



BT-Sim Cihazları İçin Kalite Kontrol ve Kalite Güvencesi Raporu

Guide for Quality Control and Quality Assurance Tests in CT-Sim Devices

Alper ÖZSEVEN,¹ İbrahim ÇOBANBAŞ,¹ Oya AKYOL,² Ayça ÇAĞLAN,³ Elif ÖNAL,³
İsmail ÖZSOYKAL,⁴ Taylan TUĞRUL,⁵ Asena YALÇIN⁶

¹Süleyman Demirel Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Isparta-Türkiye

²Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara-Türkiye

³Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Ankara-Türkiye

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, İzmir-Türkiye

⁵Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Van-Türkiye

⁶Ankara Üniversitesi, Nükleer Bilimleri Enstitüsü, Medikal Fizik Anabilim Dalı, Ankara-Türkiye

ÖZET

Kalite kontrol ve güvence testleri (QC/QA) tanı veya tedavi amacıyla çalışan bir sistemin işlevselliği ve güvenilirliği açısından önemlidir. Bu testler belirli aralıklarla gerçekleştirilerek, sistemi kullanan kullanıcılara sistemin genel durumu hakkında nitel ve nicel bilgiler sağlamaktadır. Tanı ve tedavi sistemlerinin üreticileri, son kullanıcıları bu cihazların güvenli ve doğru bir şekilde çalışabilirliğinin kontrolü açısından yönlendirmektedir. Buna ek olarak, uluslararası bilimsel kuruluşlar bu testlerin nasıl ve ne sıklıkla yapılması gerektiği hakkında raporlar sunmaktadır. Bu raporlara benzer şekilde, ülkemizde görev yapan medikal fizik uzmanlarına rehberlik etmesi açısından ulusal bir rapor hazırlanması amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu rapor, simülasyon amacıyla kullanılan bilgisayarlı tomografi sistemlerinin (BT-Sim) kalite kontrol ve güvence testlerinin ne sıklıkla ve nasıl gerçekleştirilebileceğine yardımcı olacak bilgiler içermektedir.

Anahtar kelimeler: Bilgisayarlı tomografi; BT-Sim; kalite kontrol ve güvence testleri; simülasyon.

SUMMARY

Quality control and assurance tests (QC/QA) play a crucial role in evaluating the functionality and reliability of diagnostic and treatment systems. These tests are systematically performed at designated intervals, providing both qualitative and quantitative data that inform users about the operational status and performance reliability of the systems. Manufacturers of these diagnostic and treatment devices offer guidance to end users on how to assess and ensure the safe and accurate operation of their equipment. This guidance often includes specific protocols and checklists to follow during the quality control process. In addition, prominent international scientific organizations issue detailed reports that specify best practices for both the frequency and methodology of conducting QC/QA tests. In alignment with these international standards, the present study has been conducted to create a comprehensive national report aimed at supporting medical physicist within the country. This report will provide detailed insights and recommendations regarding the frequency and procedures for conducting quality control and assurance tests specifically for computed tomography systems (BT-Sim) employed in simulation process. The goal is to establish a clear framework that will enhance the consistency and reliability of these systems, ultimately benefiting both healthcare providers and patients by ensuring optimal diagnostic and therapeutic outcomes.

Keywords: Computed tomography; CT-Sim; quality control and assurance tests; simulation.

Copyright © 2024, Turkish Society for Radiation Oncology



1. GİRİŞ

20. yüzyılın ilk çeyreğinde bilim insanlarının kesitsel görüntüleme yöntemlerine duyduğu ilgi ve bu alandaki çalışmalar, bilgisayarlı tomografi (BT) cihazının temelini oluşturmuştur. Bu gelişmelerin sonucunda, BT cihazı 20. yüzyılın ikinci yarısında tıp alanında kullanılmaya başlanmıştır. Birincil olarak tanı amacıyla kullanılan BT cihazları, tanıya ek olarak radyasyon onkolojisi bölümlerinde hastaların tedavi planlarının yapılması sürecinde planlama sistemlerine üç boyutlu görüntü verilerini sağlamak amacıyla simülasyon işlemleri için de kullanılmaktadır.[1] İyonize bir radyasyon türü olan x – ışınlarının kullanıldığı bu sistemler radyasyon onkolojisi bölümlerinde simülasyon amacıyla kullanıldığından simülasyon BT' si (BT-Sim) olarak da adlandırılmaktadır. BT-Sim cihazlarının istenilen şekilde doğru çalışabilmesi kullanıcıların radyasyon güvenliği ve hastaların tedavi planlama işlemleri açısından kritiktir. Tedavi planlaması sürecinde, sağlıklı dokuların ve hedef hacimlerin doğru bir şekilde konturlanması için görüntü kalitesinin yeterli olması gerekmektedir. Bu durum, BT-Sim cihazlarına ait belirli özellik ve etkenlerin rutin olarak denetlenmesini ve elde edilen bilgilerin değerlendirilmesini gerektirmektedir.[1–5] Bu raporun amacı, BT-Sim cihazlarında firma ve uluslararası rehberler tarafından önerilen kalite kontrol testlerini ve yöntemlerini standardize ederek radyasyon onkolojisi kliniklerinde medikal fizik uzmanlarının güvenli ve etkili bir kalite güvencesi programı oluşturmaları için tavsiyelerde bulunmaktır. Bu bağlamda kalite kontrol ve güvence testleri, güvenlik kontrolleri ve ön inceleme, mekanik testler, görüntü kalitesi testleri ve dozimetrik testler adında dört ana başlıkta toplanmıştır. Bununla birlikte, tolerans değerlerinin ve test sıklıklarının değiştirilmesi, yeterliliği ve seçiminde cihaz özellikleri ve uygulanan tedavi tekniği göz önünde bulundurularak medikal fizik uzmanlarının karar vermesi gerekmektedir.

2. GÜVENLİK KONTROLLERİ VE ÖN İNCELEME

Bu testler ile x – ışını kullanılan BT-Sim cihazlarında, görüntüleme işlemlerinin güvenli bir şekilde yapılmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

2.1. Hasta İletişim ve İzleme Sistemi

Amaç

Bu testin amacı, BT-Sim sürecinde, hasta ile iletişim ve hastayı izleme sistemlerinin düzgün bir şekilde çalıştığını kontrol etmektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- İletişim sisteminde teknikerin sesinin çekim odasına ulaşip ulaşmadığı, aynı şekilde çekim odasındaki seslerin kumanda konsoluna ulaşip-ulaşmadığı kontrol edilir.
- Hasta izleme işlemleri için kurşun cam kullanılan merkezlerde, kurşun camın görsel kontrolleri yapılır. Hasta izleme işlemleri için kapalı devre kamera sistemlerinin bulunduğu merkezlerde kamera görüntülerinin yeterli kalitede olup-olmadığı kontrol edilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

Her hasta çekimi öncesinde kontrol edilmesi önerilir. Sistemlerin çalışır durumda olması beklenir.

2.2. Işınlama İşlemi Işıklı ve Sesli Uyarı Sistemi

Amaç

Bu testin amacı, görüntüleme sürecinde, iyonize radyasyon ile ışınlama işleminin devam ettiğinin ve ortamda radyasyon olduğunu gösteren ışıklı uyarı sistemlerinin çalıştığının görsel olarak değerlendirilmesi ve kontrolünün sağlanmasıdır.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Kontrol işlemlerinde yukarıda belirtilen ışıklı uyarı sisteminin işlevselliikleri her hastanın görüntülemesi sürecinde görsel olarak kontrol edilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Her hastanın görüntülenmesi aşamasında kontrol edilmesi tavsiye edilir. Işıklı uyarı sisteminin çalışır durumda olması beklenir.

2.3. Ön Isıtma ve Hızlı Kalibrasyon

Amaç

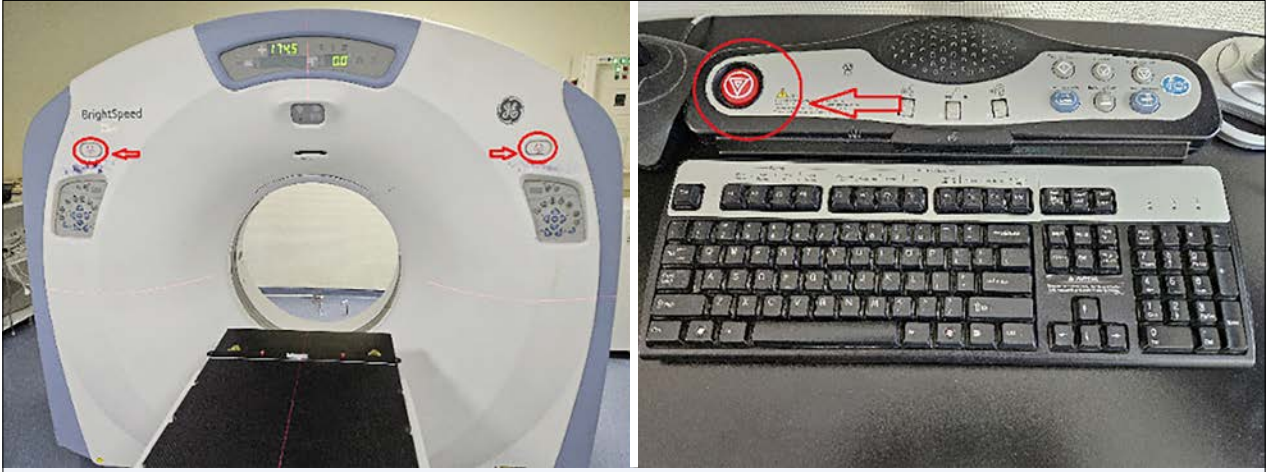
Bu testin amacı, BT-Sim cihazını oluşturan bileşenlerin (x – ışın tüpü, rotasyonel harekette bulunan ekipmanlar, detektör vb.) görüntüleme işlemleri için en uygun koşullara gelmesi ve bunun kontrol edilmesidir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- İlk olarak ön ısıtma işlemi gerçekleştirilmelidir. Bu işlemde BT-Sim cihazındaki farklı kVp ve mA değerleri için sistemde kurulu yazılım aracılığıyla ışınlama gerçekleştirir.
- Ön ısıtma sonrasında hızlı kalibrasyon işlemleri yapılır. Yine, sistemde kurulu olan yazılım aracılığıyla farklı kVp, mA, odak boyutu, filtre, kesit kalınlığı, detektör sayısı ve tarama süreleri kullanılarak kolimatör ve kazanç kalibrasyonları gerçekleştirilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

Farklı BT-Sim cihazı üreticilerine göre değişmekle birlikte, genellikle 2 saat boyunca herhangi bir görüntüleme ya da ışınlama işlemi yapılmadığı durumlarda



Şekil 1. Gantry önü, klavye üzeri acil durdurma düğmeleri.

BT-Sim cihazları ön ısıtmaya gerek duymaktadır. Diğer taraftan, hızlı kalibrasyon işlemlerinin her 96 saatte bir yapılması önerilmektedir.

2.4. Acil Durdurma ve Kapatma Sistemi

Amaç

Bu testin amacı, ani, acil gelişebilecek durumlarda hasta ve çalışan güvenliğini, BT-Sim sisteminin korunmasını ve radyasyon kazalarının önlenmesini sağlamaktır.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Acil durdurma düğmesine basıldığında tüm masa ve gantry hareketleri kesilir, x – ışını oluşumu durdurulur. Sistem veri alım işlemini durdurur ve alınan tüm verileri kaydetmeye çalışır.
- Hasta ile ilgili acil durumlarda veya yatak, masa, gantry beklenmedik bir şekilde hareket ederse acil durdurma düğmesi kullanılır. Acil durdurma düğmeleri genellikle gantry önü veya arkasında, klavye üzerinde çeşitli konumlarda farklı sayılarda bulunmaktadır (Şekil 1).
- Sistem acil durum kapatma düğmesi basıldığında, tüm sistem bileşenlerine verilen güç kesilir ve masa, gantry hareketleri ile x – ışını oluşumu durdurulur. Sistem tüm veri alımından çıkar ve çıkıştan önce alınan veriler bozulabilir, kaybolabilir.
- Yangın, sel baskını, deprem gibi afet ve acil durumlarda tüm sistemin gücü kapatılmalıdır. Bu durumlarda sistem acil durum kapatma düğmesi kullanılır.
- Tesis tasarımına göre acil durum kapatma düğmesinin sayısı ve yerleri değişebileceği gibi genellikle kontrol odasında; kapıya veya kontrol konsoluna yakın bir yerde ve cihaz odasında duvarlarda kırımızı daire şeklindeki düğmelerdir.
- Düğmelere tek tek basılarak devreye girip-girmedikleri kontrol edilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Acil durdurma ve kapatma düğmeleri mevcut, çalışır ve erişilebilir olmalıdır. Acil durdurma, kapatma düğmeleri eksik BT-Sim sisteminin kabulü yapılmamalıdır.
- Görünürlüğü için etiketleme, erişilebilirlik için kolay ulaşılabilir konumlar seçilmeli, önünde engel oluşturacak obje ve nesnelere olmamalıdır. Ayrıca, kazara kullanımı önleyecek şekilde konumlandırılmaları tavsiye edilmektedir.

Acil durdurma ve kapatma düğmeleri BT-Sim sistemlerinin kabulü aşamasında test edilmelidir. Kabulü yapılmış çalışan BT-Sim sistemlerinde acil durdurma düğmelerinin en az altı ayda bir, acil durum kapatma düğmelerinin ise en az yılda bir kere test edilmesi önerilir. Klinik işleyiş, yapısal durum değişiklikleri, doğal felaket ve afetler gibi durumlarda bu test süresi ve sıklığı arttırılabilir.

2.5. Kapı Durum Kontrol Sistemi

Amaç

Bu test ile BT-Sim cihazının kullanım sürecinde kapı arızası kaynaklı veya kullanıcı kaynaklı meydana gelebilecek radyasyon maruziyetini önlemek amaçlanmaktadır.

Yöntem ve Ekipmanlar

- BT-Sim odasının kapısı gerekli zırhlama şartlarını sağladığı gibi kapalı konumda ışınlamaya izin verecek şekilde güvenlik önlemi ile donatılmış olmalıdır.
- BT-Sim sisteminin kapı açık veya tam kapalı olmadığı durumlarda ışınlama yapılmasına izin vermediği test edilmelidir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Oda kapısının tam kapalı olmadan ışınlama yapılabilmesi radyasyon sızıntısına neden olacağından kapı devresi çalışır durumda olmalıdır.

- Gerekli güvenlik şartları sağlanmadan ışınlama yapılmamalıdır.
Kapı durumu kontrol sistemi cihaz kabulü aşamasında, kabulü yapılmış çalışan cihazlarda en az haftada bir kere test edilmesi önerilir.

2.6. BT-Sim Odası Çevresel Doz Ölçümü

Amaç

Bu testin amacı BT-Sim odası çevresindeki zırlama seviyesinin belirlenerek sızıntı doz seviyesinin güvenli limitlerde olduğunu tespit etmektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- BT-Sim odası çevresel doz ölçümü tarama düzleminde bir fantom ile yapılmalıdır. Boyutu yaklaşık 30cm×30cm×30cm su eşdeğeri plastik fantomlar bu ölçüme uygundur, fantom bulunmadığı durumlarda çapı yaklaşık 30cm olan içi su dolu plastik kaplar alternatif olarak kullanılabilir.
- Radyasyon ölçümleri mümkün olan en büyük kesit kalınlığı, kVp, mA ve ışınlama süresi yeterince uzun, kararlı radyasyon ölçülebilecek şekilde seçilmeli.
- NCRP rapor 49'da belirtildiği gibi ilk olarak koruma bütünlüğünü belirlemek için saçıcı fantom yerindeyken tüm duvarlar, kapılar ve pencereler bariyer boşlukları koruma malzemesi eksikliğine karşı Geiger-Muller dedektörü ile taranmalı.[2] Koruma bütünlüğü doğrulanmalı ve en yüksek radyasyon seviyeleri belirlendikten sonra anlık maruziyeti belirlemek için ölçüm yapılmalıdır. Ölçüm yapılan dedektörün kalibrasyonu yapılmış olmalıdır.
- Belirli bir konum için haftalık maruziyet seviyesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$X=60 \cdot \dot{X} \cdot W \cdot T$$

X: Toplam Haftalık Maruziyet (mR/hafta)

\dot{X} : Anlık Ölçülen Maruziyetin Ölçülen mA'ya Bölünmesi (mR/h.mA)

W: AAPM Rapor 39 da Tanımlanan Haftalık İş Yüğü (mA.dak/hafta)[3]

T: NCRP Rapor 49' da Tanımlanan Meşguliyet Faktörü[2]

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- BT-Sim odası çevresinde limit dışı bir doz sızıntısı tespit edilirse görüntüleme işlemleri durdurulmalı, radyasyondan korunma sorumlusu ve tesis sorumlusu bilgilendirilmeli ve lisans vermeye yetkili kuruma durum rapor edilmelidir.

Test ilk cihaz kurulumunda ve kabulünde bir kere yapılır. BT-Sim odasında yapısal bir değişiklik gerçekleştiğinde veya cihaz özelliklerini değiştirecek güncel-

lemeler yapıldığında tekrarlanması uygundur. Ölçümlerin altı ayda bir tekrarlanması ve kayıt altına alınması önerilmektedir.

3. MEKANİK TESTLER

Mekanik testler, BT-Sim masası hareketlerinin ve işaretleme lazerlerinin doğruluğunu kontrol etmek için yapılır. Hatalı pozisyon verilerine sahip görüntülerin radyoterapi planlaması, tedavisinde doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi mümkün değildir. Radyoterapi uygulamalarının doğru ve güvenilir gerçekleştirilebilmesini sağlamak için düzenli olarak mekanik testlerin yapılması gerekir.[1]

3.1. Gantry İçi ve Duvar Lazerlerinin Kontrolleri Testi

Amaç

Bu test ile, BT-Sim cihazının *gantry* içindeki lazerlerin ve odadaki duvar-tavan lazerlerinin doğru hizalanıp hizalanmadığını değerlendirmek amaçlanmaktadır.[4]

Yöntem ve Ekipmanlar

- Lazer hizalama fantomunu BT-Sim masasına yerleştirdikten sonra fantom merkezi *gantry* eksenine hizalanmalıdır.
- Lazerler fantom üzerindeki belirlenmiş referans noktalarına hizalanmalıdır.
- Ölçümler cetvel veya hassas ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilip, referans noktalarla karşılaştırılmalıdır. Örnek ölçüm düzeneği Şekil 2'de gösterilmektedir.
- *Gantry* lazerleri ile duvar lazerlerinin birbirleri ile uyumlulukları da ayrıca kontrol edilmelidir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

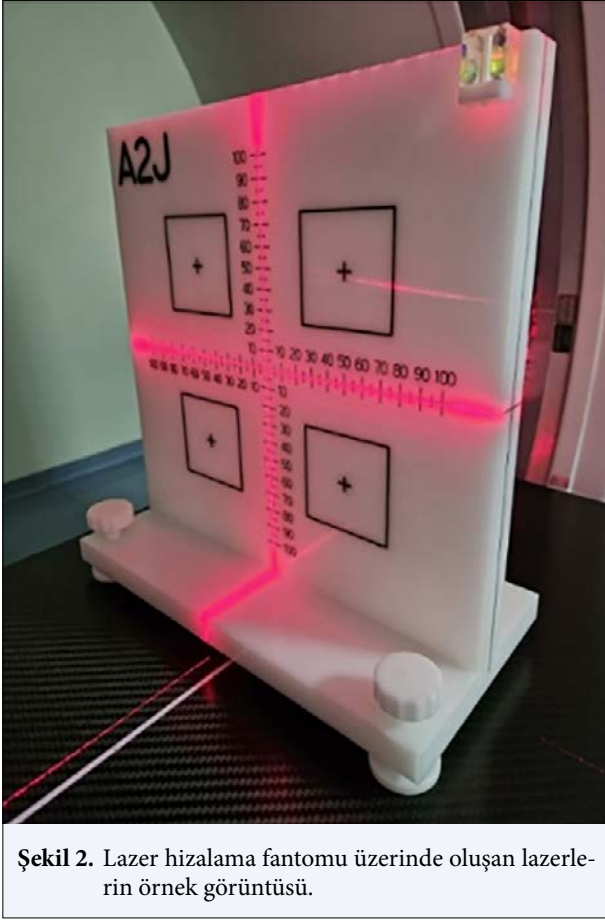
- Lazerlerin referans noktalarına hizalanmasındaki en büyük sapmanın ± 2 mm olması önerilir.
- *Gantry* lazerlerinin duvar lazerleri ile arasındaki en büyük sapmanın ± 2 mm olması önerilir.

Bu testin günlük olarak yapılması önerilmektedir.[1,4] Tolerans aralığının dışında bir sapma tespit edilirse, lazer hizalamaları ayarlanmalıdır. Ayarlama sonrasında test tekrar edilmelidir. Bu testin günlük olarak yapılması önerilse de, tutarlılığından emin olunan BT-Sim cihazlarında bu testin haftalık olarak yapılması uygun olabilir.

3.2. Aksiyel Lazer Işığı ile Tarama Düzlemi Uyum Testi

Amaç

Testin amacı aksiyel lazer ışığının tarama düzlemi ile uyumlu olup olmadığını değerlendirmektir.[1]



Şekil 2. Lazer hizalama fantomu üzerinde oluşan lazerlerin örnek görüntüsü.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Aksiyel tarama düzlemi uyum fantomunu BT-Sim masasına yerleştirin ve merkezi *gantry* eksenine lazer ışıklarını fantomun referans noktalarına (sağ, sol ve üst) hizalayın.
- Daha sonra referans noktalara birer adet kurşun bilye işaretleyici yerleştirin.
- Fantomu, BT-Sim cihazında sistemin izin verdiği dar bir kesit kalınlığında tarayarak görüntüsünü elde edin.
- Elde edilen tek kesitlik BT-Sim görüntüsünde, yerleştirilmiş olan üç kurşun bilyenin de görünülmesi gerekmektedir. Görüntüyü analiz ederek lazer ışığının tarama düzlemi ile uyumunu doğrulayın.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Lazer ışığının tarama düzlemi ile uyumunun ± 2 mm doğrulukla sağlanmış olması önerilir.

Bu testin aylık olarak yapılması önerilmektedir. Tolerans aralığının dışında bir sapma tespit edilirse, lazer hizalamaları düzeltilmelidir. Ayarlama sonrasında test tekrar edilmelidir.[1,4]

3.3. Koronal ve Sagittal Lazer Işığı ile Tarama Düzlemi Uyum Testi

Amaç

Bu test, koronal ve sagittal lazer ışığının tarama düzlemine doğru hizalanıp hizalanmadığını değerlendirmek için yapılmaktadır.[5]

Yöntem ve Ekipmanlar

- Koronal ve sagittal hizalama fantomunu BT-Sim masasına yerleştirin ve lazer ışıklarını referans noktalarına hizalayın. Fantomun olmadığı durumlarda ince düz bir kurşun kalem veya çubuğu, koronal ve sagittal lazer ışıkları yardımıyla masaya yerleştirin (Şekil 3a).
- Fantomu ya da kalemi BT-Sim cihazında tarayarak görüntüsünü elde edin.
- Elde edilen görüntülerde koronal ve sagittal lazerin, koronal ve sagittal tarama düzlemleri ile uyumunu doğrulayın. Kesit görüntüsünde kalemin içindeki kurşun kısmın, Şekil 3b de kırmızı ok ile gösterildiği gibi, görüntü merkezinde ($x=0$, $y=0$) olması beklenir. Birbirini takip eden kesitlerde görüntü kontrol edilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Lazer ışıklarının koronal ve sagittal düzlemler üzerindeki hizalanmasının ± 2 mm doğrulukla sağlanmış olması önerilir.

Bu testin aylık olarak yapılması önerilmektedir. Tolerans aralığının dışında bir sapma tespit edilirse, lazer hizalamaları düzeltilmelidir. Ayarlama sonrasında test tekrar edilmelidir.[1,4]

3.4. Aksiyel Masa Hareketi Doğruluğu Testi

Amaç

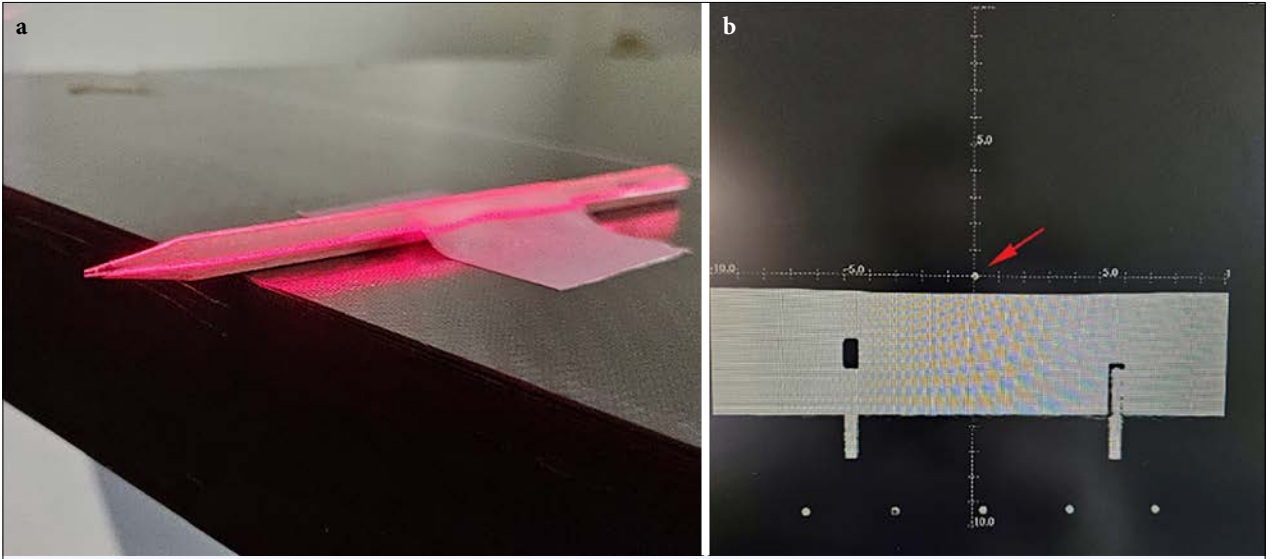
Aksiyel çekim uygulamalarında masanın boylamsal hareketinin doğruluğunun test edilmesidir.

Yöntem ve Ekipmanlar

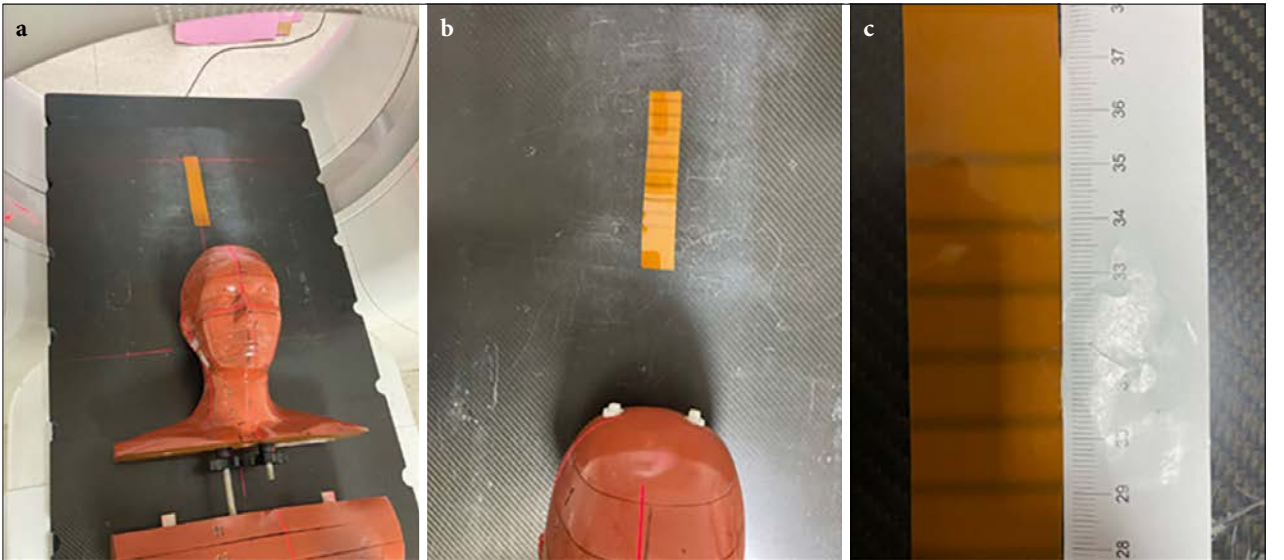
- Masa üzerine hasta temsili bir ağırlık yerleştirilir (70-80 kg).
- Gafkromik bir film *gantry* içi lazerleri kullanılarak Şekil 4a'da gösterildiği gibi masa üzerine ortalanır.
- Film, aksiyel görüntüleme modunda, en düşük kesit kalınlığı seçilerek Şekil 4b'de gösterildiği gibi 1 cm aralıklarla ışınlanır ve ışınlama sonrası kararan şeritler arasındaki mesafeler Şekil 4c'de gösterildiği gibi cetvel yardımıyla ölçülerek kaydedilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Ayarlanan mesafe ile ölçülen mesafe bilgileri arasındaki mutlak farkın 1 mm'yi geçmemesi önerilir.[1] Bu testin aylık olarak yapılması önerilmektedir.[1]



Şekil 3. Koronal ve sagittal lazer ışığı ile tarama düzlemi uyumu testi düzeneği.



Şekil 4. Aksiyel masa hareketi doğruluğu testi için ölçüm düzeneği.

3.5. Helikal Masa Hareketi Doğruluğu Testi

Amaç

Helikal taramanın boylamsal eksen üzerindeki başlangıç ve bitiş noktalarının ayarlanan masa pozisyonlarında olup olmadığının test edilmesidir.

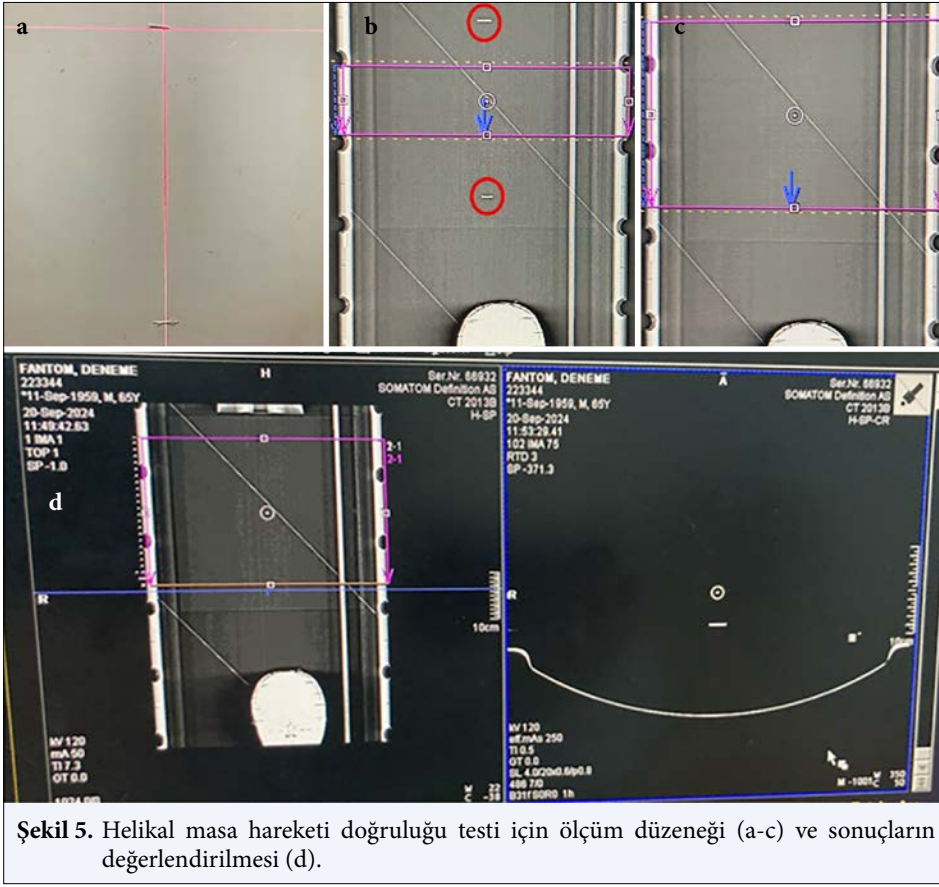
Yöntem ve Ekipmanlar

- Masa üzerine hasta temsili bir ağırlık yerleştirilir (70–80 kg).
- Şekil 5’de gösterildiği gibi, ince bir levha fantom üzerine, aralarında en az 30 cm mesafe olacak şekilde iki adet ince tel yerleştirilir ve rehber görüntü alınır.

- Rehber görüntü üzerinde helikal tarama öncesi FOV ayarlanırken, alt ve üst sınırlar Şekil 5b ve Şekil 5c’de gösterildiği gibi tellerin hizasına kadar açılır.
- Helikal tarama gerçekleştirildikten sonra Şekil 5d’deki gibi ilk ve son aksiyel kesitlerde tellerin görünürlüğü görsel olarak kontrol edilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Elde edilen ilk ve son kesitlerin her iki teli de içerecek şekilde olması gerekmektedir. Bu testin aylık olarak yapılması önerilmektedir.[1]



Şekil 5. Helikal masa hareketi doğruluğu testi için ölçüm düzeneği (a-c) ve sonuçların değerlendirilmesi (d).

3.6. Boylamsal (Longitudinal) ve Dikey (Vertikal) Hareket Doğruluğu Testi

Amaç

Masanın boylamsal ve dikey hareketinin ve *gantry* üzerindeki dijital göstergelerin doğruluğunun test edilmesidir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Masa üzerine hasta temsili bir ağırlık yerleştirilir (70–80 kg).
- En az 30 cm uzunluğunda bir cetvel masanın boylamsal eksenine paralel olacak ve duvardaki transvers düzlem lazerleri ile kesişecek şekilde masa üzerine sabitlenir. Lazerin cetveli kestiği nokta kaydedilir (Şekil 6a).
- Masa, *gantry* üzerindeki kontrol kumandası yardımıyla *gantry* içerisine ve/veya dışarısına doğru belirli bir mesafe hareket ettirilir.
- Hareket sonucunda lazerin cetveli kestiği nokta kaydedilir ve iki noktanın arasındaki mesafe ölçülür.
- *Gantry* üzerindeki dijital göstergeye göre alınan boylamsal mesafe hesaplanır ve kaydedilir (Şekil 6b).

- En az 30 cm uzunluğunda bir cetvel masaya dik olacak ve duvardaki koronal düzlem lazerleri ile kesişecek şekilde masa üzerine yerleştirilir (Şekil 6c).
- Önceki adımlar bu ölçüm düzeneğinde vertikal hareket için gerçekleştirilir (Şekil 6d).

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

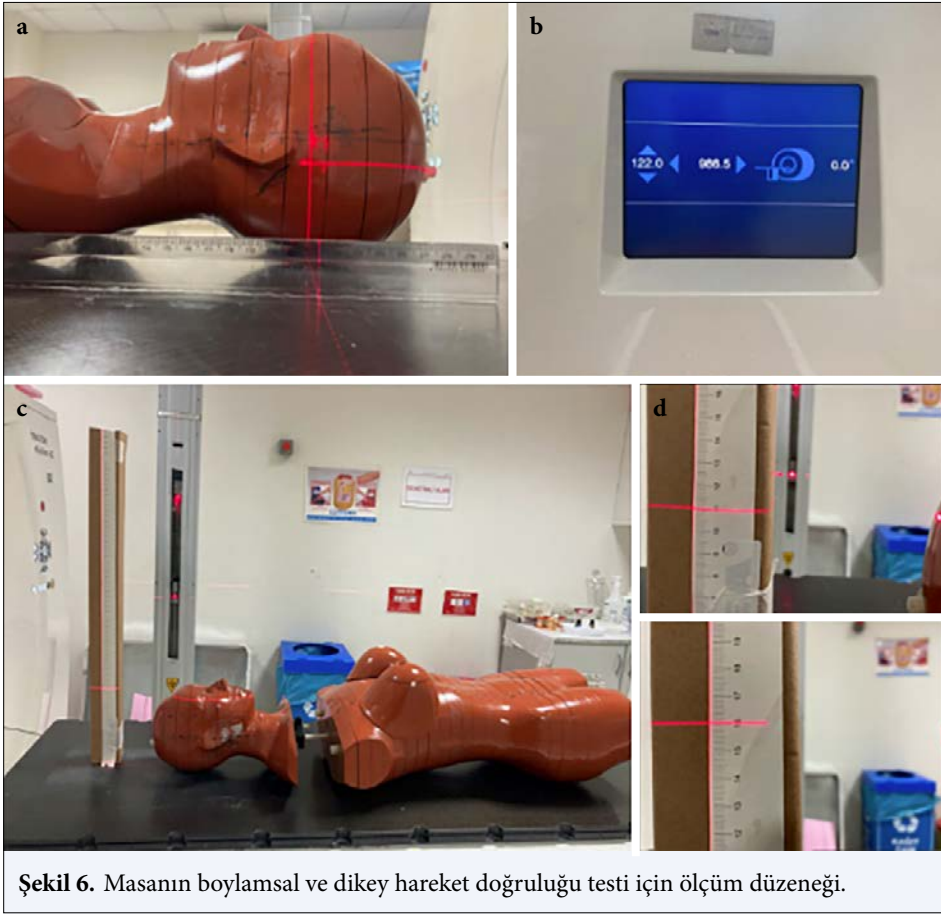
- Her iki mesafe bilgisi arasındaki mutlak farkın 2 mm'yi geçmemesi önerilir. Bu testin aylık olarak yapılması tavsiye edilmektedir.[1]

4. GÖRÜNTÜ KALİTESİ TESTLERİ

Görüntü kalitesi, radyoterapi tedavi planlamasında hedef hacimler ile çevresindeki kritik yapıların belirlenmesi ve tanımlanmasında doğrudan etkilidir.

Bu bölümdeki tüm testler Şekil 7'deki test düzeneği ve aşağıdaki çekim koşulları ile gerçekleştirilir.

- Fantomun (üretici tarafından verilen BT-Sim görüntü fantomu, Catphan 500, Catphan 600, vd.) merkezi *gantry* izomerkezi ile hizalanacak şekilde hasta masası üzerine yerleştirilir.
- Fantomun z eksenini ve x eksenini boyunca doğru olarak pozisyonlanmasını sağlamak için bir su terazisi



ile her iki eksen de eğimlere bakılır. Eğimli bölgelerin olması durumunda, ağırlık koyarak veya o yönde fantomun kutusunun ayakları altına destekler koyarak eğimler giderilir (Şekil 7).

- Hizalanan fantomun topogram görüntüsü alınır. Uygun ışınlama parametreleri (110–130 aralığında kVp, 200–250 aralığında mAs) ve kesit kalınlığı (2–5 mm aralığında) seçilerek aksiyel ya da helikal tarama yapılır.

4.1. Gürültü Testi

Amaç

Bu testle homojen bir tomografi görüntüsünde, görüntünün merkezine çizilen bir ilgi alanı (ROI) ile BT-Sim görüntüsündeki gürültü ve görüntü artefaktlarının kontrol edilmesi amaçlanır.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim görüntü fantomu, Catphan 500, Catphan 600 veya homojen katı su fantomlarından biri kullanılabilir. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurularak fantomun BT-Sim görüntüsü alınır. Değerlendirme için, fantomun homojen kısmındaki görüntü gürültüsü, uygun çapta merkezi olarak yerleştirilmiş dairesel bir ROI'de ölçülür (Şekil 7).
- BT numarasının ölçümü için, ROI çapı fantomun görüntü çapının yaklaşık %10'u, gürültü ölçümleri için ise %40'ı kadar olmalıdır. Merkezdeki ROI'nin, fantomun kenarına yakın bir ROI ile örtüşmemesine dikkat edilmelidir.
- BT numarası, ROI içerisindeki ölçümün ortalama değeridir ve gürültü ise ROI içerisindeki ölçümün standart sapmasıdır. Gürültü standart sapmasını hesaplayabilmek için fantomun homojen kısmından 10 adet kesit ve bu kesitlerden elde edilen gürültü değerlerinin ortalaması hesaplanır. IAEA' de tanımlandığı gibi normalize standart sapma aşağıdaki formül kullanılarak bulunur.[6]

$$S = \frac{\sigma_{su}}{BT_{ska/a}} \times 100\%$$

$$BT_{ska/a} = BT_{su} - BT_{hava}$$

Burada S normalize standart sapmayı, σ_{su} ilgililenen bölge içindeki BT numaralarının standart sapmasını, BT_{su} suyun Hounsfield Unit (HU) biriminde BT numarasını, BT_{hava} ise havanın HU biriminde BT numarasını gösterir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- Cihaz kurulumunda kabul sınırları üretici firma tarafından belirlenen tolerans değerlere uygun olmalıdır.
- IAEA göre; bu testin yıllık olarak yapılması önerilmektedir. Bu protokole göre önerilen değer, kabul testinin $\pm 10'$ dur; kabul edilebilir sınır ise kabul testinin $\pm 25'$ dir.[6]
- AAPM TG66'ya göre bu testin günlük olarak yapılması önerilmektedir. Bu test için kabul sınırları üretici firmanın tavsiye ettiği değerlerdir.[1]
- IPEN91'e göre bu testin haftalık olarak yapılması önerilmektedir. Bu test için kabul edilebilir sınır, kabul testinin $\pm 25'$ dir.[7]

Bu testin, klinik yoğunluk durumuna bağlı olarak ayda en az bir kez yapılması önerilir. Tolerans aralığı, kabul testinin $\pm 25'$ i olarak tavsiye edilmektedir. X – ışını tüpünün değiştirilmesi, sistem kalibrasyonu ve yazılım değişiklikleri gibi teknik farklılıklarda testin tekrarlanması önerilir.

4.2. Homojenite Testi

Amaç

Homojen bir su fantomu görüntüsünde merkezde ve kenarlarda ölçülen BT numaraları birbirlerine göre değişkenlik gösterebilir. Bu farklılığın belirli kabul sınırlarının içinde olması beklenir. Bu test ile görüntü homojenitesinin bu aralığın içinde olup olmadığının kontrol edilmesi amaçlanır.

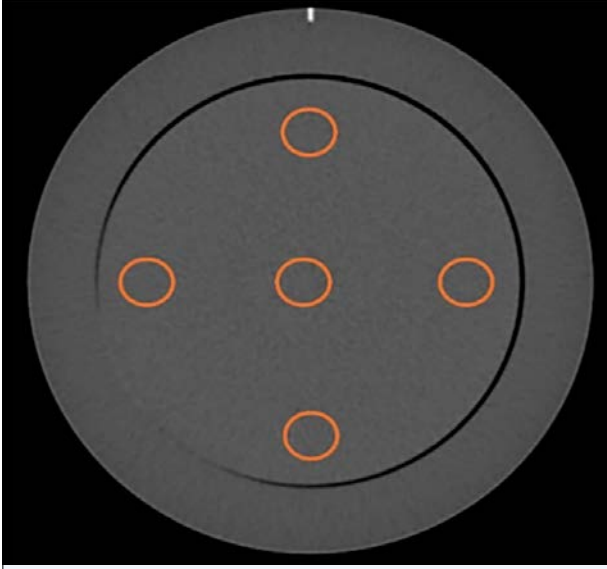
Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim görüntü fantomu, Catphan 500, Catphan 600 veya homojen katı su fantomlarından biri kullanılabilir. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurularak fantomun BT-Sim görüntüsü alınır. Değerlendirme için fantomun homojen kısmı kullanılır.
- BT numarasının ölçümü için, ROI çapı fantomun görüntü çapının yaklaşık %10'u olmalıdır. Fantomun homojen kısmından alınan kesitten, merkezden ve fantom kenarından dört farklı noktadan BT numaraları ölçülür değerlerin ortalaması arasındaki fark bulunur (Şekil 8).

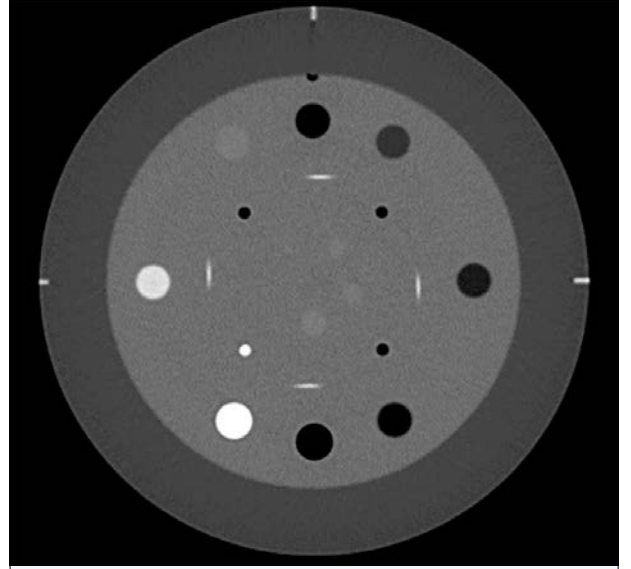
Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- IAEA göre; bu testin yıllık olarak yapılması önerilmektedir. Bu protokole göre; elde edilen ROI değerleri arasındaki fark $\pm 4HU$ olması önerilirken; kabul edilebilir sınır ise $\pm 10HU'$ dur.[6]
- AAPM TG66'ya göre bu test sıklıkla kullanılan kVp değeri için aylık, kullanılan diğer kVp değerleri için yıllık olarak yapılmalıdır. Bu protokole göre; elde edilen ROI değerleri arasındaki fark için kabul edilebilir sınır $\pm 5HU'$ dur.[1]
- IPEN91'e göre bu testin yıllık olarak yapılması önerilmektedir. Bu protokole göre; elde edilen ROI değerleri arasındaki farkın $\pm 20HU$ olması önerilmektedir.[7]

Klinik rutinde en sık kullanılan enerji için bu testin ayda bir, klinikte kullanılan tüm enerjiler için ise yılda bir kez yapılması önerilir. Bu test için kabul edilebilir sınır, $\pm 5HU$ olarak uygulanabilir. X ışını tüpünün değiştirilmesi, sistem kalibrasyonu, yazılım değişiklikleri veya yükseltmeleri gibi teknik farklılıklarda testin tekrarlanması önerilir.



Şekil 8. Fantomun homojen kısmındaki kesit görüntüsünün, merkezinde ve fantom kenarında dört farklı noktada çizilmiş olan ROI'ler.
ROI: İlgi alanı.



Şekil 9. Catphan fantomun farklı yoğunlukta materyalleri içeren kesit görüntüsü.

4.3. BT Numarası Değerleri ve Doğrusallığı

Amaç

Bu test ile BT numaralarının doğruluğunun değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim elektron yoğunluğu fantomu, Catphan 500, Catphan 600, Cheese fantom veya CIRS elektron yoğunluğu fantomlarından biri kullanılabilir. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurularak fantomun BT görüntüsü alınır. Değerlendirme için görüntülenen fantomun farklı yoğunlukta materyalleri içeren kısmı kullanılır.
- Elde edilen görüntüde her bir materyalin içinde kalacak şekilde ROI çizilir ve ROI'nin ortalama değeri her materyal için BT numarası olarak kaydedilir ya da BT numarası değerleri BT-Sim QA yazılımı kullanılarak ölçülür (Şekil 9).

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- IAEA göre; bu testin yıllık olarak yapılması önerilmektedir. Bu protokole göre; yalnızca homojen su ortamı için elde edilen ROI değeri $\pm 4HU$ olması önerilirken; kabul edilebilir sınır ise kabul testine göre $\pm 5HU$ 'dur. Diğer materyaller için kabul edilebilir sınır, kabul testine göre $\pm 10HU$ 'dur.[6] (Cihaz kabul testi referans alındığında)
- AAPM TG66'ya göre bu test suyun BT numarası için günlük, dört-beş farklı materyal için aylık ve beşten fazla materyale sahip fantomun varlığında

yıllık olarak yapılmalıdır. Bu protokole göre; her bir materyal için elde edilen ROI değerinin kabul edilebilir sınırı, kabul testine göre $\pm 5HU$ 'dur.[1]

- IPEM 91'e göre bu testin yıllık olarak yapılması önerilmektedir. Bu protokole göre; su için önerilen değer, kabul testine göre $\pm 5HU$ iken, diğer materyaller için bu değer kabul testine göre $\pm 10HU$ 'dur. [7] Ek olarak, su için kabul edilebilir sınır, kabul testine göre $\pm 20HU$ iken, diğer materyaller için bu değer kabul testine göre $\pm 30HU$ 'dur.

Klinik kullanımda bu testin dört farklı materyal için aylık; beş ve beşten fazla materyal için ise yıllık olarak yapılması önerilir. Bu testte su için kabul edilebilir sınır $\pm 5HU$, diğer materyaller için $\pm 10HU$ olarak uygulanabilir. X – ışını tüpünün değiştirilmesi, sistem kalibrasyonu, yazılım değişiklikleri gibi yapısal farklılıklarda testin tekrarlanması önerilir.

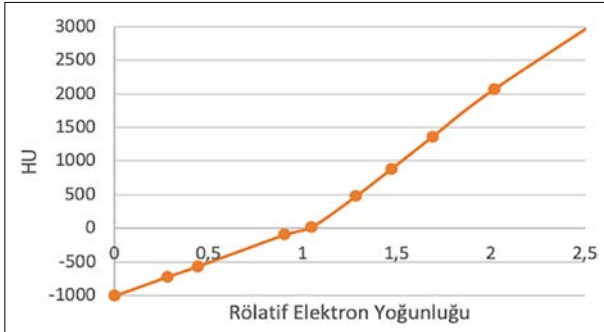
4.4. Elektron Yoğunluğu BT Numarası Dönüşüm Testi

Amaç

Radyoterapi tedavi planlamalarında hesaplamalar BT-Sim görüntülerinde bulunan bağıl fiziksel veya elektron yoğunluğu (birim hacim başına elektron sayısı) bilgilerine dayanır. Klinikte kullanılan tüm BT-Sim ve enerjiler için Rölatif Elektron Yoğunluk (REY) – BT numarası (HU) eğrisinin belirlenmesi ve sisteme tanıtılması amaçlanmaktadır.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim elektron yoğunluğu fantomu, Catphan 500, Catphan 600, Cheese fantom veya



Şekil 10. Örnek tüp voltajı için REY-HU eğrisi.

REY-HU: Rölatif Elektron Yoğunluk-Hounsfield Unit.

CIRS elektron yoğunluğu fantomlarından biri kullanılabilir. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurulur. Bu test için fantomun farklı yoğunluktaki materyalleri içeren kısmının BT görüntüsü alınır. Klinikte kullanılan tüm kVp değerleri için fantom tarama işlemi tekrarlanır.

- Tüm kVp değerleri için elde edilen görüntülerde her bir materyalin içinde kalacak şekilde ROI çizilir ve ROI'nin ortalama değeri her materyal için BT numarası olarak kaydedilir, ya da BT numarası değerleri BT-Sim QA yazılımı kullanılarak ölçülür.
- Fantom üreticisi olan firmanın kullanıcıya temin ettiği kılavuzdan bu materyallere karşılık gelen BT numaraları BT-Sim tarayıcıdan ölçülen değerler ile karşılaştırılır. Her bir materyalin REY karşılık gelen HU ile REY-HU eğrisi oluşturulur (Şekil 10).

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- AAPM TG66'ya göre bu testin yıllık olarak yapılması önerilmektedir. Fantom üreticisinin önerileri ve sistemin devreye alınması sırasında belirlenen kurulum değerleri ile karşılaştırılması önerilir.[1]

Klinik tedavi planlarında kullanılan her enerji için REY-HU eğrisi yıllık olarak oluşturulmalıdır. X ışını tüpünün değiştirilmesi, sistem kalibrasyonu, yazılım değişiklikleri veya yükseltmeleri gibi teknik farklılıklarda testin tekrarlanması önerilir.

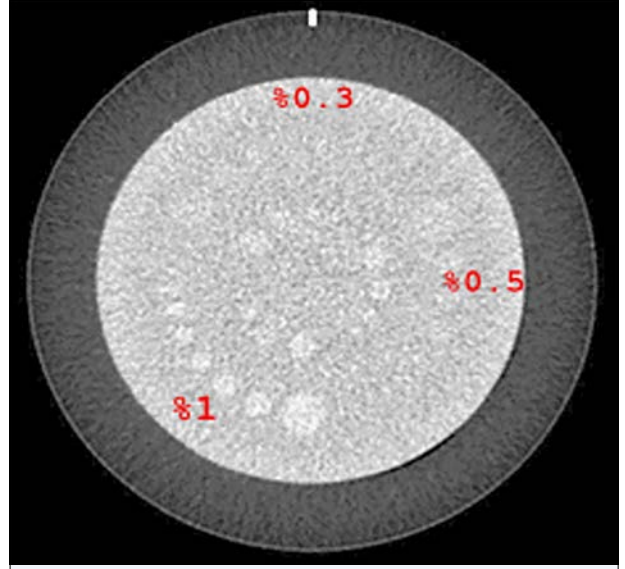
4.5. Düşük Kontrast Ayırma Gücü

Amaç

Bu testin amacı, BT-Sim cihazının düşük kontrastlı nesnelere ayırt edebilme yeteneğini değerlendirmektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim görüntü fantomu veya Catphan 600 kullanılabilir. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurularak fantomun BT-Sim görüntüsü alınır.



Şekil 11. Catphan fantomun düşük kontrast ayırma gücü testi kısmına ait kesit görüntüsü.

- Değerlendirme için, fantomun düşük kontrast ayırma gücü deseni bulunan bölgesi kullanılır.
- Düşük kontrast ayırma gücü değerleri BT-Sim QA yazılımı mevcutsa yazılım kullanılarak ölçülür. Catphan test fantomunun düşük ayırma gücü deseni bulunan bölgesinde; farklı yüzde kontrast grupları (%0.3, %0.5 ve %1) ve milimetre cinsinden farklı boyutlarda yuvarlak obje görüntüleri bulunur. Bunlar kesit görüntüsünde fantom kenarlarında üst kesit grupları (supra-slice) olarak ve orta kısımda alt kesit grupları (sub-slice) olacak biçimde yerleşmiştir. Görsel değerlendirme ile görülebilen en düşük kontrast grubu ve en küçük obje çapı belirlenir. Ölçülen değer üretici teknik referans kitabında verilen değer ile karşılaştırılarak değerlendirilme yapılır ve ölçüm sonuçları kayıt altına alınır (Şekil 11).

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

Düşük kontrast ayırma gücü için bir sınır değeri bulunmamaktadır. Testin yılda bir kez yapılması önerilir.

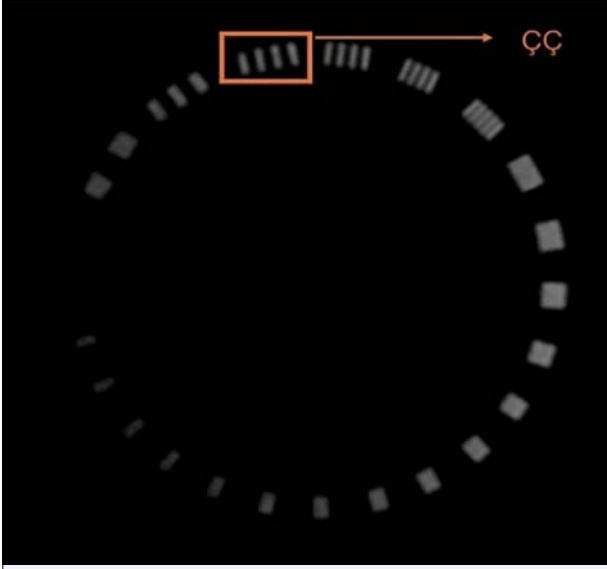
4.6. Yüksek Kontrast Ayırma Gücü ve Modülasyon Transfer Fonksiyonu (MTF)

Amaç

Bu testin amacı, BT-Sim cihazının yüksek obje kontrastına sahip objeleri ayırt edebilme gücünün belirlenmesidir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim görüntü fantomu, Catphan 500 veya Catphan 600 fantomlarından biri kullanılabilir.



Şekil 12. Görsel olarak değerlendirme yapmakta kullanılan, değişen büyüklüklerde çç/cm desenleri.

lır. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurularak fantomun BT görüntüsü alınır.

- Değerlendirme için, fantomun yüksek kontrast ayırma gücü deseni bulunan bölgesinin görüntüsü kullanılır.
- Görsel değerlendirme ile görülebilen en son çizgi çifti belirlenerek kaydedilir (Şekil 12).
- MTF hesaplanmak isteniyorsa fantomun yüksek kontrast ayırma gücü kısmındaki tungsten tel yüksek mAs değerinde taranır. BT-Sim QA yazılımı kullanılarak nokta dağılım fonksiyonundan MTF elde edilir.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- BT-Sim QA yazılımı ile elde edilen nokta dağılım fonksiyonunun eğrisinden %50, %10 ve %2 değerlerindeki frekanslar tespit edilip MTF grafik haline getirilir.
- Yüksek kontrast ayırma gücü testi için;
- IAEA bu testin kabul testinde yapılmasını ve görüntü kalitesini etkileme olasılığı olan BT-Sim servis işlemleri sonrasında kontrolünü önermektedir. Bu testin kabul sınırı üretici firmanın tavsiye ettiği değerlerdir.[6]
- AAPM TG66 bu testin yıllık olarak yapılmasını önermektedir. Bu testin kabul sınırı üretici firmanın tavsiye ettiği değerlerdir.[1]
- IPEM91 bu testin yıllık olarak yapılmasını önermektedir. Bu testin kabul sınırı, kabul testinden elde edilen değer $\pm 20\%$ 'dir.[7]

Bu testin yıllık olarak yapılması önerilir. Bu testte üretici firmanın tavsiye ettiği değerler kabul sınırı olarak uygulanabilir.

Bu testin yıllık olarak yapılması önerilir. Üretici firmanın tavsiye ettiği değerler kabul sınırı olarak uygulanabilir.

4.7. Görüntülenen Kesit Kalınlığı Testi

Amaç

Bu testin amacı, hasta üzerine düşen kesit kalınlığının ölçülmesinin yanında hastadan geçerek detektörler üzerine düşen kesit kalınlığının ölçülmesidir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim görüntü fantomu, Catphan 500 veya Catphan 600 fantomlarından biri kullanılabilir. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurularak fantomun BT-Sim görüntüsü alınır.
- Değerlendirme için fantomdaki metal eğimli bir test objesinin görüntüsü alınır. Metalin üzerinde profil çizilerek levha kalınlığının Yarı Yükseklikteki Tam Genişlik (FWHM) ölçülür. FWHM, levhaların eğim açısı olan 23 derecenin tanjantı ile (0.42) çarpılır ve kesit kalınlığı hesaplanır (Şekil 13).
- Tüm kesit kalınlıkları için ölçümler kayıt altına alınır.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- IAEA görüntülenen kesit kalınlığı testinin yıllık olarak yapılmasını önermektedir. Bu testin kabul sınırı 1mm'den küçük kesit kalınlıkları için +0.5mm iken, 1–2mm kesit kalınlığı için $\pm 50\%$ ve 2mm'den büyük kesit kalınlıkları için $\pm 1\text{mm}$ 'dir.[6]
 - IPEM91 bu testin yıllık olarak yapılmasını önermektedir. Bu testin kabul sınırı, kabul testinden elde edilen değer $\pm 20\%$ 'si ya da $\pm 1\text{mm}$ 'dir.[7]
- Klinik uygulamada bu testin yıllık olarak yapılması önerilir.

4.8. Görüntü Boyutlarının Doğruluğu Testi

Amaç

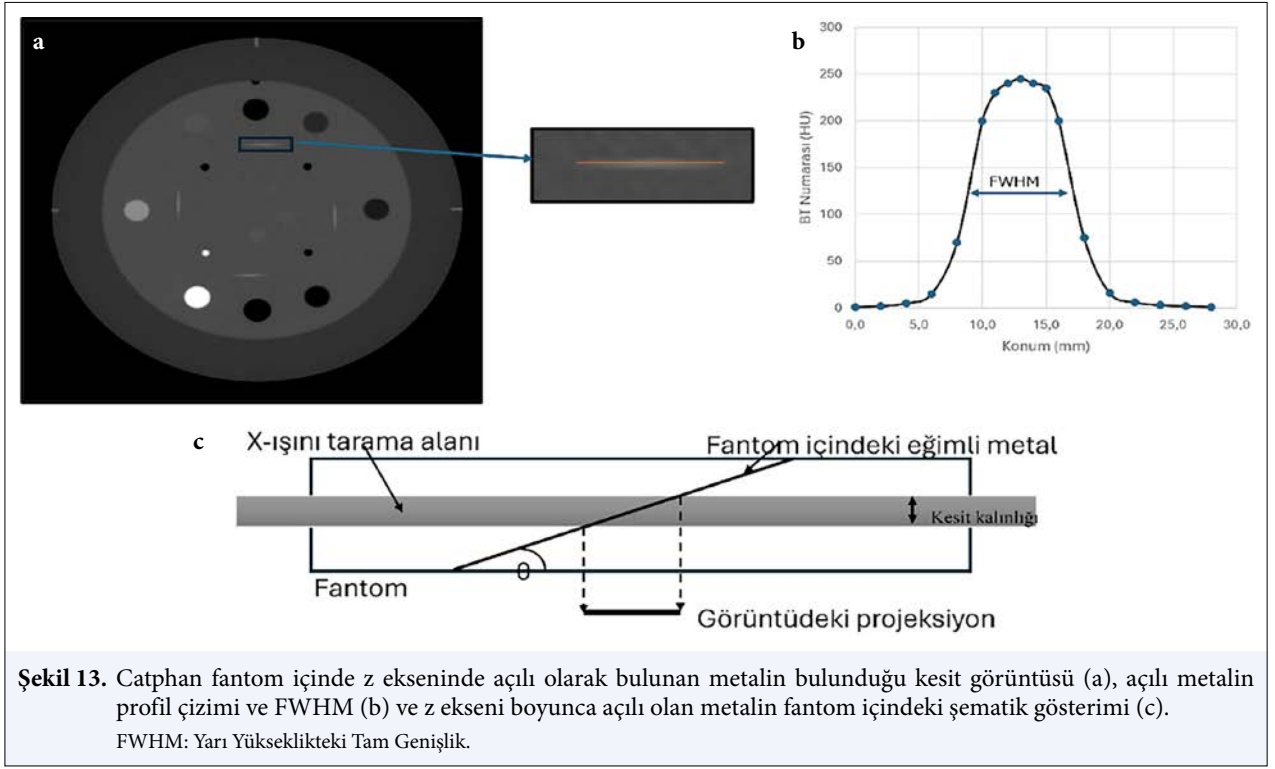
Bu testin amacı, görüntülenen yapıların fiziki boyutlarının dijital ortama 1:1 oranında aktarılıp aktarılmadığının kontrolünü sağlamaktır.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Bu test için, BT-Sim görüntü fantomu, Catphan 500, Catphan 600 veya homojen katı su fantomlarından biri kullanılabilir. Ardından, Şekil 7'de gösterilen test düzeneği kurularak fantomun BT görüntüsü alınır.
- Değerlendirme için görüntüsü elde edilen yapının x ve y koordinatlarındaki boyutu BT-Sim yazılımında bulunan ölçeklendirme aracı olan metre yardımı ile ölçülür (Şekil 14).

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

- AAPM TG 66 bu testin günlük olarak tek bir koordinat için yapılmasını, aylık için ise hem x hem de



y koordinatındaki boyut için tekrarlanmasını önermektedir. Bu testin kabul sınırı $\pm 1\text{mm}$ 'dir.[1]

Bu test tek koordinat (x veya y) için haftada en az bir, her iki koordinat (x ve y) için ise ayda bir kez tekrarlanması önerilir.

5. DOZİMETRİK TESTLER

BT-Sim tarayıcısının x-ışını çıkışının ve performansının kararlılığını sağlamak, kabul edilebilir bir radyasyon dozunda yeterli görüntü kalitesini elde etmek açısından önemlidir. Ek olarak; görüntüleme işlemlerinin optimizasyonuna yardımcı olmak için BT-Sim de dozun ölçülmesi ve bilinmesi gereklidir.

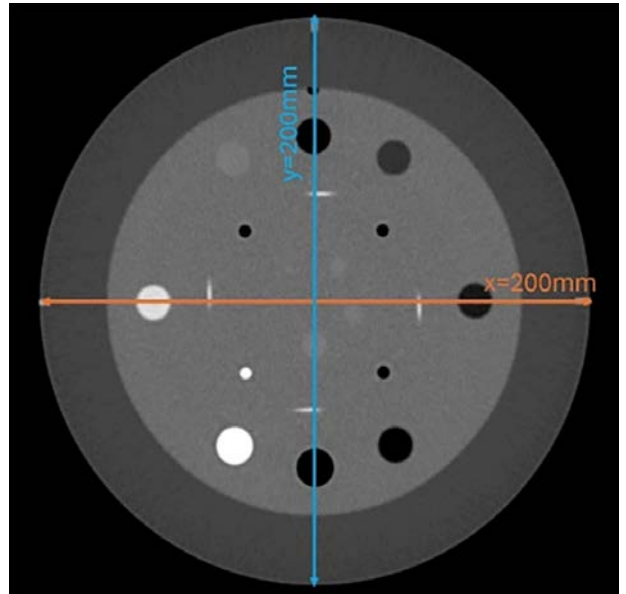
5.1. Havada CTDI (CTDI_{air})

Amaç

Testin amacı, tüm x - ışını demeti kolimasyonları için havadaki doz değerlerini (CTDI_{air}) üreticinin özellikleriyle (mümkünse) karşılaştırmaktır. Kabul testleri aşamasında ise, tüm X-ışını demeti kolimasyonları ve tüp gerilimleri için CTDI_{air} değerlerini ölçmektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Ölçümde kullanılacak sistemler uygun bir doz ölçer (kalem tipi iyon odası) ve havada ölçüm için dedektör standından oluşmaktadır.



Şekil 14. Boyutları bilinen objeye ait kesit görüntüsü.

- Kalem tipi iyon odası, tarayıcı masanın ucunu aşacak şekilde yerleştirilir.
- Sagittal ve koronal hizalama ışıkları kullanılarak iyon odası izomerkezde kalacak şekilde ayarlanır. İyon odasının eğilmediğinden emin olunmalıdır. 5° 'ye kadar olan hizalama hatası kabul edilebilir.

- Yaklaşık 120 kVp, 100 mAs değerinde ve en büyük demet kolimasyonu kullanılarak iyon odası aksiyel görüntüleme modunda taranır. Doz değeri kaydedilir.
- Son iki basamaktaki işlemler farklı demet kolimasyonları için tekrar edilir.
- Tüm demet kolimasyonları ve kullanılan kV değerleri için okunan doz değerlerinden $CTDI_{air}$ değerleri hesaplanır.
- Elde edilen $CTDI_{air}$ değerleri, kabul testlerinde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılır.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

Ölçüm değeri ile referans alınan kabul testi değeri arasındaki fark %20 den az olmalıdır.[7] Bu test, kabul aşamasında yapıldıktan sonra yıllık olarak tekrar edilmesi önerilir. Bunların dışında x – ışını tüpünün, tüp filtrasyonunun değişmesi veya bunların dışında radyasyon dozunu etkileyecek herhangi bir değişiklik olması halinde test tekrar edilmelidir.

5.2. Fantom İçindeki CTDI ($CTDI_{vol}$) ve Doz Göstergesi Doğruluğu

Amaç

Testin amacı, belirlenen doz değerinin ($CTDI_{vol}$) üretici firmanın spesifikasyonları ile karşılaştırılmasıdır. Ayrıca, seçilen tarama parametreleri için, tarayıcı konsolunda görüntülenen $CTDI_{vol}$ değerlerinin doğruluğunun gözden geçirilmesidir.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Ölçümde kullanılacak sistemler uygun bir doz ölçer (kalem tipi iyon odası), BT-Sim doz ölçüm fantomları ile dedektör ve fantom standından oluşmaktadır.
- Belirtilen taramalar en azından bir tipik kV, mA, tarama süresi ayarı, BT-Sim görüntüleme modu (baş veya vücut, aksiyel veya helikal) ve tipik karın/yumuşak doku kesit kerneli kullanılarak elde edilmiştir. Uygulanan toplam demet genişliği, hastalarda tipik olarak kullanılan genişlik olmalı ve matris boyutu da not edilmelidir.
- Kafa protokolleri ölçümleri için kafa boyutundaki CTDI fantomu baş desteğine yerleştirilir.
- Lazer ışıkları kullanılarak fantom, dikey ve yatay olarak görüntüleme alanının (Field of View, FOV) ortasına yerleştirilir.
- Kalem tipi iyon odası fantom merkezindeki boşluğa takılır. Kullanılmayan diğer delikleri doldurmak için PMMA tıkaçları takılı olmalıdır.
- Fantomun eğilmediğinden emin olunmalıdır. 5°'ye kadar olan hizalama hataları kabul edilebilir.
- Kafa tarama protokolü seçilerek tarama yapılır. Dedektörde okunan doz değeri kaydedilir.

- Kalem tipi iyon odası sırasıyla fantomun tüm kenar deliklerine yerleştirilerek her delik için aynı tarama protokolünde tarama işlemi tekrar edilir.
- Vücut protokolleri için büyük boyutlu CTDI fantomu *gantry* izomerkezine merkezlenecek şekilde yerleştirilir.
- Ölçümler tüm vücut protokolleri için tekrar edilir.
- Merkezde ve kenar noktalarda okunan doz değerlerinden $CTDI_{vol}$ değerleri hesaplanır.
- Hesaplama ilk olarak tüm fantomda soğrulan doz, ağırlık kazandırılmış CTDI ($CTDI_w$) olarak aşağıdaki eşitlik ile bulunur;

$$CTDI_w = \frac{1}{3}(CTDI_{100,merkez}) + \frac{2}{3}(CTDI_{100,kenar})$$

Burada $CTDI_{100,merkez}$ ve $CTDI_{100,kenar}$ sırasıyla fantomun merkezinde ve kenar noktalarda iyon odası ile ölçülen doz değerleridir.

- Hacimsel Doz İndeksi ($CTDI_{vol}$) hesabında ise pitch faktörü dikkate alınır ve aşağıdaki eşitlik ise hesaplanır;

$$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{p}$$

p: taramada kullanılan pitch faktörü

- Aynı tarama parametreleri için ölçülen $CTDI_{vol}$ verileri, BT-Sim konsolunda görüntülenen değerlerle karşılaştırılır.

Tolerans Aralığı ve Test Sıklığı

Ölçülen doz ile doz göstergesinde görüntülenen doz arasındaki fark %20'den az olmalıdır.[6] Değerlerden herhangi biri toleransların dışındaysa, kalibrasyon gereklidir. Standart dışı tarama alanı ve filtre kombinasyonlarının kullanımı konusunda klinik personele danışılması tavsiye edilir. Bu koşullar için $CTDI_{vol}$ değerini kontrol etmek ve cihazın verdiği değerleri karşılaştırmak önemlidir. Benzer şekilde, pediatrik incelemelerde, tarayıcı konsolunda görüntülenen $CTDI_{vol}$ değerini 16 cm çapında veya uygun büyüklüğe sahip bir fantom ile doğrulamak önemlidir.

Bu testin, kabul sırasında ve sonrasında yıllık olarak tekrar edilmesi önerilir. Bunlara ek olarak, x – ışını tüpünün veya filtrasyon bileşenlerinin değiştirilmesi halinde veya bunlarla sınırlı olmamak üzere radyasyon dozunu etkileyebilecek bir değişiklikten sonra test tekrar edilmelidir.

6. SONUÇ

Günümüzde radyoterapi işlemlerinde kullanılan cihazlarda, çoğu teknolojik gelişmenin görüntüleme sistemleri üzerinde yoğunlaşması, tedavi basamağının ilk bileşenlerinden bir tanesi olan BT-Sim cihazları-

nın önemini ayrıca ortaya koymaktadır. Bu cihazların kalite kontrol ve güvence testlerinin belirli aralıklarla yapılması ve sistemin genel durumunun nitel ve nicel olarak ölçülmesi, görüntüleme işlemlerine ek olarak tedavi kalitesinin artırılması bakımından önemlidir. Üretici firmalar ve uluslararası kuruluşlar tarafından önerilen güvenlik testlerinin, mekanik testlerin, görüntü kalitesi testlerinin ve dozimetrik testlerin medikal fizik uzmanlarının sahip oldukları deneyim ve bilgiler ışığında belirlenen aralık ve sıklıkta uygulanması BT-Sim cihazlarının doğru ve güvenli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlayacaktır.

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. Mutic S, Palta JR, Butker EK, Das IJ, Huq MS, Loo LN, et al. (2003). Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed-tomography-simulation process: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 66. *Med Phys* 2003;30(10):2762-92.
2. National Council on Radiation Protection and Measurements. Structural shielding design and evaluation for medical use of X rays and gamma rays of energies up to 10 MeV NCRP Report No: 49. Bethesda; NCRP Publication Office: 1976.
3. Lin PJP, Beck TJ, Borrás C, Cohen G, Jucius RA, Kriz RJ. et al. (1993). Specification and acceptance testing of computed tomography scanners. AAPM Report No: 39. Available at: https://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_39.pdf. Accessed Jan 29, 2025.
4. Samei E, Bakalyar D, Boedeker KL, Brady S, Fan J, Leng S, et al. (2019). Performance evaluation of computed tomography systems: Summary of AAPM Task Group 233. *Med Phys* 2019;46(11):735-56.
5. İnal T. X - Işını Bilgisayarlı Tomografisi (Computed Tomography - CT) Tek ve Çok-Kesitli Sistemlerde Kalite Kontrol Testlerinin Standartizasyonu (Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi). 2007.
6. International Atomic Energy Agency (2012). Quality assurance programme for computed tomography: Diagnostic and Therapy Applications. International Atomic Energy Agency (IAEA). Available at: <https://www.iaea.org/publications/8751/quality-assurance-programme-for-computed-tomography-diagnostic-and-therapy-applications>. Accessed Jan 29, 2025.
7. Hiles P, Mackenzie A, Scally A, Wall B. Recommended standards for the routine performance testing of diagnostic x-ray imaging systems. Report No. 91. York; IPEM: 2005.