



Tüm Vücut Cilt Helikal Foton Radyoterapisi; Dozimetrik Değerlendirme

Mehmet Ali Kaya¹, Mehmet Zafer Köylü², Savaş Topuk¹

1 Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü Diyarbakır, Türkiye

2 Dicle Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Diyarbakır, Türkiye

Gelis: 05.04.2023; Revizyon: 19.06.2023; Kabul Tarihi: 21.06.2023

Öz

Amaç: Radyoterapi kutanöz T-hücreli lenfomaların en bilinen alt tipleri olan mikozis fungoides ve Sezary Sendromunun tedavilerinde kullanılan ana tedavi seçeneklerinden biridir. Mikozis fungoides tedavisinde tüm vücut cilt elektron ışınlanması uzun yıllardan beridir kullanılan özel bir radyoterapi tekniğidir. Çalışmamızda mikozis fungoides tedavisinde tüm vücut cilt helikal ışınlama kullanılarak kritik organ dozları, homojenite indeksi ve konformite indeksi dozimetrik değerlerin uygunluğu, ek olarak tedavi esnasında tüm vücut cilt helikal ışınlamanın hasta, çalışan ve fiziki koşullar açısından tüm vücut cilt elektron ışınlamasına karşı avantajları olup olmadığı araştırıldı.

Yöntemler: Merkezimizde bulunan bilgisayarlı tomografi cihazında erkek bir hastanın axial bilgisayarlı tomografi görüntüleri alınarak helikal tomoterapi cihazına ait MIM konturlama sistemine aktarıldı. MIM konturlama sisteminde hastaya ait kritik organlar, planlanan tümör volümü ve optimizasyonlar belirlendi. Hasta verileri tedavi planlama sistemine aktarılıp, Hastaya totalde 36 Gy 24 fraksiyonda ve fraksiyon başına 1.5 Gy olacak şekilde doz reçete edildi. Hastanın tedavi doz planı hazırlanıp kritik organ, homojenite indeksi ve konformite indeksi değerleri dozimetrik olarak incelendi.

Bulgular: Helikal tomoterapi cihazının kendine özgü ışılama tekniği ve ek olarak çizilen optimizasyonlar hem kritik organ dozlarını hem de ciltten 0.5 cm derinlikteki tüm yapıların dozlarını düşürmemize olanak sağladı. Doz volüm histogramında planlanan tümör volümü için D95, D90, Dmaks, Dmin ve Dortalama sırasıyla 34.33 Gy, 35.06 Gy, 42.65 Gy, 11.32 Gy, 36.93 Gy değerleri elde edilmiştir. Bizim çalışmamızdaki sağ ve sol parotis ortalama dozları sırasıyla 19.34 Gy ve 18.76 Gy olarak ölçülmüştür. Baş-boyun, toraks, batın ve pelvik bölgede bulunan kritik organ ortalama dozları sırasıyla 2.98 Gy ile 19.34 Gy, 3.73 Gy ile 8.20 Gy, 6.56 Gy ile 9.30 Gy, 2.78 Gy ile 6.76 Gy arasındadır. Homojenite indeksi değeri International Commission on Radiation Units and Measurements 83 raporuna göre 0.15, konformite indeksi değeri International Commission on Radiation Units and Measurements 62 raporuna göre 0.95 olarak hesaplandı.

Tartışma: Tüm vücut cilt helikal ışınlama hastanın tedavi esnasındaki konforu, başlangıç ölçümlerinin (doz profil ölçümleri, yüzde derin doz ölçümleri, absorbe doz kalibrasyonu, birleşik doz ölçümleri, tedavi derinliğinin belirlenmesi, tedavi süresinin belirlenmesi, X-ışını kontaminasyonu enerjisi ve miktarının ölçülmesi) olmayışı, tedaviye başlarken görüntü eşliğinde radyoterapi yapması ve doz homojenliğinde iyileşme gibi değerler açısından tüm vücut cilt elektron ışınlamaya alternatif olabileceği görüldü.

Anahtar kelimeler: Mikozis Fungoides, Tüm Vücut Cilt Helikal Işınlama, Tüm Vücut Cilt Elektron Işınlama, Helikal Tomoterapi

DOI: 10.5798/dicletip.1360688

Yazışma Adresi / Correspondence: Mehmet Ali Kaya, Medikal Fizik Uzmanı, Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyasyon Onkolojisi Bölümü, Diyarbakır, Türkiye e-mail: makaya@dicle.edu.tr

Total Body Skin Helical Photon Radiotherapy: A Dosimetric Evaluation

Abstract

Objective: Radiotherapy is one of the main options used in the treatment of mycosis fungoides and sezary syndrome, which are the most known subtypes of cutaneous T-cell lymphoma. Total body skin electron irradiation is a special radiotherapy technique that has been used for many years in the treatment of mycosis fungoides. In our study, in addition to the compatibility of critical organ doses, homogeneity index and conformity index dosimetric values by using total body skin helical irradiation in the treatment of mycosis fungoides, the advantages of total body skin helical irradiation over Total body skin electron irradiation in terms of patient, employe and physical conditions during treatment were investigated.

Methods: Images of a male patient were taken from the computed tomography device in our institution and transferred to the MIM® contouring system of the helcal tomotherapy device. Patient's critical organs, planned target volume and optimizations were determined in the MIM® contouring system. Patient data were transferred to treatment planning system and the patient was prescribed a dose of 36 Gy in 24 fractions and 1.5 Gy per fraction. The patient's treatment dose plan is prepared and critical organ, homogeneity index and conformity index values were analyzed dosimetrically.

Results: The unique irradiation technique of the helical tomotherapy device and the drawn optimizations allowed us to reduce the doses of both critical organs and all structures 0.5 cm deep from the skin. D95, D90, Dmax, Dmin and Dmean values for planned target volume in dose volüme histogram were 34.33 Gy, 35.06 Gy, 42.65 Gy, 11.32 Gy, 36.93 Gy, respectively. The mean doses of the right and left parotid in our study were measured as 19.34 Gy and 18.76 Gy, respectively. The mean doses of critical organs in the head and neck, thorax, abdomen and pelvic region were between 2.98 Gy and 19.34 Gy, 3.73 and 8.20 Gy, 6.56 Gy and 9.30 Gy, 2.78 Gy and 6.76 Gy, respectively. The homogeneity index value was calculated as 0.15 according to the ICRU 83 report, and the conformity index value as 0.95 according to the ICRU 62 report.

Discussion: It was seen that total body skin helical irradiation could be an alternative to total body skin electron irradiation in terms of values such as the comfort of the patient during the treatment, the lack of initial measurements (dose profile measurements, percent deep dose measurements, absorbed dose calibration, combined dose measurements, determination of treatment depth, determination of treatment duration, measurement of X-ray contamination energy and amount), radiotherapy with imaging at the beginning of the treatment, and improvement in dose homogeneity.

Key words: Mycosis Fungoides, Total Body Skin Helical Irradiation, Total Body Skin Electron Irradiation, Helical Tomotherapy.

GİRİŞ

Kutanöz T-hücreli lenfomalar (KTHL) ciltte T-hücrelerinin çoğalması, bu T-hücrelerinin monoklonal yapısı ve nerdeyse tüm KTHL formlarının yüksek dereceli T hücreli lenfomaya dönüşme potansiyeli dahil olmak üzere çeşitli özellikleri ile birleşik bir hastalık grubudur¹. KTHL'in en bilinen alt tipleri mikozis fungoides (MF) ve Sezary Sendromudur (SS)². Yama, plak, tümör, eritrodermi ve lenfadenopatilerin eşik etmesi ile periferik kanda atipik mononükleer hücrelerin (Sezary hücresi) izlendiği sistemik hastalık tutulumu ile seyreder.

KTHL tedavisinde radyasyonun ilk kullanımı 1902 yılında Scholtz tarafından MF'nin düşük enerjili X-ışınları (40-70 kV) ile uygulanmıştır. Trump ve Van de Graaff tarafından 1937'de geliştirilen "Van de Graaff Hızlandırıcıları" ile 3 MeV enerjili elektronlar cilt kanserlerinde

kullanılmaya başlanmıştır. Trump tarafından 1951 yılında Elektronlar kullanılarak yapılan ilk MF ışınlaması 2,5 MeV enerjili "Van de Graaff Hızlandırıcıları" ile toplam 6-8 Gy vererek gerçekleştirilmiştir. Tüm vücut cilt elektron ışınlaması (TVCEI) ilk olarak 1953'de Trump ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır³. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan TVCEI tekniklerinden biri Stanford 6 çift alan tekniği ilk kez 1958 yılında Stanford Üniversitesi tarafından lineer hızlandırıcı kullanılarak uygulanmıştır.

Yaygın cilt hastalığı ve bölgesel yayılımı olan hastalarda doz homojenitesini sağlamak için TVCEI ve foton ışınlamasının kombinasyonu kullanılabilir. Helikal Tomoterapi (HT), kendine özgü ışınlama teknikleri ile geniş alanların ışınlanmasında çok önemli avantaj sağlar. Doz homojenitesini artırmak ve yan etkiyi azaltmak için geleneksel TVCEI tekniğinin

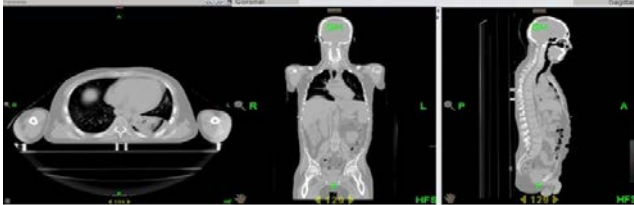
HT tekniğiyle değiştirilebilir ve uygulanabilir olduğunu bildiren yayınlar mevcuttur⁴. HT cihazına entegre mega voltaj bilgisayarlı tomografi (MVCT) sistemi ile günlük hasta pozisyonu kontrolleri rahatlıkla yapılabilmektedir. HT 160 cm'ye kadar tedavi uzunluğu ile genişletilmiş hacimleri, alan birleşimine gerek kalmadan sürekli olarak sarmal bir düzlemde ışınlama yapmada avantaj sağlamaktadır. HT ile kafa derisi ışınlamaları için, içyapılar üzerinde yönlü ve tam bir blokajın kullanılması, tedavi derinliğini başarılı bir şekilde sınırlayabilen ışın demetlerini planlanan hedef hacme tegetsel iletimini etkili bir şekilde zorlayabileceğini gösterilmiştir⁵.

Bu çalışmamızda Tomoterapi cihazı kullanılarak 6 MV enerjisi ile tüm vücut cilt helikal ışınlama (TVCHI) yapılabilirliği, radyoterapi planlama süreçlerinin tekrarlanabilirliği, hastanın tedavi esnasında konforunun sağlanabilirliği ve dozimetrik ölçülebilir parametreler açısından TVCEI'ya karşı avantajları değerlendirildi.

YÖNTEMLER

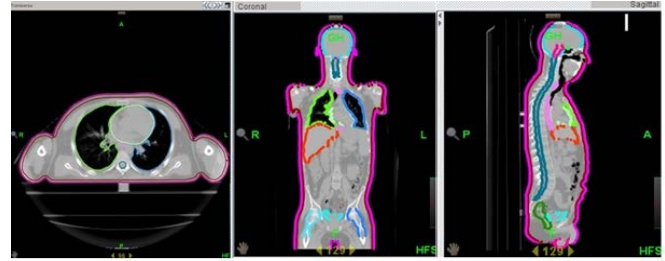
Bu çalışma Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 28.02.2023 tarihli 72 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Hastaya supine pozisyonda termoplastik baş-boyun maskesi, tüm vücut Vac-Lok yastığı, baş altı köpük yastık, baş omuz baseplate, lock bar ile immobilize edilmiş bilgisayarlı tomografi (BT) simülasyonu uygulandı. Saçlı kafa derisinden bilateral femur orta hattına kadar 4 mm kesit kalınlığında elde edilen BT görüntüleri HT cihazına ait MIM konturlama istasyonuna aktarıldı (Şekil 1).



Şekil 1. Saçlı kafa derisinden bilateral femur orta hattına kadar 4 mm kesit kalınlığında BT transvers, koronal ve sagittal kesitler

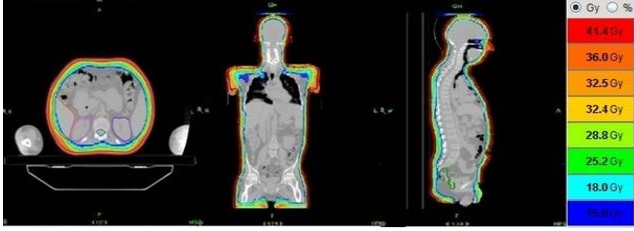
Transvers düzlemde BT simülasyon kesitlerinde risk altındaki organ ve yapılar radyoterapi uygulama prensiplerine uygun şekilde konturlandı. Hedef hacim belirlenirken, ekstremiteler kritik organ açısından risk teşkil etmediğinden tedavi alanına dahil edilmedi. Tüm cilt yüzeyi konturlandı ve planlama hedef hacmi (PTV), 5 mm'lik bir cilt ve deri altı doku kenarı olarak tanımlandı. Doğru ve tekrarlanabilir bolus yerleşimi ile ilgili teknik zorluklar nedeniyle, tedavi için herhangi bir bolus kullanmamayı seçtik. MIM konturlama istasyonunda belirlenmiş PTV, risk altındaki organlar ve uygulanacak doz reçetesiyle birlikte tedavi planlama sistemine (TPS) aktarıldı. Tanımlanan tüm yapıların gösterildiği BT kesitleri Şekil 2'deki gibi son haliyle doz planı yapılması için medikal fizik uzmanına teslim edildi.



Şekil 2. MIM konturlama sisteminde oluşturulan hedef hacimler ve risk altındaki organ ve yapılar

Optimizasyon, TomoTherapy, sürüm version 5.1.1.6 yazılımı kullanılarak yapıldı. TPS'de alan genişliği 2.512 cm, pitch faktörü 0.430 ve modülasyon faktörü 3.9 seçilerek optimizasyonlar tanımlandı. Tedavi alanı içine farklı genişliklerde eş merkezli optimizasyonlar tanımlandı. Bunlar optimize edici yapılar olarak iç bölgelerdeki yüksek dozları düşürmemize olanak sağladı.

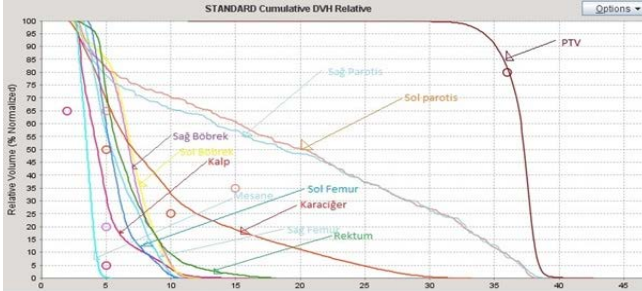
Hedef hacme totalde 36 Gy, 24 fraksiyon (fraksiyon dozu 1,5 Gy) olacak şekilde doz tanımlandı. Haftada 4 gün, günde 2 fraksiyonda toplam 3 Gy/gün olacak şekilde doz reçete edildi. TPS'de doz planı yapılan hastanın renklendirme yöntemiyle doz dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. TPS'de transvers, koronal ve sagittal kesitlerde renklendirme ile doz dağılımı

BULGULAR

TPS'de yapılan doz planı ve bu plana ait hedef hacim ve kritik organ dozları doz volüm histogram (DVH) değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

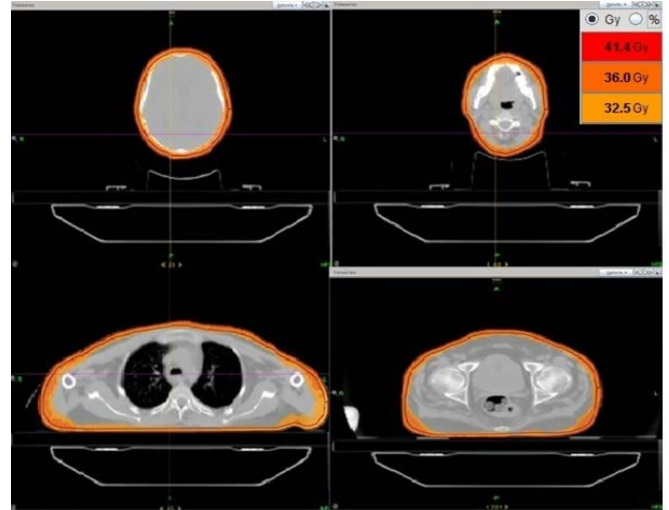


Şekil 4. TPS'de risk altındaki organlar ve PTV doz volüm histogramı

DVH'ı incelendiğinde, HT'nin özel ışınlama tekniğinden dolayı iç organ dozları düşürülmüş hedef hacme daha iyi doz sardırılarak homojen bir doz dağılımı elde edildiği görülmektedir. DVH'da PTV için D95, D90, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 34.33, 35.06, 42.65, 11.32, 36.93 değerleri elde edilmiştir. Beyin için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 12.8, 19.1, 27.4, 46.7, 96.4, 37.53, 1.88 ve 8.31 olarak ölçüldü. Beyin Sapı için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 0.0, 0.0, 0.4, 50.1, 100, 10.75, 2.09 ve 5.11 olarak ölçüldü. Sağ Parotis için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 49.5, 60.2, 70.1, 81.3, 100, 38.22, 2.69 ve 19.38 olarak ölçüldü. Sol Parotis için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 49.0, 57.8, 65.8, 77.8, 100, 36.52, 2.53 ve 19.09 olarak ölçüldü. Medula Spinalis için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve

Ortalama sırasıyla 0.0, 0.0, 0.1, 12.9, 100, 10.65, 2.43 ve 3.75 olarak ölçüldü. Sağ Akciğer için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 1.1, 9.2, 28.4, 67.8, 100, 22.30, 2.35 ve 8.20 değerleri elde edilmiştir. Sol Akciğer için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 0.5, 6.6, 24.4, 69.9, 100, 21.89, 2.70 ve 7.87 değerleri elde edilmiştir. Bilateral Akciğer için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 1.14, 8.44, 29.16, 68.28, 100, 22.48, 2.40 ve 8.07 olarak ölçüldü. Kalp için V15 ve V10 sırasıyla 0.01 ve 3.35 değerleri elde edilmiştir. Sağ Böbrek için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 0.0, 0.0, 4.5, 80.04, 100, 12.01, 2.36 ve 6.56 olarak ölçüldü. Sol Böbrek için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 0.0, 0.0, 4.3, 83.9, 100, 12.22, 2.28 ve 6.78 olarak ölçüldü. Karaciğer için V20, V15, V10, V5, V2, Dmaks, Dmin ve Ortalama sırasıyla 10.98, 18.78, 32.62, 69.35, 100, 33.29, 2.10 ve 9.51 değerleri elde edilmiştir.

Renklendirme yöntemiyle bölgelere göre hedef hacimdeki doz sarmalamaları Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu bölgelerde dozun %115, %100 ve %95'i renklendirme yöntemiyle gösterilmiştir.



Şekil 5. Baş, boyun, toraks ve pelvik bölgelerindeki doz sarmalamaları

Çalışmamızda risk altındaki organlar Dmaks, Dmin, D10, D90, ve Ortalama doz değerleri Tablo 1’de gösterilmiştir. PTV toplam hacimleri ile HI ve CI değerleri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo I: Risk altındaki organlar Dmax, Dmin, D10, D90, ve Ortalama doz değerleri

Kritik Organlar	D _{maks} (Gy)	D _{min} (Gy)	D ₁₀ (Gy)	D ₉₀ (Gy)	D _{Ortalama} (Gy)
Beyin	37.11	1.88	21.90	2.18	8.16
Sağ Lens	5.98	4.11	5.1	4.00	4.67
Sol Lens	6.11	4.08	4.8	4.00	4.51
Sağ Optik	8.68	5.02	7.78	5.50	6.48
Sol Optik	8.62	4.96	7.60	5.12	6.29
Beyin Sapı	10.75	2.09	7.86	2.37	5.12
Kiazma	3.93	2.69	3.4	3.30	2.98
Sağ kohlea	4.59	2.82	3.52	2.99	3.05
Sol Kohlea	4.52	2.82	4.40	3.30	3.33
Sağ Göz	16.77	4.01	11.49	5.00	8.07
Sol Göz	13.43	4.08	11.05	4.77	7.59
Sağ Parotis	38.22	2.65	35.62	3.59	19.34
Sol Parotis	38.53	2.53	35.50	3.46	18.76
Medula Spinalis	10.65	2.42	5.00	2.72	3.73
Sağ Akciğer	22.30	2.35	14.95	3.50	8.20
Sol Akciğer	21.89	2.70	13.89	3.96	7.85
Bilateral Akciğer	22.30	2.35	14.48	3.65	8.07
Özofagus	11.30	2.30	8.19	2.55	4.47
Kalp	15.82	2.45	7.96	2.97	4.69
Karaciğer	33.25	2.07	20.74	3.32	9.30
Sağ Böbrek	12.01	2.36	9.55	3.44	6.56
Sol Böbrek	12.15	2.27	9.36	4.06	6.76
Sağ Femur	10.48	2.90	8.95	3.69	5.65
Sol Femur	10.70	3.29	8.05	4.12	5.43
Mesane	5.10	2.28	4.23	2.84	3.11
Rektum	17.75	2.51	9.87	4.51	6.19
Skrotum	8.09	2.14	3.11	2.34	2.78

Tablo II: PTV için HI ve CI değerleri

	D ₂ (Gy)	D ₉₈ (Gy)	D ₅₀ (Gy)	HI
PTV 36 Gy	38.73	33.10	37.30	0.15
	Tedavi edilen hacim (cm ³)		PTV hacmi (cm ³)	CI
PTV 36 Gy	3560		3738	0.95

Baş-boyun, toraks, batın ve pelvik bölge kritik organ doz ortalamaları sırasıyla 2.98 ile 19.34, 3.73 ile 8.20, 6.56 ile 9.30 ve 2.78 ile 6.76 olarak bulunmuştur. Bilateral akciğer ortalama dozunun ≤ 20 Gy olması akciğerlerde oluşabilecek yan etkilerin oranını %20’nin altında olabileceği belirtilmiştir. Çalışmamızdaki bilateral akciğer ortalama dozunun 8.07 Gy olması oluşabilecek yan etki riskini düşürebileceğini göstermektedir. Karaciğer ortalama dozunun ≤ 32 Gy altında olması tedavi açısından tolerans sınırları içerisinde olduğu kabul edilir. Karaciğer ortalama dozumuz 9.30 Gy olarak ölçülmüş tedavi açısından bir engel teşkil etmemektedir. Sağ ve sol parotisler için ortalama dozun ≤ 26 Gy olması tedavi için uygun olduğu belirtilmiştir. Bizim çalışmamızdaki sağ ve sol parotis ortalama dozları sırasıyla 19.34 ve 18.76 olarak ölçülmüştür.

HI, hedef hacimdeki doz dağılımının homojenliğini gösteren nesnel bir objedir. Literatürde değişik formüller kullanılarak homojenite indeks hesaplanmaktadır. Çalışmamızda HI ICRU 83 raporuna göre ($HI=(D_2-D_{98})/DP \times \%100$) hesaplandı ve 0.15 değeri bulundu. HI değerinin sıfıra yakın olması doz homojenitesinin iyi olduğunu bir göstergesidir. CI değeri planın uygunluk derecesini tahmin etmemize yardımcı olur. Çalışmamızda CI değeri ICUR 62 raporuna göre ($CI=(\text{Tedavi edilen hacim})/(\text{PTV Hacmi})$) hesaplandı ve 0.95 değeri bulundu. CI değerinin 1’e yakın olması reçetelenen dozun planlanan hedef hacme doğru verildiğinin göstergesidir. Çalışmamızdaki bulgular literatürdeki verilerle uyumlu olduğu görüldü. Hesaplanan bu parametreler tedavi uygunluğu açısından kabul edilen tolerans sınırları içindeydi.

TARTIŞMA

Tedavi süresi, setup kurulumları ve her fraksiyonda doz hesaplamalarının beraberinde getirdiği zorluklar açısından değerlendirildiğinde TVCEI’nın uygulamada

bazı dezavantajları olduğu görülmektedir. Radyasyon tedavisi, kutanöz T hücreli lenfoma için etkili bir tedavi sağladığı gibi homojen bir doz dağılımı da sağlar. Tarihsel olarak MF esas olarak TVCEI ile tedavi edilir, en yaygın olarak kullanılan TVCEI tekniklerinden biri Stanford 6 ikili alan tekniğidir³. TVCEI için en sık kullanılan Stanford tekniğinde hastanın en az yarım saat sürebilen tedavinin tamamı için ayakta durmasını gerektirmektedir. Bu tekniğin heterojen bir doz dağılımının olması başka bir dezavantajdır. HT 160 cm'ye kadar tedavi edilebilir alan uzunluğu ile geniş hacimleri, alan birleşimine gerek kalmadan sürekli olarak sarmal bir düzende ışınlama avantajına sahiptir. HT, içyapılar üzerinde yönlü ve tam koruma yapabildiğinden, tedavi derinliğini başarılı bir şekilde sınırlamaktadır.

Kutanöz T hücreli lenfomaların nadir görülen bir hastalık grubu olması ve radomize çalışmaların olmaması nedeniyle radyasyon etkinliğinin değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. MF tedavisi için TVCEI'sı yerine TVCHI'yı kullanan çok az sayıda yayınlanmış tedavi sonucu bulunmaktadır.

Köylü ve ark. Tüm vücut cilt elektron ışınlamasıyla tüm vücut cilt foton ışınlamasını karşılaştırdılar. Tüm cilt ışınlama için en yaygın olarak kullanılan yöntemin Stanford Tekniği olduğu ve kullanılan radyasyon türünün ise elektron olduğunu bildirdiler. Çalışmalarında 12 alan çifti kullandı ve hastaları 6 farklı pozisyonda konumlandırıdılar. Tüm cilt ışınlamasında HT cihazları ile X-ışınlarının kullanılabilmesi bildirilmekle birlikte TVCEI ile karşılaştırmalı dozimetre verileri sınırlı olduğu bildirilmiştir⁶. Schaff ve ark. MF tedavisinde TVCHI'nın TVCEI'ya bir alternatif olabileceğini ve tedavide çeşitli dozimetrik avantajlar sunabileceğini bildirdiler. Çalışmalarında iki hastada TVCHI tekniği kullanılarak 12 Gy doz 6 fraksiyonda uygulandığı belirtildi. Kritik organ açısından sadece femur başlarını bizim çalışmamızdaki verilerle kıyaslayabildik. Birinci

hasta için Femurlarda Ortalama, V10, V5 ve V3 değerleri sırasıyla 1.86 Gy, 0.12, 4.86 ve 14.09 olduğu ikinci hasta için 4.53 Gy, 14.31, 37.38 ve 44.77 olduğu bildirilmiştir⁷. Hesieh ve ark. Çalışmalarında 36 yaşında bir kadın hastaya TVCHI ile 30 Gy dozu 40 fraksiyonda ve 20 fraksiyondan sonra bir hafta ara verilerek, haftada 4 fraksiyon verilecek şekilde reçete edildiği bildirildi. Yüzey dozunu artırmak için dalgıç giysisi giydirilmiş ve bir vakum yatak ile sabitleme yapmışlar. Doz homojenitesi ile ilgili herhangi bir veri sunulmamıştır. Bu hasta özelinde kullanılan alan genişliği 2.5 cm, pitch 0.287 ve modülasyon faktörü 3.5 olarak seçildiği belirtilmiştir. Bu tedavi protokolü uygulanırken risk altındaki kritik organ dozları D10, D90 ve Ortalama olmak üzere tablo şeklinde sunulmuştur. Baş, göğüs ve karın bölgesinde ortalama TVCHI dozları sırasıyla 2.1 ile 29.9 Gy, 2.9 ile 8.1 Gy, ve 3.6 ile 15.7 Gy olarak belirtilmiştir⁴. Yonekura ve ark. Çalışmalarında MF tedavisinde kullanılan TVCEI'sı için gereken süre, hastalara fiziksel yük getirmesi ve tek tip dozimetri sağlamadaki zorluklar nedeniyle Japonya'da nadiren uygulanmaktadır. Bu zorluklardan dolayı elektron tedavisine bir alternatif olarak sunulan HT birkaç dozimetrik ve tedavi avantajı sunabilir. Bunlar geliştirilmiş doz homojenliği, çakışmayan alanlar, rahat sırtüstü pozisyon gibi özellikler sunabilir. HT bir diğer avantajı da hastalar üzerindeki fiziksel yükü azaltmaktadır⁸. Lin ve ark. Çalışmalarında TVCHI ile derinin ışınlanmasını araştırmak ve doz dağılımını analiz etmek için bir fantom kullanıldı. Bu çalışmada PTV için Dmaks 41.88 Gy ve Dmean 38.83 Gy olarak bildirilmiştir. Toraks bölgesinde akciğer için Dmaks 40.96 Dmean 4.69 Gy ve kalp için Dmaks 28.67 Gy Dmean 3.10 Gy olarak bildirildi. Batın bölgesinde karaciğer için Dmaks 25.16 Gy Dmean 3.20 Gy, böbrekler için Dmaks 4.38 Gy Dmean 2.94 Gy olarak bildirildi. Pelvik bölgede rektum için Dmaks 14.83 Gy Dmean 9.06 Gy olarak bildirilmiştir. Ek olarak 30 Gy'ye kadar olan kalp dozları iyi tolere edilmiştir. Ortalama

akciğer dozunun $\leq 20-23$ olması radyasyon pnömonisi riskini $\leq 20\%$ ile sınırlayabilir. Ayrıca karaciğer ortalama dozunun ≤ 32 olması, böbrek dozlarının düşük tolerans sınırları içerisinde olması TVCHI tekniğinin bu tedavide kullanılabileceği belirtildi⁵. Kitaguchi ve ark. Haziran 2015 ile Temmuz 2019 tarihleri arasında hastanelerinde TVCHI uygulanan tüm primer kutanöz lenfoma hastalarını araştırdılar. PTV için D95, D90, Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 19.1 Gy, 19.6 Gy, 23.4 Gy, 12.2 Gy ve 20.4 Gy olarak belirtildi. Beyin için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 20.1 Gy, 1.1 Gy ve 5.0 Gy olarak belirtildi. Beyin sapı için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 4.4 Gy, 1.1 Gy ve 1.6 Gy olarak belirtildi. Sağ göz için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 15.2 Gy, 4.8 Gy, 9.7 Gy olarak belirtildi. Sol göz için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 15.7 Gy, 4.6 Gy, 9.9 Gy olarak belirtildi. Sağ lens için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 11.3 Gy, 9.3 Gy, 9.9 Gy olarak belirtildi. Sol lens için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 11.3 Gy, 9.1 Gy, 9.7 Gy olarak belirtildi. Sağ Parotis için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 21.8 Gy, 4.3 Gy, 17.6 Gy olarak belirtildi. Sol Parotis için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 21.8 Gy, 4.8 Gy, 17.6 Gy olarak belirtildi. Bilateral akciğer için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 19.0 Gy, 1.5 Gy, 4.6 Gy olarak belirtildi. Bilateral akciğer için V20, V15, V10, V5 ve V2 değerleri sırasıyla 0.0, 1.0, 10.2, 29.3 ve 85.4 olarak belirtildi. Karaciğer için V20, V15, V10, V5, V2 Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 0.2, 1.4, 6.0, 18.5, 49.0, 18.4 Gy, 1.3 Gy ve 3.4 Gy olarak belirtildi. Kalp için V15, V10, V5, V2 Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 0.0, 0.7, 5.7, 27.0, 10.9 Gy, 1.4 Gy ve 2.1 Gy olarak belirtildi. Sol Böbrek için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 10.9 Gy, 3.1 Gy ve 3.3 Gy olarak belirtildi. Sağ Böbrek için Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 9.4 Gy, 1.5 Gy ve 2.6 Gy olarak belirtildi. Spinal cord için

Dmaks, Dmin ve Dortalama değerleri sırasıyla 3.7 Gy, 0.6 Gy ve 1.9 Gy olarak belirtildi⁹. Buglione ve ark. Çalışmalarında üç hasta için kritik organ dozlarının ortalama değerleri bildirildi. Beyin için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 4.5 Gy, 3.2 Gy ve 4.6 Gy olarak bildirilmiştir. Medulaspinalis için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 3.1 Gy, 6.7 Gy ve 6.1 Gy olarak bildirilmiştir. Kalp için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 3.3 Gy, 4.6 Gy ve 5.4 Gy olarak bildirilmiştir. Lens için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 1.9 Gy, 2.2 Gy ve 5.9 Gy olarak bildirilmiştir. Karaciğer için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 2.4 Gy, 4.3 Gy ve 4.3 Gy olarak bildirilmiştir. Akciğerler için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 2.3 Gy, 3.5 Gy ve 3.1 Gy olarak bildirilmiştir. parotis için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 20.9 Gy, 19.5 Gy ve 18.1 Gy olarak bildirilmiştir. Böbrekler için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 3.1 Gy, 3.8 Gy ve 3.3 Gy olarak bildirilmiştir. Mesane için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 11.0 Gy, 2.6 Gy ve 1.4 Gy olarak bildirilmiştir. Rektum için birinci hasta Dortalama, ikinci hasta Dortalama ve üçüncü hasta Dortalama sırasıyla 15.9 Gy, 4.8 Gy ve 1.6 Gy olarak bildirilmiştir¹⁰.

Çalışmamızdaki bulgular literatür bulguları ile karşılaştırıldığında verilerimizin uyumlu olduğu görüldü. Farklı bölgelerde (baş-boyun, toraks, batin ve pelvik) bulunan kritik organlara verilen dozlar tolerans sınırları içerisindeydi ve önceki çalışmalarda bildirilenlerle aynı doğrultuydu. Cilde yakın olan parotis, karaciğer ve akciğer gibi kritik organların

ortalama dozları diğer kritik organlara göre yüksek olsa da tolerans dozlarının çok altındaydı. Literatürde her iki teknik için yan etkileri değerlendiren yeterli sayıda çalışma bulunmamaktadır. Bu sebepten dolayı TVCHI ve TVCEI ile ilgili yan etkiler arasında doğrudan bir karşılaştırma mümkün değildir. Yapılan çalışmalarda yan etki açısından deri ve tırnak bölgelerinde benzerlik olduğu belirtilmiştir. Diğer yan etkiler açısından da önemli bir fark bildirilmemiştir¹⁰.

Stanford tekniğinde hastalar tedavi cihazından 4 m uzakta, 6 pozisyonda ve her bir pozisyonda aşağı ve yukarı yönlü bir ışın çifti kullanılarak tedavi edilmektedir. Bu sayede tüm cilt boyunca homojen bir doz dağılımı oluşturulmaktadır⁶. Klinikler kendi tedavi odalarının şartlarına göre Stanford tekniğini uygulayabilmek için farklı Stanford teknikleri geliştirmektedir. Geliştirilen Stanford teknikleri hastanın ışınlama sırasında yatması, ayakta durması, tedavi alanı sayısı ve SSD bakımından birbirinden farklılıklar göstermektedir. Stanford tekniğiyle tedavinin uygulanması için yapılması gereken bazı başlangıç ölçümleri vardır. Bunlar doz profil ölçümleri, yüzde derin doz (%DD) ölçümleri, absorbe doz Kalibrasyonu, birleşik doz ölçümleri, tedavi derinliğinin belirlenmesi, tedavi süresinin belirlenmesi, X-ışını Kontaminasyonu enerjisi ve miktarının ölçülmesi gibi oldukça zahmetli ve zaman alıcı ölçümlerdir. Bir Profil ölçümü ve ardından TLD'lerin boşaltılıp yeniden ölçüme hazır hale getirilmesi yaklaşık bir iş günü sürmektedir. Toplamda 11 iş günü ve yaklaşık iki hafta süren ölçümler sonucunda tedavi açıları belirlenir³. Bu ölçümlerin tamamlanmasının ardından hastalara TVCEI tedavisi uygulanabilmektedir. Elektronlarla tüm kutanöz dokuyu ışınlamak mümkün değildir ve birkaç yama alana ihtiyaç duyulur, bu alan kesişimleri soğuk ve sıcak doz sorunlarını meydana getirmektedir¹¹. Bu uygulama dönen bir platform üzerinde hasta ayakta belli bazı pozisyonlarda en az yarım saat

durarak devam eder. Hastaların genel durumu ve yaşları gereği bu kadar uzun bir sürede hareket etmeden durması çokta kolay değildir.

HT'nin kendine özgü sarmal ışınlama tekniğinden dolayı tüm vücut cilt ışınlamasında kullanılabilir olduğu hem bizim çalışmamız hem de literatürdeki çalışmalar göstermiştir. Stanford tekniği ile karşılaştırıldığında hem hasta için hem çalışanlar için kolaylık sağladığı görülmektedir. Bu cihazda hastalar tedavi masası üzerinde sırt üstü rahat bir pozisyonda tedavi edilmektedir. Stanford tekniğindeki gibi hasta tedaviye başlamadan önce profil ölçümleri, yüzde derin doz (%DD) ölçümleri, absorbe doz kalibrasyonu, birleşik doz ölçümleri, tedavi derinliğinin belirlenmesi, tedavi süresinin belirlenmesi, X-ışını kontaminasyonu enerjisi ve miktarının ölçülmesi gibi başlangıç ölçümleri yoktur. Ek olarak hasta doz planları hazırlanırken TPS'de hangi bölgenin ne kadar doz aldığı doğru bir şekilde değerlendirme olanağı sunduğundan doğru tedavi uygulama olanağı da sunmaktadır. Stanford tekniğinden bir diğer önemli farkı ise SSD mesafesi için geniş bir tedavi odasına ihtiyaç duymamasıdır. Bütün bu özellikler bir arada düşünüldüğünde TVCHI'nın TVCEI'na göre avantajlı olduğu görülmektedir. Hem literatürdeki çalışma verileri hem de çalışmamızdaki veriler TVCHI yapılabileceğini göstermektedir. Uygulanabilecek bu tedavi tekniğinin klinik çalışma verilerinin literatürde sınırlı sayıda olması daha çok çalışma verisi oluşturma ihtiyacı doğurmaktadır.

Etik Kurul Onayı: Bu çalışma Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'nun 28.02.2023 tarihli 72 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmişlerdir.

Finansal Destek: Bu çalışma herhangi bir fon tarafından desteklenmemiştir.

Declaration of Conflicting Interests: The authors declare that they have no conflict of interest.

Financial Disclosure: No financial support was received.

KAYNAKLAR

1. Hensley FW, Major G, Edel C, Hauswald H, Bischof M. Technical and dosimetric aspects of the total skin electron beam technique implemented at Heidelberg University Hospital. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*. 2014; 19(2): 135–43.
2. Hansen JE, Kim YH, Hoppe RT, Wilson LD. Primary Cutaneous Lymphomas. Halperin E.C, Wazer D.E., Perez C.A., Brady L.W. (Editors), *Principles and Practise of Radiation Oncology*. 2013, 7: 5980-6021.
3. Köylü M, Yoğunluk Ayarlı Tüm Cilt Elektron Işınlama Tekniğinin Geliştirilmesi (Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 2020; 6,13,15)
4. Hsieh CH, Shueng PW, Lin SC, et al. Helical Irradiation of the Total Skin with Dose Painting to Replace Total Skin Electron Beam Therapy for Therapy-Refractory Cutaneous CD4+ T-Cell Lymphoma. *BioMed Res. Int*. 2013; 2013: 717589.
5. Lin CT, Shiau AC, Tien HJ, et al. An Attempted Substitute Study of Total Skin Electron Therapy Technique by Using Helical Photon Tomotherapy with Helical Irradiation of the Total Skin Treatment: A Phantom Result. *BioMed Res. Int*. 2013; 2013: 108794.
6. Köylü M, Burcu Gökçe B, Hazeral YZ, et al. Tüm Cilt Işınlamasında Tomoterapi Kullanılabilir Mi? Tüm Vücut Cilt Elektron Işınlaması (TVCEI) ve Tomoterapi ile Tüm Vücut Cilt Helikal Işınlama (TVCHI) Tekniklerinin Anatomik Fantomda Dozimetrik Karşılaştırılması. 15. Ulusal Medikal Fizik Kongresi. 2015; 1: 1-1.
7. Schaff EM, Rosenberg SA, Olson SJ, Howard SP, Bradley KA. Bone marrow suppression as a complication of total skin helical tomotherapy in the treatment of mycosis fungoides. *Radiat. Oncol*. 2018; 13: 67.
8. Yonekura K, Ichiki M, Takeda K, et al. Successful treatment of tumor stage mycosis fungoides with total skin helical tomotherapy. *J. Dermatol*. 2022; 49: 289–93.
9. Kitaguchi M, Yamashita H, Takenaka R, et al. Helical Skin Radiation Therapy Including Total Skin Radiation Therapy Using Tomotherapy for Primary Cutaneous Lymphoma with Bone Marrow Suppression as a Related Adverse Event. *Pr. Radiat. Oncol*. 2021; 11: 308–21.
10. Buglione M, Spiazzi L, Urpis M, et al. Light and shadows of a new technique: Is photon total-skin irradiation using helical IMRT feasible, less complex and as toxic as the electrons one? *Radiat. Oncol*. 2018; 13: 158.
11. Haraldsson A, Engleson J, Bäck SJ, Engelholm S, Engström PE. A Helical tomotherapy as a robust low-dose treatment alternative for total skin irradiation. *J. Appl. Clin. Med. Phys*. 2019; 20: 44–54.