

Tek Foton Emisyon Kompüterize Tomografi (SPECT) Gama Kameralar ve SPECT/BT Sistemleri için Kabul ve Kalite Kontrol Testleri

Acceptance and Quality Control Tests for the Single Photon Emission Computerized Tomography (SPECT) Gamma Cameras and SPECT/CT Systems

© Semra Dönmez¹, © Aslı Ayan¹, © Yasemin Parlak², © Bilal Kovan³, © Meral Hiçürkmez⁴, © F. Suna Kırac⁵, © Mustafa Demir⁶, © Türkay Toklu⁷, © Tuğba Hacıosmanoğlu¹, © İnci Alıç Özasan⁸, © Leyla Poyraz³, TNTD Radyasyon Güvenliği ve Kalite Kontrol Çalışma Grubu Üyeleri

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

²Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, Manisa, Türkiye

³İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

⁴Marmara Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

⁵TNTD Radyasyon Güvenliği ve Kalite Kontrol Çalışma Grubu Başkanı, İzmir, Türkiye

⁶İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

⁷Yeditepe Üniversitesi Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

⁸Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öz

Sintigrafik görüntüler kullanıcıdan bağımsız doğru klinik bilgilerin elde edilmesini sağlayarak hastalıkların tanısında önemli rol oynar. Ancak, görüntüleme sisteminin performansındaki değişimler ve/veya dışarıdan kaynaklanan nedenlerle istenilen kalitede görüntü elde edilemeyebilir. Yeterli kalitede olmayan görüntü klinik çalışmaların yorumlanmasını zorlaştıracaktır. Kalite Kontrol (KK) testleri, görüntü kalitesini olumsuz etkileyecek durumların sintigrafik görüntülemeye başlamadan önce ortaya çıkartılmasını ve gerekli düzeltici kalibrasyon ve teknik müdahalelerin yapılmasını sağlar. Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) gama kameralar marka ve modeline bağlı olarak KK testleri kısmi değişiklikler gösterse de, rutin olarak yapılması gereken testler vardır. Nükleer Tıp Kliniği'ne yeni kurulacak gama kameralar (planar ve SPECT) için kurulumdan sonra öncelikle "Kabul testleri" yapılmalıdır. Günlük sintigrafik

Abstract

Scintigraphic images play an important role in the diagnosis of diseases by providing accurate clinical information independent of the operator. However, the good quality image may not be obtained due to changes in the performance of the imaging system and/or external factors. A poor quality image will make difficult to interpretate clinical studies. Quality Control (QC) tests provide to reveal the conditions that will adversely affect the image quality before starting of scintigraphic imaging, and to make the necessary arrangements. Although QC tests show relative changes depending on the brand and model of gama camera, there are tests that must be done routinely. For gama cameras [planar and single photon emission computerized tomography (SPECT)] to be newly installed in the Nuclear Medicine Clinic, "Acceptance Tests" should be carried out after the installation. "Checks before clinical studies" before

Yazışma Adresi/Address for Correspondence

Prof. Dr. F. Suna Kırac, TNTD Radyasyon Güvenliği ve Kalite Kontrol Çalışma Grubu Başkanı, İzmir, Türkiye

Tel.: +90 542 515 26 35 E-posta: fskirac@yahoo.com ORCID ID: orcid.org/0000-0002-0441-4599

©Telif Hakkı 2020 Türkiye Nükleer Tıp Derneği / Nükleer Tıp Seminerleri, Galenos Yayınevi tarafından yayınlanmıştır.

çalışmalara başlamadan önce, "klinik incelemeler öncesinde kontroller" ve belirli periyotlarla (haftalık, aylık) rutin KK çalışmaları yapılmalıdır. Sonuçların güvenilir olması için standart ölçüm teknikleri kullanılmalıdır; en yaygın test National Electrical Manufacturers Association (NEMA) yöntemidir. SPECT tarayıcıların performans parametrelerini ölçme ve raporlamada tek tip ve tutarlı bir yöntem sağlayan NEMA NU 1-2018 Gama Kameraların Performans ölçümleri, SPECT/bilgisayarlı tomografi (BT) sistemleri için güncellemeler içermektedir. Detektörler için detektör karakterizasyonu ve görüntü kalitesi ölçümlerinin güncellemeleri iteratif rekonstrüksiyona uygun olarak yapılmıştır. Bu güncelleme hibrit SPECT/BT tarayıcıların BT ve SPECT bileşenlerinin birlikte çalışmasının KK testlerini de içermektedir. Son zamanlarda daha sık rastlanan semisolid detektörlü sistemlerin (CZT kristaller, vs.) KK ve kabul testleri de bu yeni yayınlanan belgeye göre yapılmalıdır. Bu kılavuzun amacı, planar ve SPECT gama kameralarda ve SPECT/BT sistemlerinde gerekli kabul ve referans testleri, rutin KK uygulamalarını tanımlamak ve uygulanmasını kolaylaştırmaktır.

Anahtar Kelimeler: SPECT gama kamera, SPECT/BT, kalite kontrol testleri

starting daily scintigraphic studies, and routine QC studies at certain periods (weekly, monthly) should be performed. Standard measurement techniques, the most common test National Electrical Manufacturers Association (NEMA) method, should be used to ensure reliable results. NEMA NU 1-2018 Gamma Cameras' Performance Measurements which provides a uniform and consistent method for measuring and reporting the performance parameters of SPECT scanners include updates for SPECT/computerized tomography (CT) systems. Updates of detector characterization and image quality measurements for detectors were made in accordance with iterative reconstruction. This update also includes QC tests for the interoperability of the CT and SPECT components of hybrid SPECT/CT systems. QC and acceptance tests of the systems with semisolid detectors (CZT crystals, etc) seen more frequent recently should be made according to this newly published document. The purpose of this guideline is to identify and facilitate the necessary acceptance and reference tests, routine QC applications on planar and SPECT gamma cameras, and SPECT/CT systems.

Keywords: SPECT gamma camera, SPECT/CT, quality control tests

Giriş

Yirmi birinci yüzyılda sağlık sistemi, kanıta dayalı sonuçların hasta güvenliği ve memnuniyeti ile birlikte hedeflenmesiyle "nicel kalite" üzerinde durulması bakımından önemli bir değişim geçirmektedir. Sintigrafik görüntüler kullanıcıdan bağımsız doğru klinik bilgilerin elde edilmesini sağlayarak hastalıkların tanısında önemli rol oynar. Ancak, görüntüleme sisteminin performansındaki değişimler ve/veya dışarıdan kaynaklanan etkilerle görüntü istenilen kalitede elde edilemeyebilir. Her tıbbi ürün kalitesini, performansını, etkililiğini, güvenliğini, güvenilirliğini, stabilitesini vb. doğrulamak için önceden belirlenmiş ve etkinlikleri saptanmış testlere tabi tutulmalıdır. Kalite kontrol (KK) testleri, görüntü kalitesini olumsuz etkileyecek durumların sintigrafik görüntülemeye başlamadan önce ortaya çıkartılmasını ve gerekli düzenlemelerin yapılmasını sağlar. Nükleer Tıp Kliniği'ne yeni kurulacak gama kameralar [planar ve tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi (SPECT) ve SPECT/BT sistemleri] için kurulumdan sonra öncelikle "Kabul testleri" yapılmalıdır. SPECT gama kameralar marka ve modeline bağlı olarak KK testleri kısmi değişiklikler gösterse de; asgari olarak

yapılması gereken testler (detektör enerji düzeltmeleri ve uzaysal bozulmaları, kolimatörlü ve kolimatörsüz üniformite testleri, enerji piki ayarları, foton çoğaltıcı tüp kazanç ayarları ve SPECT dönme merkezinin kontrol testleri gibi) vardır. Tüm SPECT gama kamera sistemleri üretildikten sonra sevkiyat öncesi fabrika çıkış testlerine tabi tutulurlar. Bu testler her üretici tarafından kendi sistemlerine uyarlanmış şekilde yapılmaktadır. Nükleer Tıp Kliniğine yeni kurulacak gama kameralar (planar ve SPECT) ve hibrit sistemler SPECT/BT için öncelikle kurulumdan sonra kabul testleri yapılmalıdır. Gama kamera sistemlerinin kuruldukları kliniklerde kullanım öncesi yapılması gereken kabul ve referans testleri ortaktır. Kurulumu yapılan cihazda günlük sintigrafik çalışmalara başlamadan önce, klinik incelemeler öncesinde kontroller ve belirli periyotlarla (haftalık, aylık) rutin KK çalışmaları yapılmalıdır. Sonuçların güvenilir olması için standart ölçüm teknikleri kullanılmalıdır; en yaygın test National Electrical Manufacturers Association (NEMA) yöntemidir (1,2,3,4,5,6,7).

SPECT gama kamera sistemleri, hem sintilasyon kamerasının hem de sistemin diğer tüm mekanik ve elektronik bileşenlerinin performansına dayanan sistemlerdir. Hasta etrafında 180-360° dönen bir veya

birden fazla detektörün hastadan yayılan ışınları detekte etmesi ve toplamasına dayalı görüntü elde edilen SPECT sistemlerinde temel görüntüleme prensibi, her bir dönme açısında elde edilen ardışık düzlemsel görüntülerin toplanmasıdır. Bu düzlemsel görüntüleme projeksiyon (yansı) görüntüleri denir. Verilerin, transaksiyal düzleme geri filtrelenmesiyle transaksiyal kesit görüntüleri oluşturulur. SPECT görüntüleme, Nükleer Tıp Klinikleri'nde yaygın olarak kullanılırken, KK'lar konusuna özel dikkat gerekmekte ve KK testlerini uygulayabilecek yetişmiş personele duyulan gereksinim de artmaktadır. Bu sistemlerin KK'ya özen gösterilmedikçe sistemden beklenen performans elde edilemeyecektir (1,2,3). SPECT tarayıcıların performans parametrelerini ölçmek ve raporlamak için tek tip ve tutarlı bir yöntem sağlayan NEMA NU 1-2018 Gama Kameraların Performans ölçümleri, hibrit SPECT/BT sistemleri için güncellemeler içermektedir (6). Detektörler için detektör karakterizasyonu ve görüntü kalitesi ölçümlerinin güncellemeleri iteratif rekonstrüksiyona uygun olarak yapılmıştır. Bu güncelleme hibrit SPECT/BT tarayıcıların BT ve SPECT bileşenlerinin birlikte çalışmasının KK testlerini de içermektedir. Son zamanlarda daha sık rastlanan semisolid detektörlü sistemlerin (CZT kristaller,

vs.) KK ve kabul testleri de bu yeni yayınlanan belgeye göre yapılmalıdır.

Amaç

Bu kılavuz, planar ve SPECT gama kameralarda ve SPECT/BT sistemlerinde gerekli kabul ve referans testleri, rutin KK uygulamalarını tanımlamak ve uygulanmasını kolaylaştırmak amacı ile hazırlanmıştır.

Gama Kamera Sistemleri için Kabul ve Kalite Kontrol Testleri

- 1) Nükleer Tıp Kliniği'ne yeni kurulacak gama kameralar (planar ve SPECT) ve hibrit sistemler (SPECT/BT) için kurulumdan sonra öncelikli olarak üretici firma tarafından verilen cihaza ait teknik özelliklerin kontrolü ve KK çalışmalarında kullanılacak referans değerlerin elde edilmesi amacıyla "Kabul Testleri" yapılmalıdır. Kabul testleri her 5 yılda bir NEMA tarafından yayınlanan kılavuzlara göre yapılmaktadır (6,7). NEMA testlerinin yapılabilmesi için, günümüzde her Nükleer Tıp Kliniği'nde bulunmayan bazı cihaz ve fantomlar gereklidir. Çok kanallı analizör (multi-channel analyzer-MCA), rezolüsyon ve linearite fantomu, faydalı görüş alanını (Useful field of view

Kılavuzda kullanılan tanımlamalar ve kısaltmalar

AAPM	American Association of Physicists in Medicine
ADC	Analog-sayısal dönüştürücü (Analog digital converter)
CFOV	Merkezi görüş alanı (Central field of view)
COR	Dönme merkezi (Center of rotation)
DHD	Detektör hassasiyet değişimi
EANM	European Association of Nuclear Medicine
EW	Enerji penceresi (Energy window)
FBP	Filtrelenmiş geri projeksiyon (Filtered back projection)
FWHM	Yarı değerindeki tam genişlik (Full width at half maximum)
IAEA	International Atomic Energy Agency
kBq/cm ³	Aktivite konsantrasyonu
KK	Kalite kontrol
LSF	Çizgi yayma fonksiyonu (Line spread function)
MCA	Çok kanallı analizör (Multi-channel analyzer)
MHD	Maksimum hassasiyet değişimi
NEMA	National Electrical Manufacturers Association
PHA	Puls yükseklik analizörü (Puls high analyzer)
PMT	Foton çoğaltıcı tüp (Photomultiplier tube)
UFOV	Faydalı görüş alanı (Useful field of view)

-UFOV) belirleyen kurşun çerçeve ve bir dizi bakır plakalara gereksinim vardır. Bu nedenle, American Association of Physicists in Medicine (AAPM) çok fazla gelişmiş test cihazı istemeyen analog yöntemleri sürmüştür (8). Bu testler her laboratuvarında kolaylıkla gerçekleştirilebilir (Tablo 1).

II) Kurulumu yapılan ve hasta görüntülemelerine başlanacak olan cihazda, günlük olarak “klinik incelemeler öncesinde kontroller” yapılmalıdır.

III) Günlük, haftalık, aylık, üç aylık, altı aylık ve yıllık “rutin KK testleri” yapılmalıdır (Tablo 1).

Tablo 1. SPECT gama kamera ve hibrit SPECT/BT sistemlerinde yapılması gereken testler ve bağımsız kuruluşlarca önerilen uygulama sıklıkları

SPECT	IAEA	AAPM	EANM	NEMA
Dönme merkezi	K+H/A	A*	K	H/A
Piksel boyutu	K+1/2Y			K +1/2Y
SPECT üniformitesi	K+1/2Y	K+Y		
Havadaki SPECT çözünürlüğü	K+1/2Y	K +Y	K	K +1/2Y
Saçılmalı SPECT çözünürlüğü	K+1/2Y	K +Y	K	*
SPECT görüntü kontrastı	K+1/2Y	K +Q		1/2Y
Kesit kalınlığı	K+1/2Y			
Sistem hacim hassasiyeti			K	
Dönme sırasındaki hassasiyet/üniformite	K			
Planar Test	IAEA	AAPM	EANM	NEMA
Pik	G		G	
Arka plan sayım hızı	G		G	
Düzlemsel üniformite	G	G	G	
Kolimatörsüz rezolüsyon ve linearite testi	K+1/2 Y	K+Y	K+1/2Y	K
Enerji rezolüsyon		K+Y	K	K
Sistem üniformite	K+1/2 Y			
Sistem rezolüsyon	K +W	K+H	K	K
Sistem planar sensitivite	K + 1/2 Y	K+Y		K
Sistem sayım hızı, saçılımlı				K
Tüm vücut sistem rezolüsyonu		K+Y*	K+Y	K
Tüm vücut tarama stabilitesi		*		
Kolimatör penetrasyonu ve saçılması				K
Kolimatör deliklerinin hizalarının kontrolü	K		*	
SPECT/BT	IAEA	AAPM	EANM	NEMA
SPECT/BT görüntü kalitesi		K+Q		K
SPECT/BT uzaysal kaydı		K+Y	A	K
BT				
BT numarası doğruluğu/doğrusallığı		G	K+A	
BT doz değerlendirme		K+Y		
BT görüntü kalitesi değerlendirme		G	G	

K: Kabul, G: Günlük, H: Haftalık, A: Aylık, Q: 3 ayda bir, 1/2Y: 6 ayda bir, Y: Yıllık, *: İsteğe bağlı, SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi, BT: Bilgisayarlı tomografi, IAEA: International Atomic Energy Agency, AAPM: American Association of Physicists in Medicine, EANM: European Association of Nuclear Medicine, NEMA: National Electrical Manufacturers Association

I) Kabul Testleri

Kabul testleri gama kamera sistemi kurulduktan hemen sonra nükleer tıp birim sorumlusu tarafından ilgili firma teknik elemanına yaptırılmalı ve kontrol listesi gözden geçirildikten sonra gama kamera teslim alınmalıdır. Kabul testlerinin sonuçları NEMA standartlarına göre değerlendirilir. Kabul testlerinin bazıları aynı zamanda periyodik testlerdir (Tablo 1) (1,2,3,4,5,6,7).

II) Klinik Kullanım Öncesinde Yapılacak Kontroller

Hasta görüntüleme çalışmaları başlamadan önce sistemlerin günlük olarak kontrollerinin yapılması görüntüleme kalitesi, sistemin düzgün çalışması, sistemdeki kayma, bozulma ve hasarların erken tespiti ve onarımı kadar, hasta güvenliği için de önemlidir.

1.0. Başlatma

Sistemin ilk çalıştırılması sırasında herhangi bir uyarı veya hata mesajı olmadan tamamlanması gereken günlük sıfırlama/başlatma prosedürü uygulanarak düzlemsel ve SPECT sintilasyon görüntüleme sisteminin başlatılması önerilir. Bu prosedürler tüm gama kamera sistemlerinde "start-up" fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. İdeal olarak tüm görüntüleme, sayma ve bilgisayar sistemleri dahil olmak üzere Nükleer Tıp Bölümü'ndeki tüm saatler, doğru aktivite yönetimi ve elde edilen verilerin kantitatif analizini sağlamak amacıyla günlük olarak senkronize edilmeli ve kontrol edilmelidir (5,7,8).

2.0. Görsel ve Fiziksel Muayene

Düzlemsel ve SPECT sintilasyon kameralarının görsel ve fiziksel muayenesi, özellikle görüntüleme kalitesini ve hasta veya personel güvenliğini tehlikeye atabilecek detektör kafaları ve kolimatörler başta olmak üzere dış donanım, mekanik veya elektrikli kusurlar, hasarlar saptanmalıdır. Herhangi bir eksiklik, daha önce görülmemiş darbe veya çatlaklar, kopmalar saptanırsa, sorunlar çözülene kadar görüntüleme sistemi kullanılmamalıdır (3,4).

3.0. Acil Durdurma Düğmeleri

Tüm tomografik sistemlerde, hastayı yaralayabilecek hareketi önlemek veya iptal etmek için bir acil durdurma düğmesi "emergency-stop" vardır. Kolimatörün hastaya teması durumunda tüm hareketi durduran bir dokunmatik yüzeyi varsa, günlük olarak ve her kolimatör değişikliğinden sonra bir dokunmatik yüzey testi yapılmalıdır. Acil durdurma düğmelerine basıldığında, tüm mekanik sistem hareketlerini kapatıp kapatmadığı kontrol edilmelidir (3,4).

4.0. Kolimatör Dokunmatik Pedleri

Kolimatör yüzünde basınca duyarlı hareketi durduran veya hastaya dokunduğunda detektörü hastadan otomatik olarak uzaklaştıran bir hasta güvenlik sistemi (her kolimatör önüne yerleştirilmiş ped) bulunur. Bu sistemlerin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir (collusion check) (3,4,5).

5.0. Enerji Spektrumunun Görsel Kontrolü

Güç kaynağındaki voltaj değişimleri, PMT'deki sapmalar, sıcaklık değişimi gibi etkenler fotopiki kaydırabilir. Gün içerisinde kullanılacak tüm radyonüklidlerin enerji fotopiklerinin doğrulanması için enerji penceresi (energy window-EW) ayarları her hastada kontrol edilmelidir (3,4).

6.0. Arka Plan Aktivitesinin Kontrolü

Yüksek düzeyde arka plan radyasyon varlığı görüntüleme sistemi yakınındaki radyofarmasötik uygulanmış hastalardan, zırhlanmamış radyasyon kaynaklarından ve kolimatör veya kristal yüzeyindeki radyoaktif bulaşandan kaynaklanmaktadır. Bulaşın tespit edilmesi için kolimatörlü veya kolimatörsüz, bir veya daha fazla EW'de arka plan sayımı yapılmalıdır. Normal arka plan düzeyi <200 sayım/sn olmalıdır (1,3,4).

7.0. SPECT Görüntülerinin Sine Modunda İncelenmesi

Tomografik görüntünün işlemlenmeden önce sinematik olarak izlenmesidir. Rotasyon eksenini boyunca hasta hareketini, görüş alanı içindeki zemin aktivite düzeyini, faydalı görüş alanı ile kamera performansındaki değişimleri ve dönme merkezi hatalarını ortaya çıkarır.

Sine görüntülerinde şüpheli bir durum görüldüğünde sinogram görüntüsü incelenir. Nesnenin etrafındaki açılarının yeniden oluşturulması için bazı sabit ofset değeri (örneğin X'in sabit değeri) için bir dizi projeksiyon çizgisinden oluşan bir görüntü olan sinogramlar, tomografik ham data görüntülerinin incelenmesi için dikkate alınmalıdır. Sinogram görüntüler, uzunlama hareketine kıyasla lateral harekete daha duyarlıdır (3).

III) Rutin Kalite Kontrol Testleri

International Atomic Energy Agency (IAEA), AAPM, European Association of Nuclear Medicine (EANM) ve NEMA gibi bağımsız kuruluşlar kabul ve kalite kontrol testleri için öneriler geliştirmiştir (1,2,4,6,7,8). Tablo 1'de SPECT gama kameralar ve SPECT/BT sistemlerinde yapılması gereken testler ve bağımsız kuruluşlarca önerilen uygulama sıklıkları tanımlanmıştır. Tabloda tanımlanan test prosedürleri bu kılavuzda sırasıyla açıklanmıştır. Gama kameralarda planar testler her bir detektör için ayrı ayrı yapılmalıdır. SPECT kabul

ve KK testleri, tek ya da çok başlı gama kameralar için yapılması gereken kabul ve KK testlerinden sonra yapılır. Hesaplamalar için kullanılan formüller bu kılavuzda ayrıntılı verilmemiştir. Ancak, bu formüllere verilen kaynaklardan ulaşılabilir.

1.0. Düzlemsel Homojenite (Üniformite)

1.1. Kolimatörsüz Homojenite Testi (İntrinsik, Günlük KK Testi): On beş-20 dakika süren ve günlük çalışmaları aksatmadan yapılan bir testtir. Sonuçlar nicel ve nitel olarak elde edilir. Kabul testi olarak yapıldığında elde edilen sonuçlar kameranın fabrika çıkışı değerleri ile kıyaslanır. Günlük olarak da yapılması gereken bu test, bir önceki çalışmalardan elde edilmiş geçerli sonuçlarla karşılaştırılır. Hasta görüntüleme işlemleri ancak bu testlerin sonuçları kontrol edildikten sonra başlayabilir. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (3,4,5,9).

Testin Yapılışı

1. Nokta kaynağın hazırlanması: Enjektör içerisinde hacmi 1 mL'den fazla olmayan 100-200 μ Ci Tc-99m 20.000 sayım/sn'den çok olmayacak şekilde ayarlanır.
2. Kolimatörü çıkarılmış olan detektör 180° ters çevrilir ve %75 UFOV sağlayacak 3 mm kalınlığındaki kurşun çerçeve kristal üzerine yerleştirilir.
3. Sintilasyon kristali ve foton çoğaltıcı tüplerin (Photomultiplier tube-PMT) eşit şekilde ışınlanabilmesi için, nokta kaynak detektör merkezinden geçen dik eksen üzerinde olacak şekilde faydalı görüş alanı (Useful field of view-UFOV) çapının 5 katı kadar yüksekliğe asılır; veya herhangi bir kaza olmaması için detektör yer zeminine dik olarak konumlandırılır ve UFOV çapının 5 katı kadar uzaklıkta karşısına yerleştirilir.
4. Puls yükseklik analizörü (Puls high analyzer-PHA) kullanılan izotopa uygun enerji seviyesinde olmalıdır (Tc-99m için 140 KeV). Enerji pencere genişliği %20 olarak ayarlanır.
5. Büyük görüş alanlı kameralar için en az 4 milyon, küçük görüş alanlı kameralar için en az 2 milyon sayım toplanır.
6. Elde edilen görüntülerin homojen olup olmadığı öncelikle görsel olarak kontrol edilmelidir. Her gün yapılan test bir önceki gün yapılan ile kıyaslanmalıdır.
7. Görüntülerin değerlendirilmesinde NEMA standartlarının önemli iki değeri vardır. Bunlar UFOV ya da bu alanın %75'ine denk gelen merkezi görüş alanına (central field of view- CFOV)

bağlı olan integral ve diferansiyel değerleridir. Homojenitenin değerlendirmesi için CFOV değeri esas alınır. Hata payı pratikte %5'ten, NEMA standartlarında ise %3,5'ten düşük olmalıdır.

Testin yapılmaması durumunda homojenitede oluşan bozukluk gözle ayırt edilebilen soğuk ya da sıcak alanlara sebep olur. Bu, SPECT görüntülerinde karşımıza halkasal (ring) artefaktlar olarak çıkar. Elde edilen görüntülerde bölgesel olarak geniş dalgalanmalar varsa test yeterli sayım yoğunluğuna ulaşılmadan sonlandırılmıştır. Test sonucunda UFOV ve CFOV integral ve diferansiyel değerlerinin NEMA standartları ile uyumlu olması beklenir.

1.2. Kolimatörlü Homojenite Testi (Ekstrinsik, Haftalık KK Testi): Kolimatör takılı durumda yapılması sistemin homojenitesinin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Hazır düzlemsel kaynak kullanımı testin yapılmasını kolaylaştırdığı gibi homojen yapıda olması nedeni ile güvenilirliğini de artıracaktır. Bu test için Tc-99m'nin enerjisine yakın enerjide olan Co-57 düzlemsel kaynak, günlük homojenite değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Co-57 düzlemsel kaynak bulunmayan merkezlerde 10 mCi Tc-99m ile doldurulabilir düzlemsel kaynak kullanılabilir. Test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,3,5,9).

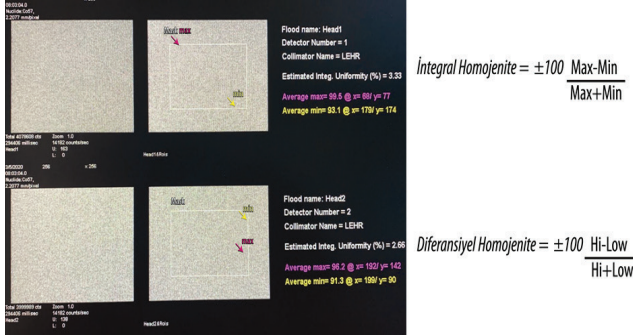
Testin Yapılışı

1. 10-20 mCi Co-57 düzlemsel kaynak, 180° ters çevrilmiş detektör üzerine konur.
2. Puls yükseklik analizörü kullanılan izotopa uygun enerji seviyesinde olmalı (Co-57 için 122 keV) ve pencere genişliği %20 olarak ayarlanmalıdır.
3. Büyük görüş alanlı kameralar için en az 4 milyon, küçük görüş alanlı kameralar için en az 2 milyon sayım toplanmalıdır.
4. Elde edilen görüntülerin homojen olup olmadığı öncelikle görsel olarak kontrol edilmeli ve her gün yapılan test bir önceki gün yapılan ile kıyaslanmalıdır.
5. Görüntülerin değerlendirilmesi kolimatörsüz homojenite testi gibidir (Şekil 1).

Integral ve diferansiyel homojenite değerlerinin < %3,5-5'ten büyük olması detektörün homojen olmadığı anlamına gelir.

2.0 Enerji Pik Ayarı (Günlük KK Testi)

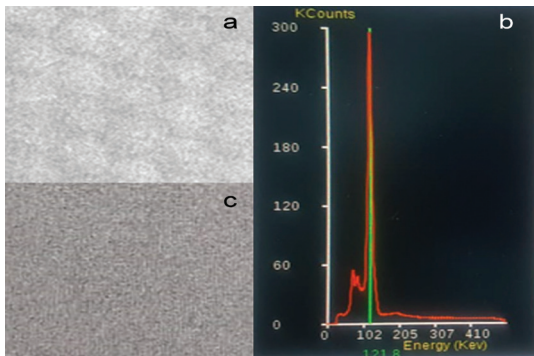
Pik noktası, bir enerji penceresini (energy window-EW) görüntülemeye kullanılan bir radyonüklidin gama veya X ışını emisyonunun tepe noktasının bulunması



Şekil 1. Günlük yapılan homojenite test görüntüsü

ve bunun cihaza tanıtılmasıdır. Enerji pik ayarı için, tüm detektörü muntazam bir foton akışına maruz bırakmak için detektörden en az 5 görüş alanına eşdeğer bir mesafede, yaklaşık 37 MBq/lık (1 mCi) bir nokta kaynak kullanılarak kolimatörsüz görüntüleme yapılır. Klinikte kullanılan radyonüklitlerin her biri için test yapılır. Tc-99m ve Co-57 için fotopik enerjisi $\leq \pm \%3$, diğer radyonüklitler için ise $\leq \pm \%5$ 'tir. Bu değerlerin dışında kalınması durumunda pik kaymasından söz edilir.

Bazı sistemlerde pik noktası otomatik olarak ayarlanabilirken, bazı gama kamera sistemlerinde enerji pencerelerinin manuel olarak konumlandırılması gerekir. Çoğu sistemde enerji spektrumu, enerji çizgileri ile dikey çizgiler olarak gösterilen enerjiye karşı sayımların bir histogramı olarak görüntülenir. Daha dar bir EW görüntü kalitesini artırırken, sayım toplama süresi uzar. Pik kaymışken elde edilen homojenite görüntülerinde PMT'lerin sınırları izlenir hale gelir (Şekil 2a). Pik ayarı yapıldığında bu görünüm ortadan kalkar (Şekil 2b-c). Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,2,3,4,5).



Şekil 2. a) Pik kaydığıında elde edilen homojenite görüntülerinde PMT sınırları izlenmektedir, b) Pik ayarı, c) Pik ayarı sonrası PMT'lerin sınırları izlenmez hale gelir ve homojen bir görüntü elde edilir

PMT: Foton çoğaltıcı tüp

3.0. Dönme Merkezi Testi (Kabul ve Haftalık/Aylık KK Testi)

Bu testte görüntü üzerinde detektörün mekanik COR ile bilgisayarın dijital merkezinin çakıştırılması amaçlanır. Detektörün rotasyonu yükseltici kazançları ve offset değerindeki değişimler, analog-sayısal dönüştürücüdeki (analog digital converter-ADC) sorunlar ve kolimatör/detektör düzlemi ile rotasyon eksenini arasındaki paralellik kaybı dönme merkezini (center of rotation-COR). Detektör yüzeyine düşen fotonlar ile elde edilen görüntüler birbiri ile uyum içinde olmalıdır. Detekte edilen veriler ile görüntüdeki veriler arasında bir yerleşim kayması varsa, bu kayma görüntülerde bulanıklık olarak ortaya çıkar. Bulanıklık etkisi arttıkça görüntülerde kontrast ve çözünürlük kaybı izlenir. Bu testin yapılma sıklığı her sistemin stabilitesine ve SPECT görüntüleme sisteminin kullanımına bağlı olarak değişmektedir. Kullandığınız sistemin üretici firması tarafından tanımlanmış test prosedürü varsa bu prosedürlere uygun test yapılması gerekir.

COR testi, her bir detektör ve SPECT için kullanılan bütün kolimatörler için rutin olarak tekrarlanmalıdır. Değişken açılı detektörlere sahip kameralarda üretici firma tarafından aksi bir durum belirtilmedikçe 90° ve 180° pozisyonlarda kontrol edilmelidir. Ayrıca, rutin SPECT çalışmalarında sine ve sinogram görüntülerinde şüpheli bir durum saptanırsa COR testi hemen yapılmalıdır. X ve Y-ekseni için ölçülen COR değeri <2 mm olmalıdır. Genel olarak, COR modern SPECT gama kamera sistemlerinde çok stabil bir parametredir (Şekil 3) (2,5,6,7,8).

Testin Yapılışı

1. Üretici firmanın önerdiği şekilde nokta veya çizgi Tc-99m kaynağı hazırlanır.
2. Kaynak, COR'nin X ekseninden en az 5 cm yana yerleştirilir (Şekil 3a-a').
3. Rotasyon yarıçapı 20 cm'ye ayarlanır.
4. %20 simetrik EW seçilerek, 360° rotasyonda 32 projeksiyon ve projeksiyon başına en az 10.000 sayım toplanmalıdır.
5. Bilgisayardaki hazır yazılım programı kullanılarak COR değeri hesaplanır. Her sistem COR verilerini analiz etmek için özel bir yazılıma sahip olmakla beraber, genellikle detektör açısına karşı nokta kaynak merkezinin Y-ekseni grafiğini de göstermektedir. Bu, düz bir çizgi şeklinde olmalıdır. Diğer yandan detektör açısına bağlı X-ekseni merkezinin benzer resmi bir sinüs eğrisi vermelidir. Bütün açılarda bu eğri ve doğru

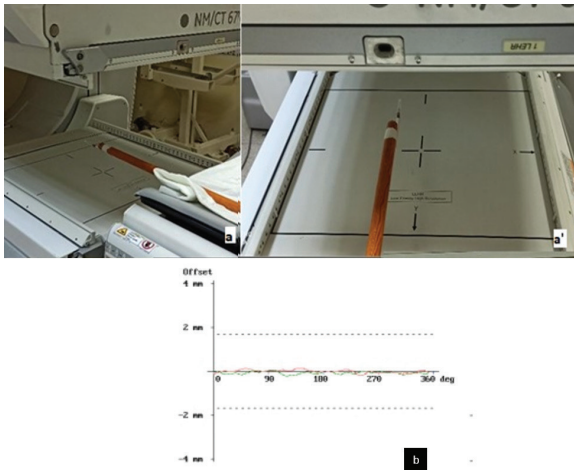
üzerindeki sapmalar saptanmalıdır. Üretici firmanın önermiş olduğu COR referans değerleri ile bulunan değerler arasındaki sapma değeri kontrol edilir (Şekil 3b).

4.0. Piksel Boyutu (Kabul ve 6 Aylık KK Testi)

Piksel terimi gama kameralarda planar görüntülemesindeki matris hücrelerini tanımlarken, SPECT görüntülemesinde üçüncü bir boyutun katılmasıyla voksel terimi karşımıza çıkmaktadır. Voksel boyutunun ölçülmesi foton azalımı (atenüasyon) algoritmasının hatasız kullanımı için şarttır ($e^{-\mu x}$ ifadesinde x büyüklüğünün doğru saptanması gereklidir). Görüntüde nümerik değerlendirmelerin yapılabilmesi, oblik eksen dönüştürmeleri (transaksiyel kesitlerden diğer yöndeki kesitlerin elde edilmesi) için piksel boyutlarının bilinmesi gerekir. Birçok sistemde bu değer bilgisayar hafızasında her matris boyutu için yazılım aşamasında belirlenmiştir. Ancak, ADC kazancı ve PMT ayarlarına bağlı olarak, zaman içerisinde bu değerden sapmalar olabilir. Bu nedenle belirli aralıklarla ölçülmesi gerekir (1,3,5,6,7).

Testin Yapılışı

1. İki nokta kaynak (Aktivite düzeyleri arasında %10'dan fazla fark olmamalıdır) ayırma gücü yüksek kolimatör üzerine belirli bir mesafede yerleştirilmelidir. Bu mesafe yaklaşık 15-25 cm olmalı; ancak tam değeri kesinlikle ölçülmelidir.
2. En büyük matris seçeneğinde (en küçük piksel boyutunda) planar olarak yaklaşık 100.000 sayım



Şekil 3. a-a') SPECT kameralar için dönme merkezi (COR) testi uygulaması. Nokta kaynağın düşük hacim ve yüksek spesifik aktivitede olmasına dikkat edilmelidir, b) COR testi normal sonuç grafiği

SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi

COR: Dönme merkezi (Center of rotation)

toplanmalı ve görüntüde sayım-mesafe profilleri çizilmelidir.

3. Profillerin tepe noktaları arasındaki piksel sayıları saptanarak her pikselin ne kadar mm'ye karşı geldiği bulunmalıdır.
4. İşlem diğer eksen için tekrarlanmalı ve elde edilen sonuçların farkı birbirinden %5'ten fazla olmamalıdır.
5. Klinik uygulamalarda kullanılan tüm büyütme faktörleri için işlem tekrarlanmalıdır. Nokta kaynak görüntülerinin artan büyütme faktörü ile görüş alanı dışına çıkmadığından emin olunmalıdır.

5.0. SPECT Homojenite (Üniformite) Testi (Kabul ve 6 Aylık KK Testi)

Amaç: Dönen sintilasyon kamera SPECT sisteminin tomografik homojenliğinin test edilmesi amaçlanır. Bu test planar homojenite testi ardından yapılmaktadır. Tüm kamera homojenite düzeltme kalibrasyon prosedürleri doğru bir şekilde gerçekleştirilmiş olmalıdır. Test için kullanılacak tomografik homojenite fantomu, aktivitenin iyi karıştığından emin olarak yaklaşık 200-400 MBq (5-10 mCi) Tc-99m ile doldurulur. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır. Kullandığınız sistemin üretici firması tarafından tanımlanmış test prosedürü varsa bu prosedürlere uygun test yapılması gerekir (1,2,3,5,6).

Testin Yapılışı

1. Fantom, merkezi dönme ekseninin en az 2 cm yakınında, dönme merkezine mümkün olduğunca yakın olacak şekilde yerleştirilir.
2. Fantomun merkezi eksenini dönme eksenine paralel olmalıdır.
3. Rutinde kullanılan bir matris boyutu (64 × 64 ve/veya 128 × 128) dairesel bir yörünge kullanarak klinik olarak kullanılan açılarda tomografik bir görüntüleme ayarlanır. Kesit başına yaklaşık bir milyon sayım toplayarak standart tomografik çekim gerçekleştirilir. Genel olarak bu çekim sonucunda 10 cm uzunluğunda bir fantom için toplam 15 milyon sayım veya 64 açılı bir görüntülemeye açısal pozisyon başına yaklaşık 240.000 sayım elde edilmiş olmaktadır.
4. Üretici tarafından tavsiye edildiği gibi homojenite düzeltmesi yapılır.*
5. Veriler bir rampa filtreye yeniden yapılandırılır.*
6. Üretici tarafından belirtilen yöntemi kullanarak atenüasyon ve saçılma düzeltmesi yapılır.*
7. Elde edilen fantom görüntüleri çeşitli transaksiyel konumlarda incelenir.

(*Normal şartlarda modern SPECT gama kamera sistemlerinde homojenite, atenüasyon ve saçılma açısından tomografik çekimin hemen ardından görüntü işleme sırasında otomatik olarak gerçekleştirilmektedir).

SPECT için planar homojenite %4'ten daha iyi olmalıdır. Bununla birlikte NEMA integral üniformite indeksi üniformite düzeltmesinden sonra %6'dan daha kötü ise, kameranın yeniden ayarlanması gerekir. Kabul sırasında ölçülen değerler, konvansiyonel düzlemsel tek düzelik için elde edilen değerlerle karşılaştırılır. Özellikle dikey (Y) eksen boyunca ya da ona yakın düzlemsel tek düzelikteki varyasyonlar çok önemlidir ve kabul edilebilirlik sınırları çok daha sıkı olmalıdır. Geniş aralıklı kalın halkaların varlığı kameranın homojenitesindeki değişikliklerin göstergesidir. Genellikle birbirine yakın olan dar (ince) halkalar kamera-bilgisayar ara yüzündeki veya herhangi bir üniformite düzeltme donanımının dijital kısmındaki hataların bir göstergesidir. Soğuk veya sıcak nokta tam olarak dönme merkezine karşılık gelen noktada görülebilir ve dönme ekseninin izdüşümü boyunca homojenlikte bir problemi temsil eder. Elde edilen sonuçlar kabul edilebilir bir performansı gösteriyorsa onaylanır. Performansın bozuk olduğu saptanırsa teknik servise haber verilir.

6.0. Sistem Çözünürlüğü (Kabul ve 6 Aylık KK Testi)

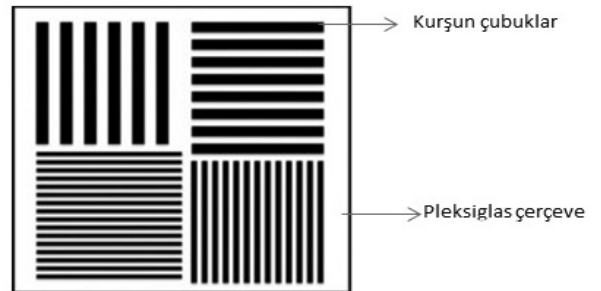
SPECT sisteminin uzaysal çözünürlüğünü, linogram fonksiyonunu foto pikin yarı değerindeki tam genişlik (Full width at half maximum-FWHM) açısından görsel olarak test edilmesidir. Bu testte kullanılacak bar fantomu gama kameranın uzaysal çözünürlüğüyle eşleşmelidir. Çubuk genişliğinin bir kadrandan diğerine artışları uzaysal çözünürlüğün uygun şekilde saptanabilmesi için küçük olmalıdır. Bar fantomun (Şekil 4) gama kameranın satın alınma sürecine dahil edilmesi önerilir. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,2,3,5,6,7,9).

Testin Yapılışı

1. Enjektör içinde 20-40 MBq (0,5-1 mCi) Tc-99m veya aynı aktivitede hazır Co-57 nokta kaynak kullanılır.
2. Bu testte kullanılan bar fantomun çubuk genişlikleri yaklaşık 4, 6, 8 ve 10 mm olmalıdır.
3. Kolimatör çıkartılır.
4. Kurşun/pleksiglas plaka kristalin merkezine yerleştirilir.
5. Kaynak, kaynak tutucuya monte edilir.
6. Üreticinin varsayılan PHA'da fotopikin ortalandığı kontrol edilir.

7. Bar fantom detektör üzerine yerleştirilir. Çubuklar detektör yüzünün X ve Y-eksenleriyle dikkatlice hizalanır.
8. Mevcut en büyük matris boyutunda 60.000 sayımda bir görüntü alınır ve kaydedilir. Bar fantom 90° döndürülerek, 60.000 sayımlık görüntü tekrarlanır. Bu işlem 360° için toplamda dört kez yapılır.
9. Fantom ters çevrilir ve her bir çeyrekte yukarıda tariflendiği gibi tekrarlanır. Bu şekilde fantom alt üst edilerek toplamda 8 görüntü elde edilecektir.
10. Kaynak, bar fantom ve kurşun/pleksiglas plaka çıkarılır. Kolimatör değiştirilir.
11. Her çeyrek görüntüdeki çubukların genişlikleri hassas bir şekilde ölçülür ve formüldeki B değeri elde edilir.
12. Sintilasyon kamerasının X ve Y yönlerinde çözebileceği en küçük çubuk genişlikleri ve çubukların birbirine eşit uzaklıkta, tam ve düzgün olarak görüntülenip görüntülenmediği görsel olarak kontrol edilir.
13. X ve Y yönlerindeki gerçek uzaysal çözünürlükleri, ilişkiyi kullanarak çizgi yayma fonksiyonunun (Line spread function- LSF) yarı değerdeki tam genişlik cinsinden hesaplanır (FWHM= 1,75B).
14. X ve Y yönlerindeki değerlerin ortalaması alınır.

Kabul Edilebilirlik Sınırları: FWHM değeri için, üreticinin en kötü durum değerinin %20 veya daha üstünde bir kabul testi sonucu elde edildiğinde üretici firmadan bu hatayı düzeltici eylemin başlatılması sağlanmalıdır. FWHM'nin ortalama değeri referans değerinin %10'u veya daha yüksekse veya UFOV içindeki alanlar uzaysal çözünürlüğün önemli ölçüde kötüleştiğini gösteriyorsa, rutin testlerden sonra takip eylemi başlatılmalıdır.



Şekil 4. Bar fantomlar gama kameraların görüş alanını (FOV) kaplayacak boyutta olmalıdır
FOV: Görüş alanı (Field of view)

6.1. Havada SPECT Çözünürlüğü (Kabul ve 6 Aylık KK Testi)

Amaç: Bu testte sistemin havadaki tomografik çözünürlüğünü ölçmek ve yeniden yapılanma sürecinin tomografik olarak bozulmamasını sağlamak amaçlanmaktadır. COR'yi doğrulayan en iyi test olarak kabul edilmektedir. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,2,3,5,6,8).

Testin Yapılışı

1. Düşük aktivitede yaklaşık 37 MBq (1 mCi) Tc-99m içeren nokta kaynak kullanılmaktadır.
2. Nokta kaynak, görüş alanının ortasına yakın, dönme merkezinin 1 cm yakınında havaya yerleştirilir.
3. Dönüş yarıçapı yaklaşık 15 cm olacak şekilde, dairesel bir dönüş yörüngesi ayarlanır.
4. Görüntüleme başına yaklaşık 10.000 sayım toplayarak, matris boyutu ve klinik olarak kullanılan açısı sayısında bir tomografik çekim gerçekleştirilir.
5. Ramp filtresi veya sistemin izin vereceği en sıkı filtre kullanılarak filtrelenmiş geri projeksiyon (Filtered back projection-FBP) ile veriler yeniden yapılandırılır.
6. Tomografik yakalama ile aynı yakalama matrisi boyutu vb. kullanılarak, detektör başlangıç konumundayken normal bir planar görüntüleme yapılır.
7. Nokta kaynak eksenden yaklaşık 8 cm uzakta olacak şekilde yerleştirilerek yukarıdaki adımlar tekrarlanır.
8. Nokta kaynak döndürme eksenine yerleştirilmiş ancak dönüş alanının kenarına yakın (+ Ymaks ve -Ymaks'a yakın) olacak şekilde adımlar tekrar edilir.
9. Yeniden yapılandırılan görüntüdeki nokta kaynağının görüntüsü aracılığıyla bir profil çizilir ve FWHM hem yatay hem de dikey yönde hesaplanır. Başlangıç konumunda elde edilen planar görüntü üzerinde FWHM yatay yönde ölçülür.

Kolimatöre, rekonstrüksiyon filtresine ve dönme yarı çapına bağlı olarak FWHM için çeşitli değerler elde edilebilir. Düzlemsel görünümde ölçülen FWHM'den %10'dan daha fazla fark olmamalıdır. Farkın %10'dan fazla olması durumunda COR kalibrasyonu yeniden yapılmalıdır. Yeniden kalibrasyona rağmen devam eden %10'dan büyük farklılık varsa sistemin tekrar ayarlanması gerekir.

6.2. Saçılmalı SPECT Çözünürlüğü (Kabul ve 6 Aylık KK Testi)

Amaç: Sistemin tomografik çözünürlüğünü klinik koşullarda, yani gerçekçi ve dağılmış bir dönüş yarıçapıyla kontrol etmek amaçlanır. Rezolüsyon fantomunun merkezindeki kuyucuk yüksek spesifik aktivitede Tc-99m ile doldurulur; ya da NEMA fantomu istenen çapı 1 mm olan üç çizgisel kaynak fantoma yerleştirilerek, fantom su ile doldurulur. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,2,3,5,6,8).

Testin Yapılışı

1. Fantom dönüş merkezinin 2 cm içine ve görüş alanının merkezine yakın bir yere yerleştirilir.
2. Dönme yarıçapı yaklaşık 15 cm olacak şekilde ayarlanır.
3. Havadaki tomografik çözünürlük testinde yapılan test basamakları tekrarlanır.

Çözünürlük değeri, saçıcı ortam olmaksızın (havada çözünürlük) yapılan testteki değerden daha kötü bulunacaktır. Bununla birlikte bu değer, aynı ölçüm koşulları altında tekrarlandığında aynı kalmalıdır.

Bu testin sonuçları kötü iken, havadaki çözünürlük testi iyi değerler verirse EW kontrol edilmelidir.

7.0. SPECT Görüntü Kontrastı (Kabul, 6 Aylık KK testi)

Tomografik kontrast, bir sistemin küçük lezyonların saptanması açısından ne kadar iyi performans gösterdiğinin önemli bir göstergesidir. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,2,3,5,6,8).

Testin Yapılışı

1. Çapı bilinen, sistem uzaysal çözünürlüğünden çok daha büyük çapta küre fantom içerisine homojen aktivite konur.
2. Rekonstrüksiyondan sonra, görüntüde izlenen küre içi (Vbgd) ve dışı (Vsph) piksel boyutu ölçülerek kontrast hesaplanır.

Tomografik kontrast, küçük lezyonların saptanabilirliğinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Sistemin birçok farklı özelliğinden, özellikle enerji çözünürlüğünden, saçılımın katkısından ve rekonstrüksiyonda kullanılan filtreden etkilenir.

8.0. Kesit Kalınlığı (Kabul ve 6 Aylık KK Testi)

Bir transaksiyel kesitin kalınlığı, sistemin dönüş ekseninden, dönme eksenine bilinen mesafeye yerleştirilen bir nokta kaynağa tepkisinden ölçülen FWHM olarak tanımlanır. Transaksiyel kesit kalınlığı

pozisyona göre değişir. Esas olarak dönme eksenini boyunca ve dönme ekseninden 10 cm uzakta bilinen bazı radyal mesafelerde kesit kalınlığı dikkate alınmalıdır. Kesit kalınlığının önemi, bu rekonstrüksiyon için sistemin Z-ekseni boyunca uzaysal çözünürlüğün tanımlanması nedeniyledir. Yaklaşık 3 piksellik bir rekonstrüksiyon kalınlığı, sintilasyon kamerasının dokuda karşılık gelen derinlikte uzaysal çözünürlüğe benzer bir çözünürlüğü ifade eder. Sistemin Z çözünürlüğü (vokseli), rekonstrüksiyonda kullanılan rekonstrüksiyon kalınlığı ile çarpılan bir pikselin boyutuna karşılık gelmez. Örneğin, piksel boyutu 3 mm ve yeniden oluşturma kalınlığı 1 (bir) piksel ise, kesit kalınlığının 10-20 mm civarında olmasıdır. Bununla birlikte, rekonstrüksiyon kalınlığı çok daha büyük hale geldiğinde, örneğin 3 mm pikseller için >5 piksel olduğunda, rekonstrüksiyon kalınlığı baskın olmaya başlar ve kesit kalınlığını büyük ölçüde belirler. Kesit kalınlığı rekonstrüksiyon kalınlığına bağlıdır. Ancak, rutinde kesit kalınlığı rekonstrüksiyon kalınlığından neredeyse bağımsız olacak şekilde bir piksellik rekonstrüksiyon kalınlığı için ölçülmektedir (1,2,3,6).

9.0. Sistem Hacim Hassasiyeti (Kabul Testi)

Aksiyel yönde, her cm uzunluk için hacim hassasiyetinin ölçülmesidir. NEMA fantomu kullanılır (3,4,6).

Testin Yapılışı

1. Aktivite konsantrasyonu (kBq/cm^3) T_i zamanı için belirlenmelidir (aktivite değeri fantom hacmine bölünerek).
2. Dönme yarıçapı 15 cm'ye ayarlanarak 360° için 120 projeksiyon toplanır. Her projeksiyon için 100.000 ± 20.000 sayım toplanır.
3. 360° için geçen süre saptanmalıdır.
4. Homojenite düzeltilmesi kullanılmamalıdır.
5. Tüm projeksiyon görüntülerindeki sayımlar ölçülerek toplanmalı ve böylece toplam sürede detekte edilen sayımlar bulunmalıdır.

Sistem Toplam Hassasiyeti (STH) = A (sayım/sn) / B (MBq/cm^3)

Bu formülde;

A: Tüm projeksiyon görüntülerinden ölçülen toplam sayım ve süreden bulunur.

B: Ölçüm sonucunda azalma göre düzeltilmiş aktivite değeridir.

Her aksiyel cm için Hacim Hassasiyeti (AHH) = AHH = STH/Uzunluk formülü ile hesaplanır.

6. Ölçümler her kolimatör için tekrarlanır.

9.1. Detektörlerin Hassasiyet Değişiminin Karşılaştırması

Birden fazla detektör içeren SPECT gama kamera sistemlerinde detektörler arasındaki rölatif hassasiyetin (DHD) bulunmasıdır. NEMA fantomu kullanılır. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,2,3,6).

Testin Yapılışı

1. Her detektör için 360° boyunca en az 30 projeksiyon toplanır ve projeksiyonlarda herhangi bir homojenite düzeltilmesi yapılmamalıdır.
2. Her detektör için tüm projeksiyon görüntüleri toplanarak toplam görüntü elde edilir. C_i : Toplam, görüntüsündeki toplam sayıdır.

$$DHD = 100 \times (C_{\max} - C_{\min}) / C_{\max}$$

Bu formülde, C_{\max} ve C_{\min} , C_i görüntülerindeki maksimum ve minimum sayımlardır.

3. Birden fazla detektör için maksimum yüzde hassasiyet farkı verilmelidir.

9.2. Hassasiyet ve Homojenitenin Açığa Bağlı Değişimi

Detektörün dönme hareketine bağlı olarak homojenite ve hassasiyette olabilecek değişimler bu test yardımı ile saptanabilir. Manyetik alan ya da harici radyoaktif kaynakların varlığı bu değişimlere neden olabilir (1,2,3,6).

Testin Yapılışı

1. Co-57 disk kaynağı kolimatör üzerine takılmalıdır.
2. Piksel boyutu 20 mm^2 olacak şekilde matris boyutu seçilmelidir.
3. Her pikselde en az 50.000 sayım toplanmalıdır.
4. Beş farklı açıda homojenite görüntüleri elde edilmelidir (0, 90, 180, 270 ve 360° derece). 0 derecedeki görüntü için geçen süre ölçülmeli ve diğer görüntüler toplam bu sürede alınmalıdır.
5. Maksimum hassasiyet değişimi (MHD), her görüntüdeki toplam sayım (C) bulunarak hesaplanır.

$$MHD = \%100 (C_{\max} - C_{\min}) / (C_{\max} + C_{\min})$$

10.0. Dönme Sırasındaki Hassasiyet/Üniformite (Kabul Testi)

Birçok SPECT gama kamera görüntüleme sisteminde üniformite düzeltilmeleri, detektör başı yukarıya bakacak şekilde düzlemsel görüntüler ile elde edilmektedir. Daha sonra bu düzeltme haritaları bütün rotasyon (dönme) açılarındaki görüntülere otomatik olarak yansıtılmaktadır. Foton çoğaltıcı tüpler sıcaklığa duyarlı olduğu için

detektör içinde elektronik sistemler tarafından yaratılan ısı onların karakteristiklerini değiştirebilir.

Rotasyon açısıyla üniformite içindeki değişimlerin diğer bir nedeni de PMT'ler ile kristal arasındaki optik bağlantının zayıflamasıdır. Bu durumda PMT'lerin belirli açılarda hafifçe ayrılması üniformitede önemli bir değişime neden olabilir. Ayrıca, PMT'ler dünyanın manyetik alanına karşı da oldukça duyarlıdır. Detektörün her bir rotasyonunda manyetik alan etkisiyle üniformite etkilenecektir. Bu sorun, zırhlanması yeterli olmayan eski tip SPECT sistemlerinde daha çok ortaya çıkmaktadır (1,2,3,6).

Rotasyonel üniformitenin değerlendirilmesi,

1. Co-57 düzlemsel kaynak detektör yüzeyine konur.
2. 360° rotasyonda ve yüksek sayım tomografik görüntüleme yapılır. Yeterli sayım elde etmek için veri toplama çok zaman alabilir. Bu nedenle, bu test mesai saatleri dışında yapılmalıdır.
3. Rotasyonel üniformite yılda bir kez ve ayrıca önemli tamirler veya önemli müdahalelerden sonra tekrarlanmalıdır.

11.0. Diğer Testler

Tablo 1'de tanımlanan testlerin dışında önerilen diğer bir test, toplam performans testidir. Bu testin uygun ekipmanın bulunması halinde sistem performansının kontrolü amacı ile aylık olarak uygulanması önerilmektedir.

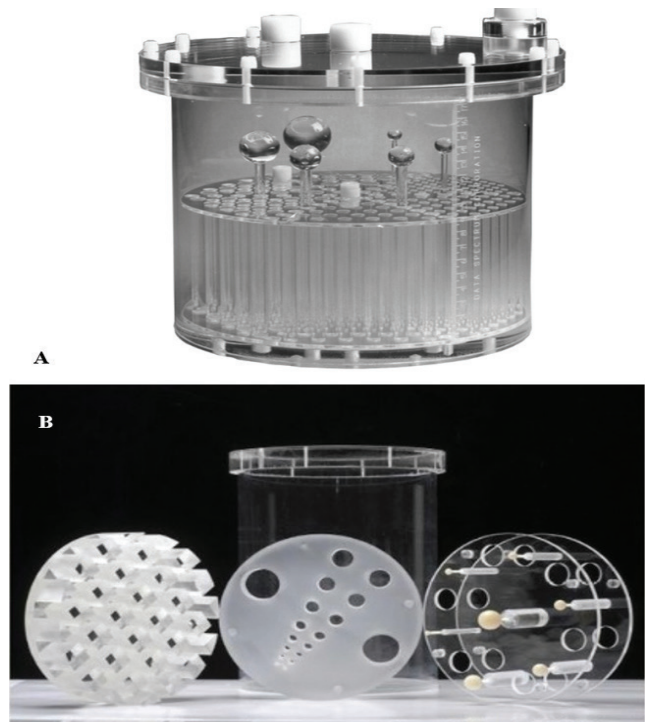
Kalite kontrol çalışmalarında farklı amaçlara hizmet eden farklı fantomlar tasarlanmıştır. Bu fantomlardan biri olan "Toplam performans fantomu" SPECT gama kamera görüntüleme sistemlerinin en iyi performans özelliklerini kontrol etmek için kullanılır. Ancak, yüksek sayımlara ve uzun zamana ihtiyaç duyar. Klinik durumları taklit etmek ve görüntüleme sisteminin bu gibi durumlarda nasıl performans gösterdiğini göstermek için başka fantomlar da kullanılmaktadır. Sistem performansının KK testinde kullanılan silindirik fantomlar, farklı şekiller, boyutlar, iç yapılar, ekler ve diğer fiziksel özelliklere sahip olan ve farklı radyonüklit içeren çözeltilerle doldurulabilir pleksiglas tanklardır. Sistem performans testleri sırasında değerlendirilebilecek görüntü kalitesi parametreleri tomografik üniformite, kontrast, çözünürlük, atenuasyon, gürültü, doğrusalılık ve lezyon saptanmasıdır. Deneysel fantomlar dışında ticari olarak temin edilebilen iki silindirik tomografik fantom örneği Jaszczak fantomu ve Carlson fantomudur (Şekil 5).

Toplam performans fantom çalışmaları önemli koruyucu, düzeltici bakım ve yükseltmelerden sonra veya

araştırma faaliyetleri yürütülürken SPECT gama kamera sistem donanımı ve yazılımının performans özelliklerini değerlendirmek için de yararlıdır. Sistem performansının tümünün değerlendirilmesi yukarıda belirtilen uygun bir tomografi fantomunun görüntülenmesi ile mümkün olmaktadır. Aşağıdaki test basamakları Jaszczak fantomu için sıralanmıştır. Bu test her bir detektör için ayrı ayrı yapılır (1,2,3,4,5,6,9).

Testin Yapılışı

1. Jaszczak SPECT total performans fantomu yaklaşık 740 MBq (20 mCi) Tc-99m ile doldurulur. Aktivitenin homojen dağılımı sağlanmalıdır. Hava kabarcığı kalmamalı ya da varsa az miktarda olmalı ve görüntüyü bozmayacak yerde bulunmalıdır.
2. SPECT görüntüleme için kullanılmak istenen kolimatör takılır. 140 keV %20 EW seçilir.
3. Fantom, detektörler arasına yerleştirilir (Şekil 6a'). Sayım hızı <20.000 sayım/sn olmalıdır.
4. Fantom, detektör görüş alanı dışına çıkmamalıdır.
5. 128x128 matriste 128 görüntü veya 64 x 64 matriste 64 görüntü alınır. Görüntü başına 1 milyon sayım alınmalıdır.
6. SPECT işlemede kullanılan filtreler kullanılır. Kesit kalınlığı seçilir ve üniformite düzeltme



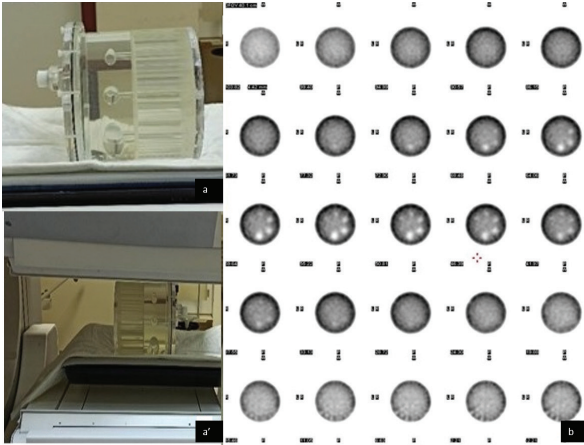
Şekil 5. A) Jaszczak fantomu, B) Carlson fantomu

faktörü kullanılır. Üniformite düzeltme faktörü kullanmadan da işleme yapılarak fark saptanır.

7. Önerilen atenüasyon katsayısı, genellikle $0,12/\text{cm}^{-1}$ kullanılır.
8. Görsel olarak halkasal artefaktlar ve üniformite düzeltmesinin ne kadar başarılı olduğu, kaç santimetreye kadar lezyonların saptanabildiği, atenüasyon düzeltmesinin yeterliliği değerlendirilir (Şekil 6b).

Sonuç

Bu kılavuzda günümüzde sayıları giderek artan Nükleer Tıp Merkezleri ve dolayısıyla artan gama kameraların (planar, SPECT, SPECT/BT sistemleri) görüntü alma ve işleme yeteneklerinin korunması için kliniğe ilk girişten itibaren yapılması veya yapılması sağlanacak olan kabul ve günlük çalıştırma protokolü olmak üzere periyodik olarak uygulanması gereken KK testleri özetlenmiştir. Bu testler ve testlerde kullanılması önerilen ekipmanlar bağımsız kuruluşların yayınladığı kılavuzlarda detaylandırılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formüllere kaynak yayınlardan ulaşılabilir. Yeni ve modern sistemler yukarıda tanımlanan testler dışında testler ve uygulamalara ihtiyaç duyabilirler. Bu nedenle yukarıda özetlenen geleneksel ve yapımı kolay testler dışında, cihaz üretici firma tarafından uygulanması istenen farklı testler veya değiştirilmiş prosedürlerin



Şekil 6. a-a') Çift detektörlü gama kamerada Jaszczak fantomu çalışması, b) Jaszczak fantomu ile alınan SPECT görüntüsünün transaksiyel kesitleri

SPECT: Tek foton emisyon bilgisayarlı tomografi

varlığı halinde bu testlerin de uygulama ajandasına eklenmesi ve kayıtlarının tutulması gama kamera sisteminin yaşam süresini uzatacaktır. SPECT tarayıcıların performans parametrelerini ölçmek ve raporlamak için tek tip ve tutarlı bir yöntem sağlayan NEMA NU 1-2018 Gama Kameralarının Performans Ölçümleri, SPECT/BT sistemleri için güncellemeler içermektedir. Detektörler için detektör karakterizasyonu ölçümü ve görüntü kalitesi ölçümleri iterativ rekonstrüksiyona uygun olarak güncellenmiştir. Bu güncelleme hibrit SPECT/BT tarayıcıların SPECT ve BT bileşenlerinin birlikte çalışmasının KK testlerini de içermektedir. Son zamanlarda daha sık rastlanan semisolid detektörlü sistemlerin (CZT kristaller, vs.) KK ve kabul testleri de bu yeni yayınlanan belgeye göre yapılmalıdır. Böylece görüntüleme sistemi performansındaki değişimler saptanacak ve istenilen kalitede görüntü elde edilmesi mümkün olacaktır.

Kaynaklar

1. International Atomic Energy Agency, SPECT/CT Atlas of Quality Control and Image Artefacts. Human Health Series No. 36, IAEA, Vienna, 2019.
2. International Atomic Energy Agency, Quality Assurance for SPECT Systems. Human Health Series No. 6, IAEA, Vienna, 2009.
3. Bor D. Nükleer Tıp Sayısal Görüntüleme Yöntemleri, 2009, Bilim Yayın Evi, Ankara.
4. Camoni L, Rep S, Santos A, Attard M. Quality Control of Nuclear Medicine Instrumentation and Protocol Standardisation. Eanm Technologist's Guide, 2017.
5. Değer M, Demir M, İnce M, et al. Kalite Kontrol, Enstrümantasyon ve Radyasyon Güvenliği Komitesi Yönergesi. Turk J Nucl Med 2004;13:86-101.
6. NEMA Standards Publication NU 1-2018 Performance Measurements of Gamma Cameras. National Electrical Manufacturers Association, Virginia, 2019.
7. NEMA Standard Publication NU 1-2012. Performance measurements of gamma cameras. National Electrical Manufacturers Association, 2013.
8. American Association of Physicists in Medicine-Nuclear Medicine Committee Scintillation Camera Acceptance Testing and Performance Evaluation. AAPM Report No. 6. American Institute of Physics, AIP Publishing, One Physics Ellipse College Park, MD 20740. 1980. https://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_06.pdf Erişim Tarihi: 11.08.2020.
9. Halama JR. QC Protocols Gamma Camera & SPECT Systems, <https://www.aapm.org/meetings/amos2/pdf/35-9798-70158-156.pdf> Erişim Tarihi: 03 Mart 2020.