



Yüksek Doz Hızlı Brakiterapi Cihazları İçin Kalite Kontrol ve Kalite Güvencesi Raporu

Guide for Quality Control and Assurance Tests in High Dose Rate Brachytherapy Units

Kerem DURUER,¹ Büşra TAVLI,² Yusuf Ziya HAZERAL,³ Şule PARLAR,⁴ Hakan EREN,³ Murat OKUTAN,⁵ Aydın ÇAKIR,⁶ Damla POYRAZ,⁷ Talat AKSU,⁸ Halil KÜÇÜCÜK⁹

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Eskişehir-Türkiye

²Ulus Liv Hospital, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

³Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İzmir-Türkiye

⁴Trakya Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Edirne-Türkiye

⁵İstanbul Üniversitesi, Onkoloji Enstitüsü Sağlık Fiziği Bölümü, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

⁶Memorial Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

⁷Acıbadem Atakent Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

⁸19 Mayıs Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Samsun-Türkiye

⁹Acıbadem Altunizade Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi Kliniği, İstanbul-Türkiye

ÖZET

Bu ulusal rapor, brakiterapi cihazları ve sistemleri için kalite kontrol testlerinin önemini vurgular. Brakiterapi, radyoaktif kaynakların dokuya, vücut yüzeyine veya boşluklara yerleştirilmesiyle uygulanan, küçük hacimlerde yüksek dozlar veren etkili bir tedavi yöntemidir. Bu tedavi yönteminin güvenli ve etkili uygulanabilmesi için kapsamlı kalite kontrol testlerinin yapılması gereklidir. Kalite kontrol testlerinin temel amacı, tedavi doğruluğunu ve hasta güvenliğini sağlamaktır. Özellikle radyoaktif kaynak kullanımı nedeniyle, cihazların doğru çalışıp çalışmadığı sürekli izlenmelidir. Kalite kontrol programları, cihazların kabul testlerinden geçip klinik kullanıma hazır hale gelen sistemlerin performansını izlemeyi amaçlar. Bu sayede, zaman içinde oluşabilecek sapmalar tespit edilir ve tedavi sürecinde güvenilirlik sağlanır. Ayrıca, hastane çalışanlarının ve çevrenin radyasyon güvenliğinin de sağlanması önemlidir. Rapor, brakiterapi cihazlarının güvenliği, mekanik işleyişi ve doz doğruluğunu sağlamak için gerekli testler açıklanır. Uluslararası rehberler ve uzman görüşlerine dayanan bu rapor, her testin amacı, kullanılan yöntemler ve tolerans aralıkları hakkında bilgi verir. Uzmanların deneyimi arttıkça, kalite kontrol testlerinin sıklığı ve kapsamı da geliştirilerek, cihazların etkinliği ve güvenliği artırılabilir. Bu kalite kontrol süreçlerinde, radyoaktif kaynakların doğru pozisyonlandırılması, doz hesaplamaları ve tedavi sırasında beklenmedik sapmaların önlenmesi çok önemlidir. Ayrıca, cihazların kalibrasyonu ve güvenli çalışma koşulları için uluslararası standartlara uygun tolerans aralıkları belirlenmelidir. Brakiterapi sistemlerinin uzun vadeli güvenilirliği için yıllık, üç aylık ve günlük kalite kontrol prosedürleri ayrıntılı şekilde tanımlanmalı ve düzenli olarak izlenmelidir.

Anahtar kelimeler: Aplikatör; brakiterapi; güvenlik testleri; kalite kontrol.



SUMMARY

This national report highlights the importance of quality control tests for brachytherapy devices and systems. Brachytherapy is an effective treatment method that delivers high doses to small volumes by placing radioactive sources within tissues, on body surfaces, or in cavities. For the safe and effective application of this treatment, comprehensive quality control tests are required. The primary goal of quality control tests is to ensure treatment accuracy and patient safety. Due to the use of radioactive sources, it is particularly important to continuously monitor whether the devices are functioning correctly. Quality control programs aim to monitor the performance of systems that have passed acceptance tests and are ready for clinical use. This allows the detection of deviations that may occur over time, ensuring reliability during treatment. Additionally, ensuring radiation safety for hospital staff and the environment is crucial. The report outlines the necessary tests to ensure the safety, mechanical operation, and dose accuracy of brachytherapy devices. Based on international guidelines and expert opinions, it provides information on the purpose of each test, the methods used, and acceptable tolerance ranges. As experts gain experience, the frequency and scope of quality control tests can be expanded, enhancing the efficiency and safety of the devices. In these quality control processes, the correct positioning of radioactive sources, dose calculations, and the prevention of unexpected deviations during treatment are of utmost importance. Furthermore, tolerance ranges in accordance with international standards should be established for device calibration and safe operating conditions. For the long-term reliability of brachytherapy systems, annual, quarterly, and daily quality control procedures should be defined in detail and regularly monitored.

Keywords: Applicator; brachytherapy; safety tests; quality control.
Copyright © 2024, Turkish Society for Radiation Oncology

1. YÜKSEK DOZ HIZLI BRAKİTERAPİ CİHAZLARI VE SİSTEMLERİ İÇİN KALİTE KONTROL TESTLERİ

GİRİŞ

Brakiterapi uygulamaları, düşük doz hızında (LDR), kesikli doz hızında (PDR) ve yüksek doz hızında (HDR) olmak üzere intrakaviter, interstisyel, intralumininal, cilt ve kalıcı "seed" yöntemleriyle gerçekleştirilebilir.[1] Bu yöntemlerde, hedef bölgeye yüksek doz radyasyon uygulanırken, çevre dokularda hızlı doz düşüşü sağlanır. Bu özellik, tedavi doğruluğunu öncelikli bir hedef haline getirir.

Brakiterapide kapsamlı bir kalite temini programı oluşturulması, optimal tümör kontrolü, yan etkilerin önlenmesi ve doğru doz uygulaması için kritiktir.[2,3] Kalite temini programı; hasta tedavi prosedürü, görüntüleme, tedavi planlama sistemi (TPS) ve tedavi cihazı testlerinden oluşur.[4] Testler, ilgili literatür ve klinik uygulamalara dayalı olarak günlük, üç aylık ve yıllık periyotlarla yapılır. Amaç, cihaz kalibrasyonunun doğru yapılması, tedavi sırasında doğru dozun verilmesi ve hasta güvenliğinin sağlanmasıdır.

Bu rapor, HDR brakiterapi cihazları için kalite temini programı oluşturulmasında yol gösterici olmak amacıyla hazırlanmıştır. Testler, cihaz doğruluğunu, tedavi dozunun

güvenliğini ve hastanın maruz kaldığı radyasyonun güvenli seviyelerde olduğunu temin etmeyi hedeflemektedir.

2. KALİTE KONTROL TEST ARALIKLARI

Kalite kontrol testlerinin sıklığı, IAEA ve AAPM gibi kuruluşların belirlediği uluslararası kabul görmüş standartlara dayanmaktadır. Günlük testler, cihazların işlevsel olduğundan ve güvenli bir şekilde çalıştığından emin olunmasını sağlarken, üç aylık ve yıllık testler, sistem performansının detaylı bir şekilde incelenmesini, kalibrasyonun doğruluğunu ve genel doğruluğun korunmasını hedefler. Bu düzenli testler, brakiterapi cihazlarının tedavi sürecinde yüksek doğrulukla çalışmasını, sistemik hataların önlenmesini ve tedavi güvenliğini sağlar.

3. BRAKİTERAPİ KALİTE KONTROL PROGRAMI

3.1. Hasta Tedavi Prosedürü

Amaç

Olası yan etkileri önleyerek tedavi aşamalarını doğru ve güvenli bir şekilde uygulayıp optimal tümör kontrolünü sağlamak.

Yöntem ve Ekipmanlar

Tedavi süreci; aplikatör seçimi ve hazırlığı, aplikatörlerin yerleştirilmesi, planlama görüntülemesinin ya-

pılması (Bilgisayarlı Tomografi (BT) ve/veya Manyetik Rezonans (MR)), hedef hacim ve kritik organların çizimi, tedavi planlaması ve tedavinin uygulanması aşamalarını kapsar. Bu süreçler için bir form hazırlanmalıdır.

Formda yer alması gereken bilgiler şunlardır:

- Kullanılan aplikatör tipi ve boyutu
- Aplikatörlerin yerleştirilmesi ve kullanılan sabitleme yöntemi
- Aplikasyondan sonra aplikatörler ve bağlantı parçalarının kontrolü
- Görüntüleme tercihi (BT ve/veya MR) ve çekim kesit kalınlığı
- Fraksiyon dozu ve fraksiyon sayısı
- Kritik organlar için doz kısıtlamaları

Test Sıklığı

Her hasta ve uygulama için tekrarlanmalıdır.

3.2. Görüntüleme Protokolü

Amaç

Tedavi sırasında doğru çekim koşullarını belirleyerek, tedavi sürecinin güvenli ve etkili bir şekilde uygulanmasını sağlamak.

Yöntem ve Ekipmanlar

Görüntüleme sürecinin planlandığı şekilde gerçekleşmesi için hazırlanan formda aşağıdaki bilgiler yer almalıdır:

- BT ve/veya MR tarama uzunluğu (hedef volüm ve aplikatörü içerecek şekilde),
- Görüntü kesit aralığı ve kalınlığı,
- Kritik organların pozisyonu (örneğin mesane ve rektumun dolu/boş durumu).

Test Sıklığı

Her hasta ve uygulama için tekrarlanmalıdır.

3.3. Tedavi Planlama Sistemi Protokolü

Amaç

HDR brakiterapi tedavi planlama sistemleri, klinik tedavinin başarıyla uygulanabilmesi için çeşitli hesaplamalar ve simülasyonlar yapar. HDR brakiterapi uygulamalarının güvenli ve etkin bir şekilde gerçekleştirilmesi, TPS doğru çalışmasına bağlıdır.[5] TPS kalite kontrolü, şu temel amaçlara hizmet eder:

- Doz hesaplama doğruluğunun değerlendirilmesi:** TPS'in hesapladığı dozun doğruluğunu test etmek.
- Geometrik doğruluğun değerlendirilmesi:** TPS'in hasta anatomisini ve kaynak pozisyonlarını doğru bir şekilde simüle edip etmediğini belirlemek.
- Sistem performansının doğrulanması:** Yazılımın performansını ve doğru çalıştığını doğrulamak.

d. Kaynak yerleştirme doğruluğunun test edilmesi: Tedavi sırasında radyoaktif kaynağın TPS tarafından öngörülen pozisyonlara doğru bir şekilde yerleştirilip yerleştirilmediğini kontrol etmek.

e. Rutin bakım ve kalibrasyonun doğruluğu: Zaman içinde TPS'te meydana gelebilecek sapmaların önüne geçmek amacıyla düzenli kontrollerin yapılması.

Yöntem ve Ekipmanlar

- Doz hesaplama doğruluğu testleri:** HDR brakiterapi TPS'lerinde hesaplanan dozların doğruluğunu test etmek için su fantomları ve doku eşdeğeri fantomlar gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Bu fantomlar, TPS tarafından hesaplanan doz ile ölçülen dozu karşılaştırmak için kullanılır. Bu test, TPS'in doğru doz hesapladığını doğrulamak açısından kritiktir.[6]
- Geometrik doğruluk testleri:** TPS'in kaynak konumlarını doğru bir şekilde simüle edip etmediği kontrol edilir. Bu test, doğrulama fantomları ve film dozimetre kullanılarak yapılır. Planlanan ve ölçülen kaynak pozisyonları karşılaştırılarak sistemin geometrik doğruluğu test edilir. Kabul edilebilir hata payı genellikle birkaç milimetre ile sınırlıdır.[7]
- Kaynak yerleştirme doğruluğu testleri:** Bu testin amacı, tedavi planına göre kaynağın doğru pozisyonlarda durup durmadığını belirlemektir.[7,8]
- Sistem performans testleri:** HDR brakiterapi tedavi planlama sistemlerinde, yazılımın performansını değerlendirmek amacıyla kalite kontrol testleri yapılır. Sistem hızı, veri işleme kapasitesi ve hesaplama doğruluğu test edilir. Bu testler, yazılımın klinik verileri doğru ve güvenilir bir şekilde işleyip işlemediğini doğrulamak için yapılır. Klinik senaryoların doğru simüle edilmesi ve çıktılarının güvenilir olması bu süreçte beklenir.[7,8]

Test Sıklığı

Tedavi Planlama Sistemleri'nde (TPS) meydana gelebilecek küçük hatalar bile hasta güvenliği için risk oluşturabilir. Bu nedenle, TPS doğruluğunun düzenli olarak test edilmesi ve kalite kontrol süreçlerinin uygulanması zorunludur. Her kaynak değişiminden sonra, yeni kaynağın seri numarası ve aktivitesi TPS'e doğru şekilde girilmeli ve planlama sonuçları kaynak sertifikası ile karşılaştırılmalıdır.

- Doz hesaplama doğruluğu:** Doz hesaplama doğruluğu testlerinde genellikle %3 sapma ka-

bul edilebilir sınırlar içinde değerlendirilir. Bu oran, tedavi güvenliği için kabul edilen bir tolerans aralığıdır.[7]

- b. **Geometrik doğruluk testleri:** HDR brakiterapi sistemlerinde geometrik doğruluk testleri genellikle yılda bir kez yapılmalıdır. Ancak, sistemde büyük bir yazılım veya donanım güncellemesi yapılırsa ya da cihazda bir arıza oluşursa, bu testlerin tekrarlanması gerekir.[7]
- c. **Kaynak yerleştirme doğruluğu testleri:** HDR brakiterapi uygulamalarında kaynak yerleştirme doğruluğu, tedavinin başarısı ve hasta güvenliği için çok önemlidir. Bu doğrulama, her tedavi günü tedavi öncesinde yapılmalı ve kaynak yerleştirme hatası 1 mm'den küçük olmalıdır.[7,8]
- d. **Sistem performans testleri:** TPS de zamanla oluşabilecek sapmaların önüne geçmek için düzenli kontrollerin yapılması gereklidir. Bu testler genellikle yılda bir kez yapılmalıdır. Ancak, sistemde önemli bir yazılım veya donanım güncellemesi yapılması ya da cihazda bir arıza meydana gelmesi durumunda, testlerin tekrar edilmesi zorunludur.[7] Bu testler, sistemin güvenilirliğini ve doğruluğunu korumak için hayati önem taşır. TG-59 raporuna göre, kaynağın mekanik ve dozimetri doğruluğunun ± 1 mm ve $\pm 5\%$ seviyelerinde olması gerektiği belirtilmiştir.[9,10]

4. BRAKİTERAPİ TEDAVİ ODASI VE CİHAZLARIYLA İLGİLİ KALİTE KONTROL PROGRAMI

Brakiterapi tedavi odası ve kullanılan cihazlarla ilgili kalite kontrol programı, genellikle üç ana test grubuna ayrılır: mekanik, dozimetrik ve güvenlik testleri. Mekanik testler, cihazın fiziksel parametrelerinin ve güvenlik sistemlerinin doğruluğunu kontrol etmeye yönelik işlemleri içerir.[2,3] Dozimetrik testler ise kaynak değişimi sonrası yapılan sızıntı testlerini ve kaynak aktivitesinin ölçülerek sertifika bilgileriyle karşılaştırılmasını kapsar. Brakiterapi tedavi odasında kullanılan güvenlik sistemlerinin etkinliği, hem hasta güvenliği hem de tedavi başarısı açısından kritik öneme sahiptir.

Bu testler, aşağıdaki periyotlara göre yapılabilir:

- Günlük
- Üç aylık / Kaynak değişimi sonrası
- Yıllık

Kalite kontrol testleri, tedavi sürecinde kullanılan teknolojilerin doğruluğunu, güvenilirliğini ve güvenliğini sağlamada önemli bir rol oynar. Bu test-

ler, cihazların doğru çalışmasını sağlamak, tedavi sonuçlarını optimize etmek ve hasta güvenliğini en üst düzeye çıkarmayı amaçlar.[11,12] Günlük yapılan testler, güvenlik, mekanik ve dozimetrik testler olarak sınıflandırılabilir.

4.1. Günlük KK Testleri

4.1.1. Hasta Haberleşme ve Hasta İzleme Sistemlerinin Kontrolü

Amaç

Hasta ve klinik personelinin tedavi süreci boyunca güvenli ve etkili bir iletişim kurmasını sağlamak.

Yöntem ve Ekipmanlar

Bu testler, sesli iletişim sistemleri ve görüntüleme için kullanılan kamera sistemleriyle gerçekleştirilir. Kontroller sırasında sistemlerin kesintisiz çalıştığından ve odadaki görüntü ile ses akışının net olduğundan emin olunur.

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi cihazında, hasta haberleşme ve izleme sistemlerinin kontrolleri günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Hasta haberleşme ve izleme sistemlerinde herhangi bir gecikme, kesinti veya iletişim hatası tolere edilemez. Bu sistemlerin zamanlama açısından hatasız çalışması gerekir; görüntü ve ses aktarımında hiçbir kesinti olmamalıdır. Sistemin sürekli ve kesintisiz çalışması, tedavi güvenliği açısından kritik önem taşır.[9,10]

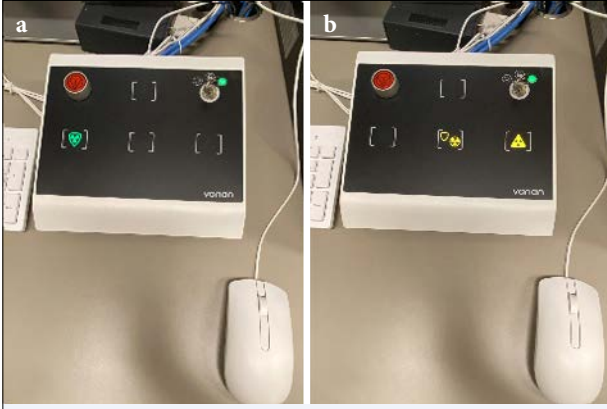
4.1.2. Radyasyon Uyarı Sistemleri ve Kapı Üzeri Uyarı Işıklarının Kontrolü

Amaç

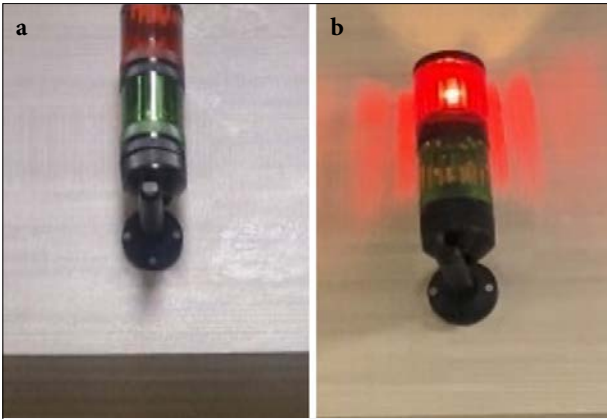
Tedavi sırasında cihazın radyasyon varlığını doğru şekilde tespit ettiğini ve radyasyon güvenliğini sağlayacak uyarı sinyallerini etkinleştirdiğini doğrulamak.

Yöntem ve Ekipmanlar

Tedavi odasında, cihaz çalıştırılmadan önce radyasyon kaynağının bulunduğu durumlarda herhangi bir radyasyon sızıntısı olup olmadığını kontrol etmek için radyasyon monitörleri kullanılır. Cihaz çalıştırıldığında ve radyasyon kaynağı aktif hale getirildiğinde, tedavi odasındaki radyasyon izleme cihazları (örneğin Geiger-Müller sayaçları ve survey metreler) aracılığıyla radyasyon seviyeleri sürekli olarak izlenir. Radyasyon kaynağı aktifken, personelin güvenliğini sağlamak amacıyla tedavi konsolundaki uyarı sembolleri ve ışıkları ile sesli ve görsel alarm sistemleri devreye girer (Şekil 1). Ayrıca, tedavi sırasında kapı üzerindeki uyarı ışıklarının düzgün çalışıp çalışmadığı kontrol edilir (Şekil 2).[9]



Şekil 1. Tedavi konsolu. (a) Işınlama yokken ki durum, (b) ışınlama varken ki durum.



Şekil 2. Kapı üzerindeki uyarı sistemi. (a) Işınlama yokken ki durum, (b) ışınlama varken ki durum.

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi cihazlarında radyasyon uyarı sistemlerinin kontrolü, tedavi güvenliğinin bir parçası olarak, tedaviye başlamadan önce günlük olarak yapılmalıdır. Radyasyon algılayıcılarındaki doz ölçüm sapmalarının $\pm 5\%$ içinde kalması beklenirken, uyarı sistemlerinde ise 1 saniyeye kadar zamanlama toleransı kabul edilmektedir.[9]

4.1.3. Kapı Emniyet Sistemlerinin Kontrolü

Amaç

Tedavi odasına giren veya çıkan personel veya hastaların, radyasyon kaynağının aktif olduğu sırada, kapıların doğru şekilde kapanıp kapanmadığını ve güvenlik kilidinin işlevsel olup olmadığını doğrulamaktır.

Yöntem ve Ekipmanlar

Kapı emniyet sisteminin tam çalışıp çalışmadığını test etmek için odadaki kapı sensörleri ve kilit mekanizma sistemi izlenir (Şekil 3). İlk testte, kapı açık bırakılarak



Şekil 3. (a) Kapı emniyet sistemi, (b) kilit mekanizma sistemi.

cihazın transfer tüpü ile aplikatör bağlantıları yapılır. Tedaviye hazırlık aşamasına gelindiğinde, tedavi başlatılmaya çalışılır. Bu aşamada, ışınlamanın başlamadığı doğrulanır. Diğer bir testte ise, kapı kapalıyken ışınlama sırasında kapının açılması sağlanır ve sistemin, kapı açıldığında tedaviyi durdurup durdurmadığı kontrol edilir. Bu süreçte, konsoldaki hata göstergesi ve birimden alınan çıktılar incelenerek, hatanın doğru şekilde kaydedilip kaydedilmediği doğrulanır.[10,11]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi kapı emniyet sistemlerinin kontrolü, günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Tolerans düzeyi kapının kilitlenme ve kaynağın durdurulma mekanizmaları arasında hiçbir gecikme olmamalı, maksimum 1 saniyeden daha kısa bir tepki süresi sağlanmalıdır.[10]

4.1.4. Acil Durum Düğmesi ve Işın Kesme Anahtar Sistemlerinin Kontrolü

Acil durum düğmesi, HDR brakiterapi sistemlerinde cihazın tüm işlemlerini anında durduran bir güvenlik önleimidir. Bu düğme, sistemin tüm fonksiyonlarını devre dışı bırakacak şekilde tasarlanmış olup, acil durumlarda personelin hızlı müdahalesine olanak tanır. Kalite kontrol testlerinde, acil durum düğmesinin doğru çalıştığı ve tüm cihaz işlevlerini etkili şekilde durdurduğundan emin olunmalıdır.

Işın kesme anahtarı, HDR brakiterapi sırasında radyasyon kaynağının aktifleştirilmesini engelleyen bir güvenlik mekanizmasıdır. Bu anahtar, ışınlama işlemi sırasında oluşabilecek tehlike durumlarında radyasyon kaynağını zırhlı konteynırın içine çeker. Kalite kontrol testleri, ışın kesme anahtarının doğru çalışıp çalışmadığı



Şekil 4. (a) Cihaz konsolundaki acil durum düğmesi, (b) bilgisayar ekranındaki demet kesme butonu.

gını ve tedavi sırasında ışınlamayı etkili şekilde durdurup durdurmadığını doğrulamak için yapılmalıdır.[2]

Amaç

Acil durum düğmesinin ve ışın kesme anahtarının doğru şekilde çalıştığını, tedavi sırasında herhangi bir güvenlik riski oluşturmadan cihazın güvenliğini sağladığını doğrulamaktır.

Yöntem ve Ekipmanlar

Işın kesme anahtarı devreye alındığında, radyasyon kaynağının aktif olmadığı doğrulanmalıdır. Anahtar kapalı konumda ışınlamanın başlatılmasını engellemeli, açık konumda ise tedavi sırasında radyasyon kaynağının güvenli şekilde devreye girmesine izin vermelidir. Işın kesme anahtarı aktif olduğunda, ışınlama sistemi başlatılmamalı ve radyasyon kaynağı güvenli bir pozisyonda tutulmalıdır. Ayrıca, tedavi işlemi, cihaz konsolundaki Acil Durum Düğmesi (Emergency Stop Button) ile durdurulabilir. Bazı sistemlerde ise, ışınlamayı durdurmak için bilgisayar ekranındaki Işınlama Kesilmesi (Beam Interruption) bölümünden müdahale edilebilir (Şekil 4).[2]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi acil durum düğmesi ve ışın kesme anahtar sistemlerinin kontrolü, günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Bu sistemlerin çalışmasında, anlık bir gecikme bile hasta güvenliği açısından risk oluşturabileceği için testlerinde kabul edilebilir bir tolerans seviyesi bulunmamalıdır.[2]

4.1.5. Acil Durum Ekipmanları (Pense, Zırhlı Güvenlik Kutusu, Doz Ölçer) Kalite Kontrol Testi

Amaç

HDR brakiterapi tedavisi sırasında ortaya çıkabilecek herhangi bir tehlikeli duruma karşı hızlı ve güvenli mü-

dahale edebilmek amacıyla acil durum ekipmanlarının sağlam, çalışır durumda ve kolay erişilebilir olduğundan emin olunması hedeflenir. Bu ekipmanların kalite kontrol testleri hem hasta hem de personel güvenliğini sağlamak için kritik öneme sahiptir.

Yöntem ve Ekipmanlar

Bu ekipmanlar arasında kaynak geri çekme pensesi, radyoaktif kaynak güvenlik kutusu ve doz ölçer bulunur. Ekipmanların işlevselliği ve fiziksel durumu düzenli olarak değerlendirilmelidir. Penseler, tedavi öncesinde görsel olarak incelenir; deformasyon, paslanma veya mekanik arıza olup olmadığı kontrol edilir. Zırhlı güvenlik kutusunun dış yüzeyi incelenerek çatlak, kırık veya deformasyon tespit edilir. Ayrıca, kutunun kapak mekanizmasının düzgün çalışıp çalışmadığı da kontrol edilir. Doz ölçer, cihaz çalıştırılarak ve radyasyon kaynağı aktif hale getirilerek test edilir. Ardından, referans bir doz ölçer cihazı ile ölçüm yapılır ve doz ölçerlerin okuma değerleri karşılaştırılır.[11]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi acil durum ekipmanlarının kontrolü, günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Pense ve zırhlı güvenlik kutusu gibi fiziksel ekipmanlarda herhangi bir mekanik arıza, hasar veya bozulma kabul edilemez. HDR brakiterapi cihazlarında kullanılan acil durum ekipmanlarının kalite kontrol testlerinde tolerans sıfır olmalıdır. Doz ölçer cihazı için ise tolerans düzeyi, ölçümlerde %5'ten fazla sapma olmamalıdır.

4.1.6. Tedavi Cihazında Tarih, Zaman ve Kaynak Aktivitesinin Kontrolü

HDR brakiterapi cihazlarında, tedavi sürecinin her aşamasının doğru ve güvenli bir şekilde gerçekleştirilmesi için tarih, zaman ve kaynak gücü testlerinin yapılması esastır.

Amaç

Cihazın işleyişinin ve tedavi parametrelerinin doğru bir şekilde kaydedildiğinden ve tedavi sürecine ilişkin tüm bilgilerle uyumlu olduğundan emin olmaktadır.

Yöntem ve Ekipmanlar

Cihazın tedavi sürecinde tarih ve zamanın doğruluğu, cihazın saat ve tarih mekanizması ile kontrol edilir. Cihazın sistem saatinin doğru bir şekilde ayarlandığı ve her tedavi seansı için kaydedilen verilerle uyumlu olduğu kontrol edilir. TPS'den alınan plan çıktısı değerlerinden aktivite değeri ile cihaz konsol ekranındaki aktivite değeri karşılaştırılır.

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi cihazında tarih, zaman ve aktivite kontrolü, günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Herhangi bir sapma, tedavi güvenliği ve doğruluğunu tehlikeye atabilir. HDR brakiterapi cihazlarında tarih, zaman ve kaynak aktivitesinin kontrolü testlerinde tolerans seviyesi sıfır olmalıdır.[9,11]

4.1.7. Kontrol Paneli Kilitleme Sisteminin Kontrol Testi

Amaç

Kilitleme sisteminin doğru çalışıp çalışmadığını ve sistemin güvenli bir şekilde işlev görüp görmediğini belirlemektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

HDR brakiterapi cihazındaki kilitleme sistemi, cihazın güvenliğini sağlamak amacıyla etkinleştirilir. Bu işlem genellikle bir anahtar mekanizması veya yazılım tabanlı bir güvenlik önlemi ile yapılır. Kilitleme sistemi aktif hale geldiğinde, kontrol panelinin açılmaya çalışılmasıyla mekanizmanın doğru çalışıp çalışmadığı gözlemlenir. Kilitleme sistemi etkinken, panelin açılmaması gerekir. Kilitleme sistemi, yazılım üzerinden şifre girilerek veya konsoldaki anahtar ile açılabilir. Sistemin doğru çalıştığını gösteren başarılı açılma işleminden sonra, panel erişilebilir hale gelir. Eğer kilitleme sistemi aktifken panel açılıyorsa, sistemde fonksiyonel bir hata olduğunu gösterir ve cihaza mühendis tarafından müdahale edilmesi gereklidir.[9,11]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi cihazında kontrol paneli kilitleme sisteminin kontrol testi günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Kilitleme sisteminin doğru çalışmaması, cihazın güvenliğini ve doğruluğunu tehlikeye atabilir. HDR brakiterapi cihazlarında kontrol paneli kilitleme sisteminin testinde tolerans seviyesi sıfır olmalıdır.[11]

4.1.8. Aplikatörlerin Cihaz Bağlantı Transfer Tüpleri Testi

Aplikatörlerin cihazla bağlantısını sağlayan transfer tüpleri, uygulamanın güvenliğini ve doğruluğunu sağlamak için kritik bir rol oynamaktadır.

Amaç

Transfer tüplerinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin doğruluğunu sağlamak, cihazın her kullanımında güvenli ve doğru bağlantılar oluşturulmasını temin eder. Bu sayede, cihazın radyoaktif kaynakları hedef bölgeye doğru bir şekilde iletmesi sağlanır.

Yöntem ve Ekipmanlar

Transfer tüpleri, cihazla bağlantı kurulduktan sonra dikkatle incelenir. Aşırı bükülme, kırılma veya çatlak olup olmadığı kontrol edilir. Bağlantı noktalarının doğru şekilde oturduğu ve tüplerin güvenli olduğu doğrulanır. Cihaz her kullanımdan sonra tüpler gözden geçirilip hasarlar tespit edilmelidir.[2] Bakım veya onarım sonrası, cihaz yeniden kullanılmadan önce transfer tüpleri test edilmelidir.

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi cihazında aplikatörlerin cihaz bağlantı transfer tüpleri testi günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Herhangi bir mekanik arıza, bağlantı hatası veya fiziksel deformasyon, tedavi sürecini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, aplikatörler ve transfer tüplerinde herhangi bir hasar, gevşeme veya deformasyon kabul edilemez. Aplikatörler ve transfer tüplerinin testlerinde tolerans düzeyi sıfır olmalıdır.[2]

4.1.9. Radyasyon Alan Monitörünün Kontrolü

Amaç

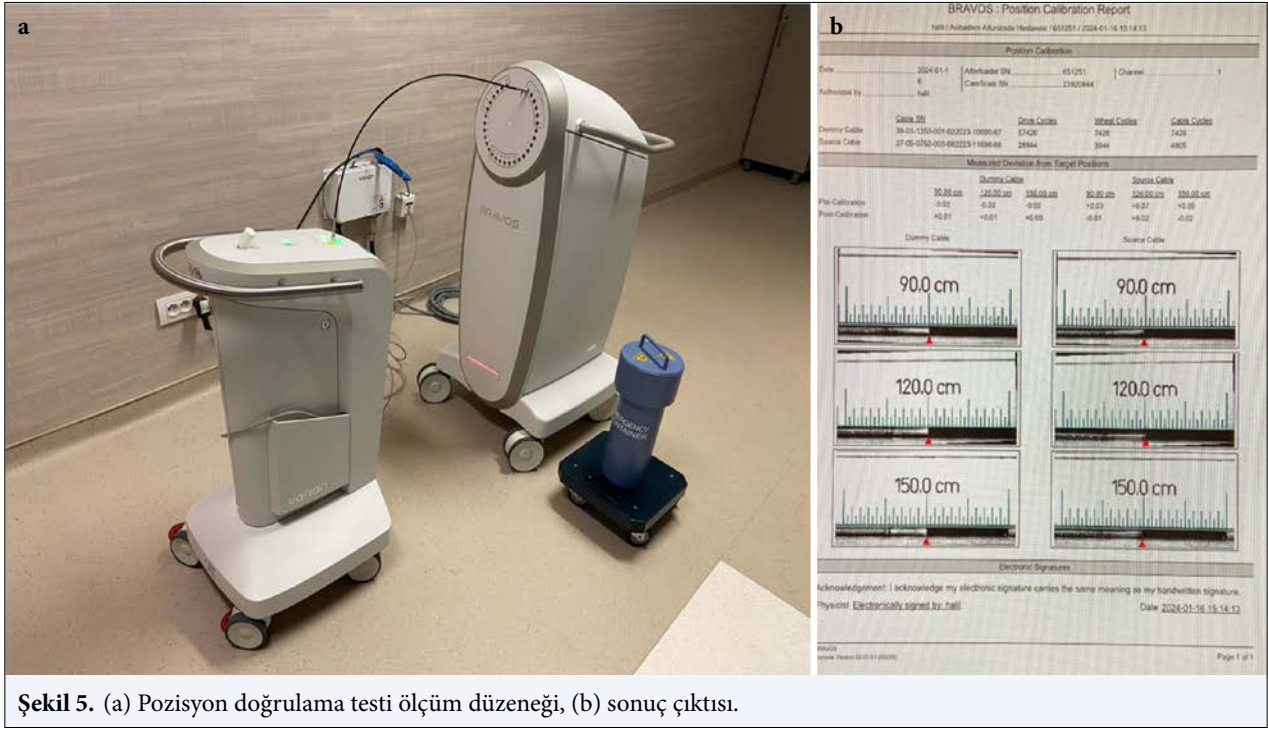
Radyasyon alan monitörlerinin radyasyon dozunu doğru ölçüp ölçmediğini belirlemektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

Radyasyon alan monitörünün kontrol testi, yüksek doğruluk gerektiren kritik bir işlemdir ve düzenli aralıklarla gerçekleştirilmesi zorunludur. Test sırasında, cihaz etkinleştirilir ve radyasyon kaynağı aktif hale getirilir. Sonrasında, referans doz ölçer kullanılarak alan monitöründen elde edilen okuma değerleri karşılaştırılır. Bu karşılaştırma, monitörün doğru doz ölçme kapasitesinin doğrulanması açısından temel bir adım teşkil etmektedir.[2,11]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Radyasyon alan monitörü kontrolü günlük olarak, tedaviler başlamadan önce yapılmalıdır. Doz ölçer ve alan monitörlerinin karşılaştırılmasında, alan monitöründen ve doz ölçerden elde edilen okuma değerlerinin karşılaştırılması sırasında, %2'lik sapmalar kabul edilebilir.[2,11]



Şekil 5. (a) Pozisyon doğrulama testi ölçüm düzeneği, (b) sonuç çıktısı.

4.1.10. Kaynak Pozisyon Doğruluk Testi

Amaç

Radyoaktif kaynağın tedavi planındaki referans noktalarına uygun konumlandırıldığını doğrularak tedavi etkinliği ve hasta güvenliğini sağlamaktır. Kaynak pozisyon doğruluk testi, HDR brakiterapi cihazında kullanılan kaynağın tedavi süresince planlanan pozisyonlarda doğru yerleştirilip yerleştirilmediğini değerlendirmeyi amaçlar.

Yöntem ve Ekipmanlar

Kullanılan kaynağın aplikatör içerisindeki pozisyonu, mekanik ve dozimetrik yöntemlerle test edilir.

Mekanik yöntemler, cihaz üreticisi tarafından sağlanan özel ölçüm ekipmanlarıyla yapılan pozisyon doğrulama testleridir (Position Verification Test, PVT). Bu testlerde, tedavi cihazı ile CamScale kalite kontrol cihazı özel bir transfer tüpüyle bağlanır. Cihaz yazılımında belirlenen üç durma noktasına, sırasıyla dummy (taklit kaynak) ve gerçek kaynak gönderilir. Kaynak ve dummy'nin durma pozisyonları, cihazdaki cetvel ve kamera sistemi ile görüntülenir ve kaydedilir (Şekil 5).[2,9,11]

Mekanik cetvel, uygun transfer kablosuyla tedavi cihazına bağlanarak, kaynağın gideceği bilinen mesafeye göre bir demo planı hazırlanır. Cetvelin içine verifikasyon filmi yerleştirilir ve oda kamerası cetvelin skalasını ve kaynağın hareketini izlemek için odaklanır. Cihaz ışınlama konumuna getirilip, hazırlanan demo plan

cihaz yazılımına gönderilir. Film üzerinde ışınlama noktası, oda kamerası ile kaynağın hedeflenen uzaklığa ulaşma durumu görsel olarak kontrol edilir (Şekil 6).

Dozimetrik yöntem; otoradyografi kullanılarak gerçekleştirilir. Verifikasyon filmi, fantom üzerine sabitlenir ve klinik ortamda kullanılan aplikatörler sırayla film üzerine yerleştirilir. Her aplikatöre özgü işaretleyiciler yerleştirilir, işaretleyici yoksa iğne, tel veya metal işaretleyiciler eklenir.[2,9] Orta voltaj üreten cihazla, filmin özelliklerine uygun kV ve mAs değerleri ayarlanır. Görüntü alındıktan sonra, film ve aplikatörler yerinden oynatılmadan fantomdan dikkatlice çıkarılır. Kaynağın duruş pozisyonları için hazırlanan demo planı cihaza gönderilir ve ışınlama yapılır. Elde edilen referans durma pozisyonları, kaynağın oluşturduğu kararmalarla karşılaştırılarak doğruluğu değerlendirilir.[11] Bu yöntem, kaynağın doğru pozisyonda olup olmadığının görsel olarak doğrulanmasını sağlar.

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi cihazında kaynak pozisyon doğruluk testi, tedaviler başlamadan önce günlük olarak yapılmalıdır. Test sonunda, kaynak ve dummy birbirleriyle karşılaştırılmaz; her biri ayrı ayrı değerlendirilir. Belirlenen referans noktalarda elde edilen ölçümler incelenir. Tolerans düzeyinin 1 mm'den küçük olması tavsiye edilmektedir. 1 mm ve üzerindeki sapmalar tespit edildiği zaman kalibrasyon işlemi yapılması önerilir.[11]



Şekil 6. (a) Mekanik cetvel ve cihazın bağlanı kurulmuş durumu, (b) demo plan, (c) ışınlanmış verifikasyon filmi ve mekanik cetvel.

4.1.11. Işın Verme Süresi Doğruluğu Testi

Amaç

HDR brakiterapi cihazlarında kullanılan radyasyon kaynağının, belirlenen pozisyonda belirlenen süre boyunca beklediğinin doğrulanması, bu testin temel amacıdır.[9]

Yöntem ve Ekipmanlar

Cihazın ayarlanan süre boyunca ışınlama performansı kontrol edilir. Test, ışınlama süresinin belirlenen doğrulukla çalıştığından emin olmak için kritik öneme sahiptir. Test sırasında, belirlenen noktalarda ve sürelerde ışınlama yapılır; ölçümler birden fazla kez tekrarlanarak doğrulama sağlanır. Işınlama süresi, iyon odası veya film dozimetresi ile doğrulanır.[2]

Beklenen sonuç, tekrarlanan ışınlamalar sonunda beklenen ile aynı ölçüm değerlerinin elde edilmesidir. Film dozimetresinde ise beklenen optik yoğunluk değerlerinin ölçülmesidir. Bu doğrulama, cihazın ışınlama süresi doğruluğunun tutarlı ve güvenilir olduğunu gösterir.

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Tedavi süresi, cihazdaki kaynak aktivitesiyle karşılaştırılarak zaman uyumu testi günlük olarak, tedaviler başlamadan önce kontrol edilmelidir. Zamanlama hatası %1'den fazla olmamalıdır.[11]

5. HDR BRAKİTERAPİ CİHAZINDA ÜÇ AYLIK / (KAYNAK DEĞİŞİMİ SONRASI) KK TESTLERİ

5.1. Kaynak Aktivite Ölçümleri

Amaç

HDR brakiterapi cihazındaki radyoaktif kaynağın, belirli bir süre boyunca doğru aktivite seviyesinde ışın vermediğini kontrol etmek, tedavi sırasında doğru dozun sağlanmasını temin etmek amacıyla yapılan bir ölçümdür. Bu test, kaynağın aktivitesini belirleyerek, verilen ışın dozunun doğruluğunu güvence altına almayı hedefler.

Yöntem ve Ekipmanlar

Kaynak aktivitesi, her kaynak değişiminden sonra ölçülmeli ve sertifika değeriyle karşılaştırılarak tedavi

planlama bilgisayarına girilmelidir. Sertifikada belirtilen değerler $\pm 5\%$ belirsizlik içerebileceğinden, kalibrasyon prosedürleri uygulanarak doğrulama yapılmalıdır. HDR brakiterapi kaynaklarının aktivite ölçümünde, IAEA'nın Tecdoc 1079 ve 1274 numaralı raporları iki ana referans protokolü olarak kullanılmaktadır. Aktivite ölçümünde üç ana yöntem uygulanır: havada iyon odası, kuyu tipi iyon odası ve özel fantomlarla ölçüm.

5.2. Havada Kaynak Aktivitesi Ölçümü

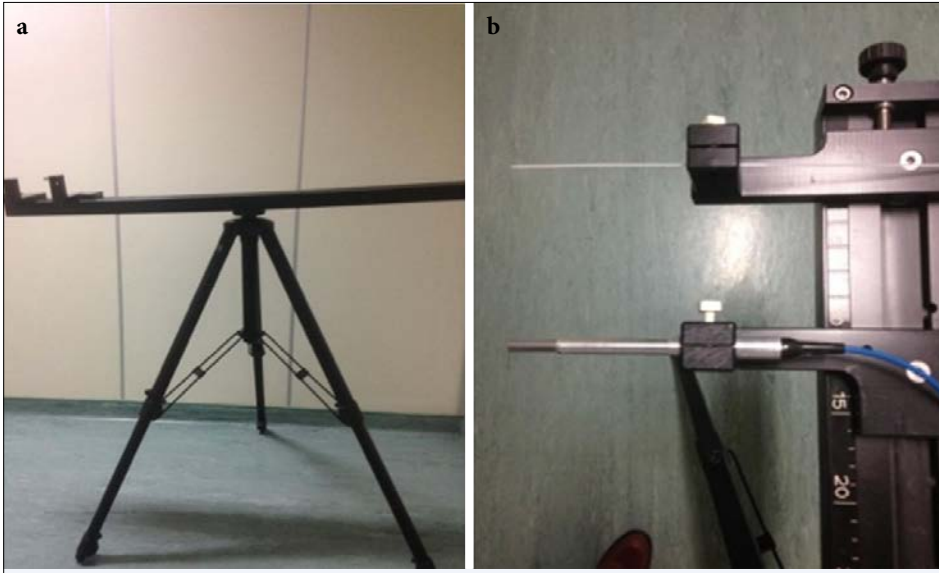
Kaynak gücü, birim zamandaki hava kerma hızını ifade eden hava kerma gücüyle ölçülür ve HDR brakiterapi kaynakları için genellikle $\mu\text{Gy/h}$ cinsinden ifade edilir. Havada iyon odası ile yapılan ölçümlerde, 0,6 cc hacmindeki Farmer tipi iyon odaları önerilmektedir. Ölçüm için özel kalibrasyon jigi kullanılır. İyon odası çevresinde metal bulunmamalı ve yerden gelen saçılmaların etkisini minimize etmek için ölçüm düzeneği yerden yüksek bir konumda yerleştirilmelidir. Kaynak, iyon odasının geometrik ortasına yerleştirilir ve plastik katater ile iyon odası arasındaki mesafe 10 cm olarak ayarlanır (Şekil 7). Ölçüm öncesinde barometre ve termometre, ortam sıcaklık ve basınca uyum sağlaması için bir saat önceden odada bırakılmalıdır. Elektrometre ile iyon odası bağlantısı kurulduktan sonra, 60 saniye süreyle elektrometreden elde edilen okuma değeri, IAEA-TECDOC-1079 ve 1274 numaralı raporlarda belirtilen formüle göre hesaplanarak kaynak aktivitesi bulunur.[13]

$$K_R = N_K \cdot (M_u/t) \cdot K_{\text{air}} \cdot k_{\text{scatt}} \cdot k_n \cdot (d/d_{\text{ref}})^2 \text{ Aktivite} = K_R / (T_\delta) \cdot (W/e)_{\text{air}}$$

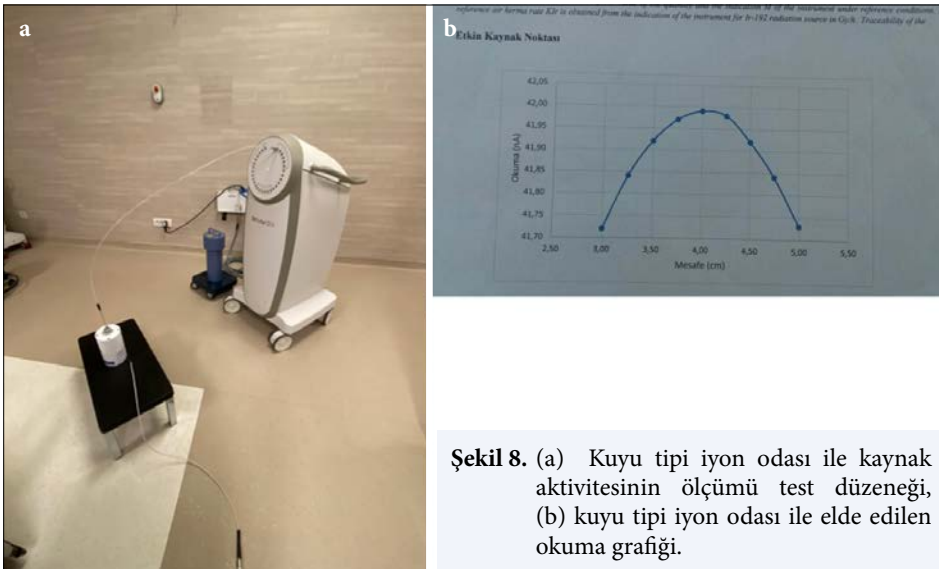
Elde edilen ölçülen aktivite değeri, kaynak sertifikasında belirtilen aktivite değeriyle karşılaştırılır.

5.3. Kuyu Tipi İyon Odası ile Kaynak Aktivitesinin Ölçümü

Ölçüm için, kaynak transfer tüpü ile kuyu tipi iyon odası ve elektrometre arasında bağlantı yapılır (Şekil 8a). Ölçüm sırasında, ortam koşullarını (basınç ve sıcaklık) göz önünde bulundurmaktır önemlidir. Bu veriler, aktivite hesaplamasında kullanılacak parametrelerdir.[2]



Şekil 7. (a) Özel kalibrasyon jigi, (b) plastik katater ve farmer tipi iyon odası.



Şekil 8. (a) Kuyu tipi iyon odası ile kaynak aktivitesinin ölçümü test düzeneği, (b) kuyu tipi iyon odası ile elde edilen okuma grafiği.

Aktivite hesaplanırken, elde edilen okuma değerleri, en yüksek okuma değeri ile birlikte dikkate alınır ve hesaplama yapılır (Şekil 8b).[9] Hesaplanan aktivite değeri, kaynak sertifikasında belirtilen değer ile karşılaştırılır ve farkın %5 içerisinde olması beklenir. Bu sınır, kaynak aktivitesinin doğruluğu ve güvenilirliği açısından kritik bir parametreyi belirler. Kuyu tipi iyon odasında dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli nokta, iyon odasının en yüksek sinyali verdiği ölçüm mesafesinin doğru bir şekilde belirlenmesidir. Bu mesafe, iyon odasının doğru okuma yapabilmesi için doğru konumlandırılmasını sağlamak adına önemlidir.[2]

5.4. Özel Fantomlarla Kaynak Aktivitesinin Ölçümü

Silindirik fantom, merkezde kaynağın yerleştirileceği kateter kanalı ve çevresinde 0° , 90° , 180° ve 270° açılarla yerleştirilmiş dört kanal içerir. Bu yapı, kaynak aktivitesinin tüm açılarda doğruluğunu sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. İyon odası, her kanal için sırasıyla yerleştirilir ve her bir kanal için 60 saniye süreyle okumalar alınır. Okumalar, iyon odasının doğru ölçüm yapabilmesi için her kanalın farklı pozisyonlarında tekrarlanır. Tüm okumaların ortalaması alındıktan sonra, bu ortalama değer kullanılarak kaynak aktivitesi hesaplanır. Bu yöntem, kaynak ak-

tivitesinin doğruluğunu ve tutarlılığını sağlamak için kritik bir ölçüm tekniğidir.[12]

Test Sıklığı

Her kaynak değişiminden sonra, kaynak aktivitesi ölçülmeli ve bu ölçüm, kaynak sertifikasında belirtilen değer ile karşılaştırılmalıdır. Ardından, elde edilen doğrulama sonuçlarına göre, TPS için gerekli aktivite değeri girilmelidir.[2]

5.5. Cihaza Bağlı Batarya Sisteminin Kontrolü

Amaç

Batarya sisteminin, elektrik kesintisi veya güç kaybı durumlarında cihazın güvenli bir şekilde çalışmaya devam etmesini sağlayabildiğini kontrol etmek.[11]

Yöntem ve Ekipmanlar

Cihaza, belirli bir tedavi planı gönderilir ve ışınlama işlemi başlatılır. Elektrik kesintisi simüle edilerek, güç kaybı durumunda cihazın işlevselliğini batarya sistemi ile devam ettirip ettiremediği değerlendirilir.[2]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Üç ayda bir veya her kaynak değişiminden sonra tekrarlanır. Test sonucunda, bataryanın cihazı en azından ışınlama işlemi güvenli bir şekilde sonlandıracak kadar çalıştırabilmesi beklenir. Üretici talimatlarına göre değişiklik gösterebilir; ancak genel olarak %100 işlevsellik beklenir.[2,11]

5.6. Kaynağın Tedaviye Kaldığı Yerden Devam Edip Etmediğinin Kontrolü

Amaç

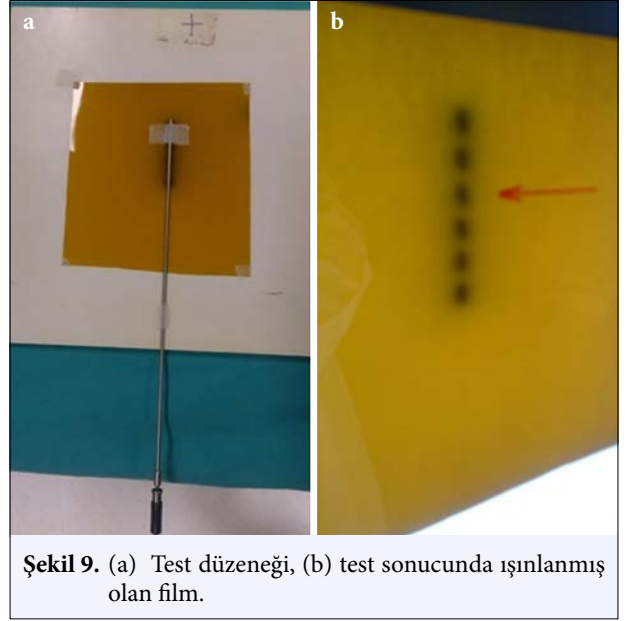
HDR brakiterapi cihazının ışınlama sırasında oluşabilecek bir tedavi durdurma durumunda, tedavinin güvenli ve etkin bir şekilde kaldığı yerden devam edip etmediğini doğrulamaktır.

Yöntem ve Ekipmanlar

Bu test, cihazın kontrol konsolundaki göstergeler ve otoradyografi yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Test sırasında, kateter veya aplikatör doğrulama amacıyla bir verifikasyon filmi üzerine yerleştirilir. Film üzerinde, kaynak aktivitesine bağlı olarak kararım meydana gelen durma pozisyonları 1 cm aralıklarla belirlenir (Şekil 9). Işınlama sırasında tedavi kasıtlı olarak durdurulur ve ardından tekrar başlatılır. Testin sonunda, ışınlanan film ve cihazın raporu incelenerek, ışınlamanın durduğu yerden kesintisiz ve doğru bir şekilde devam edip etmediği kontrol edilir.[11]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Üç ayda bir veya her kaynak değişiminden sonra tekrarlanır. Bu testte kabul edilebilir sapma 1 mm'den az olmalıdır.[11]



5.7. Aplikatör ve Transfer Tüplerinin Kontrolü

Amaç

Aplikatörlerin ve transfer tüplerinin deformasyon ve uzunluk açısından uygunluğunu doğrulamak ve mekanik bütünlüklerinin sürdürülebilirliğini test etmektir.[2]

Yöntem ve Ekipmanlar

Aplikatörler ve transfer tüplerinin kontrolü, cihazın mekanik bütünlüğünü, olası deformasyonları ve ölçüm standartlarına uygunluğunu değerlendirmek için birkaç aşamadan oluşur. Bu aşamalar şunlardır:

1. **Görsel inceleme:** Aplikatörler ve transfer tüpleri, deformasyon, çatlak, aşınma veya mekanik hasar belirtileri açısından dikkatlice gözden geçirilir.
2. **Uzunluk ölçümü:** Transfer tüplerinin uzunluğu, uygun referans uzunlukta bir tel veya cetvel kullanılarak hassas bir şekilde ölçülür. Bu işlem, aplikatörler ve transfer tüplerinin istenen uzunlukta olup olmadığını ve kaynak transferi sırasında olası pozisyonlama hatalarını önlemeyi hedefler.
3. **Bağlantı kontrolü:** Aplikatör ile transfer tüpü arasındaki bağlantılar, mekanik bütünlüğü sağlamak için kontrol edilir. Bağlantıların sıklığı ve uyumluluğu test edilir.
4. **Mekanik bütünlük testi:** Aplikatörler ve transfer tüplerinin mekanik bütünlüğü, deformasyon veya hasar olup olmadığını belirlemek amacıyla test edilir.

Bu kontroller, brakiterapi cihazlarının güvenli ve etkili kullanımını garanti etmek için düzenli olarak yapılmalıdır.[2]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Her 100 uygulamadan sonra veya 3 ayda bir yapılmalıdır. Görsel İnceleme Toleransı: Herhangi bir hasar, deformasyon veya aşınma durumu kabul edilmemeli ve tolerans sıfır kabul edilmelidir. Uzunluk hataları, kaynak yerleşimi ve ışınlama doğruluğunu etkileyebilir; bu nedenle uzunluk hatalarının %1'lik bir sapma ile sınırlı tutulması gerekmektedir.[2]

5.8. Tıkalı Kateter Testi

Amaç

Radyasyon kaynağının kateter boyunca kesintisiz ve güvenli bir şekilde ilerleyebilmesini sağlamak ve böylece planlanan tedavi dozunun hedeflenen tümör bölgesine doğru bir biçimde iletilmesini garanti etmektir.[11]

Yöntem ve Ekipmanlar

Kateter boyunca kıvrılma, bükülme, kırılma veya mekanik hasar olup olmadığı dikkatlice incelenir. Radyasyon kaynağının kateter içinde sorunsuz ilerlemesini engelleyebilecek yapısal deformasyonlar titizlikle değerlendirilir. Kateter kontrolü sırasında, cihaz ve kateter bağlantısı sağlandıktan sonra kateter, bir radyografik film üzerine yerleştirilir. Hazırlanan test planı, kateter boyunca belirlenen mesafe ve aralıklarda uygulanarak ışınlama yapılır. Filmin kararmasına bakarak kaynağın ilerleyişi ve kateterde tıkanıklık olup olmadığı değerlendirilir.[2]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Tedavi doğruluğu ve güvenliğini sağlamak için, her tedavi öncesinde kateterlerin görsel ve fiziksel muayenesi titizlikle yapılmalıdır. Ayrıca, kateterlerin uygunluğu ve iç yapısal bütünlüğü, otoradyografi yöntemiyle yapılan kalite kontrol testleri ile üç aylık periyotlarla düzenli olarak doğrulanmalıdır.

Kateterde herhangi bir kıvrılma, bükülme, kırılma veya mekanik hasarın bulunmaması gerekir. Bu nedenle, sıfır tolerans olmalıdır.[2]

6. HDR BRAKİTERAPİ CİHAZINDA YILLIK KALİTE KONTROL TESTLERİ:

6.1. HDR Brakiterapi Cihazında Zamanlayıcının Kontrolü

Amaç

Işınlama süresi ve kaynağın hareketine bağlı olarak doğru doz dağılımını elde etmek için zamanlayıcının lineerliğini ve güvenilirliğini kontrol etmektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

Bu test, aynı durma pozisyonunda farklı sürelerle ışınlama uygulanarak yapılır. Ölçüm için, kuyu tipi

iyon odası veya özel bir silindirik fantom kullanılır. Elde edilen okuma değerleri, farklı sürelerde yapılan ışınlamaların oranlarıyla karşılaştırılır. Test, zamanlayıcının doğruluğunu ve doğrusal çalışıp çalışmadığını değerlendirir. Ayrıca, kaynağın hareketi ve hızına bağlı olarak toplam ışınlama etkilerinin nasıl değiştiğini inceler.[11]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Zamanlayıcı kontrol testleri, cihazın zamanlama doğruluğunun korunması için üç aylık periyotlarla düzenli olarak yapılmalıdır. Ayrıca, cihazın bakım, onarım veya yeniden kalibrasyon sonrası, zamanlayıcı testlerinin tekrarı zorunludur. Bu testler, yapılan müdahalelerin cihazın zamanlama işlevine olumsuz etkisi olup olmadığını değerlendirmek için kritik öneme sahiptir. [11] HDR brakiterapi cihazlarında zamanlayıcı doğruluğu genellikle %1'lik bir hata payıyla kabul edilir.

6.2. HDR Brakiterapi Cihazında Geçiş Süresi Etkisini Belirleme Testi

Amaç

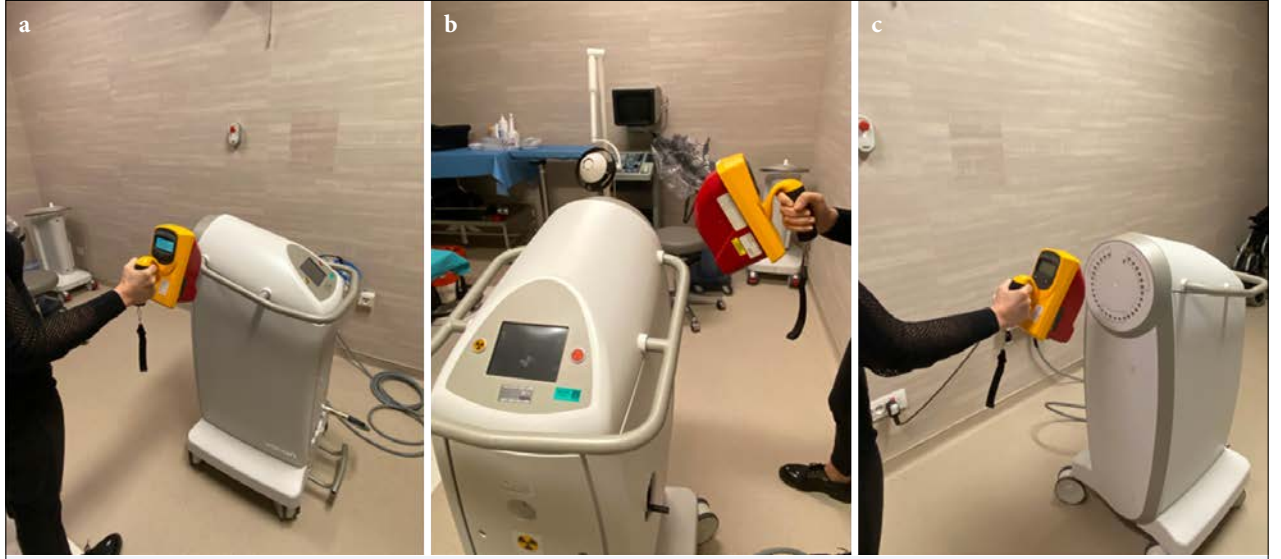
HDR brakiterapi cihazlarında kaynak geçiş süresinin doğruluğunu test etmek ve geçiş süresinde meydana gelen sapmaların doz dağılımı üzerindeki etkilerini değerlendirmektir

Yöntem ve Ekipmanlar

Geçiş süresi ölçümü hem cihazın iç mekanizmaları hem de harici ölçüm cihazları kullanılarak yapılabilir. İç Mekanizma ile Geçiş Süresi Ölçümü: HDR brakiterapi cihazlarında kaynak geçiş süresi, cihazın entegre zamanlayıcı sensörleri ve yazılımı ile milisaniye hassasiyetinde ölçülür. Zamanlayıcı sensörler, kaynağın bir tedavi noktasından ayrıldığı ve diğerine ulaştığı anları tespit eder. Yazılım, kaynağın hareketlerini sürekli izler ve geçiş sürelerinin doğruluğunu otomatik olarak değerlendirir.[10]

Harici ölçüm cihazları ile geçiş süresi ölçümü: Cihazın geçiş süresi performansı, harici ölçüm cihazlarıyla da doğrulanabilir. Bu cihazlar şunları içerir:

- **Yüksek hassasiyetli kronometreler:** Kaynak hareketinin başladığı ve sona erdiği anları milisaniye düzeyinde ölçerek geçiş süresinin doğruluğunu test eder.[12]
- **Optik veya elektronik sensörler:** Kaynağın hareketini izleyerek sinyal üreten sensörler, geçiş süresini belirler.[11]
- **Kalibrasyon fantomu:** Plastik veya dokuyu taklit eden malzemelerden üretilmiş simülasyon cihazı, kaynak geçiş süresi ve doz dağılımının doğruluğunu ölçer.[2]



Şekil 10. Kaynak sızıntı testi ölçümleri, (a) cihazın sol tarafından, (b) cihazın sağ tarafından, (c) cihazın ön tarafından.

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

HDR brakiterapi cihazlarında kaynak geçiş süresi için kabul edilen tolerans ± 0.1 saniye olarak belirlenmiştir. Bu süredeki herhangi bir sapma, tedavi planının doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, geçiş süresinin belirlenen tolerans sınırları içinde kalması, tedavi güvenliği ve etkinliği açısından kritik öneme sahiptir. Testin yılda bir kez yapılması önerilmektedir.[2]

6.3. Transfer Tüplerinin Uzunluğunun Kontrol Testi

Amaç

HDR brakiterapi cihazlarında kullanılan transfer tüplerinin uzunluğunu doğrulamak ve kaynak pozisyonlama doğruluğunu sağlamaktır.

Yöntem ve Ekipmanlar

Transfer tüplerinin uzunluğu, milimetre hassasiyetine sahip ölçüm cihazlarıyla doğrulanır. Test sürecinde, ölçülen tüp uzunluğu ve aplikatör boyutları dikkate alınarak bir ışınlama planı hazırlanır. Verifikasyon amacıyla, aplikatör bir film üzerine yerleştirilir ve her bir transfer tüpü ile ışınlama yapılır. Elde edilen filmdeki kararlık noktaları incelenerek, tüp uzunluğu ve radyasyon dağılımı karşılaştırılır. Bu yöntemle, tüp uzunluğu ve kaynak pozisyonlamasının doğruluğu değerlendirilir.[2]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Transfer tüplerinin uzunluğunun yılda en az bir kez kontrol edilmesi ve tolerans düzeyinin ± 1 mm olarak alınması önerilmektedir.[2]

6.4. HDR Brakiterapi Cihazlarında Kaynak Sızıntı Testi

Amaç

Kaynağın fiziksel güvenliğini sağlamak, çevresel kontaminasyon risklerini önlemek ve hasta ile sağlık personelinin güvenliğini temin etmektir.

Yöntem ve Ekipmanlar

Kaynak cihazı zırhlı koruma altında iken, cihaz çevresindeki radyasyon düzeyini ölçmek için testler, üretici tarafından belirlenen mesafelerde gerçekleştirilmelidir. Ölçümler, Geiger-Müller sayacı ve yüksek hassasiyetli radyasyon detektörleriyle yapılmalıdır. Kaynak değişimi sonrasında, kaynak taşıyıcı kabı çevresinde sızıntı ve kontaminasyon ölçümleri, çevresel güvenlik ve personel koruması açısından önerilmektedir.[12,13]

Test Sıklığı ve Tolerans Düzeyi

Kaynak sızıntı testi, genellikle yılda bir kez yapılmakla birlikte, her kaynak değişimi sonrasında cihaz içindeki kaynak ve kaynak taşıyıcı kabı çevresinde sızıntı ve kontaminasyon ölçümlerinin yapılması önerilmektedir. Cihazın kaynak konumlandırma bölümünden 30 cm uzaklıkta ve farklı yönlerde yapılan ölçümlerin $1 \mu\text{Sv/h}$ 'nin altında olması beklenmektedir (Şekil 10).

7. SONUÇ

Brakiterapi, hedef bölgeye yüksek dozda radyasyon uygulanarak etkili bir tedavi sağlar; ancak bu tedavi yönteminin güvenli ve etkin bir şekilde uygulanabilmesi, kapsamlı kalite kontrol programları gerektirmektedir.

Radyoaktif kaynakların kullanıldığı brakiterapi cihazlarında, tedavi doğruluğunu ve hasta güvenliğini sağlamak amacıyla günlük, üç aylık ve yıllık periyotlarla gerçekleştirilen kalite kontrol testleri kritik öneme sahiptir.[4,10]

Bu testler, cihazların doğru çalışmasını, doz hesaplamalarının hassasiyetini ve radyoaktif kaynakların doğru konumlandırılmasını garanti eder. Kalite kontrol süreçleri, uluslararası standartlar ve rehberler doğrultusunda cihazların güvenli ve doğru işleyişini sağlarken, hasta güvenliğini ve çevresel radyasyon güvenliğini de korur. Düzenli kontroller, sistem performansını izleyerek olası sapmaları zamanında tespit etmeyi ve tedavi doğruluğunu sürdürmeyi amaçlamaktadır.[11]

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

Çıkar Çatışması: Bildirilmemiştir.

Finansal Destek: Maddi destek alınmamıştır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

KAYNAKLAR

1. International Atomic Energy Agency. Setting up a radiotherapy programme: Clinical, medical physics, radiation protection and safety aspects. Vienna: IAEA; 2008.
2. Bidmead M, Briot E, Burger J, Ferreira I, Grusell E, Kirisits C, et al. A practical guide to quality control of brachytherapy equipment. ESTRO Booklet No. 8. Brussels: European Society for Therapeutic Radiology and Oncology; 2004.
3. Arslan G, Aydın G. Brakiterapide kalite temini. Turk Klin J Radiat Oncol Spec Top 2017;3(1):72-8.
4. International Atomic Energy Agency. Human health series PUB 1670 ISSN 2075-3772 no.30: Implementation of high dose rate brachytherapy in limited resource settings. Vienna: IAEA; 2015.
5. D'Amours M, Rivard MJ, Venselaar JL. Quality assurance and safety of high dose rate brachytherapy treatment planning systems. J Contemp Brachytherapy 2015;7(4):341-7.
6. Baltas D, Kolotas C, Geramani K. The physics of modern brachytherapy for oncology. Madison: Medical Physics Publishing; 2009.
7. Rivard MJ, Venselaar JL, Beaulieu L. The evolution of brachytherapy treatment planning. Med Phys 2004;31(6):1405-17.
8. International Commission on Radiation Units and Measurements. Dose and volume specification for reporting intracavitary therapy in gynecology. ICRU Report 38. Bethesda (MD): ICRU; 1985.
9. Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, Hanson WF, Leibel S, Morton R, et al. Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. Med Phys 1994;21(4):581-618.
10. Baltas D, Kolotas C, Geramani K. The physics of modern brachytherapy for oncology. Boca Raton (FL): CRC Press; 2007.
11. American Association of Physicists in Medicine. AAPM Report No. 140: Quality assurance for high dose rate brachytherapy. College Park (MD): AAPM; 2019.
12. International Atomic Energy Agency. Calibration of photon and beta ray sources used in brachytherapy. IAEA-TECDOC-1274. Vienna: IAEA; 2002.
13. International Atomic Energy Agency. Calibration of brachytherapy sources: Guidelines on standardized procedures for the calibration of brachytherapy sources at SSDs and hospitals. IAEA-TECDOC-1079. Vienna: IAEA; 1999.