



# Görüntü Kılavuzluğunda Radyoterapi Sistemlerinde Kalite Kontrol ve Kalite Güvencesi Raporu

## Guide for Quality Control and Quality Assurance Tests in Image-guided Radiotherapy Systems

Yağız YEDEKÇİ,<sup>1</sup> Gizem BAKICIERLER,<sup>2</sup> Bora SINDIR,<sup>2</sup> Esin GÜNDEM,<sup>3</sup> Esil KARA,<sup>4</sup>  
Sümeysra CAN,<sup>5</sup> Taha ERDOĞAN,<sup>6</sup> Osman Vefa GÜL,<sup>7</sup> Çağatay Recep ÖZBAY<sup>8</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara-Türkiye

<sup>2</sup>Celal Bayar Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Manisa-Türkiye

<sup>3</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara-Türkiye

<sup>4</sup>Etilik Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara-Türkiye

<sup>5</sup>Başakşehir Çam ve Sakura Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İstanbul-Türkiye

<sup>6</sup>Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Afyonkarahisar-Türkiye

<sup>7</sup>Selçuk Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Konya-Türkiye

<sup>8</sup>Acıbadem İzmir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İzmir-Türkiye

### ÖZET

Bu rapor, görüntü kılavuzluğunda radyoterapinin (IGRT) güvenliğini ve etkinliğini artırmak amacıyla kalite kontrol ve güvence testlerini sistematik olarak ele almaktadır. IGRT, gelişmiş görüntüleme sistemleri ile tümör hacimlerini doğru bir şekilde tanımlayarak tedavi sırasında anatomik değişikliklerin neden olduğu belirsizlikleri minimize etmeyi hedefler. Rapor, lineer hızlandırıcılara entegre 2D, 3D ve 4D görüntüleme sistemlerinin, yüzey ve solunum takip sistemlerinin kalite kontrol testlerini içermektedir. Testler, radyasyonlu görüntüleme sistemleri, yüzey takip sistemleri ve solunum takip sistemleri olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir. Rapor, geometrik doğruluk, görüntü kalitesi ve güvenlik testleri gibi kritik parametrelerin değerlendirilmesine yönelik prosedürleri ve tolerans değerlerini detaylandırmaktadır. Ayrıca, solunum takipli radyoterapi sistemleri ve 4D-CBCT modüllerine yönelik kalite kontrol yöntemleri sunulmuştur. Raporda, IGRT'nin doğru ve güvenilir bir şekilde uygulanmasını sağlamak için kalite kontrol protokollerinin standartlaştırılmasının önemi vurgulanarak, yeni başlayacak kliniklere ve medikal fizik uzmanlarına rehber olması, kendi kalite kontrol prosedürlerini hazırlama ve uygulama noktasında referans olarak alınması hedeflenmiştir. Önerilen test sıklıkları ve tolerans değerleri, uluslararası referanslar, firma önerileri ve MFD-GG008 grubu üyelerinin klinik deneyimleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, bu değerlerin ve test sıklıklarının değiştirilmesi, yeterliliği ve seçiminde cihaz özellikleri ve uygulanan tedavi tekniği göz önünde bulundurularak medikal fizik uzmanlarının karar vermesi gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** 4D-CBCT; geometrik doğruluk; IGRT; kalite kontrol; solunum takibi.

### SUMMARY

This report systematically addresses quality control and assurance tests aimed at enhancing the safety and efficacy of Image-Guided Radiation Therapy (IGRT). IGRT utilizes advanced imaging systems to accurately delineate tumor volumes, minimizing uncertainties caused by anatomical changes during treatment. The study encompasses quality control tests for 2D, 3D, and 4D imaging systems integrated with linear accelerators, as well as surface and respiratory tracking systems. The tests are categorized into three main groups: radiographic



imaging systems, surface tracking systems, and respiratory tracking systems. The report details procedures and tolerance values for critical parameters such as geometric accuracy, image quality, and safety tests. Additionally, quality control methods for respiratory-gated radiation therapy systems and 4D-CBCT modules are presented. The report emphasizes the importance of standardizing quality control protocols to ensure the accurate and reliable implementation of IGRT and aims to serve as a guide for newly established clinics and medical physicists, providing a reference for developing and implementing their own quality control procedures.

**Keywords:** 4D-CBCT; geometric accuracy; IGRT; quality control; respiratory tracking.  
Copyright © 2024, Turkish Society for Radiation Oncology

## 1. GİRİŞ

Görüntü kılavuzluğunda radyoterapi (Image Guided Radiation Therapy, IGRT), gelişmiş görüntüleme sistemleri ve karmaşık tedavi teknikleri kullanarak tümör hacimlerinin fonksiyonel ve biyolojik olarak doğru bir şekilde tanımlanmasını sağlar. IGRT'nin amacı, tedavi sırasında hasta anatomisinde oluşabilecek belirsizlikleri azaltarak, hedef hacmin doğru bir şekilde ışınlanmasını sağlamak ve normal dokunun gereksiz ışınlanmasını sınırlandırmaktır. Bu sistemler, tedavi öncesi ve tedavi sırasında yapılan görüntülemeler ile fraksiyonlar arası ve fraksiyon içi hareketleri kontrol ederek Planning Target Volume (PTV) marjlarını optimize eder.

GG008 raporu, lineer hızlandırıcılara (linak) entegre 2 Boyutlu, (2 Dimesional, 2D), 3D ve 4D görüntüleme sistemlerinin, yüzey ve solunum takip sistemlerinin kalite kontrol ve güvencesi (Quality Assurance, QA) testlerini içermektedir. Cyberknife ve tomoterapi cihazlarına ait görüntüleme sistemlerinin QA prosedürlerine GG004 ve GG003 raporlarından ulaşabilirsiniz.

Bu raporda QA testleri üç ana başlık altında toplanmıştır. Bunlar;

- Radyasyonlu görüntüleme sistemleri,
- Yüzey takip sistemleri,
- Solunum takip sistemleridir.

## 2. RADYASYONLU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ

### 2.1. Güvenlik Testleri

IGRT'de güvenlik testleri;

- Mekanik güvenlik,
- Radyasyon güvenliği ve
- Elektriksel güvenliği içermelidir.

Bu testler, düzenli aralıklar ile yapılmalıdır.

#### 2.1.1. Mekanik Güvenlik

##### 2.1.1.1. Çarpışma testleri

###### Amaç

- Çarpışma önleyici sistemlerin çalıştığını kontrol etmektir.

### Test Yöntemi

- MV (MegaVoltage) dedektör panel, kV (kiloVoltage) dedektör panel ve X-ışını tüpü üzerindeki çarpışma önleyici sistemler aktif olduğunda lineer hızlandırıcı, dedektör kolları ve tedavi masası hareketini durdurmalıdır.

### Sıklık

- Günlük olarak yapılmalıdır.

### Tolerans

- Tüm çarpışma önleyici sistemler çalışıyor durumda olmalıdır.

#### 2.1.2. Radyasyon Güvenliği

##### 2.1.2.1. Kilitler ve uyarı lambaları

###### Amaç

- Bu testler; kaynak ve dedektör kolu kilitlerinin, oda kapı kilitlerinin, radyasyon uyarı lambalarının, el kumandası ve ışın durdurma düğmelerinin fonksiyonel olarak çalışmasının denetlenmesini içermektedir.

### Test Yöntemi

- Işınlama sırasında tedavi odasının kapısı açılarak, kV ve MV ışınının durdurulup durdurulmadığı kontrol edilmelidir.
- İstenmeyen koşullar altında örneğin; kapı açık veya kaynak kolları tam olarak uzatılmamış olduğunda sistemin çalışmasını engelleyen sistem kilitlerinin işlemi başlatmadığı test edilmelidir.
- El kumandaları üzerindeki durdurma düğmelerinin doğru bir şekilde çalıştığından ve tüm motorize hareketleri durdurduğundan emin olunmalıdır.
- kV ve MV görüntüleme prosedürü sırasında radyasyon uyarı lambasının "AÇIK" olup olmadığı kontrol edilmelidir.

### Sıklık

- Günlük olarak yapılmalıdır.

### Tolerans

- Tüm kilit ve uyarı lambaları çalışır durumda olmalıdır.

### 2.1.3. Elektriksel Güvenlik

Sistem yüksek gerilim bağlantıları ile çalıştığından elektriksel güvenlik için kabloların ve yalıtımın uygun şekilde topraklanması önemlidir. Tüm donanım üzerinde gevşek kablolar ve göz ile görünen kusurlara yönelik kontrol gerçekleştirilmelidir. MV, kV ve Cone Beam Computed Tomography (CBCT) sistemlerinin elektriksel güvenliği günlük olarak denetlenmelidir.

## 2.2. Geometrik Doğruluk

Kabul ve/veya devreye alma ve kalite kontrol sürecinde, QA programının her aşamasında önerilen geometrik testlerde şu koşullar sağlanmalıdır:

- Oda lazerleri, tedavi izomerkezi ile tam olarak örtüşmelidir.
- Radyasyon tedavisinin izomerkezi, kullanılan tüm enerjilerde mekanik izomerkez ile uyumlu olmalıdır.
- Tedavi masasında histerezis bulunmamalıdır, yani masa hareketlerinde geri kalma veya gecikme yaşanmamalıdır.
- Tedavi masası hareketinin doğruluğu, belirlenmiş tolerans aralıkları içinde olmalıdır.
- Referans görüntüler (Bilgisayarlı Tomografi - BT ve Dijital Olarak Yeniden Yapılandırılmış Radyografi - DRR), yüksek çözünürlükte olmalıdır.

Bu koşullar, tedavi cihazlarının geometrik doğruluğunu ve hasta tedavi sürecinin güvenliğini sağlamak için kritik önem taşımaktadır.

### 2.2.1. kV Görüntüleme İzomerkezi

#### Amaç

- Bu testler; kV görüntüleme izomerkezi ile MV demet izomerkezinin uyumunun ölçülmesini içermektedir.

#### Test Yöntemi

- kV görüntüleme sisteminin izomerkezi ile MV izomerkez uyumu Winston-Lutz testi ile incelenebilir. Bu test hakkında detaylı bilgiye ulaşmak için ilgili çalışmalarını inceleyiniz.[1,2]

#### Sıklık

- Aylık olarak yapılmalıdır.

#### Tolerans

- Stereotaktik Radyocerrahi (SRS)/ Stereotaktik Vücut Radyoterapisi (SBRT) uygulanıyorsa <1 mm.
- SRS/SBRT uygulanmıyorsa <2 mm.

### 2.2.2. MV Görüntüleme İzomerkezi

Dedektör paneli ile MV kaynak arasındaki geometrik ilişki değişebileceğinden dolayı MV görüntü izomerkezi ile tedavi izomerkezi farklı olabilir. kV görüntüleme izomerkezi için uygulanan prosedür, MV izomerkez doğruluğu için de kullanılabilir. Sıklık ve tolerans değerleri aynıdır.

### 2.2.3. CBCT İzomerkezi ile Tedavi Merkezi Uyumu

#### Amaç

Bu testler; CBCT görüntüleme izomerkezi ile MV demet izomerkezinin uyumunun ölçülmesini içermektedir.

#### Kısa Test Yöntemi

- Test için kurulumu kolay, merkezinde radyoopak bir yapı içeren bir fantom kullanılmalıdır.
- Fantom, mekanik göstergeler dikkate alınarak izomerkeze yerleştirilir.
- Fantomun ortogonal MV görüntüleri elde edilir.
- Elde edilen görüntüler, DRR görüntüleri ile eşleştirilir.
- Fantomun CBCT görüntüsü elde edilir.
- CBCT görüntüsüne göre gerekli kaydırmalar not edilmelidir.
- Bu iki eşleştirme arasındaki fark kayıt edilir.

#### Sıklık

- Günlük olarak yapılmalıdır.

#### Tolerans

- Üç ana yönde yer değiştirme  $\leq 1$  mm olmalıdır.
- Rotasyon  $\leq 1^\circ$  olmalıdır.

#### Uzun Test Yöntemi

- Fantom (örneğin; QUASAR™ Penta-Guide, MI-MI™ veya Catphan504™) oda lazerlerine göre hizalanmalıdır.
- 4 ana gantry açısında ( $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ve  $270^\circ$ ) 8 portal görüntü serisi, kolimatör açısı hem  $-90^\circ$  hem de  $+90^\circ$ 'de olacak şekilde elde edilmelidir. Bunlar referans DRR'lar ile eşleştirilmelidir. Gantry sarkması ve potansiyel kolimatör asimetrisi ortalama olarak alınacaktır.
- Bir CBCT görüntüsü elde edilmeli ve bu görüntü referans BT veri seti ile eşleştirilmelidir.
- İki eşleşme arasındaki fark, hacimsel görüntüleme sistemi izomerkezi ile radyasyon tedavisi izomerkezi arasındaki tutarsızlığa dair bir gösterge verir (kV-MV çakışması).

#### Sıklık

- Testin aylık (günlük hızlı bir prosedür gerçekleştirildiğinde) olarak yapılması önerilmektedir. Test, farklı MV enerjilerinde, CBCT görüş alanlarında ve CBCT tarama yönünde tekrarlanabilir.

#### Tolerans

- Üç ana yönde yer değiştirme  $\leq 1$  mm olmalıdır.
- Rotasyon  $\leq 1^\circ$ .

Hacimsel görüntüleme sistemi izomerkezinin, radyasyon tedavisi izomerkezinden sapması tolerans dışında ise aşağıdaki adımları izleyebilirsiniz:

- X-ışını tüpünün ve flat panel dedektörün hizalanmasının doğru olduğundan emin olun (doğru prosedür için üreticinin bakım kılavuzuna bakın).

- Radyasyon tedavisi izomerkezinin, mekanik izomerkez ile örtüşüp örtüşmediğini kontrol edin (spoke shot analizi).
- Geometrik kalibrasyon (flexmap ölçümü) gerçekleştirin.

#### 2.2.4. Görüntü Eşleştirme ve Düzeltme Doğruluğu

Görüntü eşleştirme sırasında doğru pozisyonlama için yazılım tarafından verilen masa kaydırma değerlerinin doğruluğunun test edilmesi gerekmektedir.

##### Amaç

- Görüntü eşleştirme yazılımı tarafından hesaplanan masa kaydırma değerlerinin doğruluğunu ölçmek.

##### Test Yöntemi

- Birkaç işaretleyici (örneğin; QUASAR™ Penta-Guide, MIMI™, Catphan504™) içeren fantom oda lazerlerine göre hizalanmalıdır.
- Masa, her yönde 2 cm'den az olan önceden belirlenmiş mesafelerde hareket ettirilmelidir.
- Eğer 6 boyutlu bir masa kullanılıyor ise fantom 3 ekseninde 2.5° döndürülmelidir.
- 2 ortogonal portal görüntü ve bir CBCT taraması alınarak, referans DRR ve BT görüntüleri ile karşılaştırılmalıdır.
- Gerçek ve hesaplanan kaymalar karşılaştırılarak, yazılımın eşleştirme doğruluğu değerlendirilmelidir.
- Bu kaymalar masaya uygulanmalı ve yeniden hizalama yapılarak sonuçlar doğrulanmalıdır.

##### Sıklık

- Günlük ve tedavi masa/yazılım güncellemeleri sonrası yapılmalıdır.

##### Tolerans

- Üç ana yönde eşleştirme doğruluğu  $\leq 1$  mm olmalıdır.
- Masa kayması doğruluğu üç ana yönde  $\leq 1$  mm olmalıdır.

### 2.3. Görüntü Kalitesi

#### 2.3.1. Düzlemsel Görüntüleme

##### 2.3.1.1. kV görüntüleme

###### 2.3.1.1.1. Ölçeklendirme

##### Amaç

- Görüntüdeki ölçeklendirme doğruluğunu test etmek.

##### Test Yöntemi

- Bu test için boyutlarından emin olduğunuz herhangi bir fantom kullanılabilir.
- Genellikle TOR 18FG Leeds fantom kullanılmaktadır. Prosedür bu fantom üzerinden açıklanacaktır.
- Fantom yüzey merkezi, izomerkezde olacak şekilde 45° açı ile tedavi masasına yerleştirilir.

- 1 mm bakır kare plaka fantomun üzerine yerleştirilir.
- Planar bir görüntü elde edilir.
- Görüntünün referans Window and Level değerleri ayarlanır.
- Görüntüde fantom kenarları arasındaki mesafe ölçülür.

##### Sıklık

- Bu test aylık olarak tekrarlanmalıdır.

##### Tolerans

- Fantom görüntüsü ile ölçülen mesafe arasındaki fark değerlendirilmelidir. Limitin  $< 1$  mm olması beklenmektedir.

#### 2.3.1.1.2. Düşük kontrast çözünürlüğü ve uzaysal ayırım

##### Amaç

Düşük kontrast çözünürlüğü ve uzaysal ayırımı test etmek.

##### Test Yöntemi

- TOR 18FG Leeds fantomu, yüzey merkezi izomerkezde olacak şekilde 45° açı ile tedavi masasına yerleştirilir.
- 1 mm bakır kare plaka, fantomun üzerine yerleştirilir.
- Planar bir görüntü elde edilir.
- Görüntünün referans Window and Level değerleri ayarlanır.

##### Sıklık

- Aylık olarak yapılmalıdır.

##### Tolerans

- Düşük Kontrast Çözünürlüğü: Fantom görüntüsündeki düşük kontrast disk'leri sayılır. Görülen disk sayısı arttıkça düşük kontrast çözünürlüğü artar. En az 12 disk görünmelidir.
- Uzaysal Ayırma: Fantomdaki çözünürlük modül görüntüsünde net olarak görülebilen spatial frequency grupları sayılır. Görülen grup sayısı arttıkça, mm başına görülen çizgi çifti sayısı artar. En az 10 frequency grup (1.4 lp/mm) net olarak görülmelidir.

#### 2.3.1.1.3. Homojenite ve Gürültü

##### Amaç

- Görüntüdeki homojenliği ve gürültüyü test etmek.

##### Test Yöntemi

- Planar bir görüntü elde edilir. Görüntünün referans Window and Level değerleri ayarlanır.
- Merkez ve alan kenarından 2 cm uzaklıkta merkezi ekseninde 4 farklı konum belirlenir.
- Bu konumlarda 1cm<sup>2</sup> alanın ortalama pixel ve standart sapma değerleri kaydedilir.

##### Sıklık

- Aylık olarak gerçekleştirilmelidir.

##### Tolerans

- Pixel değerleri birbirine ne kadar yakın ise görüntü o kadar homojendir.

- Gürültü; standart sapma ile tanımlanır. Standart sapma artıkça gürültü de artar.
- Kaydedilen değerler referans değer ile karşılaştırılmalıdır.

### 2.3.1.2. MV görüntüleme

#### 2.3.1.2.1. Ölçeklendirme

##### Amaç

- Görüntü ölçeklendirme doğruluğunu test etmek.

##### Test Yöntemi

- Las Vegas fantom, yüzey merkezi izomerkezde olacak şekilde tedavi masasının üzerine yerleştirilir.
- 12 cm×12 cm alan boyutunda 6 MV kullanarak 100 MU ile ışınlanır.
- Görüntünün Window and Level değerleri ayarlanır.
- Görüntüde kenarlar arasındaki mesafe ölçülür.

##### Sıklık

- Aylık olarak yapılmalıdır.

##### Tolerans

- Fantom görüntüsü ve fantom üzerinde ölçülen mesafeler arasındaki fark değerlendirilir.
- Limit: <1 mm.

#### 2.3.1.2.2. Düşük kontrast çözünürlüğü ve uzaysal ayırma

##### Amaç

- Düşük kontrast çözünürlüğü ve uzaysal ayırmayı test etmek.

##### Test Yöntemi

- Las Vegas fantom, merkez yüzeyi izomerkezde olacak şekilde tedavi masasına yerleştirilir.
- Fantomun kesik ucu Gantry yönünde olmalıdır.
- 12 cm×12 cm alan boyutunda 100 MU ile ışınlama yapılır.
- Görüntünün Window and Level değerlerini ayarlanır.
- Net olarak görülebilen deliklerin (hole) sayısı belirlenir.

##### Sıklık

- Aylık olarak yapılmalıdır.

##### Tolerans

- Düşük kontrast çözünürlüğü: Görüntüde satırda net olarak görülebilen toplam delik (hole) sayısı düşük kontrast çözünürlüğünü temsil eder.
- Uzaysal ayırma: Görüntüde sütunda net olarak görülebilen toplam delik sayısı uzaysal ayırmayı temsil eder.

En az ayırt edilmesi gereken delik sayısı kullanılan enerjiye göre şu şekilde olmalıdır:

- 6 MV: 16 hole
- 10 MV: 13 hole
- 15 MV: 11 hole

### 2.3.2. CBCT

CBCT için gerekli testleri yapmak üzere Catphan®503 fantomunu kullanarak aşağıdaki test prosedürünü uygulayabilirsiniz. Tüm önerilen testler için başlangıç değerleri, kabul ve devreye alma süreci sırasında belirlenmelidir.

#### Test Yöntemi

- Fantom, oda lazerlerine göre tedavi masasının sonunda pozisyonlandırılır.
- Fantomun duruşu su terazisi ile kontrol edilir.
- Fantomdaki test modüllerinin konumu, fantom üzerindeki alignment maker'lar ile belirlenir.
- Fantom, teste uygun alignment maker'a göre konumlandırılır.
- Fantom görüntüsü elde edilir.
- Görüntüler testlerin değerlendirmesinde kullanılır.

#### 2.3.2.1. Homojenite

- Merkez ve fantom kenarından en az 2 cm uzaklıkta, merkezi ekseninde 4 farklı konum belirlenir.
- Bu konumlarda 1 cm<sup>2</sup> alandaki ortalama pixel ve standart sapma değerleri kaydedilir.
- En yüksek ortalama pixel değerinin maksimum yüzde farkı hesaplanır.

$$Fark\% = \frac{ortalama(yüksek) - ortalama(düşük)}{ortalama_{yüksek}} \times 100$$

##### Sıklık

- Yıllık olarak yapılmalıdır.

##### Tolerans

- Fark <%1.5

#### Yöntem 1

- Gürültü; standart sapma ile tanımlanır. Standart sapma artıkça gürültü da artar.
- Transvers görüntüde, kontrast modülü seçilir.
- Materyalinin merkezinde 0.35 cm<sup>2</sup> alandaki standart sapma değeri kaydedilir.
- Standart sapmadaki değişim, başlangıç değerine göre takip edilmelidir.

#### Yöntem 2

- Gürültü, Signal-to-Noise Ratio (SNR) ve Contrast-to-Noise Ratio (CNR) ile tanımlanabilir.
- Transvers görüntüde, kontrast modülü seçilir.
- Materyalinin merkezinde 0.35 cm<sup>2</sup> alandaki ortalama pixel  $\bar{P}_{ROI,insert}$  ve standart sapma  $\sigma_{ROI,insert}$  değerleri kaydedilir.
- Bu değerlere göre SNR ve CNR oranları hesaplanır.

$$SNR = \frac{\bar{P}_{ROI,insert}}{\sigma_{ROI,insert}}$$

$$CNR = \frac{|\bar{P}_{ROI,insert} - \bar{P}_{ROI,background}|}{\sqrt{\sigma_{ROI,insert}^2 + \sigma_{ROI,background}^2}}$$

- SNR ve CNR değerleri, başlangıç değerlerine göre kıyaslanarak takip edilmelidir.
- Gürültüdeki değişim düşük kontrast çözünürlüğü'nü etkiler.

#### Sıklık

- Yıllık olarak yapılmalıdır.

#### Tolerans

- Başlangıç değerinin %10'u.

#### 2.3.2.3. Düşük kontrast çözünürlüğü

##### Yöntem 1

- Transvers görüntüde, kontrast modülü seçilir.
- Yatay ve dikey aligment marker'ların görünür olduğu kesit belirlenir.
- Polistiren ve LDPE materyalinin merkezinde 0.35 cm<sup>2</sup> alandaki ortalama pixel ve standart sapma değerleri kaydedilir.
- Bu değerlere göre kontrast çözünürlüğü hesaplanır. Çıkan sonuç %3 den küçük olmalıdır.

$$\text{düşük kontrast çözünürlüğü \%} = \frac{(CT_{\text{polistiren}} - CT_{LDPE}) / 10}{\frac{(ortalama_{\text{polistiren}} - ortalama_{LDPE})}{(SD_{\text{polistiren}} + SD_{LDPE}) / 2}}$$

##### Yöntem 2

- Transvers görüntüde, düşük kontrast modülü seçilir.
- Görüntünün Window and Level değerlerini ayarlanır.
- Yüzde kontrasta göre seçilebilen en küçük hole boyutları kaydedilir.
- Sonuçlar, referans değere göre kıyaslayarak takip edilmelidir.

#### Sıklık

- Yıllık olarak yapılmalıdır.

#### 2.3.2.4. Uzaysal ayırma

##### Yöntem 1

- Transvers görüntüde uzaysal ayırma modülünün merkez kesitine gelinir.
- Uzaysal ayırma modül görüntüsü ekranı tam kaplayacak şekilde yakınlaştırılır.
- Görülebilen çizgi çifti sayısı kaydedilir ve sonuç en az 10 çizgi çifti/cm olmalıdır.

#### Sıklık

- Yıllık olarak yapılmalıdır.

#### 2.3.2.5. Ölçeklendirme

- Transvers görüntüde, kontrast rezolüsyon modülü seçilir.

- Hava materyallerinin dış ve iç kısmı arasındaki mesafe (Z eksen),
- LPDE ve Derlin dış ve iç kısmı arasındaki mesafe (X eksen) 117 mm ± 1 mm olmalıdır.
- Sagittal görüntüde, ilk ve son alignment marker'lar arasındaki mesafe (Y eksen) 110 mm ± 1 mm olmalıdır.

#### Sıklık

- Aylık olarak yapılmalıdır.

#### 2.3.2.6. HU sabitliği

- Transvers görüntüde, kontrast modülü seçilir.
- Yatay ve dikey aligment marker'ların görünür olduğu kesit belirlenir.
- Materyalin merkezinde 0.35 cm<sup>2</sup> alandaki ortalama pixel değerleri ve standart sapma değeri kaydedilir.
- Sonuçlar, referans değerler ile karşılaştırılır.

#### Referans değer;

- Kontrast modülündeki materyale karşılık gelen HU değerleri BT'de ölçülür.
- Fantomun BT görüntüsü CBCT yazılımına gönderilir.
- Materyale karşılık gelen ortalama pixel değerleri yazılır.
- Materyalin HU değerine karşılık gelen ortalama pixel değerleri eşleştirilir.

#### Sıklık

- Yıllık olarak yapılmalıdır.

### 3. 4D-CBCT İÇİN KALİTE KONTROL YÖNTEMLERİ

#### Amaç

- 4D-CBCT görüntüleme modüllerinin kalite kontrol süreçlerini sistematik olarak gerçekleştirmek ve hedef hareketinin doğruluğunu sağlamak.

#### Test Yöntemi

##### Fantom hazırlığı;

- CIRS Dinamik Fantom gibi uygun bir hareketli fantom kullanarak, 4D-CT görüntüsü elde edilir.
- Hareketli fantomun 4D-CBCT görüntüleri de elde edilir.
- Elde edilen CBCT görüntülerinde, gantry açısına bağlı olarak fazlar arasındaki hareket farkı gözlemlenir ve analiz edilir.
- Görüntüler eşleştirilir ve elde edilen hedef pozisyonları karşılaştırılır.
- 4D-CBCT sistemlerinde elde edilen görüntülerin hareket takibindeki doğruluğu özel yazılımlar aracılığı ile analiz edilmelidir.
- Sistematik olarak elde edilen veriler kaydedilir ve her iki görüntüleme yöntemi arasındaki uyum değerlendirilir.

### Sıklık

- Kalite kontrol testleri, her ay düzenli olarak gerçekleştirilmelidir.

### Tolerans

- Elde edilen görüntülerde, hedef hareketinin doğruluğu için belirlenen tolerans aralığı  $\pm 1$  mm ve  $\pm 1^\circ$  olmalıdır.

### Ek Notlar

- Dinamik toraks fantomlarının ve yazılımlarının maliyetinin yüksek olması, kalite kontrol işlemlerinin sınırlılıklarından biridir. Ayrıca, hasta solunum döngüsündeki değişikliklerin, elde edilen ortalama hedef pozisyonları etkilemesi, standartların belirlenmesini zorlaştırmaktadır.

## 4. YÜZEY TAKİP SİSTEMLERİ İÇİN KALİTE KONTROL TESTLERİ

### 4.1. Kamera Pozisyon Doğruluğu ve İzomerkez Uyumu

#### Amaç

- Yüzeysel takip sisteminin günlük izomerkezi ile cihaz izomerkesinin uyumunu test etmek.

#### Test Yöntemi

- Yüzeysel takip sistemine uygun iki boyutlu fantom SSD=100 cm mesafesine yerleştirilir.
- Cihaz izomerkezi ile fantom merkezi hizalanır.
- Tedavi sırasında kullanılan aydınlatmanın doğru şekilde ayarlandığından ve ışık seviyesinin tedavi koşullarına uygun olduğundan emin olunmalıdır. Bu, yüzeysel takip sisteminin optimal çalışmasını sağlamak için önemlidir. Fantomun görüntüsü alınır ve 6D olarak tüm değerlerin tolerans limitleri içinde olduğu kontrol edilir.
- Fantomun görüntüsü yüzeysel takip sistemi ile elde edilir. Tüm pozisyonlama değerleri 6 ekseninde (6D: X, Y, Z, Pitch, Roll, Yaw) ölçülür. Bu değerlerin belirlenen tolerans limitleri içinde olup olmadığı kontrol edilir.

#### Sıklık

- Günlük olarak yapılmalıdır.

#### Tolerans

- 0.5 mm.

### 4.2. Demet Durdurma Özelliğinin Testi

#### Amaç

Hasta hareket limitlerinin dışına çıktığında, Yüzeysel Kılavuzlu Radyoterapinin (SGRT) ışınlamayı otomatik olarak durdurduğunu doğrulamak.

#### Test Yöntemi

- Hareketi kontrol edilebilecek bir fantom kullanılmalıdır.

- En az 3 farklı limit belirlenmelidir.
- Fantom bu limitleri aşacak şekilde hareket ettirilmelidir.
- Hareket sonucunda ışınlamanın durdurulup durdurulmadığı test edilmelidir.

#### Sıklık

Haftalık olarak yapılmalıdır.

#### Tolerans

- Fonksiyonel olmalıdır. Limit dışına çıktığında ışınlamanın durdurulması gerekmektedir.

### 4.3. Hareket Takibi

#### Amaç

- SGRT sisteminin 4 boyutlu solunum takibi özelliğini test ederek, sistemin hareketli fantomun solunum frekansı ve genlik değerlerini doğru şekilde takip ettiğini doğrulamak.

#### Test Yöntemi

- Hareketli bir fantomu kullanılarak, belirleyeceğimiz bir solunum frekansı ve genlik ayarlanır. Bu ayarlar, hasta solunum hareketlerini simüle eden bir model oluşturacaktır.
- SGRT sisteminin 4 boyutlu solunum takibi özelliği aktif hale getirilir.
- Solunum deseni oluşturulduktan sonra, SGRT sisteminin kaydettiği frekans ve genlik değerlerinin, ayarlanan frekans ve genlik değerleri ile uyumlu olup olmadığı kontrol edilir.

#### Sıklık

- Aylık olarak yapılmalıdır.

#### Tolerans

- Modellenen ve gerçekte olan frekans ve genlik değerleri arasındaki fark  $\pm 5\%$  sınırları içinde olmalıdır.

### 4.4. Konum Bilgisi Kontrolü

#### 4.4.1. CBCT ile SGRT Uyumu

#### Amaç

SGRT sistemi ile CBCT arasındaki konumlandırma uyumunu test etmek ve her iki sistemin doğruluğunu karşılaştırmak.

#### Test Yöntemi

- Şekli düzgün, SGRT tarafından takibi kolay bir fantomun tomografi görüntülerini elde edilerek bir tedavi planı hazırlanır.
- SGRT sistemini kullanarak fantomun setup'ı yapılır.
- Fantomun CBCT görüntüsünü alınır.
- CBCT setup'ı ile SGRT setup'ı arasındaki uyum kontrol edilir.

#### Sıklık

- Aylık olarak yapılmalıdır.

**Tolerans**

- SGRT ve CBCT konumlandırması arasındaki fark her yönde  $\pm 1$  mm, her açıda  $\pm 1^\circ$  olmalıdır.

**4.4.2. Masa ile SGRT Uyumu****Amaç**

- SGRT sistemi ile masanın hareket doğruluğunu test etmek.

**Test Yöntemi**

- Şekli düzgün, SGRT sistemi tarafından takibi kolay bir fantom cihaz izomerkezine yerleştirilir.
- Fantomun mevcut konumu SGRT sistemi için referans olarak kabul edilmelidir.
- Masa her yönde (X, Y, Z eksenlerinde) en fazla 2 cm olacak şekilde hareket ettirilir. Her hareketin SGRT sistemi tarafından algılanan etkisi kaydedilir.
- Hareket sonucunda SGRT sistemi tarafından algılanan konum hataları not edilir.
- Masa hareketi ile SGRT sistemi tarafından algılanan konum hataları karşılaştırılır. SGRT sisteminin masa hareketlerine doğru tepki verdiğiinden emin olunmalıdır.

**Sıklık**

- Aylık olarak yapılmalıdır.

**Tolerans**

- Hata  $< 1$  mm olmalıdır.

**5. SOLUNUM TAKİPLİ (RESPIRATORY GATED) YÖNTEMLER İÇİN KALİTE KONTROL YÖNTEMİ****Amaç**

- Solunum takipli radyoterapi sistemlerinin (RPM sistemi) doğru çalışmasını sağlamak, hastanın solunum döngüsüne bağlı olarak radyasyonun doğru fazda uygulanmasını ve hastanın güvenli bir şekilde tedavi edilmesini temin etmektir. Kalite kontrol testleri, sistemlerin güvenilir çalıştığından emin olmak ve tedavi sürecinde istenmeyen hataları önlemek amacıyla düzenli olarak yapılmalıdır.

**5.1. Günlük Kalite Kontrol Testleri****Amaç**

RPM sisteminde kullanılan kameranın, işaretleyici blok üzerindeki yansıtıcı noktaları her gün doğru şekilde takip ettiğini doğrulamak.

**Test Yöntemi**

- İşaretleyici blok standart bir mesafeye yerleştirilir.
- Kameranın, işaretleyici blok üzerinde yer alan tüm yansıtıcı noktaları algılayıp algılamadığı kontrol edilir.
- Yansıtıcı noktalar doğru şekilde algılandığında sistem, solunum takipli ışınlamaya hazır olduğunu onaylayarak kalibrasyon kaydını alır.

**Tolerans**

- İşaretleyici blok üzerindeki yansıtıcı noktaların hepsinin kamera tarafından algılanıyor olması gerekmektedir.

**5.2. Aylık ve Yıllık Kalite Kontrol Testleri**

Solunum takipli sistemler için aylık ve yıllık kalite kontrol testlerinin yapılmasını önermektedir. Aylık testler, yıllık kalite kontrol testleri ile aynı içerikte olduğu için benzer prosedürler uygulanabilir.

**5.2.1. Demet Enerjisi Sabitliği****Amaç**

- Nominal ışın çıkışına karşı takipli demet çıkışının kontrol edilmesi.

**Test Yöntemi**

- Takip yazılımında QA planı açılır.
- Katı su fantomu kullanılarak standart output ölçüm setup'ı kurulur.
- Önce statik (nongated) radyasyon demeti ile ışınlama yapılır ve doz ölçülür.
- Ardından takipli radyasyon demeti kullanılarak aynı setup ile ışınlama yapılır.
- Takipli ve statik radyasyon demeti arasındaki doz farkı  $\pm 2$  tolerans sınırları içinde olmalıdır.

**Tolerans**

- $\pm 2$ .

**5.2.2. Demet Faz ve Yer Değiştirme Büyüklüğünün Kontrolü****Amaç**

- Solunum hareketini izleyen sistemin, doğru faz ve yer değiştirme büyüklüklerinde radyasyon demetinin geçişe izin verip vermediğini kontrol etmek.

**Test Yöntemi**

- Takip yazılımında QA planı açılmalıdır.
- Standart demet enerjisi sabitliği testinde kullanılan setup kurulmalıdır.
- Radyasyon demeti verildiğinde, sistem faz veya yer değiştirme büyüklüklerinde doğru geçişi sağlamalıdır.

**Tolerans**

- Faz ve yer değiştirme büyüklükleri radyasyon demetinin belirtilen aralıkta kalmasını sağlamalıdır.

**5.3. Kapı Kilidinin Kontrolü****Amaç**

- Takipli bir demet ile radyasyon verildiğinde, sistemin yanlışlıkla standart radyasyon demeti ile tedavi yapılmasını önleyecek kilitleme sisteminin çalıştığını doğrulamak.



### Test Yöntemi

- Takip yazılımında QA planı açılmalıdır.
- Standart radyasyon demeti için takip kilidini devre dışı bırakılmalı ve sistemin tedaviye izin vermediği doğrulanmalıdır.

### Tolerans

- Takip kilidinin işlevselliği kontrol edilmeli ve hata durumunda radyasyon demetinin iletilmesini önlemelidir.

## 6. GERÇEKLEŞTİRİLECEK TESTLERİN ÖZETİ

Bölüm	Test	Sıklık	Tolerans
2.1.	Güvenlik Testleri		
2.1.1.	Mekanik Güvenlik	Günlük	Fonksiyonel
2.1.2.	Radyasyon Güvenliği	Günlük	Fonksiyonel
2.1.3.	Elektriksel Güvenlik	Günlük	Fonksiyonel
2.2.	Geometrik Doğruluk		
2.2.1.	kV Görüntüleme İzomerkezi	Aylık	SRS/SBRT uygulanıyorsa <1 mm SRS/SBRT uygulanmıyorsa <2 mm
2.2.2.	MV Görüntüleme İzomerkezi	Aylık	SRS/SBRT uygulanıyorsa <1 mm SRS/SBRT uygulanmıyorsa <2 mm
2.2.3.	CBCT İzomerkezi ile Tedavi Merkezi Uyumu	*Günlük Aylık	Üç ana yönde yer değiştirme $\leq 1$ mm Rotasyon $\leq 1^\circ$
2.2.4.	Görüntü Eşleştirme ve Düzeltme Doğruluğu	Günlük	Üç ana yönde eşleştirme doğruluğu $\leq 1$ mm Masa kayması doğruluğu üç ana yönde $\leq 1$ mm
2.3.	Görüntü Kalitesi		
2.3.1.1.	kV görüntüleme		
2.3.1.1.1.	Ölçeklendirme	Aylık	<1 mm
2.3.1.1.2.	Düşük kontrast çözünürlüğü ve uzaysal ayırma	Aylık	Düşük kontrast Çözünürlüğü: En az 12 disk Uzaysal Ayırma: En az 10 frequency grup
2.3.1.1.3.	Homojenite ve gürültü	Aylık	Referans değerden sapma $\pm 3\%$
2.3.1.2.	MV görüntüleme		
2.3.1.2.1.	Ölçeklendirme	Aylık	<1 mm
2.3.1.2.2.	Düşük kontrast çözünürlüğü ve uzaysal ayırma	Aylık	6 MV: 16 hole 10 MV: 13 hole 15 MV: 11 hole
	Homojenite ve gürültü		Referans değerden sapma $\pm 3\%$
2.3.2.	CBCT		
2.3.2.1.	Homojenite	Aylık	<1.5
2.3.2.2.	Gürültü	Aylık	<10
2.3.2.3.	Düşük kontrast çözünürlüğü	Aylık	<3
2.3.2.4.	Uzaysal ayırma	Aylık	Görülen çizgi çifti >10
2.3.2.5.	Ölçeklendirme	Aylık	<1 mm
2.3.2.6.	HU sabitliği	Aylık	Referans değerden sapma $\pm 3\%$
3.	4D-CBCT İçin Kalite Kontrol Yöntemleri	Aylık	$\pm 1$ mm ve $\pm 1^\circ$
4.	Yüzey Takip Sistemleri için Kalite Kontrol Testleri		
4.1.	Kamera Pozisyon Doğruluğu ve İzomerkez Uyumu	Günlük	0.5 mm
4.2.	Demet Durdurma Özelliğinin Testi	Haftalık	Fonksiyonel
4.3.	Hareket Takibi	Aylık	<5%
4.4.	Konum Bilgisi Kontrolü	Aylık	$\pm 1$ mm ve $\pm 1^\circ$
5.	Solunum Takipli (Respiratory Gated) Yöntemler için Kalite Kontrol Yöntem		
5.1.	Günlük Kalite Kontrol Testleri		Fonksiyonel
5.2.	Aylık ve Yıllık Kalite Kontrol Testleri		
5.2.1.	Demet Enerjisi Sabitliği	Aylık	$\pm 2\%$
5.2.2.	Demet Faz ve Yer Değiştirme Büyüklüğünün Kontrolü	Aylık	Fonksiyonel
5.3.	Kapı Kilidinin Kontrolü	Günlük	Fonksiyonel

**Yazma Yardımı İçin Yapay Zeka Kullanımı:** Hiçbir yapay zeka teknolojisi kullanılmadı.

**Çıkar Çatışması:** Bildirilmemiştir.

**Finansal Destek:** Maddi destek alınmamıştır.

**Hakem Değerlendirmesi:** Dış bağımsız.

## KAYNAKLAR

1. Lutz W, Winston KR, Maleki N. A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1988;4(2):373–81.
2. Calvo-Ortega JF, Moragues-Femenía S, Laosa-Bello C, San José-Maderuelo S, Casals-Farran J. A closer look at the conventional Winston-Lutz test: Analysis in terms of dose. *Rep Pract Oncol Radiother* 2019;24(5):421–7.