



Görüntü Kılavuzluğu Sistemlerinde Cihaz QA

Murat OKUTAN PhD.

Tanım

- **Kalite Güvenirliği (Quality Assurance-QA):**
 - Bir ürün veya bir hizmetin yeterli kalitede olmasının sağlanması için gerekli olan planlı ve sistematik eylemlerdir.
 - Ürünün kalitesine bağlı olarak bu kaliteyi etkileyecek tüm süreçleri kontrol altında tutmayı hedefler.
- **Kalite Kontrol (Quality Control-QC):**
 - Bir ürünün gerçek kalite performansı süresince yapılan işlem veya ölçülen dataların var olan standart datalarla karşılaştırılması işlemidir.
 - Ürünün kalitesini kontrol etmek anlamına gelir.

Radyoterapide Kalite Güvenirliğinin (QA) Amacı

Kararlaştırılmış radyasyon dozunu bilimsel olarak kabul edilmiş kriterler içinde doğru olarak hastaya verilmesini sağlamaktır.

Radyoterapide Kalite Güvenirliliği

- QA, radyoterapinin herhangi bir aşamasındaki belirsizlik ve hataları azaltır.
- QA, verilen dozun geometrik ve dozimetrik kontrolünü sağlar.
- QA, radyoterapi cihazların maksimum performansta çalışmasını sağlar.
- QA, istenilen kalitede tedavinin yapılmasını sağlar.

Radyoterapide Hata Kaynakları

- Hedef hacim dozundaki % 7 - 10 arasındaki bir değişiklik tümör kontrol olasılığında belirgin bir etkiye neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar hedef hacme verilen doz farklılığının %5 'in içinde olması gerektiğini göstermiştir.
- Radyoterapi işlemleri sırasında hedef hacme verilen dozdaki belirsizlik, farklı adımlarda meydana gelebilmektedir.

Radyoterapide Hata Kaynakları

Hastaya verilen radyasyon tedavisindeki **belirsizlikler** iki adımda incelenir.

- **Doz ile ilgili belirsizlikler**

Doz hesaplamaları,
Inhomojenite,
Cihaz verimindeki değişiklikler...

- **Geometrik belirsizlikler**

Tedavi cihazından kaynaklanan belirsizlikler

Mekanik

Çapraz kollar,
Işıklı-ışınlı alan uyumu,
Izosantr,
Masa eğimi, vs...

Hastaya bağlı olan belirsizlikler

Günümüzde Radyoterapi

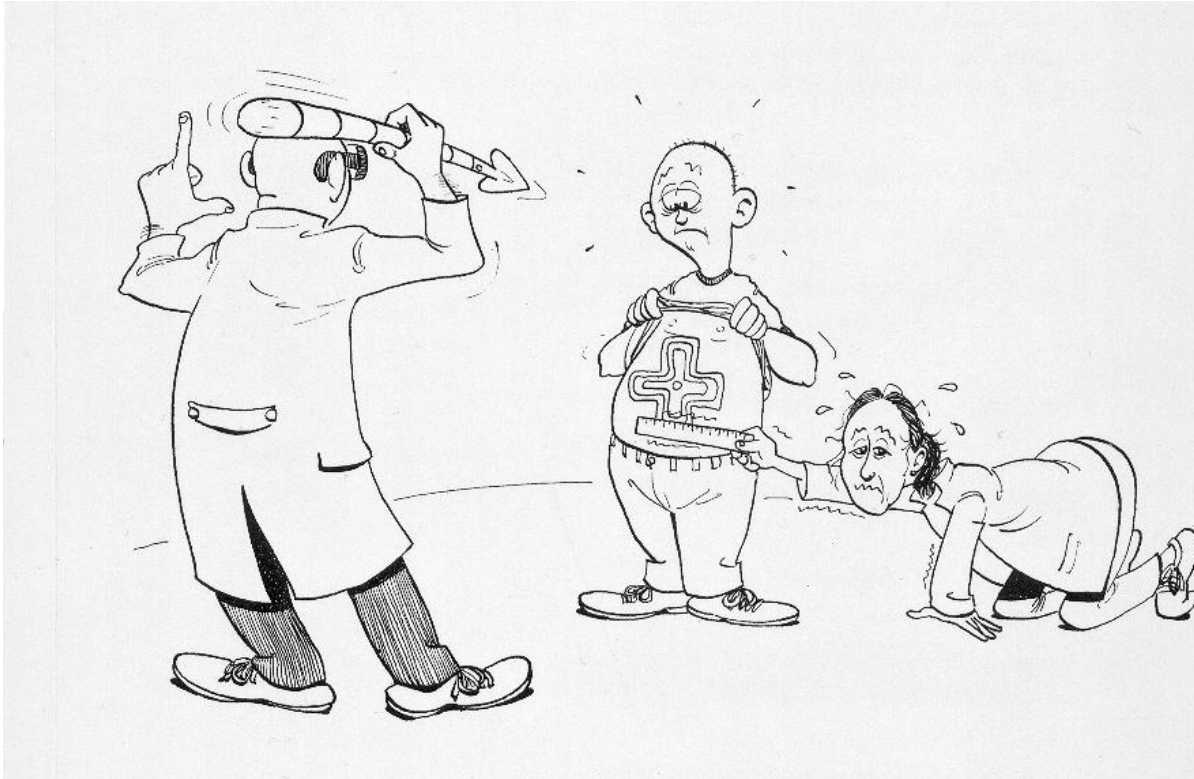
Görüntü eşliğinde tedaviler,

- 3D-CRT (3D-Konformal Radyoterapi)
 - IMRT (Yoğunluk Ayarlı Radyoterapi)
 - IMAT (Yoğunluk Ayarlı Arc Tedavi)
 - SRS (Stereotaktik Radyocerrahi)
- SBRT (Stereotaktik Vücut Radyoterapisi)

teknikleri ile yapılmaktadır.

IGRT Nedir?

Görüntü Kılavuzluğunda Radyoterapi, tedaviden hemen önce veya tedavi sırasında hastanın tedavi pozisyonundaki görüntülerini kullanarak tümörü hedefler.



* Sandra Vieira, "Dosimetric Verification of Intensity Modulated Radiotherapy with an Electronic Portal Imaging Device". Thesis, 2005. (drawn by Andy Bahnert)

IGRT ile

- PTV'de tedavi marjlarının azaltılması sağlanır.
- Tümör için doz artışı mümkün olur.
- Tedavi, daha az komplikasyonla sonuçlanabilir.
- Hedefin coğrafi açıdan kaçırılma ihtimali azaltılmış olur.

Hedef Belirleme Teknolojileri

- **MV Tabanlı**
 - EPID
 - MV-CB CT (Mega Voltage Cone Beam CT)
 - MV-CT (Tomoterapi)
- **kV Tabanlı**
 - kV-CBCT(Kilo Voltage Cone Beam CT)
 - In room CT (kV CT)
 - Stereoskopik kV görüntüleme (Cyberknife)
- **Diğer çözümler**
 - Ultrasonografi (BAD)
 - Video tabanlı
 - Radyofrekansı tabanlı
 - MR tabanlı

IGRT Sistemlerinde QC

- **Emniyet**
 - Cihaz çarpışma kontrolleri
- **Geometrik performans**
 - Tümörü iskelelememek
 - Sistemik hatalardan kaçınmak
- **Görüntü kalitesi**
 - Bulanıklığı önlemek veya azaltmak
- **Görüntüleme dozu**

IGRT Sistemlerinde QC

- **Cihaz haberleşme sistem altyapısı**
 - Haberleşme ağının doğru çalışması
 - Arşivleme ve depolama yeterliliği
- **Uygulama**
 - Kullanıcıların yetkinliği
 - Kanıta dayalı protokollerin izlenmesi
 - İmmobilasyon
 - Görüntüleme sıklığı
 - Hata toleransları

IGRT Uygulama Süreci

- Klinik tarafından IGRT tedavisi yapmanın zamanının geldiğinin kararının verilmesi
- Yeni teknolojilerin araştırılması
- Klinik için uygun teknolojinin satın alınması
- Cihaz eğitimlerinin alınması
- **Cihazın kabul testlerinin yapılması**
- **Klinikte cihazın çalışmaya başlaması**
- **Cihaz için kliniğe uygun QC periyodik testlerin geliştirilmesi**
 - Günlük
 - Haftalık
 - Aylık
 - Yıllık
- **Hastaya özel QA**

IGRT Uygulama Süreci

Maalesef

*Tüm yeni teknolojiler için
özel QA kılavuz yok*

QA Klavuzları

- **AAPM TG-142:** Medikal Hızlandırıcıların Kalite Güvencesi
- **AAPM TG-58:** EPID in Klinik Kullanımı
- **AAPM TG-101:** Stereotaktik vücut radyasyon tedavisi
- **AAPM TG-104:** Hasta Setupı ve Hedef Lokalizasyonunda odada kV X-Ray Görüntülemenin Rolü
- **AAPM TG-179:** BT tabanlı teknolojileri kullanan görüntü kılavuzlu radyasyon tedavisi için kalite güvencesi.
- **AAPM TG-135:** Robotik radyocerrahi için kalite güvencesi
- **AAPM TG-148:** Helikal tomoterapi için QA
- **AAPM TG-147:** Radyografik olmayan radyoterapi lokalizasyonu ve konumlandırma sistemleri için kalite güvencesi.
- **AAPM TG-180:** Radyoterapi Sırasında Verilen Görüntü Klavuz Dozları: Miktar Belirleme, Yönetim ve Azaltma

QA Klavuzlar

- **AAPM TG-154:** Prostat kanseri için ultrason eşliğinde eksternal radyoterapisi kalite güvencesi
- J. P. Bissonnette, “Quality assurance of image-guidance technologies”. *Semin. Radiat. Oncol.* **17, 278–286 2007.**
- Yoo et al, A quality assurance program for the on-board imager, **Med Phys 2006 (33), 4431**
- ESTRO Guidance on 3D CT based in-room image guidance systems, Radiotherapy and Oncology, **2010 (94), 129-144**
- **Üretici firma önerileri**
- **Acceptance verileri**

Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators

- TG-142 Günlük

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
Dosimetry			
X-ray output constancy (all energies)			
Electron output constancy (weekly, except for machines with unique e-monitoring requiring daily)		3%	
Mechanical			
Lazer lokalizasyonu	2 mm	1.5mm	1 mm
Mesafe göstergesi ODI @ izo	2 mm	2 mm	2 mm
Kolimatör alan göstergesi	2 mm	2 mm	1 mm
Safety			
Door interlock (beam off)		Functional	
Door closing safety		Functional	
Audiovisual monitor(s)		Functional	
Stereotactic interlocks (lockout)	NA	NA	Functional
Radiation area monitor (if used)		Functional	
Beam on indicator		Functional	

Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators

- TG-142 Aylık

Procedure	Machine-type tolerance		
	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
Dosimetry			
X-ray output constancy			
Electron output constancy		2%	
Backup monitor chamber constancy			
Typical dose rate ^a output constancy	NA	2% (@ IMRT dose rate)	2% (@ stereo dose rate, MU)
Photon beam profile constancy		1%	
Electron beam profile constancy		1%	
Electron beam energy constancy		2%/2 mm	
Mechanical			
Light/radiation field coincidence ^b		2 mm or 1% on a side	
Light/radiation field coincidence ^b (asymmetric)		1 mm or 1% on a side	
Distance check device for lasers compared with front pointer		1mm	
Gantry/collimator angle indicators (@ cardinal angles) (digital only)		1.0°	
Accessory trays (i.e., port film graticle tray)		2 mm	
Jaw position indicators (symmetric) ^c		2 mm	
Jaw position indicators (asymmetric) ^d		1 mm	
Tedavi masası pozisyon göstergesi	2mm/1 derece	2 mm/1 derece	1 mm/0.5 derece
Wedge placement accuracy		2 mm	
Compensator placement accuracy ^f		1 mm	
Latching of wedges, blocking tray ^g		Functional	
Lokalizasyon lazerleri	± 2 mm	±1 mm	< ± 1 mm

Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators

- TG-142 Yıllık

Procedure	Non-IMRT	IMRT	SRS/SBRT
Dosimetry			
X-ray flatness change from baseline		1%	
X-ray symmetry change from baseline		$\pm 1\%$	
Electron flatness change from baseline		1%	
Electron symmetry change from baseline		$\pm 1\%$	
SRS ark dönme modu (aralık : 0.5 -10 MU/ derece)	NA	NA	set edilen ve verilen MU 1.0 MU veya %2 set edilen ve verilen gantry arkı 1° veya % 2
output factors for x ray (two or more FSs)			
Output factors for electron applicators (spot check of one applicator/energy)		$\pm 2\%$ from baseline	
X-ray beam quality (PDD_{10} or TMR_{10}^{20})		$\pm 1\%$ from baseline	
Electron beam quality (R_{50})		± 1 mm	
Physical wedge transmission		$\pm 2\%$	
X-ışını monitör unit lineerliği (doz verimi sabitliği)	$\pm 2\% \geq 5$ MU	$\pm 5\% (2-4$ MU) ≥ 5 MU	$\pm 5\% (2-4$ MU) $\pm 2\% \geq 5$ MU
Electron monitor unit linearity (output constancy)		$\pm 2\% \geq 5$ MU	
X-ray output constancy vs dose rate		$\pm 2\%$ from baseline	
X-ray output constancy vs gantry angle		$\pm 1\%$ from baseline	
Electron output constancy vs gantry angle		$\pm 1\%$ from baseline	
Electron and x-ray off-axis factor constancy vs gantry angle		$\pm 1\%$ from baseline	
Arc mode (expected MU, degrees)		$\pm 1\%$ from baseline	

Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators

- TG-142 Yıllık

Arc mode (expected MU, degrees)	$\pm 1\%$ from baseline
TBI/TSET mode	Functional
PDD or TMR and OAF constancy	1% (TBI) or 1 mm PDD shift (TSET) from baseline
TBI/TSET output calibration	2% from baseline
TBI/TSET accessories	2% from baseline

Mechanical

Collimator rotation isocenter	± 1 mm from baseline
Gantry rotation isocenter	± 1 mm from baseline
Couch rotation isocenter	± 1 mm from baseline
Electron applicator interlocks	Functional

Radyasyon ve mekanik eşmerkezlerin uyumu	± 2 mm	± 2 mm	± 1 mm
--	------------	------------	------------

Table angle		1°	
Table travel maximum range movement in all directions		± 2 mm	
Stereotactic accessories, lockouts, etc.	NA	NA	Functional

Safety

Follow manufacturer's test procedures	Functional
---------------------------------------	------------

Respiratory gating

Beam energy constancy	2%
Temporal accuracy of phase/amplitude gate on	100 ms of expected
Calibration of surrogate for respiratory phase/amplitude	100 ms of expected
Interlock testing	Functional

Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators

- TG-142 MLC

TABLE V. Multileaf collimation (with differentiation of IMRT vs non-IMRT machines).

Procedure	Tolerance	
	Weekly (IMRT machines)	
Qualitative test (i.e., matched segments, aka “picket fence”)		Visual inspection for discernable deviations such as an increase in interleaf transmission
	Monthly	
Setting vs radiation field for two patterns (non-IMRT)		2 mm
Backup diaphragm settings (Elekta only)		2 mm
Travel speed (IMRT)		Loss of leaf speed >0.5 cm/s
Lif pozisyon doğruluğu (IMRT)		1 IMRT alanı için 1 mm
	Annually	
MLC transmission (average of leaf and interleaf transmission), all energies		±0.5% from baseline
Leaf position repeatability		±1.0 mm
MLC spoke shot		≤1.0 mm radius
Coincidence of light field and x-ray field (all energies)		±2.0 mm
Segmental IMRT (step and shoot) test		<0.35 cm max. error RMS, 95% of error counts <0.35 cm
Moving window IMRT (four cardinal gantry angles)		<0.35 cm max. error RMS, 95% of error counts <0.35 cm

Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators

- TG-142 Görüntüleme

TABLE VI. Imaging.

Procedure	Application-type tolerance	
	non-SRS/SBRT	SRS/SBRT
Daily ^a		
<u>Planar kV and MV (EPID) imaging</u>		
Collision interlocks	Functional	Functional
Görüntüleme ve tedavi koordinatlarının uyumu (tek gantry açısı)	≤2 mm	≤1 mm
	≤2 mm	≤1 mm
<u>Cone-beam CT (kV and MV)</u>		
Collision interlocks	Functional	Functional
Görüntüleme ve tedavi koordinatlarının uyumu (tek gantry açısı)	≤2 mm	≤1 mm
	≤1 mm	≤1 mm
Monthly		
Planar MV imaging (EPID)		
Imaging and treatment coordinate coincidence (four cardinal angles)	≤2 mm	≤1 mm
Scaling ^b	≤2 mm	≤2 mm
Spatial resolution	Baseline ^c	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline

Task Group 142 report: Quality assurance of medical accelerators

- TG-142 Görüntüleme

Planar kV imaging^d

Imaging and treatment coordinate coincidence (four cardinal angles)	≤ 2 mm	≤ 1 mm
Scaling	≤ 2 mm	≤ 1 mm
Spatial resolution	Baseline	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline

Cone-beam CT (kV and MV)

Geometrik distorsiyon	≤ 2 mm	≤ 1 mm
Spatial resolution	Baseline	Baseline
Contrast	Baseline	Baseline
HU constancy	Baseline	Baseline
Uniformity and noise	Baseline	Baseline

Annual (A)

Planar MV imaging (EPID)

Full range of travel SDD	± 5 mm	± 5 mm
Imaging dose ^e	Baseline	Baseline

Planar kV imaging

Beam quality/energy	Baseline	Baseline
Imaging dose	Baseline	Baseline

Cone-beam CT (kV and MV)

Imaging dose	Baseline	Baseline
--------------	----------	----------

Stereotactic body radiation therapy: The report of AAPM Task Group 101

- SBRT'yi geleneksel radyasyon tedavisinden ayıran özellikler vardır ki bunlar;
 - tedavi için kullanılan ışınların sayısındaki artış,
 - düzlemsel (noncoplanar) olmayan ışınların sık kullanımı,
 - penumbra'nın küçük olması,
 - homojen olmayan doz dağılımlarının olmasıdır.
- SBRT uygulaması, tüm tedavi sürecinin doğruluğuna yüksek düzeyde güven gerektirir.
- SBRT'de bu doğruluğa güven, modern görüntüleme, simülasyon, tedavi planlaması ve doz dağılım teknolojilerinin tedavi sürecinin tüm aşamalarına entegrasyonu ile sağlanır.

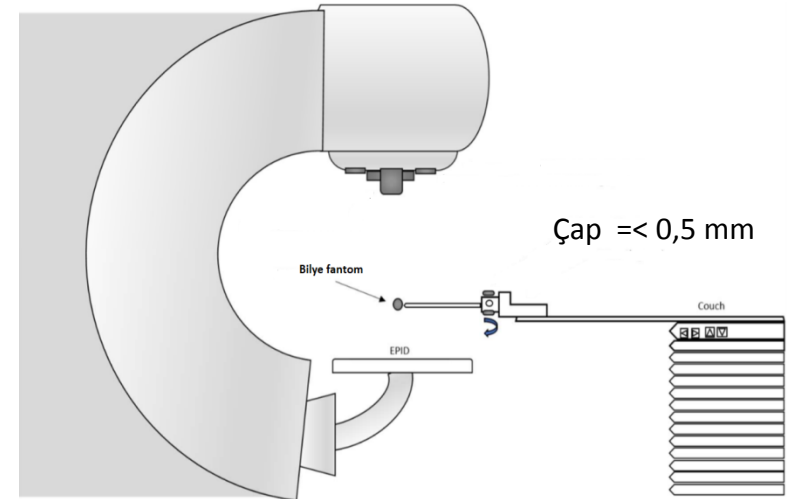
Stereotactic body radiation therapy: The report of AAPM Task Group 101

TABLE I. Comparison of typical characteristics of 3D/IMRT radiotherapy and SBRT.

Characteristic	3D/IMRT	SBRT
Dose/fraction	1.8–3 Gy	6–30 Gy
No. of fractions	10–30	1–5
Target definition	CTV/PTV (gross disease+clinical extension): Tumor may not have a sharp boundary.	GTV/CTV/ITV/PTV (well-defined tumors: GTV=CTV)
Margin	Centimeters	Millimeters
Physics/dosimetry monitoring	Indirect	Direct
Required setup accuracy	TG40, TG142	TG40, TG142
Primary imaging modalities used for treatment planning	CT	Multimodality: CT/MR/PET-CT
Geometrik doğrulamada hassasiyet	No	Yes
Tüm tedavi için yüksek uzaysal hedeflemenin doğruluğu	orta derecede zorunlu hasta pozisyon kontrolü ve takibi	Kesinlikle zorunlu Görüntü klavuzu sayesinde yeterli derecede hareketsizleştirme ve yüksek sıklıkta pozisyon izlemesi
Need for respiratory motion management	Moderate—Must be at least considered	Highest
Staff training	Highest	Highest+special SBRT training
Technology implementation	Highest	Highest
Radiobiological understanding	Moderately well understood	Poorly understood
Interaction with systemic therapies	Yes	Yes

Geometrik kalibrasyon

- IGRT sistemlerinde, görüntüleme sistemi izomerkezi ile linak izomerkezinin uyumu önemlidir.
- Çoğu test **Winston-Lutz test**inden türemiştir.
 - Mekanik izomerkez de küçük çaplı metalik topun ışınlanması
 - Top ile radyasyon alan merkezi arasındaki konum, geometrik ve ışınlama sistemleri arasındaki uyumu gösterir. EPID açıkken yapılır.



Clinical use of electronic portal imaging: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58

Gürültü ve homojenliğin kabul edilebilir olduğu kontrol edilmelidir.

Test; tüm enerjilerde, hastalar için kullanılan doz ve geometrik koşullarda, satıcı tarafından verilen tavsiyelere uyarak ve sistemle birlikte verilen araçlar kullanarak yapılmalıdır.

EPID için tolerans;

- kabul edilebilir kontrast % 1
- uzaysal çözünürlük 2-3 mm OLMALIDIR.

Clinical use of electronic portal imaging: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 58

- EPID görüntüleme için genel QA noktalar:
 - Emniyet
 - Kol ve Görüntüleyici çarpışma kilidi (Aylık)
 - Mekanik İşlevsellik
 - Kol ve görüntüleme pozisyonu (Aylık)
 - Görüntü kalitesi
 - Kalibrasyon (Aylık)
 - Gürültü (Günlük ve Aylık)
 - Kontrast (Günlük ve Aylık)
 - Veri transferi



Quality assurance for image-guided radiation therapy utilizing CT-based technologies: A report of the AAPM TG-179

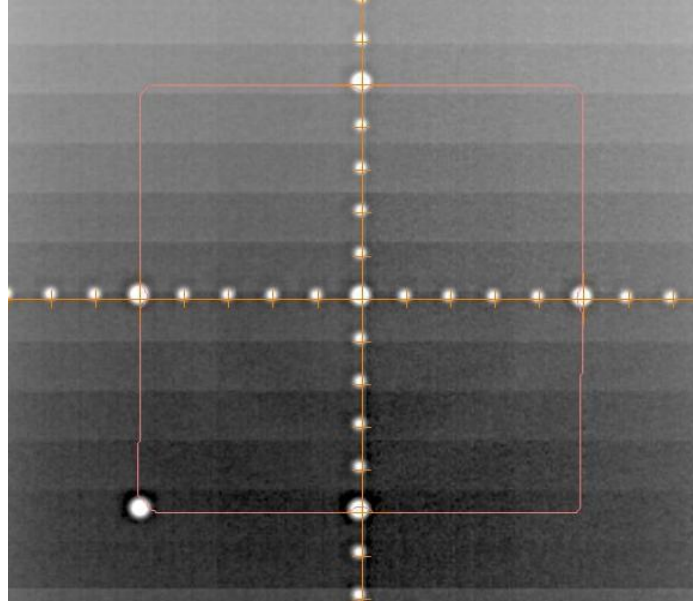
Bu rapor ticari olarak temin edilebilen CT tabanlı IGRT sistemlerinin

- CT-on-rails
- Kilovoltage cone-beam CT
- Fan-beam MVCT
- Megavoltage cone-beam CT
- SBRT gereksinmelerinin

incelemesini ve bu cihazlar için genel QA ilkelerini sunar.

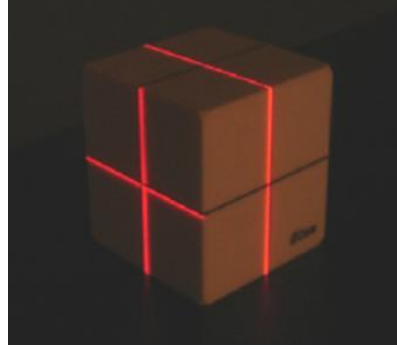
EPID ile MV için KALİTE KONTROL

AP-MV

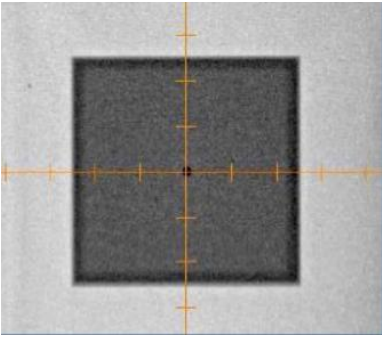


MV portun merkezinin dijital merkezle uyumluluğunu görmek için, aksesuar bölümüne perspektif graticul takılarak ap ve lat port çekilir ve dijital merkezden olan sapması ölçülür.

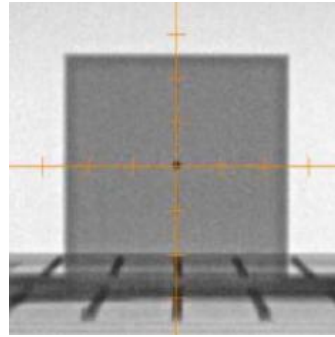
Merkezi eksen kontrol testi



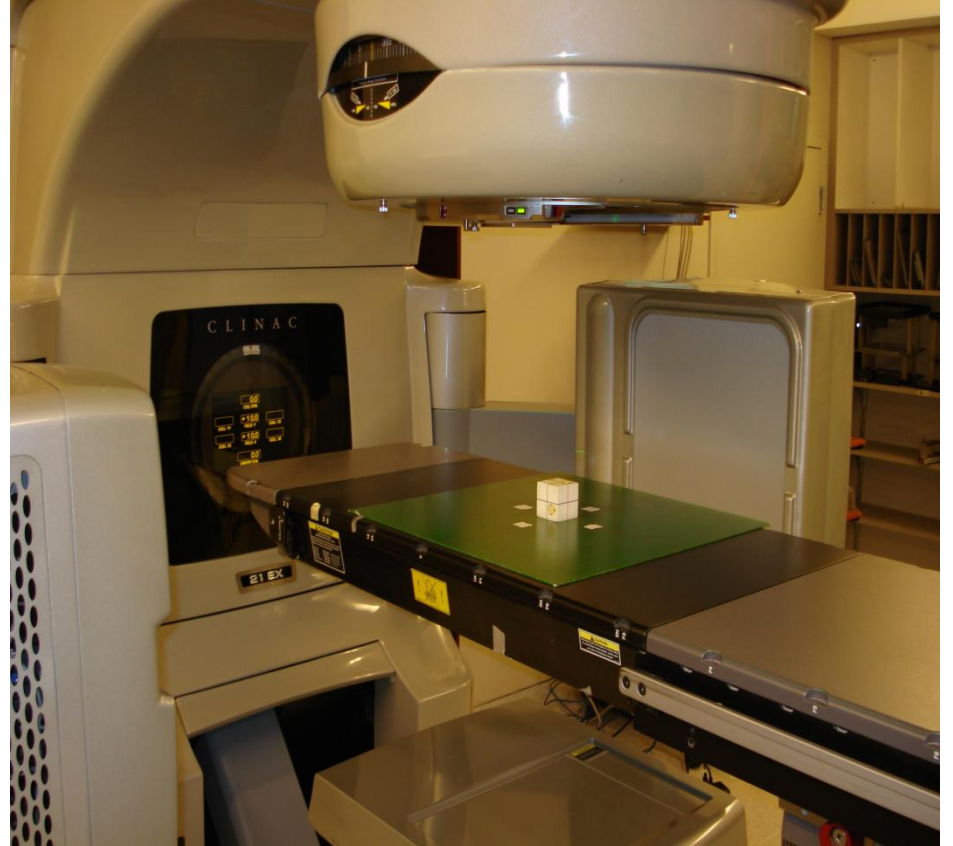
merkezinde 1 fiducial (2 mm apında) olan kp fantom



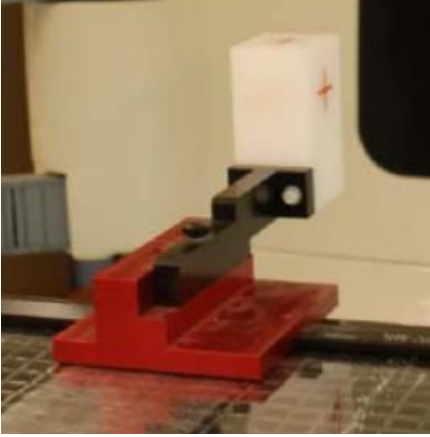
AP - kV



LAT - kV



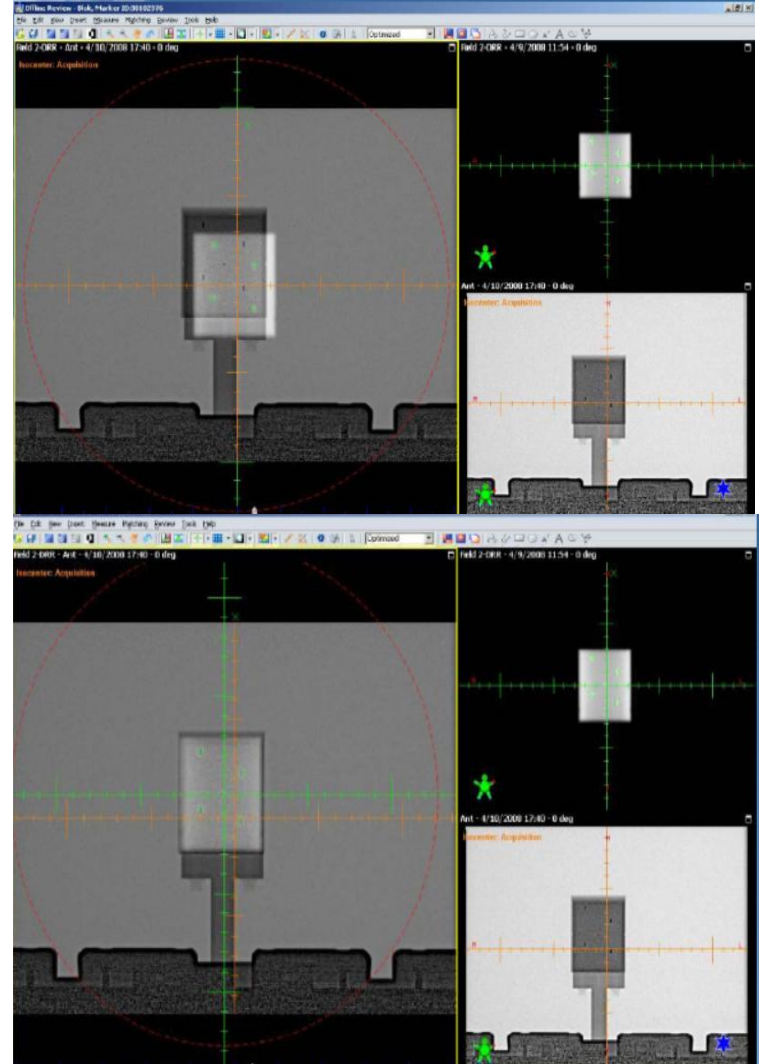
Masa kaydırma doğruluğu testi



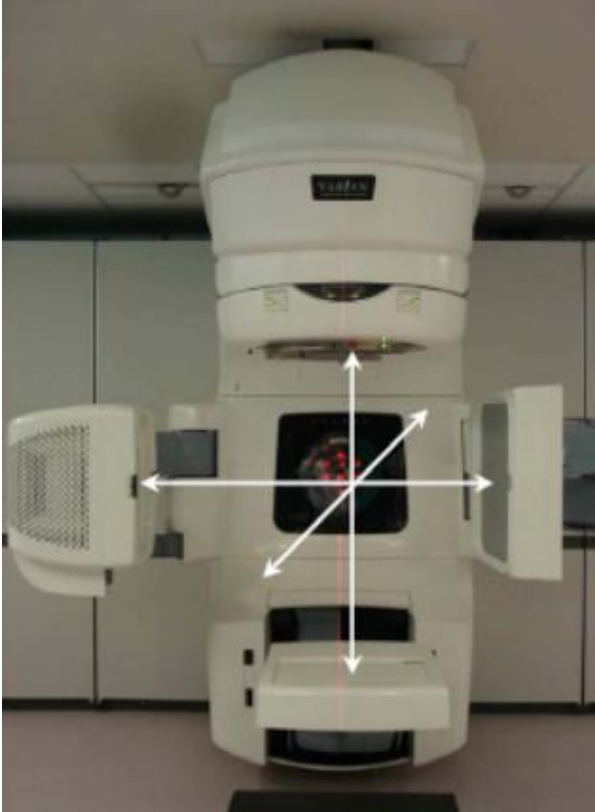
merkezinde 1, toplam 5 adet fiducial olan küp fantom

Masa yer değiştirmesinin yazılımla otomatik düzeltilmesini kontrol etmek için kullanılan fantom

- kV-kV
- kV-MV
- CB-CT
- MV-CT için kullanılabilir.

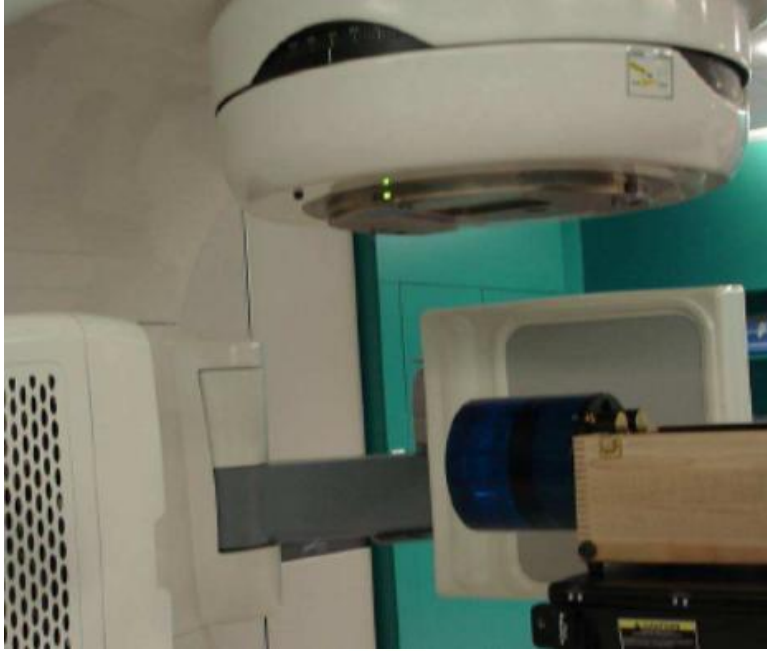


CB-CT için Rotasyon eksenini kontrol testi

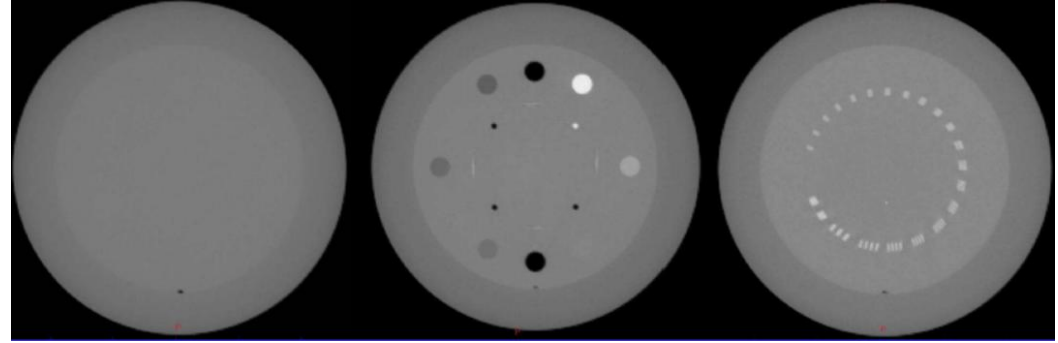


Merkezdeki kurşun bilye görüntü ile merkezi eksen arasındaki mesafe **<2mm** olmalı !

CB-CT için Görüntü Kalite Kontrol Testi



PTW - Catphan



Homojenlik

Yoğunluk ve skala

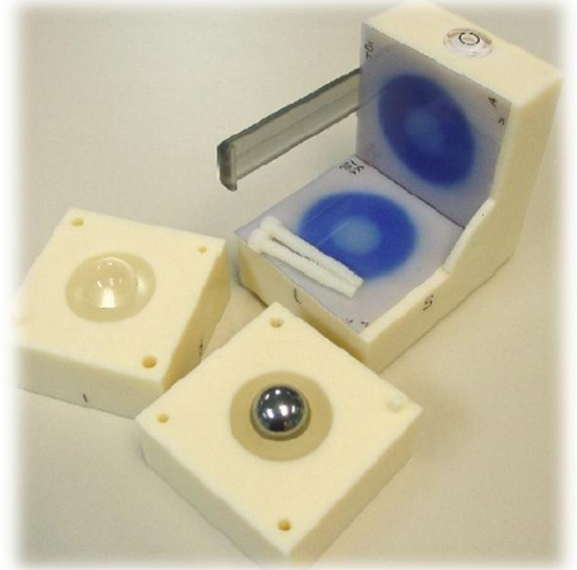
Çözünürlük

Sonuçlar; donanıma, yazılım versiyonlarına ... ve ışınlama parametrelerine (ışın sertleştirme, saçılma, enerji, doz oranı ...) bağlı olarak elde edilir.

Görüntüler özel yazılımlarla otomatik olarak analiz edilir.

Report of AAPM TG 135: Quality assurance for robotic radiosurgery

- **AQA testi;**
CyberKnife sisteminin hedefleme doğruluğunu ölçen bir testtir.
- Bu test, portal montajlı SRS sistemlerinde yaygın olarak kullanılan **Winston-Lutz** testine benzerdir,
- Radyopak metal bir küre içeren AQA fantomuna yatay ve dikey olarak iki adet film yerleştirilir.
- Bir AP ve bir lateral ışın içeren QA planı yapılır. Fantom bu plan doğrultusunda ışınlanır.
- Filmler özel bir yazılım programıyla değerlendirilir.
- Günlük olarak yapılır.

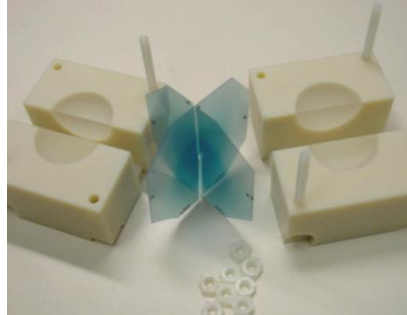


sapma <1 mm olmalı.

Report of AAPM TG 135: Quality assurance for robotic radiosurgery

- **E2E (End to End) testi;**

Tedavinin verilişindeki toplam hatayı verir. Tüm izleme yöntemleri için yapılır.



E2E testi sonucu

sapma < 0.95mm

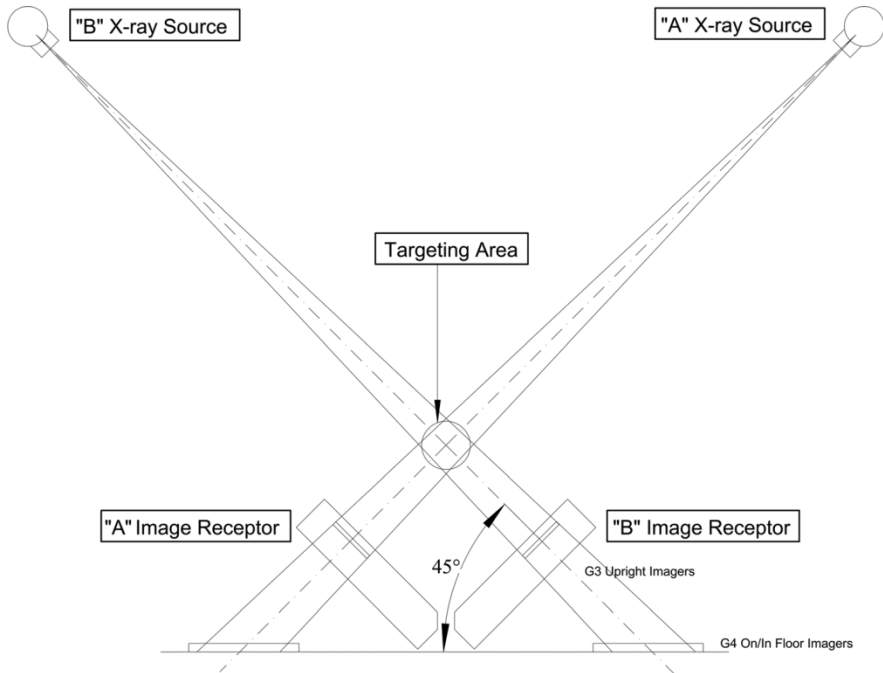
hareket takip sistemi için

**sapma < 1,5mm
olmalıdır.**

Report of AAPM TG 135: Quality assurance for robotic radiosurgery

- **Görüntü geometri testi;**

Ucunda ışığa duyarlı kristal bulunan izopost tabana mekanik olarak monte edilir. İzopost'un ucu cyberknife sistemi koordinat sisteminin referansıdır. İzopost'un ucunun görüntüsü alınır. İzokristalin görüntüsü, görüntünün köşegenlerinin ortasından 1 mm içinde olmalıdır.



Sonuç olarak,

- IGRT Sistemlerinde QA için;
 - Geometrik doğruluk ve hassasiyet
 - Görüntü kalitesi önemlidir.
- Tedavi cihazı izomerkezi ile görüntüleme sistemlerinin izomerkezi arasında uyum olmalıdır.
- Protokol ve literatürler kullanılarak Cihaz için uygun QA programları oluşturulmalıdır.

Teşekkürler...