

Nükleer tıpta kullanılan doz kalibratörlerinin kalite kontrol testleri

Quality control tests of dose calibrators used in nuclear medicine

Duygu Tunçman Genç¹, Leyla Poyraz², Bilal Kovan², Cüneyt Türkmen²

¹Altınbaş Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Radyoterapi Programı, İstanbul, Türkiye

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

Öz

Amaç: Doz kalibratörlerinden doğru ve güvenilir sonuç elde etmek yalnızca periyodik kalite kontrol testleri ile sağlanır. Tanı ve tedavi uygulamalarının optimizasyonunu sağlamak ve hastanın radyasyon güvenliği büyük ölçüde doz kalibratöre bağlı olduğu için test prosedürlerini doğru olarak gerçekleştirmek gerekir.

Hastalar ve yöntemler: Çalışmamızda İstanbul Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Ana Bilim Dalı'nda bulunan Biodex marka Atom Lab 500 doz kalibratörü kullanılarak kalite kontrol testleri yapıldı. Test sonuçları Nükleer Düzenleme Kurulunun (NRC) uygunluk kriterleri kullanılarak değerlendirildi.

Bulgular: NRC'ye göre, kalite kontrol testlerinin sonuçları $\pm 5\%$ 'lik hata payı içinde bulunmalıdır. Bu çalışmada doz kalibratör kalite kontrol testleri NRC standartlarına göre yapıldı ve kabul edilebilir sonuçlar elde edildi.

Sonuç: Doz kalibratörleri nükleer tıp bölümlerinde hastaya verilecek radyoaktif maddenin ölçümü için bir zorunluluktur. Bu nedenle bu cihazların kalite kontrolleri hastaya minimum radyasyonun verilmesi açısından son derece önemlidir.

Anahtar sözcükler: Nükleer tıp, doz kalibratör, kalite kontrol testleri.

ABSTRACT

Objectives: Getting correct and reliable results out of the dose calibrators is only provided by periodical quality control tests. To provide the optimization of diagnosis and treatment applications and it is essential to perform test procedures correctly since radiation safety of patient is highly dependent upon the reliability of dose calibrator.

Patients and methods: In our study, the quality control tests using Biodex Atom Lab 500 dose calibrator in the Nuclear Medicine Department of Istanbul Medical Faculty were given. Test results was evaluated by using the Nuclear Regulatory Authority (NRC) eligibility criteria.

Results: According to the NRC, results of the quality control tests must remain in $\pm 5\%$ margin of error. In this study, performed quality control tests of dose calibrator according to NRC standards yielded acceptable results.

Conclusion: Dose calibrators are a must for the measurement of radioactive material to be given to the patient in nuclear medicine departments. Therefore, quality control of this devices is extremely important in terms of giving minimum radiation to the patient.

Keywords: Nuclear medicine, dose calibrator, quality control tests.

Nükleer tıptaki rutin bir görüntüleme işleminde radyofarmasötikler kullanılır. Hastaya ağız veya damar yolu ile verilen radyofarmasötiğin radyoaktif kısmı, gama ışını veya beta partikülü gibi radyasyon yayımlar. Nükleer Düzenleme Kurulu (Nuclear Regulatory Commission; NRC), radyofarmasötik

uygulanmadan önce doz kalibratörü kullanarak hastaya verilecek aktivitenin ölçülmesini gerekli kılmıştır.^[1] Bu amaçla kullanılan doz kalibratörleri tanısal görüntüleme veya radyonüklid tedavi için hastaya verilecek olan radyofarmasötiğin aktivite ölçümünde kullanılan kuyu tipi iyon odasıdır ve

Geliş tarihi: January 27, 2019 **Kabul tarihi:** February 05, 2019 **Online Yayın:** February 18, 2019

İletişim adresi: Duygu Tunçman Genç, Altınbaş Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Radyoterapi Programı, 34217 Bağcılar, İstanbul, Türkiye.
Tel: 0212 - 604 01 00 e-posta: duygu.tuncman@altinbas.edu.tr

Atrf:

Tunçman Genç D, Poyraz L, Kovan B, Türkmen C. Nükleer tıpta kullanılan doz kalibratörlerinin kalite kontrol testleri.
FNG & Demirođlu Bilim Tıp Dergisi 2019;5(1):8-14.

iyon odası çalışma prensibi ile çalışır. Bir doz kalibratörü iyon odası, yüksek voltaj kaynağı, elektronik yükseltici ve bir görüntüleme birimi içerir. İyon odası, gelen radyasyonun meydana getirdiği iyonizasyon sonucu oluşan akımı işleyerek kullanılan kaynak aktivitesinin Curie (Ci) veya Becquerel (Bq) birimlerinde okunmasını sağlar.^[2]

Doz kalibratörü sisteminde kullanılan iyon odaları yüksek basınçlı Argon gazı ile doldurulmuştur. Uygulanacak radyofarmasötik iyon odası içine konumlandırıldığında, yayınlanan radyasyon iyon odasındaki gaz ile etkileşir. Bu etkileşme sonucunda iyon çiftleri meydana gelir ve iyon odasında iki elektrot arasına bir potansiyel fark uygulandığında, pozitif yüklü iyonlar katoda doğru, negatif yüklü iyonlar (elektronlar) ise anoda doğru yol alır ve böylece ölçülebilir bir sinyal oluşur. Bu sinyaller iyon odasına bağlı cihazlar ile akıma dönüştürülür. İyon odasında oluşan toplam akım, radyoaktif maddenin miktarı ile doğru orantılıdır. İyon odasının farklı radyoizotoplardan gelen gama ışınlarına karşı meydana getirdiği akım; radyasyonun tipi, enerjisi ve foton enerjisinin salınım hızına bağlıdır. Bu nedenle doz kalibratörlerinde her bir izotopun aktivitesinin ölçülmesi için belirli kalibrasyon faktörlerine göre ayarlanan düğmeler kullanılır.^[3,4]

Doz kalibratörü ölçüm kesinliğini sağlamak için kalite kontrol testlerinin belli zaman aralıkları ile yapılması gereklidir. Doz kalibratörünün hatalı ölçüm yapması durumunda çeşitli sorunlarla ortaya çıkabilir. Hatalı ölçüm sonucunda hastaya yüksek doz verilme riski bulunmaktadır. Düşük dozla çekim yapılması da görüntü kalitesini olumsuz etkileyecektir. Öte yandan ölçülecek aktiviteyi doz kalibratörü içerisine yerleştirirken dikkat edilmesi gereken bir takım kurallar vardır. Doz kalibratörünün kuyusuna ölçüm için yerleştirilen radyofarmasötik ortalanmalı, kenarlara değmeyecek ve yukarı bakacak şekilde yerleştirilmelidir. Aksi takdirde ölçüm geometrisi bozulacağından aktivite ölçümlerinde hatalar meydana gelebilir.^[5]

Çalışmamızda İstanbul Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Ana Bilim Dalı'nda bulunan Biodex marka Atom Lab 500 doz kalibratörü kullanılarak yapılan kalite kontrol testleri hakkında bilgi verildi ve elde edilen test sonuçları NRC'nin uygunluk kriterleri kullanılarak değerlendirildi.

HASTALAR VE YÖNTEMLER

Bu çalışmada testleri yapılan Biodex marka Atom Lab 500 doz kalibratörü Şekil 1'de verilmiştir. Bu cihazda yapılan kalite kontrol testleri aşağıda anlatılmıştır.

Kararlılık ve genişletilmiş kararlılık testi

Kararlılık testinde, çalışma öncesinde arka plan (background) ve standart kaynak okumaları yapılarak birbirini izleyen ölçümlerdeki radyoaktif aktivite kararlılığı hesaplanır. Günlük olarak uygulanan bir testtir ve uzun yarı ömürlü sezyum-137 (¹³⁷Cs) radyoizotop (30.17 yıl) kullanılarak yapılır. Doz kalibratörlerinde kullanılan radyoaktif materyaller kalite kontrol testlerinde kullanılmak üzere özel olarak tasarlanmış vial formunda standart haldedir. Teste başlamadan önce ortamda ve cihaz içerisinde radyoaktif materyal olmadığından emin olunduktan sonra bir arka plan ölçümü alınır. Daha sonra ¹³⁷Cs kaynak doz kalibratörü içerisine yerleştirilir. Doz ölçüm skalası rutinde en çok kullanılan doz ölçüm skalası olan technetium-99m (^{99m}Tc)'e ayarlanarak okuma alınır. Arka plan düzeltmesi için ölçülen aktivite değerinden arka plan aktivitesi çıkartılır. Radyoaktif kaynağın ilk aktivite ölçüm değerine göre maksimum hata payının $\pm 0.5\%$ aralığında olup olmadığına bakılır.^[6]

Genişletilmiş kararlılık testinde yine ^{99m}Tc için yapılan ölçümlerin diğer radyoizotoplar için tekrarlanmasıdır. Kararlılık testinde olduğu gibi ¹³⁷Cs kaynak doz kalibratörü içerisine



Şekil 1. Biodex marka Atom Lab 500 doz kalibratörü. Cihaz kuyu tipi bir iyon odası ve ona bağlı bir elektronik üniteden oluşmaktadır.

yerleştirilerek yapılır. Bu testte aktivite ölçümleri sadece ^{99m}Tc skalasında değil cihazda bulunan diğer tüm radyoizotop skalalarında yapılır.^[7] Bu testten alınacak değerler aynı kararlılık testinde olduğu gibi NRC standartları için $\pm\%5$ hata payı aralığında yer almalıdır. Test günlük olarak yapılmalıdır.

Kesinlik ve doğruluk testi

Kesinlik ve doğruluk testi aynı ölçümleri kullanarak yapılan ancak değerlendirme formülasyonları farklı olan iki testtir. Bu testleri yaparken uzun ömürlü standart kaynaklar olan kobalt 57 (^{57}Co) ve ^{137}Cs radyoizotoplar kullanılır.

Kesinlik testi için ^{57}Co ve ^{137}Cs radyoizotop kaynakları için kendi skalalarında 10 tane ölçüm alınır. Kaynaklar doz kalibratöründen çıkarıldıktan sonra ortamın arka plan ölçümü yapılır. Net aktiviteyi elde etmek için ölçümü alınan aktivite değerinden arka plan aktivitesi çıkarılarak bulunur. Kesinlik testi sonucu aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanır.

$$\% \text{ Kesinlik} = [(A_i - A_{\text{ort}}) / A_{\text{ort}}] \times 100 \text{ Burada;}$$

Aort: Ölçülen 10 tane aktivitenin ortalaması
A_i: i. Ölçülen aktivite miktarıdır.

Kesinlik testi sonuçları $\pm\%5$ hata sınırında bulunmalıdır.^[8] Test yılda en az bir kere yapılmalıdır.

Doğruluk testi için ^{57}Co ve ^{137}Cs radyoizotop kaynakları için de kendi skalalarında 10 tane ölçüm alınır. Kaynaklar doz kalibratöründen çıkarıldıktan sonra ortamın arka plan ölçümü yapılır. Ölçülen aktivite değerinden arka plan aktivite değerleri çıkartılarak net aktivite değeri bulunur. Doğruluk testi sonucu aşağıda verilen formül kullanılarak hesaplanır.

$$\% \text{ Doğruluk} = [(A_{\text{ort}} - A_{\text{Sertifika}}) / A_{\text{Sertifika}}] \times 100 \text{ Burada;}$$

Aort: Ölçülen 10 tane aktivitenin ortalaması

A_{Sertifika}: Kaynağın kalibrasyon sertifikasındaki aktivite miktarı

Doğruluk testi sonuçları $\pm\%10$ hata sınırında bulunmalıdır.^[8] Test yılda en az bir defa yapılmalıdır.

Lineerite testi

Doz kalibratörünün farklı aktivite değerlerini doğru ölçüp ölçemediğinin kontrolünün yapıldığı testtir. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden biri doz azalım yöntemidir. Bu yöntemde kaynağın

radyoaktif bozunması sırasında doğrusallığı ölçülür. Test yapılırken kısa yarı ömürlü ve Nükleer Tıp kliniklerinde en çok kullanılan radyoaktif madde olan ^{99m}Tc radyoaktif kaynak tercih edilir. Kullanılan radyoaktif kaynak gün içerisinde kendi skalasında farklı saatlerde ölçülerek aktiviteleri kayıt altına alınır.^[9] Net aktiviteyi elde etmek için ölçüm değerinden arka plan aktivitesi çıkarılır. Ayrıca kullanılan radyoaktif kaynağın bozunma kanunu göz önüne alınarak teorik olarak zamana bağlı azalım aktiviteleri hesaplanır. Deneysel değer ve teorik hesaplanan değerler arasında grafik çizilerek karşılaştırma yapılır. Kaynağın deneysel olarak ölçülen zamana bağlı aktivite azalımı, teorik olarak hesaplanan aktivite değerleri ile maksimum $\pm\%5$ hata sınırları içerisinde eşit olmalıdır. Test 15 günde bir tekrarlanır.

Geometri testi

Testte sabit aktivite ve değişken hacim kullanılarak, hacim-sayım etkinliği arasındaki ilişki tespit edilir. Kullanılacak vialde 5 mL hacminde ^{99m}Tc radyoaktif kaynak alınarak kendi skalasında ölçüm yapılır. Aktivite sabit tutularak vialdeki sıvı 10 mL olacak kadar sıvı ilave edilir ve tekrar ^{99m}Tc skalasında ölçümü alınır. Bu işlem 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 ve 60 mL hacimleri için tekrarlanır. Her sıvı artırımından sonra vial hafifçe sallanarak homojen bir dağılım oluşması sağlanır. Hacim-aktivite okuma değerinin artan hacim ile maksimum $\pm\%5$ sapma göstererek azalması beklenir. Test yılda en az bir defa tekrarlanır.^[6]

BULGULAR

Kararlılık ve genişletilmiş kararlılık test bulguları

Testte ^{137}Cs radyoaktif kaynak ^{99m}Tc skalasında ölçüldü. Aktiviteler μCi cinsinden ölçüldü ve ölçüm yapılan günlerde arka plan aktivitesi olarak 2 μCi bulundu. Net aktiviteyi elde etmek için ölçümü alınan aktiviteden arka plan aktivitesi değeri çıkarılarak arka plan aktivite düzeltilmesi yapıldı. Test sonunda beklenen, ilk gün ölçülen aktivite baz alındığı zaman diğer günler ölçülen aktivitelerin ilk günkü aktivite miktarından maksimum $\pm\%5$ sapma göstermesidir. Tablo 1'de beş günlük aktivite değerleri incelendiğinde, ilk gün gözlenen aktivite değerine göre diğer günlerde ölçülen aktivite değerleri $\pm\%5$ hata payı içerisinde yer aldığı görülmektedir.

Kesinlik ve doğruluk test bulguları

Kesinlik ve doğruluk testleri için uzun ömürlü ^{137}Cs ve ^{57}Co radyoaktif kaynakları kullanıldı. Ölçüm yapılacak aktivite skalası ile alınan arka plan ölçüm değeri $4 \mu\text{Ci}$ 'dir. Ölçülen aktiviteden arka plan aktivitesi çıkarılarak net aktivite bulundu. Alınan ölçümler sonucu hesaplanan kesinlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Materyal ve metot bölümünde verilen doğruluk hesaplama formüllerinde kullanılacak olan lisans aktiviteleri ^{137}Cs için $170.37 \mu\text{Ci}$ 'dir. Ölçüm günü ^{137}Cs için düzeltilmiş Lisans Aktivitesi ise $166.40 \mu\text{Ci}$ olarak hesaplandı. ^{57}Co için lisans aktivite değeri 5.276 miliCurie (mCi)'dir. Ölçüm günü ise ^{57}Co için düzeltilmiş Lisans Aktivite değeri 2.56 mCi olarak hesaplandı.

Lineerite test bulguları

Lineerite testi için çeşitli ölçüm aralıklarında doz kalibratörünün tepkisi incelendi. Kullanılan radyoaktif izotopun saatlere bağlı radyoaktif yarılanma özelliği de göz önüne alındığında belirli saatlerce alınacak aktivite değerlerinin radyoaktif bozunma kanunu gereğince eksponansiyel bir azalım göstermesi gerekmektedir. Teorik olarak hesaplandığında da bir radyoaktif kaynak yarı ömre bağlı olarak zamanla eksponansiyel bir azalış gösterir. Testte kullanılan radyoaktif materyalin radyoaktif bozunma teorisine göre hesaplanan azalımı ile deneysel olarak 24 saat boyunca alınan ölçümlerinin azalımın aynı olması beklenir. Bu testin uygulaması yöntem olarak "azalan kaynak" olarak da bilinmektedir.^[6] Lineerite testi

Tablo 1. Genişletilmiş kararlılık testi ile elde edilmiş beş günlük aktivite ve $\pm\%$ hata sonuçları

İzotop türü	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün
^{99m}Tc					
Ölçülen aktivite	362 μCi	360 μCi	361 μCi	360 μCi	364 μCi
Sapma (%)		-0.55	-0.28	-0.55	0.55
^{201}Tl					
Ölçülen aktivite	204 μCi	202 μCi	203 μCi	204 μCi	203 μCi
Sapma (%)		-0.98	-0.49	0.00	-0.49
^{123}I					
Ölçülen aktivite	124 μCi	123 μCi	124 μCi	123 μCi	124 μCi
Sapma (%)		-0.80	0	-0.80	0
^{131}I					
Ölçülen aktivite	217 μCi	216 μCi	217 μCi	216 μCi	218 μCi
Sapma (%)		-0.46	0	-0.46	0.46
^{137}Cs					
Ölçülen aktivite	166 μCi	165 μCi	166 μCi	165 μCi	167 μCi
Sapma (%)		-0.60	0	-0.60	0.60
^{57}Co					
Ölçülen aktivite	329 μCi	327 μCi	329 μCi	329 μCi	331 μCi
Sapma (%)		-0.61	0	0	0.61
^{133}Xe					
Ölçülen aktivite	189 μCi	188 μCi	190 μCi	189 μCi	189 μCi
Sapma (%)		-0.53	0.53	0	0
^{67}Ga					
Ölçülen aktivite	317 μCi	315 μCi	317 μCi	315 μCi	319 μCi
Sapma (%)		-0.63	0	-0.63	0.63
^{111}In					
Ölçülen aktivite	126 μCi	126 μCi	127 μCi	126 μCi	127 μCi
Sapma (%)		0	0.79	0	0.79
^{18}F					
Ölçülen aktivite	92 μCi	92 μCi	92 μCi	92 μCi	93 μCi
Sapma (%)		0	0	0	1.09
^{90}Sr					
Ölçülen aktivite	3438 μCi	3418 μCi	3438 μCi	3428 μCi	3458 μCi
Sapma (%)		-0.58	0	-0.29	0.58

% hatalar birinci gün ölçümlerine göre hesaplanmıştır.

Tablo 2. Doz kalibratörü ile yapılan ölçüm değerleri ve sertifika değerleri kullanılarak ^{137}Cs ve ^{57}Co radyoaktif kaynakları için hesaplanan % kesinlik değerleri

Ölçümler	Hesaplanan kesinlik değeri (%)			
	^{137}Cs Ölçülen aktivitesi (μCi)	^{57}Co Ölçülen aktivitesi (mCi)	^{137}Cs	^{57}Co
1	166	2.56	-0.30	-0.39
2	165	2.58	-0.90	0.39
3	166	2.58	-0.30	0.39
4	167	2.56	0.30	-0.39
5	168	2.57	0.90	0.00
6	168	2.56	0.90	-0.39
7	165	2.58	-0.90	0.39
8	166	2.57	-0.30	0.00
9	167	2.57	0.30	0.00
10	167	2.57	0.30	0.00
Ortalama	166.5	2.57		

mCi: miliCurie; Deneysel hataları en aza indirmek için bu test üç defa tekrarlanmıştır. Her kolon bir testin sonuçlarıdır. Hata hesapları 5 mL aktivite ile alınan ölçüm sonuçlarına göre yapılmıştır.

in için $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radyoizotopu kaynak olarak seçildi. Başlangıç aktivitesi 29.23 mCi olan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ numunesi doz kalibratöründe kendi skalasında ölçüldü. Şekil 2'de $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radyoaktif kaynağının teorik olarak hesaplanan zamana bağlı azalımı ve 24 saat boyunca farklı saatlerde alınan aktivite ölçümleri gösterilmektedir.

Geometri test bulguları

Doz kalibratörleri kuyu tipi radyasyon ölçüm cihazlarıdır. Geometri testi kalibratörün ölçüm geometrisini test etmek için yapılır. Doz kalibratörü içerisinde merkezden belli bir mesafe sonra, yani doz kalibratörüne konulan vial hacimi genişledikçe ölçümde geometrik sapmalar meydana gelebilir. Bu da kaynağın aktivite ölçümünde azalma ile sonuçlanır. Ölçülen aktivitedeki azalma beklenen bir durumdur. Ancak $\pm\%5$ 'lik bir hatayı aşmamalıdır.

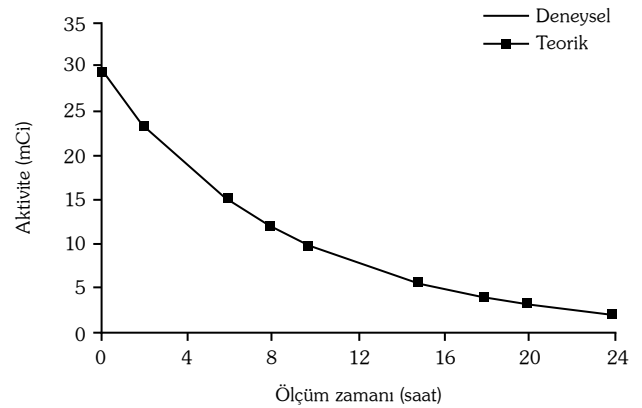
Geometri testi şırınganın kalibratör içindeki pozisyonu değiştirilerek üç defa tekrarlandı. Aktiviteler, ölçülen aktiviteden 4 μCi arka plan aktivitesi çıkarılarak net aktivite olarak kayıt edildi (Tablo 3).

TARTIŞMA

Nükleer Tıp kliniklerinde kullanılan doz kalibratörlerindeki hatalar hastalara planlanandan fazla veya az radyasyon verilmesine neden olur. Bu durum hastaya uygulanacak tedavi

veya görüntüleme işlemlerinde yanlışlıklara yol açabilir.^[9] Hastaya verilecek radyasyon dozunun kontrolünde anahtar rolü oynayan doz kalibratörü cihazlarının kalite kontrol testleri belirlenen standartlar doğrultusunda düzenli olarak tekrar edilmeli ve test sonuçları kayıt edilerek bir önceki kalite kontrol sonuçları ile kıyaslanmalıdır. Periyodik olarak yapılan testlerin birbirini desteklemesi gerekmektedir.^[10]

Çalışmamızda Kararlılık ve Genişletilmiş Kararlılık testi için Tablo 1 incelendiğinde hata paylarının oldukça küçük olduğu ve doz kalibratörünün oldukça kararlı tekrarlamalar



Şekil 2. Lineerite testi sonuçları. Şekil 1, 24 saat boyunca farklı saatlerde alınan ölçümlerle bozunma yasası formülü ile teorik olarak hesaplanan değerler kullanılarak çizilmiştir. mCi: miliCurie.

Tablo 3. Hacim-aktivite ilişkisine bağlı olarak doz kalibratörünün ölçüm sonuçları

Hacim	Test aktivitesi (mCi)					
	Aktivite (mCi)	Hata (%)	Aktivite (mCi)	Hata (%)	Aktivite (mCi)	Hata (%)
5cc	12.96		14.85		16.30	
10cc	12.94	0.15	14.76	0.60	16.02	1.70
15cc	12.90	0.05	14.76	0.06	16.00	1.84
20cc	12.81	1.15	14.73	0.81	15.91	2.39
25cc	12.73	1.77	14.66	1.28	15.90	2.45
30cc	12.74	1.70	14.70	1.01	15.90	2.45
35cc	12.67	2.23	14.57	1.89	15.80	3.07
40cc	12.67	2.24	14.54	2.09	15.74	3.44
45cc	12.59	2.85	14.45	2.69	15.70	3.68
50cc	12.53	3.31	14.39	3.10	15.60	4.30
55cc	12.46	3.85	14.30	3.70	15.56	4.54
60cc	12.45	3.94	14.28	3.85	15.51	4.80

mCi: miliCurie; Deneysel hataları en aza indirmek için bu test üç defa tekrarlanmıştır. Her kolon bir testin sonuçlarıdır. Hata hesapları 5 cc aktivite ile alınan ölçüm sonuçlarına göre yapılmıştır.

gösterdiği tespit edildi. Kesinlik ve Doğruluk test sonucu için Tablo 2 incelendiğinde ^{137}Cs ve ^{57}Co radyoaktif kaynakları için alınan 10 adet ölçüm sonucunda % kesinlik değeri, materyal ve metot bölümünde verilen formül ile hesaplandı ve bulunan değerlerin oldukça küçük olduğu ve $\pm\%5$ hata payı içerisinde yer aldığı tespit edildi. Materyal ve metot kısmında verilen % Doğruluk formülünü kullanarak her iki radyoaktif kaynak için hesaplanan % Doğruluk değeri test sonuçları ^{137}Cs için $\%0.072$, ^{57}Co için $\%0.39$ olarak hesaplandı. % Doğruluk testi, sonuçları ^{137}Cs ve ^{57}Co radyoaktif kaynakları için $\pm\%10$ hata payı içerisinde yer aldı. Lineerite testi için Şekil 2 incelendiğinde $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radyoaktif kaynağının zamana bağlı aktivite azalımının teorik hesaplamalarla oldukça uyumlu olduğu gözlemlendi. Geometri testi için Tablo 3 incelendiğinde şırıngada bulunan radyoaktif madde merkezden uzaklaştıkça doz kalibratörünün aktivite ölçümünde azalma olduğu görülmektedir. Ölçülen değerlerin 5 mL'den alınan ölçüm sonuçlarına göre hata payı incelendiğinde ise değişim $\pm\%5$ 'lik hata sapması içerisinde gerçekleştiği görülmektedir.

Koç'un^[10] yaptığı çalışmada da bir Nükleer Tıp Merkezinde bulunan; Capintec 15 R ve Biodex ATOM LAB-500 markalı iki farklı radyoizotop kalibratör ile lineerite testlerine yönelik ölçümler yapılmıştır. Her iki doz kalibratörü için kısa ömürlü radyoaktif kaynak kullanılarak; azalan kaynak, artan kaynak ve numune hacim etkisi

yöntemleri ile lineerite testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan test sonuçları NRC standartlarına göre değerlendirilmiş ve testler her iki kalibratör için de hata sınırları içinde kalmıştır.^[10] Çalışmamızdaki lineerite testi için kullanılan azalan kaynak metodu ile Koç'un^[10] çalışmasındaki kullandığı azalan kaynak metodunun sonuçları birbiriyle uyumlu idi.

Sonuç

Çalışmamızda İstanbul Tıp Fakültesi Nükleer Tıp Anabilim Dalı'nda bulunan Biodex marka Atom Lab 500 doz kalibratör cihazı için NRC standartları göz önüne alınarak kalite kontrol testleri yapıldı. Test sonuçlarının oldukça düzenli olduğu ve hata paylarının NRC'nin belirlediği değerler arasında olduğu görüldü.

Çıkar çakışması beyanı

Yazarlar bu yazının hazırlanması ve yayınlanması aşamasında herhangi bir çıkar çakışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansman

Yazarlar bu yazının araştırma ve yazarlık sürecinde herhangi bir finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

KAYNAKLAR

1. Nucmedtutorials. Erişim adresi: <https://nucmedtutorials.files.wordpress.com/2016/12/dose-calibrator-operation-and-quality-controltesting.pdf> [Erişim tarihi: Şubat 2015].

2. Zanzonico P. Routine quality control of clinical nuclear medicine instrumentation: a brief review. *J Nucl Med* 2008;49:1114-31.
3. Chu RYL, Simon WE. Quality control testing of dose calibrators. *J Nucl Med Technol* 1996;24:124-8.
4. Pub-IAEA. Erişim adresi: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_602_web.pdf [Erişim tarihi: Mart 2015]
5. Jain AN, Rehman MA. Quality control of dose calibrators. *Nuklearmedizin* 1981;20:247-50.
6. NRC. Erişim adresi: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/gen-comm/info-notices/1993/in93010.html> [Erişim tarihi: şubat 2015].
7. Zeinali HZ, Alirezazadeh N, Atabi F. An investigation on the performance of dose calibrators in nuclear medicine centers in Iran. *J Radiat Res* 2008;6:64-9.
8. Özkırlı M, Bor D, Meriç N, Bütet N, Bayhan H. Doz kalibratörlerinin performans özelliklerinin kıyaslanması. *TJNM* 1995;4:143-8.
9. Assan B, Addison EKT, Hasford F, Sosu E. Calibration and effective use of a dose calibrator. *International Journal of Science and Technology* 2012;2:395-400.
10. Koç K. Nükleer Tıp merkezlerinde kullanılan radyoizotop kalibratörlerinde kalite sağlanması üzerine bir araştırma-lineerite testi. *Politeknik* 2018;21:507-11.