

ÖZGÜN ARAŞTIRMA

Baş Boyun Kanseri (H&N) Radyoterapisinde Üç Farklı Hacimsel Ayarlı Ark Terapi (VMAT) Tekniği İle Hedef Hacim ve Kritik Organ Dozlarının Retrospektif İncelenmesi*

Oğuz AYDIN, Candan DEMİRÖZ ABAKAY, Sema GÖZCÜ TUNÇ,
Duygu BOLAT, Sibel Kahraman ÇETİNTAŞ, Meral KURT

Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, Bursa.

ÖZET

Baş boyun kanseri (H&N) radyoterapisinde hacimsel ayarlı ark terapi (VMAT) tekniği ile hazırlanan üç farklı radyoterapi planında, hedef hacim dozu ve kritik organ dozlarını incelemesi hedeflenmiştir. Çalışmada sekiz baş boyun kanseri (H&N) tanılı olgu değerlendirildi. Radyoterapi planlarında; çift rotasyon şeklinde 1 ark (sVMAT), çift ark (dVMAT) ve 15° kolimatör açılı olacak şekilde (cVMAT) planları hazırlandı. Üç yöntemde hedef hacme reçete edilen doz istenilen şekilde verilebilmiştir. Sağ ve sol parotis D_{mean} değerlerinde anlamlı fark gözlenmemiş ancak sağ parotis için sVMAT tekniği daha düşük doz aldığı görülmüştür. Üç farklı planda tümör dozu istenilen şekilde sağlanmış ve organ dozlarımız istenilen sınırlar içerisinde tutulabilmiştir. Ancak parotis bezi ve beyin sapında elde edilen düşük doz değeri sVMAT tekniğini diğer tekniklere göre üstün kılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baş Boyun Kanseri. Kolimatör açısı. Monaco. VMAT.

Retrospective Study of Target Volume and Critical Organ Doses Using Three Volumetric Arc Therapy (VMAT) Techniques in Head and Neck Cancer (H&N) Radiotherapy

ABSTRACT

The aim of this study to examine, the target volume dose and critical organ doses in three different radiotherapy plans prepared with the volumetric arc therapy (VMAT) techniques in head and neck cancer (H&N) radiotherapy. Eight head and neck cancer (H & N) cases were evaluated in the study. In radiotherapy plans; in the form of double rotation of 1 arc (sVMAT), double arc (dVMAT) and with 15° colimator angles of two arc (cVMAT) were prepared. In the three methods, the prescribed dose of the target volume could be given in preferred. No significant difference was showed in the values of the left and right parotid D_{mean} , however, the sVMAT technique for the right parotid was found lower dose value. In the three different plans, tumor doses and critical organs doses had been provided within the required limits. However, sVMAT was found superior than other techniques for the parotid gland and brain stem doses.

Key Words: Colimator Angle. Head and Neck Cancer (H&N). Monaco. VMAT.

Baş-boyun bölgesi yerleşimli tümörler tüm kanserlerin %10'unu, kanserden ölümlerin %4'ünü oluşturur¹. Baş boyun bölgesinde çok zengin lenfatik ağı olması sebebiyle geniş tedavi alanlarının tedavi edilmesi zorunludur. Baş boyun RT uygulamalarının da önemli zorluklarından biri tümörün yerleşim yerinden dolayı yakın komşuluğunda çok fazla kritik organ olmasıdır.

Bir diğer zorluğumuz bu bölgenin zengin lenfatik ağı olmasıyla geniş tedavi alanının ışınlanmasıdır. Kompleks yapısından, kritik organların yaygınlığından ve geniş tedavi alanlarından dolayı bu hasta grubunda yan etki olasılığı artmaktadır². Hastalarda oluşan biyolojik yan etkilerin dışında baş boyun bölgesi yerleşim yeri ile vücudumuzda ilk bakışta görünen bölgemiz olması nedeniyle bu bölgede oluşan hastalığın ve tedavinin yol açtığı fiziksel, kozmetik sorunlar hastalarda duygusal yıkıma sebep olabilmektedir³.

Teknolojik gelişmeler sayesinde özellikle kompleks tümörlerde yeni gelişen radyoterapi yöntemleri sayesinde riskli organlar korunurken hedef hacimde yüksek dozlara çıkılabilmektedir. Baş boyun kanseri radyoterapisinde VMAT yöntemi ile YART (Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi) ve 3B-KRT (Üç Boyutlu Konformal Radyoterapi) yöntemleri karşılaştırıldığında; VMAT ve YART yöntemlerinde 3B-KRT yöntemine

* TESNAT 2018 Kongresi'nde (Alanya) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

Geliş Tarihi: 4 Mayıs 2018
Kabul Tarihi: 08 Haziran 2018

Yüksek Lisans Öğrencisi Oğuz AYDIN
Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi
Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı
Tel.: 0544 202 03 89
E-posta: aoguz246@gmail.com

göre riskli organlarda daha düşük doz değeri sağlanabilmektedir⁴. Ancak YART tekniğindeki yüksek MU (Monitor Unit) değeri ve tedavi süresinin uzunluğu bu tekniğin dezavantajıdır^{5,6}.

VMAT tekniğinde dinamik çok yapraklı kolimatörler (ÇYK) kullanılır ve hasta ışınlanırken gantri hastanın etrafında döner. Gantri dönerken ÇYK sürekli hareket eder ve doz oranındaki varyasyonlarla konformal dağılımlar oluşturarak ışınlanacak bölgenin tam ve doğru bir şekilde ışınlanmasına, aynı zamanda sağlam dokuların korunmasına olanak sağlar⁷. Bu sebeple tedavi süresi diğer yöntemlere göre oldukça kısalmaktadır. Ancak gantri rotasyonu sırasında düşük doz değerlerinde saçılma fazla olmaktadır⁸.

VMAT tekniğinde kullanılan arklar sayesinde gantri dönerken ışınlama devam eder ve tedavi süresinde olumlu oranda düşüş sağlanır. Guckenberger M. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada; çift ark kullanımının daha iyi hedef hacim dozu, CI, HI ve daha az sıcak doz bölgesi sağladığını görmekle birlikte 1 ark ile kıyaslandığında daha yüksek MU değeri ve düşük dozun daha fazla saçıldığını gözlemlemişlerdir^{4,9,10}.

Kalet A. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Monaco Tedavi Planlama Sisteminin özelliği olan 1 ark çift rotasyon ve iki ark ile hazırladıkları tedavi planları arasında, tedavi süresi açısından %33 azalma görülmüştür. Bu iki tedavi tekniğinde; kritik organ ve PTV dozu açısından anlamlı fark gözlememişlerdir⁸.

VMAT planları hazırlanırken kullanılabilen bir diğer önemli etki kolimatör açısidir. Kolimatör açısı, heterojen tümörlerde arzu edilen doz dağılımını daha iyi şekillendirmek ve sağlıklı organ korunmasını sağlayabilmek için uygulanabilir bir parametredir^{11,12}.

Bu çalışmada 8 baş boyun kanseri tanılı hastanın üç farklı hacimsel ayarlı ark tedavi planı oluşturulmuş ve sonuçlar dozimetrik olarak karşılaştırılmıştır.

Gereç ve Yöntem

Hasta Seçimi

Bu çalışmada Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı'nda 15.06.2016- 31.10.2017 tarihleri arasında tedavi görmüş 8 baş boyun kanseri tanılı olgu rastgele seçildi. Hazırlanacak olan sanal tedavi planları için Uludağ Üniversitesi 11 Ocak 2018 tarihli 2018-1/29 nolu etik kurul kararı alınmıştır. Olgulara ait karakteristik özellikler tablo I'de gösterildiği gibidir.

Tablo I. Hastaların karakteristik özellikleri, evreleme-si ve tümör yerleşim yerleri

Hasta No	Yaş	Cinsiyet	Tedavi Yaklaşımı	Evre	Yerleşim	RT Dozu Gy	fx
1	61	Erkek	Küratif	T3N2c (Evre 4a)	Hipofarinks	66-60-54	30
2	66	Erkek	Küratif	T3N0 (Evre 3)	Larinks	70-60-56	33
3	58	Erkek	Post-Operatif	T4N0 (Evre 4)	Larinks	60-54-50,4	30
4	62	Erkek	Küratif	T1N0 (Evre 1)	Oral Kavite	60-54	30
5	70	Erkek	Post-Operatif	T4N0 (Evre 4)	Larinks	60-54	30
6	65	Erkek	Post-Operatif	T4N0 (Evre 4)	Larinks	60-54-50,4	30
7	79	Erkek	Post-Operatif	T4N2b (Evre 4)	Larinks	60-54-50,4	30
8	78	Erkek	Küratif	T3N0 (Evre 3)	Larinks	66-60-54	30

T: Tümör, N: Nodül

Kritik Organ Doz Sınırlamaları

Hedef hacme istenilen doz verilirken tümörün yakın komşuluğundaki kritik organların korunması önemlidir. Bu sebeple radyoterapi (RT) uygularken tümörün aldığı doz ve kritik organların radyasyona tahammül dozları dikkate alınmalıdır. Biz çalışmamızda kritik organ doz sınırlamalarını tablo II'deki gibi kabul edip planlarımızı bu sınırlamaları dikkate alarak oluşturduk.

Tablo II. Kritik Organ Doz Sınırlamaları

Beyin Sapı	Parotis	Oral Kavite	Ozofagus	Spinal Kord	Mandibula
D _{max} ≤54 Gy	D _{mean} ≤26 Gy	D _{mean} ≤40 Gy	D _{mean} ≤34 Gy	D _{max} ≤40 Gy	D _{max} ≤60 Gy
	V _{30%} ≤%50				
	V ₂₀ ≤20cc				

D_{mean}: Mean doz değeri, D_{max}: Maksimum doz değeri, V_{30%}: 30 Gy alan hacim yüzdesi, V_{45%}: 45 Gy doz alan hacim yüzdesi, V_{20cc}: 20 Gy alan hacim cm³

Tedavi Planlaması

Hastaların tedavi için kullanılacak olan kesit görüntüleri tedavi planlarının hazırlanacağı Monaco 5.1 Tedavi Planlama Sistemine aktarıldı. Aktarılan kesit görüntüleri üzerinde kritik organ ve hedef hacim konturlamaları Uzman Radyasyon Onkoloğu tarafından yapıldı. Hastalara üç farklı VMAT yöntemi ile tedavi planları hazırlandı. Tedavi planları Monte-Carlo algoritması kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmamızda değişen ışın kombinasyonları dışında bütün diğer değişkenler sabit tutulmuştur.

sVMAT Planları

Çalışmada Monaco 5.1 tedavi sistemine gönderilen kesit görüntüleri kullanıldı. Bu görüntüler ile sVMAT planı oluşturuldu. sVMAT planında saat yönünde 180°

H&N VMAT Planlarının Dozimetrik Olarak İncelenmesi

den başlayıp 360° dönen 2 rotasyonlu bir ark kullanıldı. sVMAT planında Grid Size 3 mm ve minimum segment aralığı 5 mm olacak şekilde plan oluşturuldu.

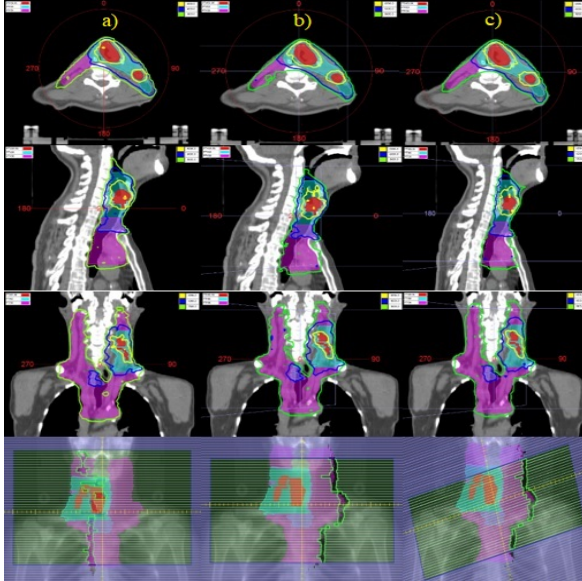
dVMAT Planları

Çalışmada Monaco 5.1 tedavi sistemine gönderilen kesit görüntüleri kullanıldı. Bu görüntüler ile dVMAT planı oluşturuldu. dVMAT planında saat yönünde 180° den başlayıp 360° dönen bir ark ile saat yönünün tersinde 180° den başlayıp 360° dönen bir ark toplamda çift ark kullanıldı. dVMAT planında Grid Size 5 mm ve minimum segment aralığı 3 mm olacak şekilde plan oluşturuldu.

cVMAT Planları

cVMAT planında saat yönünde 180° den başlayıp 360° dönen 15° kolimatör açılı bir ark ile saat yönünün tersinde 180° den başlayıp 360° dönen 345° kolimatör açılı bir ark kullanıldı. cVMAT planında Grid Size 3 mm ve minimum segment aralığı 5 mm olacak şekilde plan oluşturuldu.

3 farklı VMAT tekniği kullanılarak hazırlanan radyoterapi planlarının izodoz dağılımı Şekil 1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 1:

a) sVMAT planı izodoz dağılımı, b) dVMAT planı izodoz dağılımı, c) cVMAT planı izodoz dağılımı

Konformite İndeksi (CI)

CI; hazırladığımız planın tedaviye uygunluğunu ifade eder. Tek başına yeterli bir bilgi vermez fakat planın kalite değerlendirilmesinde kullanılan ölçüm standartlarından biridir. CI 0 ile 1 arasındadır. 1 olması planın ideal olduğunun bir göstergesidir. CI’nin 0’a yaklaşması hedef hacmin istenilen dozu almadığını gösterir¹³.

$$CI = \frac{TV_{RI}}{TV} \times \frac{TV_{RI}}{V_{RI}}$$

TV_{RI} = Referans izodozla sarılı hedef hacim

TV = Hedef hacim

V_{RI} = Referans izodoz hacmi

Homojenite İndeksi (HI)

HI değeri belirlenen hedef hacim için verilen dozun hacim içerisinde ne kadar homojen, eşit oranlarla dağıldığının göstergesidir. HI değeri 0’a yaklaştıkça planın kalitesi atmaktadır¹⁴.

$$HI = \frac{D_{\%2} - D_{\%98}}{D_{\%50}}$$

$D_{\%2}$ = Hedef hacmin %2’sinin aldığı doz

$D_{\%98}$ = Hedef hacmin %98’sinin aldığı doz

$D_{\%50}$ = Hedef hacmin %50’sinin aldığı doz

İstatistiksel Analiz

Veriler IBM SPSS Statistics20 istatistik programı kullanılarak analiz edilmiştir. sVMAT, dVMAT ve cVMAT planlarında istatistiksel analiz yapılırken, veriler bağımsız değişken olduğu için;

Veriler normal dağılıma uygun, varyanslar homojen ise; One - Way Anova Testi uygulandı.

Veriler normal dağılıma uygun, varyanslar homojen değil ise; Kruskal - Wallis Testi uygulandı.

Veriler Normal dağılıma uygun değilse; Kruskal - Wallis Testi uygulandı.

Kruskal - Wallis testi sonucunda yöntemler arasında anlamlı fark var ise hangi yöntemler arasında anlamlı fark olduğunu bulmak için Mann - Whitney U Testi uygulandı.

Tablolar; veriler normal dağılıma uygun ise Ortalama ± Standart sapma şeklinde, eğer normal dağılıma uygun değilse ortanca (Minimum- Maksimum) şeklinde oluşturuldu.

Bulgular

Hedef hacmin aldığı doz değerleri tablo III de gösterilmiştir.

Tablo III. PTV1, PTV2, PTV3, HI, CI ve MU değerleri

Tümör Dozları	sVMAT	dVMAT	cVMAT	p Değeri	
PTV1	D _{2%}	62,0 (61,3-72,0)	62,2 (61,2-72,3)	61,9 (61,6-72,1)	0,746
	D _{98%}	63,4 (59,2-72,0)	60,2 (59,1-70,5)	60,0 (59,9-70,2)	0,878
	CI	1,008 ± 0,009	1,005 ± 0,01	1,011 ± 0,005	0,378
	HI	0,062 ± 0,008	0,063 ± 0,009	0,059 ± 0,005	0,647
	MU	1381,5 ± 153,6	1447,1 ± 131,2	1503,8 ± 190,0	0,777
PTV2	D _{98%}	54,6 (53,8- 60,2)	54,4 (53,1-60,4)	54,7(54,2-60,8)	0,633
	CI	1,008 ± 0,006	1,004 ± 0,01	1,008 ± 0,009	0,554
PTV3	D _{98%}	52,5 ± 2,1	52,3 ± 2,0	52,7 ± 2,0	0,952
	CI	1,008 ± 1,01	1,002 ± 0,015	1,011 ± 0,012	0,519

D_{2%}: PTV1’nin %2’lik hacmin aldığı doz değeri, D_{98%}: PTV1, PTV2 ve PTV3’ ün %98’lik hacmin aldığı doz.

Hazırlanan üç farklı VMAT planında da hedef hacme reçete edilen doz verilebilmiş ama yapılan planın kalitesini belirten faktörlerden biri olan HI değerinde bakıldığında cVMAT planının daha homojen olduğu gözlenmektedir. CI indeks değerlerine bakıldığında ise en konformal doz dağılımı dVMAT tekniğinde sağlanmıştır. Kritik organların aldığı doz değerleri tablo IV'de verildiği gibidir.

Tablo IV: Kritik Organ (OAR) dozları tablosu

OAR		sVMAT (cGy)	dVMAT (cGy)	cVMAT (cGy)	p değeri
Brain Stem	D _{mean}	5,6 ± 2,6	6,0 ± 2,9	5,9 ± 3,0	0,954
	D _{max}	33,9 (30,7 – 42,8)	37,1 (30,7 – 46,0)	38,6 (25,8 – 46,1)	0,085
Parotid Gland R	D _{mean}	21,5 ± 3,4	23,7 ± 3,4	23,1 ± 3,1	0,412
	V _{30%}	22,63 ± 6,94	27,74 ± 8,24	25,63 ± 7,39	0,412
	V _{20cc}	11,383 ± 4,809	13,365 ± 4,031	12,704 ± 4,196	0,657
Parotid Gland L	D _{mean}	20,5 ± 2,6	21,0 ± 3,3	20,6 ± 3,1	0,939
	V _{30%}	21,67 ± 7,76	25,07 ± 9,34	22,62 ± 8,24	0,714
	V _{20cc}	10,585 ± 3,496	11,240 ± 2,719	10,508 ± 2,865	0,87
Esophagus	D _{mean}	33,0 ± 10,9	33,2 ± 10,5	33,4 ± 10,7	0,997
	V _{45%}	32,33 ± 20,00	34,00 ± 20,04	35,26 ± 21,06	0,959
Spinal Cord	D _{max}	40,5 (32,1 – 41,7)	40,7 (32,4 – 41,3)	40,7 (32,4 – 41,2)	0,968
Oral Cavite	D _{mean}	34,5 ± 1,6	35,4 ± 2,0	35,1 ± 1,9	0,616
Submandibular R	D _{mean}	40,9 ± 3,6	40,8 ± 3,6	41,0 ± 3,9	0,994
Submandibular L	D _{mean}	40,8 (34,7 – 46,4)	40,9 (19,9 – 45,3)	40,8 (35,2 – 45,2)	0,983
Mandibula	D _{max}	55,1 ± 10,3	55,7 ± 9,2	56,6 ± 9,0	0,957
Lens R	D _{mean}	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,6 ± 0,2	0,904
	D _{max}	0,6 ± 0,2	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,746
Lens L	D _{mean}	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,791
	D _{max}	0,6 ± 0,3	0,6 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,772
O. Nerve R	D _{mean}	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,3	0,973
	D _{max}	1,0 ± 0,3	0,9 ± 0,3	1,0 ± 0,4	0,905
O. Nerve L	D _{mean}	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,969
	D _{max}	1,0 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,968

D_{mean}: Mean doz değeri, D_{max}: Maksimum doz değeri, V_{30%}: 30 Gy doz alan hacim yüzdesi, V_{45%}: 45 Gy doz alan hacim yüzdesi, V_{20cc}: 20 Gy alan hacim cm³

Kritik organ doz değerleri incelendiğinde dVMAT ve cVMAT tekniğinin Oral Kavite doz değerini istenilen sınırlar içerisinde sağlayamadığı gözlenmektedir.

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada; baş boyun kanseri tanılı olgular için hazırlanan üç farklı VMAT tekniğini hedef hacim dozu ve kritik organ dozları açısından karşılaştırmak için Monaco TPS kullandık. Monaco TPS çift ark kullanımı için kullanıcılarına iki yöntem sunmakta; bunlardan birincisi ışın ekleme sekmesinden ikinci bir

ışın eklemektir. Bu yöntemin avantajı kolimatör rotasyonlarına izin vermesidir. İkinci yöntem ise aynı ışının ikinci kez rotasyonuna izin vermektedir. Bu yöntemle ışın ikinci kez rotasyon yapmaktadır. İlk yöntem ile ikinci yöntem karşılaştırıldığında ışın sekmesinden yeni ark eklemek yerine 1 arkı çift rotasyon şeklinde döndürmek tedavi süresini olumlu yönde etkilemektedir. 1 arkı çift rotasyon şeklinde kullanmak segment sayısını arttırmaktadır, MU değeri nispeten aynı kalmaktadır. İki ışın yerine tek ışına iki yay eklendiğinde, Monaco TPS segmentasyon işlemini geliştirir. Esas olarak merkezi, X eksenini boyunca böler. Bir rotasyonda, Monaco TPS tümörün bir yarısını optimize eder. İkinci rotasyon ile, diğer yarısını optimize eder.

Guckenberger M. ve ark. yaptıkları çalışmada; statik YART, 1 ark VMAT (sVMAT), 2 ark VMAT (dVMAT) ve 3 ark VMAT (tVMAT) planlarını dozimetrik olarak karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında sonuç olarak; baş boyun bölgesi tanılı olgular için hazırladıkları planlarda sVMAT tekniği ile dVMAT ve tVMAT tekniklerini karşılaştırdıklarında; sVMAT tekniğinde hedef hacme istenilen dozun verilemediğini ve bunun yanında kritik organ dozlarının daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir⁴.

Dai X. ve ark. 2014 yılında yaptıkları çalışmada; 15 orofarınjiyel kanser tanılı olgunun statik YART ve VMAT yöntemi ile hazırlanmış 1 ark ve 2 ark tedavi planlarını dozimetrik olarak karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada PTV dozu için üç teknik de benzer sonuçlar vermesine rağmen parotis dozunda 2 ark tedavi planlarının, 1 ark planlarına göre daha iyi sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir¹⁵. Bizim çalışmamızda da hazırlanan VMAT planları PTV dozu açısından benzer bulunmuştur.

Benzer bir çalışmada; YART, 1 ark ve 2 ark VMAT planlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda 1 ark yerine 2 ark kullanımının daha homojen ve konformal doz dağılımı sağladığını ancak özellikle küçük dozdaki saçılmaların daha fazla ve MU değerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir¹⁶. Kliniğimizde yapılan çalışma sonuçlarında tedavi planlarının HI ve CI değerleri benzer sonuçlar vermiştir.

YART, VMAT 1 ark ve 2 ark kullanarak hazırlanan başka bir çalışmada tedavi planlarını dozimetrik olarak karşılaştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda YART ve 2 ark VMAT planların, aynı plan kalitesine sahip olduğunu ve iki tekniğin 1 ark tedavi planlarından üstün olduğunu gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında baş boyun kanseri tedavisi için, daha kısa tedavi süresi ve daha düşük MU değeri sebebiyle 2 ark tedavi planı YART tekniğinden daha üstün olduğu sonucuna varmışlardır¹⁷.

Sze H.C.K. ve ark. 2011 yılında yaptıkları çalışmada; YART, VMAT 1 ark (SA) ve VMAT 2 ark (DA) radyoterapi yöntemleriyle hazırladıkları planları dozimetrik açıdan karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda DA yöntemi ile hazırlanan planlarda; SA yöntemi-

H&N VMAT Planlarının Dozimetrik Olarak İncelenmesi

ne göre daha iyi doz sarımı ve daha düşük oranda sıcak nokta oluşumu gözlemlemiştir. Bunun yanında DA planlarında daha yüksek MU değeri ve tedavi süresinin %46 daha uzun olduğu dikkat çekmiştir¹⁸. Bizim planlarımızda MU değeri anlamlı fark gözlenmesine de 1 ark çift rotasyon planlarında daha düşük bulunmuştur.

2009 yılında yapılan benzer bir çalışmada ise 29 baş boyun kanseri (14 orofarinks, 8 hipofarinks ve 7 larinks) tanılı olgu için hazırladıkları YART, 1 ark (RA1) ve 2 ark (RA2) tedavi planlarını dozimetrik olarak karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Tedavi planları fraksiyon dozu sırasıyla 2,2 Gy (Gray), 2 Gy ve 1,8 Gy olacak şekilde PTV₆₆, PTV₆₀ ve PTV₅₄ hedef hacimlerine istenilen doz verilirken kritik organların korunması amaçlamışlardır. Çalışma sonuçlarında RA2 tekniğiyle RA1 tekniğine göre daha homojen doz dağılımı elde etmişler ve RA2 tekniğinde kritik organları anlamlı şekilde daha iyi koruyabilmişlerdir. Ancak RA1 tekniğinde daha düşük MU değeri izlemişlerdir¹⁹. Bizim sonuçlarımızda kritik organlar dozları açısından anlamlı fark gözlenmedi ancak sVMAT planları ile bazı kritik organ dozlarında gözle görülebilir bir düşüş sağlamıştır.

Lee T.F ve arkadaşları; 2011 yılında yaptıkları bir çalışmada, 20 nazofarinks kanser tanılı olgu için hazırladıkları 7 alan YART (7F-IMRT), 18 alan YART (18F-IMRT), 10° kolimatör açılı 1 ark (SA₁) ve 10° kolimatör açısı içeren 2 ark (SA₂) radyoterapi planlarını dozimetrik olarak karşılaştırmayı amaçlamışlardır. Çalışmalarında PTV için reçete edilen dozun %100'ünün hedef hacmin %95'ini sarması istenmiştir. SA₁ tekniği ile hazırlanan planlarda PTV_{59,4} ve PTV₅₄ istenilen dozu sağlamada yetersiz kalmıştır ve anlamlı şekilde SA₂ tekniğinin üstün olduğunu gözlemlemiştir. Beyin sapı D_{maks}, spinal kord D_{maks}, sağ ve sol parotis D_{mean} ve V_{30%} değerlerinde SA₂ tekniği anlamlı şekilde üstün bulunmuştur. Bunun yanında SA₂ tekniğinde daha az sıcak nokta oluşmuştur. Tedavi planlama süresi, tedavi süresi ve MU değeri SA₂ tekniğinin dezavantajı olarak bulunmuştur²⁰. Benzer olarak bizim çalışmamızda parotis D_{mean} ve V_{30%} dozu, beyin sapı D_{mean} ve D_{maks} dozunda sVMAT tekniğinin lehine bulunmuştur.

VMAT planlarında uygun kolimatör açısını bulmaya yönelik yapılan bir çalışmada 17 abdominal, baş boyun ve göğüs bölgesi tanılı olguyu değerlendirip; VMAT tekniğinde homojen olmayan tümörler için kullanılacak en uygun kolimatör açısını belirlemeyi amaçlamışlardır. Hazırladıkları parçalı ark planları; her ark için en uygun kolimatör açısını hesaplayıp vermişlerdir. Planlarda 40° rotasyonlu 9 ark [Colli-VMAT(40°)], 60° rotasyonlu 6 ark [Colli-VMAT(60°)], 90° rotasyonlu 4 ark [Colli-VMAT(90°)] ve 120° rotasyonlu 3 ark [Colli-VMAT(120°)] şeklinde oluşturulmuş ve bunun dışında 360° rotasyonlu 0° kolimatör açılı Std-VMAT(360°) 1 ark kullanarak

tedavi planlarını oluşturmuşlardır. 6 baş boyun kanseri tanılı olgu değerlendirildiğinde Colli-VMAT(40°) ve Colli-VMAT(60°) ile hazırlanan planlarda; fazla ark sayısı ile her ark bölgesine denk gelen tümörün, heterojen şekline uygun kolimatör açısı vermenin hedef hacim doz sarımında ve kritik organların korunmasında avantajları olduğunu gözlenmişlerdir. 17 olgu değerlendirildiğinde parçalı ark ve kolimatör açısı kullanılan planlarda MU değerinin düştüğünü gözlemlemiştir. Bu MU azalması Colli-VMAT(40°), Std-VMAT(360°) planları karşılaştırıldığında baş boyun bölgesi, abdominal bölge ve göğüs bölgesi için sırasıyla %38,1, %32,5 ve %31,5 Colli-VMAT(40°) tedavi planı lehine bulunmuşlardır. Tedavi planlarında parçalı arkların sayısının artırılması ve her arka uygun kolimatör açısı kullanılması sebebiyle, foton ışınları tarafından maruz kalan alanları daha dar gözlemlemiştir. Bu etkilere bağlı olarak da hastalarda oluşabilecek ikincil radyasyon riski azaltılabilmektedir. Ahn B.S. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada Colli-VMAT(40°) planlarının daha iyi hedef hacim doz sarımı ve kritik organ korunmasında daha gelişmiş olduğu sonucuna varmışlardır. Düşük MU değeri sebebiyle Colli-VMAT(40°) planları daha kısa tedavi süresine sahip olduğunu gözlemlemiştir²¹.

Bizim çalışmamızın benzeri bir çalışma yapan Kalet A. ve ark. Monaco Tedavi Planlama Sisteminin sunduğu özelliklerden olan 1 ark çift rotasyon özelliği ile hazırladıkları planları, çift ark planları ile karşılaştırmışlardır. Bizde kliniğimizde bu iki tekniğe ek olarak 2 ark ve kolimatör açısı içeren planları karşılaştırdık. Çalışmalarında HI değerleri benzer sonuçlar verirken CI değeri açısından 1 ark çift rotasyon planlarını daha iyi bulmuşlardır. Bizim çalışmamızda HI ve CI değerleri açısından teknikler arasında anlamlı fark gözlenmemiştir. 1 ark çift rotasyon planlarında anlamlı şekilde daha yüksek MU değeri karşılına çıkmasına rağmen bizim hazırladığımız planlarda anlamlı fark gözlenmemiş ve sVMAT planında daha düşük MU değeri bulunmuştur. Bazı kritik organ dozları açısından 2 ark planlarının 1 ark çift rotasyon planlarına üstün olduğunu sonucuna varmışlardır. Ancak bizim çalışmamızda 1 ark çift rotasyon planları beyin sapı ile parotis doz değerlerinde daha iyi sonuç vermiş ve oral kavite doz değeri sadece 1 ark çift rotasyon planında istenilen sınırlar içerisinde tutulabilmektedir. Yaptıkları çalışmada tedavi süreleri karşılaştırıldığında 2 ark ile hazırlanan planların 1 ark çift rotasyon ile hazırlanan planlara oranla %33 daha uzun sürdüğünü gözlemlemiştir. Bizim çalışmamızda da buna benzer olarak 2 ark planlarının tedavi süresi 1 ark çift rotasyon planlarına göre %24 daha uzun sürdüğü bulunmuştur⁸.

Özellikle baş boyun gibi kompleks tümörlerde VMAT yöntemi ile hazırlanan 1 ark tedavi planlarında; kritik organları koruyup PTV dozunu sağlayabilmek zor olmakta ve ikinci bir arka ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu sebeple çalışmamızda Monaco TPS'in çift ark

kullanımı için kullanıcılarına sunduğu iki yöntem incelendi ve buradan hareketle bu etkiyi karşılaştırmak için; 1 ark çift rotasyon, 2 ark ve $15^0 - 345^0$ kolimatör açılı tedavi planları oluşturulup dozimetrik olarak karşılaştırıldı. Hazırladığımız tedavi planları arasında PTV dozları açısından istatistiksel olarak anlamlı fark gözlenmedi. Ancak 1 ark çift rotasyon planlarında bazı kritik organlarda daha iyi dozimetrik sonuçlar elde edilmiştir. Tedavi sürelerini karşılaştırdığımızda; Kalet A. M. ve ark.'nın yaptığı çalışmaya benzer sonuçlara ulaştık. 1 ark çift rotasyon planlarının sırasıyla 2 ark ve kolimatör açılı planlara göre %23,6 ve %19,8 kısalacağını gözlemledik.

Sonuç olarak; yaptığımız bu çalışma sonuçlarına göre Monaco TPS'in sunduğu 1 ark çift rotasyon özelliği sayesinde özellikle baş boyun bölgesi gibi kompleks yapıya sahip tümörlerde 1 ark ile yapılan planlardan daha iyi dozimetrik sonuçlar elde etmekteyiz ancak bununla birlikte MU değeri de artış göstermektedir. Monaco TPS'de 2 ark yerine 1 ark çift rotasyon kullandığımız zaman uzun süren tedavi süresini anlamlı şekilde kısaltmaktayız. Biz kliniğimizde yaptığımız bu çalışma sonuçlarına göre tedavi yöntemleri arasında anlamlı fark olmasa da 1 ark çift rotasyon tedavi planlarının daha iyi dozimetrik sonuçlar verdiğini ve bunun yanında tedavi süresinin kısalacağını gözledik. Özellikle tedavi süresinin kısalmasıyla hastaların tedavi süresindeki konforu olumlu yönde etkilenmekte böylece ışınlama sırasında meydana gelebilecek hasta hareketinden kaynaklı hataların azalabileceğini düşünmekteyiz.

Kaynaklar

1. Van Luijk P, Pringle S, Deasy J.O., Et Al. Sparing The Region Of The Salivary Gland Containing Stem Cells Preserves Saliva Production After Radiotherapy For Head And Neck Cancer. *Science Translational Medicine*, 2015, 7.305: 305ra147-305ra147.
2. Kim R, Ock C.-Y., Keam B, Et Al. Predictive And Prognostic Value Of Pet/Ct Imaging And Clinical Decision-Making Consequences In Locally Advanced Head & Neck Squamous Cell Carcinoma: A Retrospective Study. *Bmc Cancer*, 2016, 16.1: 116.
3. Pollard A, Burchell J.L., Jastle D, Et Al. Individualised Mindfulness-Based Stress Reduction For Head And Neck Cancer Patients Undergoing Radiotherapy Of Curative Intent: A Descriptive Pilot Study. *European Journal Of Cancer Care*, 2017, 26.2.
4. Guckenberger M, Richter A, Krieger T, Et Al. Is A Single Arc Sufficient In Volumetric-Modulated Arc Therapy (VMAT) For Complex-Shaped Target Volumes?. *Radiotherapy And Oncology*, 2009, 93.2: 259-265.
5. Stathakis S, Roland T, Papanikolaou N, Li J, Ma C. Prediction Study On Radiation-Induced Second Malignancies For Imrt Treatment Delivery. *Technology In Cancer Research & Treatment*, 2009, 8.2: 141-147.
6. Sivakumar R, Janardhan N, Anuradha C, Et Al. Su-E-T-309: Dosimetric Comparison Of Simultaneous Integrated Boost Treatment Plan Between Intensity Modulated Radiotherapies (Imrts), Dual Arc Volumetric Modulated Arc Therapy (Da-Vmat) And Single Arc Volumetric Modulated Arc Therapy (Sa-Vmat) For Nasopharyngeal Carcinoma (Npc). *Medical Physics*, 2015, 42.6part16: 3404-3404.
7. Gomez J, Barrachina M, Sainz I J, Et Al. Potential Advantages Of Volumetric Arc Therapy In Head And Neck Cancer. *Head & Neck*, 2015, 37.6: 909-914.
8. Kalet Alan M., Richardson Hannah L., Nikolaisen Darrin A., Et Al. Dosimetric Comparison Of Single-Beam Multi-Arc And 2-Beam Multi-Arc VMAT Optimization In The Monaco Treatment Planning System. *Medical Dosimetry*, 2017, 42.2: 122-125.
9. Matuszak M.M., Steers J.M., Long T., Et Al. Fusionarc Optimization: A Hybrid Volumetric Modulated Arc Therapy (Vmat) And Intensity Modulated Radiation Therapy (Imrt) Planning Strategy. *Medical Physics*, 2013, 40.7.
10. Palma D, Vollans E, James K, Et Al. Volumetric Modulated Arc Therapy For Delivery Of Prostate Radiotherapy: Comparison With Intensity-Modulated Radiotherapy And Three-Dimensional Conformal Radiotherapy. *International Journal Of Radiation Oncology• Biology• Physics*, 2008, 72.4: 996-1001.
11. Oddiraju S, Rangaraj D, Papiez L. Su-E-T-384: Combining Multiple Arcs Into A Single Arc For Efficient Delivery. *Medical Physics*, 2013, 40.6part16: 293-293.
12. Zhang P, Happersett L, Yang Y, Et Al. Optimization Of Collimator Trajectory In Volumetric Modulated Arc Therapy: Development And Evaluation For Paraspinal Sbrt. *International Journal Of Radiation Oncology• Biology• Physics*, 2010, 77.2: 591-599.
13. Feuvret L, Noël G, Mazon J-J, Bey P. Conformity index: a review. *International Journal of Radiation Oncology• Biology• Physics*, 2006, 64.2: 333-342.
14. Cantürk E, Topgul G, Gurler O, Et Al. Endometrium, Serviks Ve Larinks Kanserlerinin Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi Tekniğinde Doz Homojenite İndeksinin Kantitatif Olarak Değerlendirilmesi ve Homojenite İndeks Değerlerinin Karşılaştırılması. *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2017, 19.3: 135-140.
15. Dai X, Zhao Y, Liang Z, Et Al. Volumetric-Modulated Arc Therapy For Oropharyngeal Carcinoma: A Dosimetric And Delivery Efficiency Comparison With Static-Field Imrt. *Physica Medica: European Journal Of Medical Physics*, 2015, 31.1: 54-59.
16. Zhao, L-R, Zhou Y-B, Sun J-G. Comparison Of Plan Optimization For Single And Dual Volumetric-Modulated Arc Therapy Versus Intensity-Modulated Radiation Therapy During Post-Mastectomy Regional Irradiation. *Oncology Letters*, 2016, 11.5: 3389-3394.
17. Alvarez Moret, J, Pohl F, Koelbl O, Dobler B. Evaluation Of Volumetric Modulated Arc Therapy (Vmat) With Oncentra Masterplan® For The Treatment Of Head And Neck Cancer. *Radiation Oncology*, 2010, 5.1: 110.
18. Sze H.C.K., Lee M.C.H., Hung W.M. Et Al. Rapidarc Radiotherapy Planning For Prostate Cancer: Single-Arc And Double-Arc Techniques Vs. Intensity-Modulated Radiotherapy. *Medical Dosimetry*, 2012, 37.1: 87-91.
19. Vanetti E, Clivio A, Nicoloni G, Et Al. Volumetric Modulated Arc Radiotherapy For Carcinomas Of The Oro-Pharynx, Hypo-Pharynx And Larynx: A Treatment Planning Comparison With Fixed Field Imrt. *Radiotherapy And Oncology*, 2009, 92.1: 111-117.
20. Lee, T-F, Ting H-M, Chao P-J, Fang F-M. Dual Arc Volumetric-Modulated Arc Radiotherapy (Vmat) Of Nasopharyngeal Carcinomas: A Simultaneous Integrated Boost Treatment Plan Comparison With Intensity-Modulated Radiotherapies And Single Arc Vmat. *Clinical Oncology*, 2012, 24.3: 196-207.
21. Ahn B.S., Park S.-Y., Park J.M., Et Al. Dosimetric Effects Of Sectional Adjustments Of Collimator Angles On Volumetric Modulated Arc Therapy For Irregularly-Shaped Targets. *Plos One*, 2017, 12.4: E0174924.