

Brakiterapi

ANKARA ÜNİVERSİTESİ TIP
FAKÜLTESİ RADYASYON ONKOLOJİSİ A.D

Brakiterapi

- ▶ Brakiterapi radyoaktif kaynakların vücut yüzeyine, doku içine ve vücut boşluklarına yerleştirilmesiyle yapılan bir yakın mesafe radyasyon ile tedavi yöntemidir.
- ▶ Doz kaynaktan uzaklaştıkça hızla azalır.
- ▶ Kaynağa temas halinde olan veya yakınına yerleşik olan tümör maksimum doz alırken tümör etrafındaki normal dokuların dozu çok düşük olur.

İmplant Tipine Göre

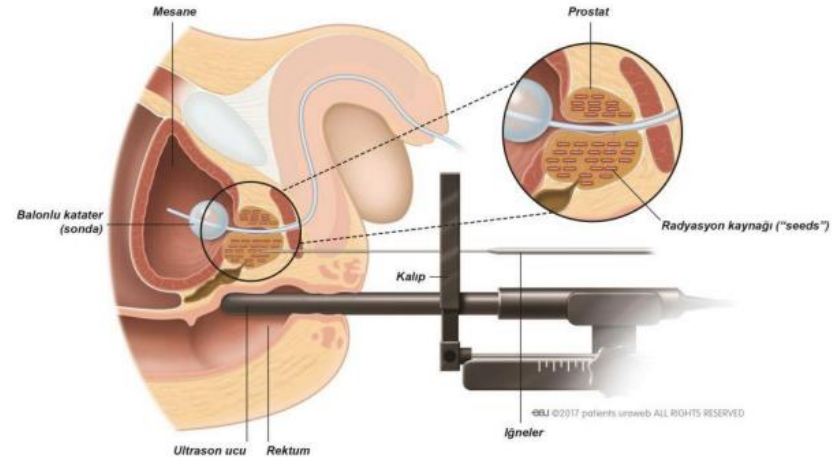
► Geçici (Temporary) implant

Doz kısa periyotlarla verilir. İstenilen doz elde edilince kaynak dokudan çıkarılır. Düşük ya da yüksek enerjili radyasyon verirler. Orta veya uzun yarı ömürlü kaynaklar kullanılır.(Co-60, Cs-137, Ir-192)

İmplant Tipine Göre

► Kalıcı (Permanent) implant

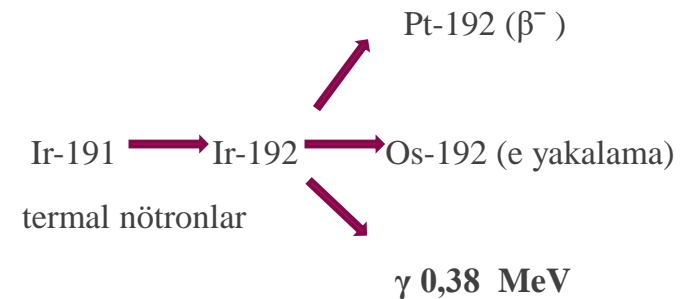
Kaynak, radyonüklit tamamen bozununcaya kadar dokuda kalır. Düşük enerji yayan, yüksek spesifik aktiviteli ve kısa yarı ömürlü kaynaklar kullanılır. (I-125, Pd-103,)



R.N.	Yarı Ömür	Işın Tipi	Foton Enerjisi
Ra-226	1600 yıl	α, β, γ	0.78 MeV
Rn-222	91.8 saat	α, β, γ	0.78 MeV
Cs-137	30 yıl	β, γ	0.662 MeV
Co-60	5.27 yıl	β, γ	1.25 MeV
Sr-90	28.7 yıl	β	0.546 β en
Ta-182	115 gün	β, γ	0.70 MeV
Au-198	64.7 saat	β, γ	0.42 MeV
Ir-192	74.2 gün	β, γ	0.38 MeV
I-125	60.1 gün	γ	0.028 MeV
Cf-252	2.64 yıl	α, γ, n	0.1 MeV
Y-90	64 saat	β	2.27 β en
Am-241	432 yıl	α, β, γ	0.06 MeV
Pd-103	17 gün	γ	0.021 MeV
Sm-145	340 gün	α, β, γ	0.041 MeV
Yb-169	32 gün	γ	0.093 MeV

Ir-192 (iridyum-192)

- Nükleer reaktörde ;



- Yarı değer kalınlığı (HVL);

Doku için 6 cm, kurşun için 2,5 mm'dir.

Kaynak Şiddetinin Spesifikasyonu Tanımları

- ▶ **Aktivite:** Bir radyoaktif izotopun birim zaman içindeki parçalanma sayısıdır. Birimi Curie 'dir.

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ bozunma/sn}$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

- ▶ **Görünür Aktivite:** Tanımlanan koşullar altında, gerçek kaynak ile aynı exposure rate'i veren (veya hava kerma) aynı radyoizotopun filtrelenmemiş kaynağın aktivitesi olarak tanımlanır.

Yükleme Şekline Göre

- ▶ **Hot (anında) loading:** Radyoaktif kaynak ve aplikatör aynı anda yüklenir. Bu uygulamalarda ekibin aldığı radyasyon dozu yüksektir.
- ▶ **Afterloading (sonradan):** Öncelikle aplikatör yerleştirilir ve kaynaklar daha sonra yüklenir.

Doz Hızına Göre

International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) rapor 38’de doz hızlarına göre brakiterapinin sınıflandırılması

- ▶ **Low dose rate (LDR) (düşük doz hızı):** Doz hızı 0.4–2Gy/saat yükleme genellikle manuel olarak yapılır. Tedavi süresi, saatler–günlerle ölçülür.
- ▶ **Medium dose rate (MDR) (orta doz hızı):** Doz hızı 2-12Gy/saat. Sonradan yükleme yöntemi ile kullanılır.

Doz Hızına Göre

- ▶ **High dose rate (HDR)(yüksek doz hızı):** $>12\text{Gy/saat}$ (uzaktan kumandalı tekniklerde kullanılır.

Çok küçük çaplı(1mm) ve 4.0-20.0 Ci aktiviteli Ir-192 kaynakları ile interstisyel, intrakaviter ve intralüminal uygulamalar yapılabilir.

Tedavi süreleri dakika mertebesinde, sonradan yükleme yöntemleri ile radyasyon hasarı minimuma indirilmiştir.

Bu uygulamalarda toplam doz fraksiyonlara bölünerek verilir. Fraksiyon başına verilen doz 10 Gy'i geçmemelidir.

- ▶ **Pulsed dose rate (PDR) (pulslu doz hızı):** Doz hızı $1-3\text{Gy/saat}$ belli aralıklarla 5-10 dakika süren HDR pulsları şeklinde tedavi



HDR brakiterapinin LDR'e göre avantajları:

- Kısa tedavi süresi nedeniyle tedavi sırasında aplikatör ve kaynak sabittir.
- Bilgisayarlı planlama nedeniyle daha az hata yapılır.
- Hastanede kalma süresi, dolayısıyla hastane masrafları daha azdır.
- Genel anestezi daha az gerekir.



Dezavantajları:

- LDR te hata yapılırsa ilk 24 saat içinde düzeltme yapılırken, HDR kısa tedavi süresi nedeniyle hata kabul etmez.
- Radyasyon kazasında personelin manuel mekanizma ile kaynağı geriye çekmesi gerektiğinden radyasyon maruziyeti fazla olur.

Uygulama Şekilleri

► Intrakaviter Brakiterapi:

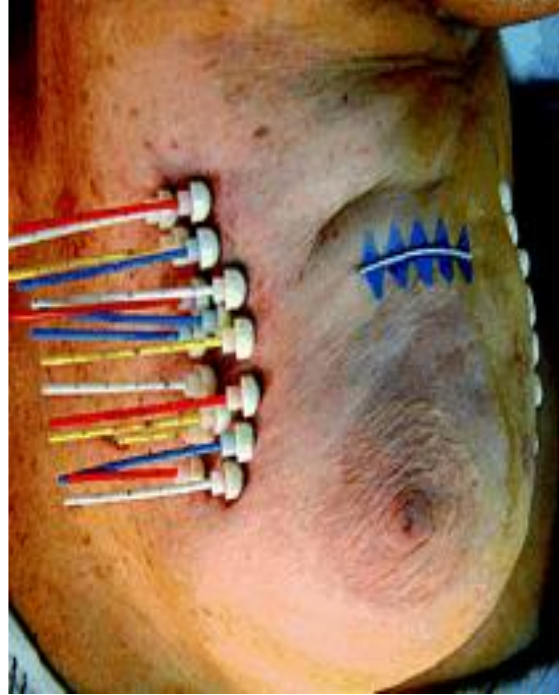
Radyoaktif kaynaklar vücut boşluklarına yerleştirilir. Serviks, vajen, uterus, rektum vb...



Uygulama Şekilleri

► İnterstisyel Brakiterapi:

Kaynakların doku içine özel iğnelerle doğrudan yerleştirildiği uygulamalardır. Dil tümörleri, meme kanseri, prostat vb...



Uygulama Şekilleri

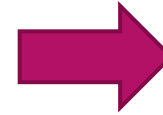
► İntraoperatif Brakiterapi:

İmplantalar operasyon sırasında tümör yatağına yerleştirilir.
Yumuşak doku sarkomları, beyin tümörleri...



Uygulama Şekilleri

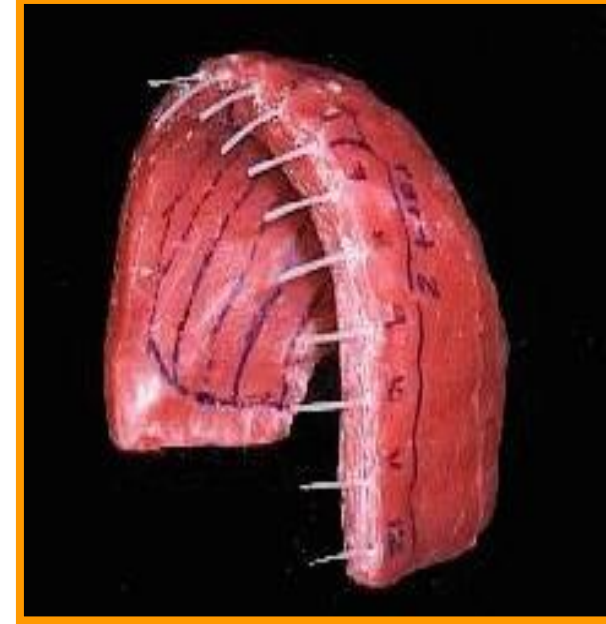
- ▶ **İntraluminal Brakiterapi:**
Kateterler lümeni olan organlara yerleştirilir. Bronş, safra kesesi, özefagus...
- ▶ **İntravasküler Brakiterapi:**
Kaynakların damarlara yerleştirildiği uygulamalardır.



Uygulama Şekilleri

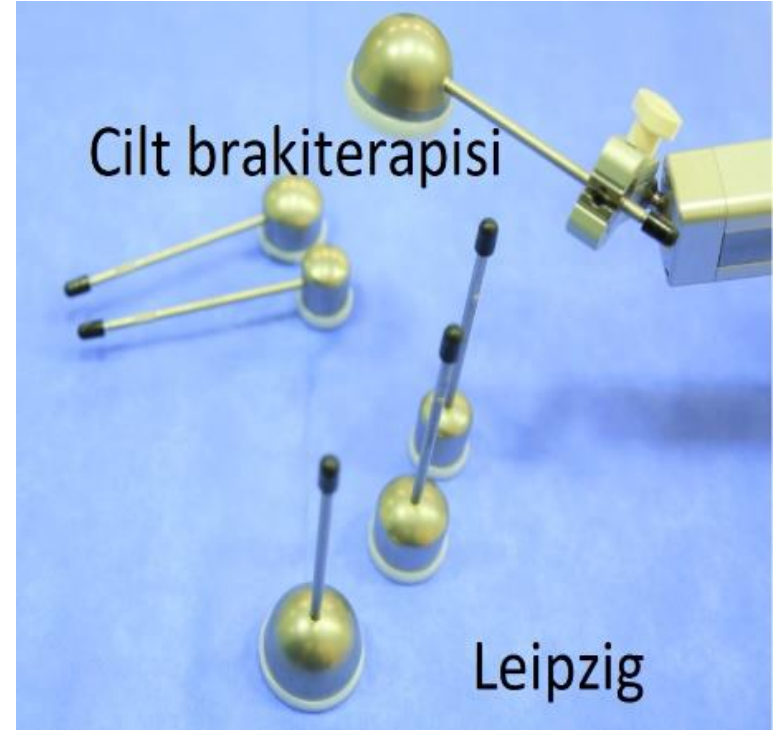
► **Yüzey (mold) Brakiterapi:**

kaynaklar tedavi edilecek tümörlü dokunun üzerine konulan mold (kalıp), plak aplikatörlerine yerleştirilir.

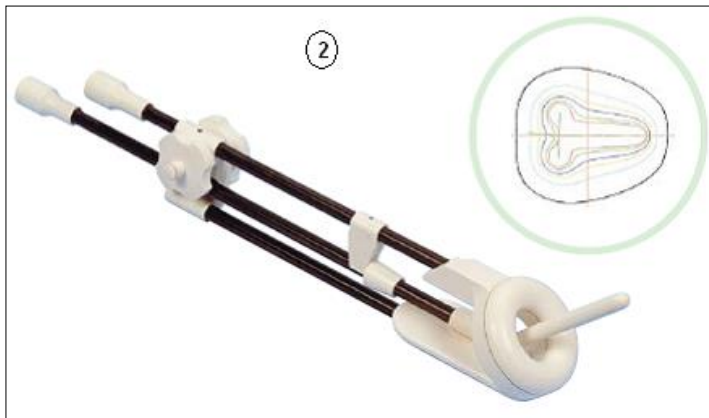


Uygulama Şekilleri

- Veya kaynaklar özel yüzey aplikatörlerine yerleştirilir. Tümör $\text{çapı} < 3 \text{ cm}$



3 Boyutlu Brakiterapi



3 Boyutlu Brakiterapi

- ▶ Brakiterapi tedavi planlaması için BT (Bilgisayarlı Tomografi) görüntülerinin kullanımını hem serviks bölgesi ve hem de interstisyel implantlar için ilk kez 1980 yılında rapor edilmiştir.
- ▶ 1985'te ICRU'nun 38 No'lu Raporu, kullanılan dozimetrik referans noktalarına alternatif olarak çok az BT'den bahseder.

3 Boyutlu Brakiterapi

- ▶ 1997'de ICRU'nun 58 No'lu Raporunda, ek bilgiler olarak Doz Volüm-Histogramı (DVH) verilerinden bahsedilmiştir.
- ▶ Bugün, Brakiterapi Tedavi Planlama Sistemleri;
 - ▶ BT-tabanlı aplikatör/kaynak lokalizasyonu
 - ▶ Üç boyutlu (3-D) anatomik yapı tanımını
 - ▶ DVH analizini sağlamaktadır.

Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Aplikator Seçimi

- **Vajinal Brakiterapi:** En sık uygulanan aplikatör vajinal silindirlerdir. Silindir mukozaya yeterli doz vermek için tüm vajinal uzunluğa uygulanır. Çok kanallı silindirler, istenilen izodoz dağılımını oluşturmaya izin veren merkezi kanal ve periferik kateter pozisyonlarına sahiptir.



Silindir aplikatör
(Vajinal multi channel)

Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Aplikator Seçimi

- **Servikal Brakiterapi:** Servikal kanser tedavisinde intrakaviter (tandem+ovoid, ring, silindir) aplikatörlerin kullanıma uygundur. Bazı çalışma grupları hastalara özel mold aplikatörlerin uygunluğunu savunmaktadır. Farklı anatomi ve patolojik durumlar, intrauterin katater açısı, ovoid/ring arasındaki geometri, rektum ve mesaneyi uzaklaştırma kapasitesi belirleyici özellikleridir.



Silindir aplikatör
(Vajinal multi channel)



Tandem- ovoid aplikatör
(Fletcher)



Ring aplikatör

Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Aplikator Seçimi

- **Endometriyal brakiterapi:** İntrauterin uygulama için tandem tabanlı bir aplikatör sistemi (Tandem-ovoid, tandem- ring veya tandem-silindir) kullanılabilir.



Silindir aplikatör
(Vajinal multi channel)



Tandem- ovoid aplikatör
(Fletcher)



Ring aplikatör

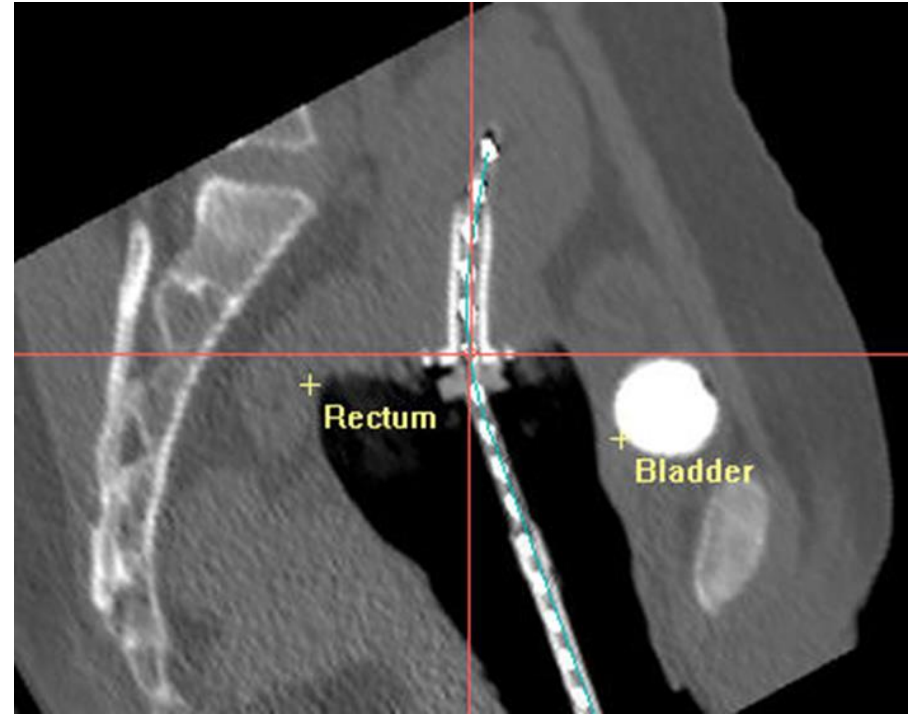
3 Boyutlu Görüntüleme

- ▶ BT/MR uyumlu aplikatörler geliştirilmiş, görüntülerde artefakt yapan metal aplikatörlerin kullanılması çok azalmıştır.



3 Boyutlu Görüntüleme

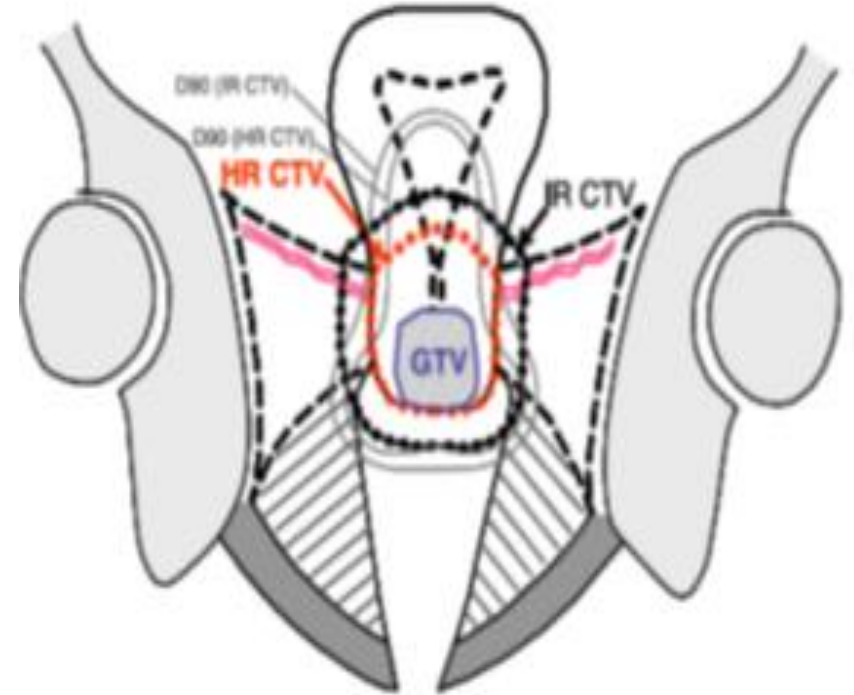
- Günümüzdeki BT, MR, PET, 3D US'un kullanılmaya başlamasıyla birlikte 2D planlamalar yerini 3D planlamalara bırakmıştır. Bu sayede nokta kavramından volüm kavramına geçilmiş ve 3D volüm kavramları kullanılmaya başlamıştır.



Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Konturlama

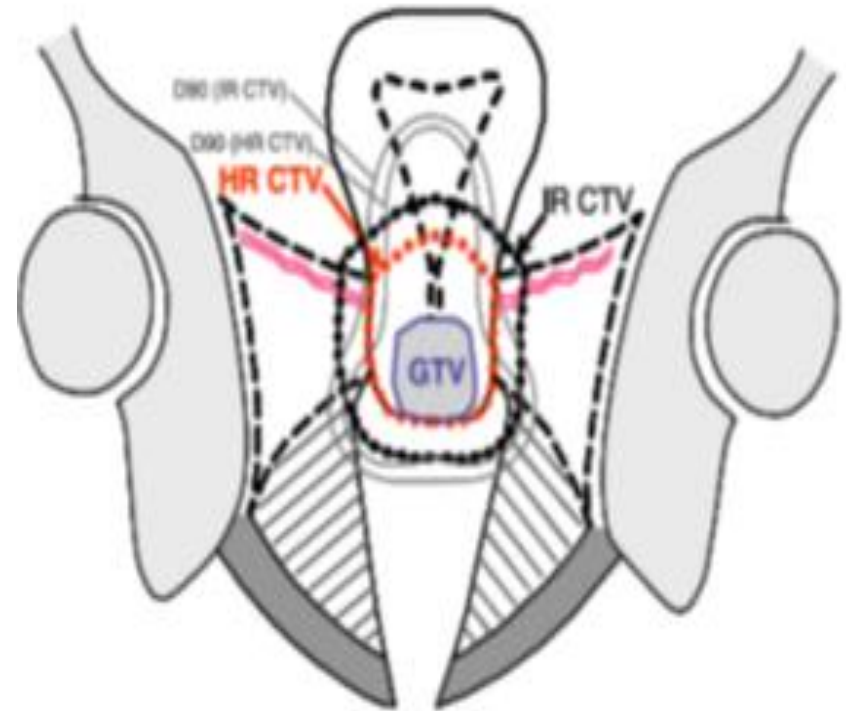
- ▶ ICRU 38'in yetersizliği üzerine GEC-ESTRO (Groupe Europe'en de Curie the'rapie – European Society for Radiation Oncology) tavsiyelerini yayınlamış ve A noktası yerine yüksek riskli klinik hedef hacim (HR-CTV) ve orta riskli klinik hedef hacim (IR-CTV) kavramları kullanılmaya başlamıştır. . Planning Target Volume PTV = CTV
- ▶ **Gross Tumor Volüm (GTV):** Brakiterapi öncesi genel anestezi altında muayene ve MR görüntüleme ile saptanan makroskopik tümör yayılımını ifade eder.

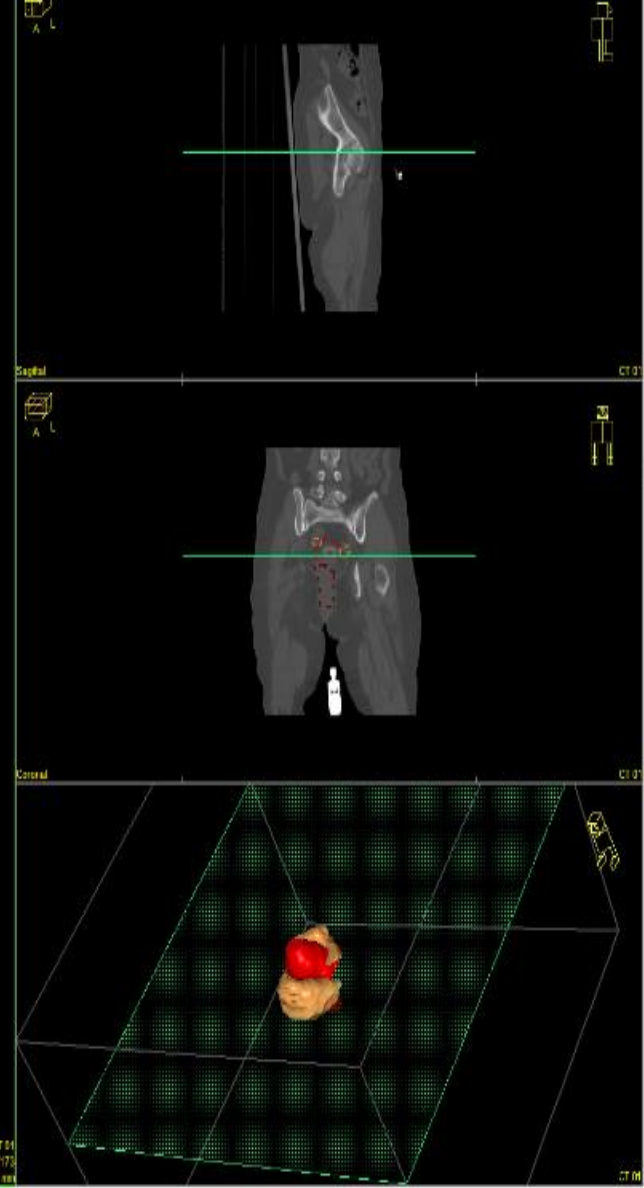
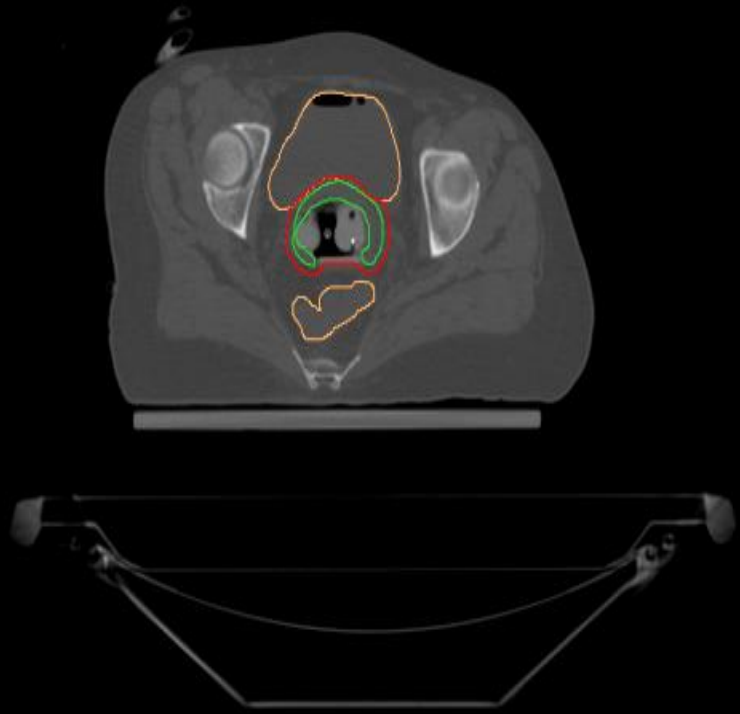


Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Konturlama

- ▶ **Yüksek Risk CTV (HR-CTV):** Eksternal radyoterapi sonrası saptanan rezidüel tümör hacmidir. Lokal yineleme açısından en yüksek riskli hacimdir.
- ▶ **Orta Risk (Intermediate Risk) CTV (IR - CTV):** Eksternal radyoterapiye başlamadan önceki tümör hacmidir. Aynı zamanda brakiterapi öncesi mikroskobik tümör hacmini ifade eder. Yüksek riskli CTV hacmini 5-15 mm kaplar (güvenlik sınırı, tümörün büyüklüğü, yerleşimi, potansiyel yayılımı, tedavi seçimine göre değişir). Tedavi sonrası lokal yineleme açısından yüksek risk taşımaktadır.
- ▶ Kritik organ olarak da mesane, rektum, sigmoid konturlanmalıdır.





Case explorer -

ROI Set	Item	Series	Volume (ccm)	Material	Mean Density	CC Priority	DICOM Type	DICOM #	Completion	MBS
POI	<input checked="" type="checkbox"/> bladder	CT 01	171.96	-	-	N/A	Avoidance	1	Not completed	
Registrations	<input checked="" type="checkbox"/> HRCTV	CT 01	84.27	-	-	N/A	Clinical target volume	4	Not completed	
Measures	<input checked="" type="checkbox"/> HRCTV	CT 01	136.71	-	-	N/A	Clinical target volume	5	Not completed	
	<input checked="" type="checkbox"/> rektum	CT 01	63.11	-	-	N/A	Avoidance	2	Not completed	
	<input checked="" type="checkbox"/> sigmoid	CT 01	58.78	-	-	N/A	Avoidance	3	Not completed	

Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Plan Optimizasyonu

- ▶ HDR brakiterapide doz, kaynak dwell sürelerinin değiştirilmesiyle kontrol edilir. İmplant edilmiş kateter boyunca yerleştirilen noktalarda harcanan sürelerdir.
- ▶ Yüksek doz hızlı brakiterapi de tedavi planlaması için, belirlenen aplikatör yolu boyunca kaynak duruş pozisyonu (dwell position) ve duruş sürelerini (dwell time) hesaplamak için çeşitli modeller geliştirilmiştir.

Plan Optimizasyonu

- **Manuel Optimizasyon** Bu yöntemi kullanarak, kaynak duruş zamanlarını veya ağırlıklarını manuel değiştirme yoluyla optimizasyon yapılmaktadır.
- Ağırlıklar relatif sayılar olduğundan, en yüksek ağırlık değeri daima 1'e göre derecelendirilmektedir. Bu metotta, duruş sürelerinin sürekli değiştirilmesiyle, kriterleri sağlayan doz dağılımı elde edilmeye çalışılmaktadır.
- Optimizasyon işlemi boyunca, kritik organların veya normal dokuların varlığı dikkate alınmamaktadır. Amaç hedef hacime homojen doz dağılımı vermeyi sağlamaktır.
- Duruş süreleri değiştikten sonra bilgisayar, doz dağılımını yeniden hesaplamakta ve elde edilen dağılım değerlendirilmektedir. Bu işlemler, istenen doz dağılımı elde edilinceye kadar tekrarlanmaktadır.

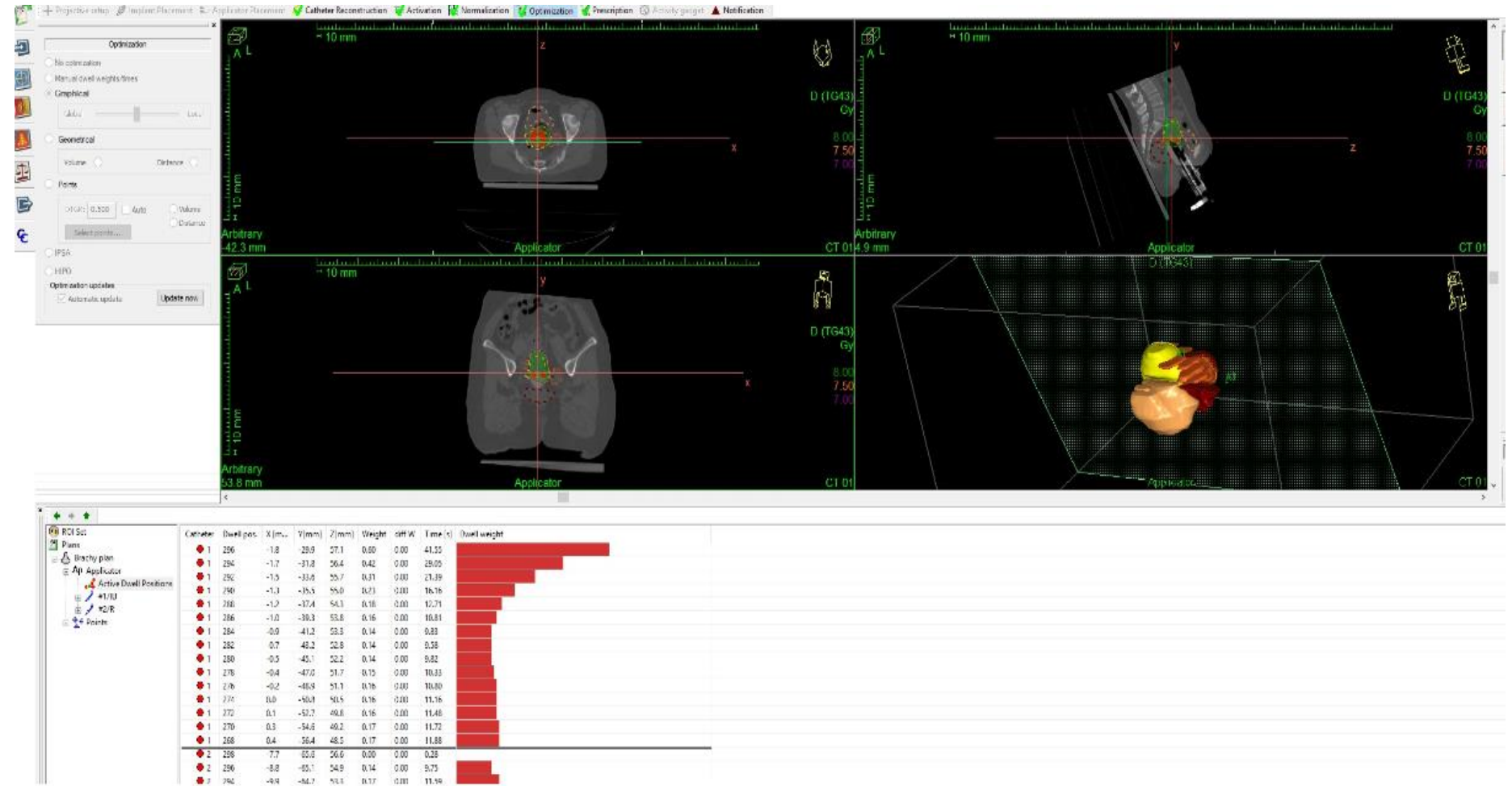
Catheter	Dwell pos.	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	Weight	cirt W	Time (s)	Dwell weight
1	296	-1.8	-29.9	57.1	0.00	0.00	41.55	
1	294	-1.7	-31.8	56.4	0.42	0.00	29.05	
1	292	-1.5	-33.6	55.7	0.31	0.00	21.39	
1	290	-1.3	-35.5	55.0	0.23	0.00	16.16	
1	288	-1.2	-37.4	54.3	0.18	0.00	12.71	
1	286	-1.0	-39.3	53.6	0.16	0.00	10.81	
1	284	-0.9	-41.2	53.3	0.14	0.00	9.83	
1	282	-0.7	-43.2	52.8	0.14	0.00	9.58	
1	280	-0.5	-45.1	52.2	0.14	0.00	9.82	
1	278	-0.4	-47.0	51.7	0.15	0.00	10.33	
1	276	-0.2	-48.9	51.1	0.16	0.00	10.80	
1	274	0.0	-50.9	50.5	0.16	0.00	11.16	
1	272	0.1	-52.7	49.8	0.16	0.00	11.48	
1	270	0.3	-54.6	49.2	0.17	0.00	11.72	
1	268	0.4	-56.4	48.5	0.17	0.00	11.88	
2	298	7.7	-65.8	56.6	0.00	0.00	0.28	
2	296	-8.8	-65.1	54.9	0.14	0.00	9.75	
2	294	-9.4	-64.7	53.3	0.17	0.00	11.54	

Geometrik Optimizasyon

Bu optimizasyon yönteminde, relatif duruş zamanları implantın geometrisiyle tayin edilmektedir. Hedef içindeki bir noktaya normalizasyon ile, aplikatörlerin etrafında uygun doz dağılımı elde etmek için duruş zamanları ayarlanmaktadır.

► Grafik Optimizasyon

Doz dağılımlarını optimize etmek için izodoz eğrilerinin değiştirilmesi ile yapılan optimizasyon yöntemidir. Global ve lokal düzeltme seçenekleri ile her bir izodoz eğrisi manuel olarak istendiği şekilde değiştirilebilmektedir. Manuel ayarlardan sonra algoritma, izodoz dağılımına uyan kaynak duruş zamanlarını hesaplamaktadır.



Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Plan deęerlendirme

EUD-Equivalent uniform dose

- **EQD₂(Equivalent Dose 2 Gy):** Kümülatif BED sonuçlarını karşılaştırmak için 2 Gy'lik fraksiyonlardaki eş değer doz için EQD₂ denklemleri kullanılır.

$$EQD_2 = Nd \left[d + \frac{\alpha}{\beta} \right] \left[2 + \frac{\alpha}{\beta} \right]$$

N: Fraksiyon sayısı

d: Fraksiyon dozu

α : Onarılamayan hasara neden olan tek bir iyonize radyasyon olayını temsil eder ve doz ile doğrusal olarak artar.

β : Letal bir etki oluşturmak üzere birleşen iki subletal iyonizan olayın yol açtığı hasarı temsil eder ve quadratik olarak artar.

Jinekolojik Kanserlerde 3D planlama

Plan deęerlendirme

- ▶ Çoęu merkezde halen A noktasına verilen doz tanımlansa da, hedeflenmesi gereken nokta, “tümör volümünün %90’ın EQD2 ≥ 80 Gy” tarafından sarılmasıdır.
- ▶ Doz kısıtlamaları ise D2cc tanımlaması mevcut (normal doku volümün en çok RT alan 2 cm³’lük kısmı) D2cc için EQD2 limitleri; Rektum-sigmoid: 70-75 Gy Mesane: 90 Gy

TARGET			
HRCTV	D90	EQD2	≥ 85 Gy
IRCTV	D90	EQD2	≈ 60 Gy
OAR			
Mesane	D _{2cc}	EQD2	≤ 90 Gy
Rektum	D _{2cc}	EQD2	$\leq 70-75$ Gy
Sigmoid	D _{2cc}	EQD2	≤ 75 Gy

Prostat Brakiterapisi

Eksternal radyoterapi (pelvis & prostat)

46 Gy, 1.8 Gy/ fraksiyon



2 hafta ara



I-125 120 Gy minimum perifer dozu

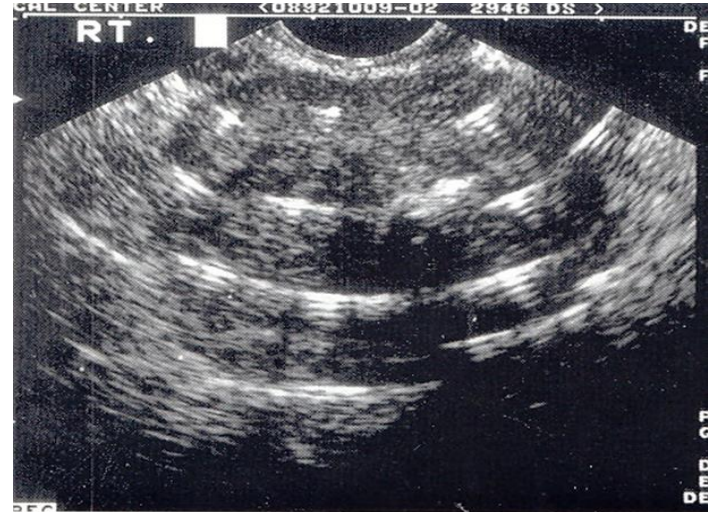
Pd- 103 90 Gy minimum perifer dozu

veya

HDR Ir-192 ile 3x600 cGy

Prostat Brakiterapisi -HDR

- ▶ Tedavi kararının verilmesi
- ▶ Volüm alışması (US veya CT)
- ▶ İğnelerin yerleştirilmesi, CT filmleri
- ▶ Planlama ve ışınlama (3-4 fraksiyon)



Prostat Brakiterapisi -HDR

RTOG 0321 önerileri

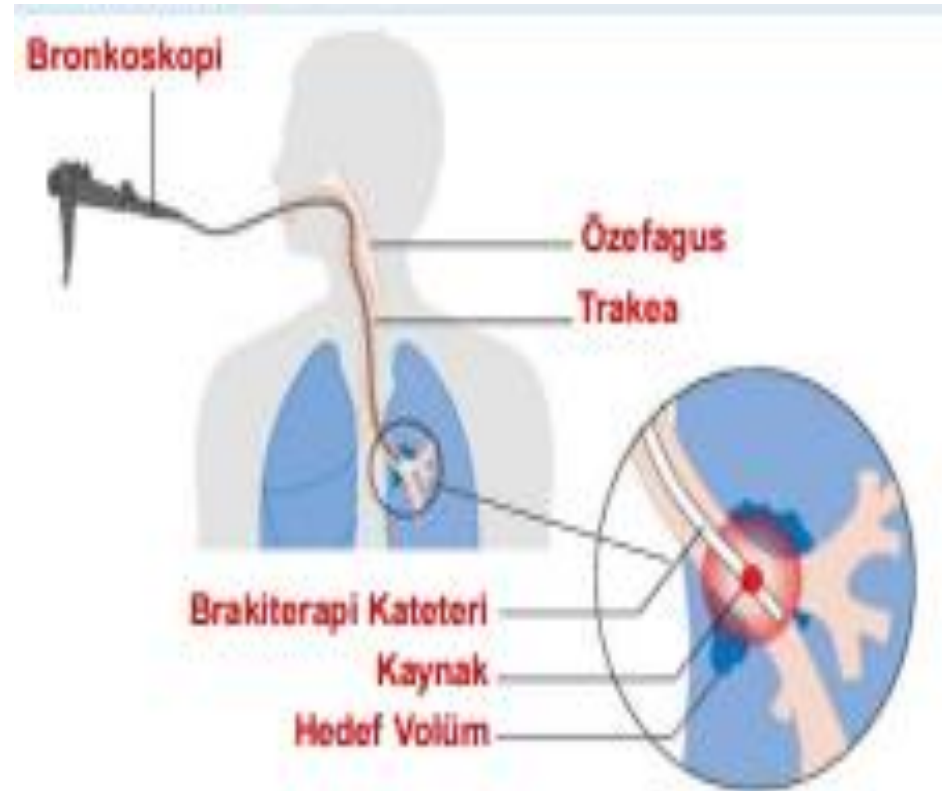
- ▶ Primer hedef hacmin ($V_{\text{prostat}} > 90\%$) en azından %90'ına reçete dozunun verilmesi,
- ▶ Rektum ve mesanenin reçete dozunun %75'ini alan hacminin 1cc'den küçük olacak şekilde sınırlandırmak, ($V_{\text{rektum}} < 75\%$ ve $V_{\text{mesane}} < 1\text{cc}$), ve
- ▶ Reçete dozunun %125'ini alan üretra hacmini 1cc'den küçük olacak şekilde sınırlandırmaktır ($V_{\text{üretra}} < 125\%$).

HDR prostat BT'si için RTOG-0321 tanımları

Prostat	$V_{100} > 90\%$ $V_{150} < 40\%$
Üretra	$V_{100} > 90\%$ $V_{120} < 1\text{cc}$ $V_{150} = 0$
Mesane	$V_{75} < 1\text{cc}$ $V_{100} = 0$
Rektum	$V_{75} < 1\text{cc}$ $V_{100} = 0$

Torasik Brakiterapi

- ▶ Bronkoskopi eşliğinde yerleştirilen kateter buruna sabitlenir.
- ▶ Kılavuz kaynaklar kateterden geçirilir. BT çekilir
- ▶ Planlama sistemine aktarılır.
- ▶ Reçetelendirme lezyonun yeri, önceki tedavi öyküsü, lezyonun boyutu gibi faktörlere bağlı olarak değişir.



Torasik Brakiterapi



BRACHYTHERAPY

Brachytherapy 15 (2016) 1–11

Lung Cancer

American Brachytherapy Society consensus guidelines for thoracic brachytherapy for lung cancer

A. Stewart^{1,2,*}, B. Parashar³, M. Patel⁴, D. O'Farrell⁵, M. Biagioli⁶, P. Devlin⁵, S. Mutyala⁷

¹*St Luke's Cancer Centre, Royal Surrey County Hospital, Guildford, UK*

²*University of Surrey, Guildford, UK*

³*Department of Stich Radiation Oncology, Weill Cornell Medical College, New York, NY*

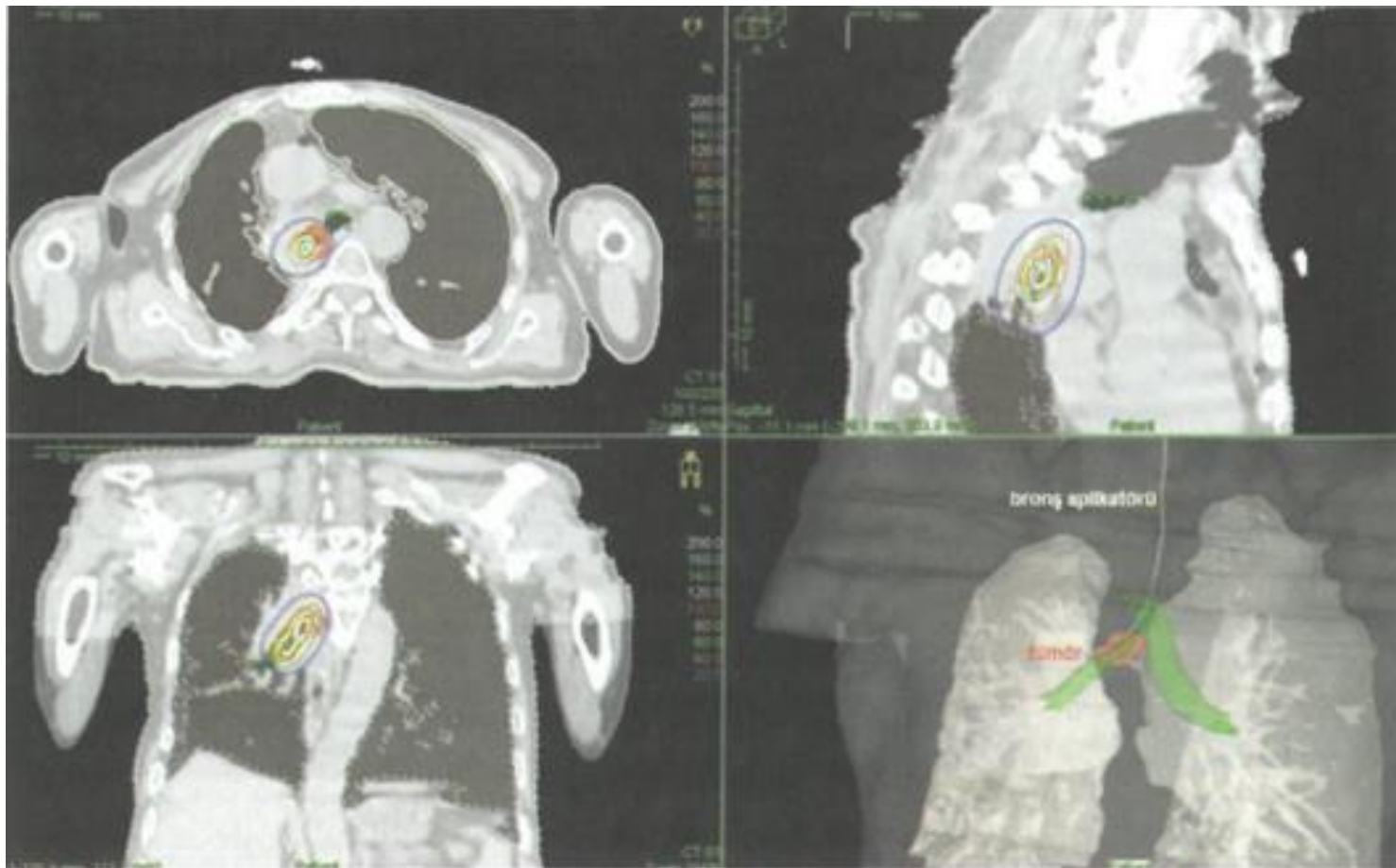
⁴*Department of Radiation Oncology, Baylor Scott and White Health, Temple, TX*

⁵*Dana Faber Cancer Centre, Brigham and Women's Hospital, Harvard Medical School, Boston, MA*

⁶*Florida Hospital Cancer Institute, Department of Radiation Oncology, H.Lee Moffitt Cancer Center, Tampa, FL*

⁷*Department of Radiation Medicine, St. Joseph's Hospital and Medical Center, University of Arizona Cancer Center at Dignity Health, Phoenix, AZ*

Torasik Brakiterapi



Cilt Brakiterapisi

- ▶ Leipzig ve Valencia aplikatörleri cilt brakiterapisi uygulamalarının en basit yoludur.
- ▶ Çapı 3 cm'den küçük cilt lezyonlarında kullanılır.

