

Plak simülator doz dağılımlarının GAFCHROMIC® EBT film ile verifikasyonu

Verification of plaque simulator dose distributions using GAFCHROMIC® EBT film

Hilal ACAR¹

¹*İstanbul Üniversitesi Onkoloji Enstitüsü, Klinik Onkoloji Anabilim Dalı, Radyasyon Onkolojisi Bilim Dalı, İstanbul*

AMAÇ

Bu çalışmada 14, 16, 18 ve 20 mm çaplı iyot 125 seedleri ile tam dolu COMS plaklarının merkezi eksen derin doz ve off axis doz profilleri GAFCHROMIC® EBT ile ölçülmüş ve BEBIG planlama bilgisayarı ile hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar birbirlerine oranlanarak tedavi planlama bilgisayarının hesapladığı dozun verifikasyonu yapılmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Ölçümler balmumu baş fantomuna yerleştirilen polystyrene göz fantomunda yapılmıştır.

BULGULAR

Ölçüm yapılan fantomun gözün gerçek yapısını bire bir yansıtmamasından ve ölçüm aletlerinin yetersizliğinden kaynaklanan nedenlerden dolayı GAFCHROMIC® EBT ölçüm sonuçları BEBIG sonuçlarından maksimum %13 düşük bulunmuştur.

SONUÇ

Klinikte rutin olarak kullanılan BEBIG planlama bilgisayarı ilk birkaç mm ve uzak off-axis noktalarındaki eksiklikleri bilinen hastaların tedavi planlamasında kullanılabilir. Ayrıca, GAFCHROMIC® EBT film kullanarak hastadaki dozun verifikasyonu fantom üzerinde doğrulanabilir.

Anahtar sözcükler: BEBIG plak simülator; COMS plak; episkleral plak tedavisi; GAFCHROMIC® EBT film.

OBJECTIVES

Off-axis dose profile and central-axis dose distributions were measured using GAFCHROMIC® EBT film and calculated using BEBIG plaque simulator for COMS plaques of 14, 16, 18 and 20 mm diameter fully loaded with I-125 seeds. Results were compared to verify dose distribution as calculated by BEBIG.

METHODS

Measurements were made on polystyrene eye phantom placed in a wax head phantom.

RESULTS

The results of GAFCHROMIC® EBT film were 13% lower than the results using BEBIG plaque simulator. This can be attributed to the facts that the model eye does not reflect the human eye exactly and that our measurement devices are inadequate.

CONCLUSION

The BEBIG treatment planning computer can be used considering the shortcomings with respect to the first few mm and remote off-axis points. Furthermore, dose verification in patients can be made using GAFCHROMIC® EBT film on a model eye phantom.

Key words: BEBIG plaque simulator; COMS plaque; episcleral plaque treatment; GAFCHROMIC® EBT film.

Koroid malign melanom erişkinlerde, retinoblastom ise çocuklarda en sık görülen primer göz içi tümörlerdir. Episkleral plak brakiterapisi (iyot 125, paladyum 103 ve rutenyum 106) bu tümörlerin tedavisinde kullanılmaktadır. En sık ise yüksekliği 3 ile 10 mm arasındaki koroid melanomlarında, daha az oranda da tümörün yerleşimine göre 3 mm'den küçük veya 10 mm'den yüksek koroid malign melanomların tedavisinde kullanılmaktadır. Retinoblastomda ise lokalize, tek odaklı, tümör çapı 16 mm'ye kadar olan primer tümörlerde, lokalize tümörlerin yinelemelerinde veya diğer tedavi modlarına dirençli olgularda kullanılabilir.^[1]

1980'li yıllarda Collaborative Ocular Melanoma Study (COMS) protokolü^[2-4] oluşturularak episkleral plak brakiterapisinin standartları belirlendi. Pek çok plak geliştirilmesine rağmen, COMS protokolü, polimerden yapılmış kanallara seedlerin yerleştirileceği altın karışım plakların standart plak olarak kullanılmasını ve bu plakların içinde kullanılacak düşük doz hızlı, foton yayan kaynak olarak da iyot 125'i önermektedir.

COMS, iyot 125 göz plak tedavisi için tanım noktasına verilecek dozu, hesaplama ve raporlama kriterlerini tanımladı. COMS dozimetrik varsayımına göre, iyot 125 seedleri nokta kaynaktır. Kaynağın anizotropisi ve altın plağın saçılma ve atenuasyon etkileri ihmal edilir. Plağın silastik insert'i su eşdeğeri kabul edilir ve kollime edici kenarın koruyucu etkisi ihmal edilir. Ancak, bu varsayımlar daha az doz hesaplanmasına neden olur. Bu faktörlerin önemli olmasının sebebi bu plaklarda kullanılan seedlerin enerjisinin düşük olmasıdır. Bu nedenlerle gerek tedavi planlama bilgisayarlarında gerekse de elle hesaplamalarda, COMS dozimetre protokolü yerine AAPM tarafından 1995 yılında geliştirilen Task Group 43^[5] formalizmi doz hızı hesaplamada kullanılır. AAPM, yeni formalizmin ışığında tümöre verilecek dozu da 85 Gy olarak değiştirmiştir.

Bu çalışmada, tedavi dozları COMS protokolünde önerildiği gibi tümör apeks noktasına tanımlanmıştır. COMS protokolü küçük tümörler için referans noktayı gözün iç sklerasından 5 mm yukarısı olarak tanımlar. Bu ise plak yüzeyinden yani dış skleradan 6 mm yukarıya denk gelir.

Bu çalışmada, çoklu seed konfigürasyonuna ait doz dağılımı ölçüldüğünden, tek brakiterapi seed dozimetresine ait AAPM TG 43'de tanımlanan geometri fonksiyonu, radyal fonksiyon, anizotropi fonksiyonu gibi parametreler yerine merkezi eksen derin doz dağılımı ve off axis doz profil dağılımı terimleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada 14, 16, 18 ve 20 mm çaplı iyot 125 seedleri ile tam dolu COMS plaklarının merkezi eksen derin doz ve off axis doz profilleri GAFCHROMIC® EBT ile ölçülmüş ve BEBIG planlama bilgisayarı ile hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar birbirlerine oranlanarak tedavi planlama bilgisayarının hesapladığı dozun verifikasyonu yapılmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

1. GAFCHROMIC® EBT Filmin Kalibrasyonu

Kalibrasyon için ONCOR lineer hızlandırıcı cihazında 2 x 2 cm² boyutlarında kesilmiş olan filmler katı su fantomunda SSD = 100 cm ve 10 x 10 cm² alan boyutunda alanın merkezinde doz maksimum derinliğine yerleştirildi. Altına yeterli geri saçılma sağlayacak kadar katı su fantomu konuldu. 5 cGy - 800 cGy doz aralığında aynı paketten (batch sayısı 36076-003 AL) 9 film alınarak aynı koşullarda yerleştirilip 5, 10, 25, 50, 100, 200, 400, 600 ve 800 cGy doz değerlerinde 6 MV yüksek enerjili X ışınları ile ışınlandı. Işınlanan filmler kuru ve karanlık bir ortamda saklandı.

Kalibrasyon filmleri ışınlama sonrası renk değişiminden oluşacak hataları azaltmak için ışınlanmadan bir gün sonra değerlendirildi. Işınlanmamış film "background" olarak kullanıldı ve net optik yoğunluklar "background" çıkarılarak elde edildi.

GAFCHROMIC® EBT filmler Epson 10000 XL film tarayıcı kullanılarak tarandı. PTW "Mephisto Mc2 FilmCal" programı kullanılarak filmlerin merkezindeki optik yoğunluklar (OD) okundu. Hiç ışınlanmamış filmin OD'si çıkarılarak net optik yoğunluklar elde edildi. NOD = f (Doz, cGy) grafikleri çizilerek kalibrasyon eğrileri oluşturuldu.

2. BEBIG Tedavi Planlama Bilgisayarından Doz Dağılımlarının Eldesi

BEBIG planlama bilgisayarının yazılımındaki menüler kullanılarak farklı çaptaki plaklar (COMS

14, 16, 18, 20 mm) için izodoz dağılımları elde edildi. (Tercih edilen standart tümör boyutları tümör apeksi 5 mm, kalınlığı 10 mm, yatay uzunluğu 10 mm'dir. Kullanılan plağın tipi COMS ve kullanılan izotop iyot 125 dir.) Plak tümörün tabanına merkezlendi. Plakların içine barındırabilecekleri maksimum sayıdaki iyot 125 seedleri yerleştirildi. (14 mm'lik plak maksimum 13 tane seed, 16 mm'lik plak 13 seed, 18 mm'lik plak 21 seed, 20 mm'lik plak 24 tane seed ihtiva edebilir).

Tümör apeksine vermek istediğimiz doz bilgisayara girildi. COMS protokolüne göre tümör taban çapı 10 mm'den küçük tümörler için referans nokta gözün iç sklerasından 5 mm yukarısı olarak tanımlanır. Bu nokta plak yüzeyinden 6 mm yukarıya denk gelir. Bu çalışmada tümörün apeksi 5 mm olarak kabul edildiğinden COMS noktası aynı zamanda tümör apeksini gösterir.

BEBIG tedavi planlama bilgisayarında, girilen miktardaki kaynağın girilen dozu COMS noktasına vermek için plağın göz fantomunda ne kadar süre kalması gerektiğini hesapladı. Planlama bilgisayarı ile, plağın merkezi eksenini boyunca birer milim ara ile 15 mm'e kadar olan cGy/hr cinsinden ortalama doz hızlarını ve Gy cinsinden toplam dozları da hesapladı.

Elde edilen sonuçlar her bir plak için film ölçümlerinden elde edilen dozlarla karşılaştırıldı.

3. GAFCHROMIC® EBT Film ile Merkezi Eksen Derin Doz Dağılımının Elde Edilmesi

Bu çalışmada, COMS 14, 16, 18, 20 mm çaptaki plaklar kullanıldı. Dört farklı çaptaki plak, ihtiva edebilecekleri maksimum sayıdaki seed ile yüklendi. Merkezi eksen derin dozu, plak merkezine dik düzlemde farklı derinliklerde absorbe edilen dozun tümör apeks noktasındaki doza normalize edilmesi ile elde edilir. Bu nedenle, film plak merkezine dik olacak şekilde göz fantomunun içine yerleştirildi. Ölçümlerin gerçek insan vücudunu modellemesi için ölçümler göz fantomunun yerleştirileceği bir baş fantomunda yapıldı. Şekil 1'de ölçümün yapıldığı balmumu baş fantomu ve polystyrene göz fantomu görülmektedir.

Filmde yeterli kararmanın elde edilebilmesi için tümörün apeksinde 400 cGy olacak şekilde doz ve-



Şekil 1. Balmumu baş fantomu ve polystyrene göz fantomu.

rildi. Bu dozun verilmesi için gereken süre denklem 1 yardımı ile bulundu.

Denklem 1

$$\text{Tedavi süresi} = \frac{\text{Tedavi dozu}}{\text{Seed sayısı} \times \text{Tek seedin aktivitesi} \times \text{Birim aktivite başına doz hızı}}$$

Bu formülde yer alan tedavi dozu birimi cGy, tek bir seed'in aktivitesinin birimi U, doz hızı birimi ise cGy/hr dir. İyot 125 seedlerinin ortalama aktivitesi üretici tarafından sağlanan veri formundan alınmıştır. Doz hızı, Task Group 43'de yer alan doz hızı formülü denklem 2 kullanılarak bulundu.

Denklem 2

$$D(r) = S_k \Lambda \frac{G(r, \theta_0)}{G(r_0, \theta_0)} F(r, \theta) g(r)$$

Burada, S_k kaynağın hava kerma şiddetini, Λ doz hızı sabitini, $G(r, \theta)$ geometri faktörünü, $g(r)$ radyal doz fonksiyonunu ve $F(r, \theta)$, anizotropi fonksiyonunu göstermektedir.

Denklemdaki parametreler, bu çalışmada kullanılan Iseoseed I25.S16 model iyot 125 seed için AAPM'in 2004 yılında güncellediği TG 43 rapo-

rundan ve bu rapora 2007 yılında eklenen yeni rapordan^[6] alınmıştır.

4. GAFCHROMIC® EBT Film ile Off Axis Doz Profillerinin Elde Edilmesi

Farklı çaptaki plaklar (COMS 14, 16, 18, 20 mm) ihtiva edebilecekleri maksimum sayıdaki seed ile yüklendi. Off axis doz profili, plak merkezinden belirli bir dik mesafede yatay çizgi boyunca absorbe edilen dozun aynı dik mesafede merkezi ekseninde absorbe edilen doza normalize edilmesi ile elde edilir. Bu nedenle, film plak merkezine yatay olacak şekilde göz fantomunun içine yerleştirildi. Ölçümün yapıldığı dik mesafe, gözün iç sklera' sından 12 mm, dış sklerasından ise 13 mm yukarıdadır. Filmde yeterli kararmanın elde edilebilmesi için tümörün apeksinde 400 cGy olacak şekilde doz verildi.

Işınlanan filmler kuru ve karanlık bir ortamda saklandı. Ölçüm filmleri ışınlama sonrası renk değişiminden oluşacak hataları azaltmak için ışınlanmadan bir gün sonra değerlendirildi. Işınlanmamış film geri plan olarak kullanıldı ve net optik yoğunluklar geri plan çıkarılarak elde edildi.

GAFCHROMIC® EBT filmler Epson 10000 XL film tarayıcı kullanılarak tarandı. Taramadan elde edilen görüntüler tiff formatında kaydedildi ve PTW marka "Mephysto mc2 Film Analyze, Table Generator ve Data Analyze programları kullanılarak filmlerin merkezindeki net optik yoğunluklar okundu ve kalibrasyon eğrileri kullanılarak doza dönüştürüldü ve COMS noktasına normalize edildi. Her bir ölçüm üçer kere tekrarlandı. Üç ölçümün ortalaması değerlendirmeye alındı.

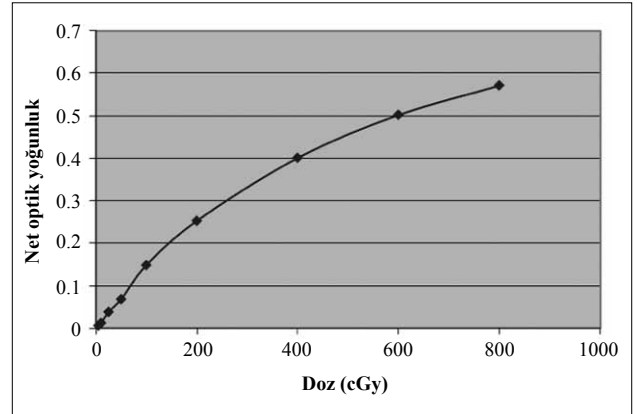
Elde edilen sonuçlar her bir plak için BEBIG hesaplanan dozlarla karşılaştırıldı.

BULGULAR

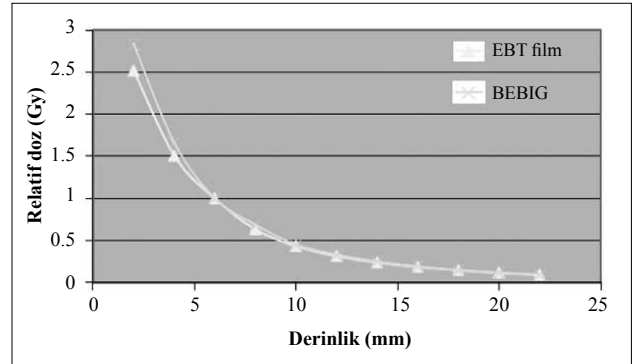
Şekil 2'de GAFCHROMIC® EBT filmin kalibrasyon eğrisi net optik yoğunluğa karşı doz olarak gösterilmektedir.

Şekil 3'de 14 mm çaplı plak için GAFCHROMIC® EBT Film ve BEBIG planlama bilgisayarı ile elde edilen merkezi eksen derin doz değerleri absorbe doza karşı uzaklık grafiği olarak gösterilmiştir. Dozlar, tümör apeks derinliğine verilen doza normalize edilmiştir.

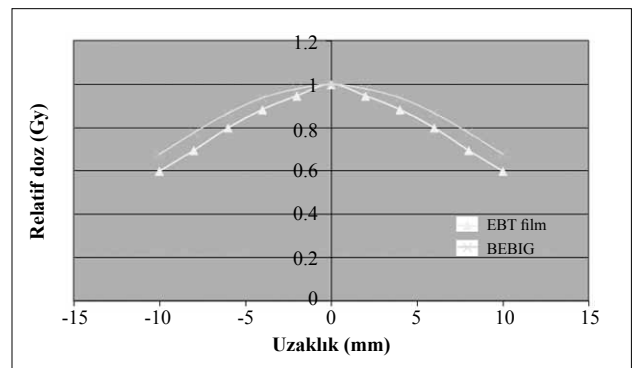
Şekil 4'te 14 mm çaplı plak için GAFCHROMIC® EBT Film ve BEBIG planlama bilgisayarı ile elde edilen off axis doz profil değerleri absorbe doza karşı uzaklık grafiği olarak gösterilmiştir. Dozlar, aynı derinlikte merkezi ekseninde bulunan doza normalize edilmiştir.



Şekil 2. GAFCHROMIC® EBT filmin kalibrasyon eğrisi.



Şekil 3. 14 mm COMS plak için GAFCHROMIC® EBT film ve BEBIG planlama bilgisayarı ile elde edilen merkezi eksen derin doz değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4. 14 mm COMS plak için GAFCHROMIC® EBT film ve BEBIG planlama bilgisayarı ile elde edilen off axis doz profil değerlerinin karşılaştırılması.

Tablo 1

Farklı çaptaki COMS plaklar için BEBIG\FİLM merkezi eksen absorbe dozlarının derinliğe bağlı oranları

Uzaklık (mm)	14 mm	16 mm	18 mm	20 mm
2	%112.31	%110.29	%111.11	%113.11
4	%109.90	%107.69	%105.96	%109.87
6	%100.00	%100.00	%100.00	%100.00
8	%107.59	%106.25	%104.45	%109.59
10	%103.24	%104.37	%106.57	%104.65
12	%104.07	%106.68	%106.41	%106.93
14	%103.41	%106.63	%106.36	%105.83
16	%101.38	%107.82	%105.56	%104.06
18	%101.60	%104.26	%105.93	%104.94
20	%100.71	%106.67	%104.65	%102.24
22	%106.21	%107.07	%106.86	%108.35

Tablo 2

Farklı çaptaki COMS plaklar için BEBIG\FİLM off axis absorbe dozların merkezi eksene göre oranları

Uzaklık (mm)	14 mm	16 mm	18 mm	20 mm
-10	%113.13	%114.03	%111.45	%114.94
-8	%111.78	%110.01	%110.06	%111.46
-6	%108.45	%107.07	%109.78	%109.30
-4	%106.11	%105.44	%107.27	%105.48
-2	%103.34	%103.89	%105.46	%102.95
0	%100.00	%100.00	%100.00	%100.00
2	%103.34	%103.89	%105.46	%102.95
4	%106.11	%105.44	%107.27	%105.48
6	%108.45	%107.07	%109.78	%109.30
8	%111.78	%110.01	%110.06	%111.46
10	%113.13	%114.03	%111.45	%114.94

Değerlerin grafiksel gösterimi yer sıkıntısından dolayı sadece 14 mm plak için yapılmıştır. Diğer plak çapları için değerler tablolar halinde belirtilmiştir. Tablo 1 ve Tablo 2’de farklı çaptaki COMS plaklar için BEBIG\FİLM absorbe dozların uzaklığa bağlı oranları verilmiştir.

TARTIŞMA

Bu çalışmada 14, 16, 18 ve 20 mm çaplı iyot 125 seedleri ile tam dolu COMS plaklarının merkezi eksen derin doz ve off axis doz profilleri GAFC-HROMIC® EBT ile ölçülmüş ve BEBIG planlama bilgisayarı ile hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar

birbirlerine oranlanarak tedavi planlama bilgisayarı ile hesapladığı dozun verifikasyonu yapılmıştır.

Furstoss ve ark.^[7] yaptıkları çalışmada GAFC-HROMIC® EBT filmini AAPM TG 43 parametrelerini elde etmek için kullanmışlardır. Tek bir iyot 125 seedini filmin üzerine koydukları plastik doku eşdeğeri kataterin içine yerleştirip filmi suya maruz kalmayacak şekilde bantlayıp su fantomunda ölçüm yapmışlardır. Film tarayıp kalibrasyon eğrisi yardımı ile optik yoğunlukları doza dönüştürdükten sonra izodozları seedin transvers ekseninden 1 cm uzaklıktaki doza normalize etmişlerdir.

Aynı koşulları MCNPX Monte Carlo kodu ile simüle etmişlerdir. Ölçüm ve hesap arasındaki farkı %2 içerisinde bulmuşlardır. Sudaki ölçümleri sonucunda, GAFCHROMIC® EBT filmin düşük enerjili brakiterapi seedleri için uygun bir dozimetre olduğunu ve ölçüm sonuçlarının MCNPX Monte Carlo kodu ile yapılan simülasyon sonuçları ile uyum içinde olduğunu belirtmektedirler.

Chiu-Tsao ve ark.^[8] yaptıkları çalışmada GAFCHROMIC® EBT filmin intertisyel brakiterapideki etkinliğini araştırmışlardır. Katı su fantomunda EBT filmin kalibrasyon eğrisini hem 6 MV X ışını için hem de iyot 125 için elde etmişlerdir. Tarayıcıda kırmızı ve yeşil ışık kaynağı kullanarak filmleri taramışlardır. Aynı ışık kaynağı için, 6 MV ve iyot 125'in kalibrasyon eğrilerinin birbirlerine çok yakın olduğunu bulmuşlardır. Açısal anizotropi faktörü, radyal fonksiyon, doz hızı sabiti gibi AAPM TG 43 parametrelerini de GAFCHROMIC® EBT film ile ölçmüşler ve elde ettikleri değerlerin TG43U1'de verilen değerlerle ölçümün belirsizlik sınırları içinde uyum içinde olduğunu bulmuşlardır. Katı suda ölçülen radyal doz fonksiyonunu sıvı suda ölçülenden daha düşük bulmuşlardır. Ölçümlerinin belirsizliğini, optik yoğunluğu doza çevirmede kırmızı ışık için toplam %6.6, doz hızı sabiti hesaplamada ise kırmızı ışık için toplam %6.8 olarak bildirmişlerdir. Radyal uzaklık arttıkça farkın da arttığını bulmuşlar 2, 3, 4 ve 5 cm mesafelerde sırasıyla %2, %3, %7 ve %14 düşük doz elde etmişlerdir. Bu farkın beklendiğini çünkü katı suyun sıvı sudan daha fazla atenuasyona yol açtığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak, katı suda iyot 125 seedleri için GAFCHROMIC® EBT filmi iki boyutlu doz dağılımı elde etmede kullanmanın yerinde bir tercih olduğunu ve düşük doz hızlı brakiterapi kaynaklarının doz dağılımı için GAFCHROMIC® EBT'nin TLD'ye iyi bir alternatif olduğunu belirtmişlerdir.

Knutsen ve ark.^[9] COMS 12 mm ve 20 mm plak ve Güney Kaliforniya üniversitesi (USC) plağı için 3 ila 9 seed koyarak BEBIG ile hesapladıkları dozları, diyot dedektör ile ölçtükleri dozlarla karşılaştırmışlardır. Merkezi eksen derin dozlarda %4, uzak off axis noktasında da (sadece bir noktada) %11 fark bulmuşlardır. Kullanılan seedlerin yaydı-

ğı düşük enerjili fotonlar, düşük doz hızı, hızlı doz gradienti gibi zor dozimetrik durumlar düşünülürse bu çalışmada hesaplanan ve ölçülen doz dağılımları arasında bulunan farkların kabul edilebilir olduğunu belirtmişlerdir.

Knitz ve ark.^[10] yayınladıkları bildiride Gafchromic film kullanarak ölçtükleri ve BEBIG plak simülatör kullanarak hesapladıkları off axis doz profillerini karşılaştırmışlardır. Dozları merkezi eksene normalize ettiklerinde plak kenarlarında %15 oranında dozda azalma olduğunu görmüşlerdir. Bunun sebebinin, plak simülatörün tek bir silastik transmisyon faktörü kullanılması ve radyasyonun silastikte daha uzun mesafe kat etmesi ile oluşan dozdaki ekstra azalmayı dikkate almaması olduğunu bildirmişlerdir.

Sonuç olarak bu çalışmada, kullanılan seedler iyot 125'dir. İyot 125'in ortalama 28 keV'lik bir enerji yaydığı kabul edilmektedir. Bu enerjilerdeki baskın etkileşme şekli fotoelektrik olaydır. Fotoelektrik olay, materyalin kütle numarasının küpü, Z³, ile orantılı olduğundan seedlerin yakınındaki altın plak ve silastik gibi inhomojeniteler doz dağılımını önemli ölçüde etkiler. Ayrıca, iyot 125'den yayılan fotonların enerjisi düşük olduğu için doz dağılımı fantom materyalinin etkin atom numarasına ve elementel kompozisyonuna duyarlıdır. Göz elementel kompozisyonu ve yoğunlukları farklı birçok malzemeden oluşur. Ancak, ölçüm fantomu polystyrene malzemeden yapılmış her tarafı aynı yoğunluğa sahip bir materyaldir. Polystyrenenin yoğunluğu 1.05 g/cm³ olup gözün genel yoğunluğundan (1.03 g/cm³) daha yüksektir. Bu nedenle GAFCHROMIC® EBT film ölçüm sonuçları, BEBIG plak simülatör planlama bilgisayarını ile hesaplanan dozlardan daha düşük çıkmıştır. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü yoğun bir materyalde iyot 125 daha fazla atenuasyona uğramaktadır.

BEBIG plak simülatör planlama bilgisayarını ile hesaplanan merkezi eksen derin doz değerleri ile GAFCHROMIC® EBT film ölçüm sonuçları arasındaki farkın en fazla görüldüğü yer 2 mm'dir. Bunun sebebi, BEBIG plak simülatör planlama bilgisayarının altın plaktan dolayı saçılan radyasyonun azalmasını hesaba katmamasıdır. Bir başka deyişle, yüksek yoğunluklu altın plağın normal-

de geri saçılıp doza katkıda bulunacak radyasyonu absorbe etmesi ile azalan geri saçılan radyasyonu böylece ilgili noktada azalan dozu tam olarak hesaba katamamasıdır.

BEBIG plak simülör planlama bilgisayarı ile hesaplanan off axis doz profillerinde en büyük farkın en uzak off axis noktasında, ± 10 mm' de, meydana gelmesi beklenen bir sonuçtur. Çünkü, literatürde de belirtildiği gibi plak simülör tek bir silastik transmisyon faktörü kullanır ve radyasyonun silastikte daha uzun mesafe kat etmesi ile oluşan dozdaki ekstra azalmayı dikkate almaz.

Sonuç olarak, bütün bunlar göz önüne alındığında klinikte rutin olarak kullanılan BEBIG planlama bilgisayarı ilk birkaç mm ve uzak off axis noktalarındaki eksiklikleri bilinerek hastaların tedavi planlamasında kullanılabilir. Ayrıca, GAFCHROMIC® EBT film kullanarak hastadaki dozun verifikasyonu fantom üzerinde doğrulanabilir.

KAYNAKLAR

1. Finger PT. Radiation therapy for choroidal melanoma. *Surv Ophthalmol* 1997;42(3):215-32.
2. [No authors listed] Accuracy of diagnosis of choroidal melanomas in the Collaborative Ocular Melanoma Study. COMS report no. 1. *Arch Ophthalmol* 1990;108(9):1268-73.
3. Collaborative Ocular Melanoma Study Group. Complications of enucleation surgery. COMS Report No. 2. In: Franklin RM, editor. Proceedings of the symposium on retina and vitreous. New Orleans Academy of Ophthalmology. New York: Kugler Publications; 1993. p. 181-90.
4. [No authors listed] Design and methods of a clinical trial for a rare condition: the Collaborative Ocular Melanoma Study. COMS Report No. 3. *Control Clin Trials* 1993;14(5):362-91.
5. Nath R, Anderson L, Weaver K, Williamson J, Meigooni A. Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. *Med Phys* 1995;22(2):209-32.
6. Rivard MJ, Coursey BM, DeWerd LA, Hanson WF, Huq MS, Ibbott GS, et al. Update of AAPM Task Group No. 43 Report: A revised AAPM protocol for brachytherapy dose calculations. *Med Phys* 2004;31(3):633-74.
7. Furtoss C, Reniers B, Poon E, Amours D, Carrier JF, Beaulieu L, et al. Monte Carlo iodine brachytherapy dosimetry: study for clinical application. *Journal of Physics: Conference Series* 102, 2008.
8. Chiu-Tsao ST, Medich D, Munro J 3rd. The use of new GAFCHROMIC EBT film for 125I seed dosimetry in Solid Water phantom. *Med Phys* 2008;35(8):3787-99.
9. Knutsen S, Hafslund R, Monge OR, Valen H, Muren LP, Rekstad BL, et al. Dosimetric verification of a dedicated 3D treatment planning system for episcleral plaque therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001;51(4):1159-66.
10. Knitz A, Hanson WF, Ibbott GS, Followill DS. Verification of plaque simulator dose distributions using radiochromic film. *Med Phys* 2002; Abstract ID: 7690.