

# Üç boyutlu görüntüleme ve düz panel dedektörlü C kollu anjiyografide konik ışın demetli bilgisayarlı tomografi

Sergin Akpek, Thomas Brunner, Goetz Benndorf, Charles Strother

Gazi Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye (S.A. ✉), The Methodist Hospital, Radiology, Houston, ABD (G.B., C.S.), Siemens Medical Solutions, Forchheim, Almanya (T.B.)

Üç boyutlu rotasyonel anjiyografi esas olarak “Cone Beam Volume CT” (CBVCT) ile aynı görüntüleme yöntemlerini kullanmaktadır. Bu, rotasyonel iki boyutlu X ışını dedektörü ve koni şeklindeki X ışını demeti ile hacim taraması yapılmasıdır. Bu teknik esas olarak kontrast madde ile dolu damarlar gibi yüksek kontrast gösteren yapılar için kullanılmaktadır. Düz panel dedektör teknolojisinin C-kollu sistemler üzerinde uygulanması hem kontrast hem de uzaysal rezolüsyonda görüntü kalitesini arttırmaktadır. Perkütan, endovasküler ve açık ameliyat gibi işlemler sırasında basit bir C kollu sistemle yüksek uzaysal ve kontrast rezolüsyona sahip üç boyutlu ve aksiyel görüntüler elde etmek, sadece komplikasyonları tespit etmek için değil aynı zamanda da karmaşık anatomiye daha iyi anlayabilmek için çok yararlı olmaktadır.

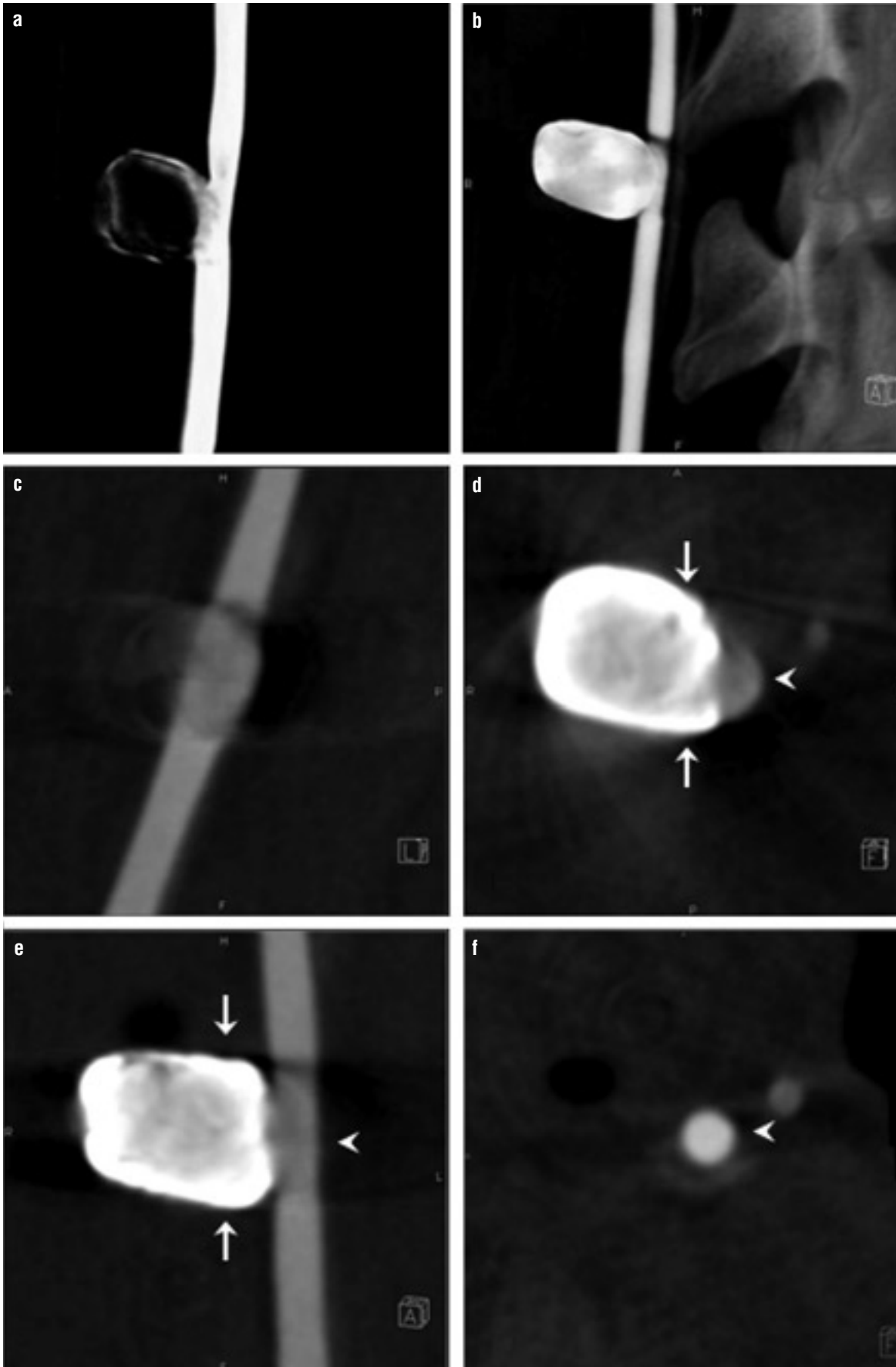
## Teknik

### Sistem

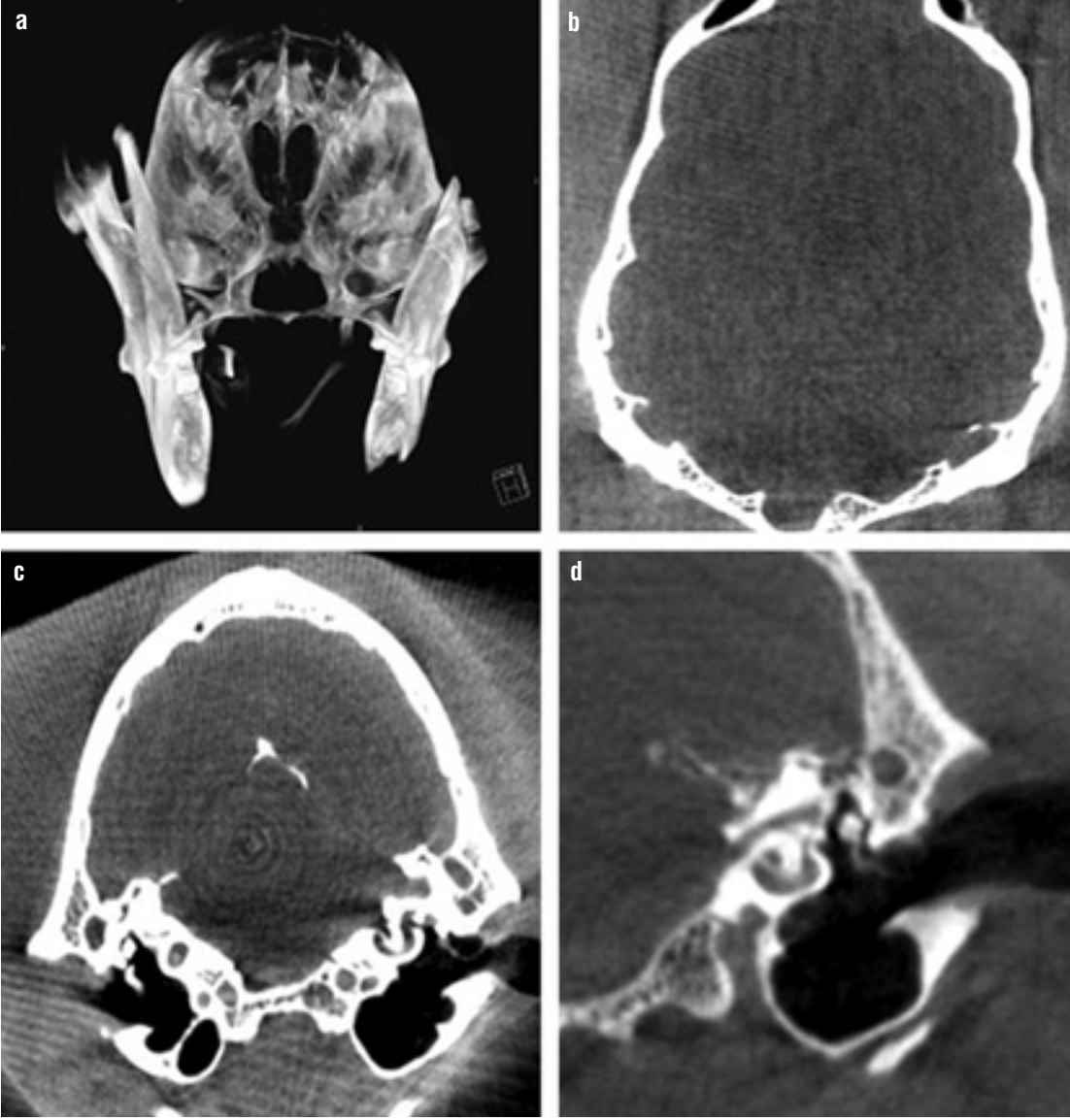
Üç boyutlu görüntülerin oluşturulmasında kullanılan iki boyutlu rotasyonel projeksiyonel görüntüler 18x18 cm boyutlarında amorf silikon düz panel dedektörlü tek plan C kollu anjiyografi sistemi (AXIOM Artis dFC; Siemens Medical Solutions) ile elde edildi. Sistem yazılımı olarak klinik kullanım için onaylanmamış yamalı sürüm kullanıldı. Elde edilen görüntüler işlenmek üzere özel çalışma bilgisayar sistemine (Leonardo; Siemens Medical Solutions) aktarıldı. Burada çok sayıda kesitsel görüntüden oluşan tomografik hacimsel data oluşturuldu. Bu data kullanılarak “volume rendering” tekniği ile üç boyutlu ve multiplaner rekonstrüksiyonlar elde edildi. Bütün bu süreç 3B-Dyna olarak isimlendirildi.

### Görüntüleme

3B-Dyna protokolünde 3B-DSA'dan farklı olarak (maske ve dolu görüntüler) C-kol bir kez rotasyonel hareket yapar. 3B-Dyna için temel olarak iki farklı görüntüleme protokolü mevcuttur. Süresi 5 saniye olan protokolde C-kol, objenin Z aksı çevresinde 200 derecelik bir açıda döner ve her 1.5 derecede bir olmak üzere toplam 133 görüntü elde edilir (rotasyon hızı 40° /s, görüntüleme hızı 26.6 /s). Süresi 11 saniye olan protokolde ise bu parametreler 220°, 0.8°, 273, 20° /s ve 24.8 olarak gerçekleşir. Her iki protokol için ayrıca iki farklı doz seçeneği bulunmaktadır, buna göre düşük ve yüksek doz seçeneklerinde dedektör se-



**Figür 1.** Bir köpeğin sağ ana karotis arterinde deneysel olarak oluşturulan anevrizma sıvı embolik ajan ile embolize edildi. Embolizasyon sonrası 3-boyutlu DSA görüntü (a), embolizasyon sonrası %20 kontrast ile 3-boyutlu-Dyna (b) görülüyor. Bu görüntü çıkartılarak elde edilmediğinden servikal vertebralara gibi komşu yapılar da izleniyor. %20 kontrast ile 3-boyutlu-Dyna sonrası rekonstrükte edilen ortogonal görünüm (c-d), (c; oblik sagittal, d; aksiyel, e; oblik koronal) embolizan madde (oklar) ile arter lümeni (ok başları) arasındaki ilişkiyi gösteriyor. Normal ana karotis arter (f)(ok başı) izleniyor.



**Figür 2.** Bir köpek kranyumunun 3-boyutlu-Dyna görünümü. Antero-posterior pozisyonda kranyum ve mandibulanın bir kısmını gösteren 3-boyutlu rekonstrüksiyon (a) izleniyor. Aksiyel (b) ve koronal (c) görüntüler izleniyor. Düşük kontrast rezolüsyonu nedeniyle beyin parankiminin ventriküllerden veya subaraknoid mesafeden ayrılmasının imkansız olduğu görülüyor. Sol temporal kemik düzeyinden (d) elde olunan magnifiye aksiyel kesitte orta kulak kemikleri ve iç kulak yapıları yüksek temporal rezolüsyonla görülüyor.

viyesinde ölçülen giriş dozları 0.36 mGy/görüntü ve 1.2 mGy/görüntü olarak ölçülmüştür. Farklı görüntü büyütme faktörleri seçilebilmektedir, ancak sistem kalibrasyonu sadece 25 cm'lik 0 büyütme faktörü seçeneği için yapılmıştır. Düz panel dedektör sisteminin matrisi 1024x1024 olmakla birlikte efektif matris büyüklüğü 960x960, piksel boyutu 0.184 mm'dir (bütün teknik bilgiler üretici firma tarafından sağlanmıştır). Üç boyutlu görüntülerin oluşturulmasında modifiye Feldkamp rekonstrüksiyon algoritması kullanılmıştır (1,2).

Farklı bir araştırma protokolüne dahil olan dört köpek ve bir gönüllüde

sayısal çıkarım uygulanmadan 3B-Dyna görüntüleme gerçekleştirildi. Köpeklerde kranyum ve boyun bölgesi, insanda ise kompleks kemik anatomisi ve uygun boyutları nedeni ile el bileği inceleme alanı olarak seçildi. Tüm hayvanlarda oluşturulan deneysel yan duvar anevrizmaları sıvı embolik ajanlar ile embolized edildi. Boyun bölgesinde üç boyutlu DSA ve 3B-Dyna ve ek olarak kranyum bölgesine yönelik olarak 3B-Dyna görüntüleme gerçekleştirildi. Servikal vertebral kolonun yüksek kaliteli kesitsel ve üç boyutlu görüntülerinin yanında embolizasyon sonrasında %20 kontrast madde kullanılarak geçleş-

tirilen 3B-Dyna ile elde edilen kesitsel görüntülerde damar lümeni ile anevrizma içindeki embolizasyon materyali ve bunların ilişkisi ortaya koyulabilmektedir (Figür 1). Köpek kranyumuna ait görüntülerin kalitesi temporal kemik gibi kompleks anatomiye sahip yapılarda dahi tanısal açıdan yeterli bulunmakla birlikte intrakranyal yumuşak dokuların ya da kompartmanların birbirinden ayrımı düşük kontrast rezolüsyonu nedeni ile yapılamamaktadır (Figür 2). El bileği bölgesinde gerçekleştirilen 3B-Dyna incelemesi yüksek kaliteli kesitsel ve üç boyutlu görüntüler elde edilmesini sağladı. Kontrast rezolüsyonu bilgis-



**Figür 3.** Bir insan el bileğinin 3-boyutlu-Dyna görüntülerinden rekonstrükte edilen sagittal (a), aksiyel (b) ve koronal (c) görüntüler izleniyor. Yüksek uzaysal rezolüsyon sayesinde kemik yapıların iyi kalitede görüntülediği dikkati çekiyor. Kontrast rezolüsyon sayesinde kas ve tendonları (*asterisk*) yağ dokusundan (*oklar*) ayırmak mümkün. Aynı anatomik bölgenin 3-boyutlu rekonstrüksiyonu (d) karmaşık kemik anatomisini gösteriyor.

yarlı tomografi ile karşılaştırıldığında oldukça düşük olmakla birlikte kas, tendon ve yağ dokusu ayrımı yapılabilmektedir (Figür 3).

### Tartışma

CBVCT tekniği son yirmi yıldır gelişmiş veri toplama etkinliği, uniform ve artan uzaysal rezolüsyon ve daha iyi üç boyutlu BT uygulamaları nedeni ile birçok araştırmaya konu olmuştur. Son zamanlarda geliştirilen X ışını düz panel dedektörü CBVCT görüntülemesini klinik olarak kolaylıkla kullanılabilir hale getirmiştir. C kolu veya gantrisi olmayan diğer yavaş dö-

nürlü sistemler çene ve yüz bölgesiyle meme görüntülemesi konusunda denenmeye başlanmıştır (3,4).

Üç boyutlu bilgisayarlı rotasyonel anjiyografi, aslında vasküler görüntüleme için geliştirilmiş olup girişimsel nöroradyologlar arasında yüksek oranda kabul görmüştür (5). Üç boyutlu rekonstrüksiyonlar, karmaşık vasküler patolojileri daha iyi anlamaya ve onların diğer önemli damarlar veya komşu yapılarla olan anatomik ilişkilerini daha iyi değerlendirmeye yardımcı olur. İki boyutlu bir detektörle ve koni biçimli X-ışını ile yapılan hacim taramada, izotropik voksel boyutu ve buna bağlı olarak da izotro-

pik uzaysal rezolüsyon elde edilebilir. Sonuç olarak çok düzlemli (multi-planar) yüksek rezolüsyonlu kesitler ve üç boyutlu rekonstrüksiyonlar sağlanabilir. Dedektör olarak görüntü güçlendiriciler veya düz panel dedektör sistemleri kullanılabilir. Düz panel dedektörlerin görüntü güçlendirici dedektörlerden daha yüksek uzaysal rezolüsyon sağladığı ortaya çıkmıştır (6). Gerçek izotropik uzaysal rezolüsyon 16 sıra dedektörlü çok kanallı BT sistemleri ile henüz sağlanamamaktadır. Bu sistemlerle elde edilebilecek longitudinal ve düzlemsel rezolüsyon sırasıyla 0.6 ve 0.5 mm'dir (7). Ancak piksel boyutu 0.254 mm olan düz pa-

nel dedektör sistemiyle elde edilen uzaysal rezolüsyon 0.35 mm olarak bildirilmiştir (6). Bu çalışmada kullanılan sistemde uzaysal rezolüsyon 0.20 mm olarak belirtilmektedir (üretici firma verisi). Aslında gerçek izotropik rezolüsyonlu bir hacim veri seti iki farklı rezolüsyon tanımını (aksiyel ve longitudinal) gereksiz kılmaktadır. Sonuç olarak geleneksel aksiyel kesitler önemini yitirebilir. Bunun yerine çok sayıdaki inceleme düzleminde (çoğu zaman aksiyel) elde edilen kesitsel görüntüler kullanılarak anatomik detayı ya da patolojiyi en iyi ortaya koyan değişik planlarda kesitsel ve üç boyutlu rekonstrüksiyonlar elde etmek önem kazanacaktır. Hatta dijital düz panel dedektör sistemlerinin kullanımı görüntü güçlendiricilerin aksine dünyanın manyetik alanından etkilenmemeleri nedeni ile görüntü kalitesinde artışa neden olacaktır. Ayrıca daha yüksek data toplama derinliği (14 bit), dedektör sistemlerindeki artmış kuantum faydalanım oranı daha efektif doz kullanımına ve yanlış doz seçiminden kaynaklanan hatalara sistemin daha toleranslı olmasını sağlayacaktır.

Her ne kadar endovasküler cerrahide yüksek teknoloji ile üretilmiş modern aletler kullanılsa da, anevrizma tedavisindeki damar delinmeleri gibi işleme bağlı komplikasyonlar hala mortalite ve morbiditeyi arttıran nedenlerin başında gelmektedir. Bir çok perforasyon işlem esnasında kontrast madde ekstravazasyonu şeklinde kendisini belli ederken bir kısım minör perforasyonlar ise işlem esnasında belirlenemeyebilir ve işlem sonrası hastanın kötüleşmesine neden olabilir.

## Kaynaklar

1. Wiesent K, Barth K, Navab N, Durlak P, Brunner T, Schuetz O, Seissler W. Enhanced 3-D-reconstruction algorithm for C-arm systems suitable for interventional procedures. IEEE Trans Med Imaging 2000; 19:391-403.
2. Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical cone-beam algorithm. J Opt Soc Am A 1984; 1:612-619.
3. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. Orthod Craniofacial Res 2003; 6 (Suppl 1):31-36.
4. Boone JM, Nelson TR, Lindfors KK, Se-

Bu gibi durumlarda intrakranyal yapıları görüntülemeye olanak verecek kalitede kesitsel görüntü alabilecek anjiyografi ile kombine sistemler klinisyene büyük kolaylık sağlayacaktır.

C kollu veya değişik tasarımlı CBVCT sistemleri travma vakalarında ve ortopedik cerrahi ameliyathanelerinde çok avantajlı sistemlerdir. Aynı sistemle hem geleneksel 2 boyutlu görüntüleri hem de üç boyutlu ve kesitsel görüntüleri elde edebilmek hekimin kırıkları daha iyi görmesine ve tedavi sonuçlarını daha iyi takip edebilmesine olanak tanır. Benzer çalışmalar El-Sheik ve arkadaşları tarafından bilgisayarlı rotasyonel osteografi adı altında yapılmıştır (8).

Kesitsel görüntülerdeki düşük kontrast rezolüsyonunun en önemli sebebi tarama açısı ve tarama esnasında elde edilen projeksiyon sayısının azlığına bağlı olarak izlenen "streak" artefaktlarıdır (11 saniyelik prokolde 220o ve 273 projeksiyon). Daha yüksek tarama açılı ve projeksiyon sayılı protokoller geliştirildikçe kontrast rezolüsyonunun artacağı şüphesizdir.

Açıkça sistemin temporal rezolüsyonu çok kesitli BT ile kıyaslanamaz. Çünkü bu sistemde C kol hareketi çok daha yavaştır. Temporal rezolüsyonun

düşük olması, C-kollu "cone beam" BT metodunun iskelet sisteminde veya girişimsel radyolojik işlemlerde kullanımını etkilemez ve potansiyel klinik faydalarını azaltmaz. Şu anda kullanılan sistemin en önemli dezavantajı FOV'un küçük olmasıdır. Ancak bu durum daha büyük boyutlu dedektör sistemleri ile kolayca aşılabılır.

Veri setinin elde edilmesi (C kol hareketi) ve görüntü rekonstrüksiyonu için gereken toplam zaman protokol detaylarına ve rekonstrüksiyonda kullanılan üç boyutlu matriksin büyüklüğüne bağlıdır. Süresi 11 saniye olan protokol ve 256x256x256 görüntü rekonstrüksiyon matriksi için veri transferi ile birlikte bu süre beş dakika civarındadır. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle bu süre yakın gelecekte hissedilir biçimde azalacaktır.

Her ne kadar elde edilen kesitsel ve üç boyutlu görüntüler yüksek uzaysal rezolüsyon ve kalitede olsa da çeşitli fantom çalışmaları, hayvan deneyleri ve hastalar üzerindeki çalışmalar bu tekniğin klinik uygulamalar için geçerliliğinin kanıtlanması için gereklidir. Bu yönteminin uygulama alanlarının ancak klinik deneyimle genişleyeceğine inanıyoruz.

### THREE-DIMENSIONAL IMAGING AND CONE BEAM VOLUME CT IN C-ARM ANGIOGRAPHY WITH FLAT PANEL DETECTOR

We evaluated a new 3D angiography system with a flat panel detector (FPD) for its capability to acquire volume sets during a single rotation scan and to reconstruct high spatial resolution three-dimensional and cross sectional images, namely cone beam volume computed tomography (CBVCT) images. Present status of the technique, advantages and potential applications are discussed.

Key words: • angiography • tomography, X-ray computed • imaging, three dimensional

Diagn Interv Radiol 2005; 11:10-13

ibert JA. Dedicated breast CT: radiation dose and image quality evaluation. Radiology 2001; 221:657-667.

5. Fahrig R, Fox AJ, Lownie S, Holdsworth DW. Use of a C-Arm system to generate true three-dimensional computed rotational angiograms: Preliminary in vitro and in vivo results. AJNR Am J Neuroradiol 1997; 18:1507-1514
6. Baba R, Konno Y, Ueda K, Ikeda S. Comparison of flat-panel detector and image-intensifier detector for cone-beam CT. Comput Med Imaging Graph 2002; 26: 153-158.

7. Flohr T, Stierstorfer K, Bruder H, Simon J, Schaller S. New technical developments in multislice CT-Part 1: approaching isotropic resolution with sub-millimeter 16-slice scanning. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 2002; 174:839-845.
8. El-Sheik M, Heverhagen JT, Alfke H, Froelich JJ, Hornegger J, Brunner T, Klose KJ, Wagner HJ. Multiplanar reconstructions and three-dimensional imaging (computed rotational osteography) of complex fractures by using a C-arm system: initial results. Radiology 2001; 221:843-849.