

Gama Kameraların Kalite Kontrol Testleri

Duygu Tunçman^{1,*}, Bilal Kovan², Leyla Poyraz², Veli Çapalı³, Bayram Demir¹, Cüneyt Türkmen²

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 34134, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, İstanbul Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı, 34134, İstanbul, Türkiye

³ Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen ve Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

*Yazışılan yazar e-posta: duygutuncman@gmail.com

Alınış: 17 Mart 2015, Kabul: 01 Nisan 2015

Özet: Nükleer tıbbın amacı hastalıkların teşhisi ve tedavisidir. Nükleer tıptaki rutin bir görüntüleme işleminde radyonüklidler kullanılır. Radyonüklidler organa özel bir kimyasal bileşik ile radyofarmasötik form oluşturulmak üzere birleştirilir. Bu radyofarmasötikler hasta vücuduna enjeksiyon, yutma veya soluma yolu ile verilir. Radyofarmasötüğün radyoaktif kısmı gama ışınları yayar ve bu ışınlar gama kamera tarafından dedekte edilir. Böylece anormal fizyolojik ve metabolik faaliyetler hedef organlarda tespit edilir. Gama kamera görüntü kalitesi düzenli kalite kontrol testlerine sıkı şekilde bağlıdır. Görüntü kalitesini etkileyen homojenite, rezolüsyon, kolimasyon gibi birçok faktör vardır. Gama kameraların performanslarını kontrol etmek için yapılan testlerde National Electrical Manufacturers Association (NEMA) standartları uygulanır. Bu çalışmada bölümümüzdeki gama kameranın günlük, haftalık ve aylık kalite kontrol testleri yapılmıştır. NEMA standartlarına göre yapılan kalite kontrol testleri uygun sonuçlar vermiştir.

Anahtar kelimeler: Gama kamera, NEMA, kalite kontrol test

Quality Control Tests of Gamma Cameras

Abstract: The purpose of nuclear medicine is diagnosis and treatment of diseases. Radionuclides are used in a routine imaging procedures of nuclear medicine. Radionuclides are combined with a chemical compound specified to related organ to form a radiopharmaceutical. These radiopharmaceuticals are introduced into patient's body by injection, swallowing or inhalation. The radioactive part of radiopharmaceutical emits gamma radiations and these gamma rays are detected by a gamma camera. Thus, the abnormal physiological and metabolic activities are detected in target organs. The gamma camera image quality is strictly dependent on regular quality control tests. There are a lot of numbers of factors that contribute to the image quality such as uniformity, resolution and collimation. For the performance checking of the gamma cameras, the National Electrical Manufacturers Association (NEMA) standards are applied. In this study, daily, weekly and monthly quality control tests of gamma camera installed in our department were performed. Performed quality control tests according to NEMA standards yielded acceptable results.

Key words: Gamma camera, NEMA, quality control test

1. Giriş

Organların metabolik ve fizyolojik olarak görüntülenmesinin getirdiği ihtiyaçtan dolayı X-ışınları yardımıyla röntgen görüntüleme tekniği yetersiz kalmaya başlamış, bunu üzerine radyonüklid görüntüleme çalışmaları başlatılmıştır. 1940'lı yılların sonlarında gama ışınlarının sintilasyon dedektörleri aracılığı ile tespiti saplanmış ve ilk gama kamera çalışmaları bu yıllarda başlamıştır. Bu sebeple gama kameralar sintilasyon kameraları olarak da bilinmektedir. Hal Anger 1950 -1960'li yılları arasında sintilasyon dedektörleri ile yaptığı çalışmalar sonucunda 1958 yılında 10 cm çaplı, 6 mm kalınlıkta ve talyum katkılı sodyum iyodür (NaI(Tl)) kristalinden yapılmış gama kamera yapmayı başarmıştır. Bu gama kameraların birkaç yıl içerisinde geliştirilmiş modelleri ticari

olarak satışa sunulmuştur. Günümüzde de Hal Anger'in orijinal gama kamera tasarımı korunmakla birlikte teknolojik olarak daha büyük çaplı ve daha hassas yapılı gama kameralar nükleer tıp kliniklerinde kullanılmaktadır [1].

Yukarıda bahsedilen nükleer tıpta görüntüleme amacıyla kullanılan en önemli öğelerden biri gama ışını yayan bir radyoizotoptur. Gama ışını yayan radyoizotopun (^{99m}Tc , ^{131}I gibi) görüntüleme amacına uygun bir biyomolekülle birleştirildikten sonra radyofarmasötik formda hastaya damar veya ağız yoluyla verilmesinin ardından verilen bu radyofarmasötik hedef organda toplanır. Organdan yayınlanan gama ışınları kolimatör tarafından yönlendirilerek NaI(Tl) kristaline düşürülür. NaI(Tl) kristallerinin üzerine düşen fotonların enerjisi ile doğru orantılı olarak kristalden sintilasyon fotonları yayınlanır. Yayınlanan sintilasyon fotonları ışık yönlendirici tabaka aracılığı ile Foton Çoğaltıcı Tüp (Photo-Multiplier Tube, PMT) girişindeki fotokatoda çarparak burada elektron kopmasına sebep olur. Kopan elektronlar PMT içinde bulunan dinodlar arasındaki yüksek voltajın etkisiyle hızlandırılarak bir sonraki dinoda çarptırılırlar ve sayıları arttırılır. Ardından elektronlar PMT çıkışındaki anotta toplanır. Yani böylece organdan yayınlanan gama fotonları kristalde sintilasyon fotonlarına ardından da PMT içinden geçerek elektrik sinyallerine dönüştürülmüş olur. Gama kameralarda kristal çapına bağlı olarak 50-100 arası PMT kullanılmaktadır. Kristalden PMTye aktarılan sinyaller yüksek kapasiteli bir bilgisayar hafızasında toplanarak daha sonra ekranda hasta görüntüsü haline getirilmektedir [1].

Nükleer tıpta hastalıkların doğru teşhisinin sağlanması görüntüleme kullanılan dedektör sistemlerinin yani görüntüleme cihazlarının doğru çalışmasına bağlıdır. Bu sebeple cihazların günlük, haftalık veya aylık kalite kontrol testlerinin yetkili sağlık fizikçileri tarafından düzenli olarak yapılması gerekmektedir. Gama kameralarda uygulanan kontrol testleri sayesinde hastaya verilen radyofarmasötik dağılımın doğru şekilde görüntülenmesi sağlanır. Bunun için cihaza uygulanan her bir kalite kontrol testi sonrasında test sonuçları kayıt edilip bir önceki test sonucu ile karşılaştırılmalıdır. Testlerin amacı tüm farklı marka gama kameralar için aynı iken değişen gama kamera markasına bağlı olarak testlerde kullanılan radyoaktif madde, radyoaktif maddenin dozu, kalite kontrol esnasında cihaza olan uzaklığı gibi ölçütler değişiklik gösterebilir. Kalite kontrol testlerinde National Electrical Manufacturers Association (NEMA), gama kamera için hangi kalite kontrol testlerinin ne sıklıkta ve ne şekilde yapılması gerektiğini belirleyip belli bir standart oluşturan bir kuruluştur [2].

Çalışmamızda İstanbul Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Ana Bilim Dalı'nda bulunan Mediso (Budapeşte, Macaristan) marka gama kamera üzerinde gerçekleştirdiğimiz rutin kalite kontrol testleri hakkında bilgi verilmiş ve periyodik test sonuçları birbiriyle kıyaslanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Background Aktivite Testi

Zemin aktivite testi olarak da adlandırılan bu test, ortamdaki radyoaktivite kirliliği ve cihazdaki elektronik gürültü fazlalığını saptamak için ortamda herhangi bir radyoaktif kaynak yokken yapılır. Background aktivite testi kolimatör çıkarılarak yapılan bir

testtir. Cihazdan kolimatör çıkarıldığı için NaI(Tl) kristali çeşitli tür darbelere açık bir konumda olduğundan dolayı bu test ve diğer kolimatörsüz yapılan tüm testlerde geri dönüşü olmayan hasarlar bırakmamak için çok dikkatli olunmalıdır. Hastane ortamında herhangi bir bölgedeki radyoaktif maddenin varlığı çekimler esnasında kalibrasyonu bozarak teşhis konulacak lezyon görüntüleri üzerinde soğuk veya sıcak alanlarasebep olabilir. Hastanede rutin gama kamera çekim işlemlerinin yapılması için normal Background düzeyi 10 saniyede <250 – 300 sayım aralığında olmalıdır [2,3,4].

2.2. Enerji Spektrumunun Görsel Kontrolü Testi

Hasta görüntülemeye alınmadan önce mutlaka yapılması gereken bir testtir. Bu sebeple de günlük testler içerisinde incelenir. Test kolimatörsüz yapıldığından dolayı kullanılan kaynağın aktivitesi de düşük olur. Enerji spektrumunun görsel kontrolü testinde, ^{99m}Tc gama enerji pikinin enerjisi olan 140 keV ile uyumlu olması gerekir. Eğer enerji piki radyonüklid piki ile uyuşmuyorsa alınan planar görüntülerde PMT tüplerinin lezyon etrafında sıcak veya soğuk alanlar şeklinde belirginleştiği görülür. Bu da homojeniteyi bozar. Eğer yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı enerji spektrumunda pik 140 keV'in altında oluşursa, sayım istatistiği fazla alınmıştır ve lezyon etrafında sıcak alanlar oluşur. Yani PMT'ler parlak görünür. Eğer 140 keV'in üstünde bir değer oluşursa bunun anlamı da sayım istatistiğinin az olduğudur ve lezyon etrafında bu defa soğuk alanlar oluşur. Yani PMT'ler soluk gözüktür. Elektronik sapmalar ve güç kaynağındaki kararsızlık enerji pikinin 140 keV'in altına veya üstünde değerlere kaymasına neden olur. Bu testle enerji pik kaymasını ve enerji ayırt etme kaybını tespit etmiş oluruz. ^{99m}Tc dışında kullanılan diğer radyonüklidler için de ayrıca enerji penceresi ayarları kontrol edilmelidir. Çünkü her bir radyonüklidin gama enerjisi farklıdır. Bu testlerin yapılma sıklığı kameranın özellikleri ve farklı radyonüklidlerin kullanımına göre belirlenebilir [2,3,4].

Bu test için, dedektör gantry açısı 90⁰ getirilerek noktasal kaynağın konulacağı duvara paralel şekilde konumlandırılır. İşlem kolimatörsüz yapıldığından dolayı sayımı 20.000'den düşük olan 175 µCi 'lik bir ^{99m}Tc nokta kaynak Faydalı Görüş Alanı (Useful Field of View – UFOV) çapının en az 5 katı mesafe ilerisine konumlandırılır. Testi yapılan gama kameranın UFOV çapı 30 cm'dir. Testte ^{99m}Tc noktasal kaynak 250 cm mesafeye yerleştirildi.

2.3. İntrensek homojenite testi

Hasta görüntülemelerine başlamadan önce mutlaka yapılması gereken bir testidir. Sayım miktarı veya süreye bağlı olarak günlük, haftalık ve aylık testler içerisinde incelenir. Bu test, Enerji Spektrumunun Görsel Kontrolü Testinindüzenegi kullanılarak yapılabilir. Test kolimatörsüz yapılır. Dedektör, gantry açısı 90⁰ ye getirilerek noktasal kaynağın konulacağı duvara paralel şekilde konumlandırılır. Sayım sayısı 20.000'den düşük 150-200 µCi ^{99m}Tc nokta kaynak dedektör çapının en az 5 katı mesafeye konulur. Görüntülerin değerlendirilmesinde NEMA standartlarının önemli iki değeri vardır. UFOVya da bu alanın %75 ine karşılık olan merkezi görüş alanına (Central Field of View-CFOV) bağlı olan integral ve diferansiyel değerleridir. Homojenite için hata payı pratikte %5 den, NEMA standartlarında ise % 3,5 dan düşük olması gerekmektedir. Bu testin yapılmaması durumunda homojenitede oluşan bozukluk gözle ayırt edilebilen

D. Tunçman vd.

soğuk ya da sıcak alanlara sebep olur. Bu, Tek Foton Emisyon Tomografi (Single Photon Emission Tomography-SPECT) görüntülerinde karşımıza ring artefaktları olarak çıkar [4].Eğer görüntülerde bölgesel olarak geniş dalgalanmalar varsa bunun anlamı yeterli sayım yoğunluğuna ulaşılmadan görüntülemenin bitirilmiş olduğudur. Test sonucunda UFOV ve CFOV integral ve diferansiyel değerlerinin NEMA standartları ile uyumlu olması beklenir.

2.4.COR (Center of Rotation) Testi

Testin amacı görüntüler üzerinde gama kameranın mekanik dönme merkezi ile bilgisayarın görüntü merkezini çakıştırmaktır. SPECT işleminde projeksiyon görüntüleri hasta etrafında kamera başının dairesel dönüşü ile toplanır. Her bir projeksiyonda alınan foton bilgileri sayısal verilere çevrilerek bilgisayarın görüntü matrisine kayıt edilir. Kamerada dedektör üzerine düşen fotonların, görüntü matrisindeki yerleşimi birbiri ile uyumlu olmalıdır. Eğer uyumsuzluk söz konusu olursa görüntüde çakışma olmayacağından bu kayma görüntülerde bulanıklık olarak karşımıza çıkar. Bulanıklık etkisi arttıkça da görüntülerde kontrast ve rezolüsyon kayıpları oluşur. Bu unsurlar da görüntü kalitesini düşürerek sintigrafik ayrımı zorlaştırır. Hastanede hangi açılarda SPECT görüntüleri alınıyorsa test o açılarda tekrarlanmalıdır. 102 ve 180 derecelerde görüntü alındığından dolayı yaptığımız testler de bu açılarda yapıldı [5,6] .

COR testi diğer 3 testten farklı olarak kolimatör kullanılarak yapılır. Kolimatör kullanıldığından, kaynağın aktivitesi de diğer testlere göre yüksek olur. 1,5mCi ^{99m}Tc nokta kaynak kullanılır ve kaynak rotasyon açısı boyunca görüntü alanı içerisinde olmalıdır. Bu sebeple kaynak, dedektörün görüş alanı ile merkezi arasındaki tam orta noktaya yerleştirilerek test gerçekleştirilir. Gantrynin hiçbir şeye dokunmaksızın kaynak etrafında dönmeye dikkat edilmelidir. Test haftalık yapılmalıdır [2,3,4].

Kamera başının kaynak etrafında dönüşü sırasında yatay ve düşey doğrultularda sapma miktarları belirlenerek yatay ve düşey doğrultulardaki sapsmalar 0,5 piksellik değişim göstermelidir ve 40 cm'lik görüş alanı göz önüne alındığında bu sapma 2 mm'yi geçmemelidir.

2.5. Rezolüsyon ve Lineerite Testi

Rezolüsyon (Uzaysal Ayırt Etme Gücü), barların görülebilirliği ile alakalıdır. Bu testte amaç gama kameranın eşit aktivitede olduğu varsayılan birbirine en yakın iki kaynağı ayırt edebilme kapasitesinin kontrol edilmesidir. Test bar fantom kullanılarak yapılır. Kullanılan bar fantom dört ayrı rezolüsyon bölgesinden oluşur ve her bir rezolüsyon bölgesi farklı kalınlıkta bar aralığına sahiptir. En küçük barların gözle ayırt edilebildiği durumlar klinik görüntüleme için uygundur. En küçük bar aralığı da yaklaşık olarak 3 mm'dir.

Lineerite, barların düzgünlüğü ile alakalıdır. Foton çoğaltıcı tüplerin kayması sonucu lineerite bozulur. Lineeritenin bozulması durumunda fantomdaki barların paralelliginde bozukluklar meydana gelir. Barlarda dalgalanmalar meydana gelebilir.

Bu testte, işlem kolimatörsüz yapılır. Dedektör üzerine bar fantom yerleştirilir. Kolimatör kullanmadığımız için $0,5-1 \mu\text{Ci}^{99\text{m}}\text{Tc}$ nokta kaynak kullanılır. 512×512 matriste 10 milyon sayım alınır. Detektörün her bölümündeki uzaysal ayırt etme gücünün kontrolü için bar fantom 90° döndürülerek görüntü alınır. Elde edilen görüntüler görsel olarak değerlendirilir. Uzaysal ayırt etme gücü ve lineeritenin bozulması durumunda fantomda bulunan barların paralelliği bozularak barlarda dalgalanma gözlemlenebilir. Bu test haftalık olarak uygulanır [2,3,4].

3. Bulgular ve Tartışma

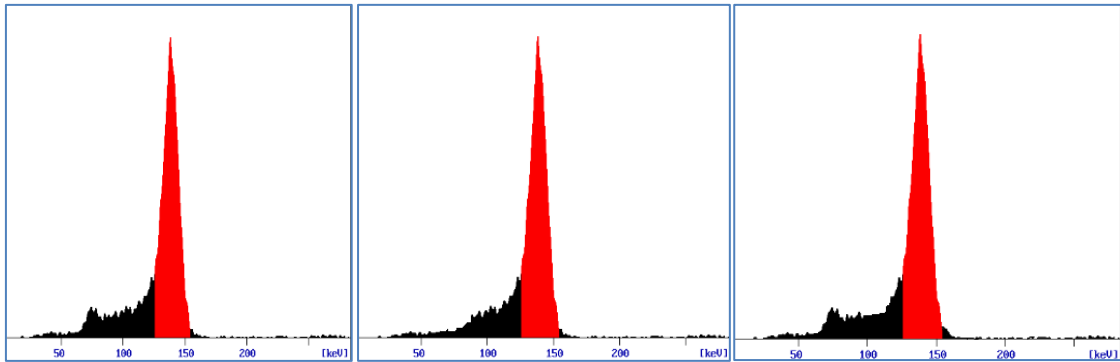
Gama kamerada testler belirtilen zaman aralıklarında periyodik olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler kameranın her iki kafası (dedektör) için ayrı ayrı yapılmış olup bu yazıda sadece 1. kafa için alınan ölçüm sonuçları verilmiştir.

3.1. Background Aktivite Testi

Beş gün boyunca yapılan background aktivite testlerinde sırasıyla günlük olarak 212, 223, 220, 235, 240 sayım/10 saniye değerleri gama kamerada aktivite yok iken tespit edilmiştir. Bu değerler NEMA tarafından müsaade edilen değer olan 250-300 sayım/ 10 saniye değerinin altında olduğundan ortamda herhangi bir kontaminasyon olmadığı sonucuna varılmış olup odanın hasta çekimi yapılmasına uygun olduğuna karar verilmiştir.

3.2. Enerji Pikiinin Görsel Kontrolü Testi

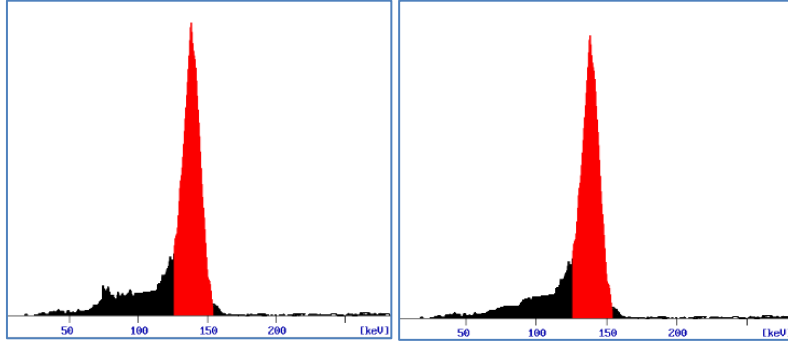
Enerji pikiinin görsel kontrolü testinin periyodik olarak yapılması lezyon görüntülerindeki homojenite açısından oldukça önemlidir. Testlerin düzenli yapılması durumunda bilgisayar ekranında tespit edilen enerji piki ile kullanılan noktasal kaynağın enerji piki birbiriyle uyumlu olur. Böylece lezyonda veya lezyon etrafında PMT'ler parlak veya soluk olarak gözükmez. Aşağıda günlük olarak yapılan test sonuçları verilmiştir.



1.Gün

2.Gün

3.Gün



4.Gün

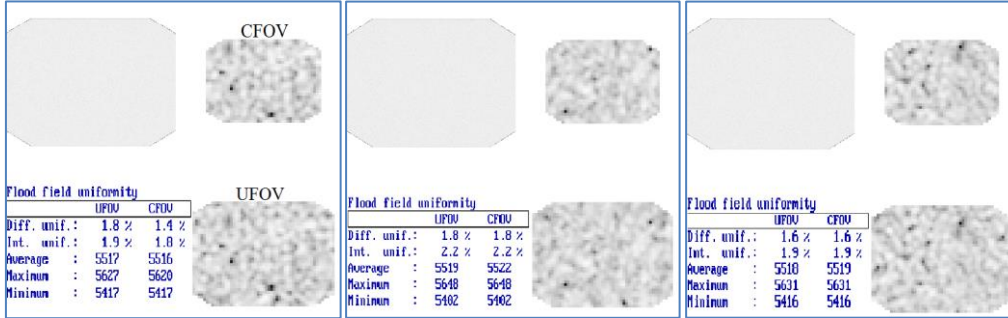
5.Gün

Şekil 1. Her bir güne ait enerji pikinin görsel kontrolü testi

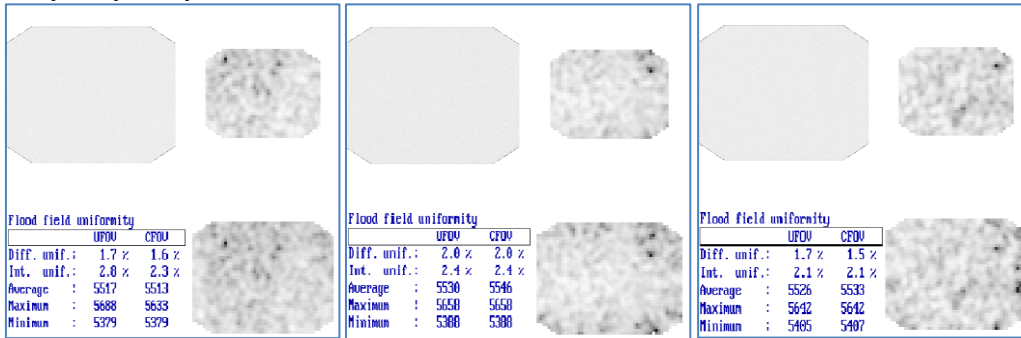
Testler sonucunda kullanılan her güne ait test değerleri ^{99m}Tc kaynağının gama enerjisi olan 140 keV ile oluşan enerji pikinin enerjileri uyum göstermiştir.

3.3. İntrensek Homojenite Testi

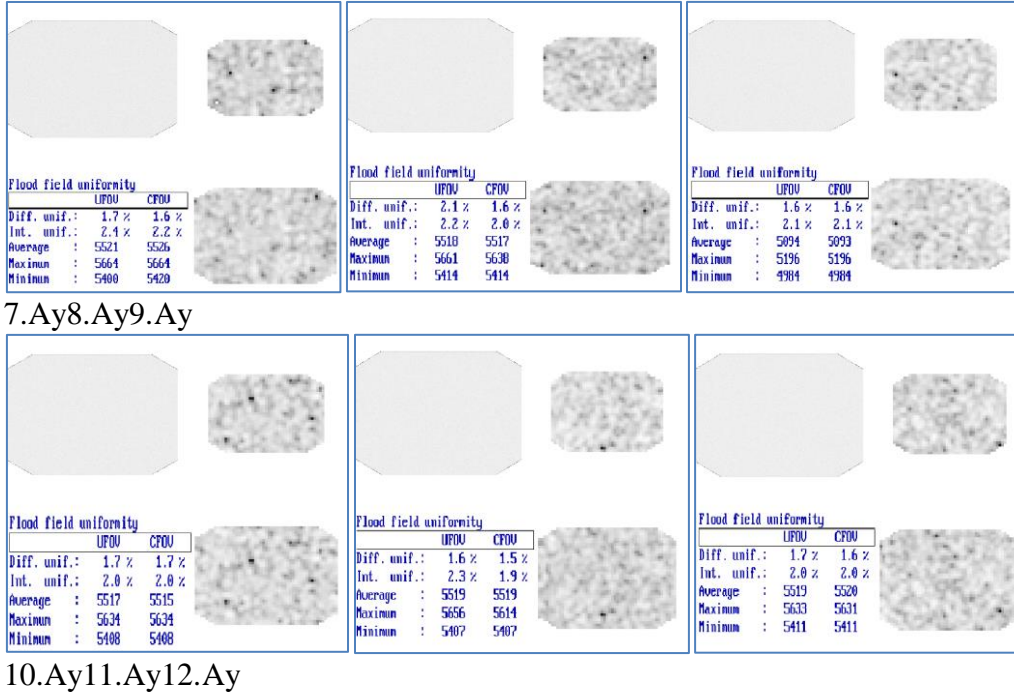
İntrensek homojenite testi günlük, haftalık ve aylık olarak incelenmektedir. Aylık test sonuçları aşağıda verilmiştir.



1.Ay2.Ay 3.Ay



4.Ay5.Ay6.Ay



Şekil 2. Bir yıllık intrinsek homojenite test sonuçları

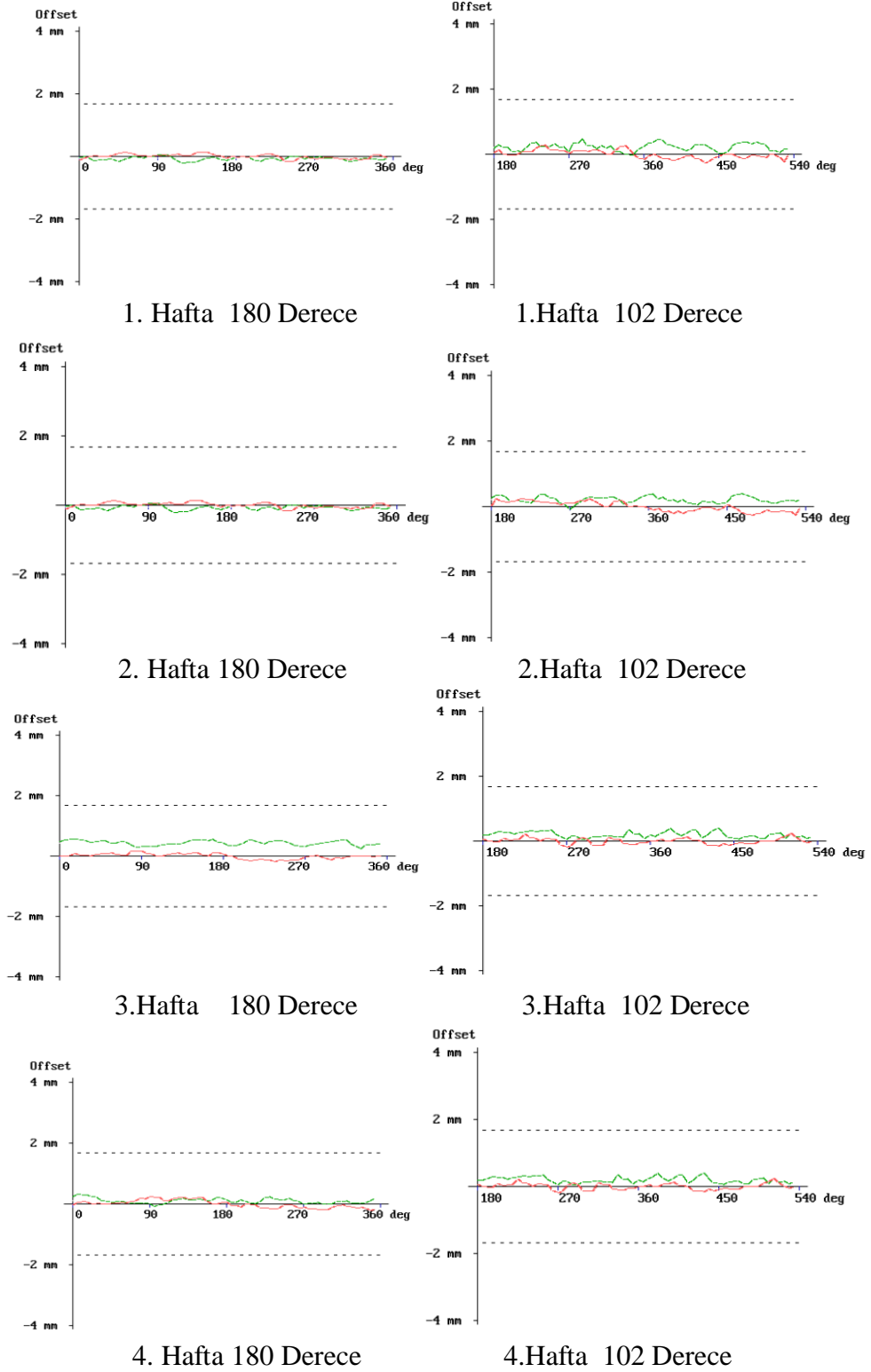
NEMA standartlarına göre intrinsek homojenite testinin geçerli sonuçlar verebilmesi için faydalı görüş alanı (UFOV) veya faydalı görüş alanının yüzde 75'ine karşılık gelen merkezi görüş alanı (CFOV) içerisindeki homojenite hatalarının %3,5'dan düşük olmalıdır. Pratik olarak da UFOV ve CFOV değerlerinin %5'ten düşük olması gerekmektedir.

Aylık olarak yapılan testler sonucunda aldığımız değerleri kriterlere göre incelediğimizde herhangi bir hasarlı sonuç gözlenmemektedir. Genel olarak, değerler NEMA hata payı olan %3,5'in oldukça altındadır. Bir yıllık yapılan aylık testlerde UFOV değerinde görülen maksimum hata Nisan ayında %2,8 olarak tespit edilmiştir. CFOV değerinde ise görülen maksimum hata Mayıs ayında %2,4 olarak tespit edilmiştir.

3.4. COR (Central of Rotation) Testi

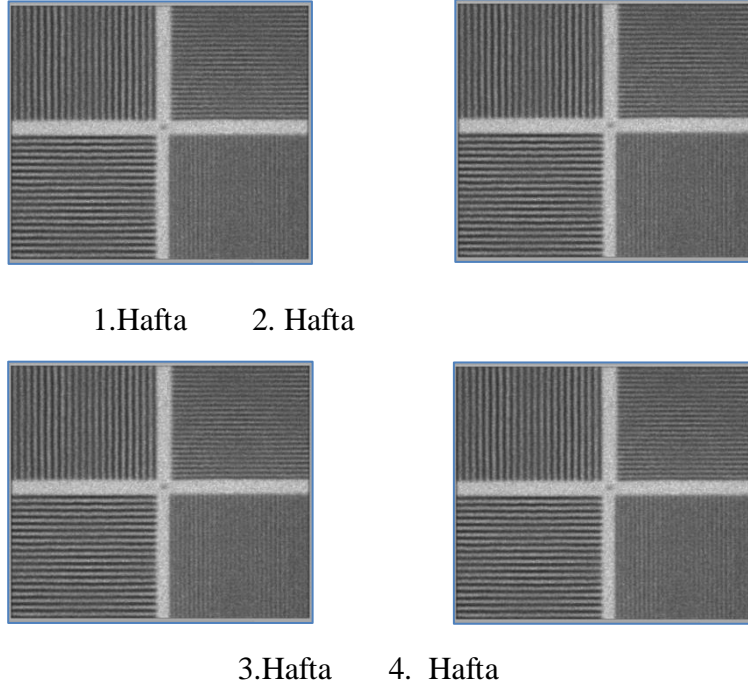
COR testinde amaç bilgisayar ekranındaki görüntülerde gama kameranın mekanik dönme merkezi ile bilgisayarın görüntü merkezini karşılaştırmaktır. Bu da ancak eksenlerde oluşacak kaymaların belli standartlar içerisinde konumlandırılması ile mümkün olur. Bu testte x ve y eksenlerinde kayıt edilen sapmalar 2 mm'den fazla olmamalıdır. [5,6,7,8]. Grafiklerde yeşil eğriler x, kırmızı eğriler ise y doğrultusundaki sapmaları göstermektedir. Haftalık olarak gerçekleştirilen testlerde 102 ve 180 derecelik gantry açılarında yapılan ölçümlerden elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.

Yapılan bütün testler incelendiğinde, x ve y doğrultularındaki sapmaların 2mm'yi geçmediği gözlenmektedir. En yüksek sapma Ocak ayı 3. Hafta 180 Derece testinde x ekseninde (yeşil renk) yaklaşık 0,5 mm olarak tespit edilmiştir. Diğer eksenlerdeki sapma 0,2 mm yi geçmemektedir.



Şekil 3. Bir aylık COR testi sonuçları.

3.5. Rezolüsyon ve Lineerite Testi



Şekil 4. Bir aylık Rezolüsyon ve Lineerite testi sonuçları

Uzaysal rezolüsyon ve lineerite testinde ise barların arası kolay ayırt edilebilir olmalıdır. Sonuçlar incelendiğinde her detektöre ait görüntülerde bütün barların arası rahatlıkla ayırt edilmektedir ve barlar arasında herhangi bir dalgalanma veya anti paralellik görülmemektedir.

4. Sonuç

Nükleer tıpta teşhislerin doğru olarak konulabilmesi için görüntü kalitelerinin en iyi düzeyde olması ancak gama kamera kalite kontrol testlerinin düzenli olarak yapılması ile mümkündür. Çalışmamızda İstanbul Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Ana Bilim Dalı'nda bulunan Mediso marka gama kamera için NEMA standartları göz önüne alınarak kalite kontrol testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların NEMA standartları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Cherry S., Sorenson R., Phelps J. A., Michael E. 2012. Physics in Nuclear Medicine, Fourth Edition, Elsevier Saunders Publishing.
- [2] Standarts for performance measurements of scintillation cameras, Pub No NU-1, 2007, National Electrical Manufacturers Association. NEMA, 2007.
- [3] Ellinor B. S., Płachcńska A., A Britten A., 2010. Routine quality control recommendations for nuclear medicine instrumentation, *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 37: 662-671.
- [4] Kılıç Ş., Akdemir Ü.Ö., 2010. Gama kameraların kalite kontrol testleri, *Turkish Journal of Clinical Laboratory*, 1(1): 32-36.

D. Tunçman vd.

- [5] Murphy P.H., 1987. Acceptance testing and quality control of gamma cameras, Including SPECT, *Journal of Nuclear Medicine*, 28: 1221-1227.
- [6] Computer-Aided Scintillation Camera Acceptance Testing. *A Task Group of the Nuclear Medicine Committee American Association of Physicists in Medicine. AAPM Report No:9.*
- [7] Rova A., Celler A., Hamarneh G., 2008. Development of NEMA-based Software for Gamma Camera Quality Control. *Journal of Digital Imaging*, 21(2): 243- 255
- [8] Gar-elnabi M. E. M., Ali W. M. , Ali Omer M. A., Edam G. A. 2015. Assessment of Gamma Camera SPECT Resolution using Developed Quality Control Phantom, *International Journal of Science and Research* .4(2): 2117-2121

Duygu Tunçman e-posta: duygutuncman@gmail.com

Bilal Kovan e-posta:bkovan@istanbul.edu.tr

Leyla Poyraz e-posta:leypoyraz34@yahoo.com

Veli Çapalı e-posta:velicapali@gmail.com

Bayram Demir e-posta: bayramdemir69@yahoo.com

Cüneyt Türkmen e-posta: cturkmen@istanbul.edu.tr