

# Tüm vücut ışınlamalarında orta hat dozlarının belirlenmesi ve hesaplanan dozların doğrulanması

## Midplane dose determination and verification of calculated doses in total body irradiation

Özlem ÖZDEMİR,<sup>1</sup> Sinan HOCA,<sup>2</sup> Nezahat OLACAK,<sup>2</sup>  
Serdar ÖZKÖK,<sup>2</sup> Serra KAMER,<sup>2</sup> Yavuz ANACAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Denizli;

<sup>2</sup>Ege Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İzmir

### AMAÇ

Tüm vücut ışınlamada (TVI) iyon odası ve termoluminesans dozimetri (TLD) kullanarak antropomorfik fantomda ve hastalarda farklı bölgelerde hesaplanan ve ölçülen dozları karşılaştırmaktır.

### GEREÇ VE YÖNTEM

Ölçümler lateral sahalarda 6 MV foton, 82° gantri, 40x40 cm<sup>2</sup> alan ve kaynak-eksen mesafesi (SAD) 400 cm'de gerçekleştirildi. Antropomorfik fantomda TLD ile giriş-çıkış ve orta hat dozları, hastalarda ise TLD ve iyon odası ile giriş-çıkış dozları ölçüldü.

### BULGULAR

Fantom sonuçlarında giriş-çıkışta ölçülen ve hesaplanan doz değerleri arasında baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelviste %0.8, %2.7, %26.4, %4.4 ve %4.9, orta hatta baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelviste %1.6, %1.6, %6.3, %1.4 ve %7.4 farklılık saptandı. Hastalarda TLD sonuçlarına göre baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelviste % -4.13 ile %6.7, % -3.3 ile %3.9, %5.1 ile %16.6, % -7.8 ile %2.4, ve %1.04 ile %7.1, referans noktası için iyon odası sonuçlarında %0.1 ile %1.9 arasında farklılıklar gözlemlendi.

### SONUÇ

Tüm vücut ışınlama tedavisi kliniğimizde limit değerler içerisinde uygulanmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** Tüm vücut ışınlama, in-vivo dozimetri, termoluminesans dozimetri.

### OBJECTIVES

To compare calculated and measured doses for different regions of anthropomorphic phantom and patients using ion chamber and thermoluminescence dosimetry (TLD) for total body irradiation.

### METHODS

Measurements were done for lateral fields with 6 MV, gantry 82°, 40x40 cm<sup>2</sup> field and 400 cm source-axis distance (SAD). Entrance-exit and midline doses were measured on anthropomorphic phantom by TLD and entrance-exit doses were measured by TLD and ion chamber on patients.

### RESULTS

For anthropomorphic phantom measurements differences between calculated and measured entrance-exit doses of head, neck, shoulder, lung and thick pelvis were 0.8%, 2.7%, 26.4%, 4.4% and 4.9% and for midline doses were 1.6%, 1.6%, 6.3%, -1.4% and 7.4% respectively. For patients; TLD differences were within -4.13% ile 6.7%, -3.3% ile 3.9%, 5.1% ile 16.6%, -7.8% ile 2.4%, and 3.6% ile 7.1% respectively. For thick pelvis measurements with ion chamber differences were within %0.1-1.9.

### CONCLUSION

Total body irradiation is being applied in limit values in our clinic.

**Key words:** Total body irradiation, in-vivo dosimetry, thermoluminescence dosimetry.

Tüm vücut ışınlama (TVI) lösemi, aplastik anemi, lenfoma, multipl miyelom, otoimmün hastalıklar, doğuştan kaynaklanan metabolizma hataları gibi çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılır. Genellikle kemik iliği nakline hazırlık rejimi olarak, kemoterapi programından sonra uygulanır. TVI'nın amacı hastalıklı kemik iliğini ve tümör hücrelerini yok etmek, sağlıklı kemik iliği naklinin reddini önlemek için hastanın bağışıklığını yeterli derecede baskılamaktır. Yalnızca kemoterapi de bir şartlı rejim olarak kullanılabilmesine rağmen, TVI'nın da eklenmesi kliniksel şartlar ve belli hastalıklar için daha yararlı olmaktadır.

Tüm vücut ışınlama'yı uygulamak için çok sayıda teknik kullanılmıştır. Belli bir tekniğin seçimi uygun malzemeye, foton ışını enerjisine, maksimum uygun alan boyutuna, tedavi mesafesine, doz hızına, hastanın boyutlarına ve belli vücut yapılarının korunma gereksinimine bağlıdır.

Bir anteroposterior (AP/PA) tekniği genellikle dikey vücut eksenini boyunca daha iyi doz homojenliği sağlar ama bunun dışında hastayı dikey olarak konumlandırmak sorunlar yaratabilir. Hasta TVI mesafesinde ayakta dik pozisyonda durarak veya yatar pozisyonda karşılıklı-paralel alanlarla AP/PA olarak ışınlanır. Dikkat edilmesi gereken noktalar, akciğerin uygun dozu alacak şekilde kompanse edilmesi veya dozu sonradan tamamlanmak üzere tamamen korunması ve tedavi süresi boyunca hastaya hareket etmeyeceği rahat bir pozisyon sağlanmasıdır.

İki taraflı TVI (sol ve sağ yandan tedavi etmek) hasta için eğer bir TVI masasında oturmuş ya da sırt üstü uzanmış ise daha rahat olabilir fakat vücut kalınlıklarında ışın yolu boyunca daha büyük değişimlere yol açar. Kollar vücut şekline uymak için yandan ve vücudun orta AP-kalınlık seviyesi ile temas halinde yerleştirilir. Kolların geride kalan omurga yerine, akciğerleri korumasını sağlamak için dikkat edilir.<sup>[1]</sup>

Tüm vücut ışınlamasında hasta-kaynak mesafesinin fazla oluşu ve buna bağlı olarak tedavi uzaklığındaki alan boyutlarının çok büyük olması, ışın demetinin geliş yönüne göre hasta vücudunun girintili çıkıntılı yapısı ve vücut içerisinde birbirin-

den çok farklı doku yoğunlukları bulunması gibi etkenler, hesaplamada kullanılan parametrelerin tam saçılma şartlarına göre yeniden düzenlenmesi ve bazı durumlarda ek düzeltme faktörlerinin kullanılmasını gerekli kılar.<sup>[2]</sup>

İn vivo dozimetri TVI'da hastanın farklı noktalarındaki dozunu hesaplamadaki zorluklardan, tedavinin uzun süresi nedeniyle hasta hareket riskinin yüksek olmasından ve tek fraksiyon küründe tedavi bitmeden önce dozu düzeltme gereksiniminden dolayı çok önemlidir.<sup>[3]</sup> Hastaya verilen dozlar tedavi esnasında ölçülmeli ve bu dozlar hesaplanan doz değerleri ile kıyaslanarak kabul edilebilir limitler içerisinde olması sağlanmalıdır.<sup>[4]</sup> Bu açıdan, in-vivo ölçümleri TVI'da sadece kontrol için değil daha çok toplam dozimetrik yaklaşımın bir parçasıdır.

Tüm vücut ışınlama'da in-vivo dozimetrisinin üç görevi vardır: referans noktadaki (genellikle ortapelvis veya orta-abdomende) alınan dozu belirlemek, kranioyokaudal yönde farklı noktalarda orta hat dozunun homojenliğini ölçmek, risk altında olan organların (akciğerler, karaciğer vb.) seviyesindeki dozu gözlemlemek.<sup>[3]</sup>

Bu çalışmanın amacı, kliniğimizde uygulanmakta olan TVI tedavisinde termoluminesans dozimetri kullanarak antropomorfik fantomda ve tedaviye giren hastalarda, farklı kalınlıktaki bölgelerde oluşan dozları ölçmek ve bulunan değerlerin doğruluğunu hesaplanan (planlanan) değerlerle karşılaştırarak kontrol etmektir.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışmada 2-13 yaş aralığında toplam yedi hasta kullanıldı. Çalışmaya başlamadan önce tedavi cihazının TVI şartlarında bir takım dozimetrik ölçümleri yapıldı. Bunun için öncelikli olarak tedavi cihazının SSD 400 mesafede ve 10 cm derinlikte yatay ve dikey doz profillerine bakılarak doz homojenliği kontrol edildi ve kullanılabilir ışın alanı belirlendi. TVI için tasarlanmış koltukta lateral sahalarında 6 MV foton enerjisi için SAD 400 cm'de ve ön- arka sahalar için de 6 MV foton ve 6, 8, 10, 12 MeV elektron enerjileri için sedyede SAD 200 cm'de farklı derinliklere karşılık gelen dozlar ölçüldü. 6 MV için referans derinlikte, elektron ener-

jileri için maksimum derinliklerde 1 Gy'ye karşılık gelen tedavi süreleri bulundu.

Çalışmada TVI için lateral ve ön-arka ışınlama kombinasyonu kullanıldı. Lateral ışınlama için her iki tarafında gerekli elektron saçılmasını sağlayacak pleksiglas levhalar olan bir araba koltuğu, ön-arka ışınlamalar için bir sedye ve de ek elektron tedavilerinde kullanılan bloklar için bir blok taşıyıcı üretildi.

6 MV foton ışını kullanarak günde 2 Gy'lik ikişer fraksiyondan (en az altı saat arayla) olmak üzere üç günde toplam 6 fraksiyonla 12 Gy'lik doz verildi ve akciğerlerin 10.5 Gy alması sağlandı. Bu 6 fraksiyonun beşi oturur pozisyon için karşılıklı iki yandan (sağ-sol), biri de uzanmış pozisyon için (ön-arka) uygulandı. Çocuk hastalarda akciğer korumalarından dolayı doz düşüklüğünü engellemek için koruma yapılan akciğer bölgesine elektron boost uygulandı. Elektron enerjisi kaburgaların dozun %80'ini alması sağlanacak şekilde seçildi. Vücut ölçülerine göre bilgisayarda TVI için tasarlanan program ile hesaplama yapıldı.

### Lateral Işınlama

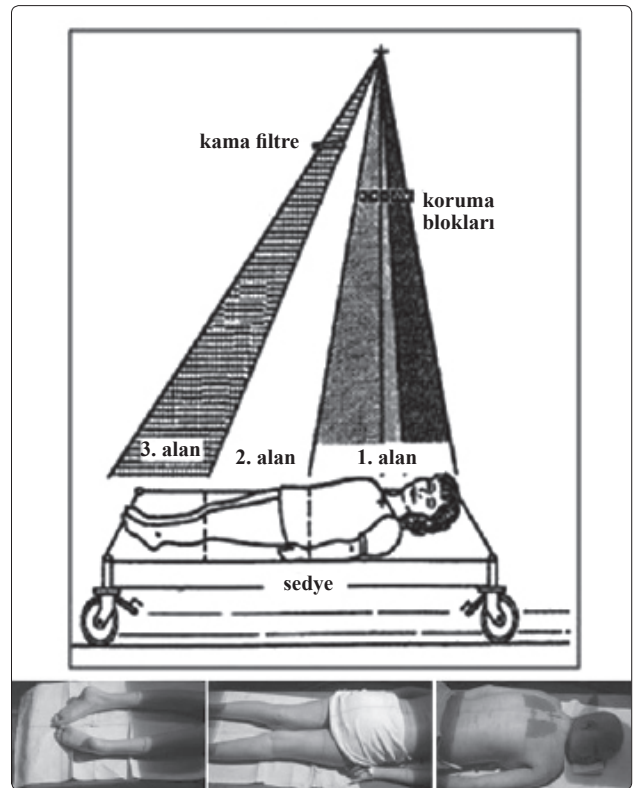
Hastanın oturur pozisyonunda iki yandan yapılan ışınlamada SAD 400 cm, gantri  $82^\circ$ , kolimatör 00, alan  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ 'dir. Hasta ışık alanı içinde simetrik bir şekilde ve alan kenarlarına eşit mesafede pozisyonlandırıldı. Hastanın kolları akciğerleri koruyacak şekilde ve elleri de göbek hizasında birleşecek şekilde sabitlendi (Şekil 1).



Şekil 1. Lateral ışınlama pozisyonu.

### Ön-Arka Işınlama

Ön-arka ışınlamada ise hasta sedyede (SAD 200 cm) yatar pozisyonda ışınlandı. Hastanın tamamını tek bir alana sığdırmak mümkün olmadığından tedavi hastanın boyuna göre iki veya üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci segmentte (gantri= $0^\circ$ ) radyasyon onkoloğu tarafından pozisyonlandırılan akciğer blokları hasta üzerine işaretlendi ve baş-boyun bölgesi tamamen bloklandı. Ayrıca alanın alt sınırı da bir sonraki segmentle yapılacak çakışmaya referans olması açısından işaretlendi. İkinci alan için (gantri= $22^\circ$ ) hasta sedye ile kaydırıldı ve yeni alanın üst sınırı ile önceki alanın alt sınırının 1.5-2.0 cm çakışması sağlandı. Üçüncü ve son alanda (gantri= $39^\circ$ ) ise kama filtre kullanıldı. Kama filtre'nin ince kenarı caudal'in sonuna denk gelmektedir (kolimatör  $90^\circ$ ). Yine bu alan için de hasta sedye ile kaydırıldı ve önceki alanla 1.5- 2.0 cm çakışması sağlandı. ikinci ve üçüncü segmentlerde herhangi bir bloklama yapılmadı. Alanların çakıştırılması ve kama filtre kullanımı ile düşük ve yüksek doz bölgelerinde doz homojenliği sağlandı (Şekil 2).



Şekil 2. Ön-arka ışınlama pozisyonu.

## İyon Odası ile Günlük Tedavi Dozunun Doğrulanması

Lateral ışınlama tekniğinde, giriş ve çıkış dozunu ölçmek için pleksiglas tüp içine yerleştirilen 0.6 cc hacimli iyon odası kullanıldı. İyon odası her hasta için ucu pelvis bölgesinin en kalın noktasına (referans nokta) denk gelecek şekilde ayarlandı. Ölçülen doz aşağıdaki F düzeltme faktörüyle çarpıldı ve günlük ölçüm katsayıları kullanılarak absorbe doza çevrildi. Böylece hastanın orta noktasındaki doz tahmin edildi. Ölçümle elde edilen absorbe doz değeri, planlamadan elde edilen hesaplandığı kalın pelvis noktası dozunun fraksiyon değeri ile kıyaslandı ve böylece tedavi dozu doğrulandı.

$$F = \frac{D_{ORTAHAT}}{(D_{GIRI} + D_{CIKI})/2}$$

### TLD ile Doz Ölçümü

Yeterli build-up sağlamak için 1x1x6 mm<sup>3</sup> ebatlı lityum florür (LiF) TLD'ler üçerli gruplar halinde 0.5'er cm kalınlığında iki bölüme arasına yerleştirildi ve paketlenildi. Bu şekilde her bir hasta için beş paket hazırlandı. Hazırlanan TLD paketleri hastanın başına, boynuna, omzuna, akciğer seviyesine ve kalın pelvis seviyesine yerleştirildi. TLD ölçümleri her hasta için ikişer defa tekrarlandı. Böylece her ölçüm noktasından altı doz değeri elde edildi.

### Rando Fantom Ölçümleri

Bilgisayarda hesaplanan dozların doğrulanması amacıyla insan dokusuna eşdeğer Alderson Rando fantom ışınlanması yapıldı ve dozlar ölçüldü.

Fantom hastaların ışınlandığı pozisyona getirilip gerekli olan kalınlıkları ölçüldü. Fantomun istenilen kesitlerinde hem içine hem de dışına TLD'ler yerleştirilip doz ölçümü yapıldı. Fantomun dışına yerleştirilen TLD'ler hastalarda olduğu gibi paketler halinde kullanıldı. Fantom içindeki deliklere de ikişer TLD yerleştirildi.

## BULGULAR

### Rando Fantom Ölçümleri Doz Değerleri

#### 1. Giriş-Çıkış TLD Ölçümleri

Rando fantomda belirlenen seviyelerden alınan vücut ölçülerine göre bilgisayarda tedavi dozları hesaplandı. Çeşitli seviyelerdeki kalınlıklara göre hesaplanan ve ölçülen doz değerleri ile bunlar arasındaki yüzdelik farklar Tablo 1'de verilmiştir.

#### 2. Orta Hatta TLD Ölçümleri

Rando fantomun içine, belirlenen bölgelerdeki kesitlerin ortasına yerleştirilen TLD'lerin aldığı dozlar ve hesaplanan doz değerleri ile bunlar arasındaki farklar Tablo 2'de verilmiştir.

### Hasta Ölçümleri Doz Değerleri

#### 1. TLD Ölçümleri

Hastaların vücut kalınlıklarına göre bilgisayarda tedavi dozları hesaplandı. Her hasta için belirlenen seviyelerdeki kalınlıklara göre hesaplanan ve ölçülen doz değerleri ile bunlar arasındaki farklar Tablo 3'de verilmiştir.

#### 2. İyon Odası Ölçümleri

Hastaların kalın pelvis seviyesinde tedavi esnasında ikinci bir in-vivo dozimetri yöntemi olarak iyon odasıyla yapılan ölçümlerin doz değerleri ve

**Tablo 1**

Rando fantomda giriş-çıkış doz ölçümünden hesaplanan orta hat dozları ve planlanan orta hat dozları, % farkları

Ölçüm yeri	Kalınlık (cm)	Hesaplanan doz (Gy)	Ölçülen doz (Gy)	Fark (%)
Baş (4. kesit)	14.6	2.53	2.55	0.8
Boyun (9. kesit)	13.2	2.57	2.64	2.7
Omuz (12. kesit)	45.3	1.59	2.01	26.4
Akciğer (17. kesit)	45.4	2.02	2.11	4.4
Kalın Pelvis (30. kesit)	30.5	2.01	2.11	4.9

**Tablo 2**

Rando fantomda doğrudan ölçülen orta hatta dozları ve planlanan orta hat dozları, % farkları

Ölçüm yeri	Hesaplanan doz (Gy)	Ölçülen doz (Gy)	Fark (%)
Baş (4. kesit)	2.53	2.57	1.6
Boyun (9. kesit)	2.57	2.61	1.6
Omuz (12. kesit)	1.59	1.69	6.3
Akciğer (17. kesit)	2.02	1.99	-1.4
Kalın Pelvis (30. kesit)	2.01	2.16	7.4

**Tablo 3**

Hastalar için planlanan ve ölçülen orta hat doz değerleri ve % farkları

Ölçüm yeri	Hasta No	Kalınlık (cm)	Planlanan doz (Gy)	Ölçülen doz (Gy)	Fark (%)
Baş	1	15.4	2.39	2.47	3.3
	2	14.6	2.22	2.26	1.8
	3	14.0	2.17	2.18	0.5
	4	14.8	2.38	2.54	6.7
	5	15.2	2.28	2.23	-2.2
	6	15.4	2.42	2.32	-4.13
	7	14.0	2.42	2.52	4.1
Boyun	1	9.7	2.56	2.60	1.6
	2	9.0	2.38	2.43	2.1
	3	8.7	2.32	2.34	0.9
	4	10.7	2.51	2.61	3.9
	5	10.0	2.43	2.35	-3.3
	6	11.0	2.56	2.60	1.6
	7	9.0	2.57	2.65	3.1
Omuz	1	34.4	1.80	2.10	16.6
	2	26.9	1.86	2.04	9.7
	3	29.0	1.76	1.85	5.1
	4	35.8	1.75	1.94	10.8
	5	34.5	1.71	1.85	8.2
	6	34.2	1.83	1.93	5.5
	7	28.5	1.83	1.98	8.2
Akciğer	1	39.1	2.05	1.95	-4.9
	2	29.6	2.07	2.12	2.4
	3	27.6	2.05	2.0	-2.4
	4	37.3	2.07	2.12	2.4
	5	34.4	2.05	1.95	-4.8
	6	40.0	2.06	1.90	-7.8
	7	28.0	2.05	1.95	-4.9
Kalın pelvis	1	28.9	1.97	2.11	7.1
	2	20.7	2.04	2.12	3.9
	3	25.5	1.85	1.94	4.8
	4	29.6	1.92	1.99	3.6
	5	31.5	1.80	1.85	2.9
	6	31.0	1.93	1.95	1.04
	7	22.0	1.97	2.07	5.1



**Tablo 4**

Hastaların kalın pelvis seviyesinde iyon odası ile ölçülen giriş-çıkış dozlarından elde edilen orta hat dozları ve hesaplanan orta hat doz dozları, % farkları

Ölçüm yeri Kalın pelvis	Hesaplanan doz (cGy)	Ölçülen doz (cGy)	Fark (%)
1. Hasta	196.6	196.9	0.2
2. Hasta	204.2	204.4	0.1
3. Hasta	188.9	185.2	1.9
4. Hasta	192.94	192.36	0.3
5. Hasta	189.2	191.7	1.3
6. Hasta	176.0	178.3	1.3
7. Hasta	178.6	179.5	0.5

bunların kalın pelvis noktası hesaplama değerleriyle kıyaslanması sonucu oluşan farklar Tablo 4'te gösterilmiştir.

### TARTIŞMA

Tüm vücut ışınlamasında vücudun düzensiz şeklini, doku yoğunluk farklılıklarını ve uzun bir ışınlama süresi boyunca hasta hareketlerini hesaba katmak zor olduğundan uluslararası protokoller (AAPM, ICRU, NACP) tarafından in-vivo dozimetri önerilmektedir. İn-vivo dozimetri kullanılarak hastadaki doz homojenliği değerlendirilebilir. Doz homojenliği hedeflenen dozun  $\pm\%10$ 'u içinde olmalıdır.<sup>[5]</sup>

Su ve ark.<sup>[6]</sup> antropomorfik fantom kullanarak yaptıkları çalışmalarında, hedeflenen doz ile TLD'lerle bulunan dozlar arasındaki farkın baş, omuz, göğüs, umblikus ve kalça için sırasıyla; %2.1, %4.1, -%0.5, %3.3 ve %4.3 belirlemişlerdir. Duch ve ark.<sup>[7]</sup> antropomorfik fantom kullanarak TVI koşullarında elde ettikleri kalibrasyon faktörü ile standart koşullarda elde ettikleri faktör arasında %2.7'lik bir fark saptamışlardır. Giriş dozu ölçümlerinde standart sapma %1'den az, çıkış dozu ölçümlerinde %2 ve orta hat dozları ile ölçülen ve hesaplanan dozlar arası fark %2'den az bulmuşlardır. Bu çalışmada kullanılan TLD sisteminin TVI koşullarında in-vivo dozimetri için uygun olduğu kanıtlanmıştır. Ribas ve ark.<sup>[8]</sup> da Duch ve ark. ile aynı klinikte aynı tekniği kullanarak TVI'da orta hat dozunu belirlemek için in-vivo dozimetri kullanımına dayanan bir algoritma geliştirmişlerdir. Gi-

riş ve çıkış dozlarının aritmetik ortalaması ve Riz-zotti tarafından kullanılan algoritma TLD'ler ile ölçülen dozlarla karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemle de hesaplanan farklılık antropomorfik fantomda %2 olarak bulmuşlardır. Ban ve ark.<sup>[9]</sup> antropomorfik fantomda vücut yüzeyine yakın organların dozları hedeflenen doz ile iyi bir uyum içinde iken, vücudun ortasındaki dozların ise %10'dan fazla olduğunu belirlemişlerdir. Çıkış yüzeyinde doz düşüşü ve orta bölgelerde de doz fazlalığı ölçülmüştür. Akciğer dozu hedeflenen dozdan %5 daha az bulunmuştur. Vücut kalınlıklarının değişimlere yol açacağını belirtmişlerdir.

Çalışmamızda 6 MV enerji ile TVI koşullarında (SAD 400 cm), bolisle kaplanan TLD'lerin antropomorfik fantomda baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelvis bölgelerinde giriş ve çıkışa yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. TLD'ler ile ölçülen dozların bilgisayar programından hesaplanan dozlarla uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Aralarındaki farklar baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelvis için sırasıyla; %0.8, %2.7, %26.4, %4.4 ve %4.9 olarak belirlenmiştir. Antropomorfik fantomda giriş-çıkış ölçümlerinde omuz dozu; omuz bölgesinin geniş olması, koltuğun pleksiglasına ve tedavi odasının duvarına diğer ölçüm noktalarından daha yakın olmasından dolayı geri saçılan radyasyondan daha fazla etkilenebileceği için yüksek bulunmuştur. TLD sistemleri için üretimden kaynaklanabilecek hassasiyet farklılıkları, okuyucu hataları ve kalibrasyon kaynaklı hatalar göz önünde bulundurulduğunda dozlarda  $\pm\%3$  civarında bir farklılık

oluşabileceği vurgulanmaktadır.<sup>[10]</sup> TLD belirsizliğine TVI tedavisinin kendi belirsizlikleri de katılıp, aynı zamanda hasta ölçümleri ve rando fantom orta hat omuz bölgesi dozu da incelendiğinde yüksek dozların sadece omuz bölgesi giriş-çıkış dozlarında olduğu dikkate alındığında bu yüksek dozların ihmal edilebilir olabileceğine karar verilmiştir. TLD'ler ayrıca antropomorfik fantom içindeki deliklere yerleştirilerek orta hatlardaki dozlar ölçülmüştür. Ölçülen dozlar ile bilgisayar programından hesaplanan dozlar arasındaki farklar baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelvis için sırasıyla; %1.6, %1.6, %6.3, -%1.4 ve %7.4 olup, bu farklar  $\pm\%10$  limit değeri içerisinde kalmıştır.

Su ve ark.<sup>[6]</sup> yaptığı çalışmalarında, iki TVI hastasında tek fraksiyonda kafa, omuz, göğüs, umblikus, kalça, uyluk, diz ve ayak bileklerinde sağ ve sol taraflarda TLD'lerden elde edilen değerler verilen dozla %10 uyum içerisinde olduğunu saptamışlardır. Ribas ve ark.<sup>[8]</sup> her hasta için teorik giriş ve çıkış dozlarını hesaplamışlardır. TLD ölçümlerinin %4, genelde %10'dan büyük olan sapmaların kalınlığı 25 cm üzerinde olan obez hastalarda olduğunu vurgulamışlardır. 60 hastada toplam elde edilen ve beklenen orta hat dozları arasındaki standart sapmayı %3 olarak belirlemişlerdir.

Çalışmamızda yedi tane TVI hastası için, her hastaya lateralden uygulanan beş fraksiyonun ikisinde baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelvis bölgelerinde TLD ölçümleri, ikisinde ise sadece kalın pelvis bölgesinde iyon odası ölçümleri olmak üzere hasta başına toplam dört fraksiyon için in-vivo dozimetri ölçümleri yapılmıştır. Hasta ile kaynak arasına 1 cm kalınlığında pleksiglas malzeme cilt dozunu artırmak için yerleştirilmiştir. Lateral ışınlamada akciğerler hastaların kolları ile korunmuştur. TLD ölçümleri sonucu hastalarda baş, boyun, omuz, akciğer ve kalın pelvis için sırasıyla; % -4.13 ile %6.7, % -3.3 ile %3.9, %5.1 ile %16.6, % -7.8 ile %2.4 ve %1.04 ile %7.1 arasında doz farklılıkları saptanmıştır.

Malicki ve ark. çalışmalarını TVI kobalt-60 cihazında günde iki fraksiyon dört günde toplam 12 Gy doz ve SSD 275 cm'de gerçekleştirmişlerdir. Hastalar lateral alanda masada uzanmış pozisyonunda ışınlanmıştır. TLD, iyon odası ve yarı iletken di-

yotlar ile ölçümler alınmıştır. Ölçüm yapılacak her bir noktaya üçer TLD ve bir diyot, merkezi eksene de iyon odası yerleştirilmiştir. Lateral ışınlamadaki vücut orta hattının doz değişimi omuzlardan ayaklara kadar -%13.4 ile +%18.3 aralığında, ön-arka ışınlamanın eklenmesiyle orta hattaki doz homojenliği -%4.8 ile +%7.1 aralığında bulunmuştur.<sup>[11]</sup>

Çalışmamızda TLD'lerin doz cevaplarından kaynaklanabilecek hataları da göz önüne alarak ikişer fraksiyonda ölçüm yapılmıştır. Antropomorfik fantom ölçümleri ise beş kere tekrarlanıp yine aynı şekilde her bölgeye üçer TLD yerleştirilerek yapılmıştır. TVI hastalarının TLD ile doz değişimi -%7.8 ile %16.6 aralığında, iyon odası ile doz değişimi ise kalın pelvis için %0.1 ile %1.9 aralığında belirlenmiştir.

Sonuç olarak, 6 MV foton enerjisi ile tedavi ettiğimiz TVI hastalarında TLD ve iyon odasıyla alınan ölçüm sonuçları ve antropomorfik fantomda da TLD ile alınan ölçüm sonuçları hesaplanan dozlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu TVI tekniği kliniğimizde kabul edilebilir limitler dahilinde uygulanmaktadır.

#### KAYNAKLAR

1. Khan FM, Pine J, Standen M, Kairis LR, Boyce T. The physics of radiation therapy. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2003. p. 455-9.
2. Bomford CK, Kunkler IH, Sherriff SB. Textbook of radiotherapy. 5th ed. London: Livingstone; 1994. p. 105-6, 465-7.
3. Van Dyk J, Galvin CM, Glasgow GP, Podgorsak EB. The physical aspects of total and half body photon irradiation, AAPM Report 17, New York: American Institute of Physics; 1986. p. 5-39.
4. Mangili P, Fiorino C, Rosso A, Cattaneo GM, Parisi R, Villa E, et al. In-vivo dosimetry by diode semiconductors in combination with portal films during TBI: reporting a 5-year clinical experience. *Radiother Oncol* 1999;52(3):269-76. [\[CrossRef\]](#)
5. Essers M, Mijneer BJ. In vivo dosimetry during external photon beam radiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999;43(2):245-59. [\[CrossRef\]](#)
6. Su FC, Shi C, Papanikolaou N. Clinical application of GAFCHROMIC EBT film for in vivo dose measurements of total body irradiation radiotherapy. *Appl Radiat Isot* 2008;66(3):389-94. [\[CrossRef\]](#)
7. Duch MA, Ginjaume M, Chakkor H, Ortega X, Jornet N, Ribas M. Thermoluminescence dosimetry applied to

- in vivo dose measurements for total body irradiation techniques. *Radiother Oncol* 1998;47(3):319-24. [\[CrossRef\]](#)
8. Ribas M, Jornet N, Eudaldo T, Carabante D, Duch MA, Ginjaume M, et al. Midplane dose determination during total body irradiation using in vivo dosimetry. *Radiother Oncol* 1998;49(1):91-8. [\[CrossRef\]](#)
  9. Ban N, Sawai S, Aoki Y, Nakagawa K, Kusama T. Dose evaluation of patients receiving total body irradiation for the pre-treatment of bone marrow transplantation. *Radiat Protec Dosim* 1997;71(1):61-4. [\[CrossRef\]](#)
  10. Kron T, Schneider M, Murray A, Mameghan H. Clinical thermoluminescence dosimetry: how do expectations and results compare? *Radiother Oncol* 1993;26(2):151-61. [\[CrossRef\]](#)
  11. Malicki J, Wachowiak J, Kosicka G, Kierzkowski J, Stryczynska G. Dose uniformity in a body during fractionated total body irradiation. *Med Phys* 1997;22(2):30-5.