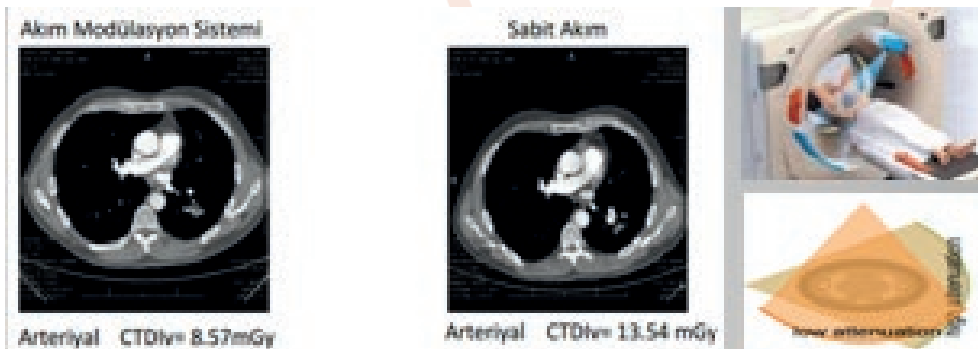
**Gereç ve Yöntem :** Karadeniz bölgesindeki 3 farklı şehir, 8 farklı hastanedeki toplam 10 Bilgisayarlı Tomografi cihazından 2018 yılı içerisinde toraks, abdomen ve pelvis protokolleri doğrultusunda çekim yapılan hastaların (her protokol için 50 hasta) Dose Length Product (DLP) değerleri tespit edildi. Elde edilen DLP değerleri Avrupa standartları olan European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography (EUR 16262 EN) ile karşılaştırıldı.

**Bulgular :**

**Sonuç :** Tüp akımı modülasyon sistemi olan cihazlardaki hasta dozları, tüp akımı modülasyon sistemi olmayan cihazlardakine göre daha düşüktür. Ayrıca tüp akımı modülasyon sistemi olan cihazlardaki hasta dozları Avrupa standartlarından daha düşüktür. Tüp akımı modülasyon sistemi olmayan cihazlardaki hasta dozları Avrupa standartlarından daha yüksektir.

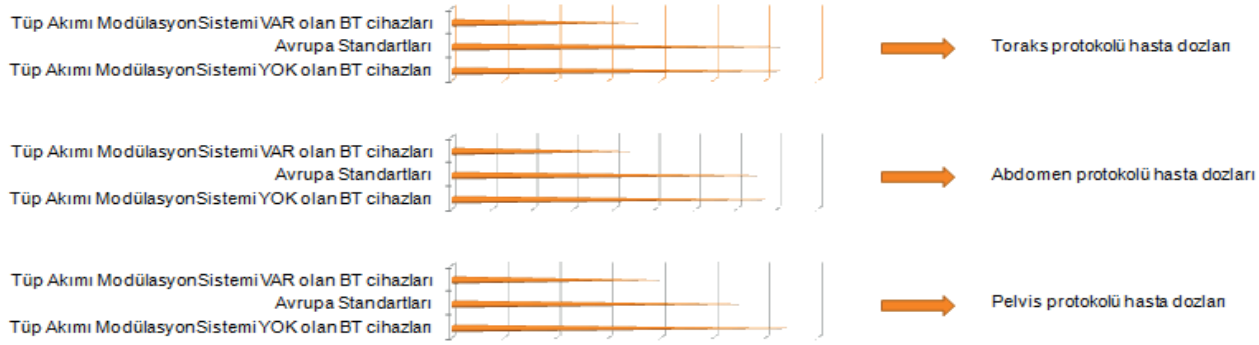
**Anahtar Kelimeler:** Tüp Akımı Modülasyon Sistemi, Hasta dozu, Bilgisayarlı Tomografi

Fotoğraf 1





Fotoğraf 2



Tablo 1

	Avrupa Standartları DLP (mGy*cm) Değerleri	
Toraks	Toraks	Toraks
650	780	570

Tablo 2

	Ortalama DLP (mGy*cm) Değerleri	Ortalama DLP (mGy*cm) Değerleri	Ortalama DLP (mGy*cm) Değerleri
	Toraks	Abdomen	Pelvis
Tüp Akımı Modülasyon Sistemi VAR olan BT cihazları	361,15	445,35	403,28
Tüp Akımı Modülasyon Sistemi YOK olan BT cihazları	656,63	806,83	668,75

Yayın No: P-32

Bildiri Grubu: Nükleer Tıp

Nükleer tıp uygulamalarında hastadan çevreye yayılan radyasyon doz hızı ölçümleri

Yağmur Aykurtlu<sup>1</sup>, Sevin Coşar Ayaz<sup>1</sup>, İsmail Günay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mersin Şehir Eğitim Ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Kliniği

<sup>2</sup>Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, Adana

Amaç : Nükleer Tıp uygulamalarında radyofarmasötik verilmesinden sonra hastalardan çevreye yayılan doz hızının ölçümü ve Nükleer Tıp kliniklerinde hasta giriş-çıkış noktalarının belirlenmesinde bu ölçümlerin değerini saptamaktır.

Gereç ve Yöntem : Çalışmaya, tüm vücut kemik sintigrafisi (TVKS), paratiroid sintigrafisi (PaS) ve pozitron emisyon tomografisi (PET) görüntülemesi yapılan toplam 30 hasta (yaş ortalaması 40–60 yıl) dahil edildi ve hastalar 10'ar kişilik 3 gruba ayrıldı. TVKS ve PaS çekimi yapılan hastalara intravenöz yolla Teknesyum 99m (Tc-99m) ile bağlı radyofarmasötikler uygulandı. PET çekimi yapılan hastalara intravenöz yolla F-18 FDG enjeksiyonu yapıldı. Bu uygulamalar sonrasında hastadan çevreye yayılan radyasyon doz hızının ölçümü yapıldı. Radyasyon doz hızı ölçümleri Geiger-Müller cihazı ile enjeksiyondan sonra 15., 30., 45., 60. dakikalarda; hastadan 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m ve 2.0 m uzaklıktaki mesafelerden, batın seviyesinde, anterior

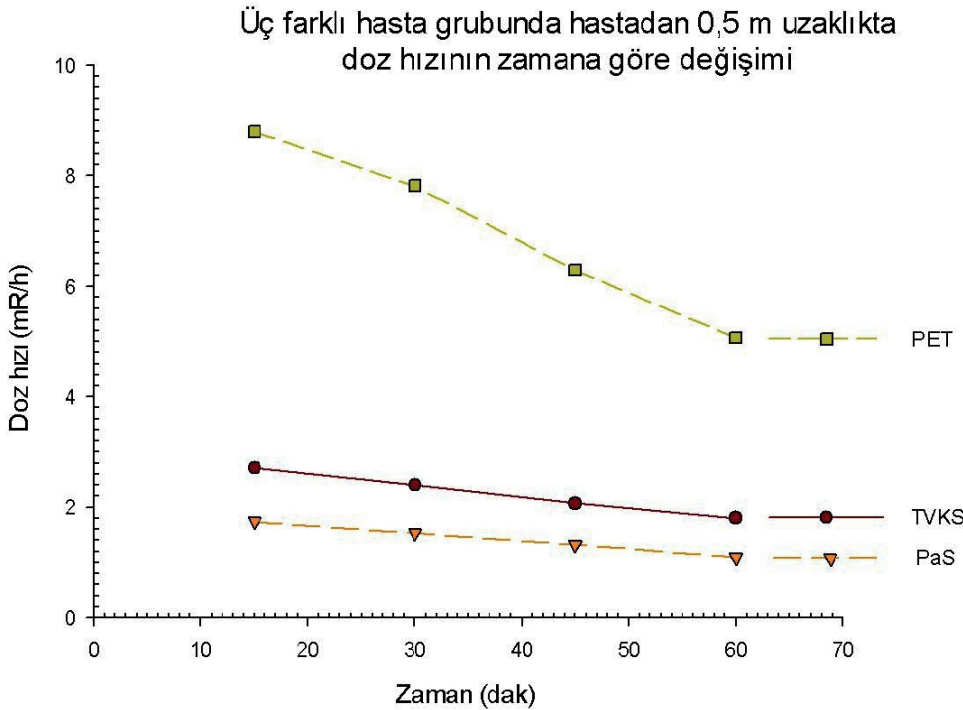
ve posterior pozisyonda yapıldı. Ölçümler sonucu elde edilen değerler ile mesafe ve zamana bağlı tablolar oluşturuldu. Doz hızının zamana ve mesafelere bağlı değişim grafikleri elde edildi (Şekil 1, 2). Çalışma sonucu elde edilen veriler, çalışan ve hasta yakınları için radyasyondan korunma açısından değerlendirildi.

**Bulgular :** TVKS, PaS, PET görüntülemesi yapılan toplam 30 hastadan ölçüm sonuçları elde edildi. Bu çalışmada PET görüntülemesi yapılan hastalardan yayılan radyasyon doz hızı, TVKS ve PaS görüntülemesi yapılan hastalarinkinden daha yüksek bulunmuş olup, bunun nedeni PET çekiminde hastaya uygulanan F18'in enerjisinin Tc-99m radyonüklidinin enerjisinden daha yüksek olmasıdır. Tüm hasta grupları için 1. saatteki 0 m, 0.5 m, 1.0 m, 1.5 m, 2.0 m mesafeden ölçülen doz hızları hastanın yanında belirlenen mesafede 1 saat kalındığı varsayılarak soğurulan doza çevrilmiştir. Buna göre 1. saatte, 0.5 m ve 2.0 m mesafede bu dozlar sırasıyla TVKS'de 0.018025 mSv ve 0.00703 mSv; PaS'de 0.01089 mSv ve 0.0022 mSv, PET çekiminde 0.05066 mSv ve 0.01021 mSv olarak hesaplanmıştır. TVKS ve PaS hastalarının doz hızı zayıflaması bir saat içinde yaklaşık %34 olurken, PET hastalarında %42 olmaktadır. Elde edilen bulgulara göre, TVKS, PaS, PET görüntülemesi yapılan hastaya 0.5 m mesafede iken en yüksek radyasyon doz hızına maruz kalmaktadır.

**Sonuç :** Nükleer Tıp alanındaki gelişmeler tanı ve tedavi kapsamında yapılan işlemlerin sayı ve çeşitliliğin artması, uygulanan radyofarmasötiklere ait doz hızı ölçümleri ve dozimetri çalışmalarının da artmasına neden olmuştur. Radyasyon çalışanlarının ve halkın gereksiz radyasyona maruz kalmalarının önüne geçmek için çekim sonrası, hastaların risk altındaki bu kişilerle aralarında en az 2.0 m mesafe olacak şekilde bölümden çıkışları ve hastaneyi terk edecek bir çıkış rotası belirlenmelidir. Bu çalışma kılavuzluğunda Nükleer Tıp uygulamalarında radyofarmasötik verilmesinden sonra hastalardan çevreye yayılan doz hızının ölçümü; Nükleer Tıp kliniklerinin planlanması ve özellikle hasta giriş çıkış noktalarının belirlenmesinde önemli rol oynayacak ve radyasyon çalışanlarının ve halkın iyonlaştırıcı radyasyon riskine maruz kalmasının önüne geçilmiş olacaktır.

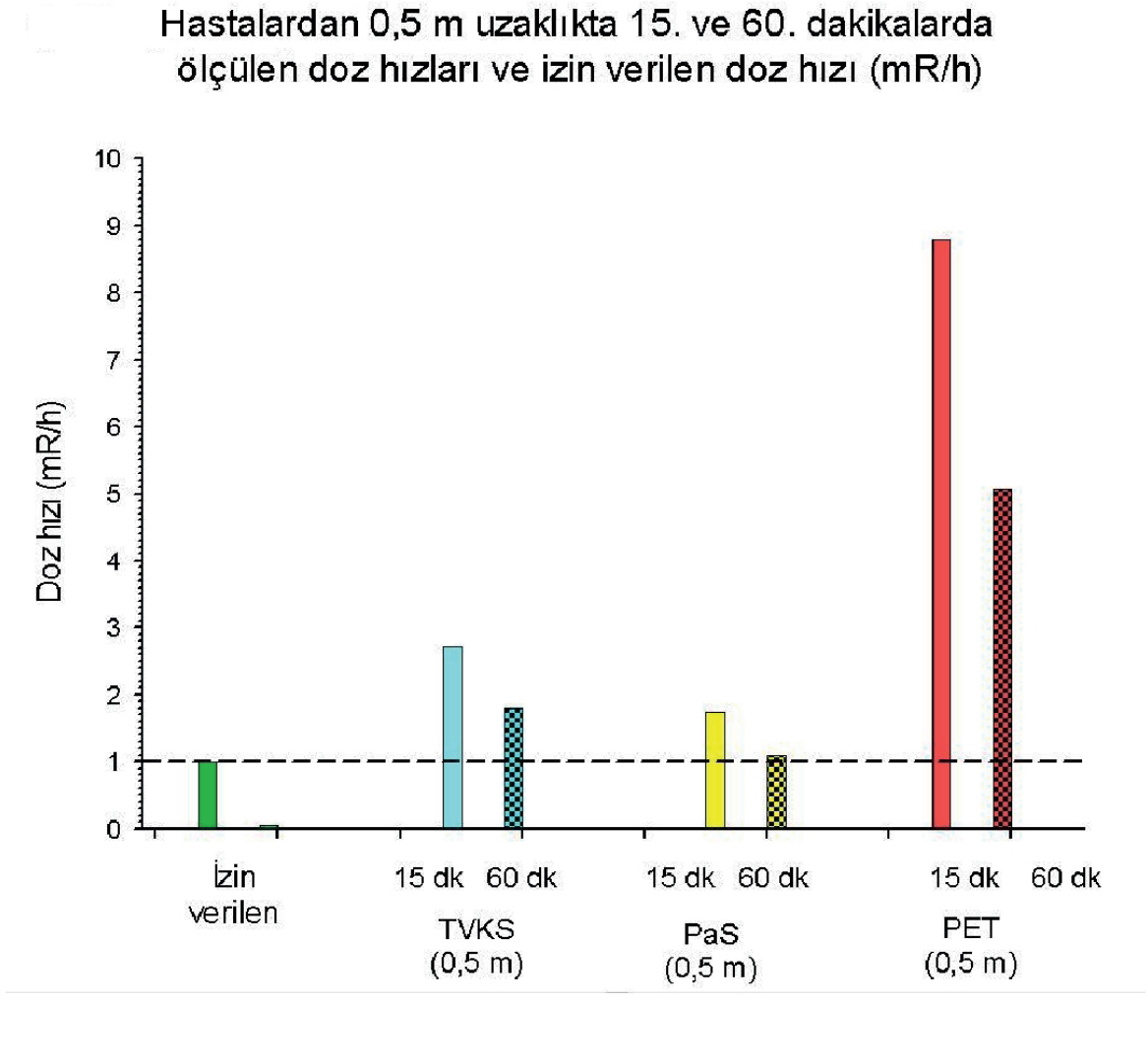
**Anahtar Kelimeler:** Nükleer tıp, pozitron emisyon tomografi, radyasyon dozu, radyasyondan korunma, sintigrafi,

Şekil 1.



Üç farklı hasta grubunda hastadan 0.5 m uzaklıkta doz hızının zamana göre değişimi

Şekil 2.



Hastalardan 0.5 m uzaklıkta 15. ve 60. dakikalarda ölçülen doz hızları ve izin verilen doz (mR/h)

Yayın No: P-33

Bildiri Grubu: Radyasyondan Korunma ve Radyasyon Güvenliği

Avrupa radyolojik veri değişim platformu ve türkiye'nin platformdaki rolünün araştırılması

Adil Merih<sup>1</sup>, Halis Bozkurt<sup>1</sup>, Gülhan Güler Avcı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Bölümü, Tokat

Amaç : Avrupa Radyolojik Veri Değişim Platformu (EURDEP), çoğunluğunu Avrupa ülkelerinin oluşturduğu radyolojik izleme verisinin paylaşıldığı bir ağıdır. Avrupa ülkelerinin katılımı ve ardından Avrupa birliği üyesi olmayan ülkelerin ise gönüllü katılımı ile yapılmaktadır. EURDEP ağı, katılımcı ülkeler tarafından ulusal radyolojik izleme ağlarından gelen gerçek zamanlı verileri saatlik olarak sistemde paylaşmaktadır. Toplanan veri kümeleri, özellikle radyolojik bir kaza sırasında radyasyon yayılımının en hızlı şekilde tespit edilmesine destek sağlamaktadır.

Gereç ve Yöntem : İnsan nüfusu sürekli olarak çeşitli doğal kaynaklardan (kozmetik ve karasal katkılar) iyonlaştırıcı radyasyona



maruz kalır. Fakat, 26 Nisan 1986 yılında gerçekleşen ve dünyada gerçekleşmiş olan en büyük radyasyon kazası olan Çernobil nükleer reaktöründe gerçekleşen patlamadan sonra özellikle Avrupa'da gündemden düşmeyen Radyasyon kazalarından haberdar olabilmek için çalışmalar gün geçtikçe hız kazandı. Bu sebeple 1995 yılında başlangıç olarak 6 ülkenin katılımı ile Avrupa Radyolojik Veri Değişim Platformu (EURDEP) kuruldu. Ardından her geçen yıl katılımlar çoğalarak günümüzde 40 ülkenin ortak olduğu çok geniş bir veri paylaşım ağı sistemine dönüştü. Şuan dünya genelinde 5000'i aşkın Online Otomatik İstasyonlar bulunmaktadır. Bu istasyonlar, havada, suda ve toprakta bulunan radyoaktivite değişimlerini anlık olarak Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezine (JRC) göndermektedir. Ölçümlerden bazıları; Yıllık kozmik radyasyon ölçümü, kapalı ve dahili Radon seviyesi, toprakta Uranyum, Toryum, Potasyum konsantrasyonu, temel kayalarda Gama, Uranyum, Toryum ve Potasyum konsantrasyonu olarak özetlenebilir. Bu datalar sürekli güncellenerek JRC tarafından <https://remon.jrc.ec.europa.eu/> sitesi üzerinden tüm dünya ile paylaşılmaktadır. EURDEP'a 2007 yılında dahil olan Türkiye, kendi adı ile Radyasyon Erken Uyarı Sistem Ağı (RESA) tüm illere yerleştirilmiş, eş zamanlı çalışan toplam 211 Adet istasyon ile 24 saat kesintisiz ölçüm yapmakta ve bu verileri tüm dünya ile paylaşmaktadır. Avrupa birliği ülkelerin aksine ülkemizde, sadece ülkemizi etkileyebilecek düzeyde radyasyon sızıntısı olması durumunda uyarı verecek şekilde tasarlanmış olan sistem; havadaki gama radyasyon düzeyindeki artışın algılanması esasına dayanmaktadır.

**Bulgular :** Ülkemizde 12 yıldır aktif olarak kullanılan RESA sisteminin verilerinin gösterdiği gibi 3 Aralık 2007 tarihinden günümüze kadar havadaki Gama radyasyon miktarı halk sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmamıştır. Yakın tarihte (13 Şubat 2019) Ordu ilinde bulunan bir RESA dedektöründen yüksek Gama radyasyon miktarı raporlanmıştır. TAEK'ten yapılan açıklamada RESA dedektörlerinin zaman zaman elektronik sistemlerinde sapmalar yaşanabileceğini, mevcut bölgede herhangi bir radyasyon yükselmesinin tespit edilmediğini dolayısı ile endişe edilecek bir durum oluşmadığını açıklamıştır.

**Sonuç :** Çernobil'de 1986 yılında yaşanmış olan trajik radyasyon kazası sonucunda öncülüğünü Avrupa'nın oluşturduğu bu platform, gözle göremediğimiz, kokusunu alamadığımız veya hissedemediğimiz iyonizan radyasyonların tespiti sonucunda önlem alabilmemize imkan ve zaman sağlayacak çok değerli bir kuruluştur. Türkiye'nin bu kuruluşta yer alıyor olması, günümüzde, çevre ülkelerimizde ve topraklarımızda kurulmakta olan Nükleer Reaktörlerin halkımızda yaratabileceği endişeleri azaltmak ve önlem alınabilir kesintisizlikte hassasiyet içerisinde çalışması çok büyük önem taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon, Veri Ağı, Avrupa Birliği, Radyasyon Kazası, İyonizan Radyasyon



**Profesyonel Kongre Organizatörü**  
**Ea Organizasyon**

**Adres:** Göksu Evleri Üst Çamlık Cad.  
No:191 B108A Anadoluhisarı, Beykoz, İstanbul

**Tel:** +90 216 465 35 40

**Faks:** +90 216 465 40 48

**E-posta:** [pco@eaorganizasyon.com.tr](mailto:pco@eaorganizasyon.com.tr)

**Web:** [www.eaorganizasyon.com.tr](http://www.eaorganizasyon.com.tr)