DÜZCE TIP DERGİSİ
DUZCE MEDICAL JOURNAL

DERLEME / REVIEW

Pediatrik Yaşta Bilgisayarlı Tomografi Uygulamalarında Radyasyon Dozunu Azaltma Stratejileri

Strategies to Limit Radiation Dose in Pediatric Computed Tomography Applications

[1] Sema YILDIZ

[1] Hasan ÇEÇE

[2] Özlem TÜRKSOY

[1] Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, Şanlıurfa

[2] Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Tıp Fakültesi Radyoloji Anabilim Dalı, Zonguldak

Submitted/Başvuru tarihi: 22.02.2011
Accepted/Kabul tarihi: 21.03.2011
Registration/Kayıt no: 11 02 139

Corresponding Address /Yazışma Adresi:

Sema YILDIZ
Harran Üniversitesi Tıp Fakültesi Yenişehir Kampüsü Radyoloji Anabilim Dalı, 63100, Şanlıurfa
e-posta: drsemayildiz@yahoo.com

© 2012 Düzce Medical Journal
e-ISSN 1307- 671X
www.tipdergi.duzce.edu.tr
duzcetipdergisi@duzce.edu.tr

ÖZET

Bilgisayarlı tomografi, pediyatrik yaş grubunda kullanımı gün geçtikçe artan bir görüntüleme tekniğidir. Pediatrik yaş grubunun radyasyona duyarlı olması ve radyasyonun kanser riski oluşturmasında kümülatif dozun etkin olması verilen doza dikkat edilmesini gerektirmektedir. Çocuklara erişkin protokollerinin uygulanması, kilo bağımlı değişikliklerin yapılmaması, verilen dozun ölçümünde ve riskin belirlenmesinde standartların belli olmaması, yüksek dozlar için cezai müeyyidenin olmaması önemli sorunlardır. Ancak gerekli durumlarda, -sadece- hedef vücut alanlarının bilgisayarlı tomografi ile değerlendirilmesi, parametrelerin çocuklar için yeniden düzenlenmesi ve her çocuğa özel protokol değişikliklerinin yapılması ile radyasyon dozu önemli ölçüde azaltılabilir. Radyasyonu azaltmada, kullanılan tomografi aletinin teknik parametre değişiklikleri (tüp akımı, kilovolt piki, masa hızı) iyi bilinmeli ve dikkatlice uygulanmalıdır.
Anahtar Kelimeler: bilgisayarlı tomografi, çocukluk çağı, radyasyon,

SUMMARY

Computed tomography is an increasingly used imaging modality in childhood. Since pediatric population possess increased radiosensitivity and radiation-related cancer risk is related with cumulative dose, the radiation exposure must be carefully established. Use of the same CT settings for adults and children, deficiency of weight adjusted protocols, lack of consensus for the measurement of dose and related risks of radiation, and absence of penalties for higher doses are essential problems. Radiation dose can significantly be decreased with evaluation of -only- targeted part of the body in appropriate conditions, rearrangement of the scanning parameters for children, and subject based protocol and dose adjustment for each children. The alternations in technical parameters of CT device like tube current, kilovoltage peak, table speed should be well-known and carefully applied for limitation of the radiation dose.
Keywords: computed tomography, childhood, radiation

GİRİŞ

Bilgisayarlı tomografi (BT); son otuz yılda önemi gittikçe artan bir tanı yöntemidir. 1990'ların başında spiral BT'nin, son yıllarda da multidedektörlü-çift kaynaklı BT'lerin keşfi ile BT kullanımı yaygınlaşmıştır (1). Gittikçe artan oranlardaki bu kullanım sadece yetişkin hastalar için değil pediatrik yaş grubundaki hastalar için de geçerlidir.

Artan kullanım oranları beraberinde gereksiz kullanımların ve uygunsuz tekniklerin neden olduğu sorunları da gündeme getirmiştir. Bu konudaki sorunların en önemlisi artan kullanıma bağlı hastalara verilen kümülatif radyasyon miktarıdır (2,3). 1980–1990 yılları arasında Amerika Birleşik Devletleri'nde çocuklarda BT kullanım oranlarının %4'den %11'e yükseldiği bildirilmiştir (4,5).

BT, x-ışını kullanılan görüntüleme yöntemlerinin %5'ini, verdiği radyasyon ise toplam radyasyonun %40–67'sini oluşturur (4,6). Düşük doz radyasyon verilmesi için yapılan araştırmalarda, kabul edilen kanser riski taşıyan kümülatif radyasyon dozu limiti 100 mSv olarak bildirilmiştir (7). Tek bir abdominal BT ile 11 mSv radyasyon verildiği düşünülürse, üç fazlı bir dinamik inceleme ile 33 mSv radyasyon verilmektedir. Yapılan bir çalışmada toplumun %30'unun hayatları boyunca en az üç defa tomografi çektirdiği saptanmıştır

(4). Eğer BT çektiren çocuk ise aldığı doz en az 100 mSv (3X33 mSv) olur ki, kanser riski taşıyan radyasyon dozuna ulaşılmış demektir (8).

Özellikle bebeklerde olmak üzere, organların radyasyona duyarlı olması (9) ve beklenen yaşam sürelerinin uzun olması nedeniyle kümülatif radyasyona bağlı kanser riski, pediatrik yaş grubunda radyasyon miktarını önemli kılmaktadır. Büyümekte olan çocuklarda tiroid, meme ve gonadlar radyasyon duyarlılığı yüksek olan organlardır.

Pediatrik BT uygulamalarında kullanılan protokoller yetişkinlerden farklı olmalıdır. BT'de erişkin protokolleri kullanıldığında bebeklerin ve küçük çocukların maruz kaldığı efektif radyasyon dozu, erişkinlerden %50 daha fazladır. Bu durum, organların küçük olması ve organa verilen gerçek dozun fazla olmasına bağlıdır (9). Çocukların vücut ağırlıkları çok farklı olduğundan, vücut büyüklüğüne göre BT protokollerinin uygulanmaması sonucunda gereksiz radyasyon verilmesine neden olur (12).

Uygunsuz protokoller ile yapılan incelemeler için cezai müeyyide yoktur. BT'de verilen radyasyon miktarı arttırıldığında sinyal gürültü oranı artmakta ve daha iyi görüntü elde edilmektedir. 'İyi görüntü kalitesi mi, düşük radyasyon mu?' sorusunun cevabı kullanıcının insiyatifindedir.

Verilen radyasyon dozunun ölçümünde belli standartlar yoktur. Bir organa verilen dozun direkt ölçümüne ya da değişik organlara verilen dozların ve duyarlılıklarının toplamının ağırlıklı ortalamasına (efektif doz) bağlı riskleri değerlendiren yöntemler kullanılmaktadır. Efektif doza bağlı kanser riskinin belirlenmesi oldukça karmaşıktır. Matematiksel modellere, bilgisayarlı simülasyonlara ve antropometrik pediyatrik fantomlara bağlı olarak değerler değişir. Ancak günlük pratikte kullanılabilecek radyasyon dozlarının belirlenmesinde ortak bir görüş yoktur. Ayrıca ağırlıklı BT doz indeksi gibi kullanılan bazı parametreler ile risk değerlendirilmesi yapılamaz ve sadece çekim yapılmadan önce tetkike ait parametreler düzenlenir.

Yukarıda sayılan sorunlara çözüm bulmak için Amerikan Pediatrik Radyoloji Cemiyeti Ağustos 2001'de pediatrik BT' deki dozları belirlemek üzere multidisipliner bir konferans düzenlemiş ve ortaya konan ALARA (As Low as Reasonably Achievable-Intelligent Dose Reduction) konsepti ile tüm pediatristlerin, pediatrik cerrahların ve radyologların dikkat etmesi gereken noktalar belirtilmiştir (13).

Bunlardan birincisi, BT endikasyonunun iyi belirlenmesidir. Pediatrik yaş grubunda verilen radyasyon miktarını azaltmak için ilk basamak, BT'nin sorunu çözmedeki tek görüntüleme yöntemi olup olmadığıdır. Yapılan çalışmalarda pediatrik BT incelemelerinin %25–35'inin gereksiz endikasyonlarla istendiği saptanmıştır (13,14). Örneğin; travmalı çocukların değerlendirilmesinde ya da akut apandisit tanısında BT'nin ultrasonografiye olan üstünlüğü ve kısıtlamaları sürekli tartışılmakta ve değişmektedir (15,16). Radyologa yeterli klinik bilgi verildiğinde, radyasyonun kullanılmadığı ultrasonografi ya da manyetik rezonans görüntüleme gibi alternatif görüntüleme yöntemleri tanıda yardımcı olabilir. Dinamik BT çalışmalarında incelenecek bölge üç fazlı (arteriyel, venöz ve geç faz) olarak değerlendirilir. Ancak verilen radyasyon miktarı da üç katına çıkar. Bu tür çalışmalar radyologun önerisi ile yapılmalıdır. Ayrıca bu çalışmaların bebeklerdeki ve çocuklardaki yeri sınırlıdır.

İkinci olarak dikkat edilecek konu, incelenecek vücut aralığının iyi belirlenmesidir. Örneğin; abdominal BT incelemesinde her zaman pelvik bölgenin taranması gerekmez. Takip hastalarında da incelenecek alan kısıtlı tutulabilir.

Ayrıca incelenecek alanın düşük doz parametreleri için ne kadar uygun olduğu da bilinmelidir. Tanısal görüntü kalitesini sağlanmasına rağmen toraks (17-21), paranazal sinüsler (22-24), BT kolonoskopi (25) veya ürolitiyazis için çekilen BT'de (26-29) BT dozu 2 ila 10 kat arasında düşürülebilir.

Direkt röntgen grafileri çekiminde kullanılan gonad ve meme koruyucularının, BT değerlendirmesindeki yeri kısıtlıdır. Bu bölgelerin aldığı radyasyon miktarı genellikle radyasyonun internal saçılması nedeniyle oluşmaktadır ve yüzey koruyucular bunu engellemede çok etkili değildir. Ancak, yapılan çalışmalarda toraks BT sırasında meme koruyucu kullanımı ile görüntüleme kalitesi değişmeden, memeye verilen radyasyon miktarında yetişkinlerde %29 (30), çocuklarda %57 (31) oranında azalma saptanmıştır.

Son olarak dikkat çekilen nokta, pediatrik yaş grubuna uygun çekim protokollerinin kullanılmasıdır. Radyologlar, BT'deki görüntü kalitesinden ödün vermeden, uygun ayarlamalarla radyasyon dozunu azaltabilirler (3). Günümüzde spiral BT'ler için kilo bağımlı inceleme protokolleri mevcuttur (32,33). Singh ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada pediatrik yaş grubunda BT çekim protokolleri hastaların kilosuna, tanısına ve önceden çekilmiş olan BT tetkiklerinin sayısına bağlı olarak yeniden düzenlenmiş ve yeni BT protokolleri ile radyasyon dozunda %85'lere varan oranlarda azalma olduğu bildirilmiştir (34).

Radyolog ya da BT teknisyeni tarafından dozu azaltmaya yönelik düzenlenen parametreler;

incelenecek bölgeden geçen kesit sayısı, kesit genişliği, hastanın gantriye giriş hızı (masa hızı), gantrinin dönme hızı, kilovolt ve tüp akımıdır. Radyasyon dozunu belirlemede en sık değiştirilen parametre tüp akımıdır. Tüp akımı, x-ışını tüpünden çıkan foton sayısını belirtir. Gantrinin dönüş zamanı (tam dönüş, saniye cinsinden) foton sayısı ile çarpıldığında değerlendirme birimi olan miliampersaniye (mAs) elde edilir. Direkt radyografi tetkikinde tüp akımı fazla arttırıldığında görüntü kalitesi azalırken, BT'de imaj kalitesi ve radyasyon miktarı artar. Tüp akımı azaltıldığında ise sinyal gürültü oranı, uzaysal çözünürlük ve imaj kalitesi azalır. Temel olarak tüp akımı %50 oranında azaltıldığında, verilen radyasyon miktarı yarıya düşer, aynı şekilde gantrinin dönüş süresi 1 saniyeden yarım saniyeye değiştirildiğinde yine verilen radyasyon miktarı %50 azalır. Yapılan çalışmalar, tüp akımını azaltarak baş-boyun, toraks, abdomen ve pelviste, görüntü kalitesinde ciddi kayıp olmaksızın çalışılabileceğini söylemektedir (17-22). Özellikle X-ışını fotonlarının geçtiği solid organ az olduğu için toraks BT değerlendirilmesinde düşük mA kullanılması önerilmiştir (33,35).

Kilovolt piki (kVp) ile radyasyon dozunun ilişkisi eksponensiyeldir. Örneğin kVp 120'den 140'a çıkarıldığında radyasyon dozu %39 oranında artmaktadır (36). Son döneme kadar pediatrik yaş grubunda da erişkinlerde kullanılan 120–140 kVp kullanılırken, artık 80–120 kVp ile yapılan uygulamalar da bildirilmektedir (8). Tüp akımı ve kVp'deki değişiklikler özellikle beyin ve abdomen gibi kontrastı az olan alanlarda sinyal gürültü oranını azaltacağından dikkatli olunmalıdır (37).

Masa hızı, radyasyon dozu ayarlanmasında diğer bir parametredir. Gantrinin her 360^0 dönüşündeki masa hareketinin X-ışını demeti kalınlığına oranına 'pitch' denir. Masa hızı artarsa pitch de artar. Genelde düşük pitch de imaj kalitesi daha iyidir, ama verilen radyasyon miktarı fazladır. Pitch yükseltildiğinde artefakt miktarı artar, detayların değerlendirilmesi zorlaşır. Masa hızı artırıldığında radyasyona maruz kalınan süre kısalacak ve verilen radyasyon dozu azalacaktır.

X-ışını tüpünün genişliği ve dedektör sayısı da radyasyon miktarını arttırmaktadır. Ortalama efektif radyasyon dozunun tek kesitli spiral BT'de 7,4 mSv iken, 4 dedektörlü BT'de 8,1 mSv'ye çıktığı gösterilmiştir (38). Günümüzde incelediği alana göre otomatik tüp akımını ayarlayan yeni multidedektörlü BT cihazları bulunmaktadır. Otomatik akım ayarlanmasındaki temel prensip BT çekimi sırasında oluşan gürültünün neden olduğu imajdaki piksel gürültüsünün değerlendirilmesidir. Eğer aynı çekim parametreleri kullanılırsa, foton absorpsiyonundaki farklılıklara bağlı olarak farklı vücut bölgelerinden elde edilen piksel gürültüsü çok değişkenlik gösterir. Tüp akımının değişik projeksiyonlara ve vücut bölgelerine göre değiştirilmesi gürültü oranlarında homojenite sağlar. Dört farklı yöntem ile otomatik tüp akımı ayarlanmaktadır;

Longitudinal (z-aksı) Tüp akımının ayarlanması

Hastanın z-aksı boyunca ayarlanan tüp akımındaki değişikliği ifade eder. Skenogram alınırken çekim alanına giren bölgelerin foton absorpsiyonuna bağlı olarak, çekim sırasında her bölgeye uyacak şekilde tüp akımında değişiklik yapılır.

Açısal (xy) Tüp akımının ayarlanması

Homojen imaj kalitesi sağlamak için tüp hasta etrafında dönerken tüp akımında ayarlama yapılır. İmaj gürültüsü çoğunlukla açılı projeksiyondaki atenüasyonlara bağlı gelişir. Ön-arka projeksiyonda ise imaj gürültüsünde belirgin bir artış olmadan tüp akımı azaltılabilir.

Kombine (xyz) Tüp akımının ayarlaması

Kombine tüp akımının ayarlanması açısal ve longütidünal tekniklerin özelliklerini taşır. Günümüzde dört büyük üreticide bu teknoloji mevcuttur. Bu yöntem radyologlara diyagnostik görüntüleme sırasında hastaya uyacak şekilde gürültü miktarını ayarlamaya imkan sağlar. Çocuk hastalarda belirgin radyasyon doz azalımı sağlanırken, iri hastalarda doz arttırılır.

Parsiyel tarama

Radyosensitif organlara direkt radyasyon maruziyetini engellemek için belli açılarda tüp akımının tamamen kesilmesi prensibine dayanır. Mesela tüp akımı 360 derece yerine 232 derece dönerken açık olduğunda anteriordan radyasyon verilemez ve posteriordan masadan ve hastanın yumuşak dokularından filtrelendikten sonra hastanın radyosensitif organlarına ulaşır.

Ayrıca BT çekimi yapılırken görüntünün oluşturulabilmesi için incelenecek alanın aşağı ve yukarı segmentleri de fazladan taranır. 16 kanallı BT için pitch, kolimasyon ve incelenen alanın genişliğine bağlı olarak taranan ekstra alan boyutlarının arttığı bildirilmiştir (39). Çocuklarda vücut oranına bağlı olarak bu alanlardaki radyasyon maruziyeti erişkinlerden daha fazladır. Bazı üretici firmalar incelenecek alanın aşağı ve yukarısına dinamik engelleme yaparak radyasyon dozu düşürmeye çalışmaktadır.

Yeni görüntü işleme filtreleri ile yapılan fantom çalışmalarında karaciğer kitlelerinde imaj kalitesinde bozulmaya neden olmadan radyasyon dozunda %30 azalma sağlanabildiği bildirilmektedir (40).

Son yıllarda gelişen dual enerji BT teknolojisi ile tek helikal akuzisyonda farklı iki enerji düzeyindeki fotonların kullanılması amaçlanmaktadır. Bu

inceleme yapılırken doz azaltımı için kontrastsız faz görüntüler yerine 'sanal kontrastsız görüntü' (virtual non enhanced-VNE- image) kullanımı önerilmekte ve böylece verilen dozda ortalama 4,97 mSv azalma olacağı öngörülmektedir (41).

SONUÇ

Pediatrik yaş grubunda radyasyon içeren BT tetkikinin endikasyonu doğru konulmalı, her çocuğa ve her tanıya uygun çekim protokolleri uygulanmalıdır. Çocuk hasta kabul eden radyoloji birimlerinin, günlük pratikte (multidedektörlü ve çift kaynaklı BT'lerin otomatik doz azaltma teknolojileri olsa bile) BT ile tetkik yaparken, verilen radyasyon dozunu azaltmak için gereken teknik parametreleri düzenlemeleri hem profesyonel hem de etik yükümlülükleridir.

KAYNAKLAR

1. Berland LL, Smith JK: Multidetector-array CT: once again, technology creates new opportunities. Radiology. 1998; 209:327–329.
2. Golding SJ, Shrimpton PC: Radiation dose in CT: are we meeting the challenge? Br J Radiol. 2002; 75:1–4.
3. Kalra MK, Maher MM, Toth TL, Hamberg LM, Blake MA, Shepard JA, Saini S: Strategies for CT radiation dose optimization. Radiology. 2004;230:619–628.
4. Brenner DJ: Estimating cancer risks from pediatric CT: going from the qualitative to the quantitative. Pediatr Radiol. 2002;32:228–233.
5. Mettler FA Jr, Wiest PW, Locken JA, Kelsey CA: CT scanning: patterns of use and dose. J Radiol Prot. 2000;20:353–359.
6. Ron E: Ionizing radiation and cancer risks: evidence from epidemiology. Pediatr Radiol. 2002;32:232–237.
7. Strom DJ, Cameron JR: Is it useful to assess annual effective doses that are less than 100 mSv? Radiat Prot Dosimetry.2002;98:239–245.
8. Frush DP, Donelly LF, Rosen NS: Computed tomography and radiation risks. What pediatric health care providers should know. Pediatrics. 2003;112:951–957.
9. Pierce DA, Shimizu Y, Preston DL, Vaeth M, Mabuchi K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part I. Cancer: 1950–1990. Radiat Res. 1996;146:1–27.
10. Ware DE, Huda W, Mergo PJ, Litwiller AL. Radiation effective doses to patients undergoing abdominal CT examinations. Radiology. 1999;210:645–650.
11. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations (BEIR V), National Research Council. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR V. Washington, DC: National Academy Press 1990; 1–436.
12. Hollingsworth C, Frush DP, Cross M, Lucaya J. Helical CT of the body: a survey of techniques used for pediatric patients. AJR Am J Roentgenol 2003; 180:401–406.
13. Slovis TL. Conference on the ALARA (as low as reasonably achievable) concept in pediatric CT: intelligent dose reduction. Pediatr Radiol 2002; 32:217–313.
14. Cascade PN, Webster EW, Kazerooni EA. Ineffective use of radiology: the hidden cost. AJR Am J Roentgenol 1998; 170:561–564.
15. Kaiser S, Frenckner B, Jorulf HK. Suspected appendicitis in children—a prospective randomized study. Radiology. 2002; 223:633–638.
16. Morris KT, Kavanagh M, Hansen P, et al. The rational use of computed tomography scans in the diagnosis of appendicitis. Am J Surg 2002; 183:547–550.
17. Zhu X, Yu J, Huang Z. Low-dose chest CT: optimizing radiation protection for patients. AJR Am J Roentgenol 2004; 183 (3):809–816.
18. Prasad SR, Wittram C, Shepard JA, McLoud T, Rhea J. Standard-dose and 50%-reduced dose chest CT: comparing the effect on image quality. AJR Am J Roentgenol 2002; 179 (2): 461–465.
19. Karabulut N, Toru M, Gelebek V, Gulsun M, Ariyurek OM. Comparison of low-dose and standard-dose helical CT in the evaluation of pulmonary nodules. Eur Radiol 2002; 12 :2764–2769.
20. Nawa T, Nakagawa T, Kusano S, et al. Lung cancer screening using low-dose spiral CT: results of baseline and 1-year follow-up studies. Chest 2002; 122 :15–20.
21. Rusinek H, Naidich DP, McGuinness G, et al. Pulmonary nodule detection: low-dose versus conventional CT. Radiology 1998; 209:243–249.
22. Hagtvedt T, Aalokken TM, Notthellen J, Kolbenstvedt A. A new low-dose CT examination compared with standard-dose CT in the diagnosis of acute sinusitis. Eur Radiol 2003; 13 :976–980.
23. Karabulut N, Akti U, Kazil S. Comparison of low dose and standard dose CT in the evaluation of inflammatory diseases of paranasal sinuses. Tani Girisim Radyol 2003; 9 :315–320.
24. Tack D, Widelec J, De Maertelaer V, et al. Comparison between low-dose and standard-dose multidetector CT in patients with suspected chronic sinusitis. AJR Am J Roentgenol 2003; 181 :939–944.
25. Metin K, Arslan A, Akgoz Y, et al. Diagnostic efficacy of low dose paranasal sinus CT examination. Tani Girisim Radyol 2003; 9 :321–326.
26. Iannaccone R, Laghi A, Catalano C, et al. Detection of colorectal lesions: lower-dose multi-detector row helical CT colonography compared with conventional colonoscopy. Radiology 2003; 229 :775–781.
27. Hamm M, Knopfle E, Wartenberg S,Wawroschek F, Weckermann D, Harzmann R. Low dose unenhanced helical computerized tomography for the evaluation of acute flank pain. J Urol 2002; 167:1687–1691.
28. Spielmann AL, Heneghan JP, Lee LJ, Yoshizumi T, Nelson RC. Decreasing the radiation dose for renal stone CT: a feasibility study of single- and multidetector CT. AJR Am J Roentgenol 2002; 178 :1058–1062.
29. Heneghan JP, McGuire KA, Leder RA, DeLong DM, Yoshizumi T, Nelson RC. Helical CT for nephrolithiasis and ureterolithiasis: comparison of conventional and reduced radiation-dose techniques. Radiology 2003; 229 :575–580.
30. Hopper KD, King SH, Lobell ME, TenHave TR, Weaver JS. The breast: in-plane x-ray protection during diagnostic thoracic CT-shielding with bismuth radioprotective garments. Radiology 1997; 205 :853–858.
31. Fricke BL, Donnelly LF, Frush DP, et al. In-plane bismuth breast shield for pediatric CT: effects on radiation dose and image quality using experimental and clinical data. AJR Am J Roentgenol 2003; 180 :407–411.
32. Donnely LF, Frush DP. Pediatric multidetector CT. Radiol Clin North Am 2003; 41 :637–655.

33. Donnelly LF, Emery KH, Brody AS, et al. Minimizing radiation dose for pediatric body applications of single-detector helical CT. AJR Am J Roentgenol 2001;176 :303–306.
34. Singh S, Kalra MK, Moore MA, et al. Dose reduction and compliance with pediatric CT protocols adapted to patient size, clinical indication, and number of prior studies. Radiology 2009; 252 :200–208.
35. Lucaya J, Piqueras J, Garcia-Peña P, et al. Low-dose high-resolution CT of the chest in children and young adults: dose, cooperation, artifact incidence, and image quality. AJR Am J Roentgenol 2000; 175 :985–992.
36. McNitt-Gray MF. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: topics in CT: radiation dose in CT. Radiographics 2002; 22 :1541–1553.
37. Karabulut N, Ariyurek M. Düşük doz BT: üniversite hastanelerindeki stratejiler ve pratik uygulamalar. Diagn Interv Radiol 2006; 12 :3–8.
38. Brix G, Nagel HD, Stamm G, et al. Radiation exposure in multi-slice versus single-slice spiral CT: results of a nationwide survey. Eur Radiol 2003; 13 :1979–1991.
39. Van der Molen AJ, Geleijns J. Overranging in multisection CT: quantification and relative contribution to dose-comparison of four 16-section CT scanners. Radiology 2007; 242 :208–216.
40. Martinsen AC, Saether HK, Olsen DR, Skaane P, Olerud HM. Reduction in dose from CT examinations of liver lesions with a new postprocessing filter: a ROC phantom study. Acta Radiol 2008; 49 :303–309.
41. Chae EJ, Song JW, Seo JB, Krauss B, Jang YM, Song KS. Clinical utility of dual energy CT in the evaluation of solitary pulmonary nodules: initial experience. Radiology 2008; 249 :671–681.