

Stereotaktik akciğer ışınlamalarında statik 7 alan ve dinamik konformal ark tekniklerinin karşılaştırılması

Comparisons of static 7 field and dynamic conformal arc techniques for stereotactic lung radiotherapy

Banu ATALAR,¹ Esra KÜÇÜKMORKOÇ,¹ Mine DOYURAN,¹ Görkem GÜNGÖR,² Gökhan AYDIN,² Bülent YAPICI,² Hale ÇAĞLAR,¹ Enis ÖZYAR¹

¹Acıbadem Üniversitesi, Radyasyon Onkolojisi, İstanbul;

²Acıbadem Maslak Hastanesi, Radyasyon Onkolojisi, İstanbul

AMAÇ

Akciğer stereotaktik radyoterapisinde dinamik konformal ark (DKA) ve statik 7 alan (S7A) tekniklerinin RTOG kriterlerine göre karşılaştırılması hedeflenmiştir.

GEREÇ VE YÖNTEM

Otuz üç akciğer tümörü DKA ve S7A tekniğiyle planlandı. Tümörler volümlerine (küçük; <25 cc, orta; 25-50 cc, büyük; >50 cc) ve yerleşimlerine (merkezi, periferik) göre gruplandırıldı. Planlar, RTOG915 kriterleri ve tüm akciğerin 5 Gy alan hacmi (V_5), spinal kord maksimum dozu (spinal D_{max}), homojenite indeksi (HI), Monitör-ünite (MU) parametreleri için karşılaştırıldı.

BULGULAR

RTOG kriterlerinde DKA ve S7A arasında anlamlı fark görülmezken; HI'nin DKA'da ($p=0,018$); V_5 , spinal D_{max} ve MU'nun ise S7A'da düşük (sırasıyla; $p=0,007$, $p=0,001$, $p<0,001$) olduğu görüldü. S7A tekniğinde; küçük tümörlerde spinal D_{max} , orta tümörlerde V_5 , spinal D_{max} ve MU, büyük tümörlerde, V_5 ve MU; merkezi tümörlerde V_5 ve spinal D_{max} , periferik tümörlerde ise spinal D_{max} ve MU daha düşüktü.

SONUÇ

Spinal D_{max} , V_5 ve MU açısından S7A tekniği daha üstündür. Tümör boyutu ve yerleşim yeri önemlidir. RTOG kriterleri açısından her iki teknikte planlama için uygundur.

Anahtar sözcükler: Akciğer kanseri; radyoterapi; stereotaktik radyoterapi.

OBJECTIVES

We aimed to compare dynamic conformal arc (DCA) and static 7 field (S7F) techniques in terms of Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) criteria for stereotactic lung radiotherapy.

METHODS

Treatment of 33 lung tumors was planned using DCA or S7F techniques, and tumors were allocated into groups according to their volume (small: <25 cc, medium: 25-50 cc, large: >50 cc) and localization (central, peripheral). Plans were compared in terms of lung volume receiving 5 Gy (V_5), spinal cord maximum dose (spinal D_{max}), homogeneity index (HI), and monitor-unit (MU) parameters.

RESULTS

No statistical difference was shown in RTOG criteria. HI was lower with DCA ($p=0.018$) while V_5 , spinal D_{max} and MU were lower with S7F ($p=0.007$, $p=0.001$, $p<0.001$, respectively). With the S7F technique, spinal D_{max} in small tumors, V_5 , spinal D_{max} and MU in medium tumors, V_5 and MU in large tumors, V_5 and spinal D_{max} in central tumors, and spinal D_{max} and MU in peripheral tumors were lower.

CONCLUSION

Spinal D_{max} , V_5 and MU were better with the S7F technique. Both techniques are appropriate for planning according to RTOG criteria.

Key words: Lung cancer; radiotherapy; stereotactic radiotherapy.

GEREÇ VE YÖNTEM

Hasta Seçimi

Tüm akciğer kanseri vakalarının %15-20'sini oluşturan erken evre küçük hücreli dışı akciğer kanserlerinin (EE-KHDAK) teşhis oranı son yıllarda tarama amaçlı BT/PET-BT görüntüleme yöntemlerinin kullanımı ile artmıştır.^[1] EE-KHDAK'de cerrahi ile 5 yıllık sağ kalım oranları %60-70 arasında değişmektedir.^[2,3]

Komorbid hastalıklar nedeni ile birçok hasta medikal inoperabl olarak değerlendirilmekte ve bu hastalarda radyoterapi uygulanmaktadır. Geçmişte yaygın olarak kullanılan konvansiyonel radyoterapi uygulamaları ile lokal kontrol oranları %20-40 arasında değişmektedir.^[4-7] Son yıllarda teknolojik gelişmelerin paralelinde akciğer kanserinin primer tedavisinde stereotaktik vücut radyoterapisi (SVRT) kullanılmaya başlanmış ve konvansiyonel radyoterapiye göre, sınırlı normal doku komplikasyon oranları ile daha yüksek lokal kontrol oranları elde edilmiştir.^[8-10] Üç yıllık lokal kontrol oranları SVRT ile %80- 92 aralığında bildirilmiştir.^[11-14]

Akciğer kanserleri için SVRT'si ile ilgili yayınlanmış serilerin çoğunda doz belirleme, etkinlik, toksisite, uygulanabilirlik ve şimdilerde ise uzun dönem sonuçları incelenmiştir.^[3,4,7-10,12-14] Ancak günlük pratiğimizde lezyonların yerleşim yeri ve boyutlarına göre tedavi planlamalarında hangi açıları veya tekniğin uygun olduğuna dair çalışmalar sınırlıdır.^[15-19]

Akciğer kanserinde SVRT'nin giderek artan kullanımını nedeni ile Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) gerek toksisite gerekse etkinlik değerlendirmeleri için çalışmalar yürütmektedir (www.rtog.org). RTOG protokollerinde tanımlanan dozimetrik parametreler SVRT planlamalarında pek çok klinisyen ve Medikal Fizik uzmanına yol göstermektedir. Karşılaştırmalar yapılırken bu kriterlere ek olarak spinal kordun aldığı maksimum doz, 5 Gy alan toplam akciğer hacmi, toplam monitör unit (MU) ve homojenite indeksi (Planlanan hedef hacmin (PTV) aldığı maksimum doz / tanımlanan doz) parametreleri de tanımlanmıştır. Çalışmanın ikincil amacı ise bu dozimetrik kriterlere göre tümörün büyüklüğü ve akciğerdeki yerleşim etkisinin incelenmesidir.

Bu çalışmada Haziran 2010 ve Haziran 2011 tarihleri arasında Maslak Acıbadem Hastanesine EE-KHDAK tanısıyla başvuran ve tedavi edilen 31 hasta (33 lezyon) yer almaktadır. Tümör hacimleri 6,2 cc ile 155,7 cc arasında (ortalama 47,2 cc, ortanca 35,4 cc) değişmektedir. RTOG 915 protokolündeki kriterlere göre tümör yerleşimi periferik ve merkezi olarak sınıflandırılmıştır. Buna göre lezyonların 17'si periferik, 16'sı merkezi yerleşimlidir. Tümör hacimlerine göre lezyonlar küçük; <25cc (10 hasta), orta; 25-50 cc (13 hasta), büyük; >50 cc (10 hasta) olarak gruplandırılmıştır.

İmmobilizasyon

Hasta sabitleme yöntemi olarak vakumlu yatak, wing board ve dizaltı yastık kullanılarak supin pozisyonda kollar yukarıda olacak şekilde pozisyonlandırılmıştır. Hastanın bu şekilde 4 boyutlu bilgisayarlı tomografisi (4B-BT) çekilerek planlama amacıyla kullanılmış ve hasta tedaviye de aynı pozisyonda alınmıştır.

Görüntüleme Yöntemleri

Siemens Flash CT (Siemens AG Erlangen, Germany) ile 2 mm kesit kalınlıklı görüntüleri elde edilmiştir. Hastalardan iki farklı yöntemle bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri alınmıştır. Birinci yöntemde serbest nefesli, nefes tutarak ve vererek 3 ayrı BT ile görüntüleme yapılmış, ikinci yöntemde hastalara 8 fazlı 4B-BT çekilmiştir. İkinci yöntemin kullanıldığı hastalarda Siemens Anzai Belt kullanılmış ve 8 farklı solunum fazında görüntüleme yapılmıştır. Hastalardaki görüntüleme doktorun seçimi ve olanakların elvermesine bağlanmıştır. Konturlamada her solunum fazında radyasyon onkologları tarafından Gross Tümör Hacmi (GTV) belirlendikten sonra planlama yapılacak BT'de bu GTV'ler birleştirilerek Internal Hedef Hacmi (ITV) belirlenmiştir. ITV'lere her yönde 5 mm emniyet sınırı verilerek PTV oluşturulmuştur.

Tedavi Detayları

Doz fraksiyonasyon şeması oluşturulmasında

Tablo 1

RTOG 0915 kriterleri

PTV hacmi	Tanımlanan izodoz hacminin PTV oranı (Konformalite İndeks-Kİ)		Tanımlanan dozun %50'sini alan hacmin PTV hacmine oranı ($R_{\%50}$)		PTV'nin 2 cm uzağındaki yüzde maksimum doz ($D_{2cm,\%}$)		20Gy alan akciğer hacminin % oranı (V_{20})	
	Sapma kriterleri		Sapma kriterleri		Sapma kriterleri		Sapma kriterleri	
	İdeal	Kabul edilebilir	İdeal	Kabul edilebilir	İdeal	Kabul edilebilir	İdeal	Kabul edilebilir
1.8	1.2	1.5	5.9	7.5	50	57	10	15
3.8	1.2	1.5	5.5	6.5	50	57	10	15
7.4	1.2	1.5	5.1	6.0	50	58	10	15
13.2	1.2	1.5	4.7	5.8	50	58	10	15
22	1.2	1.5	4.5	5.5	54	63	10	15
34	1.2	1.5	4.3	5.3	58	68	10	15
50	1.2	1.5	4.0	5.0	62	77	10	15
70	1.2	1.5	3.5	4.8	66	86	10	15
95	1.2	1.5	3.3	4.4	70	89	10	15
126	1.2	1.5	3.1	4.0	73	91	10	15
163	1.2	1.5	2.9	3.7	77	94	10	15

S7A: Statik yedi alan; DKA: Dinamik konformal ark; PTV: Planlanan hedef hacim; Kİ: Konformalite indeksi (tanımlanan izodoz hacminin PTV'ye oranı; $R_{\%50}$: Tanımlanan izodozun %50'sini alan hacmin PTV'ye oranı; $D_{2cm,\%}$: PTV'nin 2 cm uzağındaki maksimum yüzde doz; Dmax: Maksimum doz; HI: Homojenite indeksi; MU: Monitör unit; V_{20} : 20 Gy alan akciğer hacminin % oranı; V_5 : 5 Gy alan akciğer hacminin % oranı; AD: Anlamlı değil.

Tablo 2

Kriterlerin genel olarak karşılaştırılması

Kriterler	S7A	DKA	p
	Ortalama (Aralık)	Ortalama (Aralık)	
PTV			
Kİ	1.1 (1-1.3)	1.1 (1-1.3)	AD
$R_{\%50}$	4.4 (3.5-5.5)	4.4 (3.6-5.1)	AD
$D_{2cm,\%}$	59.2 (36.9-80.1)	61 (40.4-77.7)	AD
D_{max} (Gy)	64.9 (55.8-66.2)	64.7 (59.4-69.8)	0.023
D_{max} (%)	119.4 (101.5-127.2)	119.1 (112.5-126.9)	0.027
HI	1.2 (1.1-1.3)	1.2 (1.1-1.3)	0.018
Akciğer			
V_{20} (%)	5.8 (1.7-17.1)	5.7 (1.6-16.5)	AD
V_5 (%)	20 (3.72-44)	21.1 (4-46.3)	0.007
Spinal kord			
D_{max} (Gy)	9.9 (1.4-27.3)	12.1 (4.7-25.5)	0.001
Genel			
MU	2307.9 (1248-3327)	2423 (1494-3296)	0.000

S7A: Statik yedi alan; DKA: Dinamik konformal ark; PTV: Planlanan hedef hacim; Kİ: Konformalite indeksi (tanımlanan izodoz hacminin PTV'ye oranı; $R_{\%50}$: Tanımlanan izodozun %50'sini alan hacmin PTV'ye oranı; $D_{2cm,\%}$: PTV'nin 2 cm uzağındaki maksimum yüzde doz; Dmax: Maksimum doz; HI: Homojenite indeksi; MU: Monitör unit; V_{20} : 20 Gy alan akciğer hacminin % oranı; V_5 : 5 Gy alan akciğer hacminin % oranı; AD: Anlamlı değil.

Tablo 3

Kriterlerin PTV boyutuna göre karşılaştırılması

Kriterler	Küçük volüm		p	Orta volüm		p	Büyük volüm		p
	S7A	DKA		S7A	DKA		S7A	DKA	
	Ortalama (Aralık)	Ortalama (Aralık)		Ortalama (Aralık)	Ortalama (Aralık)		Ortalama (Aralık)	Ortalama (Aralık)	
PTV									
Kİ	1.1 (1.0-1.2)	1.1 (1.0-1.3)	AD	1.1 (1.0-1.3)	1.1 (1.1-1.3)	AD	1.1 (1.1-1.3)	1.1 (1.1-1.2)	AD
R _{%50}	4.6 (4.2-5.2)	4.6 (4.2-5)	AD	4.4 (3.7-5.5)	4.3 (3.7-5.1)	AD	4.2 (3.5-4.9)	4.3 (3.6-4.9)	AD
D _{2cm,%}	49.5 (36.9-72.2)	51.5 (40.4-60.0)	AD	59.3 (52.0-80.1)	59.2 (51.0-72.9)	AD	68.9 (60.2-80.0)	72.9 (66.0-77.7)	AD
D _{max} (Gy)	66.0 (63.9-68.3)	65.8 (54.2-67.8)	AD	65.1 (60.4-71.3)	64.1 (59.4-69.8)	0.001	63.8 (55.8-66.79)	64.5 (61.9-66.8)	AD
D _{max} (%)	121.5 (118.3-126.5)	121.2 (118.9-125.6)	AD	118.5 (114.1-129.7)	120.5 (114-126.9)	0.002	116.6 (101.5-123.6)	117.8 (112.5-121.4)	AD
HI	1.2 (1.2-1.3)	1.2 (1.2-1.3)	AD	1.2 (1.1-1.3)	1.2 (1.1-1.3)	0.001	1.2 (1.0-1.2)	1.2 (1.1-1.2)	AD
Akciğer									
V ₂₀ (%)	2.5 (1.7-4.2)	2.6 (1.6-4.6)	AD	5.8 (2.4-12)	5.8 (2.5-11.6)	AD	8.9 (2.1-17.1)	8.8 (2.4-16.5)	AD
V ₅ (%)	11.8 (3.7-19)	11.4 (4.2-22)	AD	23.1 (12.9-44.0)	24.6 (13.3-46.3)	0.006	24.2 (7.5-35.4)	26.2 (9.1-37.5)	0.03
Spinal									
D _{max} (Gy)	8.8 (1.4-23.4)	11.4 (6.3-25.5)	0.03	7.7 (3.4-13.8)	10.3 (6.3-18.4)	0.007	13.8 (2.2-27.3)	15.2 (8.3-23.2)	AD
Genel									
MU	2662 (1667-3101)	2720 (1786-3217)	AD	2327.2 (1585-3327)	2406 (1543-3296)	0.014	1928.6 (1248-2845)	2154.4 (1494-3244)	0.013

S7A: Statik yedi alan; DKA: Dinamik konformal ark; PTV: Planlanan hedef hacim; Kİ: Konformalite indeksi (tanımlanan izodoz hacminin PTV'ye oranı); R_{%50}: Tanımlanan izodozun %50'sini alan hacmin PTV'ye oranı; D_{2cm,%}: PTV'nin 2 cm uzağındaki maksimum yüzde doz; D_{max}: Maksimum doz; HI: Homojenite indeksi; MU: Monitör unit; V₂₀: 20 Gy alan akciğer hacminin % oranı; V₅: 5 Gy alan akciğer hacminin % oranı; AD: Anlamlı değil.

tümörün yerleşimi belirleyici olmuştur. Tümör merkezi yerleşimliyse her fraksiyonda 1100 cGy toplamda 5500 cGy doz verilirken, periferik yerleşimliyse fraksiyon başına 1800 cGy olacak şekilde toplamda 5400 cGy doz verilmiştir. Bütün hastalara hem statik 7 alan (S7A) hem de dinamik konformal ark (DKA) tekniği kullanılarak Eclipse Tedavi Planlama Sisteminde (version 8.6) planlar yapılmıştır. Planların hepsi PTV hacminin %95'i dozun %100'ünü alacak şekilde normalize edilmiştir.

Tüm planlamalar AAA algoritması kullanılarak hesaplanmıştır.

Statik 7 Alan (S7A)

S7A planları 0°, 51°, 102°, 153°, 204°, 255° ve 306°'lik koplanar alanlar kullanılmıştır. Ancak spinal kordun korunması amacıyla gerekli durumlarda açılarda 10°'ye kadar değişiklik yapılmıştır.

Derinliği yüksek (>15 cm) olan en fazla iki alanda 18 MV foton enerjisi kullanılırken diğer alanlarda 6 MV foton enerjisi kullanılmıştır. Çok yapraklı kolimatörler (MLC) planda en iyi konformaliteyi sağlayacak şekilde manuel olarak yerleştirilmiştir.

Dinamik Konformal Ark (DKA)

DKA tekniğinde 360°'lik tek arklık gantri rotasyonu tamamlayacak şekilde izosentrik planlar yapılmıştır. Gantri rotasyonu sırasında MLC'ler her 2°'de bir kontrol noktası kullanılarak PTV'ye göre dinamik olarak şekillenmiştir.

Karşılaştırmalar ve Analiz

Her hastada 2 plan olmak üzere toplam 33 lezyon x 2 plan= 66 planın doz hesaplamaları Eclipse 8.6 Version planlama sistemi ile yapılmıştır.

Planlar, RTOG 915'te belirtilen kriterlere (1-Ta-

Tablo 4

Kriterlerin PTV yerleşimine göre karşılaştırılması

Kriterler	Merkezi		p	Periferik		p
	S7A	DKA		S7A	DKA	
	Ortalama (Aralık)	Ortalama (Aralık)		Ortalama (Aralık)	Ortalama (Aralık)	
PTV						
Kİ	1.1 (1.05-1.3)	1.1 (1.05-1.3)	AD	1.1 (1.0-1.3)	1.1 (1.01-1.3)	AD
R _{%50}	4.4 (3.5-5.5)	4.3 (3.6-5.1)	AD	4.4 (3.7-4.9)	4.4 (3.7-5.0)	AD
D _{2cm,%}	64.4 (49.4-80.1)	64.2 (51.0-77.7)	AD	54.4 (36.9- 73.2)	58.1 (40.4-77.3)	0.017
D _{max} (Gy)	65.1 (55.8- 71.3)	65.3 (59.4-69.8)	AD	64.8 (61.6-68.3)	64.2 (61.5-67.8)	0.044
D _{max} (%)	119 (111.5-129.7)	119.4 (112.5-126.9)	AD	120.1 (114.1-126.6)	118.9 (114.0-125.7)	0.03
HI	1.2 (1.0-1.3)	1.2 (1.1-1.3)	AD	1.2 (1.1-1.3)	1.2 (1.1-1.3)	0.042
Akciğer						
V ₂₀ (%)	6.511 (1.7-13.5)	6.4 (1.7-14.3)	AD	5.035 (1.87-17.06)	5.052 (1.6-16.5)	AD
V ₅ (%)	22.1 (3.7-44.0)	23.8 (4.0-46.3)	0.013	18.0 (7.00-37.5)	18.54 (7.49-35.4)	AD
Spinal kord						
D _{max} (Gy)	13.2 (2.2-27.3)	14.8 (6.3-25.4)	AD	6.7 (1.4-13.0)	9.6 (4.7-14.9)	0.004
Genel						
MU	1757.7 (1249-2077)	1837.7 (1494-2177)	0.003	2825.7 (1901-3327)	2973.9 (2559-3296)	0.010

S7A: Statik yedi alan; DKA: Dinamik konformal ark; PTV: Planlanan hedef hacmi; Kİ: Konformalite indeksi (tanımlanan izodoz hacminin PTV'ye oranı); R_{%50}: Tanımlanan izodozun %50'sini alan hacmin PTV'ye oranı; D_{2cm,%}: PTV'nin 2cm uzağındaki maksimum yüzde doz; D_{max}: Maksimum doz; HI: Homojenite indeksi; MU: Monitör unit; V₂₀: 20 Gy alan akciğer hacminin % oranı; V₅: 5 Gy alan akciğer hacminin % oranı; AD: Anlamlı değil.

nımlanan İzodoz Hacmi/PTV hacmi (V%100/V_{PTV}=Kİ), 2- %50'lik İzodoz Hacmi/PTV Hacmi (V_{%50}/V_{PTV} = R_{%50}), 3- PTV'den 2 cm uzaklıktaki tanımlanan dozun maksimum yüzde değeri (D_{2cm}) ve 4- tüm akciğer için 20Gy doz alan hacmi yüzdesine [V₂₀] ek olarak; tüm akciğerin 5 Gy alan hacim yüzdesi (V₅), spinal kordun aldığı maksimum doz (spinal D_{max}), homojenite indeksi (HI: PTV_{D_{max}}/Tanımlanan Doz) ve MU parametreleri üzerinden karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Çalışmada istatistiksel analizler SPSS version 16.0'da Wilcoxon eşleştirilmiş iki örnek testi kullanılarak yapılmıştır.

BULGULAR

33 lezyon için istatistiksel analizler yapıldığında, RTOG kriterlerinde DKA ve S7A arasında anlamlı fark görülmezken (p>0.05); HI, V₅, spinal kord (D_{max}) ve MU parametrelerinde anlamlı farklar (sırasıyla; p=0.018, p=0.007, p=0.001, p<0.001) bulunmuştur. HI değerine göre DKA'nın; V₅, spinal kord (D_{max}) ve MU parametrelerinde ise S7A'nın üstün olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar

Tablo 2'de görülebilir.

Tümör büyüklükleri açısından gruplar karşılaştırıldığında, küçük tümörler için RTOG kriterlerinde, HI, V₅ ve MU parametrelerinde anlamlı farklar görülmezken, spinal kord D_{max} dozunda S7A anlamlı şekilde üstün görülmüştür (p=0.028). Orta büyüklükteki tümörler için, RTOG kriterlerinde anlamlı fark yokken, HI (p=0.001) için DKA, V₅ (p=0.006), spinal kord D_{max} (p=0.007) ve MU (p=0.014) için S7A daha iyi sonuç vermiştir. Büyük tümörler için ise, RTOG kriterleri, HI, ve spinal kord D_{max} değerlerinde anlamlı fark yokken, V₅ (p=0.028) ve MU (p=0.013) için S7A, DKA'dan üstündür (Tablo 3).

Yerleşime göre karşılaştırma yapıldığında merkezi yerleşimli grup için RTOG kriterleri, HI ve spinal kord D_{max}'ta anlamlı fark yoktur, ancak akciğer V₅ (p=0.013) ve MU (p=0.003) için S7A daha başarılıdır (Tablo 4). Periferik yerleşimli hastalarda ise, RTOG kriterlerinden PTV+2 cm'deki maksimum dozlar karşılaştırıldığında S7A üstün-

dür (p=0.017). Ayrıca spinal kord D_{max} (p=0.004) ve MU (p=0.010) parametrelerinde S7A daha üstünken, HI (p=0.042) için DKA daha üstündür.

TARTIŞMA

Stereotaktik radyoterapi küçük bir hedef hacmin sınırlı sayıda (1-5) fraksiyonda, yüksek doz ile ışınlanması ile karakteristik bir özelliktir. Bununla beraber normal doku toksisitesini azaltmak için normal dokuların aldığı dozu sınırlamak gerekir, bunun için de keskin bir doz gradienti gerekmektedir. Ancak hedef hacim içerisinde dozun homojen olmasına gerek yoktur, hatta tümör volümünün ortasında sıcak doz bölgesinin olması istenilen bir avantajdır.^[20]

Akciğer SVRT ışınlamaları robotik (CyberKnife) veya Linac tabanlı sistemlerle yapılabilmektedir. SVRT'nin önemli bir özelliği ablatif dozları birkaç fraksiyonda vermektir, bu nedenle tekralanabilir, doğru ve dozimetrik açıdan uygun planlar yapılması daha da önem arz etmektedir. Linac tabanlı SVRT'de ışın düzenlemeleri çoklu koplanar statik alanlar, çoklu non-koplanar statik alanlar, tek ark veya çoklu non-koplanar ark alanları olarak yapılabilir. Ancak optimal ışın düzenlemelerini inceleyen çalışmaların sayısı çok azdır. RTOG tedavi planlamalarını değerlendirme ve ışın düzenlemeleri için önerilerini bazı kriterler vererek yayınlamıştır.^[21] Bugün yürüyen çalışmalarında da bu kriterler baz alınmaktadır ve klinikte bu protokoller bizler için rehber olmaktadır. Bu protokollerde üçboyutlu tedavi planlamalarında koplanar ve non-koplanar ışın düzenlemelerinin kullanılacağı ancak karşılıklı olmayan non-koplanar ışınların tercih edilebileceği belirtilmiştir. Koplanar alanlar ile karşılaştırıldığında nonkoplanar alanların kullanılmasının $V_{%50}/V_{PTV}$ 'yi azalttığı daha önce dozimetrik çalışmalar ile de gösterilmiştir.^[22] Ancak non-koplanar alanların kullanılması set-up zorluğu, zaten sıklıkla medikal inoperabl olan akciğer kanseri hastalarında tedavi süresinin uzaması ve tedavi sırasında teknikerin tedavi odasına girme gereklilikleri nedeni ile günlük pratiğimizde sıkça tercih edilen bir radyoterapi planlaması değildir. Bu nedenle biz bu çalışmada öncelikli olarak daha sıklıkla kullandığımız koplanar ve ark tedavileri arasındaki dozimetrik farklara bakmayı tercih et-

tik. Çalışmamızda RTOG kriterleri açısından bakıldığında DKA ve S7A arasında istatistiksel bir fark görülmemesinin muhtemel sebeplerinden biri non-koplanar alanlar kullanılmamış olması olabilir.

Literatüre bakıldığında hangi planlama modalitesi ile en optimal tedavi planına ulaşılabileceği konusunda yapılan çok az sayıda yol gösterici çalışma mevcuttur.^[22-25] Lim ve ark.^[22] yaptıkları çalışmada 37 medikal inoperabl hastada çoklu koplanar, çoklu non-koplanar ve ark planları RTOG 0236 protokolü kriterlerine göre karşılaştırılmıştır ve bu çalışmaya benzer şekilde neredeyse tüm tedavi tekniklerinde $R_{%50}$ dışındaki kriterlerde fark olmadığı ancak düşük doz bölgeleri için çoklu non-koplanar teknik kullanılmasının daha iyi sayısal sonuçlar vereceği gösterilmiştir. Aynı çalışmada koplanar planlamalarda alan sayısının artırılmasının (7 alandan 15 alana kadar) $R_{%50}$ değerini azalttığı da gösterilmiştir. Ancak RTOG 0236 ve Lim ve ark. çalışmalarında heterojenite düzeltilmesi yapılmamıştır, bu nedenle bizim çalışmamız ile doğrudan karşılaştırma yapmak doğru değildir. Heterojenite için uygun algoritma kullanılmaması durumunda hedefin gerçek durumdan daha iyi kapsandığı ve plan kabul kriterlerinin tutturulması için daha yüksek bir normalizasyon değeri verildiği görülür. Heterojenite dikkate alındığında özellikle akciğer parankimi içerisinde bulunan hedefler için etkileşimler az olacağı için bu normalizasyon değeri heterojenite düzeltilmesi yapmayan normalizasyon değerinden daha düşük olacağından dolayı $R_{%50}$ hacmi de buna bağlı olarak genişleyecektir. Bizim çalışmamızda tüm planlarda heterojenite düzeltilmeleri yapılarak RTOG kriterleri sağlanmıştır.

Richmond ve ark.^[24] akciğer kanseri stereotaktik radyoterapisinde S7A koplanar tekniğin dozimetrik değerlendirmesini heterojenite düzeltilmesi de yaparak incelemişler ve yine bu tekniğin 19 hastanın 17'sinde 2 veya daha az minör kriter ihlali ile rutin olarak uygulanabildiğini göstermişlerdir.

Volumetrik ark planlamaları hızlı tedavi süreleri, hedefte daha iyi konformite sağlamaları ve normal dokularda daha keskin doz düşüşüne imkan vermeleri nedeni ile stereotaktik akciğer radyoterapisinde de yerlerini almıştır. Akciğer SVRT'sinde

ark planları ile üç boyutlu teknikleri karşılaştıran az sayıda dozimetrik çalışmada da tedavi süresinin kısalığı ve yüksek doz konformitesi ark tedavisi için öne çıkan özelliklerdir.^[23,25] Ancak bizim çalışmamızda kullanılan dinamik konformal ark tekniğinde ise, volumetrik ark'tan farklı olarak tedavi süreleri S7A tekniğine göre daha uzundur. Her ne kadar bu fark istatistiksel olarak anlamlı görülse de pratikte de ciddi bir tedavi süresi farkı yaratmamaktadır.

Bu çalışmada genel olarak iki teknik arasında RTOG kriterleri açısından fark görülme de, klinikte akciğer kanseri stereotaksisini değerlendirirken kullandığımız akciğer V_5 , spinal kordun D_{max} ve MU değerlerinde genel olarak S7A planlamaları belirgin olarak daha iyiydi. Bu fark yine tüm tümör boyutları için ya da tüm yerleşim yerlerine göre de S7A lehineydi.

Bo ve ark.^[26] çoklu non-koplanar ark tedavilerinin sağ akciğerin ortasında yerleşen tümörlerde uygun bir teknik olabileceğini göstermişlerdir. Bizim çalışmamızda koplanar ve ark teknikleri karşılaştırılmıştır.

Üç boyutlu konformal planlamada alan sayısının artması ve alanların hedef etrafında homojen olarak dağıtılması durumunda hedefin geometrisine uygun izodoz dağılımları elde edilir. Buna ek olarak yüksek dozlar hedefin merkezinde oluşur. Bir ark alanı çok sayıda statik alanın toplamından oluşmuş gibi düşünüldüğünde, bu çok sayıdaki alanın görece ağırlıkları çok düşük olacağından hedefte oluşturdukları maksimum doz değeri azalacaktır. Bu durum çalışmamızdaki, HI değerinin DKA tekniğinde anlamlı olarak daha düşük elde edilmesini açıklamaktadır.

Sonuç olarak, erken evre akciğer kanserinin SVRT ile tedavisinde DKA ve S7A teknikleri karşılaştırıldığında, RTOG kriterlerinin sağlanması açısından anlamlı fark yoktur, sadece bu kriterler göz önüne alındığında her iki plan tekniğinin rahatlıkla kullanılabilmesi görülmektedir. RTOG kriterlerinden başka, spinal kord D_{max} dozu, akciğer V_5 dozu ve tedavi süresi açısından incelendiğinde S7A tekniği DKA'dan daha üstündür. Bunun dışında plan kabul kriterlerini değerlendirirken

tümör yerleşiminin ve büyüklüğünün, S7A veya DKA tekniklerinin tercih edilmesinde etkisi vardır.

KAYNAKLAR

1. Jemal A, Siegel R, Ward E, Hao Y, Xu J, Murray T, et al. Cancer statistics, 2008. *CA Cancer J Clin* 2008;58(2):71-96.
2. Adebajo SA, Bowser AN, Moritz DM, Corcoran PC. Impact of revised stage classification of lung cancer on survival: a military experience. *Chest* 1999;115(6):1507-13.
3. Naruke T, Goya T, Tsuchiya R, Suemasu K. Prognosis and survival in resected lung carcinoma based on the new international staging system. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1988;96(3):440-7.
4. Dosoretz DE, Galmarini D, Rubenstein JH, Katin MJ, Blitzer PH, Salenius SA, et al. Local control in medically inoperable lung cancer: an analysis of its importance in outcome and factors determining the probability of tumor eradication. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993;27(3):507-16.
5. Dosoretz DE, Katin MJ, Blitzer PH, Rubenstein JH, Salenius S, Rashid M, et al. Radiation therapy in the management of medically inoperable carcinoma of the lung: results and implications for future treatment strategies. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1992;24(1):3-9.
6. Foote RL, Robinow JS, Shaw EG, Kline RW, Suman VJ, Ilstrup DM, et al. Low-versus high-energy photon beams in radiotherapy for lung cancer. *Med Dosim* 1993;18(2):65-72.
7. Sibley GS, Jamieson TA, Marks LB, Anscher MS, Prosnitz LR. Radiotherapy alone for medically inoperable stage I non-small-cell lung cancer: the Duke experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1998;40(1):149-54.
8. Nagata Y, Takayama K, Matsuo Y, Norihisa Y, Mizowaki T, Sakamoto T, et al. Clinical outcomes of a phase I/II study of 48 Gy of stereotactic body radiotherapy in 4 fractions for primary lung cancer using a stereotactic body frame. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2005;63(5):1427-31.
9. Onishi H, Shirato H, Nagata Y, Hiraoka M, Fujino M, Gomi K, et al. Hypofractionated stereotactic radiotherapy (HypoFXSRT) for stage I non-small cell lung cancer: updated results of 257 patients in a Japanese multi-institutional study. *J Thorac Oncol* 2007;2(7 Suppl 3):94-100.
10. Timmerman R, Papiez L, McGarry R, Likes L, Desrosiers C, Frost S, et al. Extracranial stereotactic radioablation: results of a phase I study in medically inoperable stage I non-small cell lung cancer. *Chest*

- 2003;124(5):1946-55.
11. Fakiris AJ, McGarry RC, Yiannoutsos CT, Papiez L, Williams M, Henderson MA, et al. Stereotactic body radiation therapy for early-stage non-small-cell lung carcinoma: four-year results of a prospective phase II study. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2009;75(3):677-82.
 12. Song DY, Kavanagh BD, Benedict SH, Schefter T. Stereotactic body radiation therapy. Rationale, techniques, applications, and optimization. *Oncology (Williston Park)* 2004;18(11):1419-36.
 13. Timmerman RD, Park C, Kavanagh BD. The North American experience with stereotactic body radiation therapy in non-small cell lung cancer. *J Thorac Oncol* 2007;2(7 Suppl 3):101-12.
 14. Baumann P, Nyman J, Hoyer M, Wennberg B, Gagliardi G, Lax I, et al. Outcome in a prospective phase II trial of medically inoperable stage I non-small-cell lung cancer patients treated with stereotactic body radiotherapy. *J Clin Oncol* 2009;27(20):3290-6.
 15. Ding C, Chang CH, Haslam J, Timmerman R, Solberg T. A dosimetric comparison of stereotactic body radiation therapy techniques for lung cancer: robotic versus conventional linac-based systems. *J Appl Clin Med Phys* 2010;11(3):3223.
 16. Fukumoto S, Shirato H, Shimizu S, Ogura S, Onimaru R, Kitamura K, et al. Small-volume image-guided radiotherapy using hypofractionated, coplanar, and noncoplanar multiple fields for patients with inoperable Stage I nonsmall cell lung carcinomas. *Cancer* 2002;95(7):1546-53.
 17. Liu R, Buatti JM, Howes TL, Dill J, Modrick JM, Meeks SL. Optimal number of beams for stereotactic body radiotherapy of lung and liver lesions. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2006;66(3):906-12.
 18. Verbakel WF, Senan S, Cuijpers JP, Slotman BJ, Lagerwaard FJ. Rapid delivery of stereotactic radiotherapy for peripheral lung tumors using volumetric intensity-modulated arcs. *Radiother Oncol* 2009;93(1):122-4.
 19. Atalar B, Aydin G, Gungor G, Caglar H, Yapici B, Ozyar E. Dosimetric comparison of robotic and conventional linac-based stereotactic lung irradiation in early-stage lung cancer. *Technol Cancer Res Treat* 2012;11(3):249-55.
 20. Papiez L, Timmerman R, DesRosiers C, Randall M. Extracranial stereotactic radioablation: physical principles. *Acta Oncol* 2003;42(8):882-94.
 21. Timmerman R, Galvin J, Michalski J, Straube W, Ibbott G, Martin E, et al. Accreditation and quality assurance for Radiation Therapy Oncology Group: Multicenter clinical trials using Stereotactic Body Radiation Therapy in lung cancer. *Acta Oncol* 2006;45(7):779-86.
 22. Lim do H, Yi BY, Mirmiran A, Dhople A, Suntharalingam M, D'Souza WD. Optimal beam arrangement for stereotactic body radiation therapy delivery in lung tumors. *Acta Oncol* 2010;49(2):219-24.
 23. Ong CL, Verbakel WF, Cuijpers JP, Slotman BJ, Lagerwaard FJ, Senan S. Stereotactic radiotherapy for peripheral lung tumors: a comparison of volumetric modulated arc therapy with 3 other delivery techniques. *Radiother Oncol* 2010;97(3):437-42.
 24. Richmond N, Green J, Peedell C, Shakespeare D, Walker C. Dosimetric evaluation of a conformal seven-field coplanar technique for planning lung stereotactic body radiotherapy. *Clin Oncol (R Coll Radiol)* 2012;24(1):24-30.
 25. Zhang GG, Ku L, Dilling TJ, Stevens CW, Zhang RR, Li W, Feygelman V. Volumetric modulated arc planning for lung stereotactic body radiotherapy using conventional and unflattened photon beams: a dosimetric comparison with 3D technique. *Radiat Oncol* 2011;6:152.
 26. Bo X, Shirato H, Shimizu S, Arimoto T, Kagei K, Kitahara T, et al. Dose-volume analysis of stereotactic irradiation for lung tumors. *J Radiosurg* 1999;2(4):239-45.