

Prostat Radyoterapisinde Fraksiyon içi Organ Hareketlerinin CTV-PTV Marjına Olan Etkisinin Belirlenmesi

Latif Korkmaz

Medikal Fizik Uzmanı

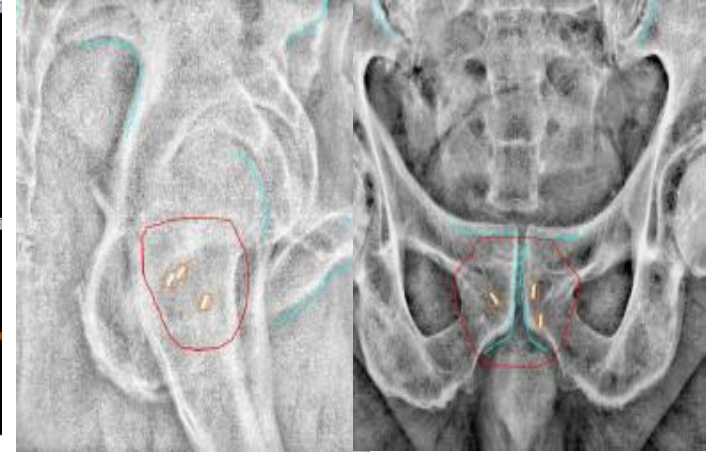
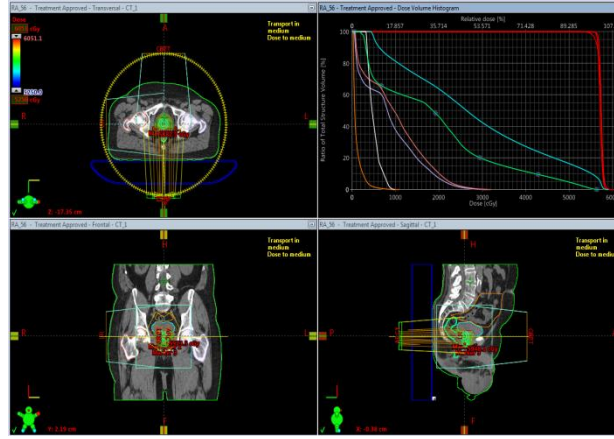
Acıbadem Bursa Hastanesi

Prostat Radyoterapi Planlama Süreci

Lazerlere göre işaretleme ve tarama

Tedavi planlama

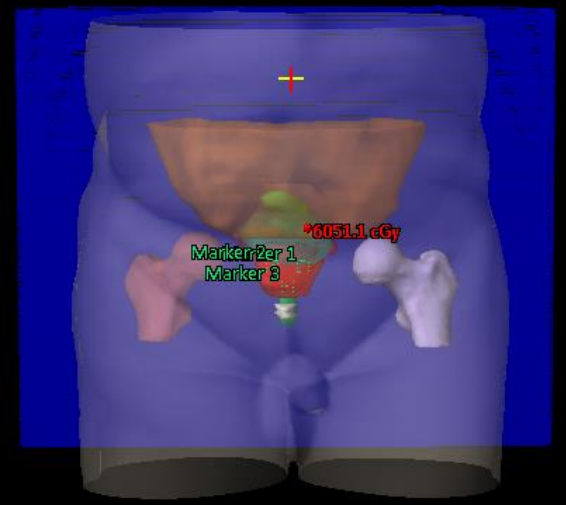
IGRT



Hedef ve kritik organ çizimi

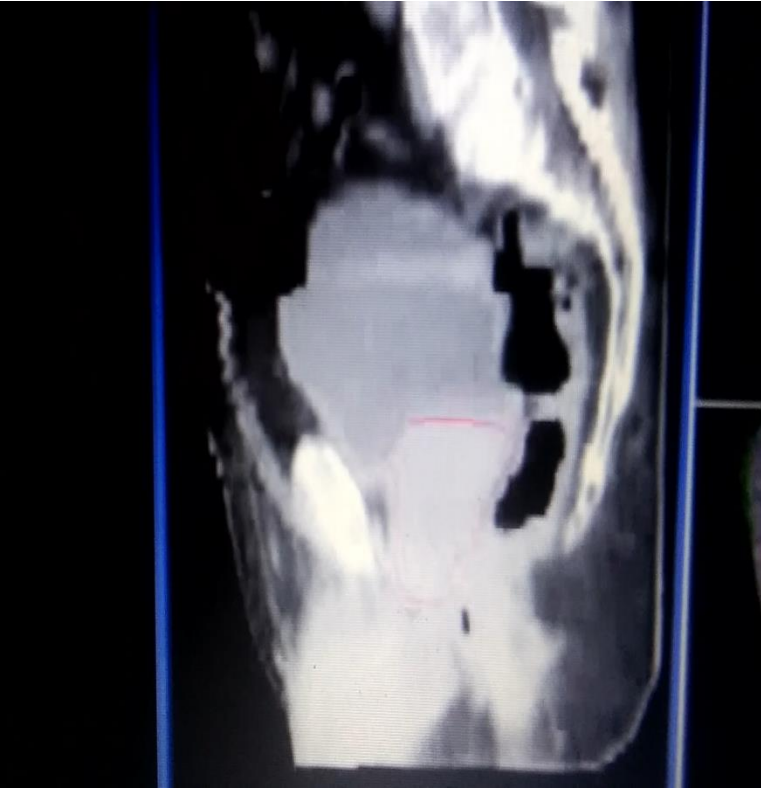
Lazerlere göre işaretleri eşleştirme

Tedavi



Eğer hasta 38 fraksiyon boyunca CT görüntüsündeki gibi dondurulmuş olsaydı bu süreç bizim için ideal bir süreç olurdu, fakat tedavi etmeye çalıştığımız prostat hastaları için maalesef durum böyle değil.

Organ Hareketleri&Online Setup Protokolleri



Hastalarımız rektum ve mesane doluluk değişikliğine bağlı olarak prostat hareketine sahip
Su içme ve tuvalet protokolleri uygulasak da bu organ hareketlerini tamamen yok etmek mümkün değil

Online setup protokollerine neden ihtiyaç var?

Organ hareketlerinin planlama sistemine getirdiği belirsizliklerin büyüklüklerini hesaplayıp kliniğimize ait CTV-PTV marjlarını elde etmek

Setup belirsizliklerinin bileşenleri nelerdir?

Sistematik hata (Σ)

Tanımlama hataları, pCT' nde gaz paketi varlığı gibi hatalar

Random hata (σ)

Günden güne hasta pozisyonundaki değişiklikler

Günden güne mesane ve rektum doluluğundaki farklılıklar

Kliniğimize ait CTV-PTV marjının belirlenmesi neden önemli?

ICRU önerileri: Geometrik belirsizlikleri hesaba katmalı, CTV için tanımlanmış dozu almalı

ICRU tarafından CTV-PTV marjı ile ilgili verilmiş doğrudan bir yanıt yok

Problem: CTV-PTV Marjı 'nın büyüklüğünün ne olması gerektiğini nasıl hesaplayacağız?

Amaç&Yöntem

Amaç: Prostat radyoterapisinde fraksiyon içi organ hareketlerinin CTV-PTV marjına olan etkisinin farklı online IGRT prosedürleri kullanarak belirlenmesi

Yöntem: 3 adet (1mmx3mm) altın işaretleyici implante edilmiş 30 prostat hastası

$PTV_{PROSTAT}: CTV_{PROSTAT} + 0.6cm$ (Posterior eksen 0.3cm)

$PTV_{SV}: CTV_{SV} + 0.8cm$

2 ark (179CCW181 ve 181CW179) VMAT planı ile

toplamda 4 farklı Farklı online IGRT prosedürü kullanılarak:

Fraksiyon içi organ hareketlerini dikkate almadan

1. Fraksiyon öncesi kV-CBCT ile IGRT + Tedavi Işınlama

Fraksiyon içi organ hareketlerini dikkate alarak

2. Fraksiyon öncesi kV-CBCT ile IGRT + Tedavi Işınlama + Fraksiyon sonrası kV-kV ile IGRT

3. Fraksiyon öncesi kV-CBCT ile IGRT + Ark 1 Işınlama + kV-kV ile IGRT + Ark 2 Işınlama + Fraksiyon sonrası kV-kV ile IGRT

4. Fraksiyon öncesi kV-CBCT ile IGRT + Işınlama esnasında eş zamanlı olarak her 40° gantry rotasyonunda kV-kV (Triggered Image) IGRT eşliğinde 6mm threshold ile takip edip ışınlama

Yöntem

CTV-PTV Marjının Hesaplanması

Literatürdeki en genel kabul görmüş marj tarifi Marcel van Herk tarafından geliştirilen “Amsterdam yaklaşımı”

$$m_{PTV} = 2,5 \Sigma + 0,7\sigma \quad \Sigma = \sqrt{\Sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \Sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2} \quad \sigma = \sqrt{\sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2}$$

Fraksiyonlar arası ve fraksiyon içi hataların karelerinin toplamının karekökü alınarak

$$m_{PTV} = 2.5 \sqrt{\Sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \Sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2} + 0.7 \sqrt{\sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2}$$

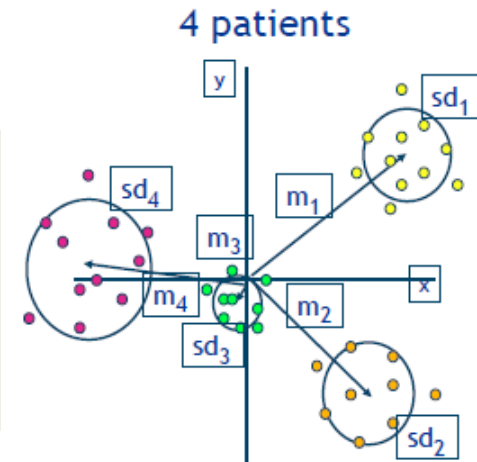
Sistematik hata (Σ) ve Random hata (σ) nasıl hesaplanır?

İstatistik	Herhangi bir eksene ait setup hata değerleri (cm)			
	Hasta 1	Hasta 2	Hasta 3	Hasta 4
Fraksiyon 1	0.5	0	0.2	0.7
Fraksiyon 2	0.6	-0.5	0.3	0.2
Fraksiyon 3	0.9	0.2	0.2	-0.4
↓	↓	↓	↓	↓
Fraksiyon 38	1.3	-1.1	0.3	-0.1
Analiz	Hasta 1	Hasta 2	Hasta 3	Hasta 4
Ortalama (m_i)	0.8	-0.4	0.3	0.1
Standart Sapma (sd_i)	0.3	0.6	0.1	0.5

mean of means
 $M: < m_i > \approx 0$

systematic deviation
 $\Sigma : sd(m_i)$

random deviation
 $\sigma : < sd_i >$



Bulgular¹

Fraksiyon içi organ hareketlerini dikkate almadan

$$m_{PTV} = 2.5 \sqrt{\sum_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sum_{\text{fraksiyon içi}}^2} + 0.7 \sqrt{\sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2}$$

(1) Fraksiyon öncesi kV-CBCT + Işınlama			
Hata	Vrt (cm)	Lng (cm)	Lat (cm)
M:<mi>	-0.04	0.20	0.04
Σ:sd (mi)	0.17	0.31	0.27
σ:<sdi>	0.39	0.60	0.65
PTV Marjı	0.69	1.19	1.13

Fraksiyon öncesi IGRT ile elde edilmiş masa kayma değerleri kullanılarak hesaplanan

$$m_{PTV,Vrt} = 2.5 \sqrt{0.17^2 + 0^2} + 0.7 \sqrt{0.39^2 + 0^2} = 0.69 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lng} = 2.5 \sqrt{0.31^2 + 0^2} + 0.7 \sqrt{0.61^2 + 0^2} = 1.19 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lat} = 2.5 \sqrt{0.27^2 + 0^2} + 0.7 \sqrt{0.65^2 + 0^2} = 1.13 \text{ cm}$$

Tüm eksenlere ait ortalama grup hatası (M) değerinin 0 ile 0.2 cm arasında olması analiz datasının güvenilir olduğunu göstermiştir.

Fraksiyon içi organ hareketlerini dikkate alarak

$$m_{PTV} = 2.5 \sqrt{\sum_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sum_{\text{fraksiyon içi}}^2} + 0.7 \sqrt{\sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2}$$

Fraksiyon öncesi ve sonrası IGRT ile elde edilmiş masa kayma değerleri kullanılarak

$$m_{PTV,Vrt} = 2.5 \sqrt{0.17^2 + 0.11^2} + 0.7 \sqrt{0.39^2 + 0.23^2} = 0.81 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lng} = 2.5 \sqrt{0.31^2 + 0.12^2} + 0.7 \sqrt{0.61^2 + 0.22^2} = 1.29 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lat} = 2.5 \sqrt{0.27^2 + 0.10^2} + 0.7 \sqrt{0.65^2 + 0.15^2} = 1.19 \text{ cm}$$

(2) Fraksiyon öncesi kV-CBCT + Işınlama+ Fraksiyon sonrası kV-kV IGRT			
Hata	Vrt (cm)	Lng (cm)	Lat (cm)
M:<mi>	-0.03	0.01	-0.01
Σ:sd (mi)	0.11	0.12	0.10
σ:<sdi>	0.23	0.22	0.15
PTV Marjı	0.81	1.29	1.19

Fraksiyon içi organ hareketi vrt, lng ve lat eksenler için sırası ile 0.12cm, 0.1 cm ve 0,06 cm olarak bulunmuştur. Beklenildiği üzere fraksiyon içi hareket en az lat ekseninde gözlemlenmiştir.

Bulgular²

Fraksiyon içi organ hareketlerini dikkate alarak

$$m_{PTV} = 2.5 \sqrt{\sum_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sum_{\text{fraksiyon içi}}^2} + 0.7 \sqrt{\sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2}$$

(3) Her bir tedavi alanı ışınlama öncesi kV-kV IGRT			
Hata	Vrt (cm)	Lng (cm)	Lat (cm)
$\sum:sd$ (mi)	0.09	0.10	0.14
$\sigma:<sdi>$	0.13	0.18	0.19
PTV Marjı	0.54	0.59	0.60

$$m_{PTV,Vrt} = 2.5 \sqrt{0.11^2 + 0.09^2} + 0.7 \sqrt{0.23^2 + 0.13^2} = 0.54 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lng} = 2.5 \sqrt{0.12^2 + 0.10^2} + 0.7 \sqrt{0.22^2 + 0.18^2} = 0.59 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lat} = 2.5 \sqrt{0.10^2 + 0.14^2} + 0.7 \sqrt{0.15^2 + 0.19^2} = 0.60 \text{ cm}$$

Her bir tedavi alanı öncesi IGRT yapma PTV marjlarının anlamlı derecede azalmasını sağlamıştır.

Fraksiyon içi organ hareketlerini dikkate alarak

$$m_{PTV} = 0.3 + (2.5 \sqrt{\sum_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sum_{\text{fraksiyon içi}}^2} + 0.7 \sqrt{\sigma_{\text{fraksiyonlar arası}}^2 + \sigma_{\text{fraksiyon içi}}^2})$$

$$m_{PTV,Vrt} = 0.3 + (2.5 \sqrt{0^2 + 0.04^2} + 0.7 \sqrt{0^2 + 0.04^2}) = 0.43 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lng} = 0.3 + (2.5 \sqrt{0^2 + 0.04^2} + 0.7 \sqrt{0^2 + 0.07^2}) = 0.45 \text{ cm}$$

$$m_{PTV,Lat} = 0.3 + (2.5 \sqrt{0^2 + 0.01^2} + 0.7 \sqrt{0^2 + 0.07^2}) = 0.35 \text{ cm}$$

(4) Eş zamanlı kV-IGRT (Triggered Image)			
Hata	Vrt (cm)	Lng (cm)	Lat (cm)
$\sum:sd$ (mi)	0.04	0.04	0.01
$\sigma:<sdi>$	0.04	0.07	0.07
PTV Marjı	0.43	0.45	0.35

Hesaplanan tüm eksenlere ait PTV marjları **posterior eksen (0.3cm)** hariç klinik kullanım ile uyumlu çıkmıştır.

(5) Eş zamanlı kV-IGRT ile tespit edilen gross hatalar	
Fraksiyon Sayısı	Hata Büyüklüğü
6 (hasta hareketi)	>3 cm
12 (hasta hareketi)	> 2 cm
18 (hasta&organ hareketi)	> 1 cm

Hastaların genellikle ilk fraksiyonlarında olduğu ve önerilen miktarın üzerinde su içerek, tedaviye girmek için olması gerekenden daha fazla süre bekleyen hastalar olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç ve Öneriler

Işınlama ile eş zamanlı olarak setup doğruluğunu kontrol etmek PTV marjlarını önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bu nedenle uzun süren tedavilerde birden fazla görüntüleme yapmak tedavinin doğruluğu açısından önemlidir.

Işınlama ile eş zamanlı olarak prostat hareketini gözlemleyebilmek hastalarda gross hataları önleyebilmemizi sağlamıştır.

Gross hataların önüne geçmek için hastaya uygun immobilizasyon ve hastaya uygun mesane-rektum doluluğu sağlanması önemlidir.

Rutin olarak kV-CBCT kullanımı prostat ve özellikle seminal vezikül yerleşimini belirlemede ve mesane-rektum doluluğu analizinde gereklidir.

IGRT' ye rağmen PTV marjı tarafından kapsanması gereken tanımlama (rektumu koruma amaçlı yapılacak tanımlamalardan kaçınılmalı) ve mikroskobik yayılım ile ilgili belirsizlikler halen bulunmaktadır.

TEŞEKKÜRLER

Yöntem

Kliniğimizde prostat hastaları nasıl tedavi ediliyor?

TrueBeam 2.5 (The Auto Beam Hold Package)

Triggered Image (TI)

Zaman, minimum aralık 3 saniye

Gantry açısı, minimum aralık 10°

MU, dose rate ile ilişkili olarak minimum aralık 3 saniye

Auto Detection (AD)

Otomatik algılama sistemi planlama sisteminde marker

olarak tanımlanmış işaretleyicilerin yerini anlık olarak algılaması

Auto Detection (AD) and Beam Hold (BH)

TI limit: İşaretleyicilerin etrafına küresel ROI tanımlanır

Yeşil: TI üzerindeki bir işaretleyici TI limit içinde ise

Kırmızı: TI üzerindeki bir işaretleyici TI limit dışında ise

Turuncu: TI üzerindeki işaretleyicilerden biri görüntülenemez ise

İşaretleyicilerden biri TI limit dışında ise sistem ışınlamayı otomatik keser

