

CT-SİM ve TPS QA

16.Ulusal Medikal Fizik Kongresi
30 Ekim 2017-Antalya

Zafer Karagüler

Tanımlar

Kalite Güvenilirlik (QA)

Bir ürünün kalite için belirtilen şartları yerine getireceğine dair güven sağlamak için gerekli olan tüm planlı ve sistematik eylemlerdir.

Kalite Kontrol (QC)

Ölçülen gerçek kalite performansını, mevcut standartlarla karşılaştıran faaliyetlerdir.

QA Süreci:

- (A) Sistem özelliklerin belirlenmesi;
 - (B) Belirlenen özellikler ile bağlantılı performans ölçümlerinin yapılması
 - (C) Ölçüm sonuçlarının sistem özellikleri ile karşılaştırılması
 - (D) Uyumsuzluk halinde olası eylem planlarının belirlenmesi
- aşamalarından oluşur

CT Tarayıcı ve CT Simülatör Arasındaki Fark

Referanslar:

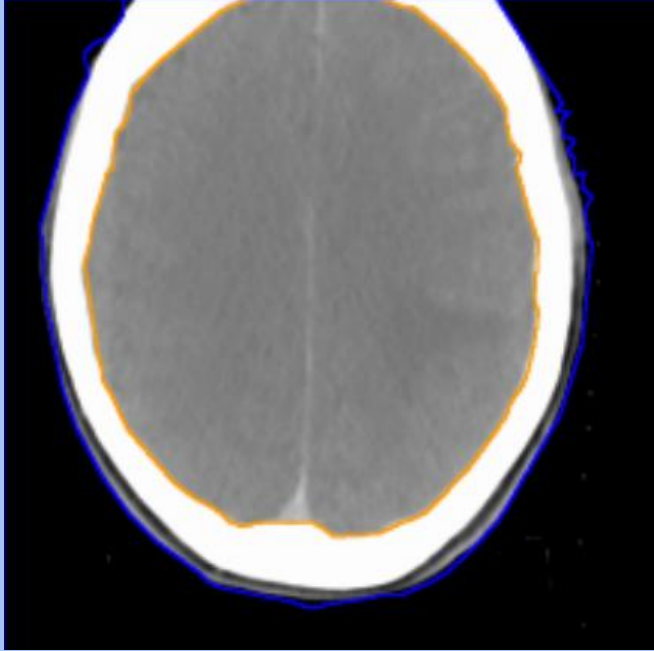
AAPM Report 39 (1993)

“Specification and Acceptance Testing for Computed Tomography Scanners,

AAPM Report 66 (2003)

“Quality Assurance for Computed Tomography Simulators and Computed Tomography Simulation Process”

Computer Tomografi (CT)



CT birçok planlama sistemlerinde primer görüntü seti olarak kullanılır.

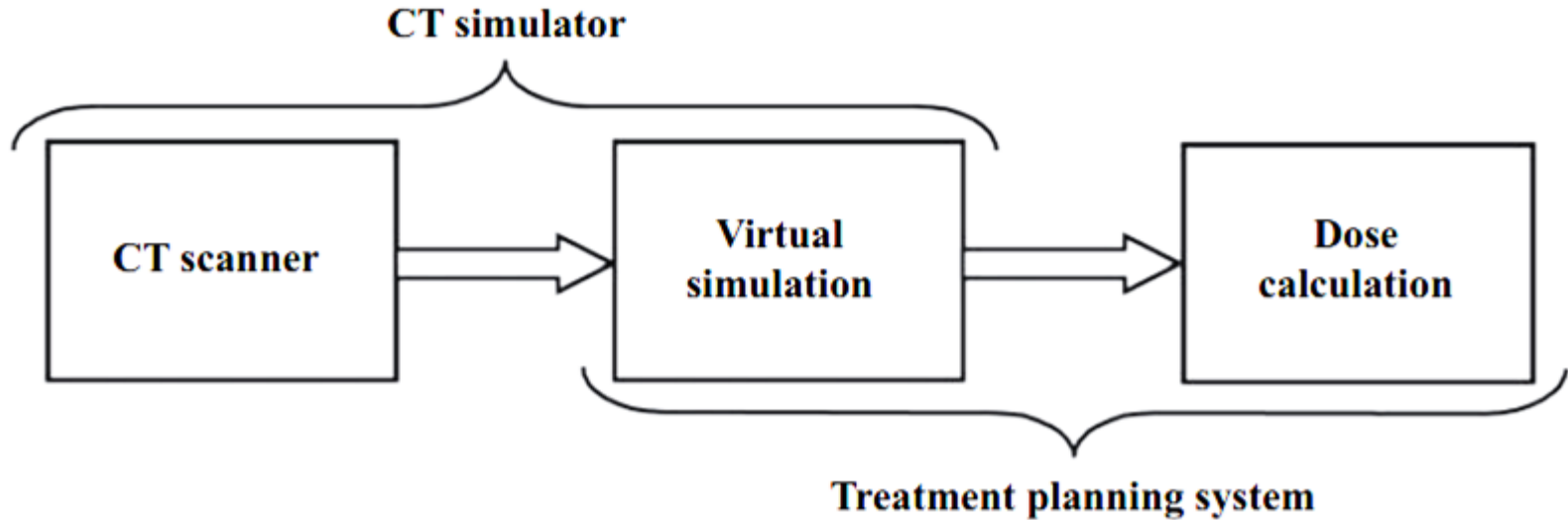
Bu görüntüler kullanılarak anatomik yapılar, hedef hacimler, ışın şekli ve oryantasyonu belirlenir

Heterojenite bazlı doz hesabında kullanılan yoğunluk bilgisi CT görüntülerden elde edilmektedir

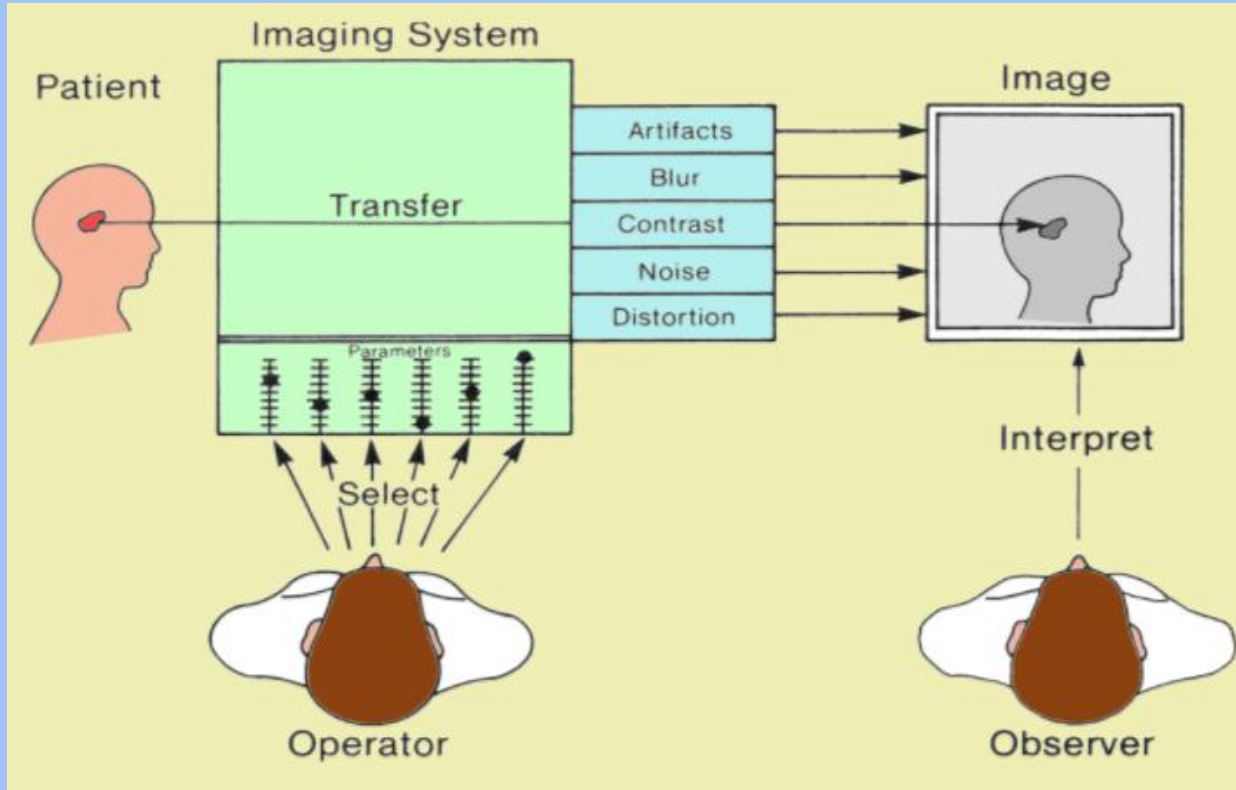
Planlama ve verifikasyon amaçlı DRR görüntüler CT görüntüler kullanılarak oluşturulmaktadır

Yumuşak doku kontrastının kötü olması ise CT lerin en önemli zayıf yönünü oluşturmaktadır

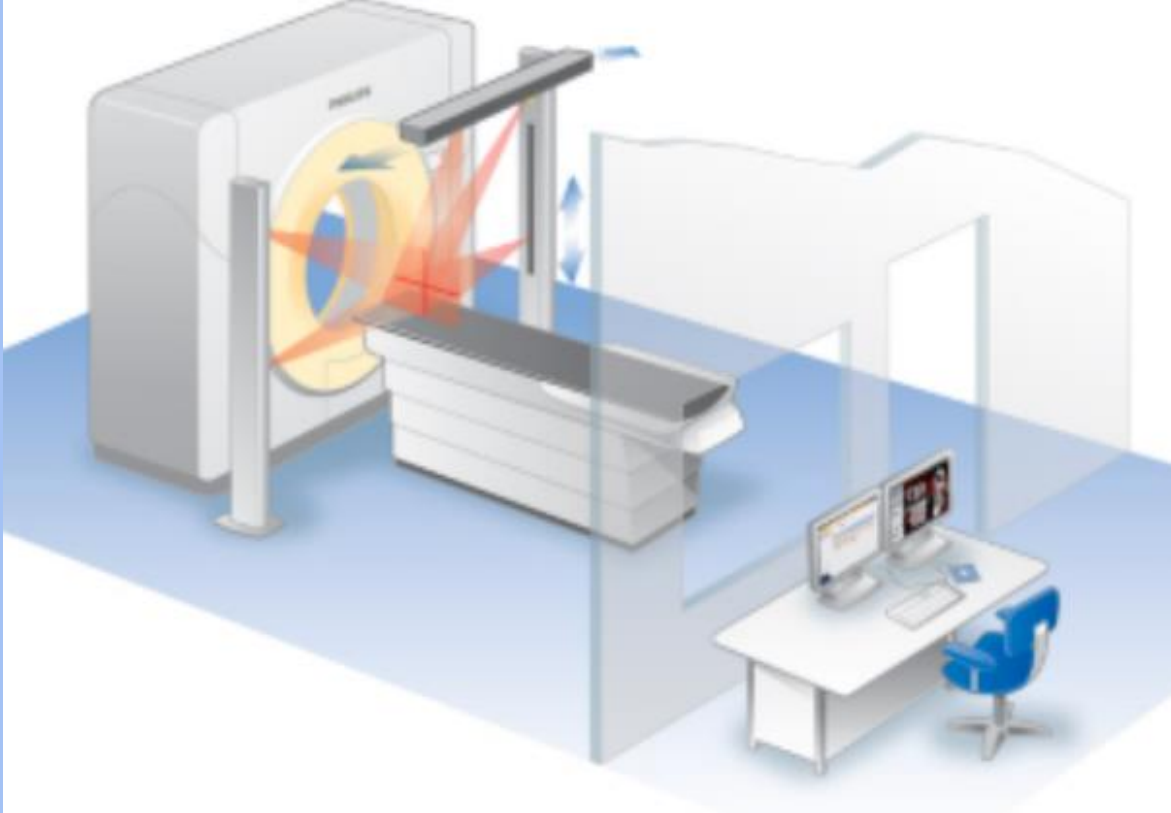
CT Simülatör-Tedavi Planlama Bileşenleri



Mediakal Görüntüleme Süreci



CT Simülatörlerin Genel Yapısı



Dış lazerleri vardır (Sabit yada hareketli)

Masa üstü düzdür

Geniş Gantry açıklığı vardır

Solunum Takip sistemleri de entegre edilebilmektedir

Tedavi Planlama Sistemine özel 3D Sanal simülasyon (Virtual simulation) yazılımı mevcuttur.

Sanal Simülasyon Nedir?

CT ve Planlama yazılımlarını kullanan ve tedavi planı yapılmasına imkan sağlayan özel bir yazılımdır.

Tümör hacmi ve normal yapılar 3D belirlenebilmekte

Işın demetleri, tedavi edilecek bölgeye, doğru bir şekilde yerleştirilebilmekte

DRR ve farklı düzlemlerde görüntüler vererek daha hızlı planlama ve doğru değerlendirme imkanları sunmaktadır.

CT-Simülatörlerde QA'in Önemi

Diagnostik ve Radyoterapi alanında çok yaygın kullanılmaktadır

TPS ler geçmişe göre çok daha fazla CT simülatörlerden veri almaktadır

Alınan CT verilerinin doğruluğundan emin olunmalıdır

Yeni tedavi teknikleri CT simülatörlerde QA'in önemini daha da artırmıştır.

CT Simülatörde QA Neleri İçermelidir?

1-Geometrik Doğruluk

Lazerlerin kontrolü

Mekanik hareketli bileşenlerin kontrolü

2- Görüntüleme Performansı

CT sayısı (HU) doğruluğu

Gürültü

Uzaysal Bütünlük (Spatial Integrity)

Homojenite (Uniformity)

Elektron yoğunluğunu CT sayısına çevirme

Uzaysal çözünürlük (Spatial Resolution)

Kontrast Çözünürlüğü

3-Hasta Güvenliği

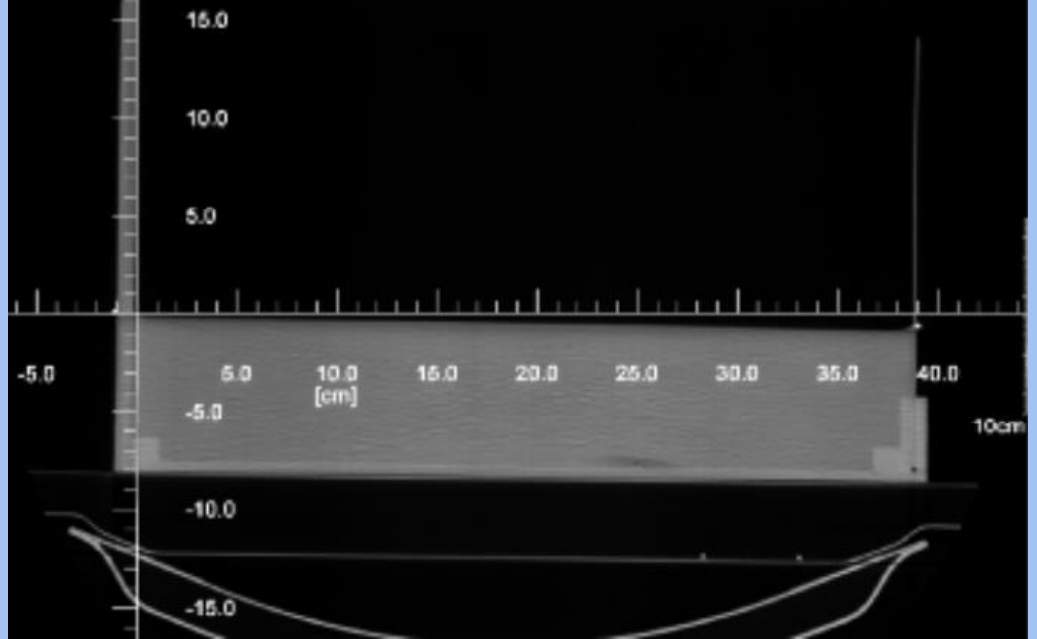
Hastada oluşturduğu doz

Geometrik Doğruluk

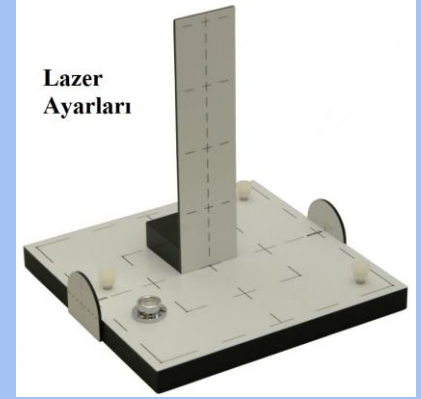
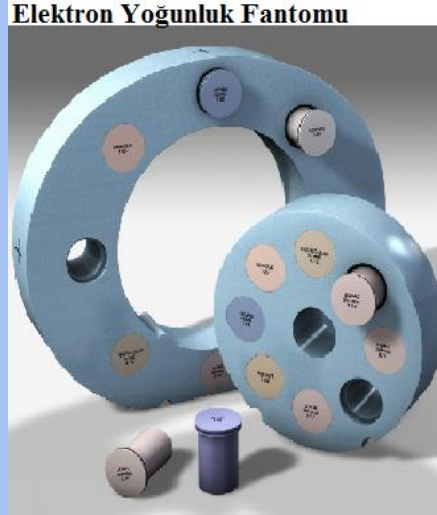
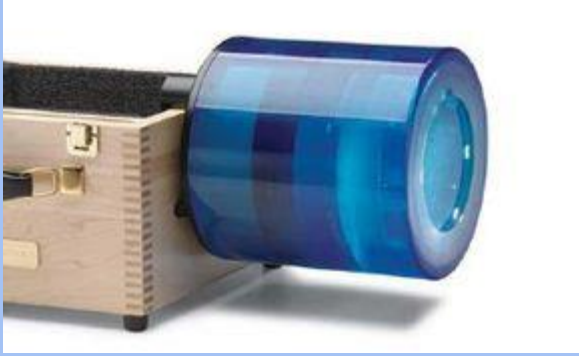
CT cihazları ilk olarak diagnostik amaçlı üretilmiş daha sonra modifiye edilerek Radyoterapi amaçlı da kullanılmaya başlanmıştır.

Diagnostic CT de çok da önemli olmayan bazı geometrik farklılıklar Radyoterapi uygulamalarında önem kazanmaktadır

Şekildeki su yatağının görüntü kalitesi iyi olmasına rağmen su yüzeyinde eğim görülmekte. Bu, görüntünün döndüğü anlamına gelir ve radyoterapi uygulamalarında sorun yaratır

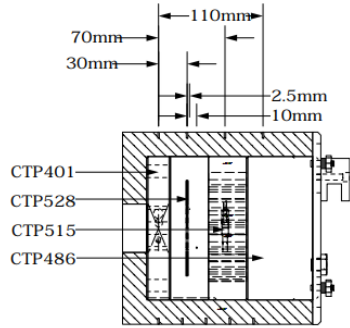


CT de Kullanılan Özel Fantomlar



CT de Kullanılan Özel Fantomlar

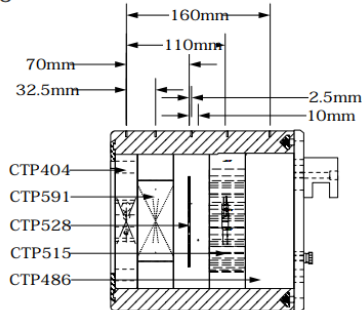
Catphan® 500



Catphan® 500 test module locations:

Module	Distance from section 1 center
CTP401	
CTP528, 21 line pair high resolution	30mm
CTP528. Point source	40mm
CTP515, Subslice and supra-slice low contrast	70mm
CTP486, Solid image uniformity module	110mm

Catphan® 600



Catphan® 600 test module locations:

Module	Distance from section 1 center
CTP404	
CTP591 Bead geometry	32.5mm
CTP528, 21 line pair high resolution	70mm
CTP528. Point source	80mm
CTP515, Subslice and supra-slice low contrast	110mm
CTP486, Solid image uniformity module	150mm

Geometrik Doğruluk (AAPM–TG66 Report)

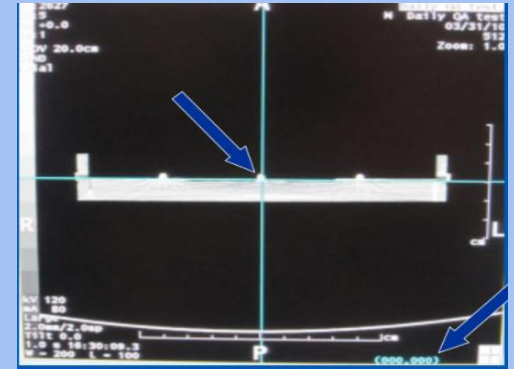
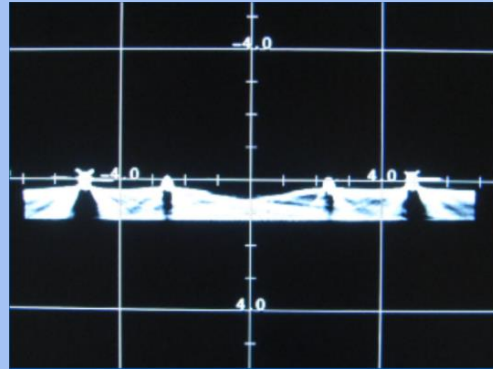
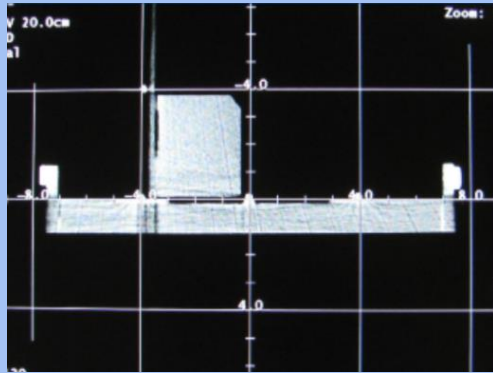
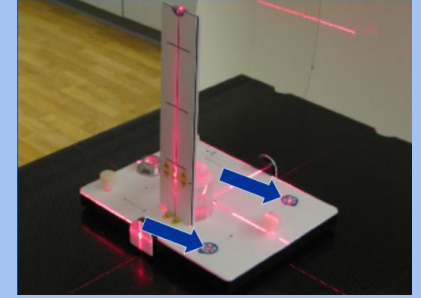
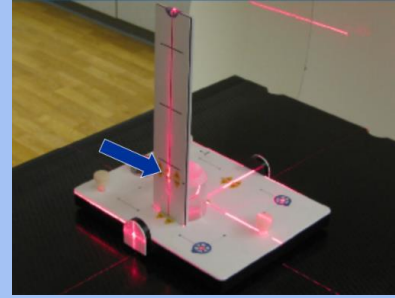
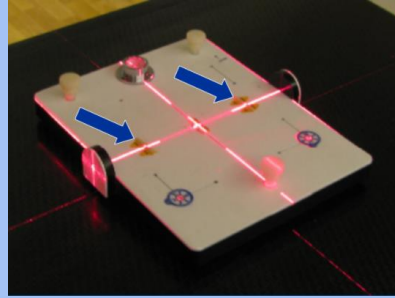
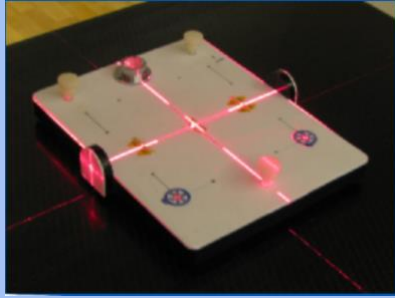
Lazerlerin Ayarlanması

Test Edilecek Parametreler	Testin Amacı	Sıklığı	Tolerans
Gantry lazerlerinin görüntüleme düzleminin merkezi ile uyumluluğu.	Tarama düzleminin, gantry lazerleri ile doğru bir şekilde tanımlandığını doğrulamak	Günlük	$\pm 2\text{mm}$
Gantry lazerlerinin görüntüleme düzlemine uyumluluğu.	Gantry lazerlerinin görüntüleme düzlemine boydan boya paralel ve ortogonal olduğunun doğrulanması	Aylık ve Her lazer ayarlamaları yapıldıktan sonra	$\pm 2\text{mm}$ Lazer projeksiyonu boyunca
Duvar lazerlerinin gantry lazerleri ve tarama düzlemine olan mesafesi	Duvar lazerlerinin tarama düzlemine olan mesafeleri doğru bir şekilde ayarlandığını test etmek. Bu mesafe, hastaya işaretleyici koymak için kullanılır.	Aylık ve Her lazer ayarlamaları yapıldıktan sonra	$\pm 2\text{mm}$

Geometrik Doğruluk (AAPM–TG66 Report)

Lazerlerin Ayarlanması

Test Edilecek Parametreler	Testin Amacı	Sıklığı	Tolerans
Duvar lazerlerinin görüntüleme düzlemine göre oryantasyonu	Duvar lazerlerinin görüntüleme düzlemine lazer projeksiyonu boyunca paralel ve ortogonal olduğunun doğrulanması	Aylık ve Her lazer ayarlamaları yapıldıktan sonra	$\pm 2\text{mm}$ Lazer projeksiyonu boyunca
Tavan lazerinin görüntüleme düzlemine göre oryantasyonu	Tavan lazerinin görüntüleme düzlemine ortogonal olduğunu doğrulamak	Aylık ve lazer ayarlamaları yapıldıktan sonra	$\pm 2\text{mm}$ Lazer projeksiyonu boyunca

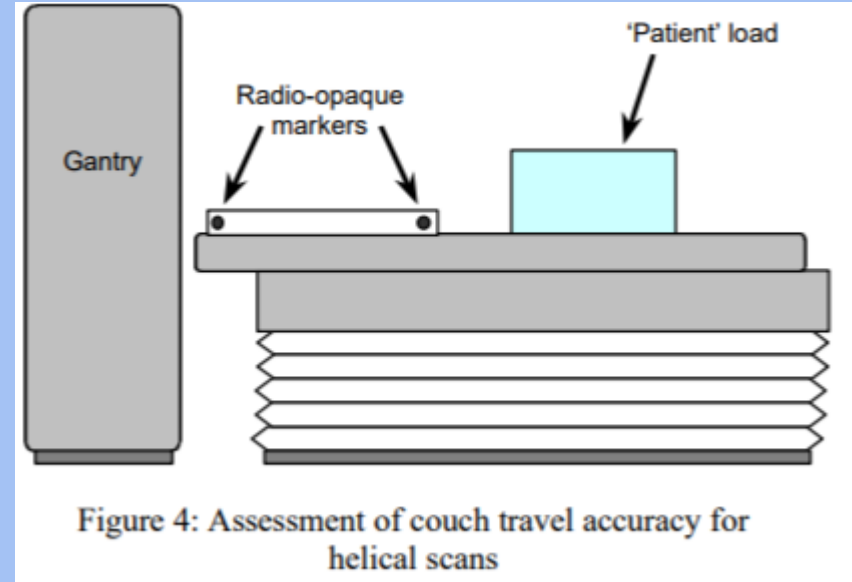
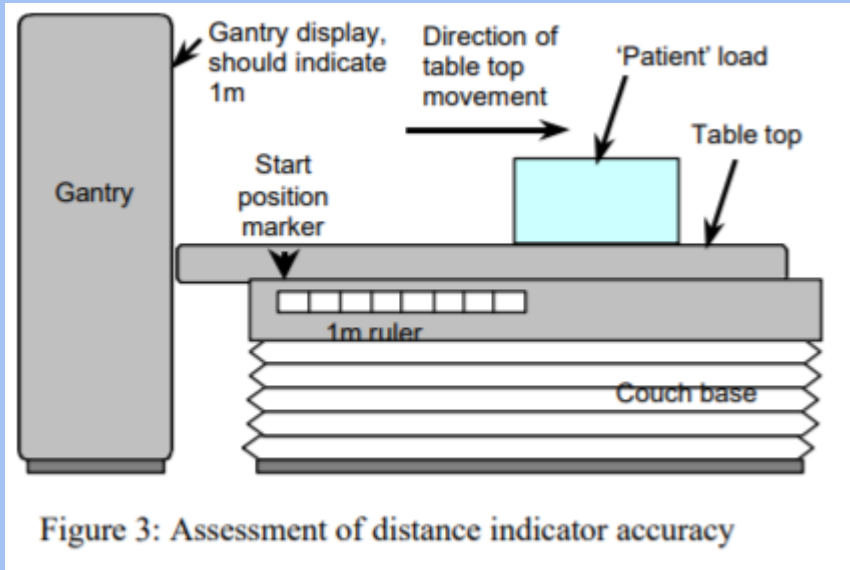


Geometrik Doğruluk (AAPM–TG66 Report)

Elektromekanik bileşenlerin testi

Test Edilecek Parametreler	Testin Amacı	Sıklığı	Tolerans
CT-tarayıcı masa üstünün görüntüleme düzlemine göre oryantasyonu	CT-tarayıcı masa seviyesinin düz ve tarama düzlemine ortogonal olduğunu doğrulamak	Aylık yada günlük lazer testlerinde tekrarlanan problemler yaşandığında	$\pm 2\text{mm}$ masa üstünün boyu ve genişliği boyunca
Masanın düşey ve boyuna hareketi	Masanın düşey ve boyuna hareketinin dijital göstergelere göre doğruluğunun ve tekrarlanabilirliğinin test edilmesi	Aylık	$\pm 1\text{mm}$ masa hareketi boyunca

Masa Hareketinin Doğruluğu Testi



Geometrik Doğruluk (AAPM–TG66 Report)

Elektromekanik bileşenlerin testi

Test Edilecek Parametreler	Testin Amacı	Sıklığı	Tolerans
Masa indeksleme ve pozisyonu	Tarayıcı kontrolünde masa indeksleme ve konumunun doğruluğunu test etmek	Yıllık	$\pm 1\text{mm}$ tarama boyunca
Gantry tilt açısının doğruluğu	Gantry tilt açısı göstergesinin doğruluğunu test etmek	Yıllık	$\pm 1^\circ$

Geometrik Doğruluk (AAPM–TG66 Report)

Elektromekanik bileşenlerin testi

Test Edilecek Parametreler	Testin Amacı	Sıklığı	Tolerans
Gantry tilt pozisyon doğruluğu	Tilt verildikten sonra gentry nin nominal pozisyonuna, doğru bir şekilde döndüğünün test edilmesi	Yıllık	$\pm 1^\circ$
Tarama lokalizasyonu	Pilot görüntülerden (topogram) tarama lokalizasyonunun doğruluğunun test edilmesi	Yıllık	± 1 mm tarama alanı üzerinden

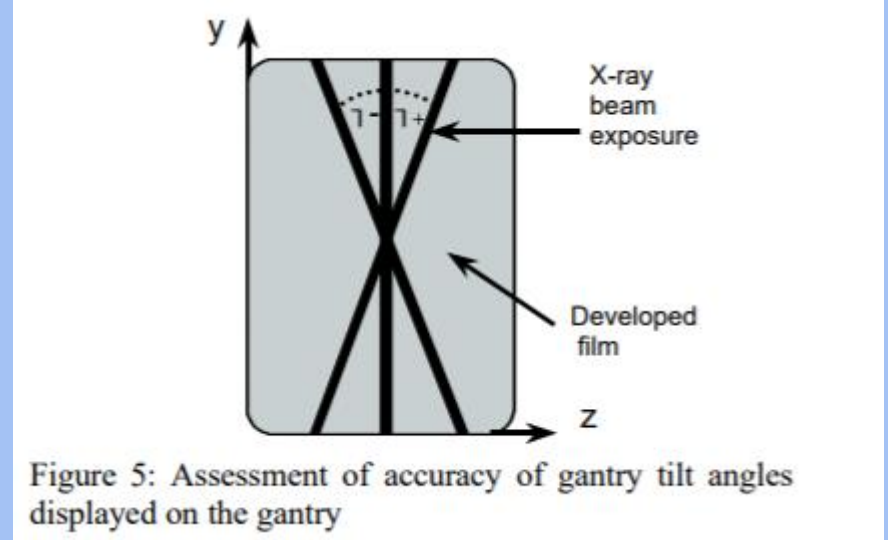
Gantry Tilt Açısının Doğruluğu Testi

Film kullanılır

Masaya dik sagittal düzleme paralel olacak şekilde izosentıra konumlandırılır

En küçük kesit kalınlığında merkezde ve $\mp 10^\circ$ açılarda tarama yapılır

Film sonucu analiz edilir



Görüntü Kalitesi (AAPM–TG66 Report)

Test Edilecek Parametreler	Sıklığı	Tolerans
CT Sayısının Doğruluğu	Günlük-CT sayısı su için Aylık-4 yada 5 farklı materyal için Yıllık- Elektron yoğunluk fantomu	0±5HU
Gürültü Testi	Günlük	Fabrika değerleri
Uzaysal Bütünlük (Spatial Integrity)	Günlük x yada y yönünde Aylık Her iki yönde	±1 mm

CT Sayısı (HU) Doğruluğu

Homojen su dolu fantomda seçilen ROI bölgesinde, suyun ortalama CT sayısı ve standart sapması, belirlenen temel değerde ve kabul edilen limitlerde kalmalıdır. Su için CT numarası $0 \pm 5\text{HU}$ aralığında olmalıdır.

CT Sayısı(HU) Doğruluğu

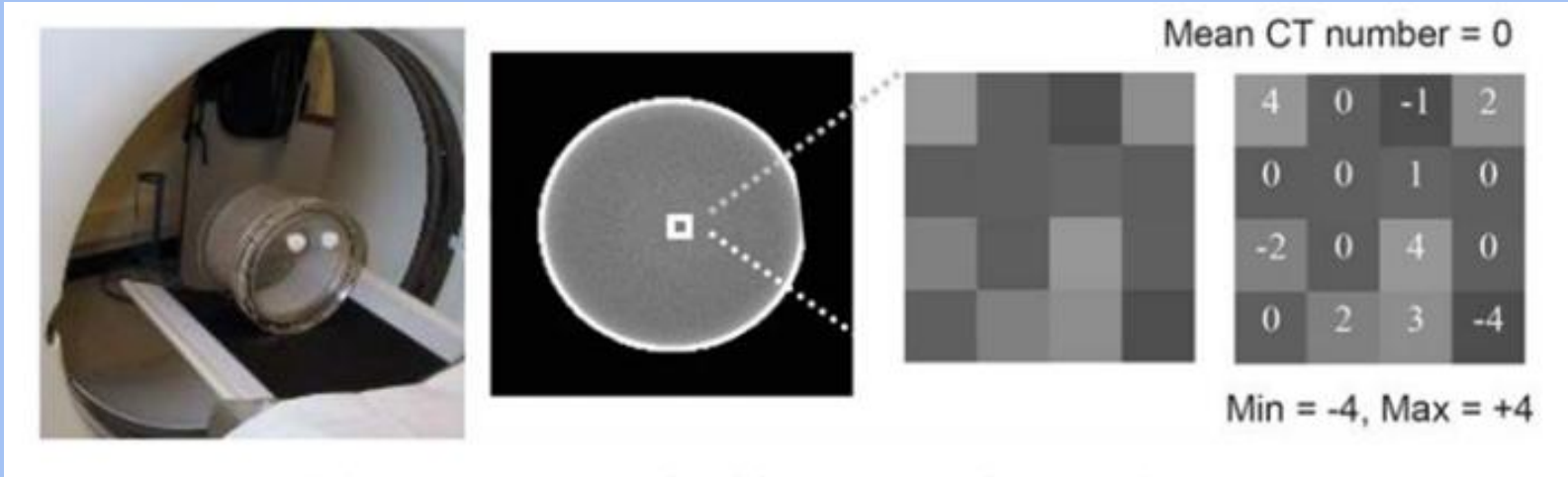
Prosedür

- 1-Fantom merkezi izosentıra ayarlanır
- 2-5cm taranır
- 3-Tarayıcı analiz yazılımı kullanılarak fantom merkezine ROI çizilir
- 4-CT sayısı $0 \pm 5\text{HU}$ aralığında olmalıdır



Gürültü

CT tarayıcıda üniform bir malzeme görüntülenip, seçilen alanda tek tek piksellerin CT sayıları incelendiğinde, CT sayılarının hepsinin aynı olmadığı, ortalama bir değer etrafında dalgalandığı görülür.



Gürültü

Gürültü, ilgili bölgede (ROI) CT değerlerinin standart sapması olarak ifade edilir

Su ile doldurulmuş fantom ile ölçülebilir.

mAs
kVp
Tarama Süresi
Kesit Kalınlığı



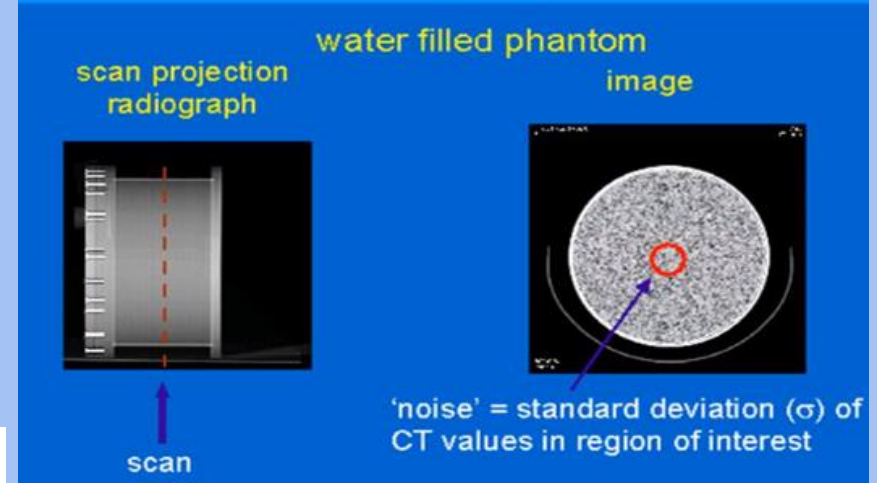
Gürültü



Objenin Boyutu



Gürültü



Görüntü Kalitesi (AAPM–TG66 Report)

Test Edilecek Parametreler	Sıklığı	Tolerans
Homojenite (Uniformity)	Aylık-Yaygın kullanılan kVp de Yıllık-Diğer kullanılan kVp setinde	0±5HU içerisinde
Elektron yoğunluğunu CT sayısına çevirme	Yıllık yada tarayıcı kalibrasyonu sonrası	Commissioning sonuçlarıyla ve fantom üreticisinin verdiği değerler ile uyumluluk
Uzaysal çözünürlük (Spatial Resolution)	Yıllık	Üreticinin verdiği değerler
Kontrast Çözünürlüğü	Yıllık	Üreticinin verdiği değerler

Homojenite (Uniformity) Testi

Homojen fantom kullanılır

Merkezdeki ortalama CT sayısı
ile periferdeki ortalama CT
sayıları arasındaki fark
hesaplanarak analiz edilir

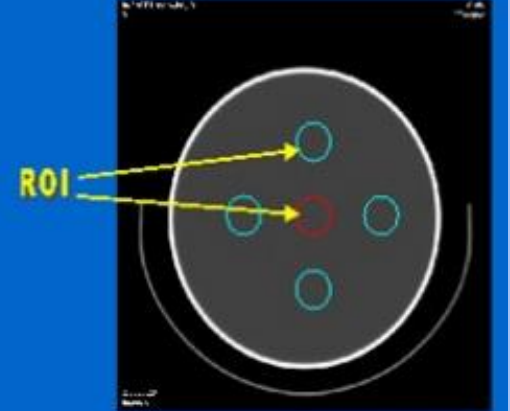
*(ROI Görüntü çapının %10 u
büyüklüğünde olmalıdır)*

- Standard single slice methods are used

Scout view of the head phantom



Noise image (head phantom)

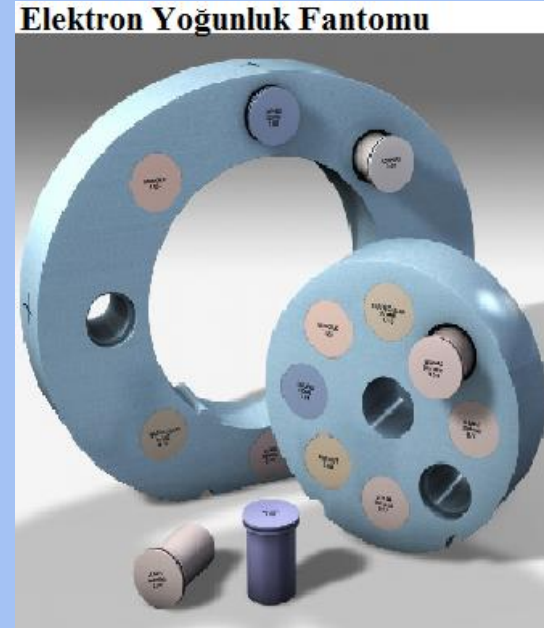


Elektron Yoğunluğunu CT Sayısına(HU) Çevirme

Bu test için, farklı ve bilinen elektron yoğunluklarına sahip materyallerden oluşan, bir fantom kullanılır.

ROI aracı, her materyal için ortalama CT sayısını ölçmek için kullanılır.

Ölçülen değerlere göre çizilen grafik, commissioning verileri ile karşılaştırılır.



Kontrast Çözünürlüğü

Kontrast Çözünürlüğü

Benzer obje kontrastına sahip dokuları birbirinden ayırt edebilme özelliğidir (Karaciğer Dalak böbrek gibi)

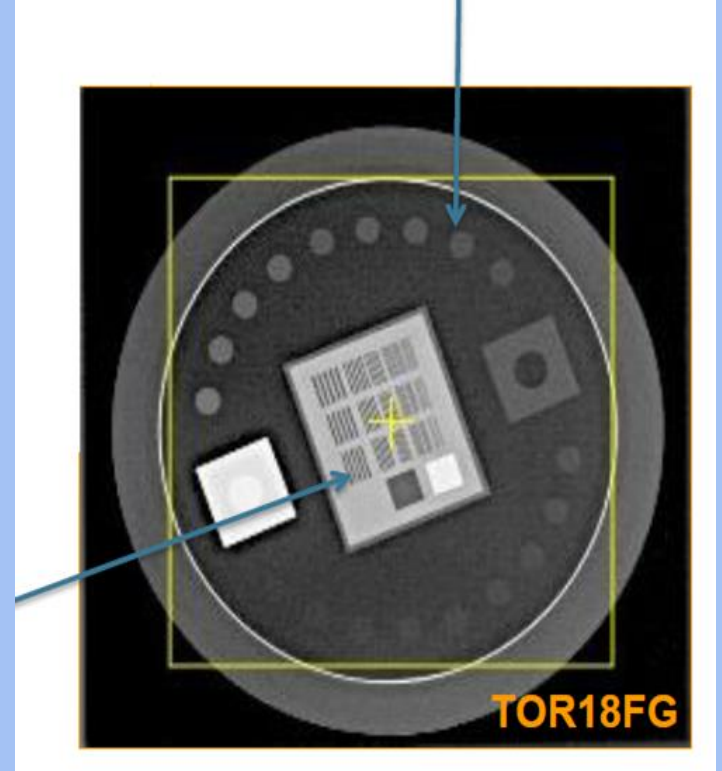
Uzaysal Çözünürlük (Spatial Resolution)

Yüksek Obje kontrastına sahip yapıları görüntüleyebilme özelliğidir (Kemik-Hava)

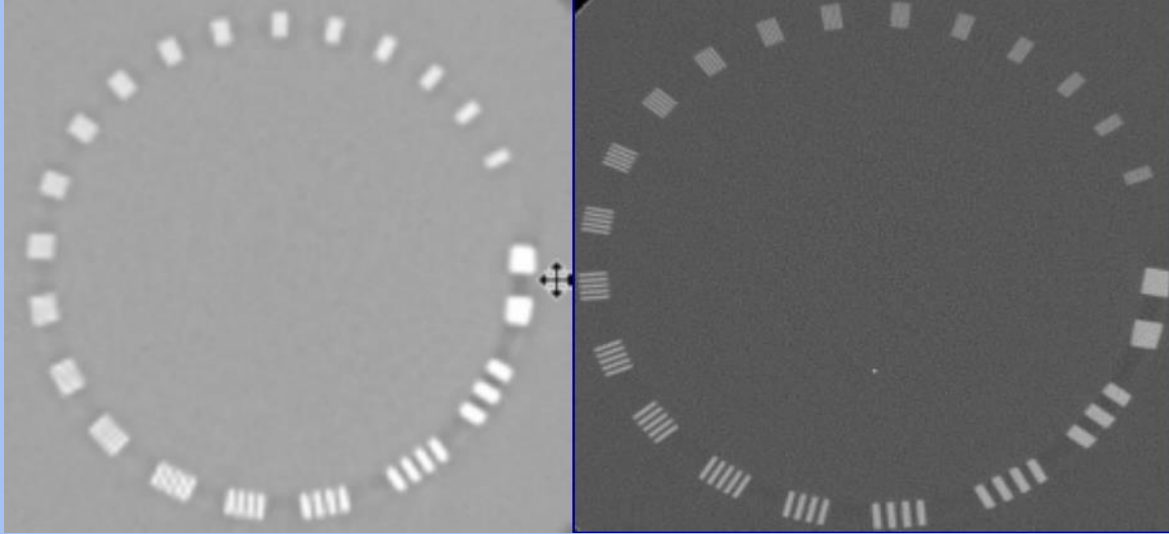
İki ayrı noktayı birbirinden ayırt edebilme yeteneği

Detayın görülebilirliği

Uzaysal Çözünürlük (Spatial Resolution)

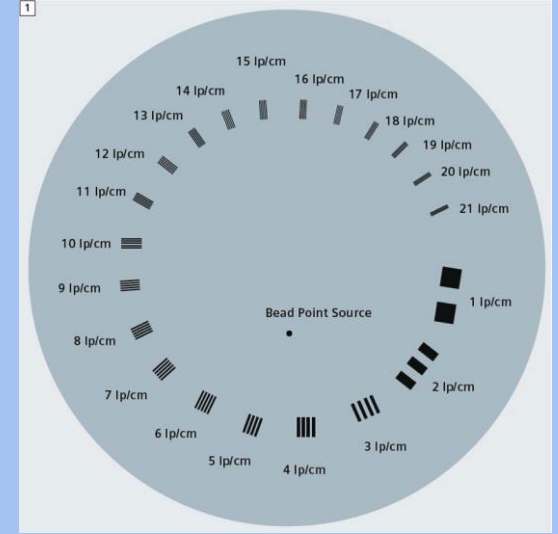


Uzaysal Çözünürlük



Düşük Çözünürlük

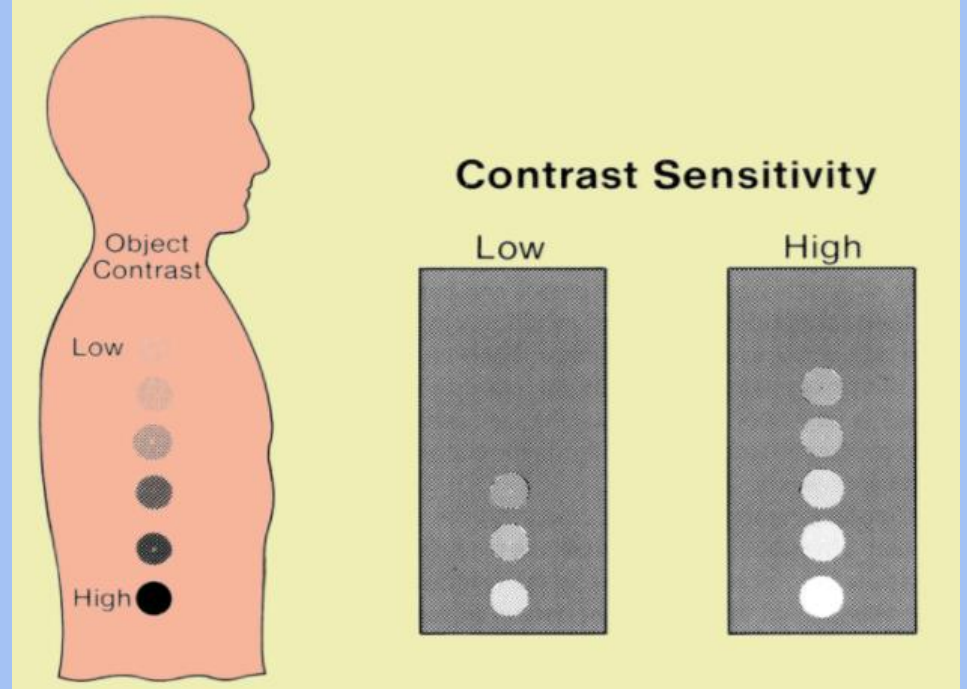
Yüksek Çözünürlük



Kontrast Hassasiyeti

Kontrast hassasiyeti; sistemin fiziksel kontrastını görüntü kontrastına aktarabilme gücüdür

Kontrast hassasiyeti arttıkça Görüntü kontrastı ve objelerin görülebilirliği artmaktadır



Hasta Güvenliği

Emniyet sistemlerinin testi

Acil durdurma butonları

Kapı kilit sistemi

Konsol açma kapama anahtarları

Radyasyon uyarı işaretleri

CT tarama tamamlanmadan, herhangi bir nedenle kesintiye uğratılırsa tarama tekrarlanır bu da hasta dozunun artmasına neden olur. Bu tür olasılıklar dikkate alınmalıdır.

Tedavi Planlama Sistemlerinde Kalite Güvenilirlik

CT Tabanlı Tedavi Planlamanın Gelişimi

1947 İlk Bigisayar Bug'ı

1974 İlk Tüm vücut CT sistemi

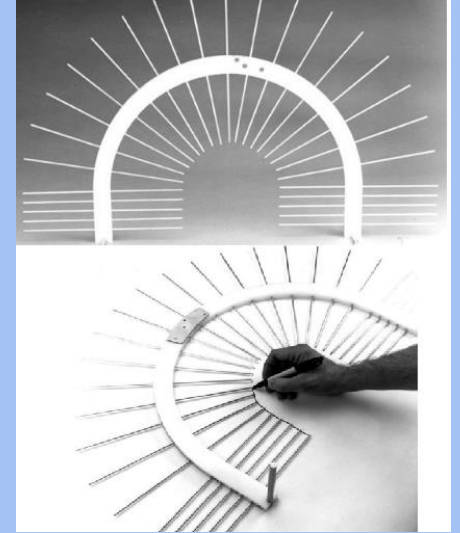
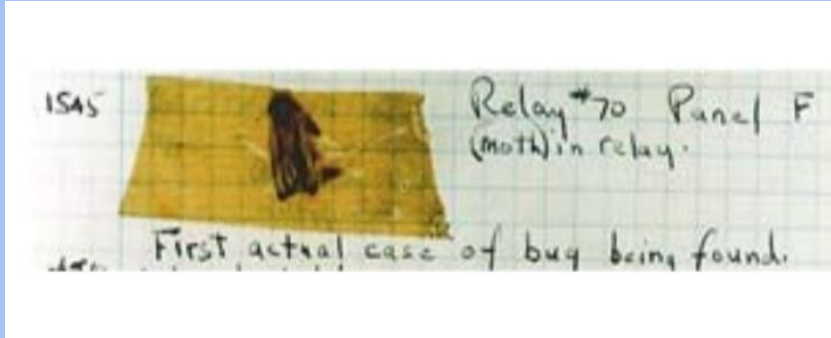
1954 External ışınlar için ilk program

1978 İlk CT tabanlı TPS

1970 İlk ticari TPS

1990 İlk 3D planlama sistemi

1971 İlk CT Tarayıcı



Dinamik Tedavilerin Gelişimi

1988 Inverse planlama tasarlandı

1993 Deneysel “Step and Shoot” uygulaması

2002 İlk ticari tomotherapy ünitesi

2007 Konvansiyonel linaklarda VMAT uygulaması

Dinamik Planlamalarda Yaşanan Zorluklar

MLC li uygulamada dozimetrik zorluklar

- Tong in Groove
- Leaf Gap
- Küçük alanları ölçme ve modelleme

IMRT (Kompleks hareket)

VMAT (Eşgüdümlü hareket)

Gating (Senkronize uygulama)

Tedavi Planlama Sistemlerinde QA'nın Gerekliliği

TPS kaynaklı ciddi kazaların ortaya çıkması

TPS'lerin giderek daha kompleks bir hal alması

- Farklı tedavi cihazı ve tekniklerinin artması

- Planlama sistemlerinin buna paralel geliştirilmesi

TPS'lerin zamanla radyoterapinin temelini oluşturması

Event*	Description	Comments
External treatment planning: Treatment planning, patient set-up and treatment		
21	Inconsistent sets of basic data	Lack of effective procedures and documentation: two inconsistent sets of data Incorrect data used without verification
22	Incorrect data for tissue maximum ratios	Lack of adequate verification: tables not verified against published data
23	Insufficient understanding of the TPS algorithm	Incorrect understanding of the use of the wedge factor by the TPS: incomplete validation of the TPS Lack of effective procedures and documentation: no manual checking of computer calculations
24	Incorrect basic data in the TPS	Inadequate commissioning of the TPS Inadequate transfer of information to newly appointed staff Lack of effective procedures and documentation: no independent check of treatment plans
25	Incorrect depth dose data	Insufficient training and/or expertise: known discrepancy was not resolved Lack of effective procedures and documentation: incorrect commissioning
26	Incorrect calculation of treatment times	Lack of effective procedures and documentation: incorrect tables accepted for use Lack of an independent check of the database No independent check of treatment time calculations
27	Misapplication of distance correction	Insufficient training and/or expertise: training should include a specific TPS Lack of effective procedures and documentation: incorrect commissioning of the treatment planning computer with a poor understanding of the algorithm Lack of independent checking procedures
28	Incorrect calculation of the inverse square law	Insufficient awareness of the actual treatment source to surface distance (SSD) Lack of an independent check of the treatment plan Lack of effective procedures and documentation: treatment times were not checked

Event*	Description	Comments
29	Incorrect calculation of open and wedged fields	Lack of an independent check of the treatment plan
30	Error in the wedge factor	Lack of effective procedures and documentation: lack of an independent check of the treatment plan Computer calculation was not manually checked
31	Wedge factors used twice in the calculation of the treatment time	Application without verification of a calculation adapted from another hospital Computer calculation was not checked manually
32	Failure to include intended wedges in the treatment set-up	No independent verification of the treatment parameters No inspection of the isodose distribution
33	Misunderstanding of the complex treatment plan given verbally	No written procedures for the treatment prescription Unclear verbal prescription Unusually complex plan involving two sites with different doses and different fractions
36	Calculation error after a change of treatment regimen	Lack of an independent check of the treatment plan Procedures were followed mechanically without sufficient awareness Ineffective weekly checking of the patient's chart
37	Confusion of fractional dose and total dose	Ineffective communication Three people failed to detect the error Unusual fractionation: failed to detect the error before the completion of the treatment
38	Incorrect positioning of treatment beams	Incorrect treatment set-up: poor implementation of instructions on the chart Patient set-up was not checked by another person: technologist worked alone
Brachytherapy: Low dose rate sources and applicators		
53	Incorrect dose calculation owing to the use of the wrong source strength	Used units inconsistent with the manufacturer's source specification Insufficient training and/or understanding of the TPS software No independent check of computer calculations

Event*	Description	Comments
54	Inconsistent units of source activity	Incorrect data for the dose calculation, caused by the supplier Different units used by the manufacturer and physicist Consistency of sources ordered and received was not checked No source strength measurement at the hospital
55	Sources of incorrect activity	Incorrect data for the dose calculation, caused by the supplier Different units used by the supplier and hospital Consistency of sources ordered and received was not checked No source strength measurement at the hospital
58	Treatment time based on an incorrect isotope	Incorrect patient dose calculation (used ¹⁹² Ir instead of ¹³⁷ Cs) No independent check of the treatment plan
59	Treatment planning based on the wrong isotope	Incorrect patient dose calculation (used ¹⁹² Ir instead of ¹²⁵ I) Ineffective communication between the radiation oncologist and dosimetrist No independent check of the treatment plan
60	Error in the calculation of the dose from eye plaque	Incorrect patient dose calculation: eye plaque was altered without changing the dose calculation Dose calculation was not checked by a second person Procedure for calculation was not well defined
62	Error in the calculation of the time of removal	Incorrect dose calculation No independent check of the time of removal
63	Wrong treatment distance in the dose calculation	Incorrect calculation: the physicist used a form and a calculation method that were obsolete No independent check of the calculations
64	Treatment based on an obsolete treatment plan	Patient's treatment was based on a plan that was later revised Poor communication between the oncologist, dosimetrist and physicist

Yaygın Görülen Hataların Kaynakları

Tutarsız/hatalı temel veriler

TPS'in yeterince anlaşılabilmesi

Açık/Kamalı alanların yanlış hesabı

TP'nin değiştirilmesinden sonra hesaplama hatası

Fraksiyon dozu ile toplam dozun karıştırılması

Sözel olarak anlatılan TP'nin yanlış anlaşılması

Yaygın Görülen Hataların Kaynakları

Dokümantasyon ve doğrulama eksikliği

Commissioning de yetersizlikler

Eksik onay

Tedavi planının bağımsız bir kontrolünün olmaması

Etkili prosedürlerin olmaması

**IAEA: Lessons Learned from Accidental Exposures in Radiotherapy, Safety Reports Series No. 17, IAEA, Vienna (2000).*

Hatalar Nasıl Minimuma İndirilir?

Yüklenici Firmanın Sorumlulukları

Sistem özelliklerini, algoritmaları (yetenekleri ve sınırlamaları içeren) doğru bir şekilde kullanıcıya aktarmalıdır

Sistemin ayrıntılı dokümanlarını sağlamalıdır

Kullanıcı eğitimi:

(1) Temel eğitim, (2) Devreye alma süreci, (3) Sistem yönetimi

(4) KG programının uygulanması

Yazılım güncellemeleri, program değişiklikleri ile ilgili ayrıntılı bilgi

Hatalarla ilgili net iletişim kurmalı, raporları oluşturmalı ve önlem almalıdır

Kullanıcı Sorumlulukları

Sorumlu Medikal Fizik Uzmanı belirlenmelidir (kurulum, kabul, devreye alma ve QA dahil)

Kabul, devreye alma ve **KG sürecini** uygulamalı ve **kayıt** tutmalıdır

TPS'in klinik kullanımı için **kullanıcı eğitimlerini** almalıdır

Yazılım yükseltilmesi durumunda QA, uygulama, devreye alma, belgeleme işlemlerini yapmalıdır.

Yazılım hataları ve güncellemeleri konusunda **yüklenici firma ile sürekli iletişim** halinde olmalıdır.

TPS de sınırlamalar ve hatalar konusunda **kullanıcılarla iletişime geçmelidir** sonuçları değerlendirmelidir.

Herhangi Bir Radyoterapi Cihazını Devreye Alma Aşamaları

Klinik ihtiyaçların belirlenmesi

Seçim ve satın alma süreci

Kurulum

Kabul Testleri (Acceptance)

Devreye Alma (Commissioning)

Eğitim

Klinik Kullanım

Periyodik QA

Periodik QC

Mevcut sistemin ilk değerlerini koruyup korumadığını düzenli olarak takip edilmesini sağlayan işlemlerdir.

Hastaya Özel QC

Hastaya özel tedavi planı veya ekipmanı üzerinde yapılan işlemler.

Planlamada Kalite ve Doğruluk

Kaliteli Tedavi Planı?

Hedefi saran

Kritik organları koruyan

Belirlenen dozu verebilen planlar

Doğru Tedavi Planı?

Cihaz QA✓

Doz Hesabı✓

Organ Hareketleri✓

Verifikasyon✓

Belirsizliklerin Kaynağı

Doz ölçümleri (İyon odası, film)

Fantom setup'ı

Işın uygulaması (su fantomu ölçümleri, alan homojenitesi)

Doz hesaplama algoritmaları

Işın modellemedeki yaklaşımlar

Geometrik parametreler

Commissioning ve değişmezlik testleri arasındaki farklılıklar

Tedavi Planlama Sistemlerinde Rutin Periyodik QA Programı Neleri İçermelidir?

Eksternal ve Brakiterapi planlamalarında, Doz ve Monitör Unit (MU) hesaplarında kullanılan TPS verilerinin bütünlüğü ve güvenilirliği kontrol edilmelidir.

Veri girişi için kullanılan çevresel aygıtların (CT, MR, PETCT, veri aktarımında rol oynayan tüm diğer bileşenlerin) doğruluğu kontrol edilmelidir.

TPS sistem yazılımının bütünlüğü kontrol edilmelidir.

Yazıcılar, çiziciler, otomatik aktarım işlemleri, bilgisayar kontrollü blok kesiciler gibi bağlantılar da dahil olmak üzere çıktı aygıtlarının ve yazılımlarının işlevleri ve doğrulukları kontrol edilmelidir.

Fantom, kolimatör saçılma faktörleri, wedge ve tepsi soğurma faktörleri ve MU hesaplamalarını ilgilendiren diğer faktörler test edilmelidir. Açık ve Wedge li alanlarda doz profilleri test edilmelidir.

Kare yada dikdörtgen alanlarda izodoz eğrileri oluşturulmalı ve gerçek verilerle karşılaştırılmalıdır.

İki farklı SSD de %DD, profil ve izodoz eğrileri oluşturarak karşılaştırma yapılmalıdır.

Düzenli ve düzensiz alanlarda doz hesabı yapılmalıdır

Her enerji için, farklı bloklu alanlarda ve şekillerde oluşturulan, doz dağılımları doğrulanmalıdır.

MLC ile oluşturulmuş standart alanlarda doz dağılımları doğrulanmalıdır

Herbir elektron enerjisi ve aplikatör için standart SSD de, DD ve verim faktörleri doğrulanmalıdır.

Standart SSD de, her enerjide ve standart aplikatör setlerinde (küçük, orta, büyük) doz profillerinin ve izodoz eğrilerinin doğruluğu kontrol edilmelidir.

Farklı enerji kombinasyonları kullanarak şekillendirilmiş alanlar için doz dağılımları oluşturulmalı ve kontrol edilmelidir.

Enerji bazlı yoğunluk düzeltme algoritması kullanılıyorsa, her bir foton ve elektron enerjileri için, enerji bazlı yoğunluk algoritması sonuçları gözden geçirilmelidir.

Enerji ve anatomik model için CT tabanlı kütle yoğunluk hesaplamaları gözden geçirilmelidir.

Plan bazlı MU hesaplamaları yapılmalı ve kontrol edilmelidir.

Yazılım Hataları

Modern bir planlama sistemi uzun yıllar süren ve birçok kişinin üzerinde çalıştığı milyonlarca kod satırından oluşmaktadır.

Yazılım mühendisliği dünyasında iyi tasarlanmış ve uygulanmış yazılım sistemleri bile her **100-1000 kod satırda hala en az bir yazılım hatası** içerebilmektedir.

**HER ZAMAN KLİNİK AÇIDAN ÖNEMLİ OLABİLECEK YAZILIM HATALARI
OLMA İHTİMALİ VARDIR**

Modern Tedavi Planlama Sistemleri karmaşık veri yapıları ve algoritmaları içerir ve büyük esneklik sunar.

Tüm sistemin tek bir bölümünde kapsamlı testlerin yapılması imkansızdır.

Dolayısıyla, sistemin doğru davranışını sağlamaya yardımcı olması için diğer QA araçları kullanılmalıdır.

Hastalar için genellikle standart planlama prosedürlerinin değişik varyasyonları kullanılarak tedavi planları oluşturulur.

Daha önce düşünülmeyen yeni teknikler de genellikle planlama süreci içerisinde ortaya çıkmaktadır.

Oluşturulan QA programları yeni teknikleri uygulamadan önce doğruluklarının kontrol edilmesine imkan sağlamaktadır.

Sıklık	Konu	Öneri
Günlük	“Error log/Change log” Dosyalarının Kontrolü	Sistem arızalarının, hata mesajlarının, yazılım ve donanım değişikliklerinin kayıtlarının tutulduğu “log” dosyaları incelenmelidir.
Haftalık	Digitizer Basılı çıktılar Bilgisayar Dosyaları Tedavi planları	Digitizerın doğruluğu gözden geçirilmelidir Grafik tip dahil tüm basılı çıktılar gözden geçirilmeli ve ölçekler kontrol edilmelidir. Yüklenici firmadan temin edilebilen “dosya kontrol yazılımları” kullanılarak tüm TPS veri dosyaları kontrol edilmelidir. Tedavi planları gözden geçirilmelidir. Hatalar, sorunlar, komplikasyonlar ve zorluklar tartışılmalı ve sorunlar çözülmelidir.

Sıklık	Konu	Öneri
Aylık	TPS'e CT verilerinin girişı Sorunların değ erlendirilmesi TPS'in göz den geçirilmesi	Planlama sisteminde CT'nin geometrik doğ ruluğu, HU değ erleri ve elektron yoğunluğu kontrol edilmelidir. Tüm TPS sorunları göz den geçirilmeli ve öncelik sırasına göre ç özüm üretilmelidir. Tüm TPS yazılımı, donanımı ve veri dosyaları göz den geçirilmeli, mevcut sistem konfigürasyonu ve durumu incelenmelidir.
Yıllık	Doz hesaplamalar Veri ve I/O cihazları Kritik yazılım araçları	Her bir ışı n yada kaynak için, hesaplanan ve ölç ülen dozlar arasındaki uyum kontrol edilmelidir. CT, MR, yazıcı ve çizici gibi veri giriş çık ışı olan cihazların fonksiyonluğu ve doğ ruluğu kontrol edilmelidir.
Değ işken	Işı n Parametreleri İşletim sistemini de içeren yazılım değ iş iklikleri	Cihazda meydana gelen değ iş iklikler yada problemler nedeniyle kontrol ve/veya tekrar "commissioning" yapmak gerekebilir TPS yazılımında, yada ek yada destek yazılımlarında yada iş letim sistemindeki değ iş ikliklerde kontrol ve/veya tekrar commissioning yapmak gerekebilir

Selection of Key Documents on Treatment Planning System Commissioning and Quality Assurance

Year	Who	Nature of document	Title	Comments
1955	Tsien, K. C.	Br. J. Radiat. 28, 432-439 (1955).	The Application of Automatic Computing Machines to Radiation Treatment Planning.	First use of computers for treatment planning
1980	McCullough et al	Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 6, 1599 - 1605 (1980)	Performance Evaluation of Computerized Treatment Planning Systems for Radiotherapy: External Photon Beams	1st general article on TPS QA - list of recommended tests - Discussion of appropriate accuracy
1987	ICRU	Report 42	Use of computers in External beam Radiotherapy Procedures with High-Energy Photons and Electrons	- Very General Recommendations: - Repeat same calculation on a regular basis - Maintain manual calculation skills - In Vivo measurements in limited cases
1990	Jacky et al	Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 18, 253 - 261 (1990)	Testing a 3-D Radiation Therapy Planning Program	- Compare against independent calculations - Testing based on program specifications - Performed hand calculations to match computer generated output using the same algorithm as computer
1993	Van Dyke et al	Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 26, 261-273 (1993).	Commissioning and Quality Assurance of Treatment Planning Computers	- Comprehensive overview of TPS Commissioning and QA - Detailed tests for both commissioning and ongoing QA described - Recommended tolerances given - Recommends both manual point dose calculation check and in Vivo dosimetry
1995	AAPM	TG #23 Report 55 downloadable data	Radiation Treatment Planning Dosimetry Verification	- Data and measured/computed results to verify accuracy of TPS - Outdated IAEA 1540 replaces it
1998	AAPM	TG #53 Report 63	Quality assurance for clinical radiotherapy treatment planning	- Covers acceptance, commissioning, ongoing QA, Personnel - Includes tests of imaging, dose calculation, output, security - For Photon, Electron, Brachytherapy

1999	Swiss Society of Radiobiology and Medical Physics	Published Report	Quality Control of Treatment Planning Systems for Teletherapy Recommendations No 7	Very practical guidelines
2001	ICRP	Publication 86 Ann. ICRP 30, 1-70 (2001).	Prevention of accidental exposures to patients undergoing radiation therapy	Summary and analysis of accidents in RT
2002	Kilby W. et al	PMB 47 1485-1492 (2002)	Tolerance levels for quality assurance of electron density values generated from CT in radiotherapy treatment planning.	An 8% error in estimating tissue density will cause a 1% dose error
2003	AAPM	Med. Phys. 30, 2089-2115 (2003).	Guidance document on delivery, treatment planning, and clinical implementation of IMRT	1st Guidance document on IMRT - Inverse planning - Leaf sequencing algorithms - MLC leaf gap - Modeling small fields - Discusses individual patient QA
2003	AAPM	Med. Phys. 30, 2762-2792 TG #66	Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed tomography-simulation process	Includes RED curve tests and DRR tests
2004	AAPM	TG #65 REPORT NO. 85	Tissue Inhomogeneity Corrections for Megavoltage Photon Beams	Highlights increased complexity of TPS calculations with CT based planning
2004	ESTRO	Booklet #7	Quality Assurance of Treatment Planning Systems Practical Examples for Non-IMRT Photon Beams	Include block cutter and Data Transfer checks
2004	IAEA	Technical Report #430	Commissioning and Quality Assurance of Computerized Planning Systems for Radiation Treatment of Cancer	- Includes purchase process, training, patient specific QA, recommendations after upgrades 244 recommended tests - Emphasis on staffing and reporting structures
2006	Netherlands Commission on Radiation Dosimetry	Published Report	Quality assurance of 3-D treatment planning systems for external photon and electron beams	

2006	AAPM	TG #76	The management of respiratory motion in radiation oncology	
2007	IAEA	TECDOC 1540	Specification and Acceptance Testing of Radiotherapy Treatment Planning Systems	- Provides Data, Tests and Results for use in evaluating a TPS - Include functional tests, dose accuracy tests, - This IAEA report uses the description of the tests directly from the IEC 62083 Standard
2007	AAPM	AAPM TG #105 Report (Medical Physics Article)	Issues associated with clinical implementation of Monte Carlo-based photon and electron external beam treatment planning	Issues specific to Monte Carlo algorithms
2007	ACR	American College of Radiology practice guideline	Practice Guideline for Intensity-Modulated Radiation Therapy (IMRT)	High level document
2008	IAEA	IAEA TECDOC 1583	Commissioning of Radiotherapy Treatment Planning Systems: Testing for Typical External Beam Treatment Techniques	- Practical tests relevant to typical planning scenarios - Helps give a sense of accuracies in planning system
2008	ESTRO	Booklet #9	Guidelines for the Verification of IMRT	- Includes In Vivo dosimetry - Summarizes practices at different centers
2008	AAPM	Med. Phys. 35, 4186-4215 (2008) TG #106	Accelerator beam data commissioning equipment and procedures	Include recommendations for pre-processing data prior to use with TPS commissioning
2008	Breen S, et al	Med. Phys. 35, 4417-4425 (2008)	Statistical process control for IMRT dosimetric verification	Process Control charts applied to IMRT QA
2009	AAPM	Med. Phys. 36, 5359 - 5373 (2009). TG #119	IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119	- Clinically relevant set of tests - Reports plan results and measurements from 10 different institutions - Planning and QA test data available via aapm.org
2009	AAPM	JACMP 10(4):16-35 (2009) TG #201 Initial Report	Information technology resource management in radiation oncology	Tasks and personnel required for radiation oncology IT infrastructure

2009	ICRP	Publication 112 Annals of the ICRP 39, (2009).	Preventing Accidental Exposures from New External Beam Radiation Therapy Technologies.	An expansion of ICRP 86 focusing on the risks in new technology
2011	Neims et al	Med. Phys. 38, 1037-1044 (2011).	Per-beam, planar IMRT QA passing rates do not predict clinically relevant patient dose errors.	A critical evaluation of IMRTQA techniques
2012	Ford et. al.	Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys., 84(3), 263-269, (2012)	Quality Control Quantification (QCQ): A tool to measure the value of quality control checks in radiation oncology	Critical analysis of the effectiveness of various QA techniques
2013	Molineu et al	Med Phys, 40, 2013	Credentialing results from IMRT irradiations of an anthropomorphic head and neck phantom	Significant number of failures with RPC Credentialing
2014	AAPM	Med. Phys. 41, 031501 (2014). TG #71	Monitor unit calculations for external photon and electron beams	Includes discussion of manual vs TPS MU calculations
2014	AAPM	AAPM TG #176 Report (Medical Physics Article)	Dosimetric effects caused by couch tops and immobilization devices: Report of AAPM Task Group 176	
2014	McVicker, A. T., et al.	Master's Thesis from Duke University	Clinical Implications of AAA Commissioning Errors and Ability of Common Commissioning & Credentialing Procedures to Detect Them.	- Deliberately introduced errors into TPS parameters to determine dosimetric effect - Applied TG #119 and iROC TLD tests to evaluate their effectiveness at detecting the errors
2014	Noel et al	Int J Radiation Oncol Biol Phys., 88, 1161-1166 (2014)	Quality assurance with plan veto: Reincarnation of a record and verify system and its potential value	A tool to check RT data transfer
2015	CPQR	Canadian Partnership for Quality Radiotherapy Guidance Document	Technical Quality Control Guidelines for Canadian Radiation Treatment Centres Treatment Planning Systems	- Some things not covered by other documents e.g.: - Backup restore test, - Checking error logs, - Detailed end-to end test, - Review by second medical physicist

2015	AAPM	AAPM Practice Guidelines TG #244 (MPPG #5) (JACMP Article to be published Sept 2105)	Treatment Planning System Commissioning and QC/QA	
Not Published	AAPM	TG #100	Method for Evaluating QA Needs in Radiation Therapy	
Not Published	AAPM	TG #132	Use of Image Registration and Data Fusion Algorithms and Techniques in Radiotherapy Treatment Planning	
Not Published	AAPM	TG #157	Commissioning of beam models in Monte Carlo-based clinical treatment planning	
Not Published	AAPM	TG #201	Quality Assurance of External Beam Treatment Data Transfer	
Not Published	AAPM	TG #218	Tolerance Levels and Methodologies for IMRT Verification QA	
Not Published	AAPM	TG #219	Independent Dose and MU Verification for IMRT Patient Specific Quality Assurance	
Not Published	AAPM	TG #262	Electronic Charting	
Not Published	AAPM	TG #262	Strategies for Effective Physics Plan and Chart Review in Radiation Therapy	

TEŞEKKÜRLER