

Varian Clinac® IX lineer hızlandırıcı cihazında cone-beam bilgisayarlı tomografi fonksiyonlarının incelenmesi

Verification of cone-beam CT functions for Varian Clinac® IX linear accelerator

Songül ÇAVDAR KARAÇAM,¹ Başak İKTUEREN,¹ Ezgi IŞIKTAŞ,¹ Sedat KOCA,¹ Gülyüz ATKOVAR¹

¹Istanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Radyasyon Onkolojisi Anabilim Dalı, İstanbul

AMAÇ

On-Board Imager® (OBI) sistem, tedavi sırasında organ hareketleri ve set-up hatalarını düzeltmek için dizayn edilmiştir. OBI sistem üç görüntüleme modu sağlar: radyografik, floroskopik ve üç boyutlu cone-beam bilgisayarlı tomografi (CBCT). Bu yeni teknolojinin kullanımı bir nitelik temini programı gerektirir. Bu çalışmada, nitelik temini programımız içerisindeki testler ve ölçüm sonuçları verildi.

OBJECTIVES

The On-Board Imager® (OBI) system is designed to correct for motion and setup errors in patients undergoing radiation therapy. The OBI system provides three imaging modes: radiographic and fluoroscopic image acquisition and three-dimensional cone-beam computed tomography (CBCT) acquisition. The use of this new technology necessitates a comprehensive quality assurance (QA) program. In this study, we describe the procedures of test items included in the QA program and present the results of measurements.

GEREÇ VE YÖNTEM

CBCT imaj kalite testleri için Catphan® 600 fantom kullanıldı. Yoğunluk çözünürlüğü, lineerite, imaj uniformite ölçümleri, yüksek çözünürlük ve düşük kontrast çözünürlüğü verifiye edildi.

METHODS

We used Catphan® 600 phantom for CBCT image quality tests. We verified density resolution, spatial linearity measurement, image uniformity measurements, and high resolution and low contrast resolution.

BULGULAR

Ölçülen tüm değerlerin akseptans ve limit değerleriyle uyumlu olduğu görüldü.

RESULTS

All measured values were in accordance with acceptance and limit values.

SONUÇ

Uzun periyotta testlerin kullanımında OBI sistem imaj kalitesinin stabil olduğu görüldü. Ölçüm sonuçlarının tamamen aynı olmadığı ancak sonuçların kabul edilebilir limitler içerisinde olduğu görüldü.

CONCLUSION

Use of the tests over extended periods showed that the OBI system has stable image quality. While the results of the measurements were not exactly the same, they were observed to be in acceptable limits.

Anahtar sözcükler: Kalite kontrol; cone beam CT; verifikasyon.

Key words: Quality control; cone-beam CT; verification.

Radyoterapi, hasta pozisyonu, hedef hacim ve tedavi hacminin belirlenmesi, kritik organların doz limitleri, toplam dozun belirlenmesi, fraksiyon dozu, doz dağılımı, tedavi cihazı limitleri gibi tüm parametreleri kapsayan tedavi şeklidir. Başlangıçta iki boyutlu (2D) olarak belirlenen doz dağılımları, bilgisayarlı tomografi (CT) cihazının keşfi ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmelerle günümüzde üç boyutlu (3D) olarak yapılabilmektedir. Üç boyutlu konformal radyoterapide maksimum tümör kontrol oranıyla birlikte, en aza indirilmiş normal doku komplikasyonu oranı sağlanır. Yoğunluk ayarlı radyoterapi ise konformal radyoterapinin özel bir formudur. Hızlı doz düşüşü ile hedefe çok yüksek dozlar verilirken hemen yanındaki risk altındaki organlar tolerans dozlarında tutulabilir. Doz düşüşlerinin keskin olması hedefin tam olarak belirlenemediği durumlarda hedefin istenen dozun çok altında doz almasına neden olabilir. Bu nedenle IMRT uygulamalarının hem hedef ve normal doku tanımlamada hem de tedavinin uygulanmasında mutlaka görüntü rehberliğinde radyoterapiyle (Image Guided Radiation Therapy-IGRT) birlikte uygulanmasını gerektirir.^[1] Tedavi sırasında oluşabilecek *set-up* hataları ve organ hareketindeki belirsizliklerin en aza indirilmesi amaçlanır. Bu amaçla transabdominal ultrason, kilovoltaj ya da megavoltaj cone-beam CT (CBCT), helikal megavoltaj CT (MVCT), elektronik portal görüntüleme (EPID) gibi sistemler kullanılır.^[2] Bu sistemler kullanılarak referans imajlar tedaviden önce ve tedavi boyunca elde edilen imajlarla kıyaslanır. Hastanın bu imajlar temel alınarak hizalanması ve tedavi sırasında tedavi odasında uygulanan iki ya da üç boyutlu anatomik görüntülemeyle tedavi alanlarının kontrol işlemi sağlanır. On-Board Imager (OBI) radyografik, fuloroskopik ve üç boyutlu CBCT olmak üzere üç görüntüleme modu sağlayan IGRT uygulamaları için dizayn edilmiş bir sistemdir. CBCT temelli flat-panel teknoloji ile hasta tedavi planı ile tedavi sırasındaki volümetrik imajları karşılaştırılabilir ya da KV-KV imajlar alınarak 2 farklı gantry açısında elde edilen görüntüler tedavi planında oluşturulan görüntüyle karşılaştırılabilir.^[2-5] Planlanan CT ve CBCT görüntüsü imaj kalitesi, hasta immobilizasyonu, internal organ hareketi, planlanan target volüm (PTV) marjı ve görüntü-

yü değerlendiren uzmanın deneyimine bağlıdır. Bu sebeple toleranslar her kliniğe ve anatomik bölgeye özgü olarak değişir.^[6] CBCT ile görüntü 1-4 dakika arasında alınır. Bu süre aralığında nefes alıp veriş ve abdominal gazların geçişinden kaynaklanan artefaktlar oluşabilir. Bu sebeple imaj görüntü kalitesini kabul kriterleri içerisinde tutarak tedavi sırasında en uygun koşulların sağlanması oldukça önemlidir. AAPM Task Group 40'da lineer hızlandırıcı cihazlarında yapılması gerekli olan mekanik, elektrik, geometrik ve dozimetrik gibi tüm kontrollerle ilgili değerlendirmeler yapılmış ve tolerans değerleri belirtilmiştir.^[7] Ancak, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte cihaza eklenmiş olan OBI, elektronik portal görüntüleme sistemi gibi ek donanım için tanımlamalar yapılmamıştır. Ancak, bu tür sistemlerin kalite kontrolünün yapılması görüntü kalitesi ve tedavinin güvenilirliği açısından oldukça önemlidir.

Bu amaçla, Varian Clinac® IX model lineer hızlandırıcı cihazında bulunan CBCT özelliğinin kliniğimize ait görüntü kalitesi kalite kontrol uygulamaları değerlendirildi ve cihazın kabul kriterleriyle karşılaştırması yapıldı.

GEREÇ VE YÖNTEM

Çalışmada, Varian Clinac® IX model lineer hızlandırıcı cihazında bulunan OBI (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA) kullanıldı. OBI sistemi düşük dozla yüksek çözünürlüklü radyografi, floroskopi ya da volümetrik görüntü alabilen (CBCT) 150 kV X-ray tüpü ve 39.7 cm × 29.8 cm boyutlarında amorphous silikon flat-panel X-ray imaj dedektöründen (Varian PortalVision™ aS1000) oluşur. Bu sistem robotik olarak hareket edebilen kollarla tedavi cihazına monte edilmiştir. Tüm kontroller için Catphan-600® fantom (The Phantom Laboratory Incorporated, Salem, NY) kullanıldı (Şekil 1). Fantom içerisinde bulunan CTP 404, CTP 486, CTP 528 (Phantom Laboratory, NY) modülleri kullanılarak,^[8] klinikte sıkça kullanılan standart doz-baş taraması (Standart-Dose Head Scan) ve pelvis taraması (Pelvis Scan) için yapıldı.

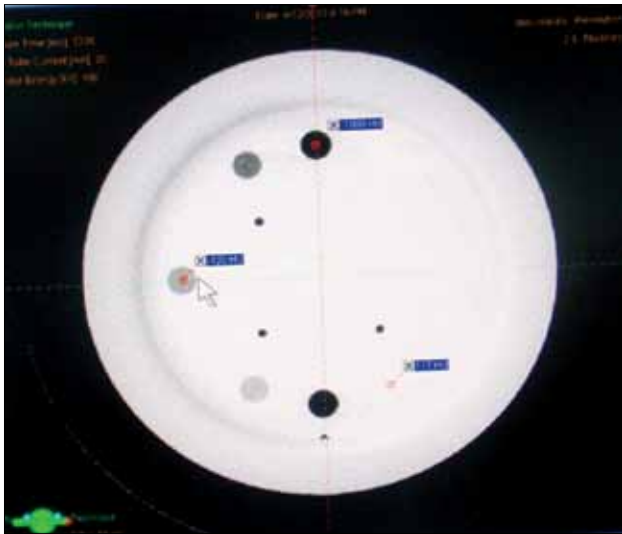
1- Yoğunluk çözünürlüğü kontrolü (Hounsfield Unit/CT): CBCT ile standart doz-baş taraması (Standart-Dose Head Scan) ve pelvis taraması



Şekil 1. CatPhan® 600 fantom.

(Pelvis Scan) başlıklı seçenekler kullanılarak 2.5 mm kesit kalınlığı, 384x384 çözünürlükte fantom görüntüsü alındı. Sistemdeki HU kalibrasyonunun doğruluğunu belirlemek amacıyla CTP 404 modülü kullanıldı. Bu modülde 7 farklı materyal bulunmaktadır. Ancak, akseptans kontrolleri içerisinde sadece 3 materyal değerlendirildiği için hava, ak-

rilik, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) için ölçümler alındı. Alan profil menüsünü kullanarak her bir materyalin ortasına denk gelecek şekilde 7x7 mm kare alan içerisindeki ortalama HU değerleri alındı (Şekil 2). CBCT kabul kriterleri (akseptans), Catphan fantom kullanım kılavuzunda belirtilen ± 40 HU değeri ve literatürle değerlendirme yapılarak karşılaştırması yapıldı. Ayrıca, hastanın zayıflaması ya da tümörde küçülme gibi sebeplerle tekrar planlama yapılması durumunda CBCT'nin kullanıma uygunluğu için Eclipse marka tedavi planlama sisteminde elde edilen HU değerleriyle karşılaştırması yapılarak tedavi planlama amaçlı kullanılması durumu değerlendirildi.

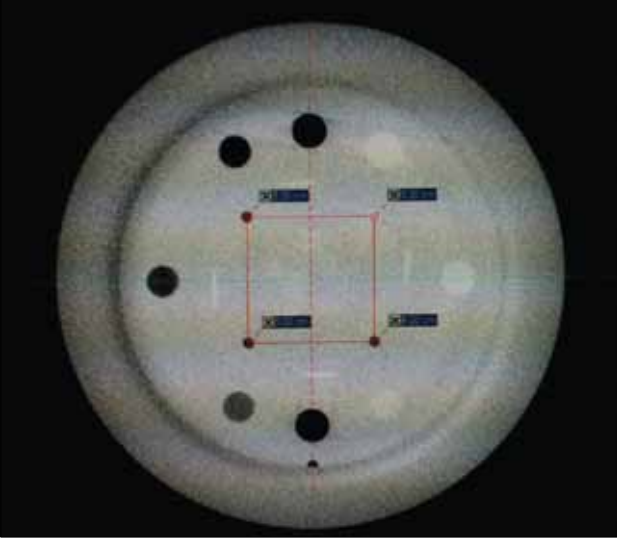


Şekil 2. Catphan® 600 fantomun sensitometrik modülünde ölçülen HU değerleri.

2- Lineerite ölçümü (mesafe): CTP 404 modülünde bulunan 50 mm mesafede bulunan noktalar CBCT menüsündeki mesafe ölçüm aracı kullanılarak ölçüldü (Şekil 3).

3- İmaj uniforme ölçümleri: Catphan fantomda CTP 486 modülünde 20x20 piksellik kare alan kullanılarak alanın ortası ve etrafındaki 4 noktadan bakıldı.

4- Rezolüsyon kontrolü: CTP 528 modülüyle taranan imajın uzaysal çözünürlüğünü kontrol et-



Şekil 3. X ve Y eksenlerinde ölçülen mesafeler.

mek amacıyla santimetre başına çizgi çiftleri sayılarak kontrol edildi.

BULGULAR

Varian Clinac® IX model lineer hızlandırıcı cihazında bulunan CBCT özelliği için akseptans ve yapılmış çalışmalar referans alınarak klinik şartlara ve cihazın özelliklerine uygun nitelik temini programı uygulandı.^[3,4,6] Lineer hızlandırıcı cihazıyla birlikte üretici tarafından sağlanmış olan Catphan 600 model fantom ile imaj kalitesi cihaz kurulumundan itibaren aylık olarak değerlendirildi. Tablo 1’de Catphan fantomla yapılan ölçümler-

de HU değerleri standart doz-baş ve pelvis için verildi. Ayrıca, standart doz-baş taramaları için elde edilen CBCT görüntüsü Eclipse planlama sistemine aktarılarak HU değerlerine bakıldığında ± 40 tolerans değerler içerisinde olduğu ve CBCT akseptans değerleri ile uyumlu olduğu görüldü. Ölçüm değerleri Tablo 2’de verildi.

Fantomda aynı modül üzerinde bulunan farklı yoğunluklu materyallerin arasındaki mesafenin kontrol edildiği lineerite ölçümünde (mesafe) hem standart-doz baş taraması hem de pelvis taramasında değişimin 50 ± 0.1 ; ≤ 1 mm olduğu görüldü (Tablo 3).

İmaj uniformite ölçümleri değerleri Tablo 4’de verildi. Yüksek çözünürlükle ilgili modülde yapılan değerlendirmede görünen çizgi çiftlerinin standart doz-baş tarama opsiyonunda maksimum 8, pelvis taramasında 5.2 ± 0.9 çubuk şeklinde olduğu görüldü (Tablo 5).

TARTIŞMA

Tedavi cihazında hasta *set-up*’ının planlanana uygunluğunun sağlanması açısından düzenli bir kalite kontrol programının uygulanması oldukça önemlidir. Lineer hızlandırıcı cihazında klinik şartlara ve cihazın özelliklerine uygun nitelik temini programı uygulandı. Bu kontrollerin yanı sıra sistemde bulunan CBCT için kalite kontrol programı uygulandı. Aylık olarak yapılan CBCT imaj kalite değerlendirmesi kontrollerinde pelvis CBCT

Tablo 1

Farklı materyaller için ölçülen HU değerleri

	Hounsfield Unit/CT			
	Teorik HU	Tolerans	Ölçülen Ortalama HU \pm SD	Akseptans HU
Standart-Doz Baş				
Hava	-1000	± 40	-998.5 \pm 1.1	-992.5
Akrilik	120	± 40	125.2 \pm 4.7	126.4
LDPE	-100	± 40	-114.4 \pm 3.9	-103.3
Pelvis				
Hava	-1000	± 40	-990 \pm 2.5	-998.8
Akrilik	120	± 40	121 \pm 3.9	115.9
LDPE	-100	± 40	-96 \pm 2.8	-102.5

Tablo 2

Farklı materyaller için CBCT ve Eclipse tedavi planlama sisteminde ölçülen HU değerleri

	Hounsfield Unit/BT			
	Teorik HU	Tolerans	CBCT ölçülen Ortalama HU±SD	Eclipse ölçülen Ortalama HU±SD
Standart-Doz Baş				
Hava	-1000	±40	-998.5±1.1	-997.1±2
Akrilik	120	±40	125.2±4.7	130.2±3.1
LDPE	-100	±40	-114.4±3.9	-105±4.3

Tablo 3

Fantomdaki mesafe sonuçları

Mod	Lineerite ölçümü (Mesafe)			
	Mesafe	Doğruluk	Catphan performans ölçümü (mm)	Akseptans (mm)
Standart-doza baş taraması (2.5 mm kesit)	50 mm	± %1	50±0.1	50
Pelvis taraması (2.5 mm kesit)	50 mm	± %1	50±0.1	50

Tablo 4

Farklı noktalarda alınan imaj uniformite ölçüm değerleri

Mod	Tolerans	Ölçülen HU değeri	Akseptans değeri
Standart-doza baş taraması (2.5 mm kesit)	-40HU±40HU	1 (sol): -11.2±3.3	1: -9.75
		2 (üst): -3.4±2.0	2: -3.75
		3 (sağ): -6.5±4.2	3: -4.35
		4 (alt): -1.2±2.9	4: -0.83
		5 (merkez): 14±5.2	5: 10.86
Pelvis taraması (2.5 mm kesit)	-40HU±40HU	1 (sol): 1.2±2.5	1: 0.81
		2 (üst): 3.1±3.9	2: 2.46
		3 (sağ): 8.4±2.7	3: 6.43
		4 (alt): 5.3±1.9	4: 3.06
		5 (merkez): 12.4±6.1	5: 8.76

HU değerlerinde standart değerlerden üç kez sapma gözlenmiş ve kalibrasyon işlemi servis mühendisi tarafından yapılarak sonuçların akseptans değerleriyle uyumlu olması sağlanmıştır. Yoo ve ark.'nın^[4] OBI nitelik temini için yaptıkları çalışmada CBCT'nin yanı sıra diğer mekanik kontrol-

lerde belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada CBCT imaj kalitesi kontrolleri için Catphan fantom kullanılmış HU lineeritesi farklı materyaller için değerlendirilmiş ve üretici tarafından belirtilen ±40 HU toleransı içerisinde olduğu belirtilmiştir. Bizim yaptığımız kontrollerde de hava, akrilik ve LDPE'nin

Tablo 5

Çözünürlük kontrolünde tespit edilen çizgi çiftleri sayısı

Mod	Yüksek çözünürlük		
	Çift çizgi / cm belirlenmesi tolerans	Çift çizgi / cm	Akseptans
Standart-doza baş taraması (2.5 mm kesit)	6	8	8
Pelvis taraması (2.5 mm kesit)	4	5.2±0.9	6

tolerans değeri içerisinde olduğu görülmüş ayrıca akseptans değerleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Catphan fantomda 4 nokta arasında yapılan 50 mm mesafe kontrolünde hem standart-doza baş taraması hem de pelvis taramasında 50 ± 0.1 ; ≤ 1 mm olarak bulunmuştur. Bissonette ve ark.'nın^[6] yaptıkları benzer bir çalışmada da ≤ 1 mm toleransı içerisinde oldukları görülmüştür. HU uniformite ve rezolüsyon değerlerinin de tolerans değerleri içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

CBCT, yumuşak doku ve target pozisyonunu da içeren üç boyutlu görüntü olanağı sağlar. İmaj kalitesinde oluşabilecek farklılıklar manuel ya da otomatik olarak yapılan CT imajları ile karşılaştırma işlemini ve imaj kayıt algoritmalarının güvenilirliğini ve doğruluğunu etkileyebilir. Bu sebeple kalite kontrol programlarının düzenli aralıklarla uygulanması oldukça önemlidir. CBCT imaj kalite kontrol aralıklarıyla ilgili farklılıklar bulunmaktadır. Van Dyk ve ark.'nın^[9] yaptıkları çalışmada simülasyonlardakine benzer bir şekilde 6 ayda bir yapılması şeklindedir. OBI teknolojisinin oldukça yeni olması sebebiyle ayda bir, 2 ayda bir şeklinde de farklı öneriler bulunmaktadır.^[4] Kliniğimizde cihaz kurulumunun yeni olması sebebiyle hem görüntü kalitesinin kabul kriterleriyle aynı koşullarda sağlanabilmesi hem de sistem performansının güvenilirliğinin değerlendirilmesi açısından kontroller aylık olarak yapılmıştır. Nitelik temini programı içerisinde uygulanan kalite kontrol testleri sistemin performansı ve tekrar kalibrasyon gereksiniminin tespiti için önemlidir. Her kliniğin kendi ka-

lite kontrol programını oluşturması ve cihaz performansının değişimini düzenli aralıklarla kontrol etmesi sistemin kullanımı sırasında karşılaşılabilecek problemleri minimuma indirecektir. Ancak, CBCT gibi yeni teknolojilerde sistem performansı değerlendirmesinin anlaşılabilirliği için kontrol aralıklarının başlangıçta daha sık aralıklarla yapılmasının uygun olduğu görülmüştür. Yapılan tüm değerlendirmeler sonucunda imaj kalitesinde oluşabilecek değişimlerin düzenli olarak kontrol edildiğinde tekrar kalibrasyon ve tamir gereksinimlerinin daha hızlı belirlendiği ve sistemin daha uygun koşullarda kullanıldığı görülmüştür.

Teşekkür

Bu proje 2037 sayılı ve “Adaptif radyoterapinin normal dokular üzerine etkilerini araştırarak sistem” başlıklı proje nedeniyle İ.Ü. Araştırma Fonunca desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Mayles P, Nahum A, Rosenwald JC, (editors). Handbook of radiotherapy physics, theory and practice. 1st ed. Taylor&Francis Group; 2007. p. 943-84.
2. Sorcini B, Tilikidis A. Clinical application of image-guided radiotherapy, IGRT (on the Varian OBI platform). Cancer Radiother 2006;10(5):252-7.
3. Varian MLCs&BrainLAB Customer acceptance procedure, CAP Varian Medical Systems, Customer Support Services 2009;25-38.
4. Yoo S, Kim GY, Hammoud R, Elder E, Pawlicki T, Guan H, et al. A quality assurance program for the on-board imagers. Med Phys 2006;33(11):4431-47.

5. Varian Medical Systems, On-Board (OBI) Reference Guide 2007;9-47.
6. Bissonnette JP, Moseley DJ, Jaffray DA. A quality assurance program for image quality of cone-beam CT guidance in radiation therapy. *Med Phys* 2008;35(5):1807-15.
7. Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, Hanson WF, Leibel S, Morton RJ, et al. Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40. *Med Phys* 1994;21(4):581-618.
8. The Phantom Laboratory Manual, Catphan® 500 and 600 Manual 2006;6-33.
9. Van Dyk J. The modern technology of radiation oncology: A compendium for medical physicists and radiation oncologists. Madison, WI: Medical Physics Publishing; 1999.