관동맥 심장 CT

Coronary CT Angiography

최 병 욱
연세의대 세브란스병원 진단방사선과
서울 서대문구 신촌동 134
Byoung Wook Choi, M.D.
Department of Diagnostic Radiology
Yonsei University College of Medicine, Severance Hospital
E-mail : bchoi@yumc.yonsei.ac.kr

Abstract

With the advent of multislice computed tomography (MSCT), noninvasive coronary angiography by using CT has become practical for clinical purposes. The accuracy of MSCT in evaluation of coronary artery stenosis challenges that of conventional X-ray coronary arteriography. The essential component of the CT technique in evaluation of coronary arteries on a beating heart consists of a multidetector row system, which enables thin-sliced volume scan during one breath-hold, and the fast rotation speed of gantry, which is most important to increase the time resolution. However, the technical development so far achieved just allows CT to acquire diagnostic-quality images only with lowering the heart rate less than 65 beats per minute using a β-blocker. Motion artifacts caused by physiologic or diseased complex movement of the heart and blooming artifacts from dense calcification are the major limitations compromising accurate interpretation of coronary CT angiograms. Although many problems related to coronary CT angiography has not been solved at present, we should remember that the present CT technique is just at its infancy, and CT has many benefits as a noninvasive diagnostic modality. In addition, measurement of a cross-sectional area at stenosis of coronary artery will improve diagnostic accuracy, which is also a major advantage over the projection image of X-ray angiography. Characterization of a vulnerable plaque by density measurement of an atherosclerotic plaque of the coronary vessel wall and evaluation of in-stent restenosis should be other possibilities of CT.

Keywords : Computed tomography (CT); Coronary disease; Stenosis; Angiography
핵 심 용 어 : 전산화단층촬영; 관동맥질환; 협착; 혈관조영술

서 론

엑스선이 발견된 것은 불과 100여년 전이나 현대의학에서 엑스선은 생체의 내부를 절개 없이 들여다보고 마음대로 잘라보는 것을 가능하게 하는 필수적 진단도구가 되었다. 관동맥 협착의 진단에 있어서 엑스선 투시영상을 이용한 혈관 조영술이 금과옥조 검사법으로 수 십년간 그 자리를 지켜왔으나 최근 컴퓨터의 발달과 더불어 CT 영상과 이의 3차원 재구성 영상을 이용한 진단방법이 대두되었다(1~3). 그러나 CT로 관동맥 영상을 얻을 수 있게 된 것은 비교적 최근의 일로 전자선 CT(electron beam CT ; EBCT)가 출현하면서 관동맥의 비침습적 영상진단이 관심을 끌기 시작하였다. 최근의 다검출기 나선식 CT (multidetector spiral CT ; MDCT, multislice CT ; MSCT)의 출현은

CT를 이용한 관동맥 영상진단을 임상적인 목적으로 활용할 수 있는 단계로 위상을 끌어올렸다(4~6). CT를 이용한 진단법은 기존의 혈관조영술에 비하여 비관혈적 검사법이 가지는 모든 장점을 가지고 있다. 비용이 저렴하고 입원이나 침상 안정 등을 요하지 않아 환자가 겪는 불편과 고통도 덜어줄 수 있다. 그러므로 정확한 진단만 가능하다면 치료목적이 아닌 진단만을 위하여는 관혈적 관동맥 혈관조영술 대신 CT를 이용하는 것이 합리적일 것이다. 그러나 현재 수준의 CT 기술은 아직 많은 문제점을 가지고 있으며 관동맥 촬영술의 정확성은 아직까지 더 검증되어야 할 숙제로 남아있다. 하지만 현재 관동맥 영상에 이용되는 CT 기술은 이제 걸음마를 시작한 단계로 점차 가속화되는 기술 개발과 비관혈적 검사로서의 장점, 관동맥 벽과 경화반 영상의 가능성 등을 고려하면 CT의 역할은 더욱 커질 것이 분명하다. 따라서 현재 관동맥 질환의 진단에 있어서 CT의 역할을 이해하고 어떻게 임상에 적용되고 있으며 그 전망은 어떠한지 알아보는 것이 의미있는 일이 될 것이다.

CT의 발달

기존 나선식 CT가 심장을 촬영할 수 없었던 이유는 시간 해상도가 낮은 데 원인이 있었다. 전자선 CT는 일반적인 CT와는 전혀 다른 구조를 사용하여 시간 해상도를 획기적으로 높인 CT이다(6). 시간 해상도를 높이면 심장 운동이 작은 시간 동안 영상을 얻을 수 있으며 이를 최적화할 수 있도록 EKG 동조를 이용할 수 있게 된다. 전자선 CT는 심장 전용으로 사용되며 심장 영상의 연구에 매우 공헌하였으나 검출기가 하나라는 단점 때문에 관상동맥 협착을 진단하는 목적으로 사용하기에는 한계가 있었다. 최근 출현한 다검출기 CT는 기존 나선식 CT의 갠트리 회전속도를 개선하여 시간 해상도를 높이고, 여기에 검출기를 여러개 장착하여 EKG 동조도 가능하고, 숨을 한번 참는 동안 심장 전체를 고해상도로 촬영할 수 있게 하였다(1). 2003년 현재, 시장에 출시된 가장 진보된 형태의 다검출기 CT는 검출기를 16개 장착한 것이다.

관동맥 촬영의 특수성과 필요조건

관동맥의 CT 영상이 힘든 점은 심장의 움직임, 작은 혈관 직경, 구불거리는 주행이다. 심장의 움직임은 EKG 동조화를 통하여, 작은 혈관 직경은 고해상도를 통하여, 구불거리는 주행은 전체 심장의 부피 영상을 얻음으로써 해결할 수 있다. 그럼에도 불구하고 우리가 이해해야 할 것은 아직까지 진단적 가치를 지니기에 충분한 공간 해상도 또는 시간 해상도를 동시에 만족하는 영상을 얻기가 힘들다는 것이며 심장이 규칙적으로 움직인다는 전제에 전적으로 의존하는 영상기법을 사용하고 있다는 것이다. 따라서 심장 박동의 주기가 불규칙하거나 매우 빠르게 움직일 때 진단적이지 못한 영상을 얻기 쉽다.

빠른 심장 박동

심장 박동이 빠를 때 단면 영상에서는 영상의 흔들림이 나타나고, 3차원 영상을 재구성하였을 때 계단 모양의 인공물(artifact)을 보인다. 이 인공물은 때로 심각하여 협착 유무를 판단할 수 없도록 만든다(7~9). 해결방법은 CT의 시간 해상도를 높이거나 심장 박동을 낮추어 주는 것이다. CT의 해상도를 높이는 방법으로 소위 segmented reconstruction algorithm이 있으나 심장 박동수를 낮추어 주는 것만큼 효과적이지 못하다(10, 11). 심장박동을 낮추기 위하여 베타차단제를 사용하는데 목표 심장 박동

수는 분당 65회 이하이다. 심장 박동수가 분당 65회 이하일 때 진단적 가치가 손상되지 않는 영상을 얻을 수 있다(7). 저자의 경험에 의하면 82명을 대상으로 하여 propranolol이나 atenolol 40~80 mg을 사용하였을 때 75%의 환자에서 심장 박동수를 분당 65회 이하로 유지시켜 촬영할 수 있었다(그림 1).

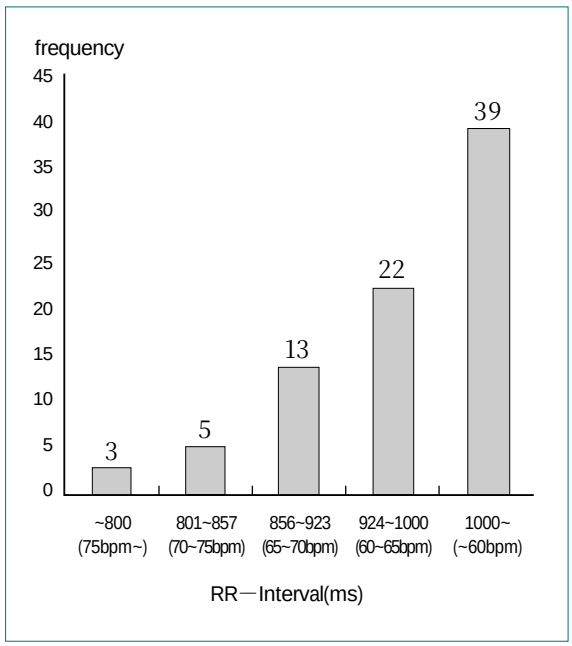

그림 1. 베타차단제의 효과. 75%(61/82)의 환자에서 65 bpm 이하로 유지되었다.

심장 박동수의 변화

비단 부정맥이 있지 않더라도 CT 촬영을 하는 동안 심장이 계속 똑같은 박동수를 보이지는 않는다. 특히 숨을 오래 참고 있을수록 심장 박동수가 빨라지는 경향이 있다. 심장 박동수가 빨라지면 시간 해상도의 제한 때문에 인공물이 생기게 되며 심장의 수축기에 비하여 상대적으로 이완기가 더 짧아지게 된다. 따라서 심장 주기 중 가장 천천히 움직이는, 그래서 영상의 표적이 되는 등용적 이완기(isovolumetric relaxation)의 위치가 이동하게 된다. 이 문제는 심장 박동수의 변화, 즉 심장 주기 시간(RR interval)의 변화에도 불구하고 항상 등용적성 이완기에 영상을 만들려면 이를 제대로 찾아 주는 방법이 필요함을 시사한다(12). 저자의 경험으로 60명의 환자에서 검출기가 4개인 CT(시간 해상도 250 ms)를 이용하여 관상동맥을 촬영한 결과 촬영시간 동안 심장 박동수의 변동이 10 bpm 이상 차이가 있으면 영상의 질이 현저히 떨어지는 것을 관찰하였다(그림 2).

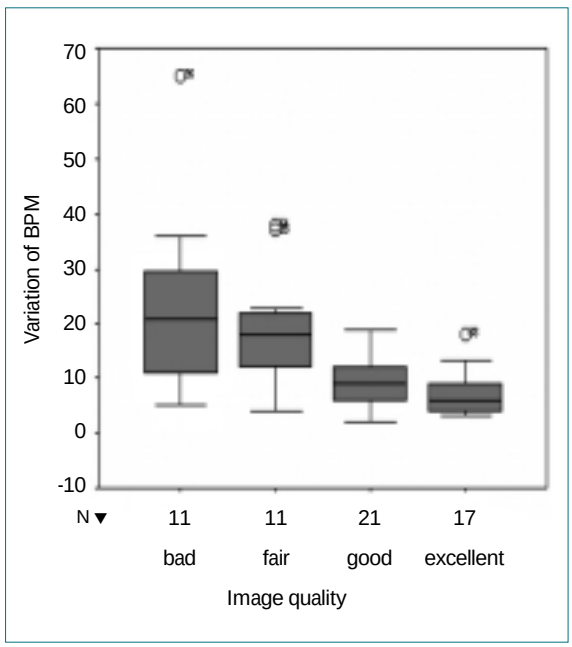

그림 2. 영상의 질과 심박동수 변동과의 관계. 변동성 10 bpm 이상이면 영상의 질이 떨어진다.

심장 주기 선택

후향적 EKG 동조화는 심장 전체 또는 일부를 포함하는 영상을 EKG 신호와 함께 연속적으로 촬영하여 촬영이 끝난 후 EKG 신호를 바탕으로 일정한 심장 주기의 데

이터를 모아 영상을 만드는 방법이다. 후향적으로 영상을 만들기 때문에 어떤 심장 주기의 선택도 가능하다. 이렇게 영상을 만들기 위해 심장 주기를 선택하는 방법은 R파로부터의 절대적 시간(ms)으로 선택하는 방법과 RR-interval의 절대적 %로 선택하는 방법이 있다. 그러나 이 두 방법 모두 심장 박동의 변동성(variation)에 완벽히 적응하지 못한다. 또 각각의 혈관에 따라, 혈관의 위치에 따라 운동이 가장 작은 시기가 서로 다르다(13~15). 따라서 가장 좋은 영상을 얻기 위한 심장 주기의 선택이란 주제가 최근의 연구에서 관심거리이다(12, 14, 15). 현재 이 문제를 해결할 수 있는 가장 신뢰할 만한 방법은 베타차단제로 심박동수를 충분히 낮추는 것이다.

관동맥 석회화

관동맥 석회화는 관상동맥경화증의 지표로서 활용될 수 있는 반면, 협착의 정도를 평가하는 데에는 방해가 된다(2). 실제 크기보다 훨씬 커 보이는 이른바 'blooming artifact' 때문에 석회화 총점이 300 이상이면 평가가 어렵다고 한다. 그러나 육안적 판단에서는 음영창의 조절이 도움이 되며, 음영프로필(density profile)을 이용한 객관적 측정이 도움이 될 전망이다(16).

관동맥 협착 질환 평가의 정확도

검출기가 4개인 CT를 이용한 Nieman 등(2)의 연구에서 31명의 환자를 대상으로 고식적 혈관조영술과 비교하였다. 237 근위부와 중간 부위 분절 중 173(73%)에서 평가가 가능하였고, 21예의 50% 이상 협착 중 17예를 정확히 진단하였다. 진단하지 못한 4예는 평가가 불가능한 분절에 병변이 있던 예였다. 잘못 판독된 예는 심한 석회화가 있거나 스텐트를 삽입한 분절이었다. 그러나 4-다검출기 CT에서 문제가 되었던 과도한 칼슘 경화반이나 작은 혈관에 대하여는 16-다검출기 CT에서도 진단의 정확성을 높이지 못하였다. 16-다검출기 CT를 이용한 Ropers등(17)의 연구에서는 관동맥 협착 진단의 민감도 92%, 음성예측도 92%, Nieman 등(5)의 연구에서는 민감도 91%, 음성예측도 91%로 매우 높은 정확도가 보고되었지만 실제 평가가 불가능하였던 증례를 포함하여 전체의 정확도를 계산하면 약 70~80%에 불과하다. 그러므로 현재는 높은 음성예측도를 활용한 검사의 적응증을 정하여 시행하는 것이 가장 효율적이라고 생각된다. 이렇게 정확도가 떨어지는 원인들 중 심장의 운동에 의한 인공물이 가장 심각하다.

관동맥 스텐트 내 재협착 평가

관동맥 스텐트의 평가는 개존성과 스텐트 내부에서 재협착이 일어나는 것을 평가하는 데 목적이 있다. 관동맥처럼 내경이 작은 혈관에서는 스텐트의 금속 재질 때문에 일어나는 고밀도 인공물이 나타나 스텐트 내강이 거의 보이지 않는 경우가 대부분이다. 한 생체 외 연구에 의하면 Wiktor stent, Wallgraft stent, Nir Royal stent에서는 내강이 전혀 보이지 않았고, 다른 종류의 스텐트에서는 일부 내강이 보였으나 작게는 V-Flex stent에서는 62%, 크게는 Bx Velocity stent에서 94%만큼 원래보다 내강이 좁아 보였다(18). 이는 스텐트의 종류와 규격에 따라 달라지며 부분용적효과(partial volume effect)와 빔경화효과(beam hardening effect) 때문이다(19). Nieman 등(2)의 연구에서 스텐트의 개존성은 스텐트 원위부 혈관이 보이는 것으로 평가가 가능하다고 하였으나 실제 막힌 스텐트의 원위부 혈관에도 측부 순환을 통한

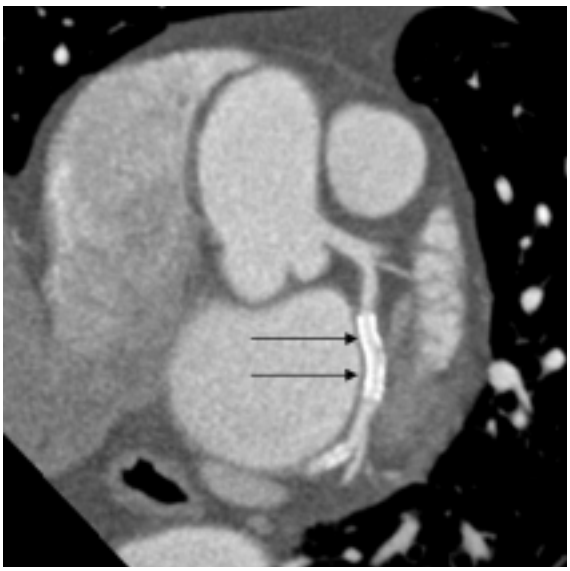

그림 3. 정상 스텐트 내강. 스텐트 내부에 정상적으로 조영증강되는 내강이 관찰된다.

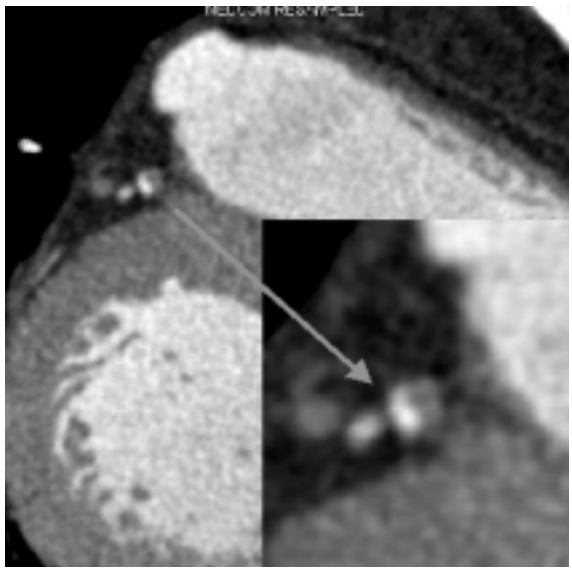

그림 4. 혈관의 단면

조영제가 차들어와서 마치 개존성이 있는 것처럼 보일 수 있어 주의를 요한다. 저자의 경험에 의하면 스텐트 내부에서 측정되는 낮은 밀도가 스텐트 내강의 협착 및 폐쇄를 진단하는 데 매우 도움이 된다(그림 3). 그러나 스텐트 내강의 협착 정도를 확인할 수 있는 방법은 아직까지 연구된 바가 없다. 그러므로 근본적으로는 스텐트의 재질을 CT 밀도가 낮은 합금으로 대체하는 것이 중요하리라 생각되며 CT를 이용한 혈류 검사를 같이 시행하면 도움이 될 것이다.

관동맥 CT의 장점

투시영상에서 측정된 혈관의 직경이 최소 직경보다 크고 최대 직경보다는 작게 측정되는 경향이 있으며 좁아진 형태에 따라 실제 혈역학적 정보를 제대로 반영할 수 없는 측정 결과를 낼 수 있다. 그러나 관동맥 CT는 혈관에 수직인 단면을 재구성하여 관찰할 수 있으므로 실제 좁아진 영역의 넓이를 측정하여 실제 혈역학적으로 중요한 협착을 판단하는 데 도움을 준다(그림 4).

결 론

다검출기 CT의 현재 수준은 시간 해상도 210 ms 정도가 가능하며 이는 심장 박동수가 분당 65회 이하에서만 항상 진단적 가치가 있는 영상 획득을 보장한다는 의미이다. 그러므로 관동맥 협착을 진단하기 위하여는 베타차단제의 사용이 필수불가결의 요소이다. 소프트웨어적으로 시간 해상도를 50~105 ms까지 향상시킬 수 있는 방법이 개발되어 있으나 이의 적용에는 심장 박동수의 변동성에 따른 심장 주기의 정확한 선택이 무엇보다도 중요하다. Z축 해상도도 0.5~0.75 mm로 얇아져 비교적 iso-voxel에 가까운 영상을 얻을 수 있게 되었다. 석회화와 석회화되지 않은 연경화반의 정량화 및 정성 분석도 가능하리라 기대된다(20). 검출기가 32 또는 64개인 CT의 개

발, 또는 평판 검출기(Flat panel dectector)를 장착하여 마치 카메라와 같이 단 한번의 회전만으로 심장을 모두 포함하여 촬영할 수 있는 신개념 CT가 개발중이므로 관동맥 협착 질환의 진단에서 있어서 비관혈적 검사로서의 CT에 거는 기대가 크다(21, 22).

참 고 문 헌

1. Kachelriess M, Kalender WA. EKG—correlated image reconstruction from subsecond spiral computed tomography scans of the heart. Med Phys 1998 ; 25 : 2417 - 31
2. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, van Ooijen P, Munne A, van Geuns RJ. Coronary angiography with multi—slice computed tomography. Lancet 2001 ; 357 : 599 - 603
3. Schroeder S, Kopp AF, Ohnesorge B, Flohr T, Baumbach A, Claussen CD, et al. Accuracy and reliability of quantitative measurements in coronary arteries by multi—slice computed tomography. Experimental and initial clinical results. Clin Raiol 2001 ; 56 : 466 - 74
4. Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, Baumbach A, Georg C, Claussen CD, et al. Non—invasive coronary angiography with high resolution multidetector—row computed tomography. Results in 102 patients. Eur Heart J 2002 ; 23 : 1714 - 25
5. Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, Raaijmakers R, Pattynama PM, de Reyter PJ. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submilimeter multislice spiral computed tomography. Circulation 2002 ; 106 : 2051 - 4
6. Leber AW, Knez A, Becker C, Becker A, White C, Steinbeck G, et al. Noninvasive intravenous coronary angiography using electron beam tomography and multislice computed tomography. Heart 2003 ; 89 : 633 - 9
7. Schroeder S, Kopp AF, Kuettner A, Burgstahler C, Herdeg C, Seipel L, et al. Influence of heart rate on vessel visibility in noninvasive coronary angiography using new multislice computed tomography : Experience in 94 patients. Clin Imaging 2002 ; 26 : 106 - 11
8. Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, Vos J, Pattynama PM, de Feyter PJ, et al. Non—invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography : impact of heart rate. Heart 2002 ; 88 : 470 - 4
9. Giesler T, Baum U, Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Achenbach S, et al. Noninvasive visualization of coronary arteries using contrast—enhanced multidetector CT : influence of heart rate on image quality and stenosis detection. AJR 2002 ; 179 : 911 - 6
10. Lembcke A, Rogalla P, Mews J, Blobel J, Enzweiler CN, Hamm B, et al. Imaging of the coronary arteries by means of multislice helical CT : optimization of image quality with multisegmental reconstruction and variable gantry rotation time. Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr 2003 ; 175 : 780 - 5
11. Stierstorfer K, Flohr T, Bruder H. Segmented multiple plane reconstruction : a novel approximate reconstruction scheme for multi—slice spiral CT. Phys Med Biol 2002 ; 47 : 2571 - 81
12. Vembar M, Garcia MJ, Heuscher DJ, Matthews D, Bohme GE, Greenberg NL, et al. A dynamic approach to identifying desired physiological phases for cardiac imaging using multislice spiral CT. Med Phys 2003 ; 30 : 1683 - 93
13. Achenbach S, Ropers D, Holle J, Muschiol G, Daniel WG, Moshage W. In—plane coronary arterial motion velocity : measurement with electron—beam CT. Radiology 2000 ; 216 : 457 - 63
14. Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A, Heuschmid M, Georg C, Claussen CD, et al. Coronary arteries : retrospectively ECG—gated multi—detector row CT angiography with selective optimization of the image reconstruction window. Radiology 2001 ; 221 : 683 - 8
15. Hong C, Becker CR, Huber A, Schoepf UJ, Ohnesorge B, Reiser MF, et al. ECG—gated reconstructed multi—detector

row CT coronary angiography. Effect of varying trigger delay on image quality. Radiology 2001 ; 220 : 712 - 7

16. Funabashi N, Kobayashi Y, Perlroth M, Rubin GD. Coronary artery : quantitative evaluation of normal diameter determined with electron-beam CT compared with cine coronary angiography-initial experience. Radiology 2003 ; 226 : 263 - 71
17. Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Achenbach S, et al. Detection of coronary artery stenosis with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. Circulation 2003 ; 107 : 664 - 6
18. Maintz D, Juergens KU, Wichter T, Grude M, Heindel W, Fischbach. Imaging of coronary artery stents using multislice computed tomography : in vitro evaluation. Eur Raiol 2003 ; 13 : 830 - 5
19. Kruger S, Mahnken AH, Sinha AM, Borghans A, Dedden K, Hanrath P, et al. Multislice spiral computed tomography for the detection of coronary stent restenosis and patency. Int J Cardiol 2003 ; 89 : 167 - 72
20. Leber AW, Knez A, White CW, Becker A, von Ziegler F, Boekstegers P, et al. Composition of coronary atherosclerotic plaques in patients with acute myocardial infarction and stable angina pectoris determined by contrast-enhanced multislice computed tomography. Am J Cardiol 2003 ; 91 : 714 - 8
21. Ning R, Tang X, Conover D, Yu R. Flat panel detector-based cone beam computed tomography with a circle-plus-two-arcs data acquisition orbit : preliminary phantom study. Med Phys 2003 ; 30 : 1694 - 705
22. Mahesh M. Next-generation x-ray CT units will provide <500 msec images with 3D resolution comparable to today's projection radiography. Med Phys 2003 ; 30 : 1543 - 4