



Tomotherapy/Radixact Cihazları için Kalite Kontrol ve Kalite Güvencesi Raporu

Guide For Quality Control and Quality Assurance Tests in Tomotherapy/Radixact Systems

Evren Ozan GÖKSEL,^{1,2} Songül BARLAZ US,³ Yücel AKDENİZ,⁴ Recep BOZCA,⁵ Yelda ELÇİM,⁶ Zerrin GANI,⁷ Gülay GÜRAY,⁸ Nazan DEDE KARAKOÇ,⁹ Nilgül NALBANT,¹⁰ Turgay TOKSOY,¹¹ Abdullah YEŞİL¹²

¹Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi, SHMYO, Radyoterapi Programı, İstanbul-Türkiye

²Acıbadem Altunizade Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

³Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Mersin-Türkiye

⁴Acıbadem Adana Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, Adana-Türkiye

⁵Başkent Üniversitesi, Adana Dr. Turgut Noyan Araştırma ve Uygulama Merkezi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Adana-Türkiye

⁶Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

⁷Ankara Bilkent Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkoloji Kliniği, Ankara-Türkiye

⁸Medikal Park Bahçelievler Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

⁹Kartal Dr. Lütfi Kırdar Şehir Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

¹⁰Acıbadem Atakent Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

¹¹Ali Osman Sönmez Onkoloji Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, Bursa-Türkiye

¹²Medicana Bursa Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, Bursa-Türkiye

ÖZET

MFD-GG003 görev grubu tarafından Tomotherapy/Radixact cihazlarına yönelik kalite kontrol ve kalite güvencesi raporu hazırlanmıştır. Yayınlanan bu raporda, esas raporun test içerikleri ve uygulama yöntemleri özetlenmiştir. Bu raporun amacı, Tomotherapy/Radixact 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. Kalite kontrol testleri, mekanik testler, su fantomu testleri, film testleri, katı fantom testleri, görüntüleme bileşenlerinin testleri ve tedavi planlama sistemi testleri başlıkları altında toplanmıştır. Her test için testin yapılma amacı, testin yapılışı, önerilen yapılma sıklığı ve tolerans aralığı belirtilmiştir. Ayrıca yapılması önerilen testler tolerans değerleriyle birlikte günlük, aylık ve yıllık olarak tablolarda listelenmiştir. Önerilen test sıklıkları ve tolerans değerleri, uluslararası referanslar, firma önerileri ve MFD-GG003 grubu üyelerinin klinik deneyimleri dikkate alınarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, klinik için bir kalite programı oluşturulurken, tolerans değerleri ve test sıklıklarının değiştirilmesi veya belirlenmesi sürecinde, cihaz özellikleri ve uygulanan tedavi tekniği dikkate alınarak medikal fizik uzmanlarının kendi klinikleri için uygun kararları vermesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Kalite güvencesi; radixact; tomotherapy.



SUMMARY

The MFD-GG003 task group has prepared a quality control and assurance report for Tomotherapy/Radixact devices. This published report summarizes the main test contents and application methods of the primary report. The purpose of this report is to standardize the quality control tests and methods recommended by manufacturers and international guidelines for Tomotherapy/Radixact devices and to provide recommendations for medical physicists in radiation oncology clinics to establish safe and effective quality assurance programs. The quality control tests are categorized under headings such as mechanical tests, water phantom tests, film tests, solid phantom tests, imaging component tests, and treatment planning system tests. For each test, the purpose, procedure, recommended frequency, and tolerance range are specified. Additionally, the recommended tests, along with their tolerance values, are listed in tables for daily, monthly, and annual intervals. The suggested test frequencies and tolerance values were determined based on international references, manufacturer recommendations, and the clinical experience of the MFD-GG003 task group members. However, when establishing a quality assurance program for a clinic, medical physicists must make appropriate decisions for their own clinics by considering device characteristics and the treatment techniques applied, especially when modifying or determining tolerance values and test frequencies.

Keywords: Quality assurance; radixact; tomotherapy.

Copyright © 2024, Turkish Society for Radiation Oncology

1. GİRİŞ

Tomotherapy/Radixact, helikal (*Fan-beam*) yoğunluk ayarlı radyoterapi tekniği (IMRT) uygulayabilen özel bir cihazdır. Işınlama sırasında *gantry* dönüşüne devam ederken tedavi masası bore içerisine doğru sabit bir hızda hareket etmektedir. Durağan *gantry* açısı ile yoğunluk ayarlı radyoterapinin klinik olarak tercih edileceği meme ışınlamaları gibi vakalar için Tomo-Direct modu da geliştirilmiştir. Cihaz, kapalı *gantry* yapısına sahip olması nedeniyle *gantry* oldukça hızlı dönebilmektedir. Hava basıncıyla *binary* olarak çalışan 64 adet *multi leaf* kolimatör (MLC) sistemine sahip cihaz, MLC'lerin çok hızlı hareket edebilmesi sayesinde yüksek modülasyon yeteneğine sahiptir. Helikal tedavi özelliği ile longitudinal ekseninde 135 cm'ye kadarlık bir alana kesintisiz tedavi uygulanabilmektedir. Bu sayede kraniospinal veya tüm vücut ışınlamaları gibi klinik vakalarda alan kesişimi problemi ortadan kalkmaktadır. Cihazın linak yapısı, Tomotherapy'de 850 cGy/dk, Radixact'da ise 1000 cGy/dk doz hızında 6 MV FFF foton ışınları üretmektedir. Görüntü rehberliğinde radyoterapi uygulaması için Tomotherapy cihazında linak enerjisi düşürülerek MVCT (Fan Beam Megavoltage Computed Tomography) görüntüleme yapılabilmektedir. Radixact cihazında MVCT'ye ek olarak kVCT (Kilovoltage Computed Tomography) seçeneği de bulunmaktadır. Radixact cihazında, kV kaynağı sayesinde gerçek zamanlı adaptif hareket takibi (Synchrony) sistemi kullanılabilir.

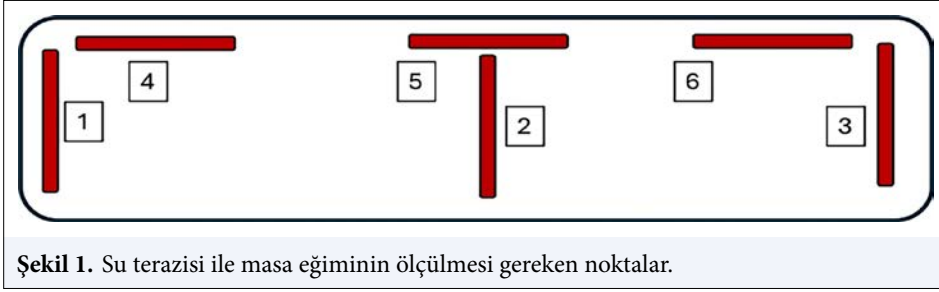
Tomotherapy/Radixact sistemlerinin kendine has yapıları ve tedavi uygulama teknikleri nedeniyle kalite kontrol testleri klasik linaklardan (Linear Accelerator) farklıdır.[1-3] MFD-GG003, Tomotherapy/Radixact cihazlarının kliniğe kabulü (Acceptance) ve devreye alınması (Commissioning) ile ilgili testler haricinde, rutin kalite güvencesi programına özel ulusal bir standart oluşturabilmek ve önerilerde bulunabilmek amacıyla oluşturulmuştur. Bütün testler için test sıklıkları ve tolerans değerleri tablolarda verilmiştir.

2. MEKANİK TESTLER

Helikal Tomotherapy cihazında rutin olarak veya mekanik hizalamanın değiştiği düşünülen durumlarda mekanik testlerin tekrarlanması önerilmektedir. Bu bölümde, test edilmesi önerilen lazer, masa ve kaynak pozisyon testleri belirtilmiştir.

2.1. Lazer Testleri**2.1.1. Hareketli (Kırmızı) Lazer Uygunluğu**

Tomotherapy cihazında hastanın izomerkeze göre pozisyonlanması işlemi hareketli lazerler yardımıyla yapıldığı için bu lazerlerin doğru pozisyona gitmesi hastanın tedavi masasına planlandığı gibi yatırılması açısından önem taşımaktadır. Bu testin amacı hareketli lazerlerin (kırmızı lazer) istenen konuma gidip gitmediğini belirlemektir. Test için, *cheese* fantom sanal (Virtual) izomerkeze yerleştirilir. Üretici firma tarafından oluşturulmuş prosedür



Şekil 1. Su terazisi ile masa eğiminin ölçülmesi gereken noktalar.

(Transverse_Plane (X-Z) Lazer location) seçilir. Böylece hareketli lazerler plan parametrelerine göre hareket edecektir. Cetvel yardımı ile fantom merkezi ve kırmızı lazerler arasındaki mesafeler ölçülür ve beklenen değerler ile ölçülen değerler arasındaki farklar belirlenir.[1]

2.1.2. Sabit (Yeşil) Lazer Eğimi

Sabit (Yeşil) lazerler fizik testlerinde kullanılmaktadır. Bu test ile yeşil lazerin vertikal yöndeki eğimi kontrol edilir. 5 cm'lik katı levha fantom dik bir şekilde masa üzerinde sanal izomerkeze yerleştirilir. Fantomun düzgünlüğü dijital su terazisi ile kontrol edildikten sonra üst ve alt ucunun tepe lazere olan mesafesi cetvel yardımı ile ölçülür. X ve Y ekseninde üst uç-lazer, alt uç-lazer arasındaki mesafe farkı kontrol edilir. Aynı işlem fantomu 90° döndürerek tekrarlanır ve tilt miktarı tespit edilir.[1]

2.1.3. Sanal Lazer Uygunluğu

Bu testin amacı sanal izomerkez ile makine izomerkezi arasındaki mesafenin kontrol edilmesidir. Masa gantry dışına alınır ve masa üzerine beyaz bir bant yapıştırılır. Bant üzerine kalem yardımı ile yeşil lazerin konumu işaretlenir. Masa gantry içerisine doğru 70 cm hareket ettirilir ve sanal izomerkez tekrar işaretlenir. İki işaret arasındaki mesafe cetvel ile ölçülerek 70 cm mesafe değeri doğrulanır.[1]

2.1.4. Bore Lazer Uygunluğu

Bu test için (Transverse Plane (X-Z) Laser Localization) prosedürü seçilir. Cheese fantom kırmızı lazerler yardımıyla masa üzerine yerleştirilir. Scan sekmesinde kesit kalınlığı "Fine", kesit sayısı en az 7 olacak şekilde tarama alanı belirlenir. Elde edilen MVCT görüntüsü ile planlama görüntüsü eşleştirilir. Merkezin 5 mm altında bulunan iyon odası deliğinin merkeze olan mesafesi ölçülür. X ve Y doğrultusunda merkezden olan sapmalar tespit edilir.[1]

2.2. Masa Testleri

2.2.1. Masanın Lateral Pozisyonlama Doğruluğu

Bu test ile masanın lateral (X) yönde pozisyon doğruluğu test edilir. Masanın lateral pozisyonu (X=0) olacak

şekilde ayarlanır. Yeşil lazerin masanın tam ortasından geçip geçmediği, cetvel yardımı ile ölçülerek yeşil lazerlerin merkezden sapması kontrol edilir.[1]

2.2.2. Masanın Eğiminin Kontrolü

Testin amacı, masa düzleminde eğim olup olmadığını kontrol etmektir. Masa gantry boşluğundan dışarı çekilerek Şekil 1'de belirtilen yerlerdeki eğim dijital su terazisi ile ölçülür.[1]

2.2.3. Düşey Masa Sapması

Düşey masa sapması testi için, masa gantry boşluğunun dışında iken vertikal yönde (Z) en alt pozisyona alınır. Masa üzerine bir bant yapıştırılarak yeşil lazer pozisyonu işaretlenir. Masa vertikalde en yüksek pozisyona getirilir ve bant üzerine yeşil lazerin pozisyonu tekrar işaretlenir. İki işaret arasındaki mesafe cetvel yardımı ile ölçülür.[1]

2.2.4. Masa Sarkmasının Belirlenmesi

Bu testin amacı, masa sarkması miktarının vertikal yönde tespit edilmesidir. Masa, bore dışında tutulurken sanal izomerkez pozisyonuna kadar yükseltilir. Masa üzerine yerleştirilen katı levha fantom üzerine gantry arkası bore lazer (yeşil) bant yapıştırılarak işaretlenir. Masa 70 cm içeri gönderilir ve gantry arkası bore lazer tekrar işaretlenir. İki işaret arası mesafe cetvel yardımı ile ölçülür ve masa sarkması tespit edilir.[3]

2.2.5. Masanın Kobra Hareketinin Test Edilmesi

Kobra hareketi testi için, masa gantry boşluğundan dışarı çekilerek maksimum yüksekliğe alınır. Masa üzerinde yeşil lazer bant yardımı ile işaretlenir. Aynı zamanda kontrol panelinde (PCP) masanın horizontal (Y) ve düşey (Z) konumları not edilir. Kontrol panelinin 'Step Move' fonksiyonu kullanılarak masa düşey yönde 20 mm'lik mesafeler ile hareket ettirilir.[1] Radixact cihazının masası kobra hareketi yapmadığı için bu testin yapılmasına gerek yoktur.

2.3. Linak Mekanik Testleri

2.3.1. Longitudinal (Y) Yönde Pozisyon Doğruluğu

Bu test, linak'ın Y yönünde merkezde olup olmadığını kontrol etmek için yapılır. Extradin A17 iyon odası

masa üzerine yeşil lazere göre merkezde olacak şekilde konumlandırılır. Masa gerçek izomerkeze gönderilir ve masa sarkması vertikal yönde düzeltilir. Operatör bilgisayarında uygun prosedür (ZZZ_ATP_Jaw Shift) yüklenir. Masa Y yönünde 11 adım (24, 20, 15, 10, 5, 0, -5, -10, -15, -20 ve -24 mm) kaydırılarak ölçümler alınır. Ölçülen değerler grafiğe dönüştürülür ve parabolik profil eğrisi elde edilir. Linak, Y- yönünde doğru hizalandığında, ölçülen maksimum değer 0 noktasında gözlemlenmelidir ve değer her iki yöne eşit şekilde azalmalıdır. Parabolün maksimum noktasını bulmak için eğrinin türevi alınır ve çene kaymasının hangi yönde olduğu böylece bulunur. Linak pozisyonu ilk kurulum sırasında belirlenir ve ilk kurulum pozisyonuna göre sapmanın 0,3 mm'nin içerisinde olması tavsiye edilir. Bu testin özellikle linak hizalamasını etkileyebilecek herhangi bir bileşen değiştirildiğinde, hareket ettirildiğinde ya da rutin olarak yıllık yapılması önerilir.[1,2]

2.3.2. Linak Transverse (X) Yönde Pozisyon Doğruluğu

Bu test, radyasyon kaynağının X yönünde merkezde olup olmadığını kontrol etmek için yapılır. Kaynağın X yönündeki pozisyonu MLC pozisyonuna göre kontrol edilir. Bu kontrol için "Tongue and Groove" testi kullanılır. MLC yaprakları açılarak doz çıkış profillerini toplamak için cihazın kendi üzerindeki dedektör kullanılır. Üretici firma kaynak pozisyon toleransını %2 olarak belirlemiştir. Bu değer X-yönünde 0,34 mm'ye denk gelmektedir. Hizalamayı etkileyebilecek herhangi bir bileşen değiştirildiğinde veya hareket ettirildiğinde ya da rutin yıllık olarak bu testin yapılması önerilir.[1,2]

3. FİLM TESTLERİ

Tomotherapy cihazında bazı mekanik testlerin radyokromik film kullanılarak yapılması gerekmektedir. Testlerde, filmlerin taranması işlemi Epson Expression 1x000XL tarayıcı serisi ile tarayıcının geçirgen tarama modunu kullanarak yapılır. Tarayıcının renk düzeltmeleri seçeneği kapalı olmalı ve elde edilen görüntü 72-75 dpi çözünürlükle tiff formatında kaydedilmelidir. Tüm ışınlanan filmler üretici tarafından sağlanan TIFT veya RITg148+ yazılımları ile analiz edilir.

3.1. Aksiyal Yeşil Lazerin Kontrolü

Amaç

Bu testin amacı yeşil lazerin aksiyal pozisyon doğruluğu ile tedavi ışını uyumunu kontrol etmektir. Lazer, tedavi ışımına göre açı yapmış ve/veya ötelenmiş olabilir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu test için üretici firma tarafından oluşturulmuş uygun prosedür (GAF_Overhead Laser veya HB4010-Overhead Laser Alignment) yüklenir. Masa *gantry* dışında iken yeşil lazer 5 cm'lik katı fantomun yüzeyinde olacak şekilde ayarlanır. *Gantry* içinde masa sarkması düzeltilerek masa tekrar dışarıya alınır ve fantom üzerine film yerleştirilir. Merkezden yaklaşık 22 cm lateral uzaklıkta yeşil lazer işaretlenir. Film üzerine 1 cm' lik katı fantom konulur ve prosedür ışınlanır.

3.2. Gantry Dönüş Düzlemi – Işın Düzlemi Çıkış Kontrolü

Amaç

Bu testin amacı, Y-çenelerinin *gantry* dönüş düzlemi ile hizalanmasının kontrol edilmesidir. Tedavi ışını düzlemi, Y-çenelerinin ayarından kaynaklı *gantry* dönüş düzlemine göre açı yapmış ve/veya ötelenmiş olabilir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Operatör bilgisayarında uygun prosedür (GAF_CentralAxisYaxisMisalignment veya HB4010-Central Axis Y-Axis Misalignment) yüklenir. Masa *gantry* dışında iken sanal izomerkez 1 cm' lik katı fantomun yüzeyinde olacak şekilde ayarlanır ve üzerine film yerleştirilir. Film üzerine 1 cm' lik katı fantom konulur. Film sanal izomerkezden 23 cm uzakta olacak şekilde masa aşağıya alınır ve masa *gantry* içine gönderilip, masa sarkması düzeltilir. Prosedür içinde *Gantry* 0° ve 180° olan alanlar ışınlanır. Şekil 2'de olası durumlarda karşılaşılabilecek filmlere örnekler verilmiştir.

Eğer bu hizalamayı etkileyebilecek herhangi bir bileşen değiştirilir veya yerinden oynatılırsa, bu hizalamanın mutlaka kontrol edilmesi gerekir.[1-3]

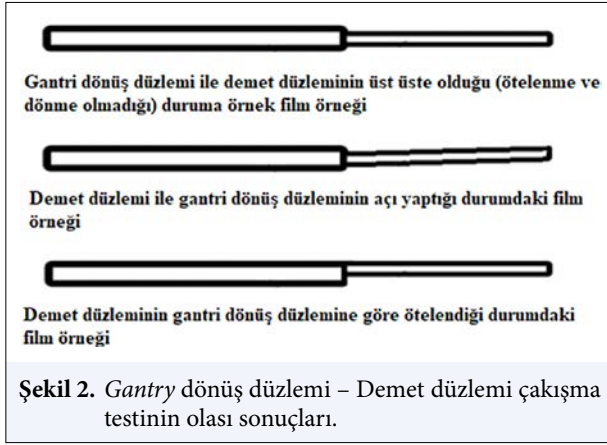
3.3. MLC Hizalama ve Dönme Testi

Amaç

MLC'nin, *gantry* rotasyon eksenini ile olan lateral hizalaması test edilmelidir. Benzer şekilde, MLC'nin rotasyon düzlemine paralel hizalandığı ve dönme olmadığı da test edilmelidir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Operatör bilgisayarında uygun prosedür (ZZZ_ATP_MLCTwist) yüklenir. Masa *gantry* dışında iken sanal izomerkez 1 cm katı fantomun yüzeyinde olacak şekilde ayarlanır. Film üzerine 1 cm katı fantom koyulur. Merkezdeki iki MLC yaprağı (32 ve 33) ile iki merkez dışı yaprak (27 ve 28) açılır. Film, *gantry* 0° pozisyonundayken ışınlanır. Daha sonra *gantry* 180°'ye getirilir ve yalnızca merkez dışı yapraklar (27 ve 28) açılır ve ışınlanır. İlk iki dış alan birbirine paralel olmalıdır



(MLC, rotasyon düzlemine paralel hizalanmış olmalıdır). Merkezi alan, iki dış alanın ortasında merkezlenmiş olmalıdır (MLC lateral kayması olmamalıdır.).[1,2]

3.4. Çene Simetrisi Testi

Amaç

Tüm klinik tedavi alanlarının hizalaması kontrol edilmelidir. Bu testin amacı, çenelerin merkezi eksen etrafında simetrik olarak açılıp kapanmasının kontrol edilmesidir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Operatör bilgisayarında uygun prosedür (ZZZ_ATP_FieldCenterVersusJawsettin3in1) yüklenir. Masa gantry içine alınır ve masa sarkması düzeltilir. Prosedür içinde belirli MLC yaprakları (11–18, 29–36 ve 47–54) açık kalır ve Y-çeneleri 2,5 cm nominal genişliğe ayarlanır. Film, ilk pozlama için ışınlanır. İkinci pozlama için MLC, farklı yaprakların (2–9, 20–28, 38–45 ve 56–63) açılacağı şekilde ayarlanır. Y-çeneleri farklı bir klinik alan boyutuna ayarlanır (5 cm). Film ikinci kez ışınlanır. Alan merkezlerinin hizalaması, izomerkezden olan sapmalar tespit edilerek doğrulanır. Özellikle de hizalamayı etkileyebilecek herhangi bir bileşen değiştirildiğinde bu testin yapılması önerilir.[1,2]

3.5. Gantry Açısı Tutarlılığı Testi (Star Testi)

Amaç

Sistemin gantry açılarını doğru bir şekilde tanımlama yeteneği test edilir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu test için, iki adet film dönüş düzlemine paralel olacak şekilde yerleştirilir ve sanal izomerkezinin her iki tarafında 3 cm olacak şekilde katı fantomlar arasında pozisyonlandırılır. Minimum 40 dönüş için 2,5 cm dilim genişliği ve 0,1 pitch ile belirten ışınlama prosedürü tamamlanır. Prosedür, 0°, 120° ve 240° merkezli projeksiyonlarda orta

iki yaprağın (s32 ve s33) açılmasını sağlar. Setup sırasında filmlere işaretlenen yatay bir çizgi kullanılarak, ortaya çıkan yıldız deseni tedavinin başlangıcındaki gantry açıları ve 24 dönüşten sonra bu deseni yeniden oluşturma yeteneği açısından kontrol edilebilir.[1]

3.6. Masa Hızı Tutarlılığı Testi

Amaç

Işınlama sırasındaki masa hareketinin doğruluğu test edilir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Gafkromik film masa yüzeyine bantlanır üzerine 1,5 cm buildup için fantom yerleştirilir. Gantry 0° pozisyonunda sabitken ışınlama gerçekleştirilir. Kolimasyon 1 cm olarak ayarlanır ve tüm MLC yaprakları açılır. Işınlama sırasında 20 cm'lik bir masa hareket mesafesi, klinik olarak kullanılan bir masa hızı ile programlanır (örneğin, 2,5 cm tedavi dilim genişliği için 0,3–0,5 mm/sn). Film ışınlanır ve masa hareket eksen boyunca bir profil oluşturulur. Bu hat boyunca relatif optik yoğunluk %2'den daha az bir değişim göstermelidir.[1] Bu test prosedürünün doğruluğu, kararlı doz verimine dayandığı unutulmamalıdır. Eğer bu test başarısız olursa, sabit gantry için doz verimi kararlılığı da değerlendirilmelidir.

3.7. Gantry Dönüşü Başına Masa İlerlemesi Testi

Amaç

Sistemin, masa pozisyonunu ışınlama ile doğru bir şekilde senkronize etme yeteneği periyodik olarak test edilmelidir. Gantry dönüşü başına masa ilerlemesi testi de bu amaçla yapılan testlerden biridir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Gafkromik film masa yüzeyine bantlanır üzerine 1,5 cm buildup için fantom yerleştirilir. Nominal 1,0 cm ışın genişliği ve 1 pitch ile 13 dönüş içeren bir rotasyonel ışınlama gerçekleştirilir. Prosedür ile, ikinci, yedinci ve on ikinci dönüşte yarım dönüş için tüm yaprakların açılmasını sağlayacak şekilde ayarlanır. Işınlama ile ortaya çıkan filmde maksimum noktalar arası 5 cm olan üç profil oluşmaktadır. Oluşan profillerin arası 1 mm tolerans ile 5 cm olmalıdır.[1]

3.8. MLC Sızıntı Testi

Amaç

MLC'nin radyasyon sızıntısını test etmek amacı ile yapılır.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Radyokromik film, dozimetre background piksel değerini (PV_{BG}) kaydetmek amacı ile ışınlanmadan taranır. Birinci film izomerkezde 1,5 cm buildup ile 5 cm alan boyutunda ve MLC açık konumda 5sn boyunca ışın-

lanır. İkinci film izomerkezde 1,5 cm *buildup* ile 5 cm alan boyutunda ve MLC kapalı konumda 500sn boyunca ışınlanır. Işınlama sonrası oluşan filmler kararmanın tam gerçekleşmesi için uygun süre beklendikten sonra taranır. Taranan filmler analiz edilir. MLC kapalı olan filmdeki piksel değerleri (PV_{MLC}) ile açık alanda ışınlanan filmin piksel (PV_{AA}) değerlerinden PV_{BG} çıkartılır ve oranlanır. Bulunan değerler yüzde olarak geçirgenlik ve kaçak değerleridir. MLC geçirgenlik-kaçak profilindeki maksimum değer %1'den küçük olmalıdır.[1]

4. SU FANTOMU ÖLÇÜMLERİ

Amaç

Su fantomu ölçümlerinin amacı, foton ışınlarının enerjisinin, girciliğinin ve tedavi alan boyutlarının doğruluğunun kontrol edilmesidir. Ölçülen değerlerin, cihazın kliniğe kabulü sırasında ölçülen referans değerlerle ve tedavi planlama sisteminde de (TPS) kullanılan altın standart değerleriyle tutarlılığı kontrol edilmelidir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Ölçümlerde Tomotherapy cihazına özel su fantomları kullanılmaktadır. Bu fantomlar masa üstüne yerleştirilebilen ve cihaz genişliğine (*bore*) sığabilecek boyutta yapılmış fantomlardır. Ölçüm için ise AISL Extradin iyon odası kullanılabilir. Su fantomu masa üzerine yerleştirilir ve fantomun merkezi yeşil lazerlere oturtularak sanal izomerkez ayarlanır. İyon odası yerleştirilir. Fantomun düzgünlüğü su/dijital terazi ile kontrol edilir. Fantoma distile su koyulur ve su yüksekliği SSD=85 cm olacak şekilde ayarlanır. Yeşil lazerler kullanılarak iyon odası izomerkez konumlandırılır. Daha sonra iyon odasının efektif ölçüm noktası ayarlanır. Su fantomu cihazın gerçek izomerkezine gönderilir ve kontrol edilerek eğer cihazda masa sarkması varsa gerekli düzeltmeler yapılır. Her bir alan boyutu için derin doz (DD) ve profil ölçümleri yapılır. DD ölçümünde ışının enerjisini ve girciliğini değerlendirmek için kontrol edilmesi gereken değerler, maksimum doz derinliği (d_{max}), 10 cm derinlikteki DD (DD_{10}) ve 20 cm derinlikteki DD (DD_{20})'dur. Işın kalitesi değeri olarak PDD eğrisinden 1,5 cm derinlikteki doz değeri ($D_{1,5}$) ile 10 cm derinlikteki doz değeri (D_{10}) bulunarak $D_{10}/D_{1,5}$ değeri hesaplanır. Hesaplanan bu değer için tolerans aralığın ± 1 içinde olması önerilmektedir. Aynı alan boyutları için transvers (lateral-X) ve longitudinal (Y) yönlerde doz profilleri alınmalıdır. Transvers ve longitudinal doz profilleri alan boyutlarının kontrolü için kullanılır.[1,2] Radixact cihazı için ışın kalitesi testinin sadece 5 cm'lik alan boyutunda ve yıllık olarak yapılması önerilmektedir.[3]

5. KATI FANTOM DOZİMETRİK TESTLERİ

Bu testler, cihazın dozimetrik doğruluğunu ve performansını sürekli izlemek amacıyla gerçekleştirilir.

5.1. Doz Verimi Sabitliği (Output Testi)

Amaç

Cihazın doz verimi kararlılığını doğrulamak için gerçekleştirilen testler, tedavi günü hastaya uygulanacak dozun reçete edilen dozla eşleşmesini sağlamak amacıyla yapılması gereken temel dozimetrik ölçümlerdir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Tedavi planlama sisteminde oluşturulan (DailyQA) prosedürü yüklenir. Masa üzerine sanal izomerkez gelecek şekilde *cheese* fantom yerleştirilir. Fantom merkezine iyon odası yerleştirilir ve elektrometreye bağlanır. Sıcaklık ve basınç değerleri not edilir. Fantomun, ince kesit (fine mod, 2 mm) MVCT görüntüsü alınır ve varsa setup hataları düzeltilir. Prosedür ışınlanır. Elektrometredeki okuma değeri not edilir ve soğurulan doz hesaplanır. Bu ölçüm, statik ve rotasyonel planlar için ayrı ayrı yapılabilir.[1]

5.2. Işın Kalitesi T_{testi} (Enerji)

Amaç

Bu testin amacı tedavide kullanılan 6 MV FFF fotonların enerji kalitesinin referans değere göre doğrulanmasıdır.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Katı fantomlardan Şekil 3'de gösterildiği gibi 1,5 cm, 10 cm ve 20 cm derinliklere iyon odası yerleştirilebilecek şekilde setup yapılır. Operatör istasyonundan (ZZZ_Static QA PDD) protokolü yüklenir. İyon odası merkezi izomerkez gelecek şekilde ve vertikal lazer fantom yüzeyinden geçecek şekilde ayarlama yapılır. Sırası ile 1,5 cm ($D_{1,5}$), 10 cm (D_{10}) ve 20 cm (D_{20}) derinliklerde okumalar alınır ve $D_{1,5/10} = D_{10}/D_{1,5}$ ve $D_{1,5/20} = D_{20}/D_{1,5}$ değerleri hesaplanır.

$D_{1,5/10}$ değerinin bulunması gereken aralık bu şekilde önerilmektedir; $0,598 \leq D_{1,5/10} \leq 0,623$. $D_{1,5/20}$ değerinin bulunması gereken aralık bu şekilde önerilmektedir; $0,315 \leq D_{1,5/20} \leq 0,328$. [1]

5.3. Alan Simetrisi (Longitudinal Profil)

Amaç

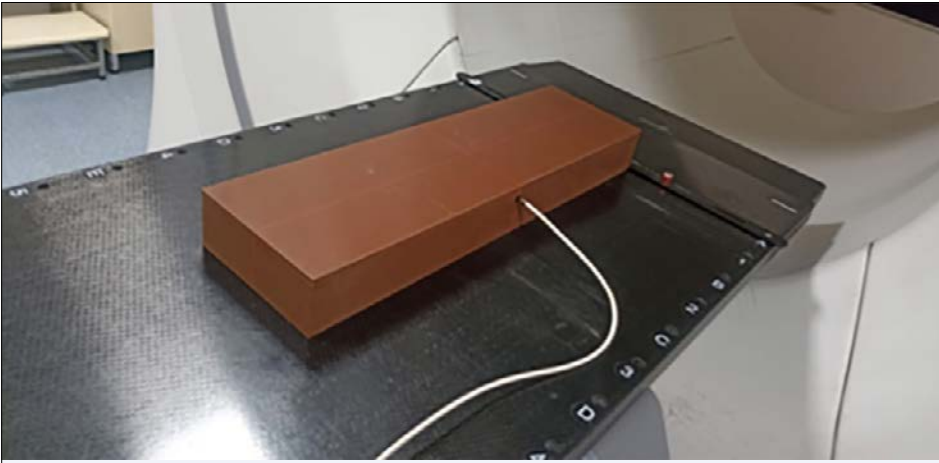
Alan simetrisi (longitudinal profil) testi ile longitudinal yönde alan boyutunun doğruluğu kontrol edilir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Genelde su fantomu ile yapılan longitudinal profil ölçümü, Tomotherapy cihazında katı levha fantom ile de yapılabilmektedir. Katı fantomlarla 1,5 cm derinlikte



Şekil 3. Işın kalitesi testi için kurulması gereken ölçüm düzeneği.



Şekil 4. Longitudinal profil için katı fantomla ölçüm setüğü.

ölçüm alınacak şekilde setup yapılır (Şekil 4). Operatör istasyonundan (ZZZ_ATP_TOPOProfile) protokolü yüklenir. Sanal izomerkez fantom merkezine ayarlanır ve MVCT ile setup doğrulaması yapılır. 1 cm, 2,5 cm ve 5 cm alan boyutları için ayrı ayrı longitudinal yönde profil alınır ve TDAT programında analiz edilir.

Longitudinal profil testinde tolerans değerler bütün alan boyutları için %1 olarak önerilmektedir. Buna göre 1 cm'lik alan boyutu için 0,1 mm; 2,5 cm'lik alan boyutu için 0,25 mm ve 5 cm'lik alan boyutu için 0,5 mm olarak önerilmektedir. 1 cm'lik alan boyutu setup hatasından çok kolay etkilenebilir. Bu nedenle 1 cm'lik alanda bir fark bulunduğu ilk önce ölçüm düzeneği kontrol edilmelidir.[1]

5.4. MU Kontrol (1 MU=1 cGy)

Amaç

Cihazın MU ve doz hızı doğruluğunun test edilmesi için yapılması gereken ölçümdür.

Testin Yapılışı

Operatör istasyonundan (Static Output_Treatment) prosedürü açılır. A1SL iyon odası 1,5 cm derinlikte olacak şekilde setup yapılır (Şekil 5). Hesaplanan doz değeri 880 cGy olmalıdır. (Radixact için yaklaşık 1000 cGy) Bu test için tolerans aralığı $\pm\%2$ olarak tavsiye edilmektedir.

5.5. IMRT Verifikasyonu (Tomophantom)

Amaç

IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy) verifikasyon testi, tedavi planlama sisteminde *cheese* fantom üzerinde oluşturulan bir planda, tedavi alanı içindeki farklı noktalarda okunan dozların tedavi cihazındaki ölçümlerle doğrulanmasıdır.

Testin Yapılışı

Cheese fantom Şekil 6'daki gibi yerleştirilir. Bu teste özel helikal ve direkt mod için oluşturulmuş IMRT planları tedavi planlama sisteminde bulunabilir. Planlar, 1 cm, 2,5 cm ve 5 cm alan boyutları için ayrı



Şekil 5. MU doğruluğu testi için kurulması gereken fantom setupu.
MU: Monitor unit.

ayrı oluşturulmuştur. Her bir plan için iyon odası *cheese* fantom üzerinde 6 ayrı deliğe yerleştirilerek ölçümler tekrarlanır. Sıcaklık ve basınç düzeltmesi de yapılarak bütün noktalar için absorbe dozlar hesaplanır. Değerler, planlamadan okunan dozlar ile karşılaştırılarak test sonucu değerlendirilir. Bu test için tolerans aralığı $\pm 2\%$ olarak önerilmektedir.[1]

6. MVCT TESTLERİ

Tomotherapy ünitesinde, tedavi ışını üreten lineer hızlandırıcıdan elde edilen MV ışınlarının enerjisi düşürülerek görüntüleme amacıyla kullanılabilir. MVCT görüntülemenin temel amacı görüntü rehberliğinde tedavi uygulanmasını sağlamaktır. Hastaların tedavi doğruluğuna doğrudan etkisi olan bu sistemin görüntü kalitesinin geometrik ve dozimetrik olarak test edilmesi gerekmektedir.

6.1. Uzaysal Geometri Testleri

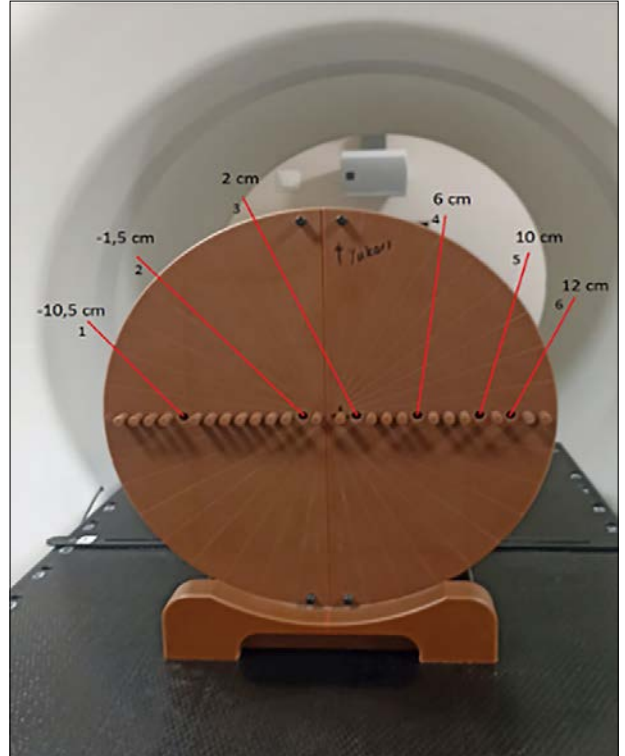
6.1.1. Geometrik Distorsiyon

Amaç

MVCT görüntüsündeki bir nesnenin boyut ve yönelim açısından doğruluğu kontrol edilir.

Testin Yapılışı

Chesse fantom, MVCT referans görüntüdeki oryantasyona dikkat edilerek yeşil lazere göre hizalanır. Fantom içerisindeki objelerin boyutları ve *fiducial* işaretleyiciler arasındaki mesafe ölçülür ve bilinen değerler ile karşılaştırılır. Bu testin bakım çalışmaları sonrası tekrar edilmesi ve aylık rutin olarak yapılması tavsiye edilmektedir.[1,2]



Şekil 6. IMRT verifikasyonu (Tomophant) testi için *cheese* fantomun konumlandırılması iyon odası ile ölçüm alınacak noktalar.
IMRT: Yoğunluk ayarlı radyoterapi.

6.1.2. Görüntüleme/Tedavi/Lazer Koordinat Çakışması

Amaç

Bu testin amacı, tedavi izomerkezi ile MVCT görüntü merkezi uyumunun kontrol edilmesidir.

Testin Yapılışı

Yeşil lazer kullanılarak *cheese* fantom izomerkeze yerleştirilir. Masa *bore* içine gönderildiğinde vertikalde masa sarkması düzeltilir. Fantomun MVCT görüntüsü alınır. Fantomun merkezi ile görüntüdeki yeşil lazerin dijital merkezi karşılaştırılır.[1,2]

6.1.3. Görüntü Eşleştirme ve Hizalama (Konum/Yeniden Konumlandırma)

Amaç

Görüntü eşleştirme işleminin ve bu işlem sırasında yazılımın hesapladığı masa kayması değerlerinin doğruluğunun test edilmesi amaçlanmaktadır.

Testin Yapılışı

Bu test için *cheese* fantom üzerine bir tedavi planı oluşturulur. Oluşturulan tedavi planı üzerinde kırmızı lazerler kasıtlı şekilde bilinen değerlerde merkezden *offsetli* olacak şekilde hareket ettirilir (Offset değerlerinin tedavide karşılaşılan değerlere yakın seçilmesi önerilir, Ör: 1 cm, 2 cm, 3 cm gibi). Fantom masa üzerinde sanal izomerkeze göre ayarlanır ve oluşturulan hasta planı sisteme yüklenir. Görüntü almak için fine tarama modu ve kesit kalınlığı 2 mm seçilir. Görüntü eşleştirme tamamlandıktan sonra hesaplanan masa kayma değerleri beklenen *offset* değerleri ile karşılaştırılır. Ayrıca masa kaymasından sonra fantom merkezinin yeşil lazerler ile uyumu kontrol edilir. Hesaplanan masa kayma değerlerinin beklenen *offset* değerler ile uyumunun ve yeşil lazer ile fantom merkezi arasındaki uyumun ± 1 mm içinde olması önerilmektedir.[1,2]

6.2. Görüntü Kalitesi Testleri

MVCT sisteminin başlangıç performansını ölçmek ve bu performansı periyodik olarak izlemek için görüntü kalitesi ve dozimetri testlerinin yapılması önerilmektedir.

6.2.1. Piksel Değerindeki Rastgele Belirsizlik (Gürültü)

Amaç

MVCT görüntüsünün gürültüsünü belirlemek amacıyla yapılır.

Testin Yapılışı

Cheese fantomuna su eşdeğeri yoğunluk *plugları* yerleştirilir. Fantomun homojen olduğu kesitlerin MVCT görüntüsü alınır. Gürültü, ilgi alanındaki (100 cm²'lik bir ROI) Hounsfield Unit'lerin (HU) standart sapması hesaplanarak değerlendirilebilir. MVCT görüntüsü için tipik gürültü seviyelerinin 35 HU'dan küçük olması beklenir. Testin aylık olarak yapılması önerilmektedir.[2]

6.2.2. Homojenite Testi

Amaç

Bu testin amacı MVCT görüntülerinde aynı yoğunluklu ortamların HU değerlerinin benzerliğinin kontrol edilmesidir.

Testin Yapılışı

MVCT homojenite testi için, *cheese* fantom kullanılır. Yaklaşık 5 mm yarıçaplı ROI'ler oluşturulur. Bu ROI'ler fantom görüntüsünün merkezine ve çevresine yerleştirilir. ROI'lerin içerisindeki ortalama HU değerleri okunur. Perifer bölgeden ölçülen HU değerleri ile merkezden ölçülen HU değeri arasındaki en büyük fark belirlenir. Doz dağılımı hesaplaması için MVCT görüntüsü kullanılıyorsa merkez ve perifer arasındaki en büyük farkın 25 HU'dan az olması önerilmektedir. Su eşdeğeri ortam için 25 HU'luk bir fark, hesaplanan su yoğunluğunda %2,5'lik bir değişime dönüşecektir.[1,2]

6.2.3. Uzaysal Çözünürlük

Amaç

Uzaysal çözünürlük testinin amacı MVCT görüntülerinde küçük yapıları ayırım gücünü test etmektir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Uzaysal çözünürlük testi *cheese* fantom ile birlikte sağlanan ve görüntüde yüksek kontrastlı delikler oluşturan test *plugu* ile değerlendirilebilir. Çözünürlük *plugu* yerleştirilir ve fantomun MVCT görüntüsü alınır. Bu *plugda* bulunan en geniş delik 2 mm çapa sahiptir. Deliklerin çapı 0,2 mm olarak azalır. En küçük delik 0,8 mm çaptadır. Eğer görüntüde üçüncü sıradaki delikler (1,6 mm) görülebiliyorsa tolerans sınırları içerisinde dir.[1,2]

6.2.4. Kontrast

Amaç

Kontrast testinde amaç, özellikle düşük yoğunluklu maddelerin görünürlüğünü kontrol etmektir.

Testin Yapılışı

Bu test için *cheese* fantoma farklı yoğunluklara sahip test *plugları* takılır. Alınan MVCT görüntüsünde yoğunluk *plugları* görünür olmalıdır. Testin değerlendirilmesi subjektiftir; ancak ölçülen yoğunluk değerlerinin referans değerlerle uyumlu olması gerekir.[1,2]

6.2.5. HU Değerine Karşı Yoğunluk Kalibrasyonu

Amaç

MVCT için HU değerleri ile elektron veya kütle yoğunluğu arasındaki ilişki, kVCT tarayıcılarda gözlemlenenden farklıdır. Bu fark, iki ışın türü arasındaki fiziksel etkileşim olasılıklarındaki değişiklikten kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, MVCT için HU değerleri

ile fiziksel yoğunluk arasında doğrusal bir ilişki olması beklenir ve bu ilişki, kalibrasyon tablosuna yansıtılır.

Testin Yapılışı

Akciğer yoğunluğundan kemik yoğunluğuna kadar farklı yoğunluklarda *pluglar cheese* fantoma yerleştirilir ve MVCT görüntüsü alınır. Görüntülerden, farklı yoğunluk değerlerine karşılık gelen HU değerleri belirlenir ve planlama sistemine (görüntü değeri-yoğunluk kalibrasyon tabloları, IVDT) girilir. IVDT tablosu oluşturulduktan sonra, daha önce kVCT üzerinde doz dağılımı hesaplanmış bir plan için doz dağılımı MVCT üzerinde yeniden hesaplatılarak iki doz dağılımı karşılaştırılır. Orijinal ve yeniden hesaplanan doz hacim histogramları arasındaki farkın %2 içinde olması önerilmektedir. Eğer MVCT görüntüsü doz hesaplamasında kullanılacaksa, dozimetrik belirsizliğe katkısını minimuma indirmek için test aylık tekrarlanmalıdır.[1,2] Ancak, TG 306'nın önerisi, eğer MVCT doz hesaplaması için kullanılıyorsa (CT Number Calibration) prosedürünün haftalık olarak yapılması ve su eşdeğeri yapılar için HU değişiminin ± 10 HU'dan az olmasıdır.[3]

6.3. MVCT Dozimetre Testi

Amaç

MVCT Doz testi, MVCT görüntüsü alınırken, *cheese* fantomda ölçülen dozu ve bunun referans değerler ile tutarlılığını kontrol etmek amacıyla yapılır.

Testin Yapılışı

Cheese fantomun merkezine iyon odası yerleştirilir ve tarama yapılır. Görüntüleme sırasında iyon odası ile verilen doz ölçülür. Hesaplanan dozun 1–3 cGy arasında olması beklenir. MVCT dozunun tedavi dozu ile aynı doğrulukta ölçülmesi gerektiğinden, görüntüleme ışını kalitesi ile ilgili herhangi bir ayar yapılması önerilmez; ancak beklenenin çok üzerinde bir doz farkı olduğunda bunun nedeni araştırılmalıdır. Bu testin 3 aylık aralıklarla yapılması önerilmektedir.[1,2]

7. KV KALİTE KONTROL TESTLERİ

Radixact Helikal Tedavi cihazlarına entegre kV-X ışını sistemlerinin görüntü gürültüsü, kontrast, uniformite, uzaysal çözünürlük ve görüntüleme dozunun düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir. X-ışını görüntüleme parametrelerindeki (kVp, mAs) kaymalar, beklenenden daha büyük bir görüntüleme dozuna yol açabileceğinden, bu kontroller cihazın doğru dozda radyasyon vermesini, görüntü kalitesinin düzgünlüğünün sağlanmasını, cihaz performansının sürekli izlenmesini ve hasta güvenliğinin korunmasını sağlar. AAPM TG 179 raporu bölüm IV'e göre, temel tutarlılığı oluşturmak ve

doğrulamak amacıyla ilk yıl boyunca görüntü kalitesi ve görüntüleme dozu testlerinin aylık olarak yapılması önerilmektedir. Önerilen toleranslar içinde sabit bir eğilim gözlemlenirse, test sıklığı yıllık olarak azaltılabilir. [4] kVCT ile ilgili testlerin nasıl yapılacağıyla ilgili ayrıntılı bilgi firma tarafından sağlanan kullanıcı bilgilendirme kılavuzlarında mevcuttur (T-SVC-00896 Rev. D, CT Number Calibration, Radixact ve T-SVC-01255 Rev.E, ClearRT Helical kVCT Verification Tests, Radixact).

7.1. CT Numarası Kalibrasyonu

Amaç

HU değerlerinde olabilecek sapmalar kVCT veya MVCT görüntüleri üzerinde hesaplanan doz dağılımlarında hatalara neden olacaktır. Özellikle "*Precise Art*" yazılımı ile hastanın tedavisi takip edilirken ve adaptif radyoterapiye karar verilirken tedavi öncesi alınan kVCT veya MVCT görüntüsünün HU değerlerinin doğruluğu bu kararı doğrudan etkileyebilir. CT numarası kalibrasyonu, kVCT ve MVCT numaralarında (HU değerleri) oluşabilecek küçük değişimleri belirlemek ve düzeltmek amacıyla yapılmaktadır.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

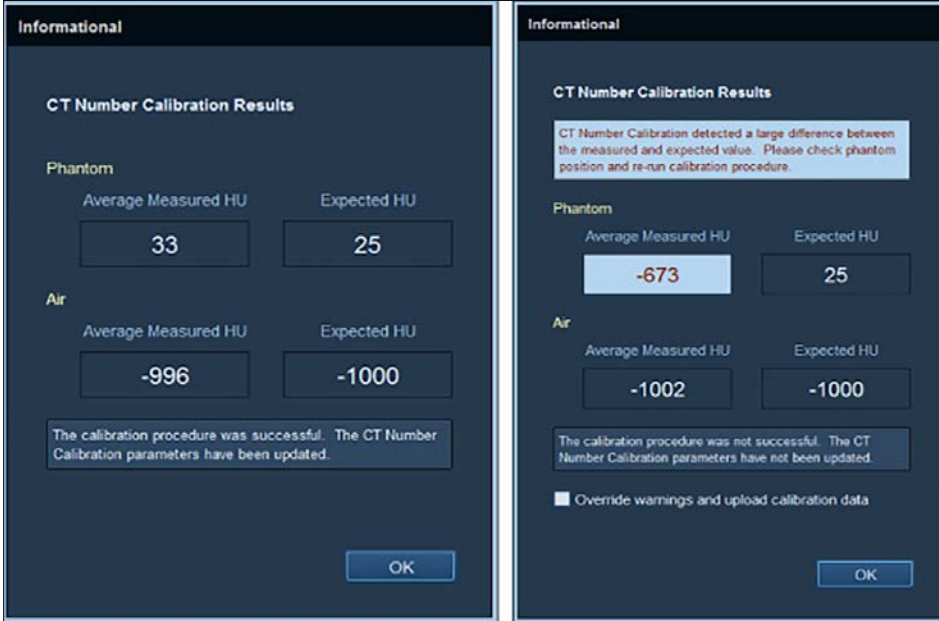
Radixact cihazlarında hem nokta doz ölçümlerinde hem de görüntü kontrollerinde *chese* fantom kullanılabilir. Konvansiyonel linakların kV görüntüleme testlerinde kullanılan farklı fantomları da Tomotherapy ünitesinde kV görüntüleme kalite güvencesinde kullanılabilir. Fizik testleri için kullanılan yeşil lazer her bir eksen de fantomun merkezinden geçecek şekilde fantom pozisyonlandırılır. CT numarası kalibrasyonu için fantom longitudinal yönde 10 mm (+) masa ile kaydırılır. Operatör istasyonunda "CT NUMBER CALIBRATION" kısmına giriş yapılarak taranacak görüntü alanı belirlenir. "*Scan type: kVCT*" seçimi yapılarak "*fine*" modda görüntü alınır. Elde edilen görüntü de tüm yeşil ROI'lerin fantom içerisinde mavi ROI'lerin (Region of Interest) ise fantom dışında yani hava da olması gerekir. CT numarası kalibrasyonunun haftalık olarak yapılması önerilmektedir. Kalibrasyon değerlerinde herhangi bir sorun yoksa tarama sonunda Şekil 7'deki bilgi ekrana gelir ve buna göre sistem kendi değerlerini günceller.[3]

Eğer ölçüm sonucu değerlerinde sorun varsa fantomun lazerlere göre konumu kontrol edilmeli ve setup doğruluğundan emin olunmalıdır.

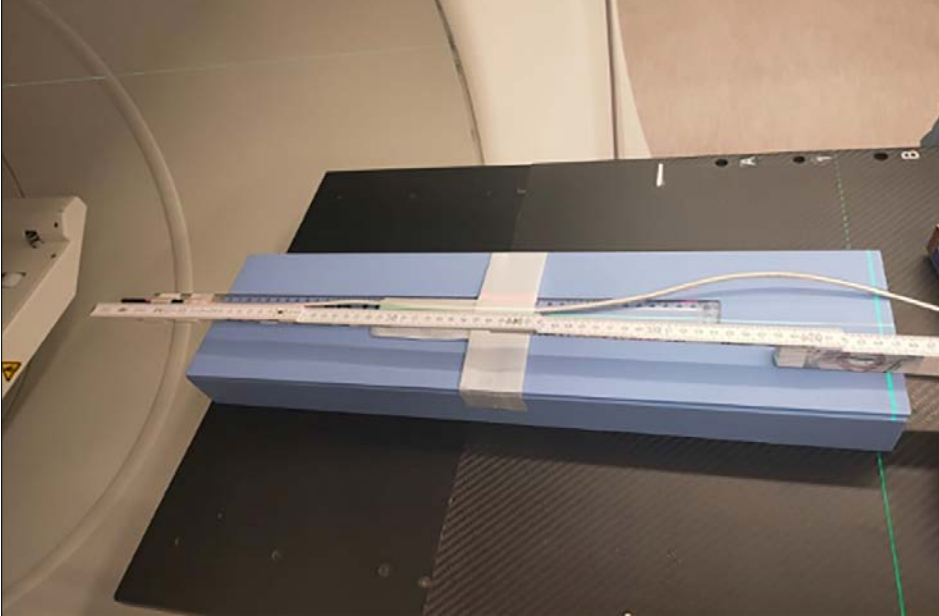
7.2. kVCT Doz Ölçümü

Amaç

Tipik bir görüntüleme ayarı olan 125 kVp ve 1,6 mAs değerlerinde, tek bir radyograf için görüntüleme dozu 0,1 mGy'nin altındadır. Görüntüleme dozunu artırma-



Şekil 7. CT numarası kalibrasyonu testi sırasında alınan geçer sonuç ve hatalı sonuç ekranlarının görüntüsü.
CT: Bilgisayarlı tomografi.



Şekil 8. kvCT doz ölçüm düzeneği.
kvCT: Kilovoltaj bilgisayarlı tomografi.

mak için, görüntüleme sıklığı *gantry* rotasyonu başına 2–6 görüntü ile sınırlıdır. X-ışını görüntüleme parametrelerindeki (kVp, mAs) sapmalar, beklenenden daha büyük bir görüntüleme dozuna yol açabilir. Bu nedenle, görüntüleme dozunun düzenli olarak ölçülmesiyle olası doz hatalarının önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Radixact cihazlarının doz ölçümünde kullanılan küçük hacimli iyon odası (A1SL) ile *gantry* içinde havada ölçüm almayı sağlayan Şekil 8'deki düzenek hazırlanır.

Düzenek için 5 cm'lik katı su fantomu kullanılarak, iyon odası merkezinin yeşil lazerin merkezinden longi-



Şekil 9. Cheese fantom üzerinde çözünürlük plugunun yerleşimi.

tudinal mesafesi 65 cm'de olacak şekilde *gantry* içerisine yerleştirilir. Vertikal ve lateral yönlerde yeşil lazerin iyon odasının merkezinden geçmesi sağlanır. Operatör istasyonunda (CTDI_vol free air) prosedürü seçilir ve 18 cm'lik bir tarama alanı belirlenerek ölçüm alınır. Ölçümler için firmanın daha önce cihaza özel belirlediği tolerans aralıklarına göre karşılaştırılma yapılır.[3]

7.3. kVCT Görüntü Kalitesi Testi

Amaç

Görüntü kalitesi testi ile kVCT görüntülerindeki HU değerlerinin doğruluğunun kontrol edilmesi amaçlanmaktadır.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Görüntü kalitesinin test edilmesi için *cheese* fantom üzerine akciğer, kemik, su *plugu*, yoğunluğu 1 olan *pluglar* ve çözünürlük *plugu* yerleştirilir. Operatör istasyonundan (ZZZ kVCT QA) prosedürü seçilerek görüntü alınır. Elde edilen görüntü üzerinde *plugların* en iyi görüldüğü kesit seçilerek kullanılan *pluglar* için HU değerleri okunur ve referans değerler ile karşılaştırılır. Bu testin aylık olarak yapılması önerilmektedir.[3]

7.4. kVCT Çözünürlük Kalitesi Testi

Amaç

Bu test ile kVCT görüntüsünde çözünürlük kalitesinin kontrol edilmesi amaçlanmaktadır.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

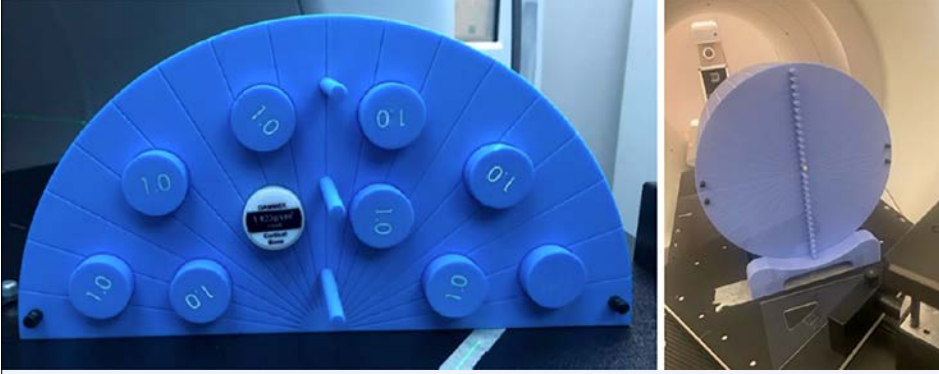
Görüntü çözünürlüğünün test edilmesi için *cheese* fantoma çözünürlük *plugu* Şekil 9'daki gibi yerleştirilir.

Operatör istasyonundan "ZZZ kVCT QA" prosedürü seçilerek fantomun kVCT görüntüsü alınır.

Elde edilen görüntü üzerinde çözünürlük *plugunda* net görülebilir delik sayısı belirlenir. Çözünürlük kalitesi testinin aylık olarak yapılması önerilmektedir.[3]

8. SYNCHRONY HAREKET TAKİBİ SİSTEMİ TESTLERİ

Radixact Synchrony (Radixact®, the next-generation TomoTherapy® System; Accuray Incorporated, Sunnyvale, CA) tümör takip sistemi, hedefin içindeki veya yakınındaki *fiduciallere* ya da akciğerdeki yoğun (dense) lezyona kilitlenerek ışının hedef hareketini takip etmesine olanak tanır. Işının, hedefi takip işlemi superior-inferior yönde dinamik *jaw* hareketiyle sağlanırken, lateral ve vertikal yönde MLC hareketi ile sağlanır. Bu sistem, klinik rutinde akciğer kanseri hastalarının SBRT tedavilerinde radyografide görülebilen solid tümörlerin solunuma bağlı hareketini kompanse etmek amacıyla kullanılabilir. (*Lung with respiratory, LwR*). Ayrıca, eğer *fiducial* yerleştirilirse akciğer, karaciğer gibi solunuma bağlı hareketten etkilenen organlarda bulunan, ancak radyografide görünmeyen diğer tümörlerin tedavisinde de kullanılabilir (*Fiducial with respiratory, FwR*). Bununla birlikte yine *fiducial* işaretleyici yerleştirildiğinde prostat veya jinekolojik hastalarda rektum, mesane ve bağırsak hareketlerine bağlı hedef yapının düzensiz hareketlerini takip etmek için de kullanılabilir (*Fiducial tracking, FT*). Bu sistem sayesinde, tümör hareketini kompanse etmek için etrafına verilecek marjlar sınırlandırılabilir. Böylece yüksek dozda ışınlanan normal doku hacmi azaltılabilir. Buna bağlı olarak da klinik yan etki olasılığı azaltılırken, tümöre verilecek doz artırılabilir. Bu kompleks hareket yönetimi tekniğinin çalışma doğruluğunun kontrolü için kalite güvence (QA) testlerinin düzenli olarak yapılması gereklidir. AAPM TG 306 raporunda, Synchrony hareket takibi sistemi kullanıcılarının, yayınlanmış kılavuzlara, üretici tavsiyelerine ve klinik kullanıcıların deneyimlerine dayanarak kendi kabul ve devreye alma prosedürlerini geliştirmeleri önerilmektedir.[3]



Şekil 10. Lung with Respiratory tekniğinin testinde kullanılan fantom ve yüksek yoğunluklu plug ve Fiducial with Respiratory tekniğinin testinde kullanılan fantom ve fiducial içeren plug.

8.1. Takip Modelinin Doğruluğunu Kontrol Etmek için Yapılan Testler

8.1.1. Lung with Respiratory Tekniğinin Oluşturduğu Modelin Doğrulanması

Amaç

Bu testin amacı Synchrony tümör takibi sisteminin oluşturduğu hareket modelinin doğruluğunun kontrol edilmesidir. Sistem, oluşturduğu bu modele göre hedefin bir sonraki yerini tahmin etmekte ve buna bağlı olarak *Jaw* ve *MLC* hareketini gerçekleştirmektedir. Bu nedenle oluşturulan hareket modelinin doğruluğu tedavi doğruluğunu doğrudan etkilemektedir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu testin yapılabilmesi için planlanmış bir hareket paternini simüle edebilecek bir sisteme ihtiyaç vardır. Bunun için Accuray firması tarafından sağlanan CIRS (A Computerized Imaging Reference Systems, Inc. (CIRS) dynamic motion platform) sistemi kullanılabilir. Bu sistemin dezavantajı platformunun sadece tek boyutlu hareket yapabiliyor olmasıdır. İki boyutlu hareket elde edebilmek için fantomun üzerine yerleştirilen platform, tedavi masası üzerine 30 derecelik açı ile yerleştirilebilir. Böylece hem longitudinal eksen de lateral eksen de fantom hareketi elde edilebilir. Yeni sistemlerde 30 derecelik açı resimde görünen diğer yönüne verilmektedir. CIRS sistemi için bu testin nasıl yapılacağı servis kitapçığında ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. (Motion Tracking Verification Tests, Radixact. T-SVC-00999 Rev. K)). Diğer 2 veya 3 boyutlu hareket sağlayan sistemler de bu test için kullanılabilir. Platform üzerine LwR tekniğinin kontrolü için *cheese* fantomun sadece üst yarısı yerleştirilir. *Cheese* fantomun merkeze en yakın deliğine (*density plug hole*) firma tarafından sağlanan yüksek yoğunluklu (*Cortical*

Bone) *plug*, diğer deliklere su eşdeğeri yoğunlukta olan *pluglar* yerleştirilir (Şekil 10). *FwR* ve *FT* tekniklerinin kontrolü için ise *cheese* fantom yerleştirilir. Bütün *density pluglar* için su kullanılır. Merkezden 1 cm yukarıda bulunan iyon odası deliğine içerisinde *fiducial* bulunan *plug* yerleştirilir. Hareket simülatörü sisteminin kontrol yazılımı içerisinde yüklü olan ve belirli bir hareket paterni oluşturan "*Motion Trace*" dosyası açılır. Hareket simülatörü sistemi bu hareket paternine uygun hareket ederken, test edilmek istenen Synchrony tekniği ile tedavi uygulanır. Tedavi cihazı konsolunda son kaydedilen log dosyası (*Main Raw Data*) kopyalanır. Tedavi cihazının konsolunda bulunan Accuray MDX programı çalıştırılır. Programda, hareket simülatörü sisteminde kullanılan hareket paterninin grafiği ile Synchrony sisteminin tedavi sırasında oluşturduğu hareket modeli üst üste bindirilerek iki hareket grafiğinin uyumu değerlendirilir (Şekil 10). Bu değerlendirme yeni versiyonlarda TQA üzerinden de yapılabilmektedir.

"*Adjusted RMS Error*" için firma tarafından önerilen üst limit 1,5 mm'dir. Bu testin aylık olarak yapılması tavsiye edilmektedir.

Öneri

Bu testlerin doğruluğu için hareketi simüle eden sistemin de önceden tanımlanan hareketi doğru şekilde oluşturduğunun test edilmesi gerekmektedir. Hareket simülatörünün programından (0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, vb) farklı değerler girilerek platformun gerçekten istenen mesafede ve istenen frekansta hareket edip etmediği test edilebilir.

8.2. kV Görüntüleme Merkezi ile MV Işın Merkezinin Uyumu

Amaç

Bu test ile görüntüleme merkezi ile tedavi izomerkezi uyumunun kontrol edilmesi amaçlanmaktadır.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu test iki yöntemle yapılabilmektedir. Bu yöntemler, Accuray firması tarafından sağlanan "Daily QA with Synchrony® on the Radixact® Treatment Delivery System (1074596.E)" dökümanında ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Birinci yöntem:

- Cheese fantom lazerlere göre yerleştirilir ve MVCT görüntüsü alınarak setup hataları masa kayması ile düzeltilir.
- Fantomun tekrar kVCT görüntüsü alınır. kVCT görüntüsü planlama BT görüntüsü ile eşleştirildiğinde kayma bulunmaması gerekir.

Tolerans aralığı SBRT tedavileri uygulanmayan cihazlar için 2 mm, SBRT tedavileri uygulanan cihazlar için 1 mm olarak önerilmektedir. Bu testin aylık olarak yapılması tavsiye edilmektedir.[3]

8.3. Synchrony Kullanılarak Verilen Dozun Doğruluğunun Kontrol Edildiği Testler

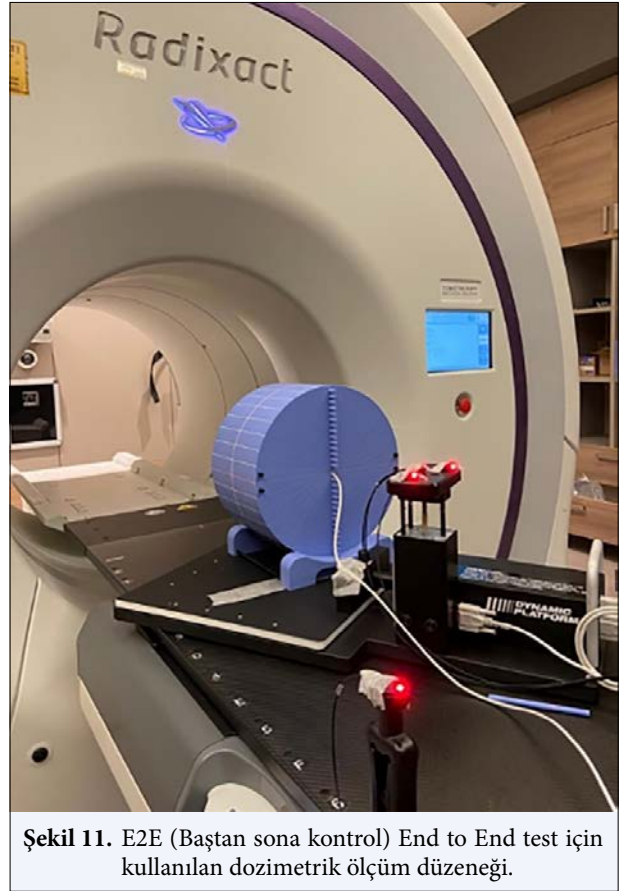
Amaç

Bu test sırasında oluşturulan takip modeli ile birlikte jaw, MLC hareketleri ve doz verimi de kontrol edilmiş olur. Hareket takibi karmaşıktır ve her bir bileşenin doğruluğuna, daha da önemlisi tüm bileşenlerin aynı anda düzgün çalışmasına bağlıdır. Synchrony'deki her bileşenin rutin kalite kontrolünü ayrı ayrı yapmak pratik ve etkin değildir. Bunun için basit ama etkili bir çözüm, küçük bir hedefe sahip hareketli bir fantom için bir tedavi planı oluşturularak yapılan uçtan uca (*End to End Test*, *E2E*) test olabilir. Hedef hareketi, hem *Jaw* hem de MLC takibini test etmek için lateral ve longitudinal bileşenleri içermelidir. Synchrony hareket takibi sisteminin çalışma doğruluğu, hareketli hedefe verilen doz ile planlanan doz arasındaki uyum kontrol edilerek doğrulanabilir.

8.3.1. Synchrony için Dozimetrik Doğruluk Testi (End to End Test)

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu test hareket simülatörü platformuna yerleştirilmiş bir *cheese* fantom ve iyon odası ile yapılabilir. (Ayrıca *cheese* fantomun arasında Gafkromik film yerleştirilerek 2 boyutlu doz dağılımının uyumu da gamma analizi yöntemi ile değerlendirilebilir) (Şekil 11). Kullanılacak Synchrony tekniğine göre *cheese* fantoma *fiducial* veya yüksek yoğunluklu *plug* yerleştirilir. Önceden oluşturulan plan ışınlanır ve iyon odasında ölçülen doz ile planlamadan okunan doz karşılaştırılır. Ölçülen-planlanan nokta doz uyumu SBRT planları için tolerans düzeyi %2, eylem düzeyi %3 olarak belirlenmiştir. Gamma analizinde 3mm DTA (*Distan-*



Şekil 11. E2E (Baştan sona kontrol) End to End test için kullanılan dozimetrik ölçüm düzeneği.

ce to Agreement), %3 DD (Dose Difference), %10 TH (Threshold) değerleri kullanılabilir. Tolerans düzeyi için gamma geçme oranı %95, eylem düzeyi için gamma geçme oranı %90 olarak önerilmektedir. Hareket takip sisteminin dozimetrik doğruluğunun ve kararlılığının günlük olarak veya Synchrony'nin kullanıldığı günlerde kontrol edilmesi önerilmektedir.[3]

8.3.2. Işın duraksama-başlama doğruluğu

Amaç

Synchrony takibi sırasında, hedef hareketi takip sınırlarının dışına çıkarsa veya modelin tahmin ettiği hedef konumu ile ölçülen konum arasındaki fark belirlenen toleransı aşarsa, tedavi ışını duraklatılır (*Beam hold*). Tedavi duraklatması, tedavi kesintisi (*Interruption*) ile aynı değildir. Hedef tekrar takip aralığına girdiğinde, ışın tekrar açılır ve tedaviye devam edilir; tamamlanma prosedürü oluşturulmasına gerek yoktur. Bu testin amacı, tedavinin kalan kısmında ışının doğru *gantry* açısında ve masanın doğru konumunda başladığını kontrol etmektir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Hareket simülatörüne bir ışın duraksamasını tetikleyebilecek bir hareket modeli yüklenir. Rutin uygulanan

E2E test gerçekleştirilir. Duraklatma ve tekrar başlatma yapılan ışınlamada ölçülen doz ile planlanan doz karşılaştırılır. Test sonucunun duraksama olmadan yapılan ışınlama ile benzer olması beklenir. Ölçülen-planlanan doz uyumu SBRT için tolerans düzeyi %2 ve eylem düzeyi %3 olarak önerilmektedir. Bu testin 3 aylık periyotlarla tekrarlanması tavsiye edilmektedir.[3]

9. TEDAVİ PLANLAMA SİSTEMİ TESTLERİ

9.1. Geometrik Doğrulama Testleri

TG 148, CT datalarının ve konturlanan organ/yapı seti bilgilerinin planlama sistemine aktarılma doğrulamasını sağlamak üzere, TG 53 tavsiyelerine dayanan bir dizi 'geometrik doğrulama' testini listelemektedir. TG 148 ve NCS Report 27, bu testlerin yıllık olarak ve yazılım güncellemelerinden sonra tekrarlanmasını önerse de; daha sonra yayınlanan TG 306, TPS yazılımı değişmediği takdirde içe aktarılan veriler aynı kalacağından, herhangi bir rutin sıklıkta geometrik doğrulama testlerinin yapılmasının gerekli olmadığını belirtmektedir. Ayrıca, AAPM MPPG Report 5.4'nin TPS testleri için referans alınabileceği belirtilmiştir. TPS geometrik doğrulama testlerinin, TPS devreye alınırken ve yazılım güncellemesinden sonra yapılması yeterlidir.[1-3,5,6]

9.1.1. CT Datası İçe Aktarım Testleri

9.1.1.1. Nesne boyutu testi

Amaç

Tedavi doğruluğu açısından CT'si çekilen hastanın anatomik yapılarının boyutu ile planlama sistemine aktarılan anatomik yapıların boyutunun aynı olması beklenir.[6]

Testin Yapılışı

Klinikte kullanılan en ince tarama kesit aralığı seçilerek *cheese* fantomun CT görüntüsü alınır (Örneğin 1,25 mm). CT cihaz konsolu üzerinden, *cheese* fantomun x-y-z düzlemlerindeki boyutları ölçülür. CT görüntüsü tedavi planlama sistemine aktarılır. TPS bilgisayarı üzerinde ölçüm tekrarlanır. Bu test için Tolarans aralığı ≤ 1 kVCT voxel olarak tavsiye edilmektedir.[3]

9.1.1.2. Voxel boyutu testi

Amaç

Tedavi doğruluğu açısından, oluşturulan CT görüntüsündeki *voxel* boyutu ile aktarılan görüntüdeki *voxel* boyutunun aynı olup olmadığı kontrol edilmelidir.[6]

Testin Yapılışı

Klinikte kullanılan tüm tarama kesit aralıkları için *cheese* fantomun ayrı ayrı CT'si çekilir. CT cihaz konsolu üzerinden, çekilen görüntünün y-eksenindeki kesit

aralığı ölçülür. CT görüntüsü tedavi planlama sistemine aktarıldığında, görüntünün y-eksenindeki kesit aralığı tekrar ölçülür. CT bilgisayarı ve TPS'de ölçülen *voxel* boyutunun birebir aynı olması beklenir.[3]

9.1.1.3. Oryantasyon testi

Amaç

Bu testte amaç, tedavi doğruluğu açısından, hastanın CT görüntüsünün anterior-posterior, sağ-sol, superior-inferior yönlerinin, CT konsolunda ve TPS'de aynı olup olmadığını kontrol etmektir.[6]

Testin Yapılışı

Cheese fantom üzerine anterior, superior ve sağ tarafına yönler anlaşılacak şekilde birer metal *marker* yerleştirilir. *Cheese* fantomun CT'si, klinikte kullanılan en ince tarama kesit aralığı seçilerek çekilir. CT konsolu üzerinden, çekilen görüntünün yönleri *marker* konumlarından yararlanılarak kontrol edilir. CT görüntüsü tedavi planlama sistemine aktarılır. TPS bilgisayarı üzerinden, çekilen görüntünün yönleri *marker* konumlarından yararlanılarak kontrol edilir.[3]

9.1.1.4. Gri tonlama değerleri doğruluğu

Amaç

Yanlış gri tonlama verileri, anatominin yanlış tanımlanmasına ya da yanlış yoğunluk düzeltmeleri yapılmasına neden olabilir. Bu testte, çekilen CT görüntüsünün HU değerleri ile aktarılan görüntünün HU değerlerinin karşılaştırılması amaçlanmaktadır.[6]

Testin Yapılışı

Cheese fantoma farklı HU değerlerine sahip *pluglar* yerleştirilerek, klinikte kullanılan en ince tarama kesit aralığı seçilerek, CT çekimi gerçekleştirilir. Kullanıcının elinde su içeren *pluglardan* yok ise mutlaka ek olarak su dolu bir kap ile de çekim yapılmalıdır. CT konsolu üzerinden her *plug* için HU değerleri okunur. Görüntü TPS'e aktarılır ve her *plug* için HU değerleri tekrar okunur. CT bilgisayarı ve TPS'de görülen HU değerlerinin benzer olması beklenir.[3]

9.1.1.5. İsimlendirme doğruluğu testi

Amaç

Hastanın klinik numarası, adı-soyadı, yaşı gibi metine dayalı bilgilerinin yanlış aktarımı, görüntülerin yanlış aktarımı veya yanlış yorumlanmasına neden olabilir. Tedavi doğruluğu açısından, CT çekimi öncesi sisteme girilen bu verilerin, TPS'e doğru aktarılıyor olması önemlidir ve rutin olarak kontrol edilmesi önerilir.[6]

Testin Yapılışı

CT çekim ekranındaki hasta kimlik numarası, adı-soyadı, doğum tarihi bilgileri anlaşılır şekilde girilir. TPS

ekranında görünen hasta bilgilerinin doğruluğu CT ekranından girilen bilgilere göre kontrol edilir.[3]

9.1.2. Yapı Seti Data İçe Aktarım Testleri

Çoğu Tomotherapy kullanıcısı, yapı seti çizimi için ayrı konturlama istasyonu kullanmayı tercih etmektedir. Bu durum, 3. taraf yazılım ile TPS arasında aktarım testleri yapmayı gerekli kılmaktadır.[1]

9.1.2.1. Yapı boyutu doğruluğu testi

Amaç

Bu testte, tedavi doğruluğu açısından, konturlama istasyonu yazılımı üzerinden oluşturulan yapıların, boyutlarının doğru aktarıldığının kontrolü amaçlanmaktadır.[6]

Testin Yapılışı

Test 8.1.1.3'ü gerçekleştirirken (oryantasyon testi) oluşturulan CT datası, klinikte konturlama için kullanılan konturlama istasyonu yazılımına da aktarılır. *Cheese* fantomun CT görüntüsü üzerine kullanıcı tarafından boyutları kolayca ölçülebilecek 3 farklı boyutta yapı çizilir (Örneğin 2 cm, 4 cm ve 6 cm çapında küreler). Oluşturulan yapı seti ve CT görüntüsü tedavi planlama sistemine aktarılır. Çizili yapıların boyutları ölçülür. Bir seçenek olarak, çizili yapıların hacimleri de kontrol edilebilir. Tolarans aralığı ≤ 1 kVCT *voxeli* olarak önerilmektedir.[3]

9.1.2.2. Yapı pozisyonu testi

Amaç

Tedavi doğruluğu açısından, konturlama istasyonu üzerinden oluşturulan yapıların, CT görüntüsü içerisindeki konumlarının doğru aktarılıyor olması önemlidir.[6] Bu test ile yapıların pozisyonlarının kontrol edilmesi amaçlanmaktadır.

Testin Yapılışı

Test 8.1.2.1'de çizimi gerçekleştirilen 3 yapının, *cheese* fantom CT görüntüsü içindeki konumları, konturlama istasyonundaki mesafe ölçer aracı yardımı ile ölçülür. TPS'e aktarım sağlandığında, yapıların konumları ölçülerek tekrar kontrol edilir. Yapı pozisyonlarının birebir aynı olması beklenir.[3]

9.1.2.3. Yapı oryantasyon testi

Amaç

Tedavi doğruluğu açısından, konturlama istasyonu üzerinde oluşturulan yapıların, CT görüntüsü içerisindeki anterior-posterior, sağ-sol ve superior-inferior yönlerinin doğru aktarılıyor olması önemlidir.[6] Bu testte yapıların yönlerinin doğruluğunun kontrol edilmesi amaçlanmaktadır.

Testin Yapılışı

8.1.2.2'de yapı pozisyon testi için alınan görüntü bu testte de kullanılabilir. Çekilen CT görüntüsü 3. taraf yazılıma aktarılır. CT görüntüsü üzerine; anterior, superior ve sağ taraflarında ayırıcı özellikleri bulanacak şekilde bir adet yapı çizilir. Oluşturulan yapı seti ve CT görüntüsü tedavi planlama sistemine aktarılır. Aktarılan yapının anterior, superior ve sağ yönlerinin TPS'de doğru şekilde gösterilip gösterilmediği göz ile kontrol edilir.[3]

9.2. Dozimetrik Testler

Tomotherapy sistemlerinde, altın standart ışın verilerine sahip yaklaşık 10 cihazın ışın profillerine uyacak şekilde standart bir ışın modeli yaklaşımı benimsenir. Sistem üzerinde yazılım güncellemesi veya model parametresi değişikliği olmadığı sürece doz hesaplamasında bir değişiklik beklenmez. Bu nedenle rutin kalite kontrol için yalnızca yıllık olarak IVDT kontrolünün ve mutlak doz kalibrasyonu için standart TomoPhant plan testlerinin yapılması önerilmektedir. Fantom tabanlı E2E testler, dozimetrik doğrulama testleri yapmak için oldukça uygundur. Bu testlerde, fantomlar hastalar gibi ele alınır ve hastaların geçireceği aynı görüntüleme, konturlama, planlama ve plan uygulama adımlarından geçerler (Tablo 1). TPS kalite güvencesi dozimetrik testlerinin nasıl yapılacağı MFD-GG001 ve AAPM MPPG Report 5.a raporlarında açıklanmıştır.[3,4]

10. TOMOTHERAPY QUALITY ASSURANCE (TQA)

TQA (Tomotherapy Quality Assurance), Tomotherapy cihazlarında kalite güvencesini sağlamak için kullanılan bir sistemdir. Dedektör ve sistem verileri analiz edilerek, cihaz performansındaki değişiklikler izlenir ve bu şekilde bakım/kalibrasyon ihtiyacı öngörülür. TQA rölatif bir dozimetri yöntemidir ve 2B dedektörler veya iyon odaları gibi geleneksel kalite kontrol yöntemlerine tamamlayıcı bir rol oynar.

10.1. Temel Dozimetri

Amaç

Temel dozimetre modülünde, *gantry* açısına bağlı olarak doz verimindeki (*output*) değişimi değerlendirmek için bir RotVar (Rotational Variation) prosedürü kullanılır. Bu prosedürde amaç sistemin doz verimi, enerji ve transverse profilinin kalite kontrolünü yapmaktır. TQA, cihazın dedektör sinyali ile monitor iyon odalarının sinyallerini alıp referans değerleriyle kıyaslar.

Tablo 1 TPS dozimetrik doğrulama testleri

TPS devreye alma	Amaç	Açıklama
IVDT TomoPhant (5 plan)	CT simülatörleri için HU yoğunluk tablolarını oluşturma Makine ışınlama performansı TPS hesaplamalarıyla uyumu	Hava, akciğer, su, yoğun kemik ve ek doku tipleri için CT-yoğunluk kalibrasyonu. Sabit jaw boyutları (1,0, 2,5 ve 5,0 cm) ve dinamik jaw boyutları (2,5 ve 5,0 cm) için test edilir. Bu test sonucuna göre doz verimi ve Jaw doz verimi faktörleri ayarlanır. Lyon odası kullanılarak birçok noktada ölçülen dozlar ve TPS tarafından hesaplanan dozlarla karşılaştırılır.
Heterojenlik düzeltme kontrolü	Test edilen TPS modelinin heterojenlik düzeltme doğruluğu	Heterojenlik sonrası, <i>buildup</i> bölgesinin arkasında doz hesaplanan ve ölçülen doz karşılaştırılır. MPPG 5a'ya başvurun.
TG 119 testleri Klinik testler	TG 119 temel alınarak planlama, doz hesaplama ve ışınlama doğruluğunun kontrolü Klinik vakalar için planlama, doz hesaplama ve ışınlama doğruluğunu kontrol etme	TG 119 raporunda verilen vakalar için planlama, ölçüm ve QA sonuçları karşılaştırılır. İlgili en az iki klinik vaka seçilir, planlama ve ölçüm yapılır. TG 119 ve MPPG 5a'ya uygun olarak detaylı QA analizi gerçekleştirilir.
Harici inceleme	Dozimetreler içeren bir antropomorfik fantomu simüle etme, planlama ve tedavi uygulama	MPPG 5a'ya uygun olarak testler gerçekleştirilir.

TPS: Tedavi planlama sisteminde; IVDT: Görüntü değeri-yoğunluk kalibrasyon tabloları; CT: Bilgisayarlı tomografi; HU: Hounsfield birimi; TG: Görev grubu.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Rotasyonel değişkenlik testini gerçekleştirmek için hiçbir ilave ekipmana ihtiyaç yoktur. RotVar prosedürü kullanılır. Veriler TQA tarafından otomatik olarak tekrar erişilir ve işlenir. Modülün sonuç ekranı için önerilen tolerans aralığı Tomotherapy cihazı için %2, Radixact cihazı için %1'dir. Tomotherapy cihazında aylık olarak uygulanırken, Radixact cihazında yıllık olarak yapılması önerilmektedir.[2,3]

10.2. Sistem Monitor

Amaç

Sistemin sensörlerini kullanarak cihazın bileşenlerinin sıcaklığı, soğutma suyunun debisi ve MLC hava basıncı değerleri gibi veriler kontrol edilerek cihazda oluşabilecek bir arızanın sinyalleri önceden algılanabilir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

TQA (Basic Dosimetry), (Step Wedge Helical), (Air Scan) veya (Daily QA) prosedürü çalıştırdıktan sonra veriler (System Monitor) modülü tarafından otomatik olarak alınıp işlenir. "Sonuçlar" ve "Grafikler" sekmesinde ham verilerden ve güncel alarm seviyelerinden hesaplanan raporlar gösterilir. Toleranslar üretici tarafından belirlenmiştir ve bunlara uyulması önerilir. Günlük olarak uygulanması tavsiye edilir.[2]

10.3. Air Scan

Amaç

Air scan modülünün iki amacı vardır; Birincisi, MVCT görüntüsünün kalitesini düzeltmek için dedektör data-

sını normalize etmek. İkincisi, *jawların gantry dönüşü* sırasında stabil olup olmadıklarını test etmektir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Tedavi masası *gantry* dışına alınır, operator istasyonundan (Airscan) prosedürü seçilir ve uygulanır. Eğer IGRT (Image Guided Radiotherapy) için MVCT kullanılıyorsa, görüntü taramasından önce günlük olarak "Airscan" yapılmalıdır. Sonuç raporunda "*Peak-to-Peak Fluence Variation*" değeri $\geq 0,4$ mm görüldüğünde sistem ilave analize, bakıma ya da parça değişim hizmetine ihtiyaç duyuyor olabilir.[2]

10.4. Daily QA

Amaç

Daily QA modülü bir dizi tanısal test gerçekleştirmek için beş dakikalık bir rotasyonel prosedür kullanır.

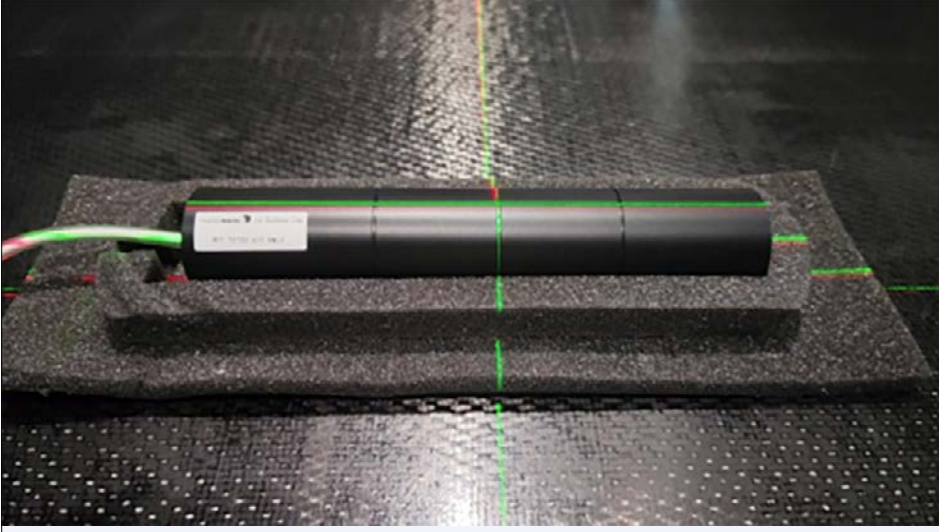
Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Tedavi masası *gantry* dışına alınır. Operatör istasyonundan (TQA Daily QA) prosedürü seçilir ve ışınlanır. Tolerans aralıkları üretici firmanın belirlediği şekilde kullanılabilir. Günlük olarak yapılması önerilir.[2]

10.5. Statik Step Wedge Testi

Amaç

Statik *Step Wedge* testi, Tomotherapy cihazında doz verimi, çene kolimasyonu, masa hızı, yeşil lazer hizalaması, enerji spektrumu ve dedektör yanıtı tutarlılığını izlemek amacıyla kullanılabilir.



Şekil 12. A17 iyon odasının masa üzerine yerleştirilmesi.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Test için *Step Wedge* fantomu masa üzerine yerleştirilir ve yeşil lazerlerle hizalanır. Operatör istasyonunda “Step Wedge Static” testi seçilir ve uygulanır. Sonuçlar TQA sonuç ekranında değerlendirilir. Eğer cihaz performansının uygunluğu farklı dozimetrik yöntemlerle doğrulandıysa, bu test ilk yapıldığındaki sonuçlar referans olarak kayıt edilir. Daha sonraki test sonuçları sistem tarafından otomatik olarak referans ile karşılaştırılır.[2]

10.6. Helikal Step Wedge Testi

Amaç

Helikal *Step Wedge* testi, Tomotherapy cihazının helikal modda çalışırken doz verimi, çene kolimasyonu, MLC hızı, yeşil lazer hizalaması, enerji spektrumu ve dedektör yanıtı tutarlılığını değerlendirmek amacıyla yapılır. Bu test, cihazın helikal modda MLC, masa ve *gantry* senkronizasyonunu sınar ve referanstan sapma olmadığını doğrulamak için yapılır. Haftalık olarak veya cihazda önemli bir parça değişimi sonrası yapılması önerilir.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Step Wedge fantomu masa üzerine yerleştirilir ve yeşil lazerler yardımıyla hizalanır. *Gantry* 20 saniyede bir tam dönüş hızında dönerken, masa 1 mm/saniye hızla hareket eder ve ışın 1 cm genişliğinde bir alan boyutundan çıkar. Modüle edilmiş yaprak hareketi ile 200 saniye boyunca on rotasyon tamamlanır. Test sırasında elde edilen veriler, dedektör ve çıkış sinyalleri analiz edilerek değerlendirilir. Test sonuçları referans verilerle karşılaştırılır. Haftalık olarak veya cihazda önemli bir parça değişimi sonrası yapılması önerilir.[2]

10.7. Linak Boylamasına Hizalama (Jaw Shift) Testi

Amaç

Çene kaydırma (Jaw Shift) olarak da bilinen bu modül, linakın çene kolimasyonuna olan hizasının doğruluğunu test eder.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu testi gerçekleştirmek için bir adet A17 iyon odasına ve TomoElektrometre'ye ihtiyaç vardır. A17 iyon odası, Şekil 12'deki gibi cihaz masası üzerine yerleştirilir.

Operatör istasyonunda (Machine QA) modülü içerisinde (Jaw Shift) prosedürü seçilir. Prosedürde görünen her bir değer için okuma alınır. TQA yazılımında (Manual Run) bölümünden (Linac Longitudinal Alignment) modülü seçilir ve bu alana hazırlanan *jawshift.csv* dosyası yüklenir. Veriler TQA tarafından işlenir ve kullanıcıya TQA takvimi üzerinden görüntülenebileceği bir rapor sunar (Şekil 13). Modülün sonuç ekranında gösterilen IECy Linac Shift değerinin $\leq \pm 0.2\text{mm}$ olması beklenir. Grafiğin merkezinde tolerans $\pm 0.2\text{mm}$ iken diğer bölümlerinde $\pm 0.3\text{mm}$ 'dir. Bu testin yıllık olarak tekrarlanması önerilir.[2]

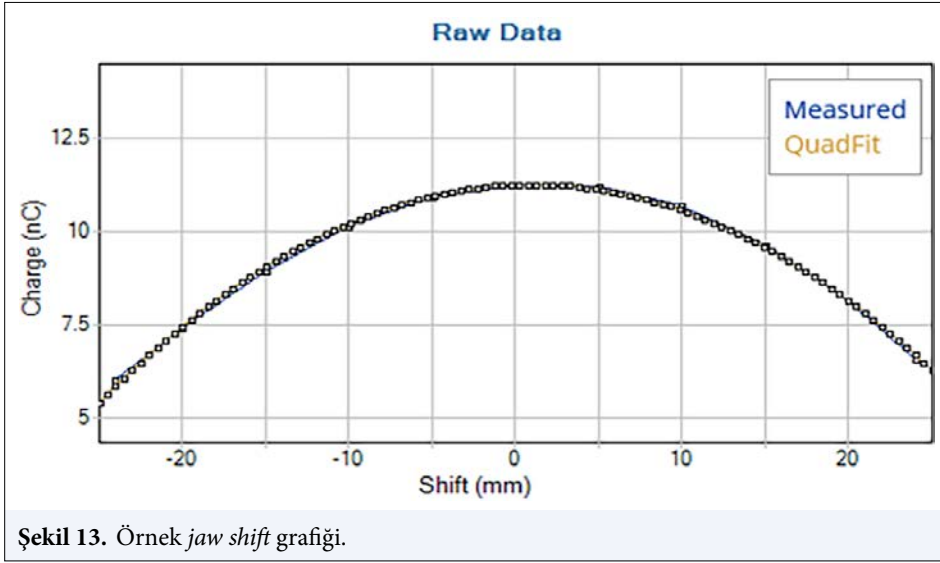
10.8. Linak Transvers Hizalama Testi

Amaç

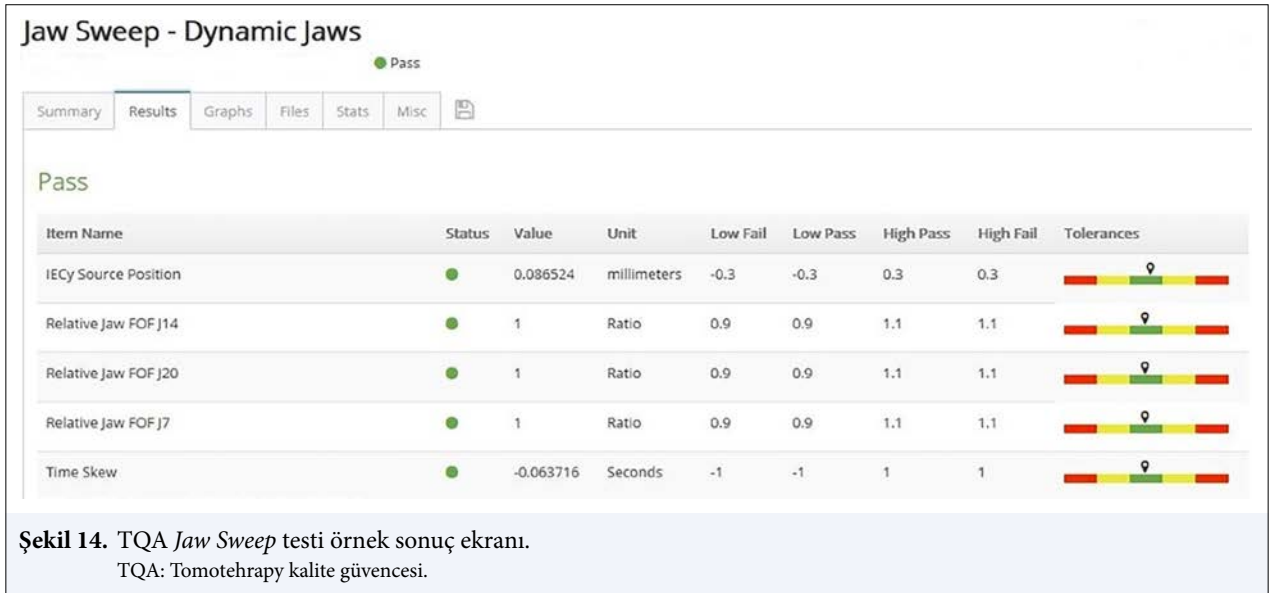
Bu modül, linakın x yönünde (MLC üzerinde) doğru bir şekilde ortalanmış olmasını test eder.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Cihaz masası bore dışına çıkarılır. Operatör istasyonunda (Machine QA) modülü içerisinde (Linac Transverse Alignment (MLC T&G)) prosedürü seçilir ve çalıştırılır. Sonuçlar TQA takvimine otomatik ola-



Şekil 13. Örnek jaw shift grafiği.



Şekil 14. TQA Jaw Sweep testi örnek sonuç ekranı.
TQA: Tomotehrapy kalite güvencesi.

rak yansıyacaktır. Modülün sonuç ekranında gösterilen IECx Linac Shift değerinin $\leq \pm 0.34$ mm olması beklenir. Bu testin yıllık olarak tekrarlanması önerilir.[2]

10.9. Çene Süpürmesi (Jaw Sweep) Dinamik Çene Testi

Amaç

Bu modül, kaynağın çene hareketlerine göre hizalanmasını ve hareketli çenelerin hareket fonksiyonlarını test eder.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu testi gerçekleştirmek için A17 iyon odasına, TomoElektrometre'ye ve TEMS programı kurulu bir bilgisayara ihtiyaç vardır. A17 iyon odası, Linak Boylamasına Hizalama (Jaw Shift) Testi'ndeki ile aynı şekil-

de masa üzerine pozisyonlandırılır. TomoElektrometre ile bilgisayarın bağlantısı 8. kanal üzerinden yapılır ve bilgisayarda TEMS programı açılır. Tomotherapy cihaz konsolunda, (Machine QA) modülü içerisinden (TQA Jaw Sweep Dynamic Jaws) prosedürü seçilir ve çalıştırılır. Datalar TEMS programı yardımıyla kaydedilir. TQA yazılımı (Manual Run) bölümünden (TQA Jaw Sweep Dynamic Jaws) modülü seçilir ve gelen alana hazırlanan TEMS.csv dosyası yüklenir. Veriler TQA tarafından işlenir ve kullanıcıya TQA takvimi üzerinden görüntüleyebileceği bir rapor sunulur (Şekil 14). Her bir ayrık çene süpürme adımı için, sürekli çene süpürmesinden ölçülen fark, sıfır çene adımı konumunda kaydedilen bağıl değer %2'sinden az ol-

Tablo 2 Günlük QA prosedürleri için öneriler ve toleranslar.[3]

Günlük Test	Amaç	Tolerans
Doz verimi-rotasyonel veya sabit açı	Tutarlılık	3%
İmaj/lazer çakışması	Kesinlik	2 mm (non-SRS/SBRT)/1 mm(SRS/SBRT)
İmaj eşleştirme/hizalama	Kesinlik	2 mm (non-SRS/SBRT)/1 mm(SRS/SBRT)
Kırmızı (hareketli) lazer hizalama	Kesinlik	1,5 mm (non-SRS/SBRT)/1 mm(SRS/SBRT)

Tablo 3 Aylık QA prosedürleri için öneriler ve toleranslar.[3]

Aylık test	Amaç	Tolerans
Işın parametreleri		
Doz verimi_statik	Tutarlılık	%2
Doz verimi_rotasyonel	TPS ile tutarlılık	%2
"Monitor Chamber" tutarlılığı	Monitor Chamber'lar arası tutarlılık	%2
Işın kalitesi (5cm kesit genişliği)	Referansla Tutarlılık	%1 PDD ₁₀ ya da TMR ₁₀ ²⁰
Enine (Trans.) profil	Referansla Tutarlılık	Alan merkezinde ortalama %1 mutlak fark
Boyuna (Long.) profil	Referansla Tutarlılık	FWHM'da alan boyutunun %1'i
Dinamik Jaw ve MLC		
Boyuna (Long.) profil	Referansla tutarlılık	Alan boyutunun %1'i (Simetrik Jaw) 0,5 mm (Asimetrik Jaw)
Jaw zamanlaması	Plan ile tutarlılık	En az 480 saniye aralıklı Jaw hareketleri için 0,1 saniye
Jaw hızı	Referansla tutarlılık	%2
Sürekli Jaw taraması	Ayrık Jaw taramasıyla tutarlılık	%2 maksimum fark
Yaprak projeksiyon süresi hatası	TPS MLC modeli ile tutarlılık	2,31 ms gecikme farkı içinde
Hizalama ve diğer		
Kesintiye uğrayan prosedürler	Kesintisiz prosedür ile uyuşma	%3
Kırmızı lazer hareketi	Doğru pozisyonlanma	1 mm
Tedavi masası_okuma doğruluğu	Gerçek hareket ile dijital okuma uyumu	1 mm
Tedavi masası_düzlük	Düzlük açısı	0,50
Tedavi masası_sagittal	Sagittal referansla tutarlılık	2 mm
MVCT (Birinci yıl aylık olarak ve tutarlılık sağlandıktan sonra yıllık olarak yapılabilir)		
Geometrik bozulmalar	Boyut ve yönlendirme	2 mm (non-SRS/SBRT)/1 mm(SRS/SBRT)
Gürültü	Görüntü kalitesi	Referansla tutarlılık
Homojenite	Görüntü kalitesi	Referansla tutarlılık
Uzaysal çözünürlük	Görüntü kalitesi	≤1,6 mm
Kontrast (Eğer MVCT doz hesabında kullanılıyorsa)	Görüntü kalitesi	Referansla tutarlılık
Homojenite	Görüntü kalitesi	25HU

QA: Kalite güvencesi; TPS: Tedavi planlama sistemi; PDD: Yüzde derin doz; FWHM: Yarı maksimumda tam genişlik; MLC: Multilif kolimatör; SRS: Stereotaktik radyocerrahi; SBRT: Stereotaktik beden radyoterapisi; MVCT: Megavoltaj bilgisayarlı tomografi; HU: Hounsfield unit

malıdır. Çene zamanlama doğruluğu (Time skew) için tolerans, 480 saniyelik çene hareketleri için 0,1 saniyeden az olmalıdır. Testin, aylık olarak yapılması ve çene motoru değiştiği takdirde tekrarlanması önerilir.[2]

10.10. Alan Genişliği Testi

Amaç

Bu modül, cihazın sabit çene açıklıkları olan 10 mm, 25 mm ve 50 mm için, ışın demetinin boylamasına alan genişliğinin doğruluğunu test eder.

Testin Yapılışı ve Test Sıklığı

Bu testi gerçekleştirmek için bir adet 5 cm'lik (iyon odası oluklu) ve bir adet 0,5 cm'lik olmak üzere iki adet levha fantoma, A1SL iyon odasına, TomoElektrometre'ye ve TEMS programı kurulu bir bilgisayara ihtiyaç vardır. Operatör istasyonunda (Machine QA) modülü içerisinden (TQA Field Width) prosedürü seçilir ve çalıştırılır. Her üç çene açıklığı için datalar TEMS programı yardımıyla kaydedilir. TQA yazılımının (Manual Run) bölümünden (Field Width) modülü seçilir, her üç çene açıklığı

Tablo 4 Yıllık QA prosedürleri için öneriler ve toleranslar

Yıllık Test	Amaç	Tolerans
Mekanik hizalamalar		
y-jaw merkezleme	Kaynaktan y-jaw'a hizalama	Dinamik jaw için kaynakta 0,2 mm (Aksi takdirde 0,3 mm)
x-kaynağın hizalanması	Kaynaktan MLC'ye hizalama	Kaynakta 0,34 mm
y-jaw sapması/işin merkezleme	Dönme eksenini ile kaynak hizalaması	İzomerkezde 0,5 mm
y-jaw gantry dönüş düzlemi hizalaması	Dönme eksenini ile y-jaw hizalaması	0,5°
Tedavi ışın alanı merkezleme	Ortak merkez	İzomerkezde 0,5 mm
MLC lateral offset	Dönme merkezi ile MLC hizalaması	İzomerkezde 1,5 mm
MLC dönme	Işın düzlemiyle hizalama	0,50
Işın parametreleri		
Işın kalitesi (5cm kesit genişliği)	Modelle uyuşma	%1 PDD ₁₀ ya da TMR ₁₀ ²⁰
Enlemesine (Trans.) profil	Modelle uyuşma	Alan merkezinde ortalama %1 mutlak fark
Boyuna (Long.) profil	Modelle uyuşma	FWHM'da kesit genişliğinin %1'i
TG 51 kalibrasyonu	Kalibrasyon	%1
Rotasyonel doz verimi değişimi	Tepeden tepeye değişim	%1
Diğer		
Aksiyal yeşil lazer (Mesafe ve dönme)	İzomerkeze nominal mesafe	1mm/0,3°
Sagittal/koronal yeşil lazer	Dönme eksenini ile hizalama	1mm
MVCT		
Görüntüleme/tedavi/lazer koordinatı çakışması	Dozun doğru konumu	2 mm (non-SRS/SBRT)/1 mm(SRS/SBRT)
MVCT doz	Görüntü dozu takibi	Referans
MVCT görüntü kalitesi testleri	Görüntü kalitesi takibi	Tablo 2 (Aylık testler) ile aynı tolerans
Tedavi planlama sistemi (TPS)		
Dozimetrik doğrulama		
IVDT	Bilinen değerlerle uyum	Su için 20HU ya da %5
Sabit ve dinamik jaw' lar için absolut doz kalibrasyonu		
Yüksek doz	İyon odasıyla ölçülen dozun referans doz ile uyumu	%1
Penumbra	Distance to agreement	3mm
Düşük doz kuyruğu	Alan kenarından 5cm'ye kadar	Maksimum alan dozunun %3'ü
Eşzamanlılık		
Gantry açısı	Doğru ve tutarlı	1°
Masa hızı tekdüzeliği	Düzgün	%2 doz eşitsizliği
Gantry dönüşü başına masa hareketi	Eş zamanlı	5cm başına 1mm

QA: Kalite güvencesi; MLC: Multilif kolimatör; PDD: Yüzde derin doz; MVCT: Fan beam megavoltage computed tomography; SRS: Stereotaktik radyocerrahi; SBRT: Stereotaktik beden radyoterapisi; IVDT: Görüntü değeri-yoğunluk kalibrasyon tabloları; HU: Hounsfield unit

ğ için gelen alana hazırlanan TEMS.csv dosyası yüklenir. Veriler TQA tarafından işlenir ve kullanıcıya TQA takvimi üzerinden görüntüleyebileceği 3 rapor sunulur. Taranan profiller için (FWHM), %1'in içinde olması beklenir. Alan genişliği testinin aylık olarak yapılması önerilir.[2]

10.11. Alan Genişliği - Hareketli Çeneler Testi

Amaç

Bu modül ile Test 9.10'daki sabit çene açıklıklarına ek olarak 7 farklı asimetric çene açıklığı için ışın demetinin boylamasına alan genişliğinin doğruluğu test edilir.

Yöntem ve Ekipmanlar

Test 9.10 ile benzer şekilde yapılır. Tomotherapy cihaz konsolunda, (Machine QA) modülü içerisinde (TQA Field Width Dynamic Jaws) prosedürü seçilir ve çalıştırılır. TQA yazılımında (Manual Run) bölümünden (Field Width Dynamic Jaws) modülü seçilir ve gelen alana hazırlanan TEMS.csv dosyası yüklenir. Taranan simetric profiller için (FWHM, Full Width Half Maximum), %1'in içinde olması beklenir. Asimetric profiller için ise $\pm 0,5$ mm tolerans kabul edilir. Bu testin aylık olarak tekrarlanması önerilir.[2]

11. SONUÇ

Tomotherapy/Radixact cihazları özel yapıları ve kendine özgü helikal tedavi teknikleri nedeniyle uygulanacak kalite kontrol programının bu cihazlara özel olarak hazırlanmış olması gerekmektedir. MFD-GG003 raporunda Tomotherapy/Radixact cihazlarına özgü mekanik, dozimetrik, görüntüleme bileşeni ve hareket takibi sistemlerinin kalite güvencesi testlerine ilişkin günlük (Tablo 2), haftalık, aylık (Tablo 3), yıllık (Tablo 4) ve önemli bir servis müdahalesi sonrası yapılması gereken testler ve tolerans seviyeleri uluslararası standartlara ve yazarların klinik tecrübelerine dayanarak hazırlanmıştır. Medikal fizik uzmanlarının, kendi kliniklerinde bulunan cihazlara özel kalite güvencesi programlarını bu ulusal rehberi ve diğer uluslararası rehberleri referans alarak oluşturulmaları tavsiye edilmektedir.

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. Langen KM, Papanikolaou N, Balog J, Crilly R, Followill D, Goddu SM, et al; AAPM Task Group 148. QA for helical tomotherapy: Report of the AAPM Task Group 148. *Med Phys* 2010;37(9):4817-53.
2. Althof V, Ost BD, Reynaert N, Schubert K, Sterpin E, Kamer JB. NCS Report 27: Quality assurance for Tomotherapy systems. Available at: <https://radiationdosimetry.org/ncs/documents/ncs-27-qa-for-tomotherapy-systems>. Accessed Dec 27, 2025.
3. Chen Q, Rong Y, Burmeister JW, Chao EH, Corradini NA, Followill DS, et al. AAPM Task Group Report 306: Quality control and assurance for tomotherapy: An update to Task Group Report 148. *Med Phys* 2023;50(3):e25-e52.
4. Bissonnette JP, Balter PA, Dong L, Langen KM, Lovelock DM, Miften M, et al. Quality assurance for image-guided radiation therapy utilizing CT-based technologies: A report of the AAPM TG-179. *Med Phys* 2012;39(4):1946-63.
5. Smilowitz JB, Das IJ, Feygelman V, Fraass BA, Kry SF, Marshall IR, et al; AAPM Medical Physics Practice Guideline Task Group. AAPM Medical Physics Practice Guideline 5a: Commissioning and QA of treatment planning dose calculations - Megavoltage photon and electron beams. *J Appl Clin Med Phys* 2015;16(5):14-34.
6. Fraass B, Doppke K, Hunt M, Kutcher G, Starkschall G, Stern R, et al. American Association of Physicists in Medicine Radiation Therapy Committee Task Group 53: Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning. *Med Phys* 1998;25:1773-829.