

LiF termolüminesans dozimetrelerin gama ışınları ile kalibrasyonu

Calibration of gamma rays with LiF thermoluminescence dosimeters

Mustafa Tarkan AKSÖZEN, Kadir YARAY, Selahattin MENTEŞ, Mete GÜNDOĞ, Celalettin EROĞLU

Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Kayseri

AMAÇ

Bu çalışmada, gama ışınları ile ışınlanan magnezyum ve titanyum ile katılanmış lityum florür termolüminesans dozimetrelerin (TLD) kalibrasyonu amaçlandı.

OBJECTIVES

We aimed in this study to calibrate lithium fluoride thermoluminescence dosimeters (TLDs), alloyed with magnesium and titanium, by using gamma rays.

GEREÇ VE YÖNTEM

Hiç işlem görmemiş 168 adet TLD tavlama işlemi sonrası gama ışınları ile ışınlanarak doygunluk düzeyine getirilip TLD okuyucu sisteminde $\pm 1\%$ hassasiyet değerine göre kalibre edildi. Seçilen 5 adet TLD için verilen dozun doğruluğunu ölçmek amacıyla TLD'ler rando fantomda oluşturulan referans alanın merkezine yerleştirildi, 6 MV ile 180 cGy doz verilerek ışınıldı.

METHODS

168 application-naïve TLDs were annealed and then calibrated in a TLD-reader system at a sensitivity level of $\pm 1\%$ after achieving a saturation level by gamma irradiation. Five selected TLDs were placed in the center of the reference area, formed by using Rando phantom, and irradiated at the dose of 180 cGy with 6 MV to measure the accuracy of a given dose.

BULGULAR

TLD'lerin almış oldukları doz miktarları TLD okuyucu sisteminde okundu. Sonuçlar sırasıyla; 182.1 cGy, 181.0 cGy, 180.3 cGy, 180.3 cGy ve 180.4 cGy bulundu.

RESULTS

The doses exposed by the TLD were determined with a reader system as follows: 182.1, 181.0, 180.3, 180.3, and 180.0 cGy.

SONUÇ

Bir nolu hariç diğer TLD'lerin almış oldukları doz miktarları $\pm 1\%$ hassasiyet değerinin içerisindeydi. Bir nolu TLD için okunan doz miktarındaki hata $+0.6\%$ bulundu. Bu durum, tavlama sırasında meydana gelen olumsuzluklara bağlı olarak TLD içindeki enerji tuzaklarının tam olarak boşalmaması, ortamın sıcaklığı, nemi ve sterilizasyon eksikliği gibi nedenlere bağlanabilir.

CONCLUSION

The exposed doses were in the range of $\pm 1\%$ in all TLDs except TLD#1. The error in the dose measured for TLD#1 was found as $+0.6\%$. This could be attributed to incomplete release of energy traps due to the complicated annealing process, temperature and humidity of ambient and lack of sterilization.

Anahtar sözcükler: Lityum florür; rando fantom; termolüminesans dozimetre.

Key words: Lithium fluoride; rando phantom; thermoluminescence dosimeter.

Kristale verilen enerjinin, kristal ısıtıldığı zaman optik radyasyon şeklinde geri yayınlanması "termolüminesans" olarak tanımlanır. Dozimetre, radyoaktif (RA) kaynaktan veya X-ışını kaynaklarından çıkan ışınları ve bu kaynaklar çevresinde çalışan insanların aldıkları radyasyon miktarını tayin etmeye yarayan düzendir. Bu düzenerlerden, temeli termolüminesansa dayananlara termolüminesans dozimetre (TLD) denir.^[1] TLD olarak kullanılan kristallerden bazıları arasında magnezyum (Mg) ve titanyum (Ti) ile katılanmış lityum florür (LiF: Mg, Ti), manganez (Mn) ile katılanmış kalsiyum florür (CaF₂: Mn), disprozyum (Dy) ile katılanmış kalsiyum florür (CaF₂: Dy), karbon (C) ile katılanmış alüminyum oksit (Al₂O₃: C), manganez ile katılanmış lityum borat (Li₂B₄O₇: Mn) sayılabilir. Bunlar arasında en sık kullanılan etkin atom numarası dokuya eşdeğer olan LiF: Mg, Ti'dir. Buna TLD-100'de denir. LiF: Mg, Ti için etkin atom numarası 8.2, kobalt-60'a (Co-60) olan hassasiyeti 1.0, 30 keV/ Co-60 enerji cevabı 1.25, 10 mikrogray (µGy) ile 10 gray (Gy) arasındaki ışınlama dozuna olan yanıtı doğrusaldır. LiF: Mg, Ti'ün yaydığı termolüminesans ışığın dalga boyu 3500 angstrom (Å) ile 6000 Å arasında ve oda sıcaklığında dozimetre piklerinde görülen azalma yılda %5'dir.^[2] TLD'ler, ikincil standart dozimetrelerdir. Diğer bir deyişle TLD'ler radyasyonun soğurulan dozunun mutlak bir ölçüsünü vermez. Bu dozimetrelerin hepsi birincil bir ölçüm sistemine göre doğrudan veya kalibre edilmiş ikincil bir sistem yardımıyla kalibre edilmelidir.^[3]

Bu çalışmada Harshaw® LiF: Mg, Ti termolüminesans dozimetrelerin gama ışınları ile ışınlanarak ve Harshaw 3500 TLD® okuyucu sistemi kullanılarak kalibrasyonu amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Bütün fosforlar, uğradıkları termik işlemlere bağlı olarak termolüminesans (TL) özelliklerinde bazı değişiklikler gösterirler. TL duyarlılığında belirgin bir değişim olmaksızın, fosforun depolanmış TL'nin tümüyle okunmasını ve tekrar tekrar kullanılabilmesini sağlamak için her zaman bir termik tavlama gerekir. Bu nedenle tüm dozimetreler duyarlılıklarını ve doğal fonlarını standardize etmek için radyasyon ölçümleri yapmadan önce

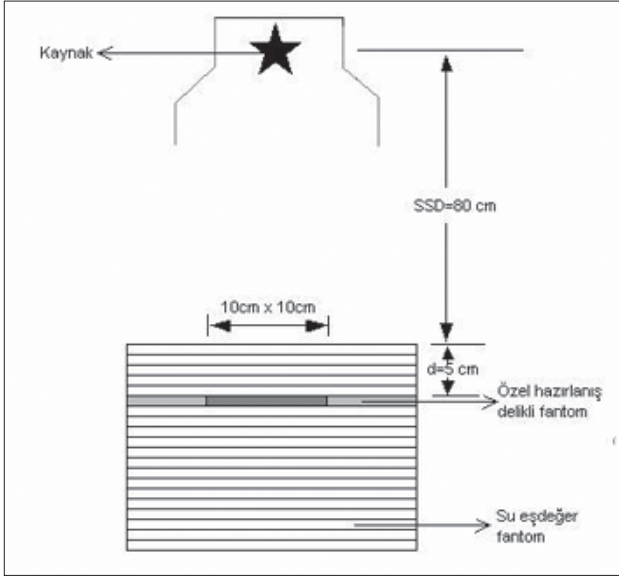
aynı koşullarda tavlmalıdır.^[3] LiF: Mg, Ti'de ön ışınlama tavlama, özellikle geride kalan TL ışınmayı ortadan kaldırmak, TL duyarlılığı kurmak ve kararsız düşük sıcaklık ışınma piklerini yok etmek için önemlidir. Zimmerman ve ark.,^[4,5] geniş çaplı tavlama araştırması sonucunda TLD 100'ün 400°C'de 1 saat tavlama sonrası 80°C'de 16-24 saat tavlamanın en iyi sonuç verdiğini saptamışlardır. Mason ve ark.,^[6] dozimetreler derhal kullanılacaksa 80°C'de 16 saat tavlama olanağı olamayabileceğinden, bunun yerine 100°C'de 1 saatlik tavlamanın yeterli olacağını saptamışlardır. Wald ve ark.^[7] ise tekrarlanan 400°C'de 1 saat tavlamanın 100 kezden sonra LiF dozimetrelerdeki TL duyarlılığı %18 azalttığını bulmuşlardır. TLD'lerin tavlama sırasında fırın sıcaklığının değişiminden çok, tavlama kabındaki termik dalgalanmalar daha etkilidir. Bu nedenle dozimetrelerin seçilen tavlama sıcaklığına ulaşmalarını sağlamak için toplam tavlama süresine bir miktar süre daha eklenmelidir.^[3] Deneylerde fırınlama sıcaklığından itibaren soğuma hızının, ışınma eğrisinin mutlak ve bağıl yüksekliğini etkilediği ve hızlı soğutmada istenmeyen düşük sıcaklık piklerinin büyüklüğünün önemli derecede arttığı, yavaş soğutmada ise ışınma eğrisindeki bütün piklerin yüksekliğinin hızlı soğutma durumundakilere kıyasla çok daha düşük olduğu gözlenmiştir. Tüm bunlar göz önüne alınarak fırınlama sonrası TLD kristallerinin, 20 dakikada oda sıcaklığına kadar soğutulmasına karar verilmiştir.^[1]

Dozimetrelerin Tavlama

Bu çalışmada, daha önce hiç işlem görmemiş 168 adet TLD ilk önce 400°C'de 1 saat 10 dakika, daha sonra 80°C'de 16 saat 10 dakika ve en son olarak 100°C'de 1 saat 10 dakika tavlandı. Bu sırada yapılan her tavlama işleminin ardından TLD'ler 20 şer dakika oda sıcaklığında soğutuldu. Bütün bu tavlama işlemlerinden sonra seçilen 168 adet TL dozimetre kalibrasyon işlemi için hazır duruma getirildi.

TL Dozimetrelerin Gama Işınları ile Kalibrasyonu

Bu çalışmada tavlama tamamlandıktan sonra toplam 168 adet TLD doyguluk düzeyine getirilmek için her gün sabah ve akşam 100'er santigray (cGy) olmak üzere toplam 1000 cGy ışınlandı. Işınlamalar,



Şekil 1. TLD'lerin ışınlama set-up'ü.

su eşdeğeri katı fantom kullanılarak Co-60 teleterapi cihazında, 80 cm kaynak-cilt mesafesi (SSD) değerinde, 10 cm x 10 cm alan boyutunda,^[8] yüzeyden 5 cm derinlikte yapıldı (Şekil 1). TLD'lerin hassas olarak ışınlanabilmesi için, 30 cm x 30 cm boyutlarında sert pleksiglas materyal üzerinde 10 cm x 10 cm ışınlama alanı içerisine her birinin çapı 6 mm ve derinliği 1 mm olan 49 adet delik açılan bir düzenek oluşturuldu (Şekil 2). Çalışmada kullanılacak toplam 168 adet TLD ışınlanarak doygunluğa ulaştırıldıktan sonra ilk 79 adedi Co-60 tedavi cihazında, 80 cm SSD değerinde, 10 cm x 10 cm alan boyutunda, yüzeyden 5 cm derinlikte 100 cGy doz alacak şekilde ışınlandı. TLD'ler ile doz hesaplamalarına geçmeden önce bazı çalışmaların yapılması gereklidir. Bunlar TLD'lerin duyarlılığı-



Şekil 2. TLD'leri ışınlamak için özel olarak hazırlanan düzenek.

nı gösteren Element Correction Coefficient (ECC) ve okuyucudan alınan, nanocoulomb (nC) cinsinden verilen fototüp akımının soğurulan radyasyon miktarına çevirmede kullanılan dönüşüm katsayısı Reader Calibration Factor'ün (RCF) bulunmasıdır. Tüm TLD'ler aynı hassasiyette üretilmediği için, aynı miktarda radyasyon soğurmalarına karşın okuma sırasında farklı miktarda ışık salarlar. Bu farklılığı ortadan kaldırmak için her TLD'ye bir ağırlık faktörü verilir. Bu faktör ECC'dir. Okuyucunun ışın şiddetini soğurulan radyasyon miktarı cinsinden verilmesi için RCF'nin mutlaka bilinmesi gerekmektedir.^[1] Işınlamanın ardından 79 adet TLD Harshaw 3500 TLD® okuyucu sisteminde WinRems® yazılımının yardımıyla tek tek okundu, ECC değerleri bulundu. Daha sonra bulunan ECC değerleri içerisinde $\pm\%1$ hassasiyete sahip olan 15 adet TLD, sisteme kaydedildi (Şe-

Results			
Dosimeter ID	ECC		
10e	.9924		
1f	1.015		
2f	.9686		
3f	.9453		
4f	1.006		
5f	.9985		
6f	1.034		
7f	.9987		

Reading Statistics			
Total	79	Mean	8787.
Accepted	15	% Standard Deviation	.4415
Rejected	64		

PMT Noise Readings			
Total	0	Mean	
		% Standard Deviation	

Reference Light Readings			
Total	0	Mean	
		% Standard Deviation	
		Upper Limit	1.01
		Lower Limit	0.99

Compute	Accept	Close	Help
---------	--------	-------	------

Şekil 3. İlk 79 adet TLD içerisinde $\pm\%1$ hassasiyete sahip olan 15 adet TLD.

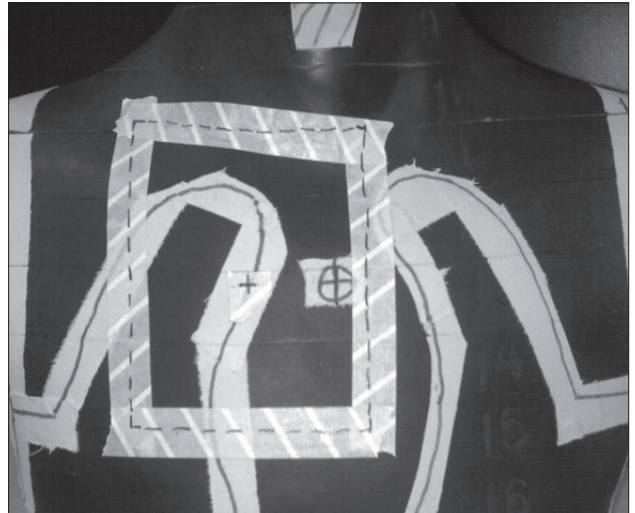
kil 3; Şekil 4). Chipset kodlarıyla not edildi ve diğer 79 adet TLD arasından ayrıldı. Gruptan ayrılan 64 adet TLD ısıtma fırınında 400°C'de 1 saat 10 dakika tavlansın ışınlamaya hazır hale getirildi. Diğer grup 89 adet TLD de; aynı önceki gruptaki dozimetreler gibi Co-60 cihazında 100 cGy doz alacak şekilde ışınlandıktan sonra TLD okuyucu sisteminde tek tek okundu. ECC değerleri bulundu. Daha sonra bulunan ECC değerleri içerisinde $\pm\%1$ hassasiyete sahip olan 16 adet TLD, sisteme kaydedildi, chipset kodlarıyla not edildi ve diğer 89 adet TLD arasından ayrıldı. Gruptan ayrılan 73 adet TLD ısıtma fırınında 400°C'de 1 saat tavlansın ışınlamaya hazır hale getirildi. Son grup ise, ilk grupta ECC değerleri içerisinde $\pm\%1$ hassasiyete sahip olan 15 adet TLD dışında kalan 64 adet TLD ile sonraki grupta ECC değerleri içerisinde $\pm\%1$ hassasiyete sahip olan 16 adet TLD dışında kalan 73 adet TLD'nin birleştirilmesiyle oluşan toplam 137 adet TLD'den oluşturuldu. Bu 137 adet dozimetre, diğer gruplardaki dozimetreler gibi Co-60 cihazında 100 cGy doz alacak şekilde ışınlandıktan sonra TLD okuyucu sisteminde okundu. ECC değerleri bulundu. Daha sonra bulunan ECC değerleri içerisinde $\pm\%1$ hassasiyete sahip olan 28 adet TLD sisteme kaydedildi, chipset kodlarıyla not edildi ve 137 adet dozimetrenin arasından ayrıldı.

Tanımlanan TLD'ler için ECC değerleri bu-

Date	Time	TTP	Reading Type	Dosimeter ID	Computed Exposure					Units	
					Subject ID	i	ii	iii	iv		
09.07.200	12:09:42	1	ICD	4a	ECC	6,506 .9969					uCi
09.07.200	12:11:02	1	ICD	5a	ECC	6,714 1,001					uCi
09.07.200	12:12:11	1	ICD	4b	ECC	6,712 .9995					uCi
09.07.200	12:13:19	1	ICD	8c	ECC	6,983 1,004					uCi
09.07.200	12:14:27	1	ICD	10c	ECC	6,726 1,003					uCi
09.07.200	12:15:40	1	ICD	7d	ECC	6,741 .9945					uCi

Şekil 4. $\pm\%1$ hassasiyete sahip olan 15 adet TLD'nin ECC değerleri.

lunup sisteme kayıt edildikten sonraki aşama, ECC'leri kaydedilen TLD'lerin RCF değerlerinin bulunmasıdır. RCF'nin bulunması amacıyla, ECC'leri kabul sınırları içinde ($\pm\%1$ hassasiyette) olan TLD'ler tekrar ışınlanmaları için 400°C'de 1 saat 10 dakika tavlansın. Böylelikle TLD üzerinden önceki çalışmaya ait bilgiler silinmiş olur. Tavlansın bu TLD'lerin tamamı Co-60 tedavi cihazında, 80 cm SSD değerinde, 10 cm x 10 cm alan boyutunda, yüzeyden 5 cm derinlikte 100 cGy doz alacak şekilde ışınlandı. WinRems® yazılımının Calibrate Reader modundan kaydedilen ECC değerleride kullanarak ilk grup, ikinci grup ve son grupta bulunan 15, 16 ve 28 adet TLD için Hars-haw 3500 TLD® okuyucu sisteminde okuma yapıldı. TLD'leri ışınlama dozu olan 100 cGy değeri ilgili alana yazılarak TLD'lerin RCF değerleri hesap ettirildi. Bir diğer aşamada, RCF'nin bulunması için kullanılan TLD'ler hasta çalışması için kullanılmayacağı için chipset'in değiştirilmesi gereklidir. TLD'ler uygun bir grup ID'si verildikten sonra TLD okuyucu sisteminde okunur. Upper ve Lower Limit ($\pm\%1$ hassasiyet için) ve ışınlama miktarı (100 cGy) değerleri girildikten sonra yazılma hesaplatırma yaptırılır ve kaydedilir. Böylelikle hastalarda veya rando fantomda kullanılacak TLD'ler kalibre edilmiş olur. TLD'lerin okunmaya hazır hale getirilmesi için 400°C'de 1 saat 10 dakika tavlansın gerekir.



Şekil 5. Rando fantom üzerinde oluşturulan referans alanı.

Tablo 1

TLD'lerin referans alan içerisinde almış oldukları doz miktarları

Referans TLD	Referans alan içinde ölçülen doz	Fark
1	182.1 cGy	2.1 cGy
2	181.0 cGy	1.0 cGy
3	180.3 cGy	0.3 cGy
4	180.3 cGy	0.3 cGy
5	180.4 cGy	0.4 cGy

BULGULAR

Kalibrasyon işlemi tamamlanan $\pm\%1$ hassasiyet derecesine sahip TLD'lerin verilen dozu doğru ölçüp ölçmediğini kontrol etmek amacı ile bölümümüzde bulunan rando fantom üzerinde simülasyon cihazı yardımı ile referans alan oluşturuldu. Bu referans alan rando fantomun 13. kesitinde olacak şekilde 10 cm x 10 cm büyüklüğünde çizildi (Şekil 5). Kalibrasyonu tamamlanan 59 adet TLD içerisinde rastgele seçilen 5 adet TLD merkezi fantomun 13. kesitinde bulunan referans alanın merkezine yerleştirildi. TLD kesit üzerinde fantomun ön ve arkasından eşit olarak 9.5 cm derinlikte idi. Elde edilen referans alan lineer akseleratör tedavi cihazında 6 MV foton enerjisinde, SSD=100 cm değerinde AP alandan 90 cGy, PA alandan 90 cGy, toplamda 180 cGy olacak şekilde ışınıldı. Daha sonra referans TLD'ler okuyucu sisteminde okundu ve referans TLD'nin almış olduğu doz bulundu (Tablo 1).

TARTIŞMA

Bu çalışmada TLD'ler kalibre edilirken WinReMS® yazılımına ışınlama doz miktarı olarak 100 cGy, upper limit olarak 101 cGy ve lower limit olarak 99 cGy kaydedilmiştir. Başka bir deyişle kalibrasyon hassasiyeti $\pm\%1$ 'dir. Ancak TLD'ler ile yapılan birçok çalışmada kalibrasyon hassasiyeti $\pm\%2-3$ gibi değerlerdir ve bu değerler de kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Rastgele seçilen beş TLD için yaptığımız kontrol ışınlamasında 1 nolu TLD hariç diğer TLD'lerin almış oldukları doz değerleri $\pm\%1$ hassasiyet değerlerinin içerisinde. (Verilen 180 cGy doz için 178.2 cGy - 181.8

cGy arasındadır.) Işınlanan TLD'nin almış olduğu doz miktarı birçok etkenden dolayı olumsuz yönde etkilenebilir. Bunlar arasında, tavlama sırasında meydana gelen olumsuzluklara bağlı olarak TLD içindeki enerji tuzaklarının tam olarak boşalmaması, ortamın sıcaklığı ve nemi, sterilizasyon eksikliği (çip holder'ın kirliliği ve TLD okuyucusunun çekmecesinde bulunan ısıtıcı tepsinin oksitlenmesi) sayılabilir. TLD'ler çevre etkenlerinden korunmazsa soğurulan doz ölçümlerinde sıklıkla belirsizliklere, bazen de büyük hatalara düşülebilir.^[3] Yaptığımız ölçümlerde, 1 nolu TLD için okunan doz miktarındaki +0.6%'lik hata yukarıda saydığımız etkenlere bağlanabilir.

Sonuç olarak, TLD'ler çok hassas dozimetrelere olduğundan ölçümlerde en doğru sonucu alabilmek için hem kalibrasyon sırasında çevresel olumsuz etkenleri minimuma indirmek, hemde kalibrasyon hassasiyetini minimum düzeyde (mümkünse $\pm\%1$ seviyesinde) tutmak gereklidir.

KAYNAKLAR

1. Aydın E, Adanalı A. Harshaw 3500 TLD okuyucusu ve WinReMS yazılımı kullanım kılavuzu. Ankara: s. 3-50.
2. Khan FM. The physics of radiation therapy. 4th ed. Lippincott Williams&Wilkins; 2010. p. 128.
3. McKinlay AF. Thermoluminescence dosimetry-medical physics handbook; 5. Çeviri: Aypar A, Akin E. Medikal fizik kitapları 5. Termoluminesans dozimetri. Adam Hilger Ltd; s. 57-123.
4. Zimmerman DW, Rhyner CR, Cameron JR. Thermal annealing effects on the thermoluminescence of LiF. Health Phys 1966;12(4):525-31.
5. Zimmerman DW, Rhyner CR, Cameron JR. Thermal annealing effects on the thermoluminescence of lithium fluoride. Proc. Int. Symp. on Luminescence Dosimetry, Stanford 1965. p. 86-100.
6. Mason EW, McKinlay AF, Clark I. Cooling rate effects in thermoluminescence dosimetry grade lithium fluoride. Implications for practical dosimetry. Phys Med Biol 1976;21(1):60-6.
7. Wald J, DeWerd LA, Stoebe TG. Long term recycling characteristics of lif (tld-100) dosimeter material. Health Phys 1977;33(4):303-10.
8. Karaçam Çavdar S, Öksüz DÇ, Koca A, Günhan B, Çepni H ve ark. Hodgkin hastalığı mantle ışınlamasında fetus dozlarının araştırılması. Cerrahpaşa Tıp Dergisi 2008;39(2):56-62.