

ÇOKLU VMAT ALANLARININ KALİTE GÜVENİLİRLİĞİ (KG) İÇİN BELİRLENEN DÜŞÜK DOZ EŞİKLERİNDE GAMA ANALİZİ BAĞIMLILIĞI

GAMMA ANALYSIS DEPENDENCE ON SPECIFIED LOW DOSE THRESHOLDS FOR MULTIPLE VMAT FIELDS QUALITY ASSURANCE (QA)

Taha ERDOĞAN

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi,
Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalı

ÖZET

AMAÇ: Amerikan Tıp Fizikçileri Derneği (AAPM) TG-119 numaralı raporunda, düzlemsel doz dağılımı gama analizi için kalite güvenilirliği (KG) verilerini değerlendirirken %10'luk düşük doz eşiği veya kolimatör tarafından belirlenen bir değerlendirme alanı kullanılmasını önermektedir. Bu çalışmada, standart ve daha rijit kabul kriterlerine göre (%3/3 mm, %2/2mm ve %1/1mm) %0 ile %15 aralığında çeşitli düşük doz eşiklerinin tedavi planları kalite kontrollerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM: VarianEclipse® tedavi planlama sisteminde (TPS) 11 baş ve boyun, 11 beyin, 11 akciğer ve 11 prostat kanseri vakası olmak üzere toplam 44 çoklu VMAT (Hacimsel Modülasyonlu Ark Terapi) tedavi planı rastgele seçildi. Daha sonra portal dozimetri yazılımı kullanılarak gama analizleri gerçekleştirildi.

BULGULAR: Global normalizasyon kullanımında; gama geçiş oranı (%GP), düşük doz eşiğinin değeri arttıkça azaldı. Kullanılan düşük doz eşiklerin de %3/3 mm ve %2/2 mm kriteri için; akciğer kanseri hariç, %GP değerleri %95'in üzerine çıkmıştır. %GP'deki değişim yüzdesi; düşük doz eşiği %15 için, %3/3mm %2/2mm ve %1/1 mm kriterlerine göre akciğer kanseri planlarında sırasıyla %1.69, %5.65 ve %20.03 olarak gözlenmiştir. Lokal gama analizinde, düşük doz eşiği arttıkça %GP artmıştır, bu global gama yönteminin tam tersi bir sonucudur. Tüm vakalarda, %3/3mm ve %5 düşük doz eşiği ve üzeri için %95'in üzerinde çıkmıştır. Lokal gama yönteminde, %GP'deki değişim yüzdesi düşük doz eşiği %15 için %3/3mm %2/2mm ve %1/1 mm kriterlerine göre akciğer kanseri planlarında sırasıyla %2.98, %7.88 ve %23.86 olarak gözlenmiştir. Rijit kabul kriterleri uygulandığında %GP sonucu azalmaya başlamıştır. Hem %2/2mm hem de %1/1mm kriterleri için ortalama GP, tüm düşük doz eşiklerinde %95'in altında bulunmuştur.

SONUÇ: Global normalizasyonda, farklı düşük doz eşik seviyesi kullanarak gama analizi uygulamanın, KG sonuçları üzerinde kritik bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Lokal normalizasyonda, düşük doz eşik seviyesi dikkatli seçilmelidir, düşük doz noktaları ortalama %GP'nin hızla artmasına neden olabilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Düşük Doz Eşiği, Gama Analizi, VMAT, EPID.

ABSTRACT

OBJECTIVE: In its report TG-119, the American Association of Physicists in Medicine (AAPM) recommends the use of a 10% low-dose threshold or a collimator-determined assessment area when evaluating quality assurance (QA) data for planar dose distribution gamma analysis. In this study, it was aimed to examine the effect of various low-dose thresholds ranging from 0% to 15% according to standard and more rigid acceptance criteria (3%/3 mm, 2%/2 mm, and 1%/1 mm) on quality control of treatment plans.

MATERIAL AND METHODS: A total of 44 multiple VMAT (Volumetric Modulated Arc Therapy) treatment plans including 11 head and neck, 11 brain, 11 lung and 11 prostate cancer cases were randomly selected from the Varian Eclipse® treatment planning system (TPS). Gamma analysis was then performed using portal dosimetry software.

RESULTS: Using global normalization, the gamma pass through rate (%GP) decreased as the value of the low dose threshold increased. For the low dose thresholds used, the %GP values exceeded 95% for the 3%/3mm and 2%/2mm criteria, except for lung cancer. The percentage change in %GP was 1.69%, 5.65% and 20.03% for lung cancer plans for the 3%/3mm, 2%/2mm and 1%/1mm criteria, respectively, for a low dose threshold of 15%. In the local gamma analysis, the %GP increased as the low dose threshold increased, which is the opposite result of the global gamma method. In all cases, it was above 95% for 3%/3mm and 5% low dose threshold and above. For the local gamma method, the percentage change in %GP was 2.98%, 7.88% and 23.86% for lung cancer plans for a low dose threshold of 15%, 3%/3mm, 2%/2mm and 1%/1mm, respectively. When rigid acceptance criteria were applied, the %GP result started to decrease. For both the 2%/2mm and 1%/1mm criteria, the average GP was below 95% at all low dose thresholds.

CONCLUSIONS: Global normalization shows that applying gamma analysis using different low-dose threshold levels has no critical impact on the QA results. In local normalization, the low dose threshold level should be chosen carefully, as low dose points can cause the average %GP to increase rapidly.

KEYWORDS: LowDoseThreshold, Gamma Analysis, VMAT, EPID.

Geliş Tarihi / Received: 16.01.2023

Kabul Tarihi / Accepted: 20.08.2023

Yazışma Adresi / Correspondence: Dr. Öğr.Üyesi Taha ERDOĞAN

Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Ana Bilim Dalı

E-mail: taha.erdogan@afsu.edu.tr

Orcid No: 0000-0002-3559-8933

Etik Kurul / Ethical Committee: Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Etik Kurulu (07.02.2020/2020-65).

GİRİŞ

Hacimsel Modülasyonlu Ark Terapi (VMAT) tedavilerinde tedavi senkronize gantri, kolimatör ve Multi Leaf Collimatör (MLC) hareketi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Tedavi esnasında gantri rotasyonundan ötürü yer çekimi doğasından kaynaklı mekanik hatalar oluşabilmektedir. MLC pozisyon hataları, yerçekimi kuvvetinin neden olduğu tutarsızlık sinüzoidal form hata olarak yorumlanabilir (1). Hastaya özgü VMAT tedavi planlarının olası tedavi demeti iletim hatalarını tespit etmek için yayın olarak gama analizi yöntemi kullanılır. Gama analizi, hesaplanan ve ölçülen doz dağılımlarını nicel olarak karşılaştırmak için ilk olarak Low ve ark. (2) tarafından tanıtılmıştır ve bu teknik, kabul kriterleri ile doz uyum mesafesi (DTA) ve yüzde doz farkını (DD) kullanmaktadır (3). Gama analizinin verimliliğini ve güvenilirliğini araştırmak için birçok çalışmada kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda çeşitli gama analizleri karşılaştırılmış ve farklı gama parametre seviyeleri önerilmiştir (4 - 7). Amerikan Tıp Fizikçileri Derneği (AAPM) TG-119 numaralı raporunda, düzlemsel doz dağılımı gama analizi için kalite güvenilirliği (QA) verilerini değerlendirirken % 10'luk düşük doz eşiği veya kolimatör tarafından belirlenen bir değerlendirme alanı kullanmasını önermektedir. Düşük doz eşiği, gama indeksinin hesaplanması için seçilen bir eşiğin altındaki doz noktalarını hariç tutan bir parametredir.

Nelms ve ark. tarafından yapılan bir araştırmaya göre (8) kliniklerin % 70'inden fazlası gama analizi için % 0 ile % 10'luk bir düşük doz eşiği kullanmaktadır. Bununla birlikte, son zamanlarda elektronik portal görüntü cihazı (EPID) dozimetrisine olan ilgi artmıştır çünkü EPID dozimetrisi, fantom kurulumu ile birlikte gelen detaylı ve yoğun KG prosedürünü azaltabilir ve dijital formatta yüksek çözünürlüklü bir doz dağılımının elde edilmesini sağlayabilir (9). Bu nedenle EPID dozimetrisi zamanla artan ilgi görmüştür.

Bu çalışmada, standart ve daha rijit kabul kriterlerine göre (%3/3 mm, %2/2mm ve %1/1mm) %0 ile %15 aralığındaki çeşitli düşük doz eşiklerinin, tedavi planları kalite kontrolündeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

GEREÇ VE YÖNTEM

Tedavi Planı Seçimi

Toplam 44 tedavi planı - 11 baş ve boyun, 11 beyin, 11 akciğer ve 11 prostat kanseri vakası retrospektif olarak VarianEclipse® tedavi planlama sisteminden (TPS) (sürüm 13.6, Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) rastgele seçilmiştir. Tüm baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakalarına ait VMAT planları iki veya üç tam ark ve masa açıları kullanılan planlar içermektedir. VMAT tedavi planlamalarına ait parametreler **Tablo 1**'de özetlenmiştir.

Tablo 1: VMAT tedavi planlamalarına ait parametreler

Anatomik Bölge	Enerji (MV)	Reçete Doz(Cy)/ Fraksiyon	Ark Sayısı / Ark Açısı (°)	TPS Algoritması
Baş ve Boyun	6	69,9/33	2/360	AAA
Beyin	6	59,4/33	2/360+ 1/120	AAA
Akciğer	6	60/30	3/180	AAA
Prostat	6	76/38	3/360	AAA

AAA: Anizotropik Analitik Algoritma

Elektronik Portal Görüntüleme Cihazı (EPID) Lineer hızlandırıcının Exact koluna monte edilmiş EPID,Varian Portal Vision® amorf silikon (aSi1000) dedektör sistemi megavoltaj (MV) mertebesinde tedavi demeti kullanılarak tedavi alanının dijital radyografik görüntüsünü elde etmeye yarayan cihazdır. EPID, compton elektronlarını oluşturan saçıcı metal plaka, yüksek enerjili elektronları soğuran fosfor tabaka ve fotonları soğuran geniş-alan foto diyot dizisinden oluşmaktadır. Saçılan radyasyonun soğurulması için sistemin en üst kısımda 1 mm kalınlığında bakır bir tabakanın altında terbiyum katkılı (10) gadolinyum oksisülfitten meydana gelen fosfor ekran bulunmaktadır. Bu fosfor ekran, detektöre gelen radyasyonu görünür fotona çevirerek sintilasyon oluşturmaktadır. Fosfor ekranın altında aSi:Hfotodiyot ve ince film transistörlü 1024 x 768 piksellik matrisler bulunmaktadır. Fotodiyot ve ince film transistörü 40 x 30 cm² aktif dedektör alanına ve 0.0039 x 0.0034 cm² piksel aralığına sahiptir (11). Fosfordan gelen sintilasyon fotonları yük olarak fotodiyot kapasitesinde birikir. Transistörden gelen yük, elektronik aksam sayesinde okunarak görüntü datasına çevrilir (12). YART (yoğunluk ayarlı radyoterapi) ve VMAT tekniği kullanımının art-

masıyla beraber EPID hasta pozisyon doğrulaması dışında, YART kalite kontrollerinde de kullanılmaya başlanmıştır (13). Bu sebepten hem görüntü hem de dozimetrik kalibrasyonu rutin kontrol edilmesi gerekmektedir. EPID görüntü yanıtı, hem arka plan sinyalini düzeltmek için karanlık bir alan kullanılarak hem de piksel duyarlılığındaki değişimi ayarlanarak görüntü kalibrasyonu yapılır. Dozimetrik kalibrasyonu ise 100 cm'lik kaynaktan-dedektör mesafesine (SDD) 10 x 10 cm² alan boyut için 100 monitör birimlik (MU) ışınlamaya karşılık gelecek şekilde ölçeklendirilir. Her YART ve VMAT planı için, Eclipse TPS'de 100 cm SDD ile, portal doz hesaplama (PDC) algoritması kullanılarak hasta veya fantom olmadan doz rekonstrüksiyon yaklaşımı kullanan portal doz doğrulama planı oluşturulur (14, 15). PDC EPID kolunun geri saçılmasının etkisini telafi etmek için geri saçılmış bir doz tahmin modeli eklenen algoritma kullanmaktadır (16). Ölçülen portal doz verileri, Portal Dozimetri yazılımı (sürüm 10.0, Varian Medical Systems) kullanılarak hesaplanmış portal görüntüleri ile karşılaştırılmaktadır.

Gama Analizi

Gama analizi tedavi planlama sisteminde Portal Dozimetri yazılımı kullanılarak hesaplanan doz ile ölçülen dozu karşılaştırmak için yüzde doz farkı (%DD) ve uyum mesafesi (DTA) gibi nicel kavramları kullanmaktadır. Gama analizi, Low ve ark.'nın önerdiği (2) %3/3 mm, %2/2 mm ve %1/1 mm kabul kriterleri uygulanarak değerlendirilmektedir. Gama geçiş oranı (%GP), gama indeksinin birden küçük olması koşulunu sağlayan noktaların yüzdesi olarak tanımlanmaktadır.

Tablo 2'de çalışmada gama analizine ait uygulanan tüm parametreler gösterilmektedir. Doz farkının normalizasyonu iki farklı yöntemle gerçekleştirilmiştir. Global normalizasyon, hesaplanan doz dağılımının maksimum değerine uygulanmıştır. Yüksek doz değerlerini önlemek için histogramın en yüksek doz değerinden %0,1 cut-off belirlendi; normalizasyon için bu hesaplanan dozun maksimum değeri kullanılmıştır (11). Bunun aksine, lokal normalizasyon için, halihazırda değerlendirilen pikselde hesaplanan doz değeri kullanılmıştır.

Tablo 2: Gama analizine ait uygulanan parametreler

Normalizasyon	Kabul Kriteri	Düşük Doz Eşiği
Global	% 3/3 mm	%0
Lokal	% 2/2 mm	%5
	% 1/1 mm	%10
		%15

Düşük Doz Eşiği

Düşük doz eşikleri %0, %5, %10 ve %15 olarak belirlendi (6, 8). Gama hesaplamasındaki ROI (ilgili bölge/alan) için Portal Dozimetri yazılımı kullanıcılara şu seçenekleri sunar: alan sınırlaması yok, marjlı/marjsız alan ve marjlı/marjsız MLC alanı. TG-119'da marjlı alan kullanılması önerilmesine rağmen, hem düşük doz eşiği hem de ROI ayarı, özellikle %0'lık bir düşük doz eşiği için gereksiz doz noktaları veya alan dışındaki bölgeleri hariç tutmak için çalışmamızdaki tüm vakalara ROI marjsız alan olarak belirlendi. Ayrıca ROI ayarının sonuçlarımızı etkileyip etkilemediğini doğrulamak için ROI kısıtlaması olmadan ek gama analizi gerçekleştirdik. Bu ekstra analiz, yalnızca %0'lık bir düşük doz eşiği için uygulandı çünkü ROI ayarının seçimi yalnızca bu düşük doz eşiğinde sonuçları etkilemektedir.

Etik Kurul

Bu çalışma Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik kurulu 07.02.2020 tarihli ve 2020/65 sayılı kararı ile etik kurul onayı almıştır.

İstatistiksel Analiz

Düşük doz eşik değerinin gama analizi üzerindeki etkisini nicel olarak incelemek için aşağıda verilen denkleme göre %GP'deki yüzde değişimini hesaplanmıştır. %GPx% ortalama %GP değerinin %x düşük doz eşiği, %GP0% düşük doz eşiği %0 olan %GP değerinin ortalamasıdır.

$$\% \text{ Fark} = \frac{\% \text{ GPx}\% - \% \text{ GP0}\%}{\% \text{ GP0}\%} \times 100$$

%GP x% ve %GP0 % arasındaki anlamlı farkı doğrulamak için 0,05 anlamlılık düzeyinde parametrik olmayan Kruskal-Wallis testi kullanıldı. Tüm istatistiksel analizler SPSS yazılımı (version 19; IBM Corporation, Armonk, NY) kullanılarak yapıldı.

BULGULAR

Global Gama Analizi

Global normalizasyon tüm kabul kriterleri için %GP'nin ortalama ve standart sapması 44 tedavi planı - 11 baş ve boyun, 11 beyin, 11 akciğer ve 11 prostat kanseri vakasında retrospektif olarak değerlendirilmiş ve **Tablo 3**'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Global gama analizinde standart sapma ile ortalama gama geçiş oranı

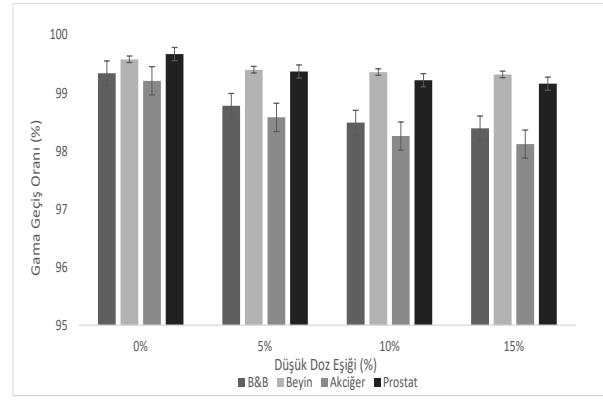
Kabul Kriteri	Tedavi Bölgesi	Düşük Doz Eşiği			
		%0	%5	%10	%15
% 3/3 mm	B&B	99.34±0.45	98.78±0.95	98.49±1.15	98.39±1.23
	Beyin	99.58±0.45	99.40±0.52	99.36±0.64	99.32±0.71
	Akciğer	99.21±0.81	98.58±1.49	98.26±1.91	98.12±2.09
	Prostat	99.67±0.14	99.37±0.26	99.22±0.33	99.16±0.36
% 2/2 mm	B&B	97.09±1.23	96.10±1.91	95.66±2.29	95.07±2.48
	Beyin	96.56±4.00	96.41±1.87	96.20±2.23	95.96±2.41
	Akciğer	94.53±2.85	93.96±4.45	92.72±5.37	92.26±5.78
	Prostat	97.84±0.74	96.02±1.18	95.75±1.41	95.09±1.49
% 1/1 mm	B&B	74.30±10.06	68.62±6.81	66.41±8.17	65.35±8.42
	Beyin	79.05±10.96	70.80±8.26	70.70±8.72	69.95±8.87
	Akciğer	76.75±14.01	69.00±13.32	66.36±13.98	65.02±14.45
	Prostat	79.23±6.95	69.25±8.75	65.06±9.68	64.55±9.71

B&B: Baş- Boyun

Düşük doz eşiği %0'dan %15'e yükseldikçe %GP azalmıştır. Baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakalarında bu düşüş oranı %3/3 mm kriteri için sırasıyla %0.95, %0.26, %1.09 ve %0.51 olarak bulunmuştur. Daha rijit kriterler uygulandığında, bu eğilim daha belirginleşmiş; baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakalarında %2/2 mm kriteri için sırasıyla %2.02, %0.6, %2.27 ve %2.75 gibi büyük düşüşler göstermiştir.

Uygulanan doz eşiklerine sahip tüm baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakaları, %3/3 mm kabul kriteri için %95'in üzerinde bir %GP sonucu vermiştir (**Şekil 1**).

%2/2 mm kabul kriteri için %95'in üzerinde bir %GP sonucu ise baş ve boyun, beyin ve prostat kanseri vakalarında elde edilmiştir ve akciğer vakaları %95'in altında %GP sonucu vermiştir. Kabul kriteri için daha rijit limitler uygulandığında %GP sonucu düşmeye başlamıştır. %1/1 mm kabul kriteri için düşük doz eşiği bağımlılığı artmıştır ve %GP sonucunda ciddi bir düşüş gözlemlenmiştir.



Şekil 1: Farklı düşük doz eşikleri için % 3/3 mm global gama analizi için ortalama gama geçiş oranı (% GP) ve standart sapma.

Lokal Gama Analizi

Lokal normalizasyon için tüm kabul kriterleri için %GP'nin ortalama ve standart sapması 44 tedavi planı - 11 baş ve boyun, 11 beyin, 11 akciğer ve 11 prostat kanseri vakası için retrospektif olarak değerlendirilmiş ve **Tablo 4**'te gösterilmiştir.

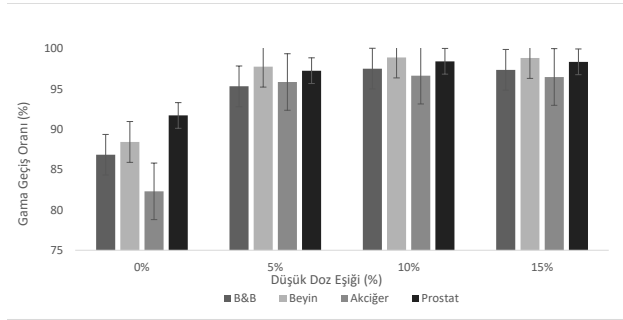
Tablo 4: Lokal gama analizinde standart sapma ile ortalama gama geçiş oranı

Kabul Kriteri	Tedavi Bölgesi	Düşük- Doz Eşiği			
		%0	%5	%10	%15
% 3/3 mm	B&B	86.85±4.03	95.33±3.24	97.52±1.39	97.37±1.53
	Beyin	88.43±9.11	97.77±1.89	98.90±0.83	98.84±0.85
	Akciğer	82.31±7.36	95.87±2.62	96.65±3.02	96.49±3.16
	Prostat	87.72±6.47	97.27±2.00	98.43±0.79	98.37±0.80
% 2/2 mm	B&B	76.06±5.64	87.60±4.43	91.03±2.77	90.66±2.96
	Beyin	77.21±12.20	91.98±3.21	94.45±2.62	94.27±2.71
	Akciğer	66.72±9.17	86.93±6.54	88.96±7.39	88.46±7.68
	Prostat	80.41±8.67	89.68±4.33	92.20±3.11	92.03±3.10
% 1/1 mm	B&B	47.29±6.86	57.28±8.04	60.53±8.48	59.77±8.58
	Beyin	48.27±11.00	63.56±10.11	65.56±10.05	65.17±9.97
	Akciğer	39.12±8.48	57.88±12.88	59.90±15.45	58.87±16.14
	Prostat	49.68±9.76	57.64±11.43	59.65±11.31	59.19±11.09

B&B: Baş- Boyun

Düşük doz eşiği %0'dan %15'e yükseldikçe %GP artış gözlemlenmiştir. Baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakalarında bu artış oranı %3/3 mm kriteri için sırasıyla %10.52, %10.41, %11.18 ve %10.65 olarak bulunmuştur. Daha rijit kriterler uygulandığında, bu eğilim daha belirginleşmiş; baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakalarında %2/2 mm kriteri için sırasıyla %14.60, %17.06, %21.74 ve %11.79 gibi artışlar göstermiştir. Uygulanan doz eşiklerine sahip tüm baş ve boyun, beyin ve akciğer kanseri vakaları, %3/3 mm ve %5 düşük doz eşiği ve üzeri için %95'in üzerinde bir %GP

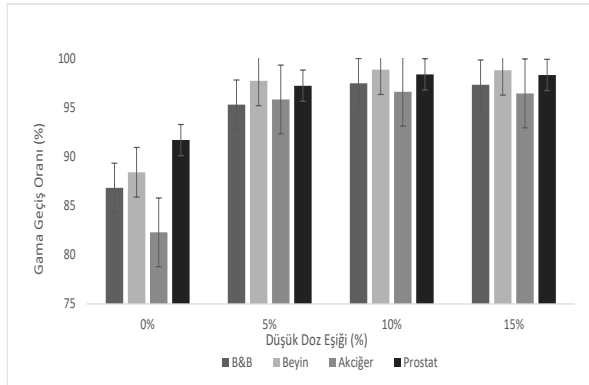
sonucu vermiştir (**Şekil 2**). Kabul kriteri için daha rijit limitler uygulandığında %GP sonucu azalmaya başlamıştır. Hem %2/2 mm hem de %1/1 mm kriterleri için ortalama %GP, tüm düşük doz eşikleri için %95'in altında bulunmuştur.



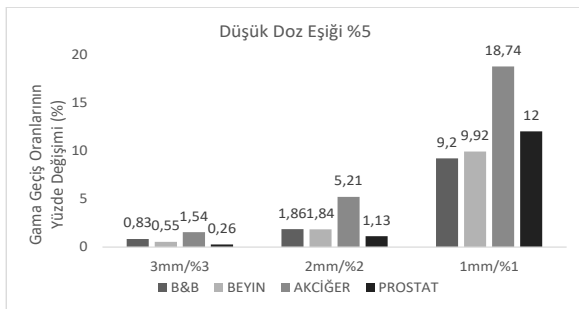
Şekil 2: Farklı düşük doz eşikleri için % 3/3 mm lokal gama analizi için ortalama gama geçiş oranı (% GP) ve standart sapma

Gama Geçiş Oranının Yüzde Değişimi

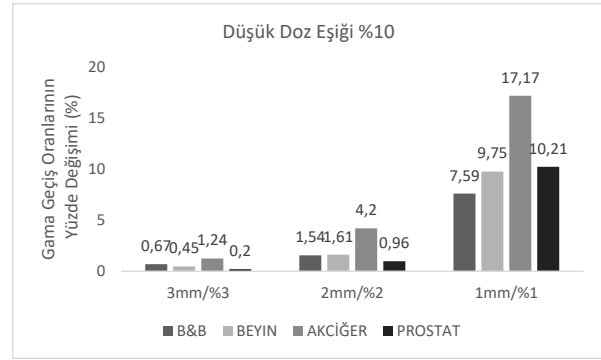
Bütün düşük doz eşikleri arasında %GP'deki yüzde değişimi hem global hem de lokal gama yöntemleri için analiz edilmiştir. Her iki gama yönteminde kabul kriterlerinin rijitleşmesi %GP'deki değişim yüzdesini arttırmıştır (**Şekil 3 - 10**).



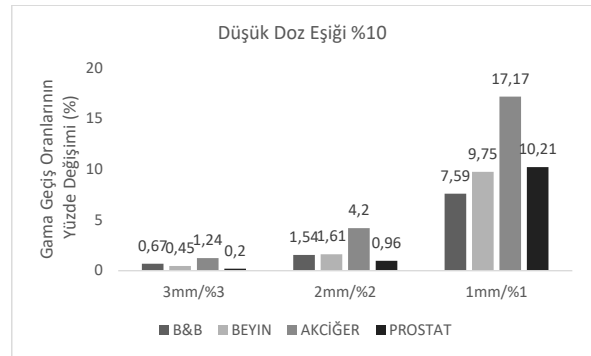
Şekil 3: Düşük doz eşiği %0 için farklı kabul kriterlerine göre global gama geçiş oranlarının yüzde değişimi



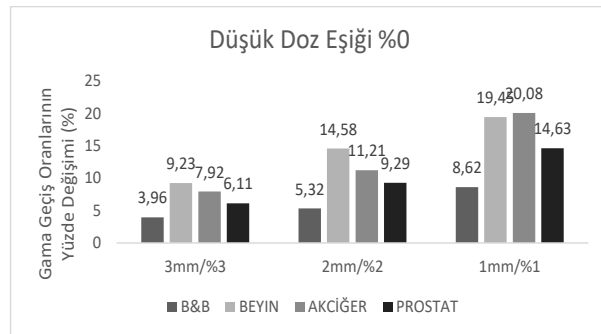
Şekil 4: Düşük doz eşiği %5 için farklı kabul kriterlerine göre global gama geçiş oranlarının yüzde değişimi



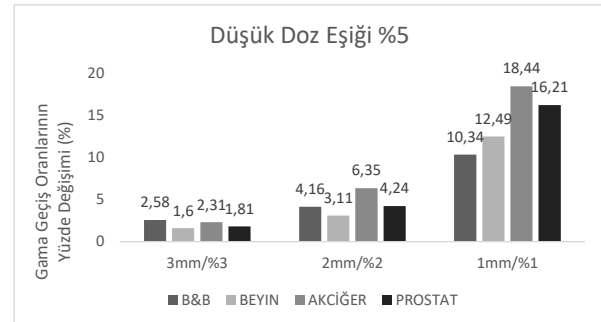
Şekil 5: Düşük doz eşiği %10 için farklı kabul kriterlerine göre global gama geçiş oranlarının yüzde değişimi



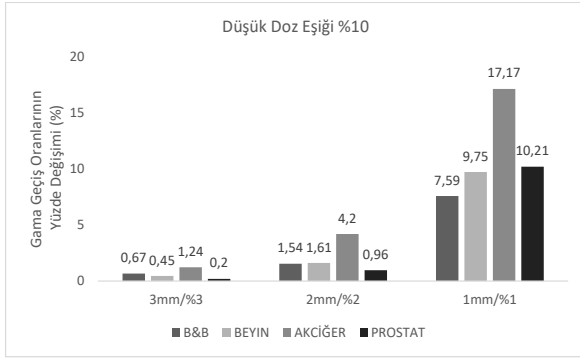
Şekil 6: Düşük doz eşiği %15 için farklı kabul kriterlerine göre global gama geçiş oranlarının yüzde değişimi



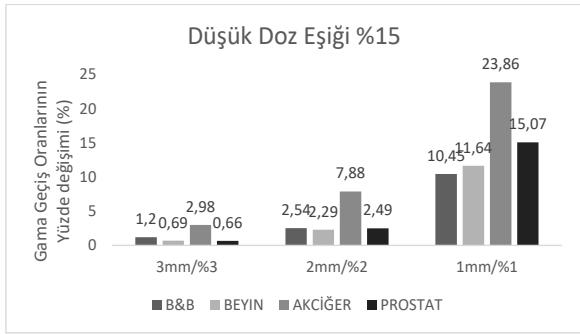
Şekil 7: Düşük doz eşiği %0 için farklı kabul kriterlerine göre lokal gama geçiş oranlarının yüzde değişimi



Şekil 8: Düşük doz eşiği %5 için farklı kabul kriterlerine göre lokal gama geçiş oranlarının yüzde değişimi



Şekil 9: Düşük doz eşiği %10 için farklı kabul kriterlerine göre lokal gama geçiş oranlarının yüzde değişimi



Şekil 10: Düşük doz eşiği %15 için farklı kabul kriterlerine göre lokal gama geçiş oranlarının yüzde değişimi

Özellikle %GP'deki değişim yüzdesi düşük doz eşiği %15 için %3/3 mm, %2/2 mm ve %1/1 mm ile akciğer kanseri planlarında sırasıyla %1.69, %5.65 ve %20.03 olarak gözlenmiştir. HU değerleri arasındaki heterojenitenin fazla olduğu akciğer VMAT planlarında GP'deki değişim yüzdesini daha belirginleşmiştir. Lokal gama yönteminde, % GP'deki değişim yüzdesi düşük doz eşiği %15 için %3/3 mm, %2/2 mm ve %1/1 mm ile akciğer kanseri planlarında sırasıyla %2.98, %7.88 ve %23.86 olarak bulunmuştur. Global gama yönteminde, % GP'deki yüzde değişim daha düşmüştür ve lokal gama yönteminde olduğu gibi aynı eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte global gama yönteminde tüm kabul kriterleri için düşük doz eşiklerinde % GP'ler, % 0'lık düşük doz eşiğinden önemli ölçüde farklı olmadığı bulunmuştur.

İlgi Bölgesi Kısıtlaması Olmadan Gama Analizi

Global gama analizinde, ROI kısıtlaması olmayan %0 düşük doz eşiği için %GP; global gama sonucuyla aynı azalan eğilimi göstermiştir. Lokal gama sonucu, akciğer kanseri vakaları haricinde, lokal gama sonucuyla aynı artan eğilimi göstermiştir.

TARTIŞMA

Bu çalışma, düşük doz eşiğinin gama analizindeki etkisini nicel olarak belirlemek ve düşük doz eşik düzeyi seçiminin önemine dikkat çekmek için tasarlanmıştır. Global gama analizi için, düşük doz eşiği arttıkça %GP azalmıştır. Maksimum doz değeri, düşük doz bölgesindeki doz farkından nispeten daha yüksek olduğu için, düşük doz noktaları genellikle gama analizini geçmektedir. Nelms ve arkadaşlarının (8) makalesinde, doz farkının global normalizasyonun daha düşük doz bölgelerindeki hataları gizlediğine ve özellikle %3/3 mm kabul kriteri için gama analizinde duyarsızlığa yol açtığına değinilmiştir. Yapılan çalışmada, uygulanan düşük doz eşiğine bakılmaksızın, tüm gama analizi vakaları, %3/3 mm kriterleri için %95'in üzerinde bir GP'ye sahip olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, global normalizasyonda düşük doz eşiğinin uygulanmasının hastaya özgü QA sonuçlarının yargılanması üzerinde kritik bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır (p=0,388). Global gama analizi vakalarında akciğer kanseri hariç %2/2 mm kriterleri için %95'in üzerinde bir GP'ye sahip olduğu bulunmuştur.

Lokal gama analizi için, düşük doz eşiği arttıkça %GP artmıştır, bu sonuç global gama yönteminin tam tersi olarak gözlemlenmiştir (Tablo 4). Uygulanan doz eşiklerine sahip tüm baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakaları, %3/3 mm ve %5 düşük doz eşiği ve üzeri için %95'in üzerinde bir %GP sonucu vermiştir (Şekil 2). Kabul kriteri için daha rijit limitler uygulandığında %GP sonucu azalmaya başlamıştır. Hem %2/2 mm hem de %1/1 mm kriterleri için ortalama GP, tüm düşük doz eşikleri için %95'in altında bulunmuştur. Bununla birlikte, düşük doz eşiği %0 olan gama analizleri, %95'in altında bir %GP'ye yol açmıştır. Bu sonuç, doz eşik değerinin altındaki düşük doz noktalarının, diğer noktalara kıyasla yerel gama analizinde genellikle etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, düşük doz eşiği uygulamak, ortalama %GP'nin artmasına neden olmaktadır. Bütün düşük doz eşikleri arasında %GP'deki yüzde değişimi hem global hem de yerel gama yöntemleri için analiz edilmiştir. Her iki gama yönteminde kabul kriterlerinin rijitleşmesi %GP'deki değişim yüzdesini arttırmıştır (Şekil 3 - 10).

Özellikle %GP'deki değişim yüzdesi düşük doz eşiği %15 için %3/3 mm %2/2 mm ve %1/1 mm ile akciğer kanseri planlarında sırasıyla %1.69, %5.65 ve %20.03 olarak gözlenmiştir. HU değerleri arasındaki heterojenitenin fazla olduğu akciğer VMAT planlarında GP'deki değişim yüzdesi daha belirginleşmiştir. Lokal gama yönteminde, %GP'deki değişim yüzdesi düşük doz eşiği %15 için %3/3 mm %2/2 mm ve %1/1 mm ile akciğer kanseri planlarında sırasıyla %2.98, %7.88 ve %23.86 olarak gözlenmiştir. Global gama yönteminde, %GP'deki yüzde değişim daha düşüktür ve lokal gama yönteminde olduğu gibi aynı eğilimi göstermiştir. Bununla birlikte global gama yönteminde tüm kabul kriterleri için %5, %10 ve %15'lik düşük doz eşiklerinde %GP'ler, %0'lık düşük doz eşiğinden önemli ölçüde farklı olmadığı gösterilmiştir ($p=0,244$).

Genellikle, düşük doz, hedefin yarı gölge veya çevresinde meydana gelir; ancak, düşük doz risk altındaki bir organa (OAR) verilirse, ciddi yan etkilere ve ölümcül sonuçlara neden olabilmektedir (17, 19). Bu nedenle, bir OAR için düşük doz, doz-hacim histogramları (DVH'ler) ve tedavi planları ile değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmelere rağmen, sol taraflı meme kanseri radyoterapisinde düşük doz kalp hastalığı ve akciğer kanserinden ölüme neden olabilmektedir (19). Ek olarak, Dorr ve Herrmann'a göre (20), ikinci kanserlerin çoğu radyoterapinin penumbra'sı içinde indüklendiğini açıklamışlardır. Ayrıca bazı yayınlarda ikinci kanserlerin özellikle pediatrik hastalarda düşük doz bölgesinde meydana geldiği bildirilmiştir (21, 22). Bu nedenle düşük dozun doğru bir şekilde verilmesi ve ciddi bir şekilde değerlendirilmesi ve yorumlanması gerekmektedir. Bununla birlikte, klinikler gama analizini kullanarak doz dağılımını analiz ettiklerinde, genellikle düşük doz eşik değerini nicel veriler olmadan uygulamaktadırlar (8). Sonuçlarımız, düşük doz eşiğinin lokal gama analizinde hastaya özgü QA sonuçlarını değiştirebileceğini göstermektedir. İstatiksel olarak global ve lokal gamma analizi sonuçlarında anlamlı bir fark ortaya çıkmıştır. Bunun sebebinin düşük doz eşiği uygulanarak dışarıda bırakılan düşük doz noktalarının, ortalama %GP'yi etkilemektedir ve artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, düşük doz eşik seviyesi

lokal gama analizinde dikkatlice uygulanmalıdır. Portal Dozimetri referans kılavuzu, yerel doz karşılaştırması için daha düşük bir doz eşiği belirlemenin gerekli olduğunu belirtmektedir çünkü hesaplanan ve ölçülen değerler düşük doz bölgesinde iyi uyuşmayabilmektedir (12). Bu nedenle, yerel gama içinde çeşitli düşük doz eşik seviyelerinin uygulanması, hastaya özgü QA sonuçlarını doğru bir şekilde değerlendirmek için yararlı bir yaklaşım olabilmektedir. %1/1 mm kabul kriteri için, çalışmamız ortalama %GP'nin, ortalama %GP ve düşük doz eşikleri arasındaki %GP'deki değişim olmasına rağmen, diğer kriterlere kıyasla büyük bir standart sapma sergilediğini göstermiştir. %3/3 mm, %2/2 mm ve %1/1 mm kabul kriterleri benzer bir eğilim göstermektedir. Diğer birkaç çalışmaya göre, DD'nin %1'ini ve 1 mm DTA'yı tespit etmek için gama analizi, aşağıdaki nedenlerle hala tartışmalıdır: (a) %1/1 mm kriteri için dozimetrik hatalar ve istatistiksel dalgalanmalar baskındır ve (b) %1/1 mm kriteri için kabul edilebilir %GP seviyesi, %3/3 mm ve %2/2 mm kriterleri için olan değerlerden farklı olmalıdır (23). Bu nedenle, gama analizine dikkatli bir yaklaşım %1/1 mm kabul kriteri alınmalıdır. Gama analizinin sonuçlarının değerlendirilmesinde TG-119, %10'luk düşük doz eşiği uygulama veya ROI'yi bir alan olarak uygulanmasını ve ayarlanmasını gerektiği önerilmektedir. Bu nedenle, düşük doz eşiğinin etkisini araştırmak için bir alan olarak ROI kullanarak gama analizi uygulanmıştır. Bununla birlikte, ROI ayarının sonucu, özellikle % GP eğilimini etkileyip etkilemediğini doğrulamaya da çalışılmıştır. Böylece, ROI kısıtlaması olmadan ek gama analizi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, hem global hem de yerel normalizasyona sahip tüm durumlarda % GP, ROI'nin kullanılmasından istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar vermemiştir ($p=0,499$). Ek olarak, akciğer kanseri vakaları hem heterojenite kaynaklı hem de geniş alanlara sahip olmasından dolayı farklı düşük doz eşiklerinde GP'deki değişim yüzdesi daha belirgin olarak bulunmuştur. Bu çalışmada çoklu ark alanları kullanarak yapılan VMAT planlarının hasta KG için çeşitli düşük doz eşikleri kullanarak gama analizini araştırılmıştır. Global gama analizi için, %GP düşük doz eşiği ile azaldı ve %3/3 mm ve %2/2 mm kabul

kriterleri, uygulanan düşük doz eşiklerinden bağımsız olarak %95'in üzerinde bir %GP sergilemiştir. Lokal gama analizi için, düşük doz eşiği arttıkça %GP artmıştır, bu sonuç global gama yönteminin tam tersi bir sonuç olarak gözlemlenmiştir. Uygulanan doz eşiklerine sahip tüm baş ve boyun, beyin, akciğer ve prostat kanseri vakaları, %3/3 mm ve %5 düşük doz eşiği ve üzeri için %95'in üzerinde bir %GP sonucu vermiştir.

Bulgularımız, yerel gama analizi için düşük doz eşik seviyesinin dikkatlice seçilmesi gerektiğini önermektedir çünkü VMAT planının hastaya özgü QA sonucu, uygulanan düşük doz eşik seviyesine bağlı olarak değişebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada için klinik verilerin ve tedavi cihazlarının kullanılmasına katkı sağlayan Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Sağlık Uygulama ve Araştırma Merkezine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

1. Liang B, Liu B, Zhou F, Yin F, Wu Q. Comparisons of volumetric modulated arc therapy (VMAT) quality assurance (QA) systems: sensitivity analysis to machine errors. *Radiation Oncology*. 2016;11(1):146.
2. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. *Med Phys*. 1998;25(5):656–61.
3. Stasi M, Bresciani S, Miranti A, Maggio A, Sapino V, Gabriele P. Pretreatment patient-specific IMRT quality assurance: a correlation study between gamma index and patient clinical dose volume histogram. *Med Phys*. 2012;39(12):7626–34.
4. Lee SR, Park JY, Suh TS, Park HJ, Lee JW, Jung WG. Impact of gamma analysis parameters on dose evaluation using Gafchromic EBT2 films. *J Korean Phys Soc*. 2012;61(8):1319–24.
5. Rajasekaran D, Jeevanandam P, Sukumar P, Ranganathan A, Johnjothi S, Nagarajan V. A study on correlation between 2D and 3D gamma evaluation metrics in patient-specific quality assurance for VMAT. *Med Dosim*. 2014;39(4):300–8.
6. Pulliam KB, Huang JY, Howell RM, et al. Comparison of 2D and 3D gamma analyses. *Med Phys*. 2014;41(2):21.
7. Bresciani S, Dia AD, Maggio A, et al. Tomotherapy treatment plan quality assurance: The impact of applied criteria on passing rate in gamma index method. *Med Phys*. 2013;40(12):11.

8. Nelms BE, Simon JA. A survey on planar IMRT QA analysis. *J Appl Clin Med Phys*. 2007;8(3):76–90.
9. Van Elmpt W, McDermott L, Nijsten S, Wendling M, Lambin P, Mijnheer B. A literature review of electronic portal imaging for radiotherapy dosimetry. *Radiother Oncol*. 2008;88(3):289–309.
10. Starlack J, Shedlock D. A piecewise-focused high DQE detector for MV imaging. *Med Phys*. 2015;42(9):5084–99.
11. Das IJ, Cao M, Cheng CW, et al. A quality assurance phantom for electronic portal imaging devices. *J Appl Clin Med Phys*. 2011;12(2):391–403.
12. Varian Medical Systems. Portal Dosimetry Reference Guide, B502204R01. <https://www.varian.com/ec203-portal-dosimetry>. Erişim Tarihi: 20.11.2022.
13. Vieira SC, Dirks ML, Heijmenand BJ, Boer HC. SIFT: a method to verify the IMRT fulence delivered during patient treatment using an electronic portal imaging device. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2004;981–93.
14. Sharma DS, Mhatre V, Heigrujam M, Talapatra K, Mallik S. Portal dosimetry for pretreatment verification of IMRT plan: a comparison with 2D ion chamber array. *J Appl Clin Med Phys*. 2010;11(4):238–48.
15. Varian Medical Systems. Eclipse Algorithm Reference Guide. https://jpneylon.github.io/ABR/PDFs/Add_052418/EclipseAlgorithms13.6_RefGuide.pdf. Erişim Tarihi: 20.11.2022.
16. Van Esch A, Huyskens DP, Hirschi L. Optimized Varian aSi portal dosimetry: Development of data sets for collective use. *J Appl Clin Med Phys*. 2013;14(6):82–99.
17. Khan FM. *The Physics of Radiation Therapy*. 4th edition. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins Press. 2010:286–94.
18. Darby SC, McGale P, Taylor CW, Peto R. Long-term mortality from heart disease and lung cancer after radiotherapy for early breast cancer: Prospective cohort study of about 300,000 women in US SEER cancer registries. *Lancet Oncol*. 2005;6(8):557–65.
19. Dörr W, Herrmann T. Cancer induction by radiotherapy: dose dependence and spatial relationship to irradiated volume. *J Radiol Prot*. 2002;22(3A):117–21.
20. Dörr W, Herrmann T. Second primary tumor after radiotherapy for malignancies: Treatment-related parameters. *Strahlenther Onkol*. 2002;178(7):357–62.
21. Hall EJ. Intensity-modulated radiation therapy, protons, and the risk of second cancers. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2006;65(1):1–7.

22. Poppe B, Blehschmidt A, Djouguela A, et al. Two-dimensional ionization chamber arrays for IMRT plan verification. *Med Phys.* 2006;33(4):1005–15.

23. Heilemann G, Poppe B, Laub W. On the sensitivity of common gamma-index evaluation methods to MLC mis-alignments in Rapidarc quality assurance. *Med Phys.* 2013;40(3):3-5.