

Prostat Hastalarının VMAT Tekniği ile İki Farklı Algoritma Kullanılarak Yapılan Tedavi Planlarının Dozimetrik Karşılaştırılması

Pınar Boydak^{1*}, Kamil Temizyürek²

ÖZ

Prostat derin pelviste konumlu kapsülle sarılı fibromusküler ve glandüler bir organdır. Şekli cevizi veya ters koniyi anımsatmaktadır. Erken evre prostat kanseri için radikal-prostatektomi, brakiterapi ve eksternal radyoterapi tedavi seçenekleri arasında bulunmaktadır. Radyoterapi yaklaşık yüz yıldır kanserlerin tedavisinde kullanılan yöntemlerden biridir. İyonlaştırıcı radyasyon ışını ile kanser hücrelerinin yok edilmesi prensibine dayanır. Radyoterapide temel prensip, hedef hacim en yüksek dozu alırken etrafındaki sağlıklı doku ve riskli organlara olabildiğince minimum dozu vermektir. Bu amaca ulaşmak için üç boyutlu konformal radyoterapi, yoğunluk ayarlı radyoterapi, görüntü eşliğinde radyoterapi ve tomoterapi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada, volümetrik ark terapi tekniği üzerine Monte Carlo Algoritması ile Analitik Anizotropik Algoritmasının performansının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Kritik organ dozları göz önüne alındığında, Elekta-volümetrik ark terapi tekniği, Rapid Ark tekniğinin değerlerine göre, mesane ve rektum dozları için istatistiksel olarak anlamlı daha düşük değerler vermiştir. Sağ ve sol femurlarda Rapid Ark tekniği daha iyi sonuçlar vermiştir. Rapid Ark monitör unit değerleri, Elekta-volümetrik ark terapinin monitör unit değerlerinden daha düşüktür, bu yüzden Rapid Ark'ta tedavi süresi daha kısadır. Klinik olarak her makine için volümetrik ark terapi teknikleri, kabul edilebilir planlar üretmede eşit derecede etkilidir. Sonuç olarak bu iki tekniğin pratikle eşdeğer sonuçlar ürettiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Prostat, volümetrik ark terapi, Monaco tedavi planlama sistemi, analitik anizotropik algoritması, eclipse tedavi planlama sistemi,

^{1*}*Istanbul Aydın Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sağlık Fiziği Anabilim Dalı,
Sorumlu yazar: pboydak@gmail.com*

²*Dr. Öğr. Üyesi, İstanbul Aydın Üniversitesi Tıp Fakültesi Biyofizik Anabilim Dalı,
e-posta: kamiltemizyurek@aydin.edu.tr*

Makale Geliş Tarihi / Received: 12.12.2018 - Makale Kabul Tarihi / Accepted: 15.02.2019

A Dosimetric Comparison of Treatment Plans Using Two Different Algorithms with VMAT Technique in Prostate Patients

ABSTRACT

The prostate is a fibromuscular and glandular organ that is wrapped with a deep pelvis position capsule. The shape is reminiscent of walnut or inverted cone. For early stage prostate cancer, radical-prostatectomy, brachytherapy and external radiotherapy are among the treatment options. Radiotherapy has been one of the methods used in the treatment of cancers for nearly a hundred years. It is based on the principle of destroying cancer cells by ionizing radiation beam. The main principle in radiotherapy is to give the minimum dose as much as possible to the healthy tissue and risky organs around the target volume while tumors are taking the highest dose. To achieve this goal, three-dimensional conformal radiotherapy, intensity-modulated radiotherapy, image-guided radiotherapy, and tomotherapy are used. Current study aims to compare the performance of Monte Carlo Algorithm and Analytic Anisotropic Algorithm on volumetric arc therapy technique.

When the critical organ doses were considered, the Electra-volumetric arc therapy technique has statistically significant lower values for bladder and rectum doses than those values of the Rapid Arc technique. For right and left femurs, the Rapid Arc technique shows better results. Rapid Arc monitor unit values are lower than monitor unit values of Electra-volumetric arc therapy, so the treatment duration was shorter in Rapid Arc. Clinically both volumetric arc therapy techniques for each machine were equally effective in producing acceptable plans. As a result, it can be said that these two techniques produce equivalent results by practice.

Keywords: *Prostate, volumetric arc therapy, Monaco treatment planning system, analytic anisotropic algorithm, eclipse treatment planning system,*

Giriş

Prostat derin pelviste konumlu kapsülle sarılı fibromüsküler ve glandüler bir organdır. Şekli cevizi veya ters koniyi anımsatmaktadır. Gençlerde ortalama hacmi 20 ml'dir. Ortalama olarak yüksekliği 3 cm, genişliği 4 cm ve kalınlığı ise 2.5 cm'dir. Superiordan mesaneye, inferiordan ise eksternal üriner sfinkter ve membranöz üretraya bağlıdır. Prostatın bazal

kısmı mesaneyle komşu olan bezin superior kısmıdır, apeks ise inferior sınırına tekabül etmektedir.[1] Prostat; ön, arka ve iki yan loba ayrılır. Bezin tüm arka yüzeyi boyunca uzanan arka lob, rektal muayenede hissedilir. [1] Erken evre prostat kanseri için radikal-prostatektomi, brakiterapi ve eksternal (harici) radyoterapi tedavi seçenekleri arasında bulunmaktadır. Bu metotların klinik sonuçları benzer olsa da tedaviden kaynaklı farklı yan etkiler gözlenmektedir. Cerrahiye göre eksternal radyoterapi daha az yan etkiye sebep olduğu için, özellikle yaşlı hastalarda daha çok tercih edilmiştir. Son teknolojik planlama yöntemleri sayesinde radyoterapiye bağlı yan etkilerin minimize edilmesi sağlanmıştır. Radyoterapi, çok uzun yıllardır kanser tedavisinde yararlanılan metotlardandır ve kanser hücrelerinin iyonlaştırıcı radyasyon ile ortadan kaldırılması ya da çoğalmasının engellenmesi prensibine dayanır. Radyoterapi, hedef doku ve tümör komşuluğunda bulunan normal dokuları da etkiler ve hasar oluşturulabilir. Bu nedenle modern radyoterapi uygulamalarında tümörü kontrol edecek dozda radyasyon uygularken, tümörün etrafındaki veya yakınındaki sağlıklı dokuların ve riskli organların olabildiğince en az radyasyon dozu alması hedeflenir.

Son yıllarda radyoterapideki gelişmeler sonucu konvansiyonel ve üç boyutlu konformal radyoterapi, yerini Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi (YART) ve Volümetrik Ark Terapi (VMAT) tekniklerine bırakmıştır. Bu yöntemler hedef bölgede daha iyi konformalite sağladığı gibi riskli organların da alabileceği en az dozu almasına olanak sağlamaktadır. YART ve VMAT teknikleri ile uniform olmayan ışın demetleri kullanılarak uygulanan değişik yoğunluklarda düzenlenmiş radyoterapi alanları veya ark bazlı sabit kontrol noktaları ile hedef hacimde arzulanan doz sarımı ve dağılımına ulaşılabilir. VMAT tekniğinde değişik yoğunluktaki birçok sayıda ışın kombinasyonu ile daha iyi tümör (kanseri doku) kontrolü ve sağlıklı dokularda daha az yan etki oluşacak şekilde optimize edilebilmektedir. Çalışmamızda prostat kanserli hastalarda, VMAT tekniğini Analitik Anizotropik Algoritma (AAA) ve Monte Carlo (MC) algoritmalarında hesaplatarak kritik organ ve hedef organ üzerindeki etkisini dozimetrik olarak karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Gereç ve Yöntem

Çalışmamız İstanbul Okmeydanı Eğitim ve Araştırma Hastanesi (EAH) Radyasyon Onkolojisi'nde yapılmış ve kullanılan tüm araç ve gereçler Okmeydanı EAH Radyasyon Onkolojisi'ne aittir.

Rastgele seçilen 20 prostat kanseri hastasının Bilgisayarlı Tomografi (BT) görüntüleri 3 mm kesit aralıkları ile taranarak Tedavi Planlama Sistemi (TPS)'ne aktarıldı. Bu BT görüntüleri kullanılarak hedef yapılar ve kritik organlar radyasyon onkoloğu tarafından çizildi. Hedef hacmi (Gross Tumor Volume-GTV) prostata hiç marj verilmeden oluşturulurken, Klinik Hedef Hacmi (Clinical Target Volume-CTV) GTV hacmine her yönden 1 cm marj verilirken, sadece posterior yönden rektum duvarında doz artışını engellemek için 0.5 cm marj verilerek oluşturuldu. Set-up hatalarını ve radyasyon demetinin penumbrasından gelen azalımı dikkate almak için de Planlanan Hedef Hacmi (Planning Target Volume-PTV) ise CTV'ye 0.5 cm marj verilerek oluşturuldu. Mesane tüm organ olarak, rektum PTV'yi alttan ve üstten 1 cm aşacak şekilde tüm organ olarak ve femur başları konturlandı.

Her hasta için ayrı ayrı VMAT planlaması Eclipse ve Monaco tedavi planlama bilgisayarlarında, ters planlama kullanılarak oluşturuldu. Işın enerjisi ve gantri açıları bizim tarafımızdan optimize edilirken, dozla ilgili diğer tüm optimizasyonlar tedavi planlama bilgisayarının ters planlama algoritması tarafından yapıldı.

Prostat hastaları 6 MV foton enerjisiyle çift arklı VMAT planları standart olacak şekilde planlandı. Birbirine ters yönlerde gantri dönüş açılarına sahip çift arklı VMAT planları oluşturuldu. Ters planlama algoritmasının optimizasyonu için gerekli gördüğü hedef hacim ve riskli organ doz sınırlamaları (constraint) prostat hastaları için tanımlandı. Eclipse TPS optimizasyonu için Progressive Resolution Optimizer (PRO), planların hesaplaması için ise AAA, Monaco TPS optimizasyonu için MC algoritması kullanıldı. Her iki planlama sistemi VMAT planlamasında doz optimizasyonu parametreleri hedef hacim ve komşu riskli organlar için tanımlandı.

Hesaplatılan bütün planlarda PTV'nin aldığı dozun aynı olması için plan normalizasyonu, PTV'nin %95'inin tanımlanan dozun %100'ünü almasına

göre yapılmıştır. PTV için maksimum doz sınırı, toplam dozun %110'u olacak şekilde belirlenmiştir.

Yapılan planın uygunluğu, tedavinin etkinliğinde çok önemlidir ve bu durumun değerlendirmesi için kolay ve anlaşılır bir biçimde ifade edilmesi gerekmektedir. Tedavi erken ve/veya geç yan etkilerini değerlendirmek üzere fikir veren doz değerlerinden ve konformalite indeks (CI), homojenite indeks (HI) tanımlamalarından yararlanılarak tedavi planlamaları arasındaki farklılıklar değerlendirilir.

CI, ilk olarak Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) tarafından 1993 yılında önerilmiş ve International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU)'a ait 62 nolu raporda tanımlanmıştır.[2,3] Doz hacim histogramlarından (DVH) elde edilen parametrelerin kolay kullanılması için CI' in evrensel olarak uygulanabilir olması gerekmektedir. CI sadece aynı hastalara ait iki tedavi planı karşılaştırmasında değil, farklı tedavi tekniklerinin karşılaştırılmasında da yararlı bir araçtır.

CI dozimetrik analizin bir bölümü olarak geliştirilmiştir. CI, 1'e eşit olduğunda ideal konformalite sağlanmış olur. CI, 1'den büyük olması ışınlanan hacmin (VRI) hedef hacimden daha büyük olduğu ve sağlıklı dokuları içerdiği anlamına gelir. Eğer CI, 1'den küçük ise hedef hacmin sadece bir kısmı ışınlanmıştır.[2] CI formülü aşağıda verilmiştir.[4]

$$CI = VRI / TV$$

Bu denklem kullanılarak yapılan planlardaki hedef hacminin CI değerleri hesaplanmıştır.

Doz homojenitesi hedef hacim içerisindeki absorbe doz dağılımını karakterize eder. HI, 0'a eşit veya yakın olması absorbe doz dağılımının homojen olduğunu gösterir. HI denklemi aşağıda verilmiştir.[5]

$$HI = D\%2 - D\%98 / D\%50$$

D%2= hedefin %2 hacminin aldığı doz

D%98= hedefin %98 hacminin aldığı doz

D%50= hedefin %50 hacminin aldığı doz

Bu denklem kullanılarak yapılan planlardaki hedef hacminin HI değerleri hesaplanmıştır.

Optimizasyon ve hesaplama işlemlerinin yukarıda belirtilen yöntemle gerçekleştirilmesinin ardından her bir planın hedef ve kritik organların aldığı dozlar, DVH yardımıyla incelendi. Planların Monitör Unit (MU) değerleri, PTV için CI ve HI karşılaştırıldı. Kritik organlar için hacimsel dozlar değerlendirildi. Elde edilen verilerin istatistiksel karşılaştırılması için IBM SPSS Statistics 22 (IBM SPSS, Türkiye) programı kullanıldı. Çalışma verileri değerlendirilirken parametrelerin normal dağılıma uygunluğu Shapiro Wilks testi ile değerlendirildi. Çalışma verileri değerlendirilirken niceliksel verilerin karşılaştırılmasında normal dağılım gösteren parametrelerin Rapid Ark ve Elekta-VMAT karşılaştırmalarında Paired Sample t test, normal dağılım göstermeyen parametrelerin Rapid Ark ve Elekta-VMAT karşılaştırmalarında ise Wilcoxon Signed Ranks testleri kullanıldı. Anlamlılık $p < 0,05$ düzeyinde değerlendirilmiştir.

Bulgular

PTV için elde edilen dozun maksimum değeri, CI, HI ve MU değerleri Tablo 1 ve Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 1: PTV İçin AAA ve MC ile Yapılan Planlardan Elde Edilen PTV D_{MAX} (cGy) Bulguları ve Karşılaştırılmalar Sonucu Bulunan 'p' Değeri

HASTA	PTV D_{MAX} (AAA)	PTV D_{MAX} (MC)	
1	7502	7453	
2	7585	7500	
3	7606	7583	
4	7471	7474	
5	7475	7439	
6	7546	7714	
7	7611	7659	
8	7739	7529	
9	7612	7778	
10	7596	7544	
11	7665	7502	
12	7725	7701	
13	7725	7765	
14	7610	7559	
15	7625	7649	
16	7634	7503	
17	7704	7648	
18	7726	7619	
19	7661	7569	
20	7697	7701	
	Eclipse-AAA	Monaco-MC	p
	Ort±SS	Ort±SS	
PTV D_{MAX}	7625,75±82,26	7594,45±103,56	¹0,154

Tablo 2: PTV İçin AAA ve MC ile Yapılan Planlardan Elde Edilen CI, HI, MU Değerleri Bulguları ve Karşılaştırılmalar Sonucu Bulunan 'p' Değerleri

HASTA	CI (AAA)	CI (MC)	HI (AAA)	HI (MC)	MU (AAA)	MU (MC)
1	0,99	0,95	0,06	0,08	636	797
2	1,03	0,95	0,07	0,09	810	788
3	1,02	0,94	0,08	0,11	702	789
4	0,98	0,95	0,05	0,08	702	909
5	1,03	0,95	0,08	0,07	969	1031
6	1,01	0,94	0,07	0,13	704	922
7	1	0,99	0,06	0,11	824	769
8	1,01	0,95	0,08	0,09	718	976
9	1	0,95	0,08	0,13	853	832
10	0,98	0,95	0,07	0,09	664	837
11	0,99	0,98	0,07	0,11	797	909
12	1	0,99	0,1	0,11	620	1009
13	1,05	0,98	0,1	0,12	731	905
14	0,98	0,95	0,07	0,08	805	1020
15	1,04	0,95	0,07	0,13	666	994
16	1	0,95	0,08	0,07	741	990
17	1,01	0,98	0,08	0,09	816	965
18	0,99	0,94	0,09	0,1	835	1025
19	0,98	0,98	0,08	0,09	704	910
20	1,02	0,96	0,09	0,09	930	1066

	Eclipse-AAA	Monaco-MC	p
	Ort±SS	Ort±SS	
CI (medyan)	1,01±0,02 (1)	0,96±0,02 (0,95)	² 0,000*
HI (medyan)	0,08±0,01 (0,08)	0,1±0,02 (0,09)	² 0,000*
MU	761,35±94,29	922,15±93,4	¹ 0,000*

¹Paired Samples t Test

²Wilcoxon Sign Test

*p<0.05

Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulan bulgular incelendiğinde, PTV için Rapid Ark ve Elekta-VMAT planları arasında PTV D_{max} ortalama değerleri bakımından istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir (p>0.05). Elekta-VMAT'ta yapılan planların CI ortalaması, Rapid Ark'ta yapılan planlardan

istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksek bulunmuştur (p: 0.000; p<0.05). Elekta-VMAT'ta yapılan planların HI ortalaması, Rapid Ark'ta yapılan planlardan istatistiksel olarak anlamlı olarak yüksektir (p: 0.000; p<0.05). Elekta-VMAT'ta yapılan planların MU ortalaması, Rapid Ark'ta yapılan planlardan istatistiksel olarak anlamlı olarak yüksektir (p: 0.000; p<0.05).

Kritik organların (mesane, rektum, sağ femur ve sol femur) istatistiksel analiz verileri Tablo 3, Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 3: Mesane İçin AAA ve MC ile Yapılan Planlardan Elde Edilen %50 ve %25 Değerlerinin Bulguları (cGy) ve Karşılaştırılmalar Sonucu Bulunan 'p' Değerleri

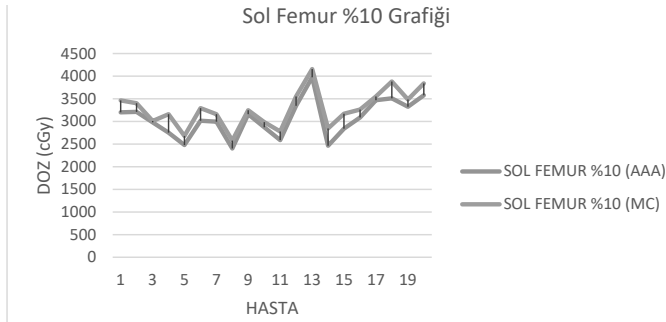
HASTA	MESANE %50 (AAA)	MESANE %50 (MC)	MESANE %25 (AAA)	MESANE %25 (MC)	
1	6000	5965	7187	7254	
2	2702	2666	7020	6984	
3	6945	7032	7188	7058	
4	4346	4021	7076	7012	
5	3714	3756	7068	6875	
6	3808	3912	7131	7106	
7	1939	1869	4792	4802	
8	3878	3764	6880	6768	
9	6274	6578	7213	7259	
10	3694	3332	6853	6815	
11	2496	2512	7124	7054	
12	3557	3438	7338	7115	
13	2940	2765	7320	7198	
14	3123	3019	7081	7102	
15	7056	7022	7095	6845	
16	5311	5268	7249	7315	
17	4178	4206	7165	7121	
18	3288	3326	7190	7058	
19	3731	3645	7221	7159	
20	3386	3308	7166	7115	
	Eclipse-AAA		Monaco-MC		p
	Ort±SS		Ort±SS		
Mesane%50 (medyan)	4118,3±1455,31 (3722,5)		4070,2±1510,52 (3700,5)		²0,089
Mesane%25 (medyan)	7017,85±537,92 (7148)		6950,75±527,08 (7080)		²0,007*
¹ Paired Samples t Test	² Wilcoxon Sign Test		*p<0.05		

Tablo 4: Rektum İçin AAA ve MC ile Yapılan Planlardan Elde Edilen %35 ve %17 Değerlerinin Bulguları (cGy) ve Karşılaştırılmalar Sonucu Bulunan 'p' Değerleri

HASTA	REKTUM %35 (AAA)	REKTUM %35 (MC)	REKTUM %17 (AAA)	REKTUM %17 (MC)
1	4042	4129	5702	5759
2	3686	3652	6027	5984
3	5415	5520	6896	6659
4	3693	3293	5210	5091
5	3459	3305	4993	5015
6	4694	4574	6378	6182
7	3350	3419	6774	5464
8	4574	4602	6428	6120
9	3966	4015	5799	5576
10	3665	3554	5362	5490
11	3937	4033	6410	6359
12	3645	3579	5532	5503
13	3920	3836	6892	6745
14	5135	5085	6852	6658
15	2930	2882	7146	7045
16	4030	4106	6233	6138
17	3868	3636	5924	5950
18	4950	4836	6727	6802
19	4629	4313	6412	6399
20	5778	5554	7141	7049
	Eclipse-AAA		Monaco-MC	
	Ort±SS		Ort±SS	
			p	
Rektum %35	4168,3±736,9		4096,15±742,07	
Rektum %17	6241,9±649,49		6099,4±617,57	
¹ Paired Samples t Test	² Wilcoxon Sign Test		*p<0.05	

Tablo 5: Sol Femur Başları İçin AAA ve MC ile Yapılan Planlardan Elde Edilen %10 Değerlerinin Dulguları (cGy) ve Karşılaştırılmalar Sonucu Bulunan 'p' Değerleri Şekil 1: Sol femur %10'nun aldığı doz grafiği

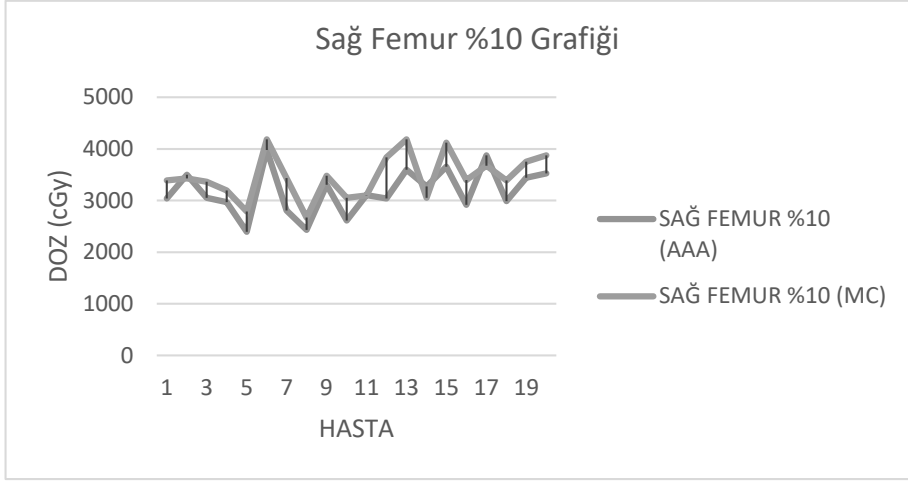
HASTA	SOL FEMUR %10 (AAA)	SOL FEMUR %10 (MC)	
1	3199	3462	
2	3209	3404	
3	2980	3008	
4	2751	3158	
5	2480	2678	
6	3013	3294	
7	2993	3159	
8	2402	2579	
9	3159	3248	
10	2873	2985	
11	2585	2778	
12	3346	3554	
13	3977	4157	
14	2461	2845	
15	2841	3169	
16	3090	3262	
17	3468	3554	
18	3509	3883	
19	3326	3484	
20	3576	3843	
	Eclipse-AAA	Monaco-MC	p
	Ort±SS	Ort±SS	
Sol Femur %10	3061,9±412	3275,2±409,68	¹0,000*
¹ Paired Samples t Test		² Wilcoxon Sign Test	*p<0.05



Şekil 1: Sol femur %10'nun aldığı doz grafiği

Tablo 6: Sağ Femur Başları İçin AAA ve MC ile Yapılan Planlardan Elde Edilen %10 Değerlerinin Bulguları (cGy) ve Karşılaştırılmalar Sonucu Bulunan 'p' Değerleri

HASTA	SAĞ FEMUR %10 (AAA)	SAĞ FEMUR %10 (MC)	
1	3043	3390	
2	3497	3428	
3	3054	3362	
4	2966	3198	
5	2394	2785	
6	3981	4185	
7	2807	3436	
8	2431	2669	
9	3305	3478	
10	2612	3050	
11	3102	3099	
12	3038	3836	
13	3596	4185	
14	3276	3052	
15	3652	4123	
16	2919	3397	
17	3876	3676	
18	2989	3391	
19	3439	3750	
20	3528	3878	
	Eclipse-AAA	Monaco-MC	p
	Ort±SS	Ort±SS	
Sağ Femur %10	3175,25±440,5	3468,4±433,85	10,000*
	¹ Paired Samples t Test	² Wilcoxon Sign Test	*p<0.05



Şekil 2: Sağ femur %10'nun aldığı doz grafiği

Tablo 3-6'da sunulan kritik organ dozları incelendiğinde, Elekta-VMAT ve Rapid Ark'ta yapılan planlar arasında Mesane %50'in aldığı doz ortalaması her iki teknikte de istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmemiştir ($p > 0.05$). Rapid Ark'ta yapılan planların mesane %25'inin aldığı doz ortalaması, Elekta-VMAT'ta yapılan planlardan istatistiksel olarak anlamlı olarak yüksektir ($p: 0.007$; $p < 0.05$). Rapid Ark'ta yapılan planların rektum %35'inin aldığı doz ortalaması, Elekta-VMAT'ta yapılan planlardan istatistiksel olarak anlamlı olarak yüksektir ($p: 0.035$; $p < 0.05$). Rapid Ark'ta yapılan planların rektum %17'inin aldığı doz ortalaması, Elekta-VMAT'ta yapılan planlardan istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksektir ($p: 0.045$; $p < 0.05$). Elekta-VMAT'ta yapılan planların sol ve sağ femur %10'unun aldığı doz ortalaması, Rapid Ark'ta yapılan planlardan istatistiksel olarak anlamlı ölçüde yüksektir ($p: 0.000$; $p < 0.05$).

Tartışma

İlerleyen teknoloji ile birlikte birçok kanser türünün tedavisinde, özellikle prostat kanserlerinde VMAT planlama yönteminin kullanımı artmaktadır. Ark terapinin son derece etkili bir metot olduğunu öğrenmek ve belirlemek için diğer yöntemlerle dozimetrik olarak karşılaştırılmış ve bununla ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Tedavi planlama sistemleri radyoterapide tümör kontrolünü maksimize, normal doku komplikasyonlarını minimize etmek için, doz dağılımları ve hüme şekillerini oluşturmak amacıyla kullanılan

bilgisayar yazılım ve donanımlarıdır. TPS'nin doğruluğu, radyoterapide güvenli ve etkili tedavinin temel prensibidir. Tümöre ve sağlam dokulara verilen dozun hesabı, tedavi planlama sistemlerinde bulunan doz hesaplama algoritmaları ile yapılmaktadır.

Bu çalışmada, 20 prostat kanserli hasta için TPS'de AAA ve MC algoritmalarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. 20 prostat kanseri hastasına Eclipse TPS ve Monaco TPS'de PTV 70 için çift ark VMAT planı yapıldı. Her iki TPS'de PTV 70 için Max. doz değeri, CI, HI, MU, riskli organ olarak; rektum, mesane, sol-sağ femur başları değerleri karşılaştırıldı. SPSS programında istatistiksel analizi Shapiro Wilks testi ile iki TPS'ni karşılaştırmak için yapılmıştır. İki sistemin karşılaştırılmasında $p < 0.05$ ise istatistiksel olarak anlamlı sonuç vermektedir. Planlardaki hedef hacim ve riskli organların doz verileri, doz volüm histogramından elde edilmiştir.

Her iki teknik karşılaştırıldığında; mesanenin %50'nin aldığı ortalama doz ve hedef hacmin maksimum ortalama doz değerinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. CI için ideal değer 1'e yakın olan teknik Rapid Ark tekniği $1,01 \pm 0,02$ (1) Elekta VMAT tekniğine $0,96 \pm 0,02$ (0,95) kıyasla daha iyi sonuç vermiştir. Elekta VMAT tekniğinin hedef hacim içerisindeki HI verilerine bakıldığında $0,1 \pm 0,02$ (0,09), Rapid Ark tekniğinden $0,08 \pm 0,01$ (0,08) daha fazladır. Rapid Ark'ın MU değeri $761,35 \pm 94,29$ Elekta VMAT MU değerinden $922,15 \pm 93,4$ daha düşük olduğu gözlemlendi.

2012 yılında Kumar ve arkadaşlarının [6] Elekta VMAT yöntemi ile Rapid Ark yöntemini farklı kanser türlerini içeren 10 hasta için karşılaştırmış ve her hastaya 50 Gy doz vermiştir. Yaptığımız çalışmadan farklı olarak Rapid Ark yönteminin Elekta VMAT yöntemi üzerinde daha iyi sonuç gösterdiği fakat iki yöntemin de klinik açıdan kabul edilebilir olduğunu bize göstermiştir.

2012 yılında Lafond ve arkadaşlarının [7] VMAT yöntemi kullanılarak Elekta-Monaco TPS ve Philips-PinnacleTPS'ni 16 prostat hastası ile mukayese edilmiş ve her bir hasta için 78 Gy doz verilmiştir. Monaco TPS'de yapılan planların CI ve HI bakımından Pinnacle'ye oranla daha iyi sonuç çıkarmıştır fakat hedef hacmin aldığı doz ortalaması Pinnacle'a göre daha düşük çıkmıştır. Mesane duvarı için ($p:0.019$), femur başı ($p:0.017$) ve sağlıklı dokular ($p:0.005$), Monaco TPS'de anlamlı olarak

daha düşük ortalama dozlar bulunmuştur. Rektal duvar için, Pinnacle ile VMAT, Monaco'ya kıyasla önemli ölçüde (p:0.047) daha düşük ortalama doz ve daha düşük dozda hacmin%50'sine (p:0.047) sağlamıştır. Monaco TPS için MU değeri daha yüksek ama toplam tedavi süresi Pinnacle'a eşdeğer çıkmıştır. Sonuç olarak prostat kanseri hastaları için Monaco ve Pinnacle ile yapılan VMAT tedavi planları, klinik olarak kabul edilebilir doz dağılımları önermiştir.

2013 yılında Ning ve arkadaşlarının [8] 20 nazofarenks hastasında YART, tek ark ve çift ark VMAT yöntemlerinin Monaco TPS ile doğruluğunu araştırmışlardır. PTV63.6 ve PTV72.6 olarak belirlenen hedef hacmin aldığı dozları incelemiştir. Çalışma yöntemimizdeki kritik organ dozları bakımından Elekta VMAT tekniğine benzerlik göstermektedir.

2012 yılında Wiezorek ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [9] on ileri evre baş boyun hastasının altı farklı TPS karşılaştırılmıştır. Eclipse TPS ve Monaco TPS için VMAT planlarını çalışmamızdaki gibi iki ark olarak optimize etmişlerdir. Rapid Ark ve Elekta VMAT yöntemleri için CI verilerini benzer bulmuş, ancak HI verilerine bakıldığında Rapid Ark yöntemi daha iyi sonuç vermektedir. Bu iki yöntemde kritik organ dozunu sadece hedefi kapsayacak şekilde dağıtmış ve kritik yapıları daha iyi korumuştur.

Çalışmamızda Elekta VMAT tekniği, mesane %25 $6950,75 \pm 527,08$ (7080), rektum %35 $4096,15 \pm 742,07$, rektum %17 $6099,4 \pm 617,57$, doz değerleri bakımından Rapid Ark tekniğindeki mesane %25 $7017,85 \pm 537,92$ (7148), rektum %35 $4168,3 \pm 736,9$ ve rektum %17 dozlarına $6241,9 \pm 649,49$ kıyasla üstünlük göstermiştir. Fakat Elekta VMAT tekniğindeki sol femur %10 $3275,2 \pm 409,68$ ve sağ femur %10 $3468,4 \pm 433,85$ Rapid Ark tekniğindeki sol femur %10 $3061,9 \pm 412$ ve sağ femur %10 $3175,25 \pm 440,5$ dozlarına kıyasla daha fazla bulunmuştur.

İki teknik de sağ-sol femuru %10'nu 50 Gy'in ve rektumun %17'ni 65 Gy'in altında tutmayı başarmıştır. Her iki yöntemdeki verilerin birbirine yakın çıkmasının bir başka sebebi de algoritmalar arasında büyük değişiklikler olmamasından kaynaklanmaktadır. Eclipse TPS'nin kullandığı AAA, MC tabanlı algoritmadır.

2017 yılında Özden ve arkadaşlarının [10] Elekta VMAT yöntemi ile Rapid Ark yöntemini 20 nazofarenks hastası için denemişler ve her iki yöntem de klinik açıdan kabul edilebilir planlar üretmiştir. 2007 yılında Sterpin ve arkadaşlarının, 2010 yılında Barsan ve arkadaşlarının, 2010 yılında Ottosson ve arkadaşlarının yaptığı AAA algoritması ile MC algoritmasını kıyaslayan çalışmalarında, her iki algoritma arasında anlamlı düzeyde fark olmadığı gözlenmiştir.[11,12]

2012 yılında Sharma ve arkadaşlarının [13] çalışmasında gama analiz sonuçlarına göre AAA ile MC algoritması arasında %4 fark olduğu gözlenmiş ve MC algoritmasının ikincil elektronlar, lateral elektronlar, hastadan ve cihazdan saçılan elektronlar gibi birçok değişkenler hassas ve doğru bir şekilde hesaba katılarak tedavi planını en iyi şekilde hastaya uyguladığını bizlere göstermektedir.

Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada iki farklı teknik dozimetrik olarak karşılaştırılmıştır. Değerler arasında küçük istatistiksel farklılıklar ve küçük standart sapmalar olsa da, homojen sonuçlar elde edilmiştir. Prostat kanserinin tedavi planlamasında Elekta VMAT yüksek MU, CI ve HI verileri haricinde Rapid Ark tekniğine göre üstünlük göstermiştir. Rapid Ark tekniğini MU değeri ve buna bağlı tedavi süresi büyük oranda düşüktür. İki teknik de klinik açıdan kabul edilebilir planlar üretmede eşit derece etkilidir. Sonuçlara bakıldığında iki tekniğin pratik olarak eşdeğer sonuçlar ürettiği söylenebilir. Sonuçlar prostat kanserli ve kompleks kriterler içeren tedavi planlarında hangi tekniğin seçilebileceği konusunda planı hazırlayacak olan fizikçiye yardım edebilecek niteliktedir.

KAYNAKLAR

- [1] Krongrad, A., Droller, J.M.(1993) Anatomy of the prostate. hi: Lepor, H., Lawson, R.K.(eds) Prostate Disease, p. 17-27, W .B. Saunders Company.
- [2] Feuvret L, Noel G, Mazon JJ, Bey P. (2006). Conformity index: A review. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys* 64(2): 333-342.
- [3] Wu QR, Wessels BW, Einstein DB, Maciunas JR, Kim EY, Kinsella TJ. (2003). Quality of coverage: Conformity measures for stereotactic radiosurgery. *J Appl Clin Med Phys*; 4(4): 374–381.
- [4] Lomax NJ, Scheib SG. (2003). Quantifying the degree of conformity in radiosurgery treatment planning. *Int J Radiat. Oncol. Biol. Phys* 55: 1409-1419.
- [5] International Comission on Radiation Units and Measurements (ICRU). (2010). Report 83 Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT).
- [6] Kumar, SA Syam, et al. (2012) Treatment planning and dosimetric comparison study on two different volumetric modulated arc therapy delivery techniques. *Reports of Practical Oncology & Radiotherapy* 18.2: 87-94.
- [7] Caroline Lafond. (2012). Comparison between two treatment planning systems for volumetric modulated arc therapy optimization for prostate cancer. *Physica Medica*.
- [8] Ning, Zhong-Hua, et al. (2013). Single arc volumetric-modulated arc therapy is sufficient for nasopharyngeal carcinoma: a dosimetric comparison with dual arc VMAT and dynamic MLC and step-and-shoot intensity-modulated radiotherapy. *Radiation Oncology* 8.1: 237.
- [9] Wiezorek, Tilo, et al.(2011). Rotational IMRT techniques compared to fixed gantry IMRT and tomotherapy: multi-institutional planning study for head-and-neck cases. *Radiation Oncology* 6.1: 20.

[10] Özden Ö, Abakay C, et al.(2017). İki Farklı Volumetrik Ayarlı Ark Terapi Tekniğinin Tedavi Planlaması Ve Dozimetrik Karşılaştırılması, Uludađ Üniversitesi Tıp Fakóltesi Dergisi.

[11] Basran, Parminder S., et al. (2010).The impact of dose calculation algorithms on partial and whole breast radiation treatment plans. Radiation Oncology 5.1: 120.

[12] Sterpin, E., et al. (2007). Monte Carlo evaluation of the AAA treatment planning algorithm in a heterogeneous multilayer phantom and IMRT clinical treatments for an Elekta SL25 linear accelerator.Medical physics 34.5: 1665-1677.

[13] Sharma, Subhash, et al. (2012). Dose calculation accuracy of the Monte Carlo algorithm for CyberKnife compared with other commercially available dose calculation algorithms. Medical Dosimetry 36.4: 347-350.