

# MDCT를 이용한 관동맥우회로술후의 개통성 평가

## Assessment of Coronary Artery Bypass Graft Patency Using Multidetector Computed Tomography

서 준 범 | 울산의대 영상의학과 | Joon Beom Seo, MD

Department of Radiology, University of Ulsan College of Medicine

E-mail : seojb@amc.seoul.kr

J Korean Med Assoc 2007; 50(2): 127 - 133

### Abstract

Coronary artery bypass graft surgery (CABG) is the standard of care in the treatment of advanced coronary artery disease. Invasive coronary angiography has been used to assess the status of graft. Recently, multidetector computed tomography (MDCT) has emerged as an important diagnostic tool for the evaluation of graft patency. Many studies have shown that MDCT has a high sensitivity and specificity in detecting graft occlusion or high-grade stenosis. However, there are several diagnostic pitfalls in evaluating CABG graft patency due to several factors, including technical factors, patient factors, and flow competition. Acknowledgment of these pitfalls and remedies to avoid wrong interpretation is essential to improve diagnostic accuracy. In addition, MDCT yields additional information such as plural effusion, pericardial effusion, sternal infection, pneumonia, pulmonary embolism, and so on. The continuing advance in the MDCT technology suggests that MDCT will be a rapid, convenient, and noninvasive tool in evaluating CABG patients in the near future.

**Keywords :** Computed tomography; Coronary artery disease; Coronary artery bypass graft

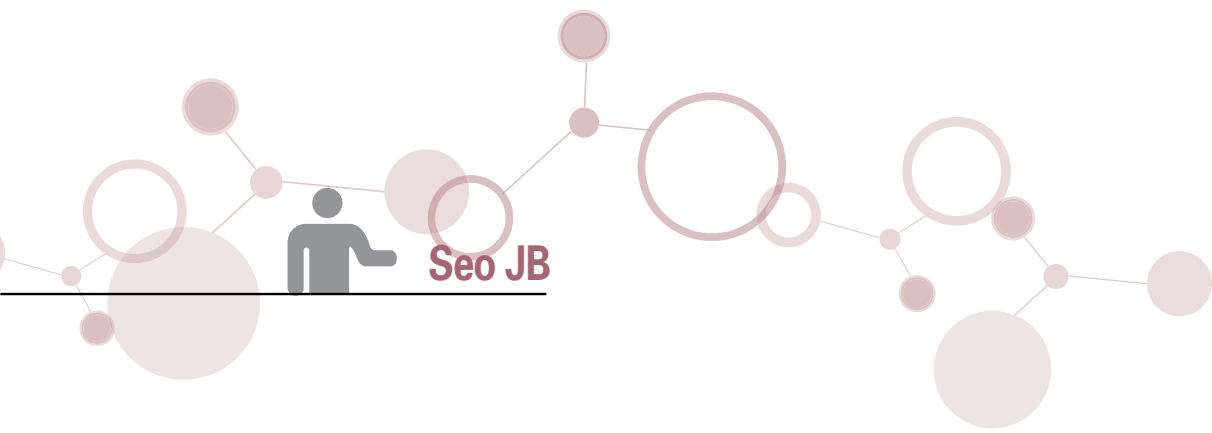
**핵심용어 :** 전산화단층촬영; 관동맥질환; 관동맥우회로술

### 서론

관동맥우회로술(Coronary artery bypass graft)은 진행된 관동맥 질환을 치료하는 표준적인 검사법이다. 수술 후 우회도관의 협착 및 폐쇄는 수술 후 환자에게 반복적인 흉통을 야기할 수 있으며 수술 후 후기 생존율 또한 우회도관의 개통성에 달려있다는 것은 잘 알려진 사실이다(1). 따라서 관동맥우회로술후 환자의 경과를 추적하는 데 있어서 우회도관의 개통성을 파악하는 것은 매우 중요하다고 하겠다. 최근까지 고식적인 관상동맥 조영술이 수술 후

우회도관의 협착 정도를 파악하는 데 있어서 가장 정확한 검사로 알려져 왔다. 그러나 이 검사는 침습적인 검사이며 동시에 병원비용을 늘릴 수 있는 단점이 있고 또한, 급성심근경색이나 뇌졸중, 심부정맥 등의 합병증을 유발할 수 있다(2).

이러한 단점을 극복하고자 도플러 심초음파, 자기공명영상, 전자선 CT, 나선식 CT 등 다양한 비침습적인 검사들을 이용하여 우회도관의 개통성을 직접 보거나, 혹은 혈류를 평가하려는 시도들이 있어 왔으나 모두 충분한 진단의 정확도를 보여주지 못하여 임상적으로 이용이 제한되었다(3~8).



**Figure 1.** Patent internal mammary artery graft anastomosed to left anterior descending artery. Coronal image and volume rendered image (A and B) show the patent, contrast-filled internal mammary artery (arrows), which is well correlated with conventional angiogram (C)

그러나 최근에 도입된 소위 다절편 CT(multidetector computed tomography, MDCT)는 심전도 동조기술, 동시에 여러 절편의 영상을 얻는 기술, 그리고 갠츠리 회전속도의 증가에 따른 시간해상도 개선 등의 다양한 기술적인 발전에 힘입어 여러 심장 질환의 평가에 새로운 지평을 열고 있다.

관동맥우회로술후 우회도관의 개통성 평가는 중요한 임상적응증의 하나로 특히 최근 임상적인 이용이 증가하고 있다. 필자가 근무하는 병원의 경우 MDCT의 부적응증에 해당하는 환자를 제외하고 모든 환자가 관동맥우회로술후 5~7일에 우회도관의 개통성을 평가하고 추적검사 중에는 6개월에서 1년마다 혹은 흉통 등 증상이 발현하는 경우에 일차적으로 MDCT를 이용하여 우회도관의 개통성을 평가하고 있다.

이에 본 특집에서 필자는 MDCT를 이용한 관동맥우회로술 후 평가의 성적을 소개하고 그 전망을 소개하고자 한다.

## MDCT 영상의 획득 및 후처리

관동맥우회로술후의 MDCT 검사법은 일반적인 관동맥 평가의 촬영조건과 거의 동일하다. 중요한 차이점은 검사 영역의 선택과 촬영시작 시간의 조절을 들 수 있다. 검사 영역은 가능하면 우회도관의 전장을 보여주는 것이 좋으나 가능한 호흡정지 시간을 고려하여야 한다. 4열 MDCT는 16열

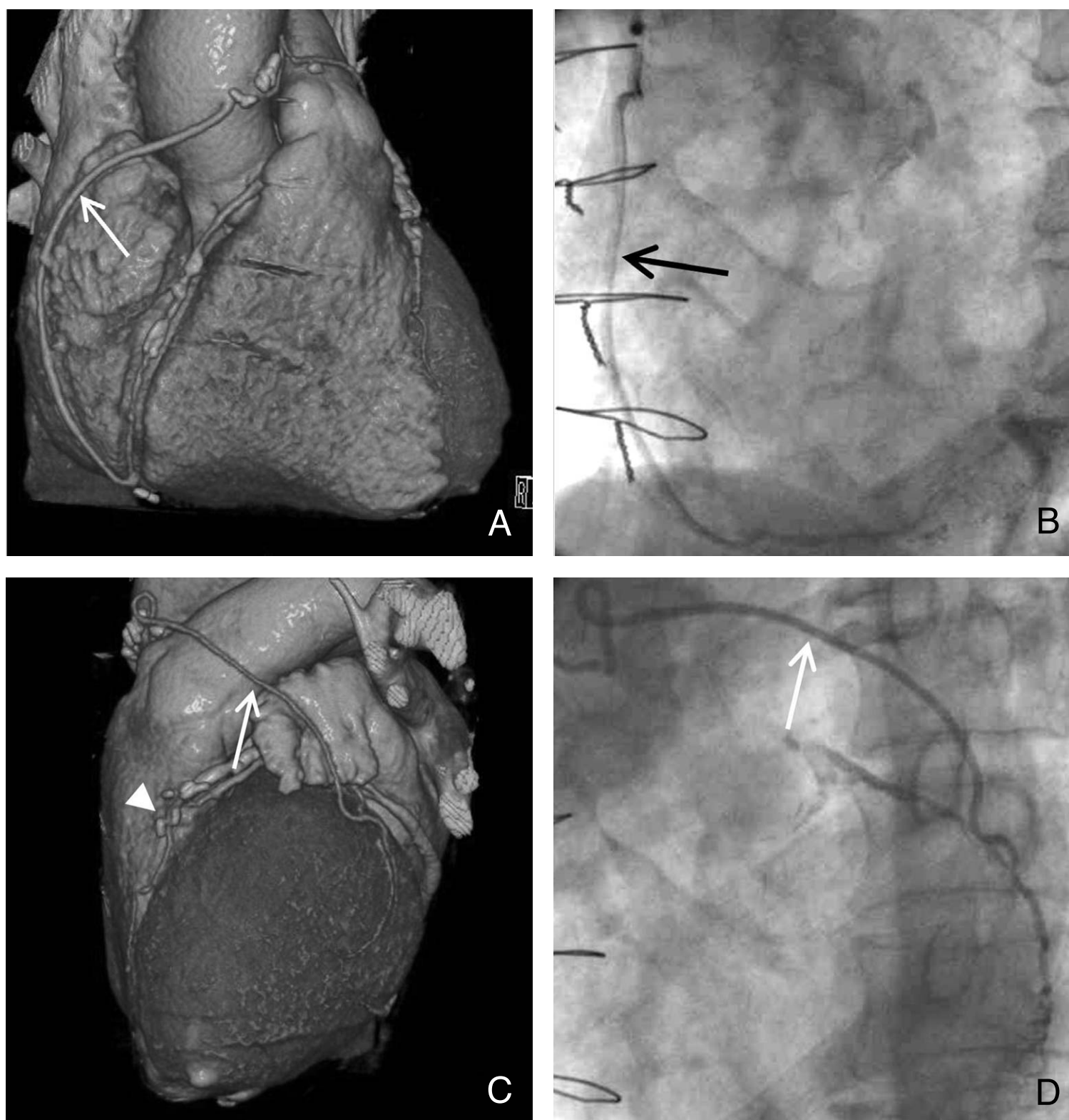
MDCT의 경우에, 특히 내유선동맥을 이용하는 경우에 쇄골하동맥에서 문합부위까지를 포함하게 되면 호흡정지시간이 30초 이상으로 증가하여 환자들이 호흡정지를 유지하기 거의 어렵다.

따라서 이 경우에는 쇄골하동맥에서 기시하는 부위는 포기하는 것이 유리하다. 상행대동맥에서 기시하는 자유도관(free graft)의 경우에는 기시부를 꼭 포함하도록 하여야 한다. 따라서 대개 대동맥궁의 아래 부위에서 심장 전체를 포함하는 것이 좋다. 만일 복부에서 기시하는 동맥(예: gastropiploic artery)을 이용하는 경우에는 아래쪽으로 검사 영역을 늘려야 한다. 그러므로 CT 검사 전에 환자가 어떤 우회도관을 이용하여 수술을 받았는지 수술기록을 확인하는 것이 필요하다.

최근 도입된 64열 MDCT의 경우에는 촬영시간이 획기적으로 감소하여 흉부 전체를 촬영하는 데도 20~30초 이내에 가능하므로 검사 영역의 선택이 좀 더 자유롭다. 그러나 검사 영역을 확대하면 그만큼 방사선조사량이 증가한다는 것과 데이터의 저장, 처리에 시간과 장비가 더 필요하다는 점을 고려하여야 한다. 촬영시작 시간의 경우 관동맥을 평가하는 경우보다 2~3초 정도 늦게 시작하는 것이 좋은데, 이는 우회도관을 통하여 조영제가 충분히 혈관 내에 찰 수 있도록 고려한 것이다.

MDCT의 촬영 후 영상의 후처리는 검사기관에 따라 다양하여 전통적인 축상영상(transaxial image), 최대강도투사





**Figure 2.** Variable coronary artery bypass grafts. Patent saphenous vein graft from ascending aorta, anastomosed to distal right coronary artery (arrow) is shown in both volume rendered MDCT (A) and conventional angiogram (B). Patent radial artery graft to an obtuse marginal branch is also visualized on both images (C and D). The left internal mammary artery graft to left anterior descending artery is not visualized on MDCT images (A and C). Instead, multiple surgical clips around left anterior descending artery are shown as nodular lesions (arrowhead in C). Catheter angiogram confirmed the graft failure (not shown)



**Figure 3.** Patent right gastroepiploic artery graft anastomosed to posterior descending artery. Both volume rendered MDCT image (A) and conventional angiogram (B) show patent graft

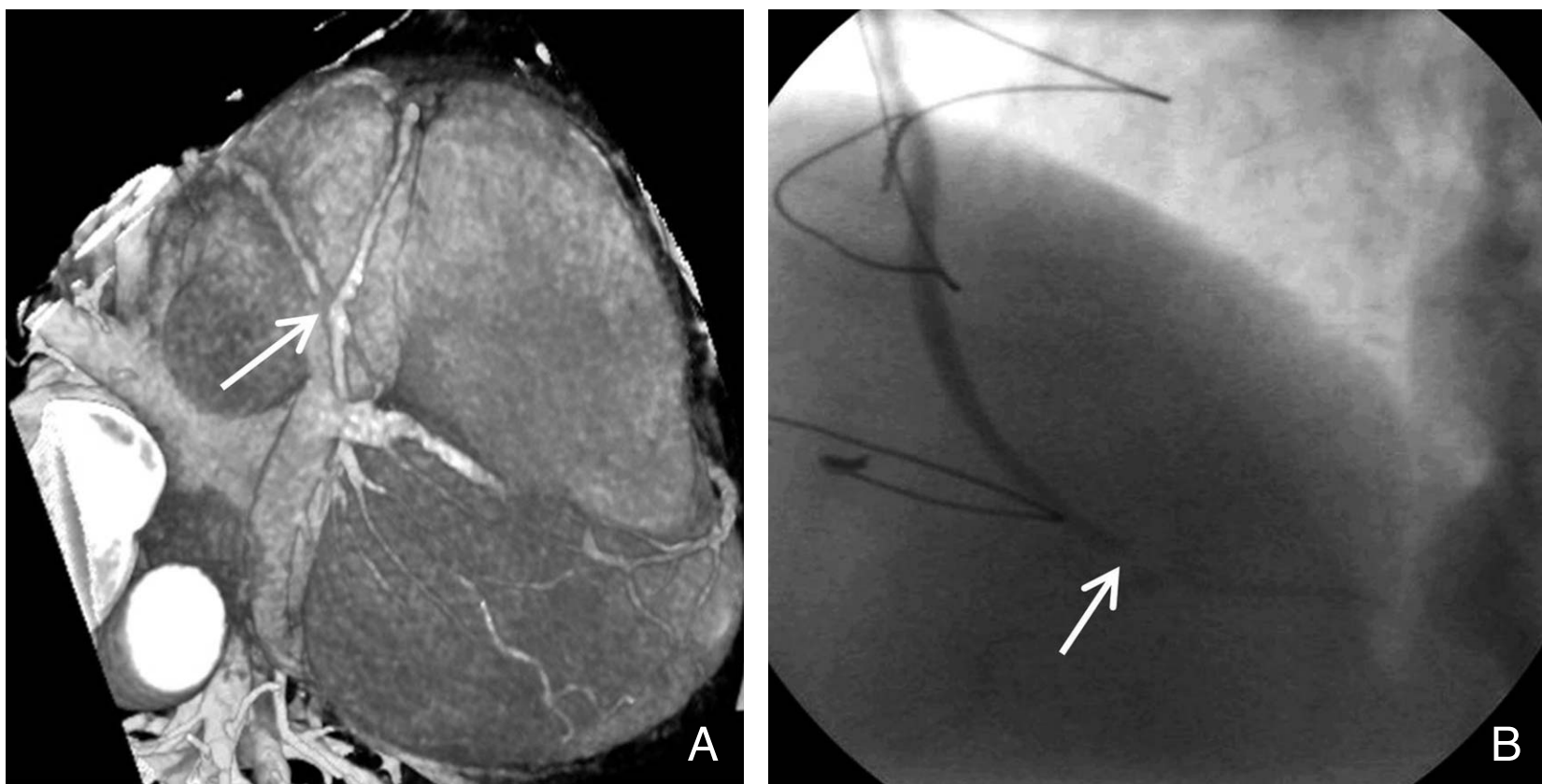
영상(maximum intensity projection image), 혈관의 진행방향에 따른 사면 영상(oblique planar image), 삼차원 용적재구성영상(volume rendered image) 등을 이용하게 되는데, 관동맥 평가와는 달리 우회도관을 중심으로 평가하여야 한다.

### MDCT 영상의 해석 및 진단의 함정

MDCT를 이용한 우회도관의 평가는 위에서 언급된 다양한 후처리 영상을 함께 평가함으로써 이루어진다. 특히 삼차원용적재구성영상은 심장과 함께 우회도관 및 관동맥을 모두 삼차원 영상으로 보여주므로 매우 유용하다. 각 도관의 종류에 따른 MDCT 영상과 이에 대응하는 고식적 관동맥 조영술 영상은 Figure 1~3에서 보여진다.

우회도관의 폐쇄는 삼차원용적재구성영상을 이용하면 예상되는 우회도관의 주행경로에 도관이 보이지 않으므로 쉽게 진단된다(Figure 2). 그러나 우회도관의 협착은 축상영상 등 다양한 다른 영상들을 잘 살펴보아야 진단할 수 있다(Figure 4). 우회도관의 폐쇄와 협착은 다양한 원인에 의하여 생긴다. 수술 후 1개월 이내 우회도관의 실패는 주로 혈전증(thrombosis)에 의한 경우가 많다. 특히 복재정맥(saphenous vein)을 이용한 정맥도관의 경우 발생할 수 있다. 이 경우에는 우회도관에 조영제에 의한 증강이 되지 않는 연부조직음영이 있으므로 진단된





**Figure 4.** A saphenous graft stenosis. Volume rendered MDCT images (A) shows focal narrowing of distal portion of saphenous vein graft (arrow), which is confirmed at conventional angiogram (arrow in B)



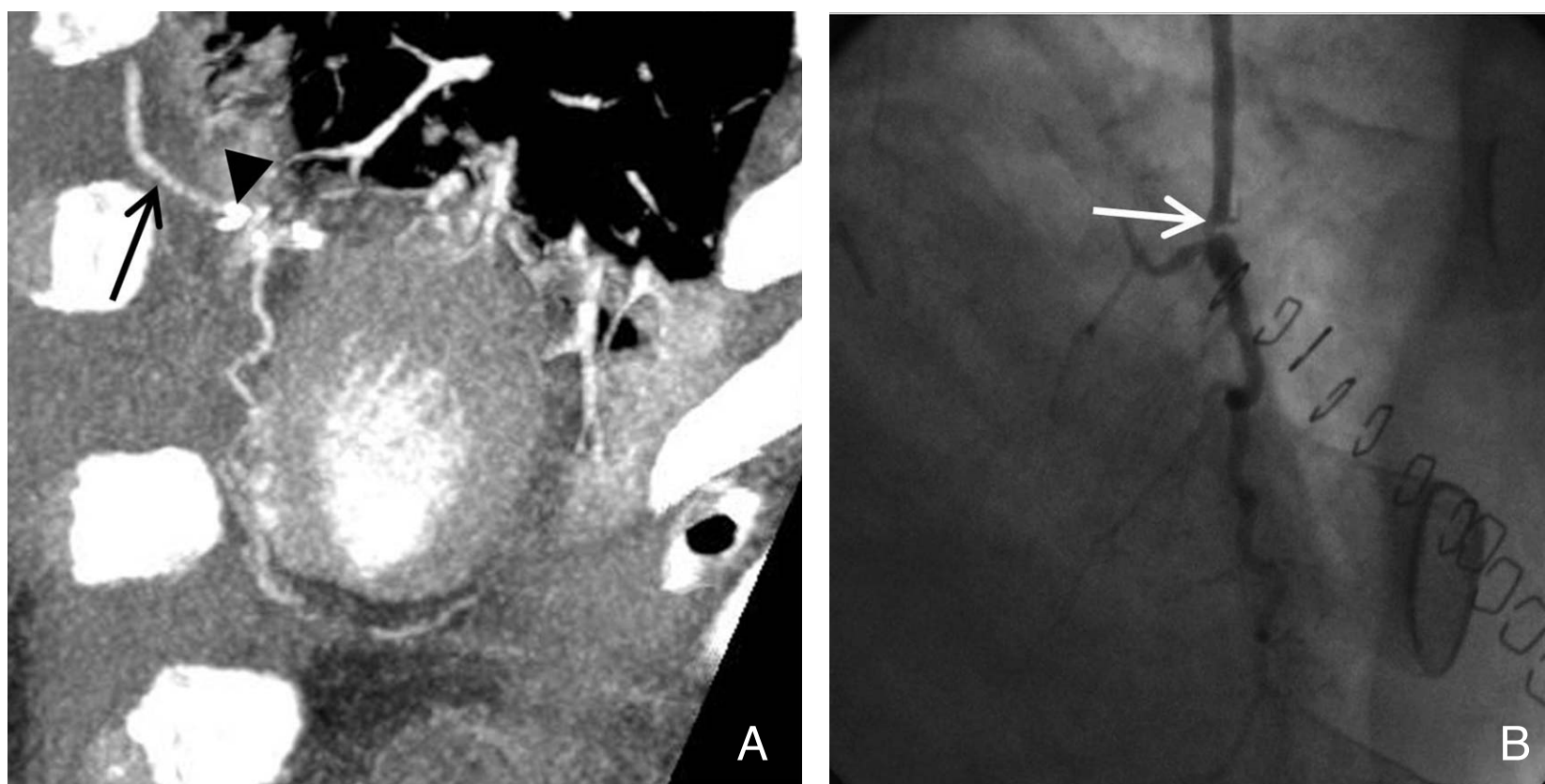
**Figure 5.** Saphenous vein graft occlusion in immediate postoperative period due to acute thrombosis. MDCT image shows saphenous vein graft filled with thrombus with soft tissue density (arrows)

다(Figure 5). 자연기의 우회도관의 실패는 다양한 원인에 의해서 발생하게 된다. 즉 우회도관의 동맥경화성 변화의 진행, 문합된 목표혈관 원위부의 협착 및 폐쇄, 혈류경쟁(flow competition)에 의한 혈전증의 발생 등 다양한 원인이 있을 수 있다.

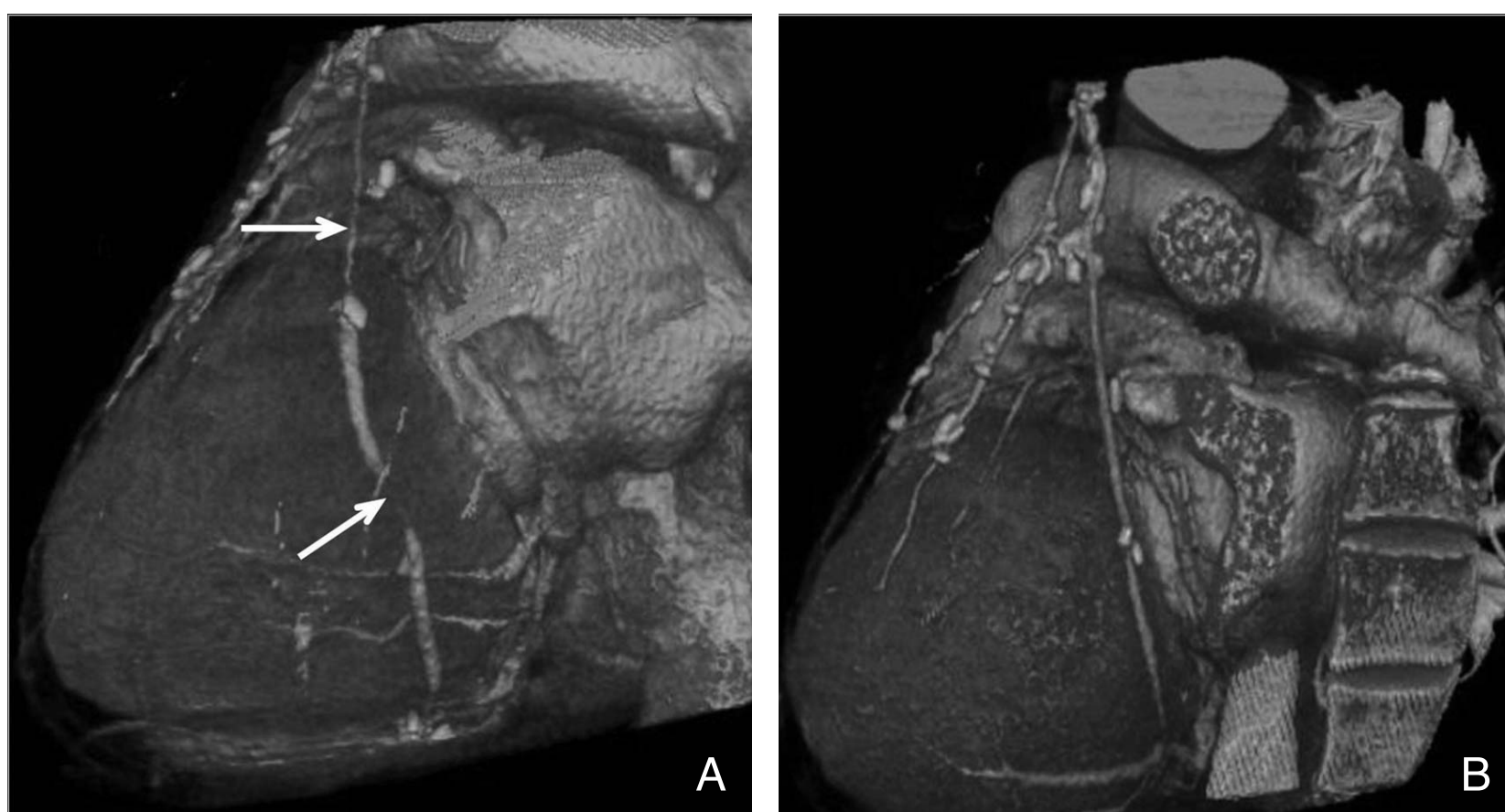
MDCT를 이용한 우회도관의 평가는 기술적인 요소, 환자의 상태, 수술법, 혈관연축, 혈류경쟁 등에 의하여 다양한 진단상의 함정들이 있다. 기술적인 요소로 가장 중요한 것은 재구성에 적절한 심장주기의 선택인데, 대개의 경우 심박수가 분당 70회 이하인 경우 이완기 중기가 가장 적절한 시기로 알려져 있다(9). 부적절한 심장주기를 선택하여 재구성하게 되면

영상의 질 저하로 진단능에 영향을 미친다. 환자의 상태에서 가장 중요한 것은 심박수이다. 심박수의 증가는 심장의 운동을 증가시켜서 영상의를 질을 저하시키고 진단능을 낮춘다(10). 특히 우관상동맥 및 좌회선동맥에서 이러한 영향이 심하다. 이 외에도 부정맥 및 환자의 호흡에 의한 인공음영이 발생하는 경우 그 해석에 주의가 필요하다. 대개 관상면 영상이나 삼차원용적재구성 영상에서 같은 레벨의 다른 심장 부위에서 인공음영이 있는 것으로 확인이 가능하다. 또한 환자가 너무 과체중인 경우 영상의 질이 저하된다. 수술법과 관련된 인자의 경우 주로 금속성 물질에 의한 인공음영이 문제가 되는데 가장 심각한 것은 문합부위에 사용된 클립이다. 이 클립들에 의해 발생한 인공음영에 의하여 문합부에 국소적인 협착의 경우 평가가 어려워진다(Figure 6). 따라서 앞으로 일상적으로 MDCT가 관상동맥 우회도관의 개통성을 평가하는 방법으로 자리잡는 경우는 비금속성 물질을 사용하는 등의 고려가 필요하다. 수술 직후, 특히 요골동맥(radial artery)을 이용한 경우 혈관연축(vasospasm)에 의해 협착으로 잘못 진단하는 수가 있는데 이는 이후 추적검사에서 정상화 되는 것으로 확인된다(Figure 7). 마지막으로 중요한 고려사항은 혈류경쟁에 의한 것이다. 고식적인 관상동맥 조영술과는 달리 MDCT를 이용한 검사는 동적인 정보를 얻을 수 없으며 따라서 조영제가 혈관 내에 차있는 순간에 영상을 얻는 방법이다. 그러나 혈류경쟁에 의한





**Figure 6.** False negative interpretation due to surgical clip at anastomosis site. Oblique MDCT image (A) shows good opacification of left internal mammary artery graft (arrow) anastomosed to left anterior descending artery. Metallic surgical clips (arrowhead) hamper the detailed evaluation of anastomosis site. Catheter angiogram (B) shows focal stenosis, resulting in false negative interpretation of MDCT



**Figure 7.** Vasospasm of graft mimicking significant stenosis. Volume rendered MDCT image (A) obtained 5 days after CABG shows multifocal areas of luminal narrowing at radial artery graft (arrows). MDCT image (B) obtained 6 months later shows patent graft, confirming the vasospasm at early postoperative period

여 우회도관에 조영제가 늦게 차게 되는 경우에는 우회도관이 폐쇄된 것으로 잘못 진단하게 된다. 우회도관을 선택하여 인위적인 압력으로 조영제를 주입하는 고식적인 관상동맥조영술과는 달리 MDCT를 이용하는 경우 정맥으로 주입된 조영제가 환자 자신의 심구축능을 바탕으로 우회도관에 차게 된다. 그러므로 MDCT는 우회도관이 개통되어 있더라도 여러 원인에 의해서 혈류량이 적은 경우 이를 폐쇄로 진

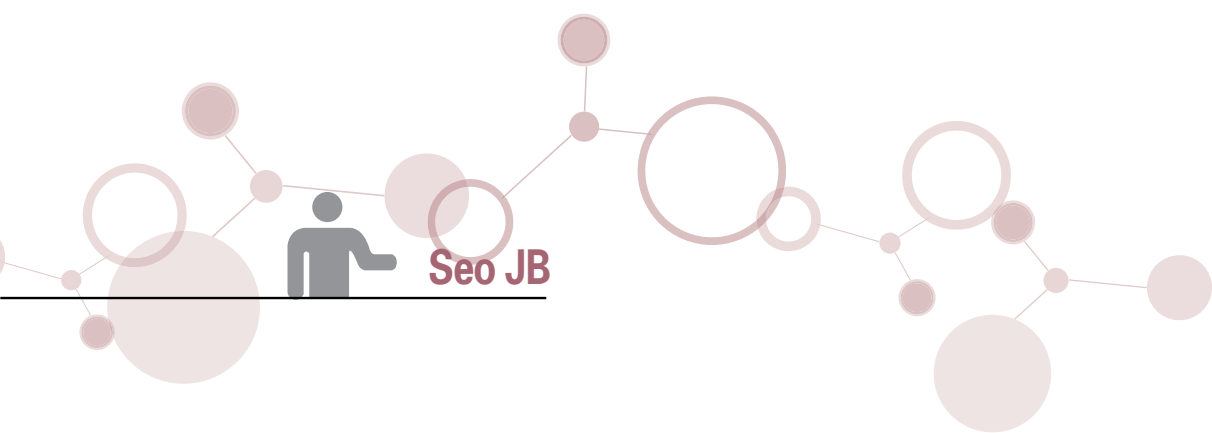
단하게 되는 것이다. 따라서 이러한 의미에서 MDCT를 이용한 우회도관의 평가는 보다 더 생리적, 기능적이라고 할 수 있다. 혈류경쟁이 발생한 우회도관의 많은 경우 장기적으로 우회도관폐쇄가 발생한다는 점도 이를 뒷받침한다.

### MDCT를 이용한 관동맥우회도관 개통성 평가 성적

MDCT를 이용한 관동맥우회도관 개통성의 평가성적은 2001년 이후 여러 연구에서 우수한 성적을 보고하고 있다 (Table 1)(10~15). 관동맥우회도관의 개통성 평가는 관동맥 평가 성적과는 다르게 4월 MDCT를 이용한 경우에도 우수한 성적을 보고하고 있는데, 이는 우회도관의 경우 관동맥과는 달리 심장에 바로 붙어 있지 않으므로 심장박동의 영향을 비교적 적게 받기 때문이다. 그러나 Table 1에서 확인할 수 있듯이 4월 MDCT를 이용하는 경우 상당수의 우회도관의

평가가 어려우나 16월 이상의 MDCT를 이용하는 경우 모든 우회도관을 평가할 수 있게 된다. 또한 민감도 역시 개선됨을 알 수 있다. 이는 우회도관의 폐쇄는 우회도관이 보이지 않게 되므로 4월 MDCT에서부터 평가가 가능하나 주로 문합부위 협착의 경우 4월 MDCT에서는 민감도가 60~70% 내외로 부족한 데 반하여(11~13) 최신기기를 이용함으로써 개선되기 때문이다(10, 14, 15). 우회도관의 개통성 및 의미



**Table 1.** Results of Studies of the Use of MDCT to Evaluate Occlusion and High-grade Stenosis of Grafts

Authors	MDCT	No. of Patients	No. of Grafts	Evaluation possible (%)	Sensitivity (%)	Specificity (%)
Ropers, et al. (11)	4-MDCT	65	182	74 (135/182)	92 (68/74)	95 (103/108)
Nieman, et al. (12)	4-MDCT	24	86	87 (75/86)	92 (24/26)	88 (43/49)
Marano, et al. (13)	4-MDCT	57	122	75 (92/122)	89 (34/38)	95 (80/84)
Kim HJ, et al. (10)	16-MDCT	48	160	100 (160/160)	84 (26/31)	95 (123/129)
Schlosser, et al. (14)	16-MDCT	48	131	100 (131/131)	96 (21/22)	95 (104/109)
Ropers (15)	64-MDCT	50	138	100 (138/138)	100 (54/54)	94 (79/84)

Hight-grade stenosis is defined as 50~99% stenosis

있는 협착을 진단하는 정확도는 심박수, 우회도관의 종류, 수술법, 목표혈관의 종류 등 다양한 변수 중 심박수, 목표혈관이 종류가 가장 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 즉 심박수가 높을수록 좌회선동맥과 같은 내경이 작은 혈관에 문합한 경우에 오진할 위험도가 의미있게 증가한다. 그러나 임상적으로 이용할 때는 대부분의 센터에서 심박수가 높더라도 베타차단제는 사용하지 않는데 그 이유는 이러한 통계적인 차이에도 불구하고 베타차단제의 사용 없이도 충분한 민감도와 특이도를 얻기 때문이다.

### 관동맥우회로술후 평가에서 MDCT의 추가적인 유용성

수술 직후에 MDCT를 촬영하면 우회도관의 개통성 평가 이외에도 다양한 추가적인 정보를 얻을 수 있다. 이는 흉막삼출, 심낭삼출, 흉골 감염, 종격동 감염, 폐렴, 폐색전증 등이 해당한다. 필자는 특히 수술 직후에 MDCT를 시행하는 경우 반드시 흉골을 포함시켜 영상을 재구성하며 또한 다른 합병증도 같이 평가하여 주고 있다.

관동맥우회로술후 환자의 평가에 있어서 우회도관 개통성의 평가 못지 않게 중요한 것은 추가적으로 관동맥의 동맥경화성 협착 및 폐쇄가 진행하는지를 파악하는 것이다. 그러나 이 부분에 대한 연구는 부족한 실정이다(15). 관동맥우회로술을 시행받은 환자의 경우 심한 관상동맥의 석회화 등으로 인하여 관동맥 협착의 진단능은 일반 환자를 대상으로 하는 경우보다는 약간 낮은 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 도입되는 64열 MDCT나 소위 ‘Dual Source CT’ 등

을 이용하는 경우 이러한 제한점 또한 곧 극복될 것으로 기대된다. 또한 MDCT는 수술 후 우회도관의 폐쇄나 관동맥 재협착 등으로 재수술을 받게 되는 환자에서도 수술 계획의 수립에 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다(16).

따라서 관동맥우회로술후 초기에 MDCT를 이용하여 초기 합병증 유무와 우회도관의 상태를 확인하여 이후에 MDCT를 이용하여 증상이 재발하거나 혹은 주기적으로 평가함으로써 환자의 변화를 파악하는 것이 유용할 것으로 생각된다(17). MDCT를 이용하는 경우 또 다른 장점은 환자와의 소통에 아주 유용하다는 점이다. 필자가 근무하는 병원에서는 임상의가 수술 후 삼차원 컬러 영상을 이용하여 혈관의 상태를 환자에게 보여줌으로써 의료진의 신뢰를 구축하고 의사-환자관계를 보다 개선하는 데 기여하고 있다.

### 관동맥우회로술후 평가에서 MDCT의 미래와 결론

위에서 기술된 바와 같이 MDCT를 이용하면 관동맥우회로술후 우회도관의 개통성 및 여러 합병증을 비침습적으로 평가할 수 있다. 따라서 관동맥우회로술후 환자의 주기적인 평가나 혹은 흉통 등이 재발한 경우의 평가를 위하여 MDCT가 일차적인 평가법으로 자리잡을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

1. Bourassa MG, Fisher LD, Campeau L, Gillespie MJ, McConney M, Lesperance J. Long-term fate of bypass grafts: the coronary artery surgery study (CASS) and Montreal Heart

- Institute experiences. *Circulation* 1985;72:V71-78.
2. Aruny JE. Complications of coronary arteriography. In: Baum S, ed. *Abrams' angiography: vascular and interventional radiology*, 4th ed. Boston: Little, Brown and Company, 1997:572-582.
  3. de Bono DP, Samani NJ, Spyt TJ, Hartshorne T, Thrush AJ, Evans DH. Transcutaneous ultrasound measurement of blood-flow in internal mammary artery to coronary artery grafts. *Lancet* 1992;339:379-381.
  4. Gomes AS, Lois JF, Drinkwater DC Jr, Corday SR. Coronary artery bypass grafts: visualization with MR imaging. *Radiology* 1987;162:175-179.
  5. Langerak SE, Vliegen HW, de Roos A, Zwinderman AH, Jukema JW, Kunz P, Lamb HJ, van Der Wall EE. Detection of vein graft disease using high-resolution magnetic resonance angiography. *Circulation* 2002;105:328-333.
  6. Ha JW, Cho SY, Shim WH, Chung N, Jang Y, Lee HM, Choe KO, Chung WJ, Choi SH, Yoo KJ, Kang MS. Noninvasive evaluation of coronary artery bypass graft patency using three-dimensional angiography obtained with contrast-enhanced electron beam CT. *Am J Roentgenol* 1999;172:1055-1059.
  7. Achenbach S, Moshage W, Ropers D, Nossen J, Bachmann K. Noninvasive, three-dimensional visualization of coronary artery bypass grafts by electron beam tomography. *Am J Cardiol* 1997;79:856-861.
  8. Ueyama K, Ohashi H, Tsutsumi Y, Kawai T, Ueda T, Ohnaka M. Evaluation of coronary artery bypass grafts using helical scan computed tomography. *Catheter Cardiovasc Interv* 1999;46:322-326.
  9. Hong C, Becker CR, Huber A, Schoepf UJ, Ohnesorge B, Knez A, Bruning R, Reiser MF. ECG-gated reconstructed multi-detector row CT coronary angiography: effect of varying trigger delay on image quality. *Radiology* 2001;220:712-717.
  10. Kim HJ, Seo JB, Lee YK, Do KH, Heo JN, et al. ECG-gated CT angiography for the assessment of coronary bypass graft patency: the influence of heart rate, type of bypass graft, target vessel and surgical technique on the diagnostic accuracy. *J Korean Radiol Soc* 2006;54:11-17.
  11. Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Baum U, Giesler T, Derlien H, Moshage W, Bautz WA, Daniel WG, Kalender WA, Achenbach S. Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction. *Am J Cardiol* 2001;88:792-795.
  12. Nieman K, Pattynama PMT, Rensing BJ, van Geuns R-JM, de Feyter PJ. Evaluation of patients after coronary artery bypass surgery: CT angiographic assessment of grafts and coronary arteries. *Radiology* 2003;229:749-756.
  13. Marano R, Storto ML, Maddestra N, Bonomo L. Non-invasive assessment of coronary artery bypass graft with retrospectively ECG-gated four-row multi-detector spiral computed tomography. *Eur Radiol* 2004;14:1353-1362.
  14. Schlosser T, Konorza T, Hunold P, Kuhl H, Schmermund A, Barkhausen J. Noninvasive visualization of coronary artery bypass grafts using 16-detector row computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:1224-1229.
  15. Ropers D, Pohle FK, Kuettner A, Pflederer T, Anders K, Daniel WG, Bautz W, Baum U, Achenbach S. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography in patients after bypass surgery using 64-slice spiral computed tomography with 330-ms gantry rotation. *Circulation* 2006;114:2334-2341.
  16. Frazier AA, Qureshi F, Read KM, Gilkeson RC, Poston RS, White CS. Coronary artery bypass grafts: assessment with multidetector CT in the early and late postoperative settings. *RadioGraphics* 2005;25:881-896.
  17. Rossi R, Chiurlia E, Ratti C, Ligabue G, Romagnoli R, Modena MG. Noninvasive assessment of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Ital Heart J* 2004;5:36-41.



### Peer Reviewer Commentary

#### 용 환 석 (고려의대 영상의학과)

본 논문은 최근 발전하고 있는 MDCT를 이용하여 CABG 환자를 평가하는 데 있어 technique, 영상의 해석과 진단의 함정, 유용성 등을 정리한 review article로서 명료하게 잘 정리된 훌륭한 논문이다.