

STEREOTAKTİK RADYOCERRAHİ

- ◆ RT'nin tedavi edici özelliği, normal doku toleransları nedeni ile sınırlı kalmaktadır,
- ◆ 3DCRT ve IMRT ile en uygun tedavi amaçlanmakta,
- ◆ SRS ve SRT ile bu sınırlamaları aşmak için geliştirilmiş etkin RT tekniğidir.

Tanım Radyasyon tedavisinin, girişim olmadan cerrahinin avantajlarını taşıyan gelişmiş ve modernize edilmiş bir şeklidir.

Amaç, çok iyi belirlenmiş küçük hedeflere yüksek fraksiyon dozu ile tek seferde tedaviyi vermek, Normal dokularda en düşük doz sağlayabilmektir.

- ◆ Stereotaktik Radyocerrahi- Stereotactic Radiosurgery (SRS) İntrakraniyal lezyonlar için; ileri teknoloji cihazlar kullanılarak koplanar veya non-koplanar izosentrik demetlerle **tek fraksiyonda** yüksek doz verilen cerrahi olmayan (fakat cerrahi etkisi yaratan) tedavi tekniğidir.
- ◆ Eğer bu tedavi **birden çok fraksiyonda** verilirse (fraksiyone) Stereotaktik Radyoterapi (fSRT) olarak adlandırılır.

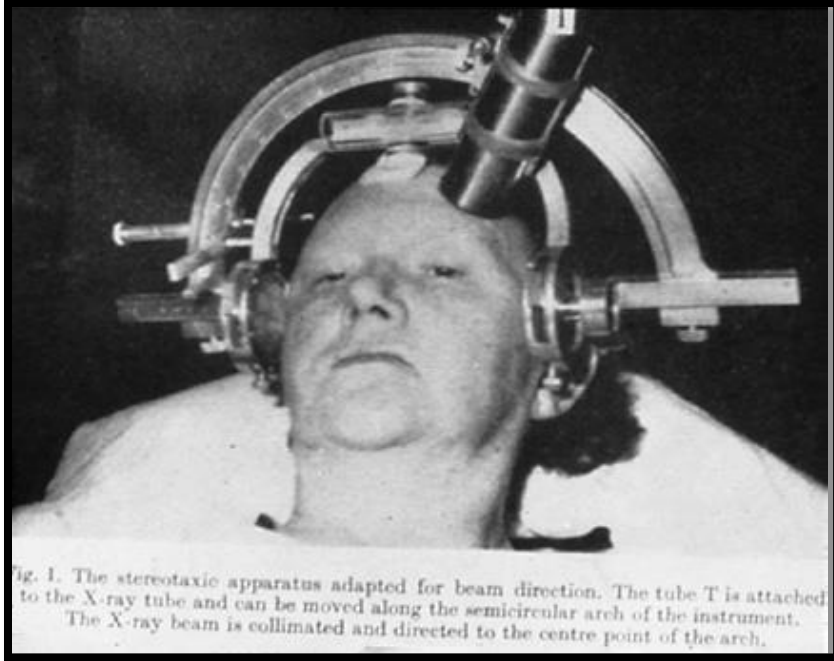
SRS Stereotaktik Radyocerrahi	(f)SRT Stereotaktik Radyoterapi
İntrakraniyal Tek fraksiyon yüksek doz	İntrakraniyal Fraksiyone (2-5 fx)

DATE	CLINICIAN OR PHYSICIST	EVENT
1895	Röntgen	Discovery of x-rays
1896	Becquerel	Discovery of radioactivity
1896	Many physicians	Diagnostic radiology begins
1896	Grubbé and Atakul	First radiation therapy
1898	Marie and Pierre Curie	Discovery of radium and polonium
1913	Coolidge	Introduction of hot filament x-ray tube
1945	Kerst	Invention of betatron
1951	Leksell	Radiosurgery named and performed
1952	Johns	Cobalt-60 teletherapy
1954	Lawrence	Treatment of patients with charged particles
1967	Leksell	First Gamma Knife used to treat patients
1970	Steiner	First AVM patients treated with Gamma Knife
1980	Fabrikant	Helium ions used to treat patients
1982	Barcia-Solario	Cobalt-60 teletherapy radiosurgery
1982	Betti, Derechinsky	Linac modified for radiosurgery
1985	Winston, Lutz	SRS program at Joint Center, Boston
1987	Lunsford, Flickinger, Wu	First commercial Gamma Knife Model U at University of Pittsburgh
1997	De Salles, Solberg, Selch	First Novalis installed at UCLA Med Center

- ◆ Stereotaktik metodun radyasyon onk ile ilk buluşmasını 1951 yılında İsveçli beyin cerrahı Lars Leksell gerçekleştirmiştir.
- ◆ 1967 yılında Leksell ve ark. 179 Co-60 kaynağı ile Gammaknife cihazı dizayn etmiş ve ilk tedavi aynı yıl yapılmıştır.
- ◆ 1980'li yıllarda özellikle CT kullanımının devreye girmesi ile lezyonların lokalizasyonu ve ışının hedeflemesinde önemli kolaylık sağlanmış böylece Linaklarda mekanik belirsizlikler oldukça azalmıştır.

İlk linak SRS uygulamaları 1992'de olmuştur. 1994'te ekstrakraniyal bölgelerde SRS'in Stereotaktik frame olmadan kullanılabilme imkanı ve fraksiyone tedavinin olasılığı üzerine araştırmalar yapan Dr Adler Cyberknife cihazını geliştirmiştir.

- ◆ 1970: İlk AVM Gamma Knife cihazında tedavi edildi
- ◆ 1982: Modifiye LINAC radyocerrahisi, Paris ve Vicenza'da
- ◆ 1987: İlk 201 Cobalt-60 kaynaklı Gamma Knife ABD; Pittsburgh'ta kullanıldı
- ◆ 1992: Varian, Clinac 600 SR (SRS için) cihazını kurdu
- ◆ 1994: Dr. Adler tarafından Cyberknife cihazı geliştirildi
- ◆ 1999: Gamma Knife Model C geliştirildi
- ◆ 2007: 192 adet Cobalt-60 kaynaklı Leksell Gamma Knife Perfexion kuruldu.



SRS ile tedavi edilen ilk hasta, TN, 1951,by Leksell



◆Günümüzde;

- Novalis (Brainlab)
- Tomoterapi, Cyberknife (Accuray)
- X Knife (Radionics)
- Versa HD, Harmony (Elekta)
- Trilogy, VitalBeam, Trubeam, Halcyon (Varian)

◆gibi birçok ticari cihaz ile SRS ve SRT tedavileri yapılmaktadır.

- ◆ **SRS tekniğinde temel prensip fraksiyon başına yüksek radyasyon dozları kullanmaktır. Bu nedenle tümörü lokalize etmek ve immobilizasyon, konvansiyonel tedavilere göre çok daha fazla önemlidir.** Hedefin lokalize edildiği ve iyi bir immobilizasyon sağlandığı için bu tedavilerde verilen marjlar klasik tedavilere oranla düşüktür. Ayrıca yüksek fraksiyon dozuna bağlı mutlaka hedef sonrası keskin doz düşüşü hedeflenmektedir. Hedef içi heterojenite konvansiyonel tedaviler kadar önemsenmemekte bilakis birçok durumda tercih edilir. SRS ile seçilmiş hasta gruplarında ikincil ışınlamalara olanak verir.

Kullanılan Tedavi Cihazları

◆ Gamma-Işını Tabanlı

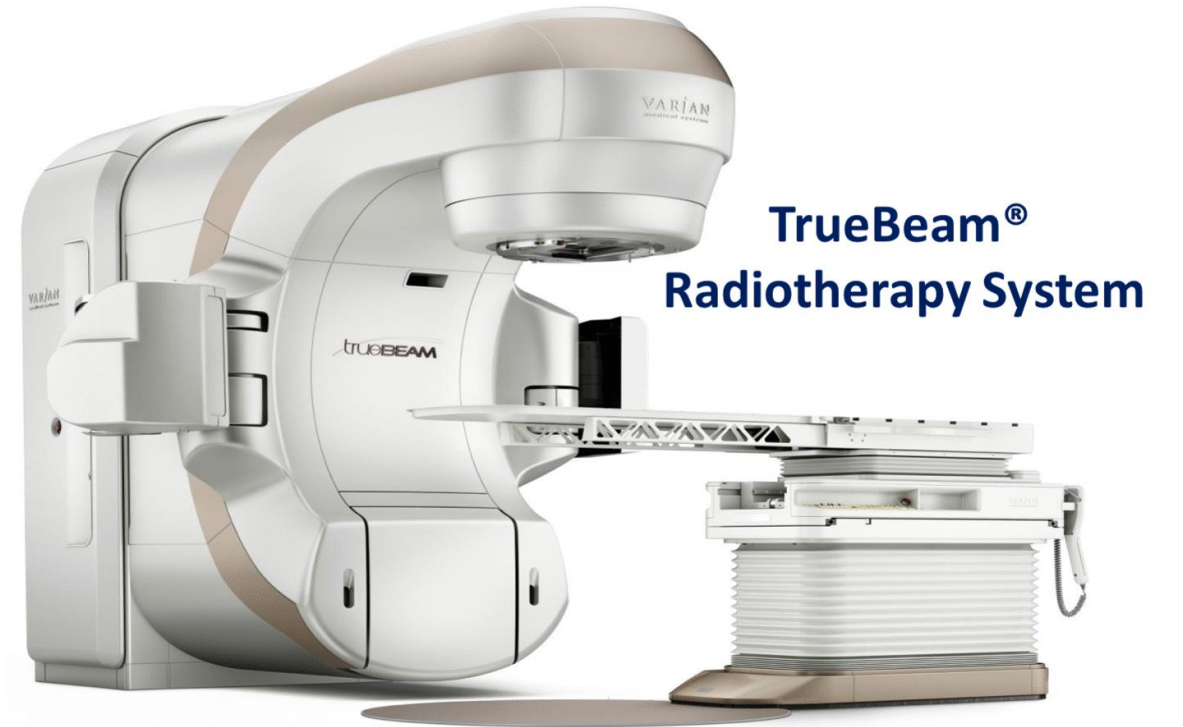
- Leksell Gamma Knife
 - ◆ Models U, B, and C/4C
 - ◆ Knife Perfexion
 - ◆ Icon
- MRIdian - VIEWRAY

◆ Linear Accelerator Tabanlı

- Varian (Trilogy, VitalBeam, TrueBeam, Halcyon)
- Elekta (Versa HD, Harmony, Infinity)
- Accuray (CyberKnife, Tomoterapi)
- BrainLab (Vero)

◆ Parçacık (Proton) Tabanlı

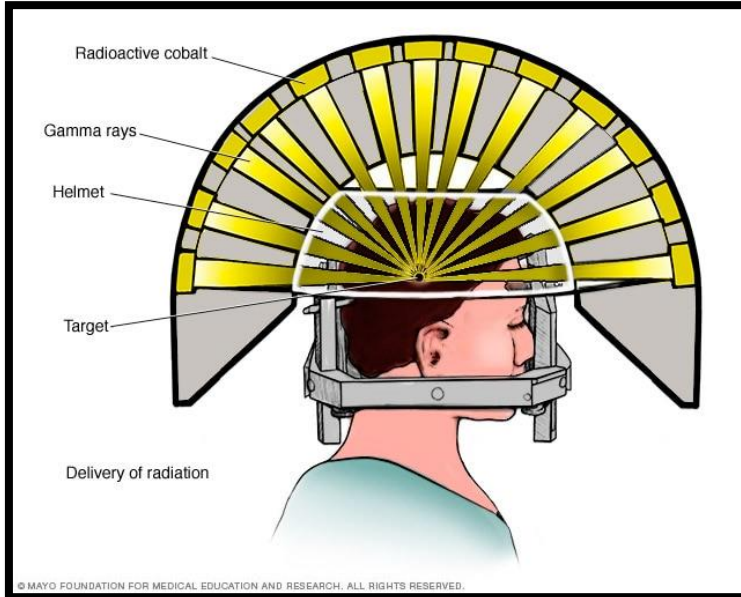
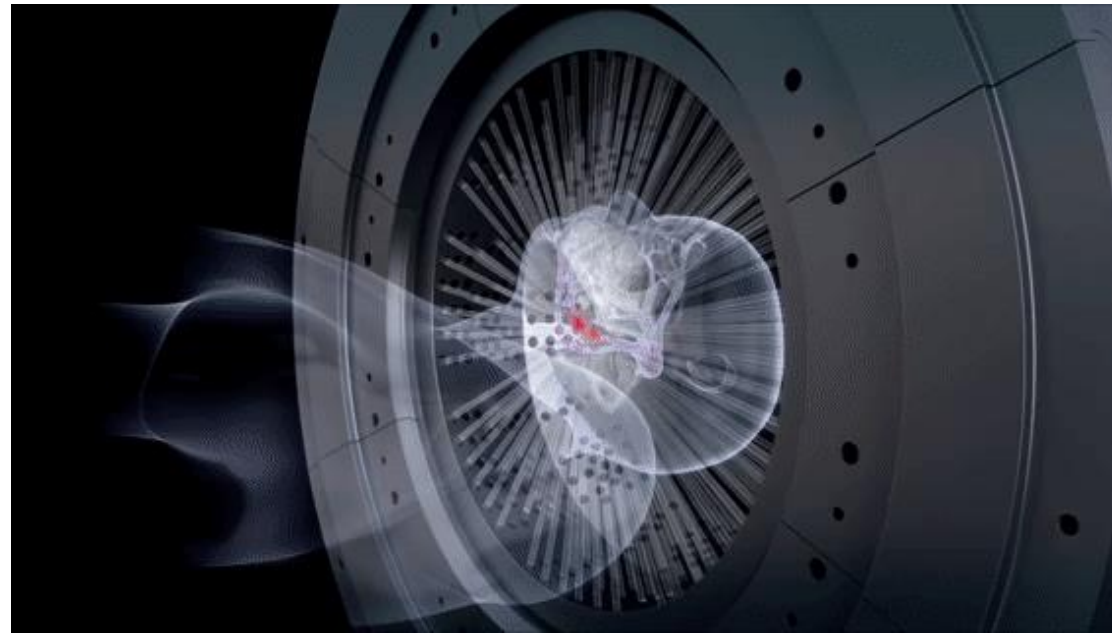
- Varian (ProBeam)
- Mevion S250 Series
- IBA (Proteus®ONE, Proteus®PLUS)



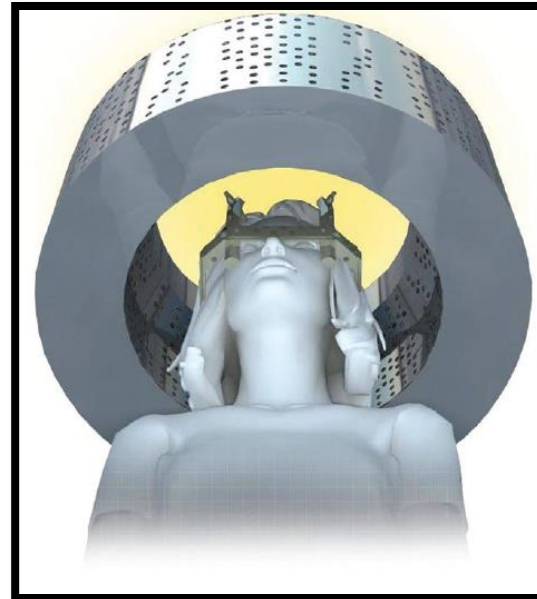
Gamma Işını Tabanlı-GammaKnife

- ◆ Gama ışını tabanlı sistemler, SRS için klinik olarak mevcut en eski makinelerden biridir. Leksell Gamma Knife (LGK) olarak bilinirler;
- ◆ Sadece intrakraniyal SRS için kullanılırlar ve radyasyon kaynağı olarak kobalt-60 (Co-60) kullanırlar.
- ◆ Co-60'ın yarılanma ömrü 5.26 yıldır ve bozunma sırasında tedavi için kullanılan iki gama ışını (1.17 ve 1.33 MeV) yayar.
- ◆ Bu, 1.25 MeV'lik ortalama ışın enerjisi ile sonuçlanır. Genel gamma knife cihazları, tasarımların özellikleri modele göre değişiklik gösterse de, büyük ölçüde aynıdır.

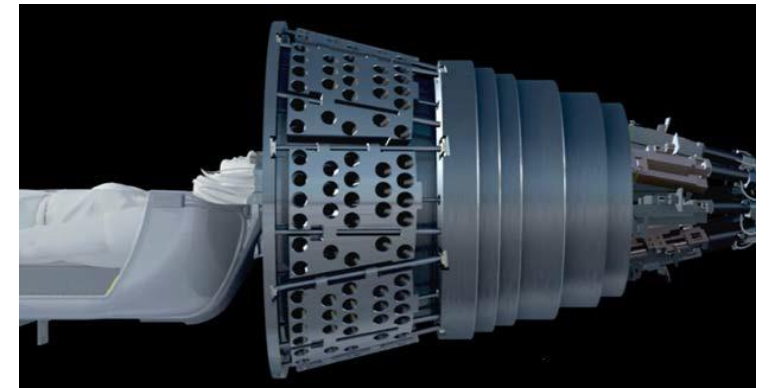
Yapısı temel olarak hemisferik düzlemde yarı küresel yapıya yerleştirilmiş, 201 adet Co-60 kaynağından meydana gelmektedir. Eski modeller yeniden dizayn edilerek dairesel (Ring) konfigürasyona dönüştürülmüş 192 Co-60 kaynağından oluşturulmuştur.



U-A modelleri



B, C ve 4C modelleri



Perfexion model



1968, Model S



1987, Model U



1988, Model B



1999, Model C



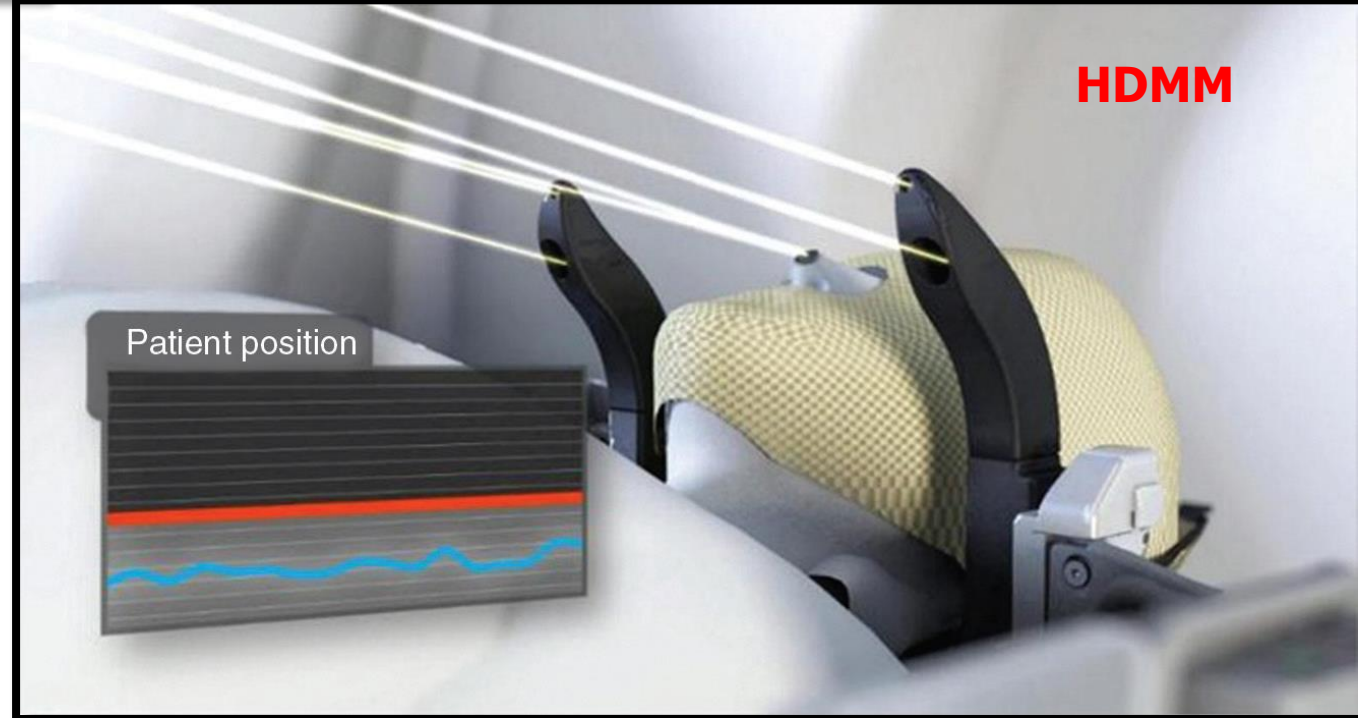
2006, Perfexion



2017, Icon

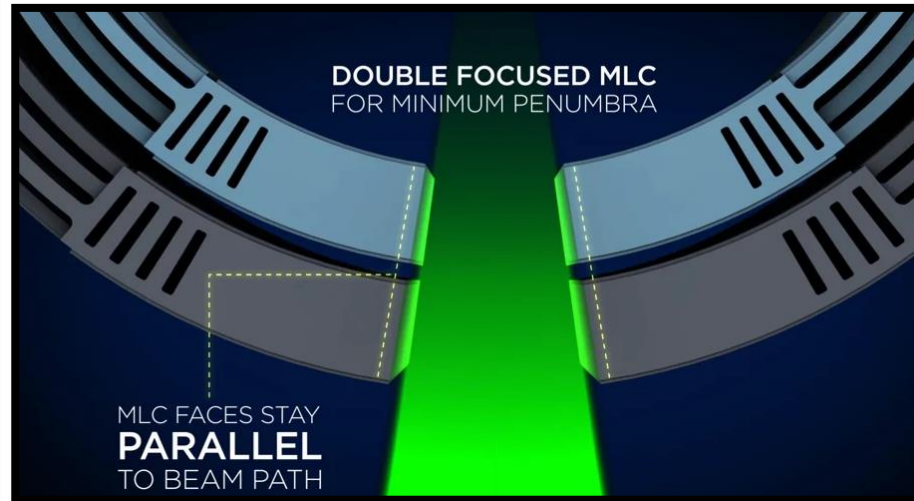
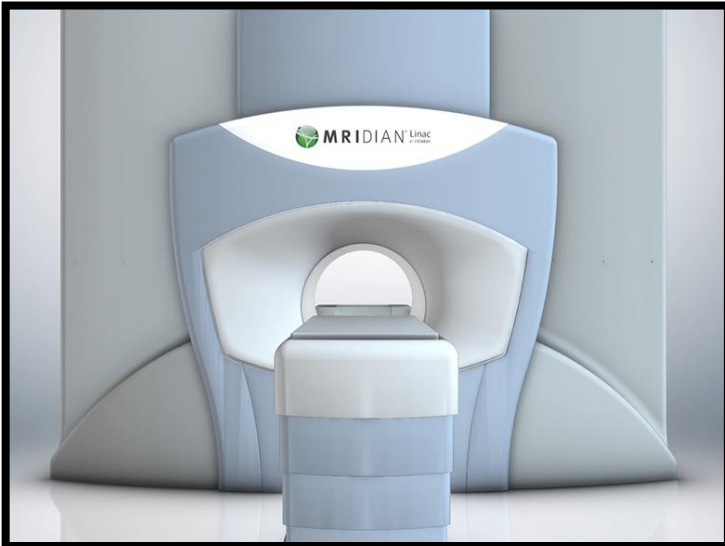
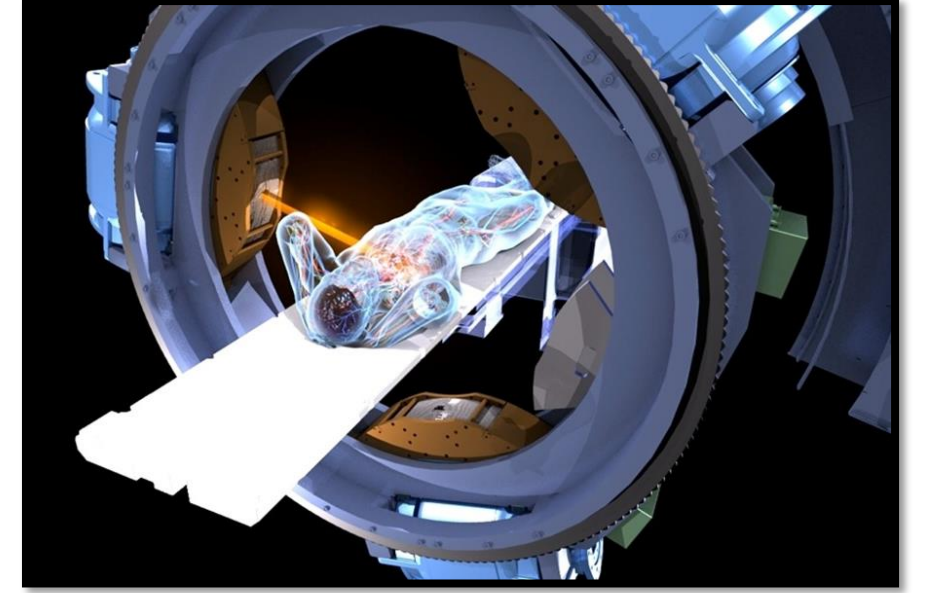


- Yeni sistemde yerleşik görüntüleme ve izleme araçları vardır; fraksiyone tedaviler için kullanılabilir.
- Frame'li veya frame'siz (termoplastik maske ile) kullanılabilir.
- CBCT entegre edildi.
- Görüntüleme ve tedavi boyunca hasta, IFMM'yi içeren kızılötesi (IR) sistem tarafından izlenir.
- 192 Co-60 kaynağı, 8 sektör, her sektörde 24 kaynak
- 4-8-16 mm'lik 3 kolimatör, her sektörde toplam $24 \times 3 = 72$ kolimatör



Gamma-Ray Tabanlı-MRIdian

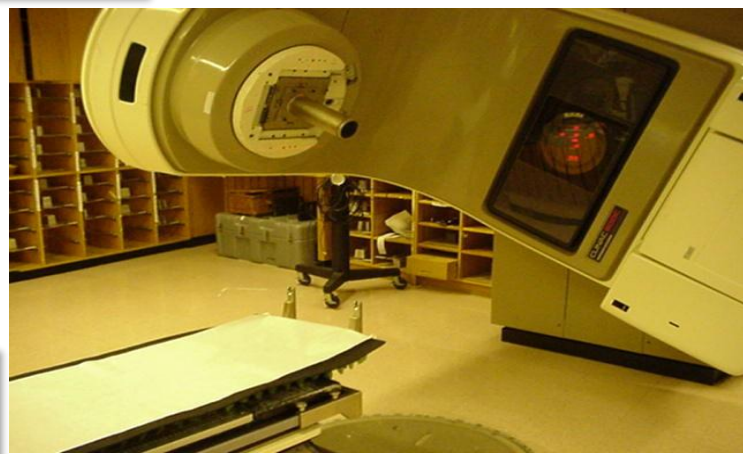
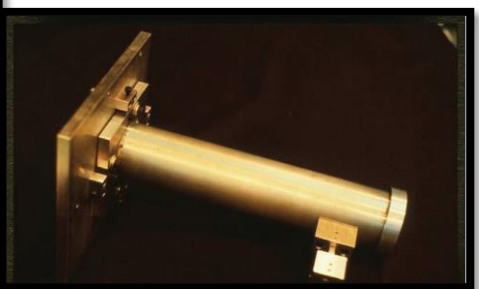
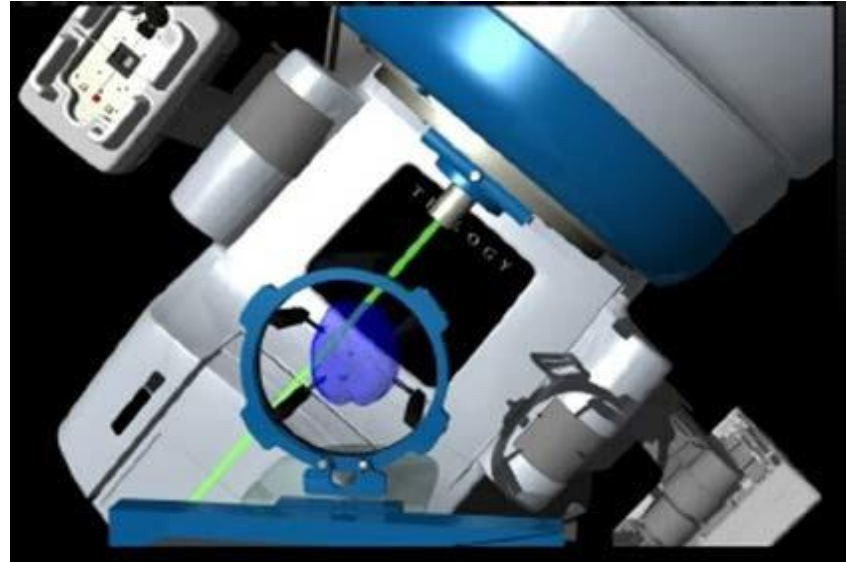
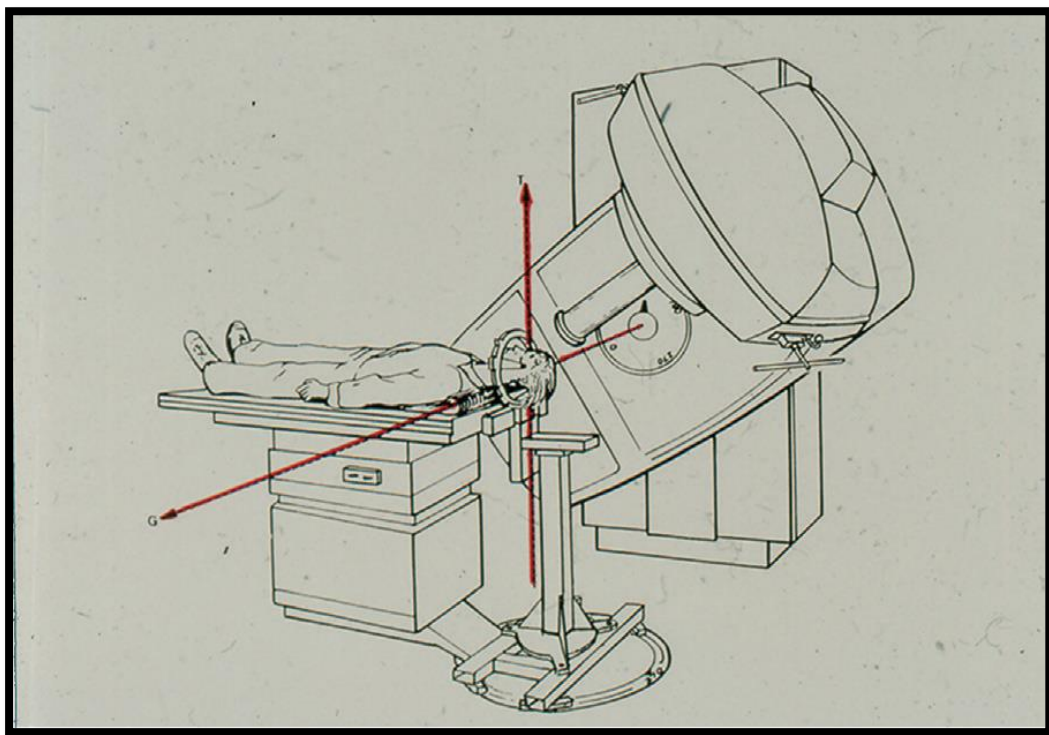
- Sistem, MR ve Co-60 radyoterapi cihazını birleştirmiş 120° aralıkla gantriye yerleştirilmiş Co-60 kaynaklı 3 kolimatör kafası
- Gantri aksiyel düzlemde dönebiliyor, Kolimatörler dönmüyor.
- Kolimatör 'double-focused MLC' sistemi içeriyor (30 çift lif)
- Tedavi süresince sistem saniyede 4 frame ile (yeni sistemlerde 16) sagittal düzlemde görüntüleme sağlıyor.



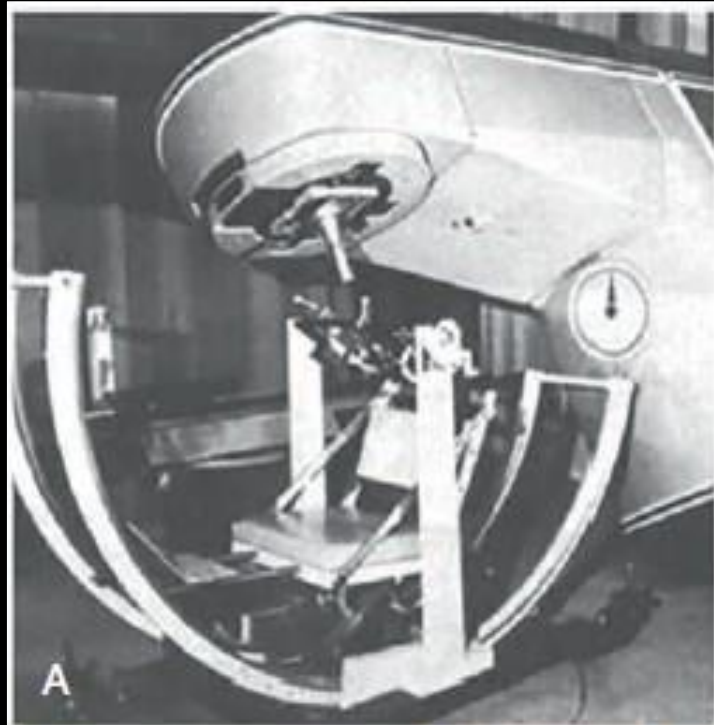
***Manyetik Rezonans kılavuzlu Radyasyon Terapisi (MRgRT), MR görüntülemeyi hasta setup'ı ve tedavi uygulamasıyla birleştiren yeni bir gelişmedir. Dünyada klinik olarak kullanılabilen ilk MR kılavuzluğunda radyoterapi cihazıdır (MR-IGRT) MR görüntülemenin dahil edilmesi, üstün yumuşak doku kontrastı ile tedavi sırasında sürekli, iyonlaştırıcı olmayan görüntülemeye izin verir.

Linear Accelerator Tabanlı

- ◆ Linak tabanlı SRS ilk olarak 1984 yılında Betti ve ekibi tarafından gerçekleştirildi.
- ◆ Winston ve Lutz, 1987'de nörocerrahi hastalarını tedavi etmek için Linakları modifiye ettiler.
- ◆ Frame veya frame'siz uygulama yapılabilmektedir.
- ◆ Çerçeve kullanılmayan uygulamalarda özellikle son yıllarda fSRT uygulamalarının daha popüler hale gelmesi ve tedavide takip sistemlerinin gelişimiyle (IGRT) termoplastik maske sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır



- ◆ Linak tabanlı Radyocerrahi uygulamaları için klasik linak aksesuarlarından farklı diğer ek aksesuarlara ihtiyaç vardır. İnvazif uygulamalarda tıpkı gama knife gibi cihaza uygun çerçeveler vardır..
- ◆ Düzleştirici filtre olmayan ışınların varlığı, 6D couch düzeltmelerinin yapılabilmesi, gelişmiş IGRT yöntemleri ile günümüzde linak tabanlı RC oldukça kolay uygulanabilen bir yöntem haline gelmiş ve tedavi süreleri dakikalar seviyesine gerilemiştir.



Linear Accelerator Tabanlı-Varian

- ◆ 6,10 ve 15 MV
- ◆ 6MV ve 10MV FFF foton
- ◆ Yüksek doz hızı (2400 MU/dk.)
- ◆ HD-MLC (120 lif, izosentir'da 0,25 mm-0,5 mm)
- ◆ Jaw Tracking
- ◆ IMRT, IMAT, VMAT
- ◆ 6D Couch
- ◆ 2D-3D kV-kV, kV-MV eşleştirme
- ◆ CBCT-RPM (Real Time Position Management)
- ◆ Intra ve ekstakraniyal SRS-SBRT
 - En büyük üreticilerden ikisi olan Varian ve Elekta, lineer hızlandırıcıları için benzer sistem konfigürasyonlarına sahipti
 - Her ikisi de SRS / SBRT için ortak olan 6 ve 10 MV ışın enerjileri sunar.



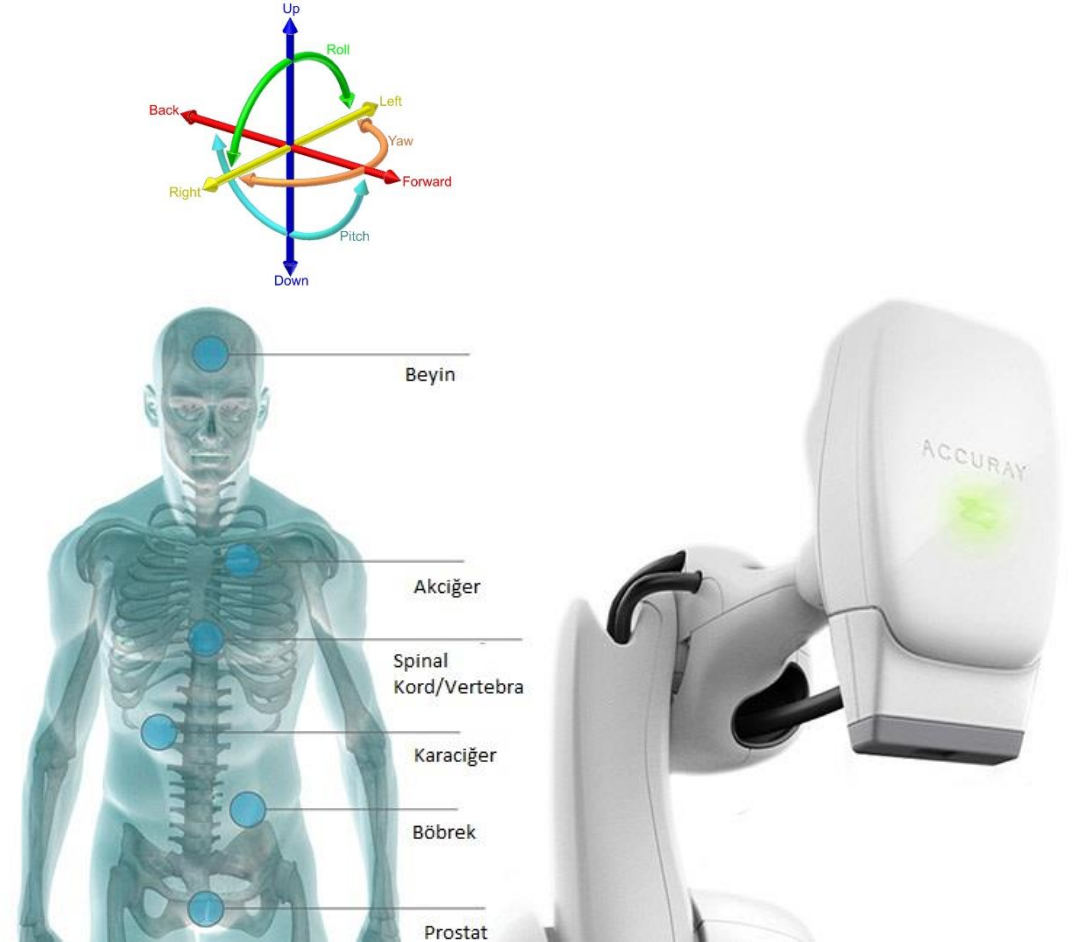
Linear Accelerator Tabanlı-Elekta

- ◆ 6 ve 10 MV FFF foton enerjileri
- ◆ Yüksek doz hızı (2200MU/dak)
- ◆ Agility MLC – 160 yaprak (Lif kalınlığı 0.5 cm)
- ◆ VMAT, IMRT
- ◆ 6D Tedavi masası
- ◆ CBCT
- ◆ Intra ve ekstakraniyal SRS-SBRT



Linear Accelerator Tabanlı-Robotik-Cyberknife

- ◆ Robotik tabanlı RC uygulamaları genellikle Cyberknife cihazı ile yapılmaktadır.
- ◆ CyberKnife sistemi, standart linaktan farklı olarak 6 DOF'a (degrees of freedom) sahip bir robotik kol üzerine monte edilen ve izosentrik olmayan tedavileri gerçekleştirmek için çok çeşitli yönlerde hareket edebilen bir linaktır.
- ◆ Bu makine 1.200 farklı yönden (non-isocentric node) radyasyon verebilir (G4 ve M6 modellerinde 1.600'den fazla) ve sonuç olarak, doz homojenliğinden ödün vermeden yüksek düzeyde uyumlu doz dağılımları elde edebilir.
- ◆ Gelişmiş IGRT ile hasta hareketi ve tümör takibi

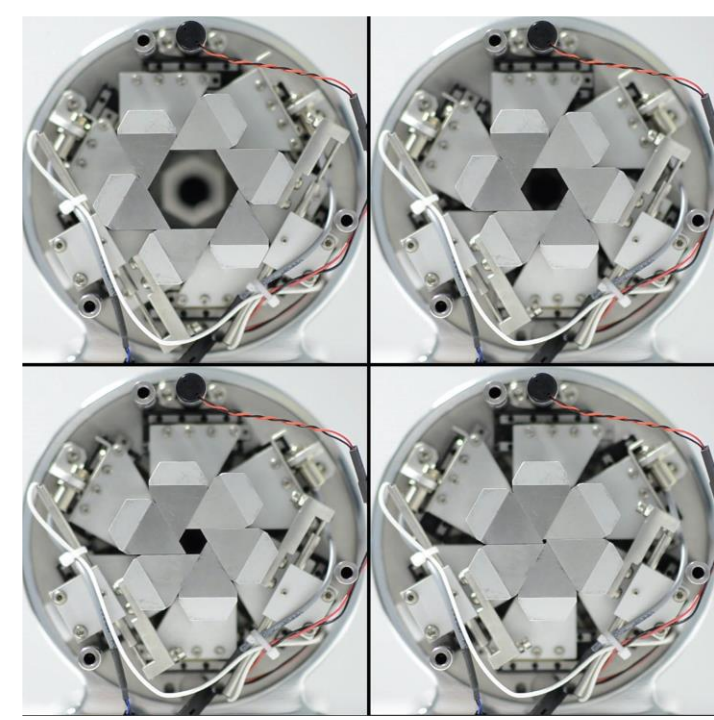


- ◆ 6 MV (FFF) X ışını
- ◆ 6 eksenli robot
- ◆ 3 farklı kolimatör
- ◆ Fix, Iris ve MLC 3 çeşit kolimatör
- ◆ 6D tedavi masası
- ◆ Ortogonal görüntü alma kapasitesi
- ◆ CT DRR/ Gerçek DRR karşılaştırılması

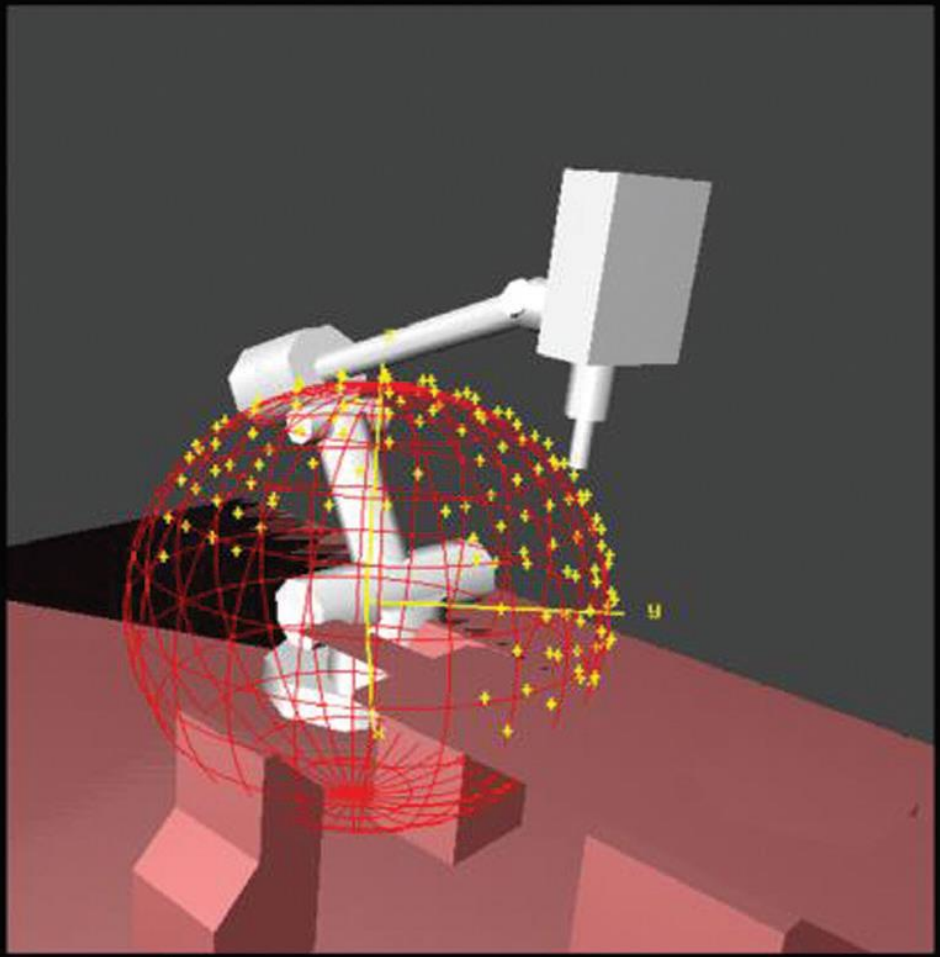


(a) CyberKnife G3 system (2002). (b) CyberKnife G4 system (2005). (c) CyberKnife VSI system (2009). (d) CyberKnife M6 system (2012).

3 farklı kolimatör çeşidi vardır.

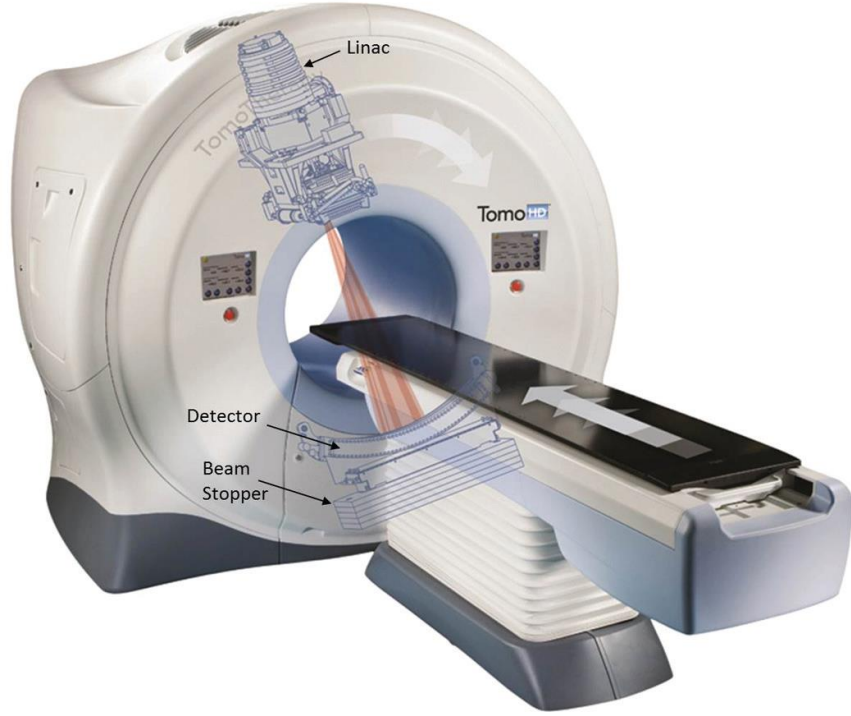


Iris collimator and InCise MLC.

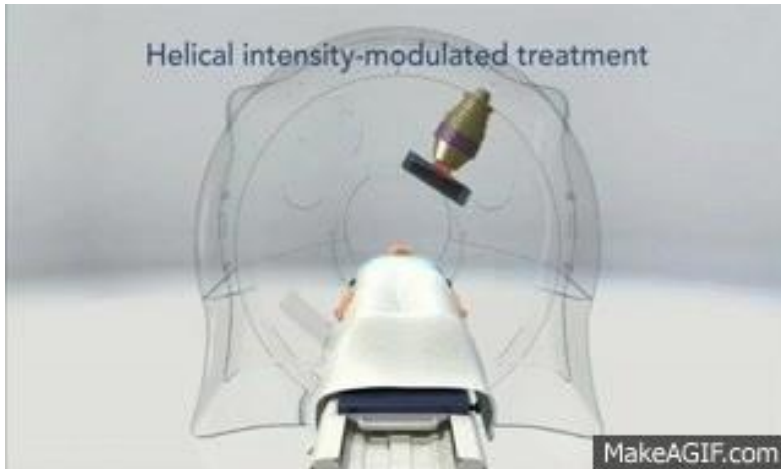


- ◆ Tedavi 3-5 fraksiyonda bitirilir.
- ◆ Set-up hassasiyeti <1 mm.
- ◆ Ablatif tümör dozlarına ulaşılabilir.
- ◆ Kritik organ dozları oldukça düşüktür.

Linear Accelerator Tabanlı-Helikali-Tomoterapi



- ◆ FFF 6-MV
- ◆ SAD tekniđi ve 85 cm'lik gantry apı
- ◆ Doz hızı dmax'ta hız 850 cGy / dk'dır.
- ◆ IGRT (MVCT)

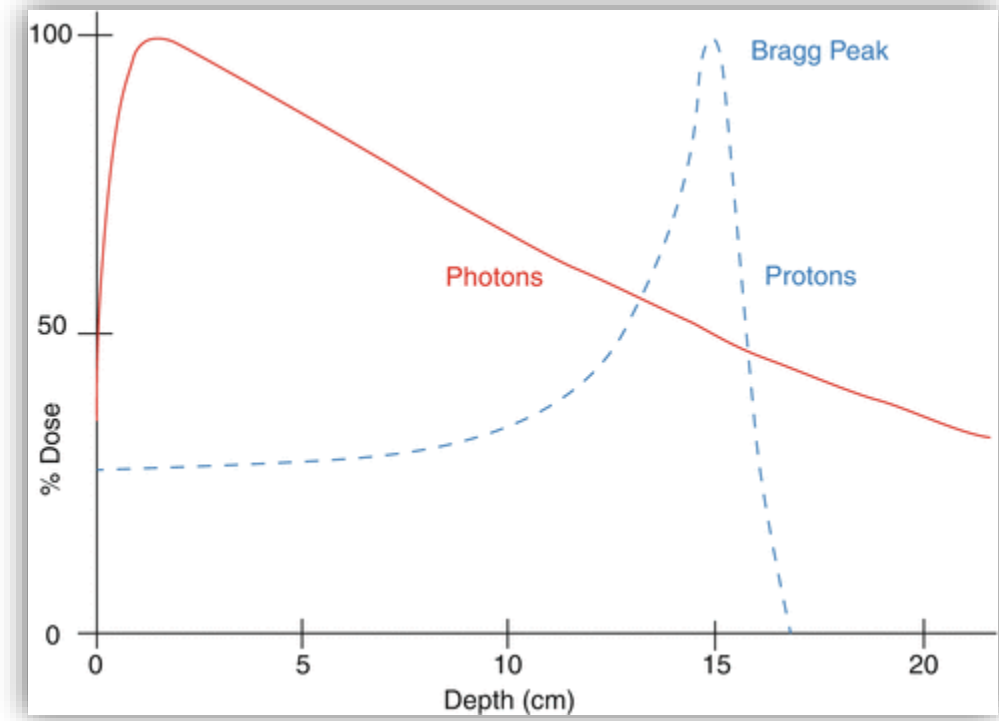


Proton Tabanlı

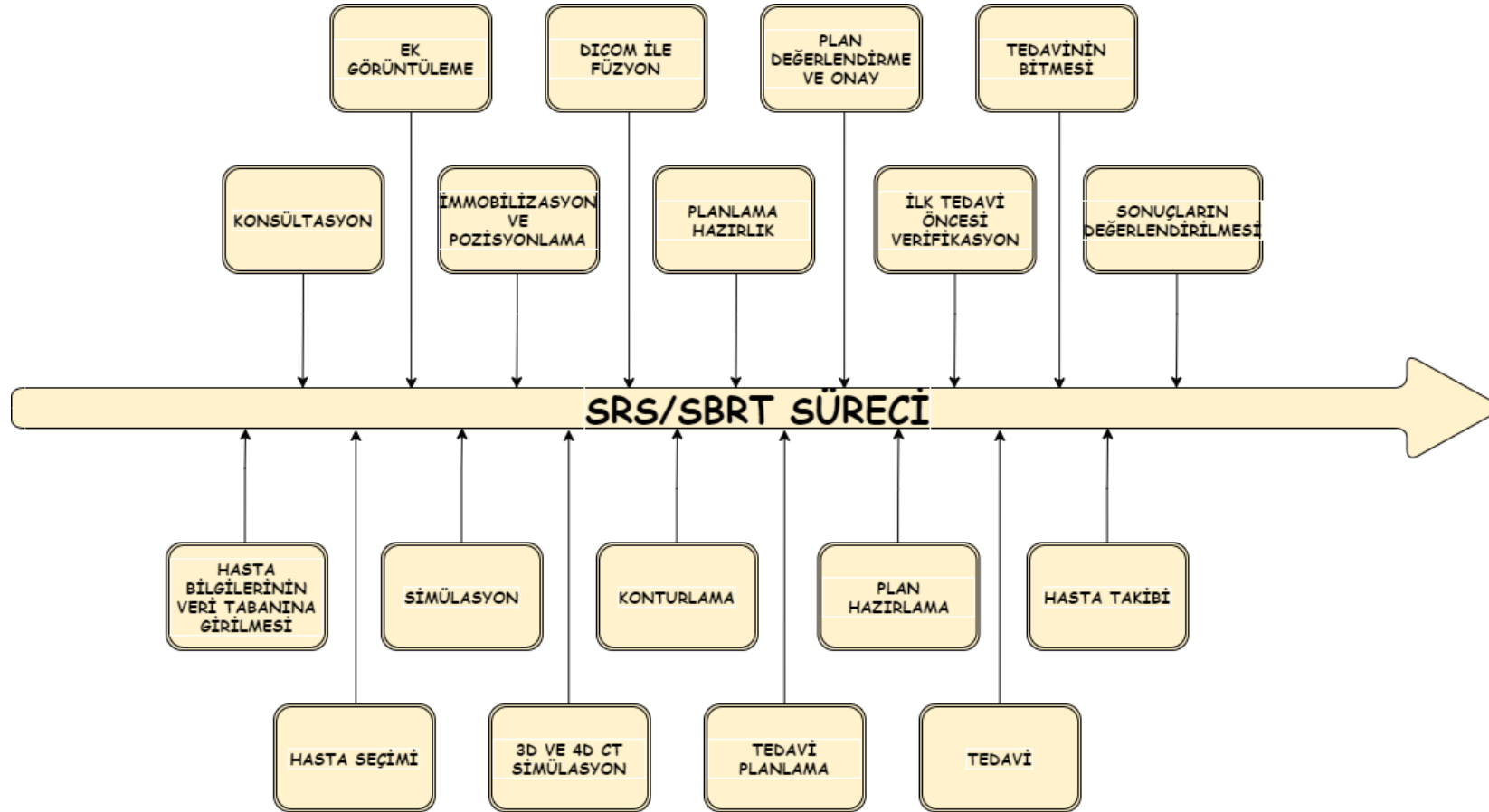
- ◆ Proton huzmelerinin malign tümör tedavisindeki ilk kullanımı 1957 de olmuştur. Bunu 1958'de ileri parkinson hastalığı için fonksiyonel nörocerrahi takip etmiştir.
- ◆ 1962 de Kjellberg intrakranyal radyocerrahi için protonu kullandı.
- ◆ 70-150 MeV proton enerji aralığı kullanır. (Radyocerrahi'de)



- ◆ PRC' nin başlıca avantajı huzme enerjisiyle ilgili bir derinlikte huzmenin durmasıdır.
- ◆ Çıkış dozunun yokluğu ve keskin huzme profili, hedefi daha düşük integral doz ile ışınlatma imkanı verir.
- ◆ Bragg piki denilen bölge, artan iyonizasyon ve buna bağlı olarak artan radyobiyolojik etki nedeniyle daha fazla hücre ölümünün meydana geldiği bölgedir.
- ◆ Fiziksel özellikleri bakımından avantajlı olmasına rağmen klinik pratiğe uygulanması sınırlıdır.



İmmobilizasyon ve Simülasyon



SRS ve SRT tedavilerindeki hassasiyeti ve doğruluğu arttırmak, işlem zincirindeki her adımın kurallara uygun yapılmasıyla mümkündür. İlk adım tümör lokalizasyonunun iyi belirlenmesidir.

İmmobilizasyon ve Simülasyon

İmmobilizasyondaki temel amaç hasta pozisyon belirsizliklerini minimize etmektir.

◆ SRS'de

- Mekanik belirsizlik
- Hedef lokalizasyon belirsizliği
- Hasta pozisyon belirsizliği olmak üzere 3 geometrik belirsizlik kaynağı vardır.

◆ **SRS ve SRT'de immobilizasyonun önemi 3DCRT'e göre daha fazladır, Çünkü;**

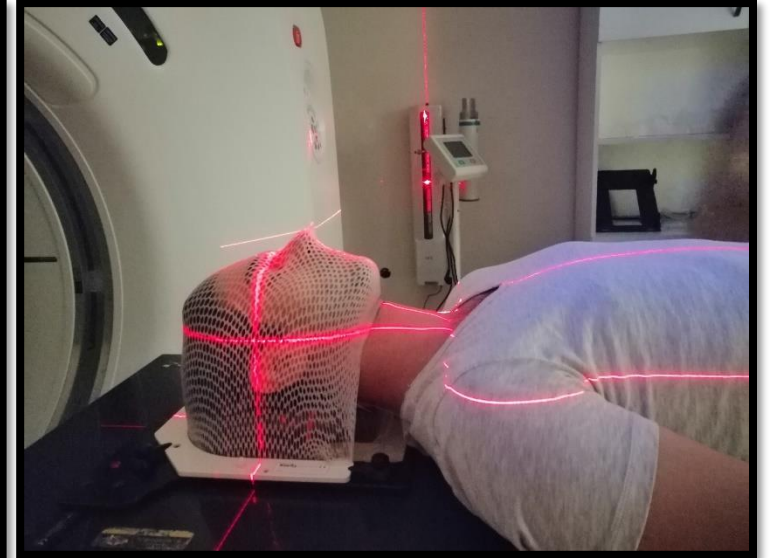
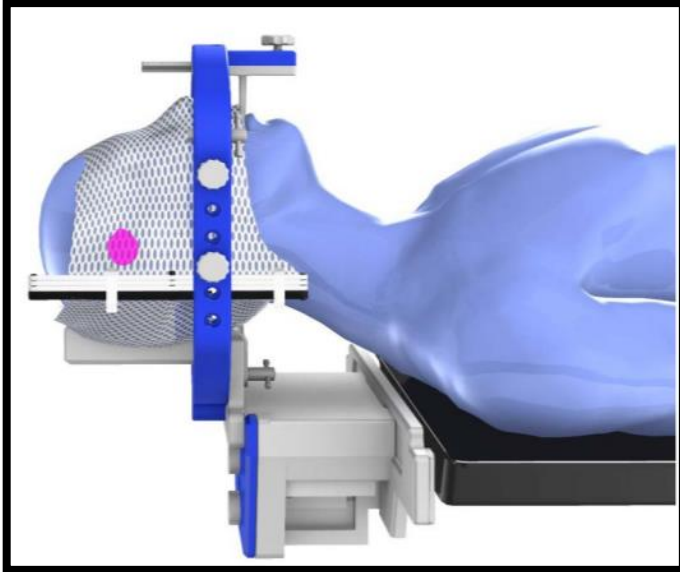
- **Kritik yapılara çok yakın yüksek doz,**
- **Tek seferde verilen yüksek dozun geri dönüşünün olmayışı,**
- **3DCRT'de kabul edilebilir setup hatalarının (Random) SRS'de sistematik hataya dönüşmesi,**
- **3DCRT'ye göre uzun tedavi süresi nedeniyle hasta hareketinin fazla olması.**

İmmobilizasyon ve Simülasyon

- ◆ İnvaziv ve non-invaziv sistemler. İnvaziv yöntem lokal anestezi yardımıyla olup rijit fiksasyon ile özel çerçevenin hastanın kafatasına sabitlenmektedir.
- ◆ İlk SRS sistemleri, neredeyse yalnızca, çerçeveye stereotaktik bir koordinat sistemi dahil eden rijit, invaziv kafatası sabitleme sistemleri kullanıyordu.
- ◆ Kranial immobilizasyonda altın standart, hastanın kafatasına yapıştırılan sert bir kafa çerçevesidir. Çerçeve tabanlı sistemler, GammaKnife ve linac tabanlı radyocerrahi için mevcuttur. Bu sistemlerle, çerçeve görüntüleme ve tedavi arasında çıkarılmazsa milimetre altı immobilizasyon kolayca elde edilebilir.



- ◆ IGRT uygulamalarının gelişimi ile birlikte çerçeveli sistemden rijit olmayan çerçevesiz sistemlere geçilmiştir.
- ◆ CT ve MRI görüntüleri yardımıyla eksternal markırlar yerine anatomik referans noktalarını kullanmak mümkün hale gelmiştir.
- ◆ Bu uygulamalarda genellikle termoplastik maske kullanılır.
- ◆ **İnvaziv forma göre hareket riski olduğundan mutlaka tedavi öncesi görüntü kılavuzluğunda setup gereklidir.**



Görüntüleme

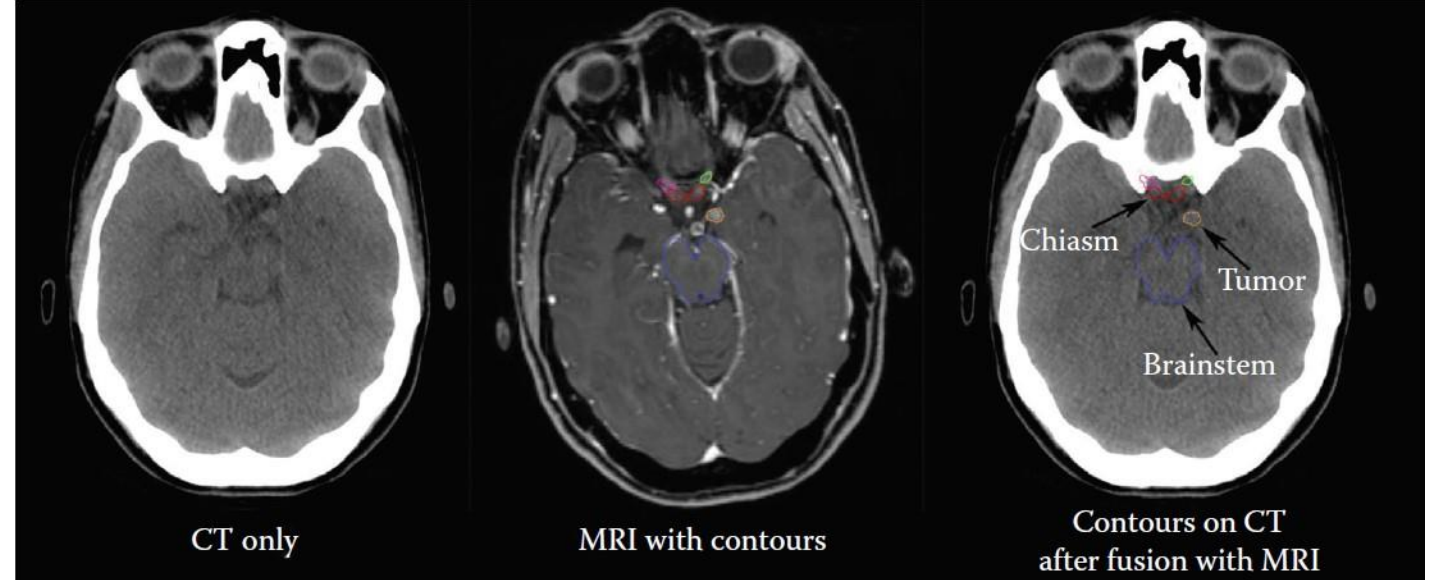
- ◆ Radyolojik görüntüleme, SRS tedavi planlama sürecinde önemli bir adımdır.
- ◆ Günümüzde RT süreci, bir hastanın anatomisi hakkında ayrıntılı bilgi ve doğru doz hesaplaması için gereken doku elektron yoğunluğu verileri hakkında ayrıntılı bilgi sağladığından, esas olarak CT tabanlıdır.
- ◆ Lezyon boyutu küçük olduğundan CT kesit kalınlığı 1mm ile 1,5 mm arasında olmalıdır.

- ◆ **MR, beyin tümörlerinin görüntülenmesi için altın standarttır ve** prostat, spinal tümörleri ve solid abdominal tümörleri dahil olmak üzere SBRT uygulamalarında giderek daha fazla kullanılmaktadır.
- ◆ T1 ağırlıklı MR görüntüleme genellikle gadolinyum kontrast ile tümörleri güçlendirmek (daha iyi yumuşak doku bilgisi) için kullanılırken, T2 ağırlıklı görüntüleme kontrastlanmayan lezyonlar için (örn., Düşük dereceli gliomlar) kullanılır. Kontrastlı T1 veya T2 ağırlıklı görüntülemenin çoklu sekansları, tamamlayıcı bilgi sağlamak için genellikle tek bir incelemede birlikte kullanılır. **Beyin SRS'si için, MRI tüm yönlerde en az 1,5 mm çözünürlüğe sahip olmalıdır.**

Farklı modaliteleri birbirleri ile füzyon yaparak hedefin lokalizasyonu belirlenir. Füzyon tüm tedavi sürecinin en kritik basamaklarından biridir.

Günümüzde özellikle hedefi belirlerken rijit veya deformable füzyon yazılımları birçok planlama sisteminde mevcuttur.

- ◆ Radyocerrahide, MR görüntüleri genellikle tümör hacmini tanımlamak için BT görüntüleriyle birleştirilir. İntrakraniyal veya omurga SRS için, rigid registration yeterli olabilir.
- ◆ Vertebra radyocerrahilerinde PET-CT sık kullanılan görüntüleme yöntemidir.



Hedef Hacim ve OAR's

◆ Hedef hacim (GTV),

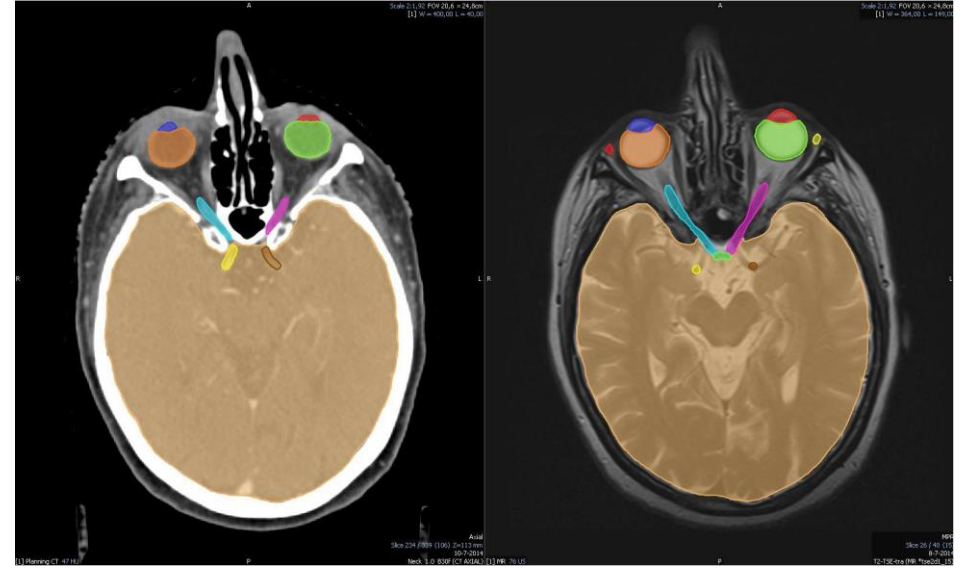
- MRI
- CT

- PET-CT, gözle görülebilen hedef hacimlerdir.

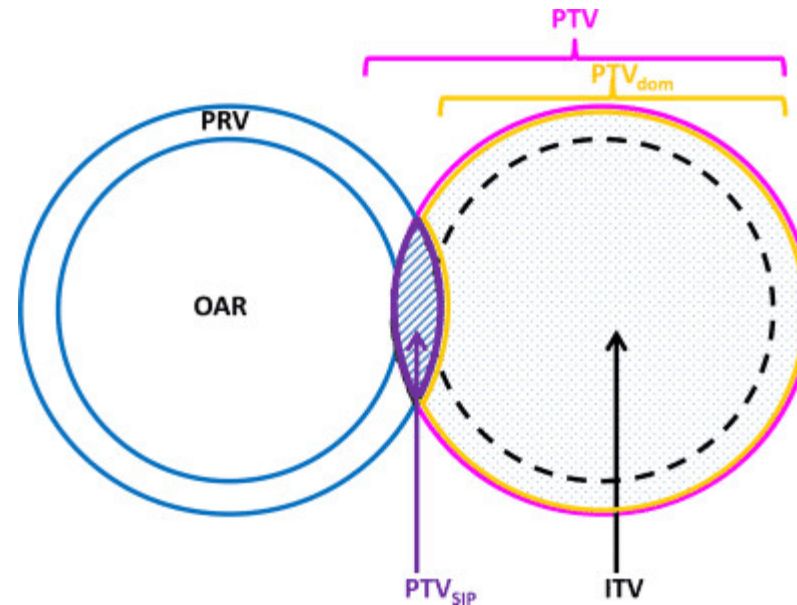
◆ SRS için ICRU 50 ve 62'de açıklanan GTV, CTV, PTV ve ITV kavramı SBRT planlaması için de geçerlidir.

◆ Bazı anatomik bölgeler, iyi tanımlanmış tümör sınırları nedeniyle GTV ve CTV'nin aynı olduğunu düşünülebilir.

◆ SRS: Kraniyal bölgelerde PTV kavramı kullanılmaz. Bu tür durumlarda planlar hedef olarak GTV veya CTV ile tasarlanır.



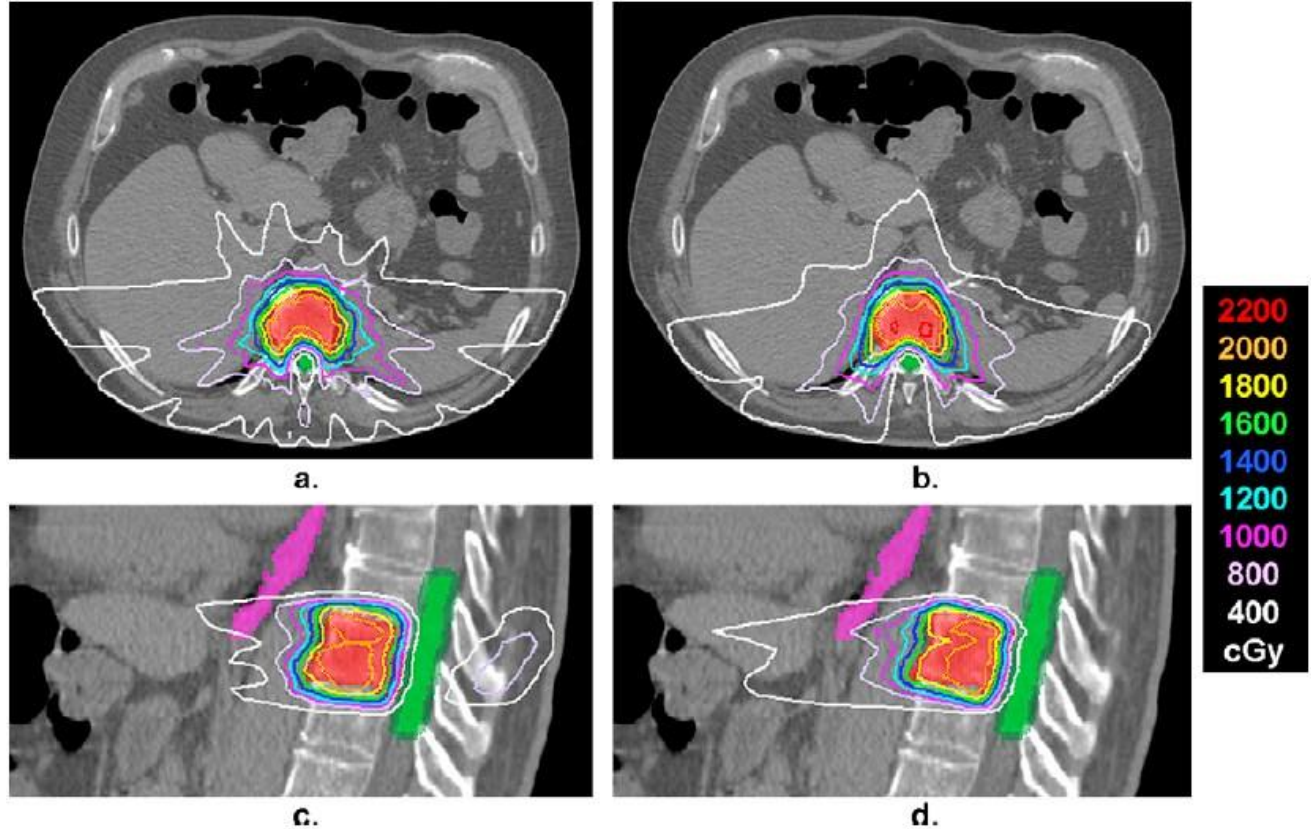
- ◆ İnternal hareket veya set-up hatası nedeniyle konumlandırmadaki belirsizlik, OAR'leri ve tümör hedef hacimlerini etkileyebilir. OAR hedefe yakınsa ve OAR'ın korunması kritik önem taşıyorsa (örneğin, omurilik, beyin sapı), OAR çevresine de bir marj dahil edilmesi ve bir PRV oluşturulması tavsiye edilir.
- ◆ "Tırtıklı" OAR konturları, dozu OAR'den uzağa götürmeyi daha zor hale getireceği için OAR'lar çizilirken özen gösterilmelidir.



Tedavi Teknikleri ve Planlama

- ◆ SRS ve SRT tedavilerinin en önemli basamaklarından birisi doz hesaplama aşamasıdır.
- ◆ Hedefin boyutu, şekli ve yerleşimine göre aynı zamanda departmanın ekip, cihaz ve yardımcı ekipman altyapısına göre farklılıklar gösterebilir.
- ◆ Günümüzde; SRS ve SBRT planları
 - 3DCRT (nadiren)
 - IMRT-YART (Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi)
 - VMAT (Hacimsel Modülasyonlu Ark Tedavi teknikleri veya bunların kombinasyonu kullanılmaktadır.

◆ Ark tedavisi: ark teknikleri, SRS / SBRT tedavileri için mükemmel bir seçimdir. Ark terapisinin kullanımı literatürde desteklenmiştir.



Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys., Vol. 77, No. 2, pp. 608-616, 2010
Copyright © 2010 Elsevier Inc.
Printed in the USA. All rights reserved.
0360-3016/\$-see front matter

doi:10.1016/j.ijrobp.2009.08.032

PHYSICS CONTRIBUTION

CLINICAL APPLICATIONS OF VOLUMETRIC MODULATED ARC THERAPY

MARTHA M. MATUSZAK, PH.D., DI YAN, D.SC., INGA GRILLS, M.D., AND ALVARO MARTINEZ, M.D.

Tedavi Teknikleri ve Planlama

- ◆ SRS tedavi planlama stratejisi klasik fizik planlama yaklaşımlarından farklılıklar göstermektedir.
- ◆ Işın dizaynı,
- ◆ Hedef sonrası keskin doz düşüşleri sağlayacak coplanar veya noncoplanar alanlar kullanılarak yapılmaktadır.
- ◆ Doz heterojenliği: hedef içinde bulunan sıcak noktalar genellikle kabul edilebilir, aynı zamanda bazı durumlar için istenen bir durumdur. Reçete dozu, tedavinin uygulanmasına ve tedavi planlama sistemlerine bağlı olarak tipik olarak maksimum dozun% 50-90'ıdır.

Normal Doku Tolerans Dozları

- ◆ Beyin nekrozu, özellikle intrakraniyal SRS için korkulan bir komplikasyondur.
- ◆ Beyin hasarı riski, toplam doz, fraksiyonasyon, fraksiyonlar arası zaman, tedavi hacmi, spesifik doz hacmi parametreleri, tedavi bölgesi, eş zamanlı sistemik tedaviler, önceki kraniyal radyoterapi ve diğer hastaya özgü faktörlerdir.

STEREOTAKTİK BEDEN RADYOTERAPİ

Stereotaktik Beden Radyoterapisi

- ◆ Kraniyal tümörler için stereotaktik radyocerrahinin başarısı nedeniyle, aynı teknik artık ekstrakraniyal tümörlere de uygulanmaktadır.
- ◆ Tedavi planlamasında devrim niteliğindeki teknolojik gelişmeler, **hareket yönetimi (Motion Management)** içeren radyoterapi uygulamaları ve yüksek derecede uyumlu tedavi planlarının doğru bir şekilde verilmesini sağlayan sisteme entegre **görüntüleme sistemleri (IGRT)** sayesinde, SBRT birçok kanser hastalığı bölgesi için giderek daha fazla kullanılmaktadır.
- ◆ SBRT=SABR=Stereotaktik Ablasyon Radyoterapi

ASTRO tanımı

- ASTRO (*American Society for Radiation Oncology*) tarafından bu radyoterapi yöntemi yüksek radyasyon dozunun bir ya da birkaç fraksiyonda vücut içindeki hedefe yüksek doğrulukla iletilmesi olarak tanımlanmıştır. AAPM tarafından yayınlanan TG101 raporu tarafından da SBRT tanımı *abdominopelvik, torakal kavitede ya da spinal/paraspinal bölgede bulunan erken evre primer kanser kitlesinin ya da oligometastazların kontrol altına alınması için yüksek Biyolojik Eşdeğer Doz (BED) değerli doz şemasına sahip tedavi yöntemi* olarak yapılmıştır.

- ◆ Yine RC'ye benzer şekilde normal doku toksisitesini en aza indirerek, yüksek dozun konformasyonu, hedefin hemen arkasında hızlı doz düşmesi SBRT'nin ana avantajlarıdır.
- ◆ SBRT uygulamaları SRC benzese de hedef hacmin kranial tümörlere göre daha karmaşık ve tedavi sırasında organ hareketi, solunum hareketi gibi belirsizliklerin olmasından dolayı klinik uygulamaları SRS'e göre daha karmaşıktır.

SBRT ile 3DCRT/IMRT arasındaki temel farklar

Karakteristik özellik	3D/IMRT	SBRT
Doz/Fraksiyon	1,8-3 Gy	5-30 Gy
Fraksiyon Sayısı	10-35	1-5
Hedef hacim	CTV/PTV	GTV/CTV/ITV/PTV
Tedavi için verilen marj	cm	mm
Kullanılan görüntüleme yöntemleri	CT	CT/MR/PET-CT/PET-MR
Hedef için yüksek uzaysal çözünürlük	Gerekli değildir	Kesinlikle gereklidir
Solunum Takibi	Gerekli değildir	Kesinlikle olmalıdır

- ◆ Literatürde, solunuma bağlı tümör hareketinin, özellikle üst / alt yönde 3 cm kadar büyük olabileceği ve büyük ölçüde tümörün konumuna ve hastaya bağlı olduğu gösterilmiştir.



Çoğunlukla hastanın nefes almasının neden olduğu intrafraksiyon organ hareketi, ya yetersiz emniyet marjları ile tümör kontrol olasılığını azaltarak ya da aşırı büyük marjlar koyarak normal doku toksisitesini artırarak toraks ve karındaki tümörler için radyasyon tedavisinin tedavi sonucunu tehlikeye atabilir.

Solunum hareketi toraks ve abdominal bölgedeki tüm tümör bölgelerini etkileyerek geçici anatomik değişikliklere neden olur. Böyle bir hareket, tümör hacmini ve konumunu bozabilir. 46

İmmobilizasyon ve Simülasyon

Ekstrakranial yapıların kompleks hareketi nedeniyle, hazırlık ve uygulamada gelişmiş immobilizasyon teknikleri kullanılır.

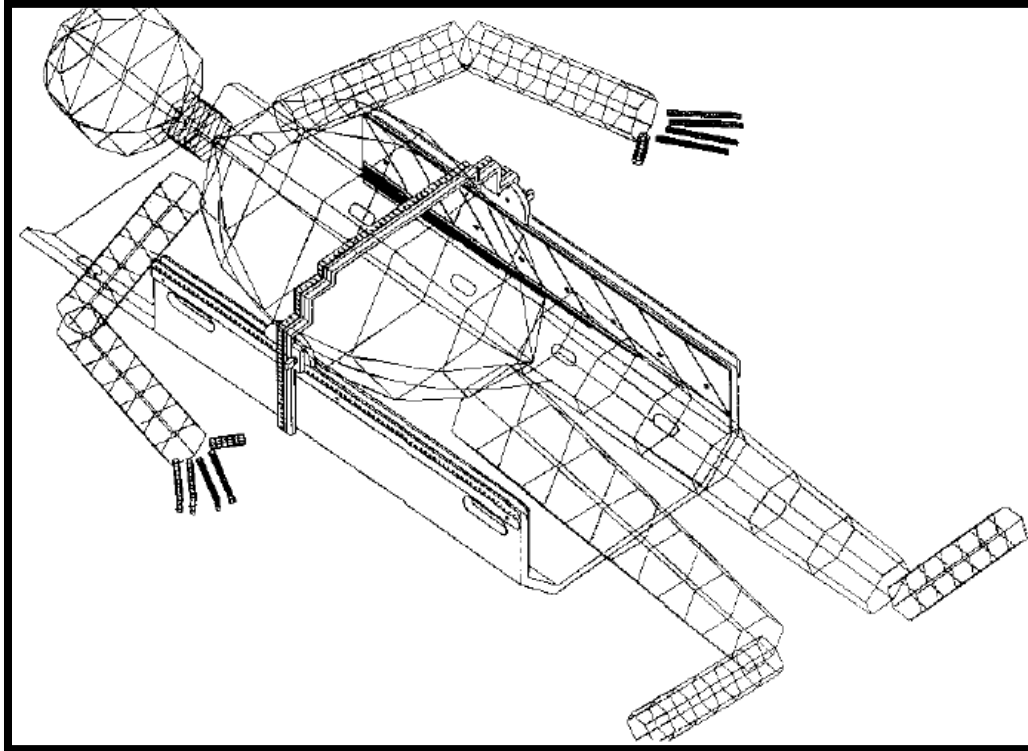
◆ Yüksek doz radyasyon verildiği için SBRT uygulamasında hedef lokalizasyonunun yüksek doğruluğu ve çevrelenen normal dokunun sınırlanması çok önemlidir.

◆ Bazı merkezler, SBRT uygulamalarında en büyük problem olan tümör lokalizasyonunun doğru olarak belirlenmesi ve radyasyon demetlerinin doğru hedeflenmesini sağlamak için vücut sabitleme sistemi geliştirmişlerdir.

Frame Based Immobilization and Localization Systems

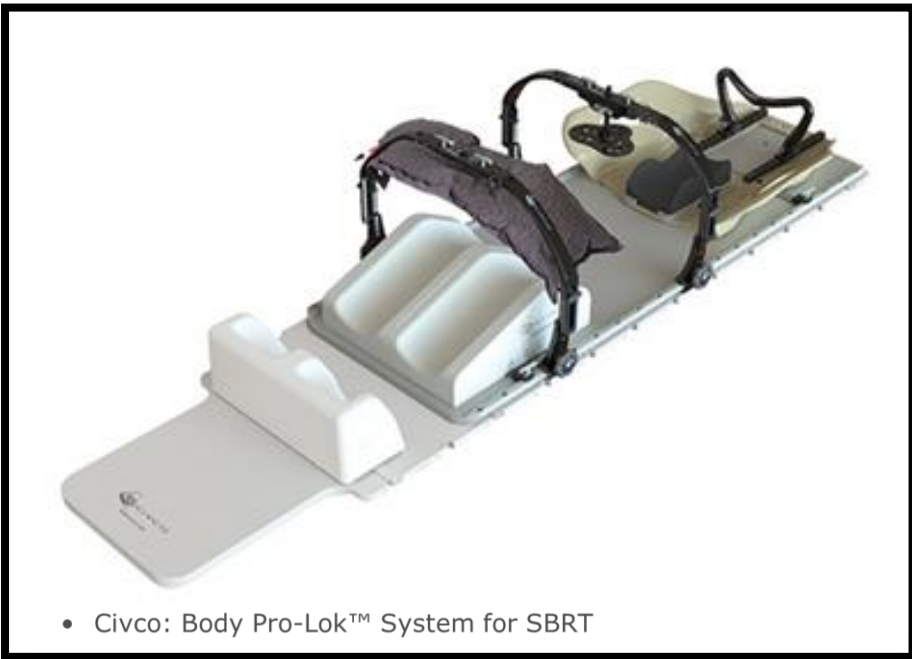
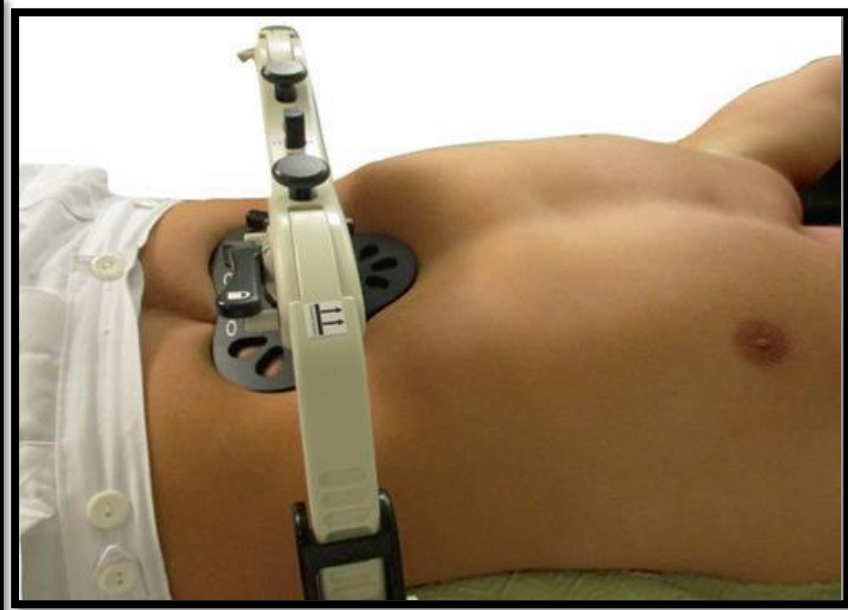
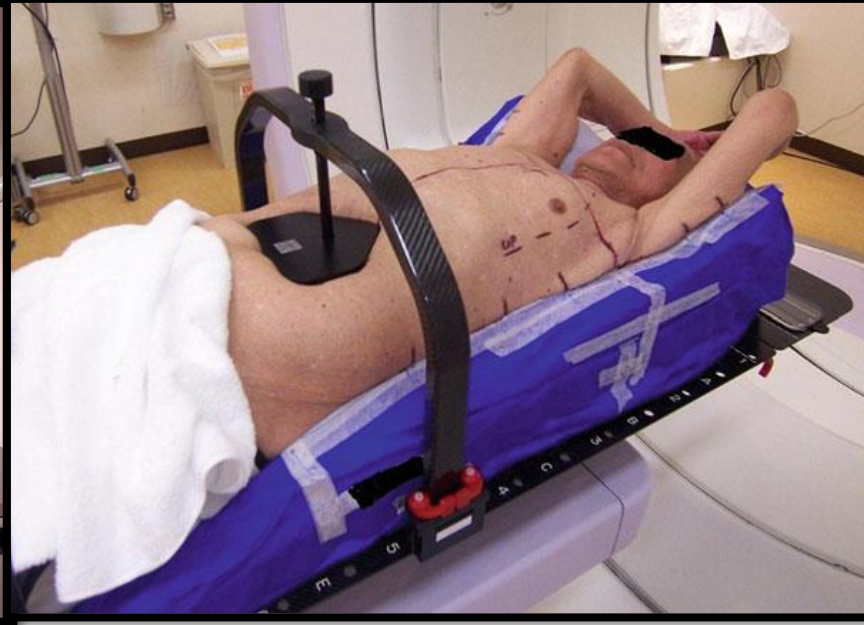
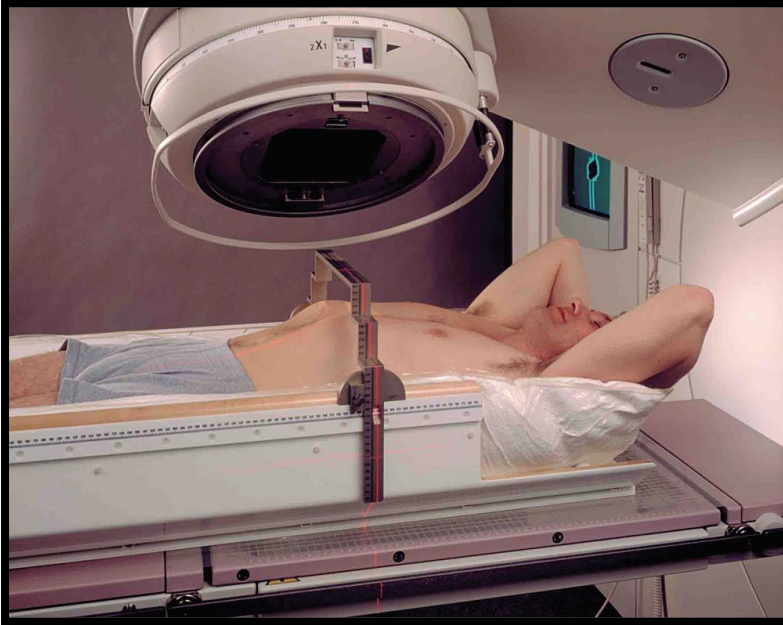
Lax ve ark. Karaciğer yerleşimli tümör SBRT uygulaması için tasarladıkları sabitleme sistemi günümüzde SBRT için geliştirilen sabitleme sistemlerinin temelini oluşturmuştur.

Çerçeve sistemleri, hasta immobilizasyonu ve lokalizasyon arasında bir bağlantı sağlar: doğru lokalizasyon, hasta setup'ının tekrarlanabilirliğine dayanır.

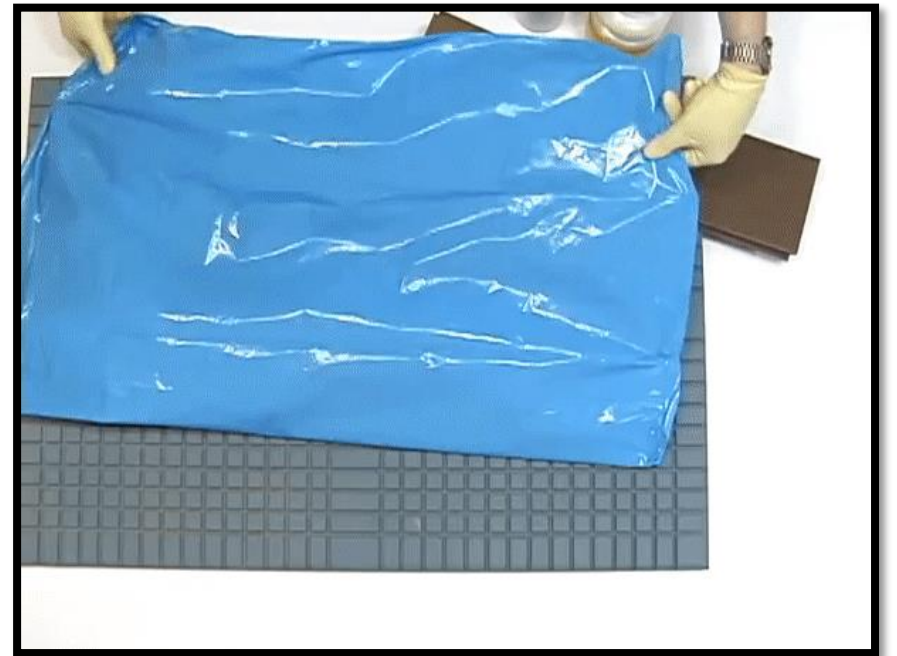


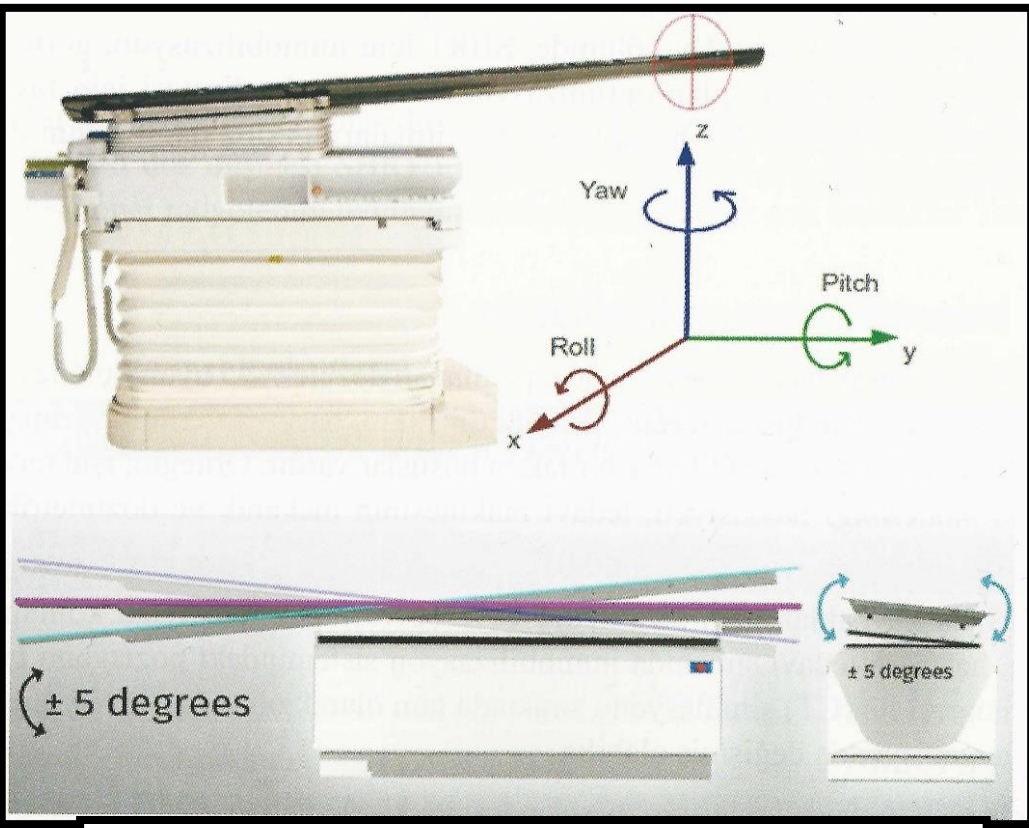
Lax ve ark. Stereotaktik body frame (1994)

Elekta BodyFIX® system

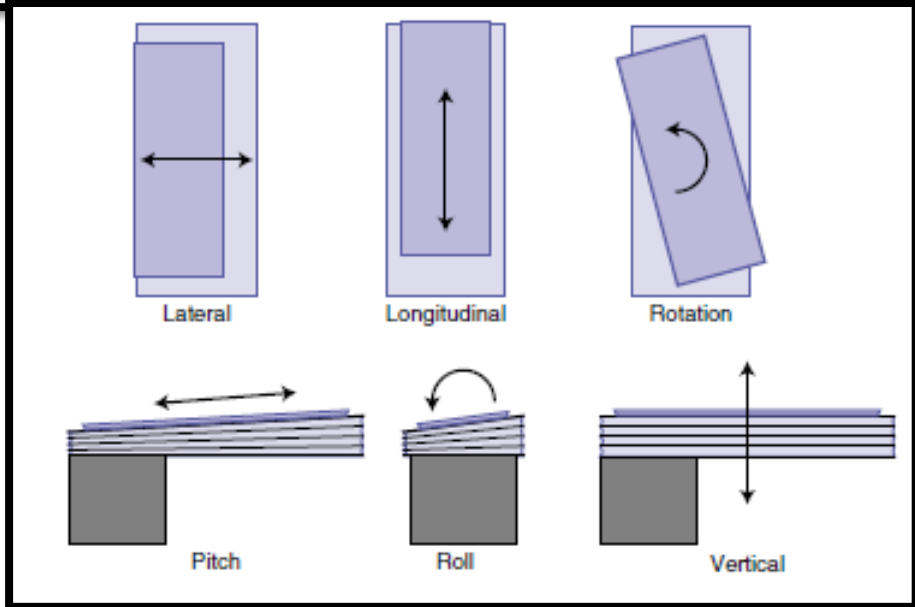


• Civco: Body Pro-Lok™ System for SBRT





Günümüzde IGRT'nin mevcut durumu bu eski vücut çerçevesini daha güvenilir hale getirmiştir. Son zamanlarda birçok tedavi cihazında bulunan ve 6 eksende otomatik düzeltme yapabilen robotik masa (6D Couch), meydana gelebilecek küçük pozisyon hatalarını (± 5 dereceye kadar) düzeltme imkanı sağlar.

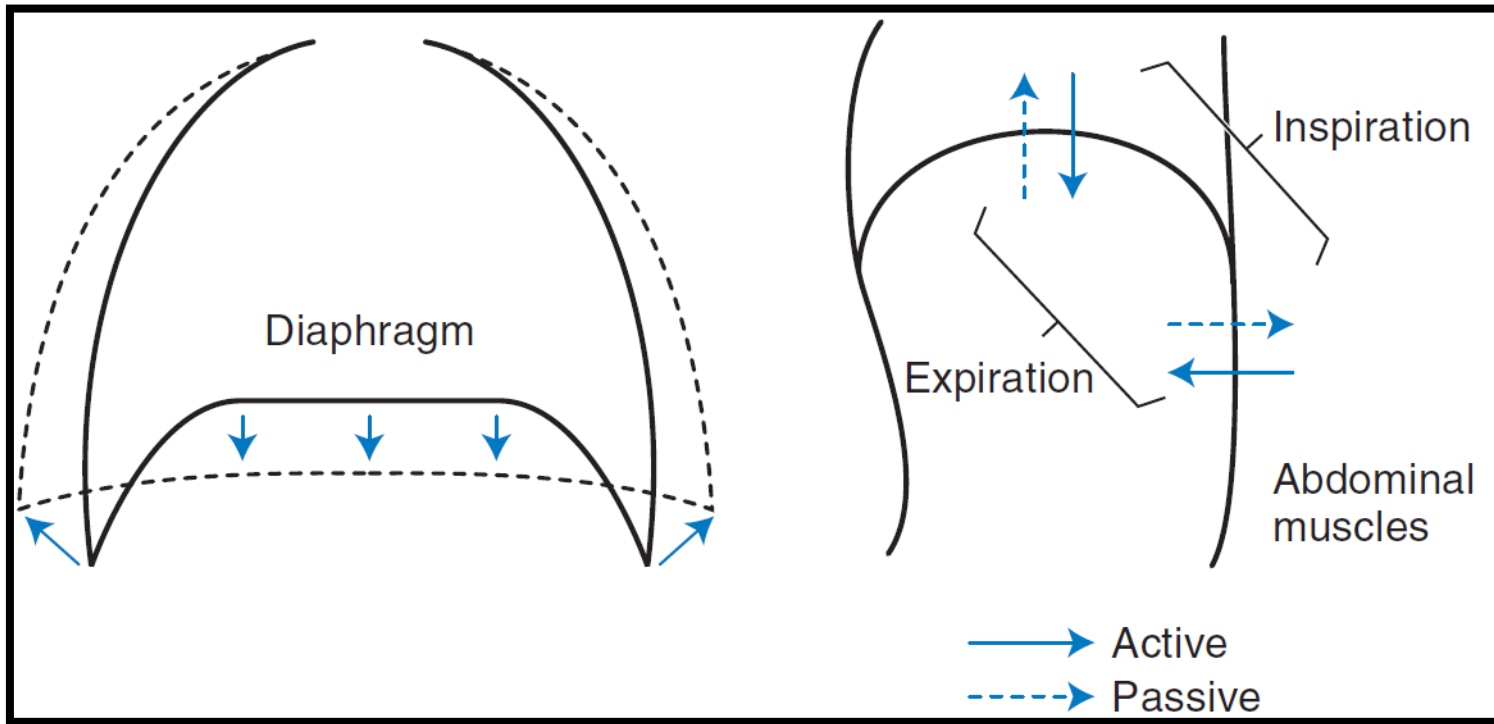


Simülasyon-Görüntüleme IGRT

- ◆ EORTC (European Organisation for Research and Treatment of Cancer) önerileri **kati immobilizasyona gerek olmadığını** ancak tümör hareketini azaltmak için kullanılan yöntemleri teşvik eder. Sonuç olarak artık fraksiyon içi görüntü takibi yapılabilmekte ve stereotaktik tedavi sistemlerinin tamamlayıcısı olarak kabul edilmektedir.
- ◆ **IGRT, hasta setup'ı için altın standarttır!**

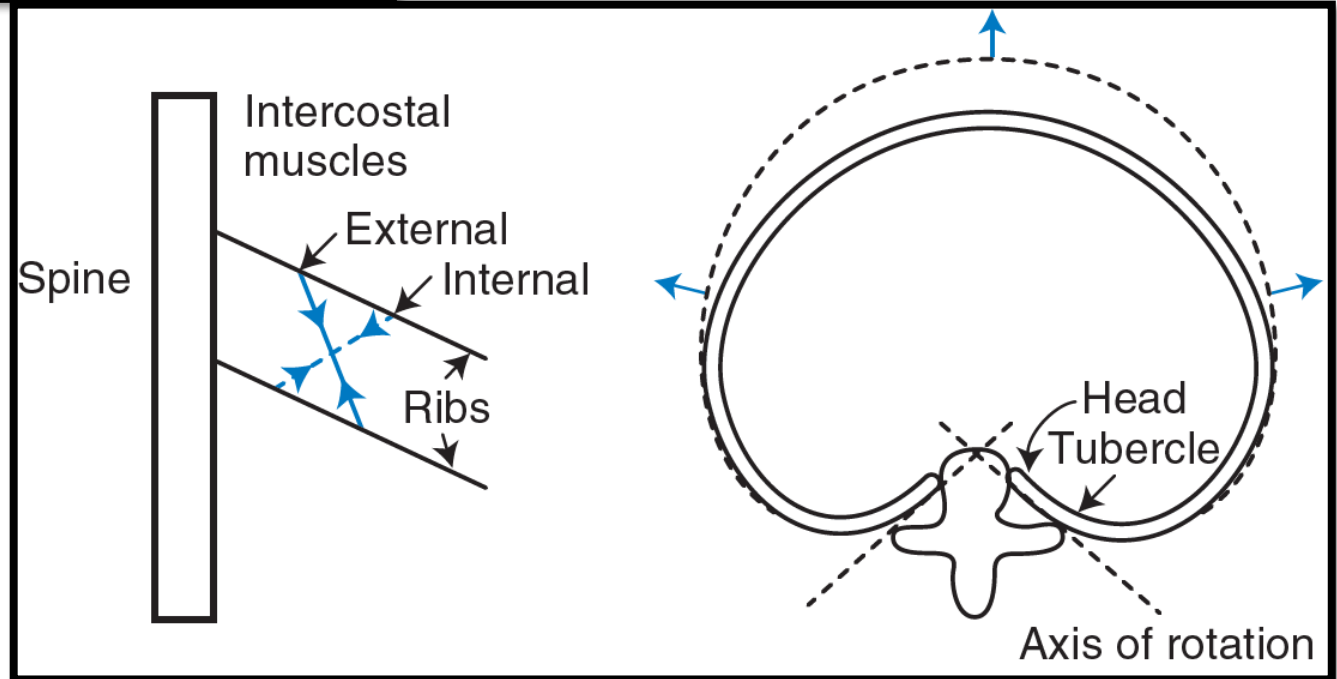
Simülasyon-Görüntüleme (TG 101 Önerisi)

- ◆ SBRT'de görüntüleme için birincil yöntem bilgisayarlı tomografidir.
- ◆ Akciğer tümörlerinde, **4DCT**, faz görüntülerin bir kısmı veya tamamı üzerinde klinik hedef hacmini (CTV) kullanarak ve tek bir hacimde birleştirerek iç hedef hacmini (ITV) belirlemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. (≤ 2 mm kesit kalınlığı)
- ◆ Akciğer tümörlerinin tanımlanmasında sıklıkla, **FDG-PET** kullanılırken, kısmi hacim etkilerine, tümör hareketine ve en önemlisi, aynı seansta elde edilen **CT ve PET arasında olası yanlış pozisyonlanmalar nedeniyle ortaya çıkabilecek olumsuzluklara karşı dikkatli olunmalıdır.**
- ◆ Karaciğer ve pankreas tümörlerinde, **CT/4DCT** ile birlikte **FDG-PET** ve **MRG**, (≤ 2 mm kesit kalınlığı)
- ◆ Spinal tümörlerde, **CT ile MR** birlikte, (1 mm kesit kalınlığı)
- ◆ Inferior-Superior yönlerde 5-10 cm tarama, non-coplanar tedavi teknikleri için ~ 15 cm tarama yeterlidir.

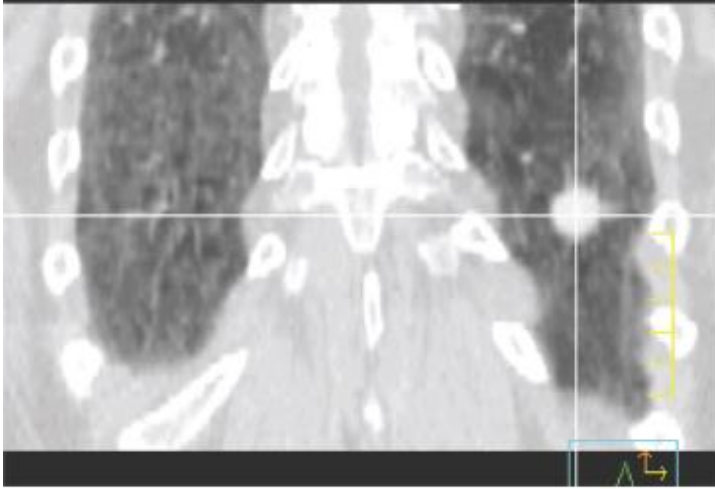


4DCT ve Solunum Kontrolü Neden Önemli?

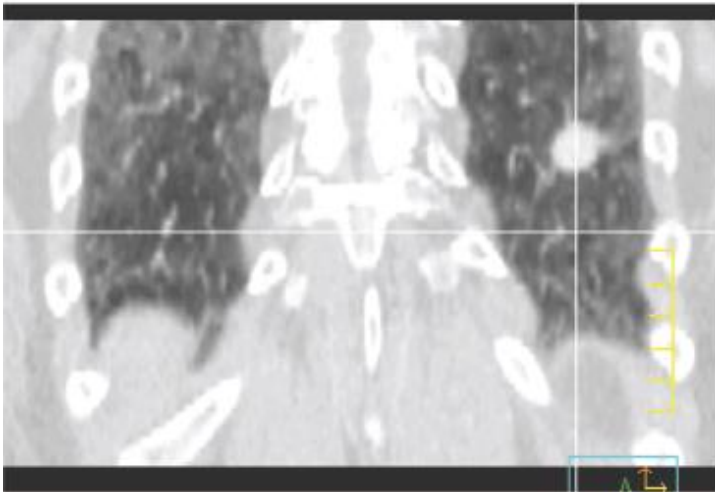
- ◆ Nefes alma esnasında kubbe şeklindeki diyafram kasılır, abdominal içerik aşağı ve ileri itilir ve toraks genişler. Ekspirasyonda karın kasları kasılır ve diyaframı yukarı iter.



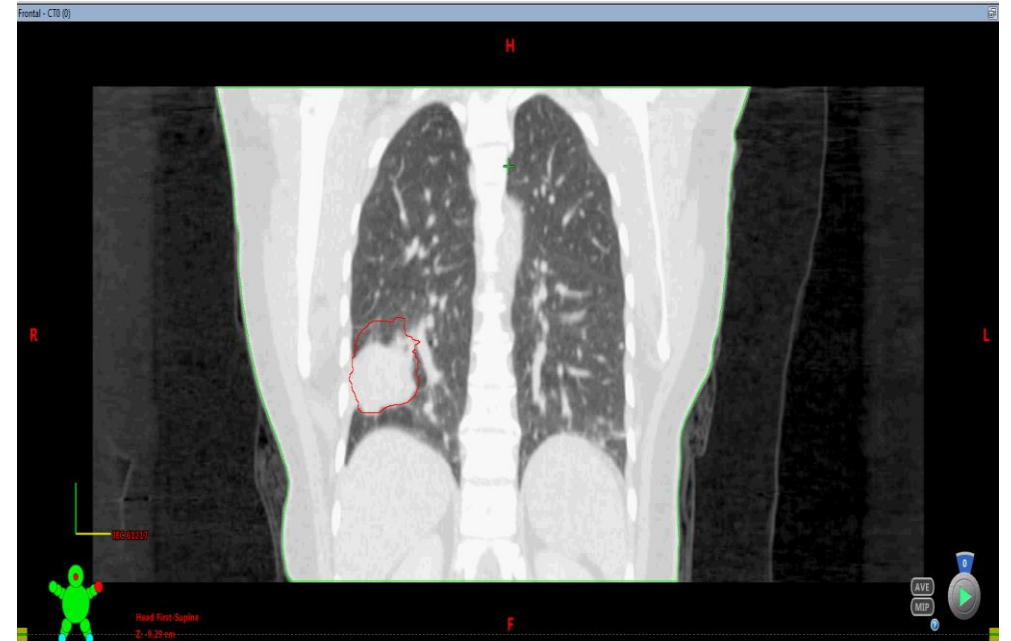
4DCT ve Solunum Kontrolü Neden Önemli?



➤ inhalasyon

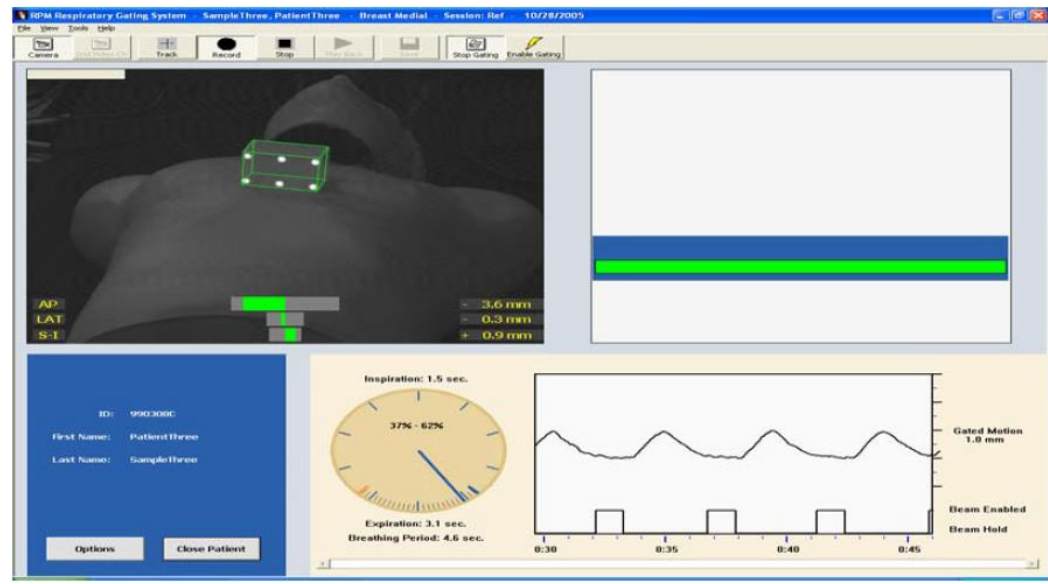
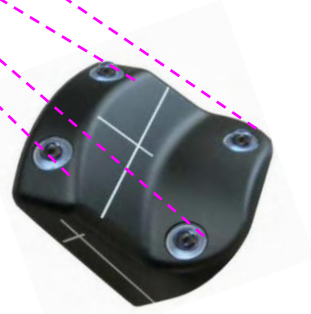


➤ ekshalasyon



4DCT ve Solunum Kontrolü

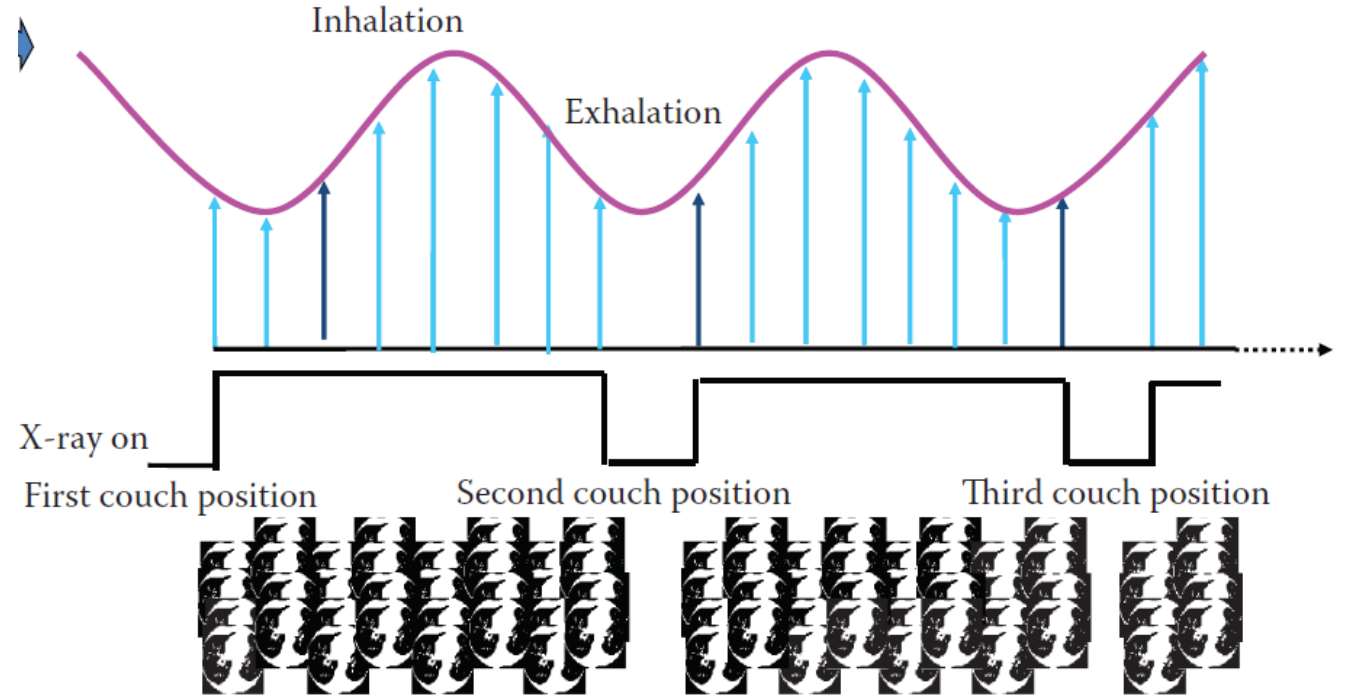
- ◆ Akciğer tümörlerinde, 4DCT, faz görüntülerinin bir kısmı veya tamamı üzerinde klinik hedef hacmini (CTV) kullanarak ve tek bir hacimde birleştirerek iç hedef hacmini (ITV) belirlemek için kullanılır. Kişiyeye özgü ITV oluşturmada 4DCT verilerini kullanmaya yönelik birçok metot vardır.
- ◆ 10 solunum fazı CT veri setinde GTV kontrol edilir, daha sonra CTV çevreleyen ITV tanımlanır.
- ◆ Bazı durumlarda, sadece end-ekspirasyon ve end-inspirasyon bölümlerinin fazları kullanılarak ITV oluşturulur. (dezavantajı var!)
- ◆ 4DCT setlerinden MIP, AIP ve (MinIP) post-processing araçları ile tüm solunum fazları süresince meydana gelen tümör pozisyonlarının faz toplamları ile direkt ITV oluşturulur.



4D görüntü elde etmek için hedef hareketle ilişki olan bir yüzeyin hareketinden yukarı ve aşağı referans sinyalleri alınır.

Bilgisayar kontrollü video tabanlı bir sistem, köşelerinde IR (infra-red, kızılötesi) yansıtıcı bulunan bir marker blok hastanın üzerine konur ve kutunun hareketi kızıl ötesi kamera ile analiz edilir.

Bilgisayar, solunum takip sistemi ile lineer hızlandırıcıyı senkronize eder ve solunumun sadece seçilen fazında ışın uygulanır.



Hedef Hacim ve Risk Altındaki Organlar

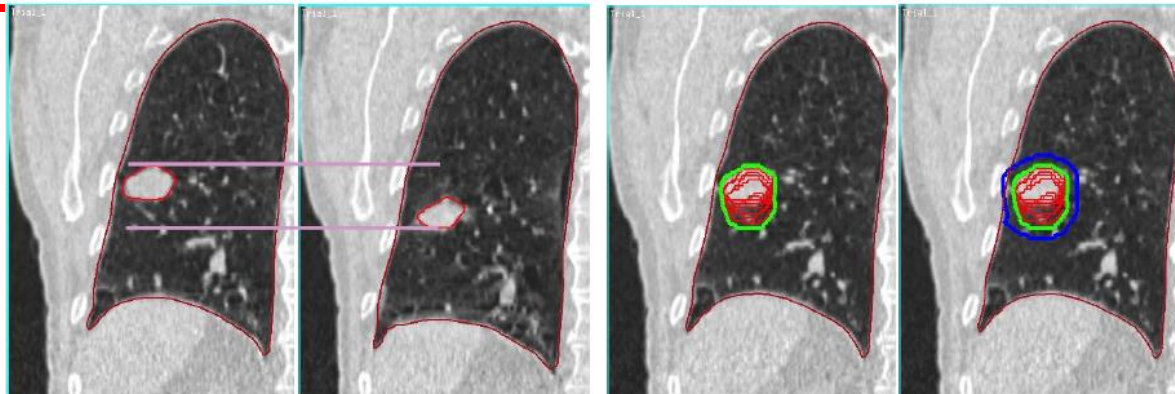
RADIATION THERAPY NRG ONCOLOGY GROUP

**RTOG 0915
(NCCTG N0927)**

A RANDOMIZED PHASE II STUDY COMPARING 2 STEREOTACTIC BODY RADIATION THERAPY (SBRT) SCHEDULES FOR MEDICALLY INOPERABLE PATIENTS WITH STAGE I PERIPHERAL NON-SMALL CELL LUNG CANCER

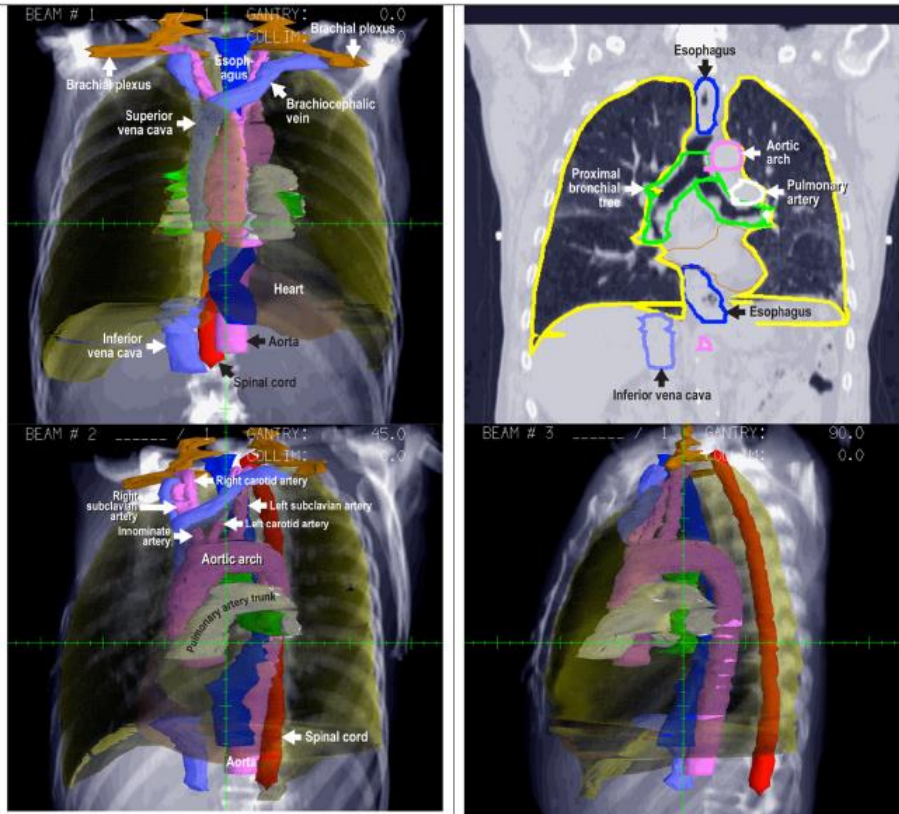
There are 2 acceptable methods to define the PTV depending on the method of CT simulation:

- Conventional (helical) CT-simulation (non-4DCT): The PTV will include the GTV plus an additional 0.5 cm margin in the axial plane and 1.0 cm margin in the longitudinal plane (craniocaudal).
- 4D CT-simulation: An internal target volume (ITV) around the GTV, accounting for tumor motion may be defined from the 4D CT dataset. The PTV will include the ITV plus an additional 0.5 cm margin uniformly applied to the ITV.



OAR's Santral akciğer tümörlerini tedavi ederken dikkate alınan doz sınırlayıcı yapılar (proksimal bronşlardan veya mediastenden 2 cm uzaklıkta) normal akciğer, trakea, bronşlar, ana damarlar ve özofagusu içerir.

Periferik tümörler için göğüs duvarı, brakiyal pleksus, omurilik ve cilt risk altındaki ana organlardır.



6.5.2 Contouring of Normal Tissue Structures

All structures listed in Sections 6.5.2.1 through 6.5.2.9 should be contoured in every patient irrespective of the location of the PTV. The structures listed in Sections 6.5.2.10 through 6.5.2.11 are only required if the named structure lies within 5 cm of the PTV.

6.5.2.1 Spinal Cord

The spinal cord will be contoured based on the bony limits of the spinal canal. The spinal cord should be contoured starting at least 10 cm above the superior extent of the PTV and continuing on every CT slice to at least 10 below the inferior extent of the PTV.

6.5.2.2 Esophagus

The esophagus will be contoured using mediastinal windowing on CT to correspond to the mucosal, submucosa, and all muscular layers out to the fatty adventitia. The esophagus should be contoured starting at least 10 cm above the superior extent of the PTV and continuing on every CT slice to at least 10 below the inferior extent of the PTV.

6.5.2.3 Brachial Plexus

The defined ipsilateral brachial plexus originates from the spinal nerves exiting the neuroforamina on the involved side from around C5 to T2. However, for the purposes of this protocol, only the major trunks of the brachial plexus will be contoured using the subclavian and axillary vessels as a surrogate for identifying the location of the brachial plexus. This neurovascular complex will be contoured starting proximally at the bifurcation of the brachiocephalic trunk into the jugular/subclavian veins (or carotid/subclavian arteries) and following along the route of the subclavian vein to the axillary vein ending after the neurovascular structures cross the second rib.

6.5.2.4 Heart

The heart will be contoured along with the pericardial sac. The superior aspect (or base) for purposes of contouring will begin at the level of the inferior aspect of the aortic arch (aorto-pulmonary window) and extend inferiorly to the apex of the heart.

6.5.2.5 Trachea and Proximal Bronchial Tree

The trachea and proximal bronchial tree will be contoured as two separate structures using mediastinal windows on CT to correspond to the mucosal, submucosa and cartilage rings and airway channels associated with these structures. For this purpose, the trachea will be divided into two sections: the proximal trachea and the distal 2 cm of trachea. The proximal trachea will be contoured as one structure, and the distal 2 cm of trachea will be included in the structure identified as proximal bronchial tree. Differentiating these structures in this fashion will facilitate the eligibility requirement for excluding patients with tumors within 2 cm of the proximal bronchial tree (see Section 6.5.2.8 below).

6.5.2.5.1 Proximal Trachea

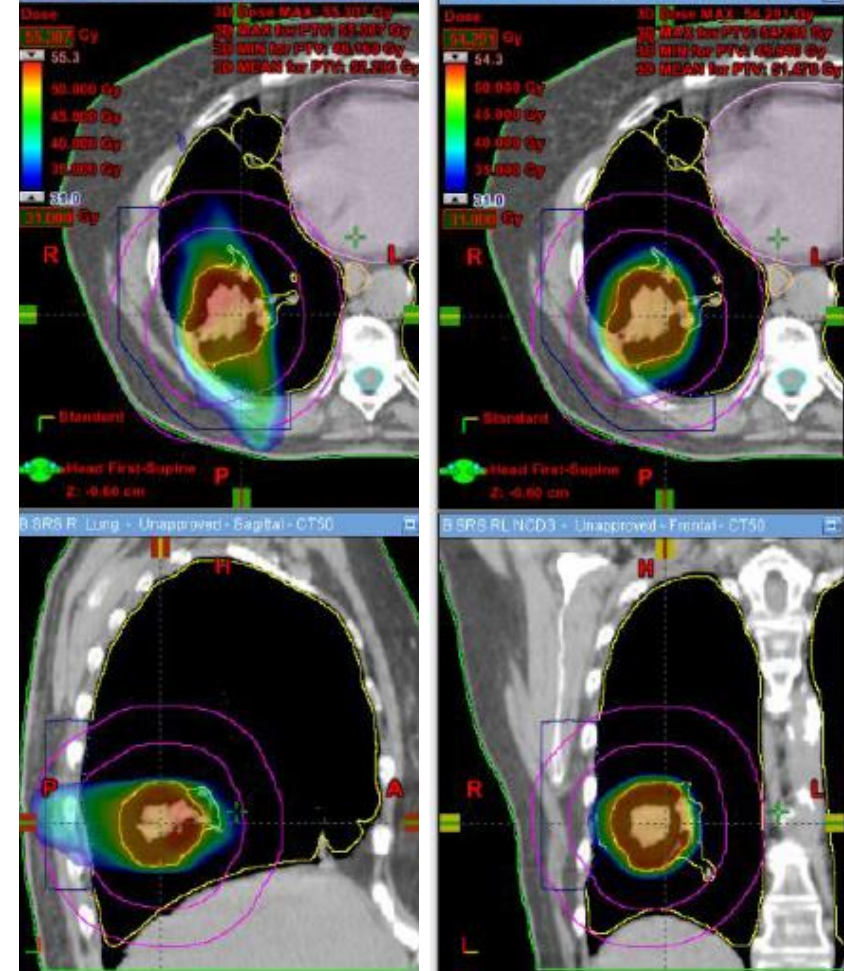
Contouring of the proximal trachea should begin at least 10 cm superior to the extent of the PTV or 5 cm superior to the carina (whichever is more superior) and continue inferiorly to the superior aspect of the proximal bronchial tree (see the diagram in Section 3.2.2 and the definitions below).

6.5.2.5.2 Proximal Bronchial Tree

The proximal bronchial tree will include the most inferior 2 cm of distal trachea and the proximal airways on both sides as indicated in the diagram in Section 3.2.2. The following airways will be included according to standard anatomic relationships: the distal 2 cm of trachea, the carina, the right and left mainstem bronchi, the right and left upper lobe bronchi, the intermedius bronchus, the right middle lobe bronchus, the lingular bronchus,

Planlama: Işın Yönelimleri ve Geometrisi

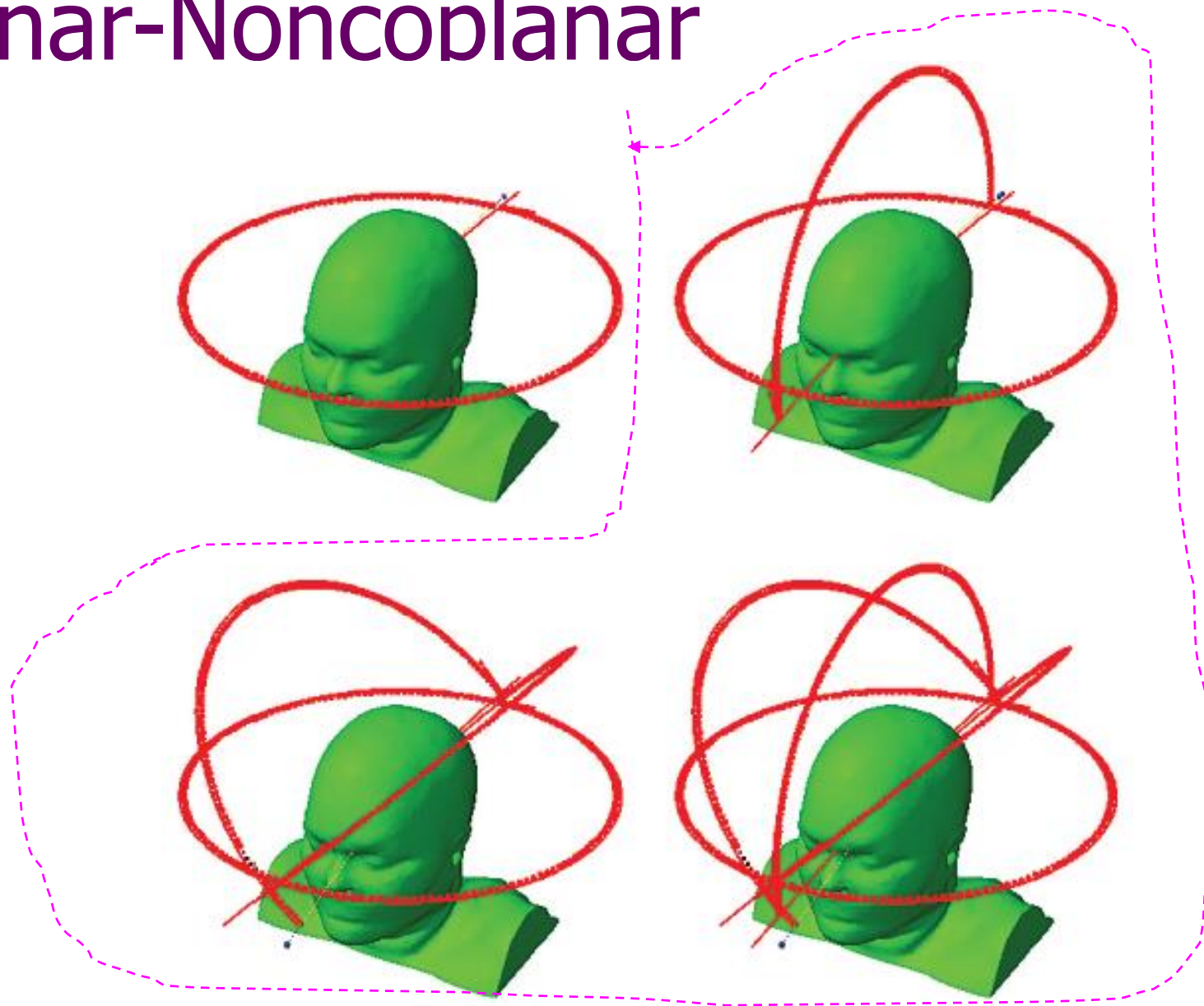
- ◆ SBRT'de çoklu ışınlar (7-11), konformal, ark veya çoklu konformal ışınlar, IMRT veya IMAT planları kullanılabilir. (Coplanar veya Non-Coplanar ışın yönelimleri).
- ◆ Non-Coplanar ışın yönelimleri ile her ne kadar hedef dışı dozları düşürmesi, konform bir doz dağılımı elde edilse de daha uzun ve kompleks bir tedavinin hata riskini artırması nedeniyle Coplanar ışın yönelimleri tercih edilir.
- ◆ **Gantri, hasta ve hasta masası ile çarpışma riski var!**



Coplanar

Non-Coplanar

Coplanar-Noncoplanar



Özet

- ◆ SBRT'de hareketsizlik oldukça önemli (İmmobilizasyon)
- ◆ Cihaz donanımı ön plandadır.
 - Yüksek mekanik doğruluk (<1mm)
 - -İleri görüntüleme ve takip yöntemleri
 - -Doğru cihaz kurulumu
 - -Yüksek dozimetrik doğruluk
- ◆ Planlama CT'sinin kesit kalınlığı önemli, Füzyon önemli bir yer tutmaktadır.
- ◆ Doz tanımlamasındaki belirsizlikler, kontur çizim farklılıkları ile radyasyonun seri ve paralel organlara etkisindeki belirsizlikler hesaba katılmalıdır.