

전자선 단층 촬영을 이용한 관상동맥 우회로 개존의 비침습적 평가

최 규 옥* · 김 호 석* · 조 범 구**

=Abstract=

Noninvasive Evaluation of Coronary Artery Bypass Graft Patency by Electron Beam Tomography

Kyu Ok Choe*, Ho seok Kim*, Bum Koo Cho**

Recently non-invasive diagnostic imaging replaced the invasive catheter angiography in the diagnosis of vascular disease. Catheter methods are now almost confined to the purpose of intervention. Coronary artery or coronary artery bypass graft still needs catheter technique because of small diameter and the cardiac motion. The last challenge for radiologists in this domain is to obtain a non-invasive imaging. Electron beam tomography(EBT) for high temporal resolution is able to obtain a coronary arteriogram or coronary artery bypass graft (CABG), of which CABG imaging is quite useful for the evaluation of patency.

In our experience as well as others, the accuracy of EBT angiogram in evaluating CABG patency revealed that the accuracy of patency of saphenous vein grafts(SVG) is high due to relatively wide lumen, short and straight course and less influence from cardiac motion. The sensitivity and specificity of patency of SVGs were 92%, 97% respectively in the prospective evaluation and 100% each in the retrospective evaluation. A false positive and a false negative case are rudimentary errors in the initial learning period. In contrast the analysis of left internal mammary artery (LIMA) graft was difficult due to the inherent small size and the adjacent surgical clips provoking beam-hardening artifact; therefore, the method of combining 3 dimensional reconstruction and flow mode study was important in improving the accuracy of LIMA patency. The sensitivity and specificity of LIMA patency were 100% and 80% in both prospective and retrospective evaluation.

Therefore, EBT angiography is an accurate non-invasive diagnostic modality for evaluating the patency of CABG, particularly in SVGs. The accuracy can be improved with the improvement of the EBT and the development of the image reconstruction software.

(Korean J Thorac Cardiovasc Surg 1999;32:693-701)

Key word : 1. Tomography, X-ray Computed
2. Coronary artery bypass graft

*연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실

Department of Diagnostic Radiology, Yonsei University, College of Medicine

**심장혈관센터 심혈관 외과학교실

Cardiovascular Surgery in Yonsei Cardiovascular Center, Yonsei University, College of Medicine, Seoul, Korea

† 이 논문은 보건의료기술 연구개발 사업 HMP-97-M-1-0011의 연구보조로 이루어졌음.

논문접수일 : 99년 1월 15일 심사통과일 : 99년 4월 9일

책임저자 : 최규옥, (120-752) 서울특별시 서대문구 신촌동 134, 연세대학교 의과대학 진단 방사선과. (Tel) 02-361-5837, (Fax) 02-393-3035
본 논문의 저작권 및 전자매체의 지적소유권은 대한흉부외과학회에 있다.

서 론

관상동맥 우회로 이식술은 폐쇄성 관상동맥 질환에서 효과적으로 재관류를 시행해 주는 중요한 치료 방법 중 하나이다. 관상동맥 우회로 이식술은 비교적 합병증이 적은 수술이지만, 시간이 지남에 따라 우회로의 협착 혹은 폐쇄의 빈도가 증가한다. 보고에 의하면 10%의 우회 혈관이 1년 내에 막히게 되고, 10년 내에 45%가 막히게 되므로^{1, 2)}, 추적 검사상 관상동맥 우회로 혈관의 개존성은 환자의 예후에 중요한 역할을 하며, 우회 혈관의 개존성 평가가 임상적으로 매우 중요하다. 기존의 도자술 관상동맥 조영술이 우회 혈관의 협착이나 폐쇄의 진단에 널리 사용되어 왔으나, 그 정확도에도 불구하고 침습적인 방법으로 입원을 요하고, 부작용이 있을 수 있고, 대동맥 문합 부위에 표식자가 없으면 각 우회로의 선택적 혈관 조영술에 어려움이 있을 수 있다³⁾. 따라서 비침습적 검사 방법들이 시도되고 있다. 방사선 동위원소 심실 조영술과 탈륨 201을 이용한 심근 관류법은 심근 허혈을 평가할 수는 있으나, 우회 혈관을 직접 볼 수 있는 검사법이 아닌 간접적 방법으로, 개존성 자체에 대해서는 비교적 정확도가 낮다^{4~6)}. 일부에서 PET⁷⁾나 심초음파, 도플러 초음파^{8~10)} 등을 이용한 방법들이 사용되었으나 마찬가지로 간접적인 방법으로 만족할 만한 결과를 얻지 못하였다.

최근 영상 기기의 발달, 특히 Digital 감산 혈관 조영술, CT 혈관 조영술, MR 혈관 조영술, Doppler 초음파, power Doppler 초음파의 발달에 힘입어 거의 대부분의 혈관 질환의 진단 영상은 비침습적인 기기로 대체 되었으며^{11~13)}, 말초 혈관 질환의 경우 도자술은 거의 중재적 치료 기술 분야에 국한된 실정이다. 그러나 관상동맥은 폐쇄에 따른 혈류 결손의 결과가 임상 의학에서 중차대한데도 불구하고, 작은 직경, 심 박동과 호흡에 따른 움직임, 구불구불한 경로 등의 특징으로 비침습적 혈관 조영 영역에서 가장 마지막 남은 영역이었다.

그러나 자기 공명 영상(Magnetic Resonance Imaging, MRI)^{14~16)}이나 전자선 단층 촬영(Electron Beam Tomography, EBT)^{17~19)}을 이용한 관상 동맥과 우회로술 영상이 고식적 도자술 혈관 조영상에 도전하고 있다. MRI를 이용한 관상 동맥 영상은 다양한 각도의 사면(multi-angle oblique plane)을 얻을 수 있는 장점을 이용, 관상 동맥이나 우회로의 영상을 얻을 수 있으며, velocity encoding cine MR을 이용하여 관상 혈관의 혈류속을 측정할 수 있는 점에서²⁰⁾ Doppler 초음파와 기능이 비슷하나⁹⁾, 심초음파가 acoustic window의 제한에 의하여 관찰 할 수 있는 영역이 좁은 데 비하여, MRI는 그 적용 범위가 훨씬 넓은 점(wide field of view)에서 유리하다. 최근에는 혈관 내강 조영 증강제(intravascular contrast agent)가 개발되

어 같이 사용하기도 하며²¹⁾, 검사 시간이 차츰 단축되고 있고¹⁶⁾, 앞으로 발전 가능성이 기대되나, 아직 이에 필요한 pulse sequence가 연구 용에 거의 국한되고, 상대적으로 영상 획득 시간이 길고, 심장과 혈관의 움직임, 혈류 인공 산물 등 제한 점이 많다.

EBT는 시간 해상능(100 msec)이 독특한 특징이며, 높은 공간 해상도와 EKG gating을 이용, 세밀한 심장 영상을 얻을 수 있어서, 비침습적으로 관상 동맥 영상^{17~19)}과 관상동맥 우회로 이식술 후의 개존성 평가^{22~24)}, 선천성 심질환의 진단²⁵⁾이 가능하다. MRI에 비하여 EBT는 공간 해상능이 더 좋고, 비교적 쉽게 관상동맥과 우회로의 영상을 얻을 수 있는 점이 장점이다. 3차원 영상 재구성에 의한 EBT관상동맥 조영상이 작은 직경, 심박동에 따른 움직임 등으로 작은 분지나 혹은 말초 가지까지 평가할 수 없어서 아직 임상 적용하기에는 부족하다고 생각된다^{17~19)}. 이 방법은 비전형적 흉통, 운동 부하 심전도 검사로 비특이적 양상을 보이는 경우, 관상동맥 협착이 없음을 증명키 위한 경우, 혹은 풍선 성형술 등의 시술 후 추적 검사에 적용할 수 있다. EBT 관상동맥 우회로 개존 검사는 조영 증강 영상을 얻은 후 3차원 재구성 관상동맥 영상을 얻는 방법²⁴⁾과 flow mode 검사를 이용한 시간-농도 곡선을 얻어 관상 혈관의 혈류 유무를 판단하는 방법^{22, 23)}이 있으며, 두 방법을 병행하여 관상동맥 우회로 개존성 평가의 정확도를 높일 수 있다. 저자의 경험에 의하면, 우회로 개존 검사는 약간의 제한점에도 불구하고 지금 즉시 임상 적용할 수 있을 정도로 정확도가 높다. 또한 EBT는 관상 동맥 석회 침착의 측정으로 관동맥내 동맥경화반의 총량을 알 수 있고, 이에 따라 동맥 경화증 고위험군에서 향후 관상 동맥 질환의 발생 확률을 예측할 수 있다^{26~28)}. MRI와 EBT를 이용한 비침습적 심장 검사는 같은 진단 기기로 한번에 관상동맥 조영상, 심근 관류량 측정과 국소적 및 전반적 심실 기능도 알 수 있으며, 운동 혹은 약물 부하 전후의 변화를 비교할 수 있어서^{20, 29, 30)}, 허혈성 심질환의 평가에 필요한 해부학적, 기능적 정보를 한번에 제공하는 통합적 심검사로 이용될 수 있는 잠재 능력을 갖고 있는 점에서 매우 획기적이다.

1. EBT를 이용한 관상동맥 우회로 촬영 방법

EBT(Imatron C-150, Imatron Co., South San Francisco, CA)는 1980년초 Douglas Boyd 등에 의하여 개발되었으며, 초고속 스캔 시간으로 시간 해상능이 뛰어나고, EKG gating 능력과 함께 심장 영상에 적합하도록 고안된 기기로서, X-ray를 이용하기 때문에 공간 해상능도 좋은 단층 촬영 기기이다. EBT 관상동맥 우회로 조영 촬영시 사용한 검사 방법은 3 mm collimation, 2.0 mm table feed, 1 mm 중복시키면서, EKG

gating은 R-R interval의 80%에서 호흡 정지한 상태로 대동맥궁의 아래쪽부터 40개의 단면 영상을 얻었으며, 저자의 초기 경험 시 내유 동맥 이식의 경우 근위부 내유동맥 영상을 별도로 촬영하지는 않았다. 조영제는 350 mg% Optiray를 4 ml/sec로 총 120 ml를 투여하였다. MgSO₄를 정맥 주사한 후 순환시간을 계산하였으며, 조영제 주사 후 영상을 얻기까지의 지연 시간은 개개인의 순환시간으로 하였다. 얻어진 40개의 영상은 VRS APP ver 2.0.1 또는 AIDP up 3.0 프로그램을 이용하여 3차원 영상을 재구성하였다. 재구성시 영치(threshold value) 최하값을 80 Hounsefield Unit(HU)으로 하였다. VRS APP ver 2.0.1을 이용한 대부분의 경우는 관상동맥과 우회 혈관, 심장을 각각 따로 만든 후 관상동맥과 이식혈관을 다른 색으로 표시하여 임상적으로 쉽게 알아 볼 수 있게 하였다. 모든 환자에서 Flow mode를 이용하여 각 15회 심주기 동안 각 이식혈관이 잘 보이는 동일한 부위의 영상을 얻은 후 관심 영역을 그려 시간 축에 대한 CT 농도, 즉 시간-농도 곡선을 구하였다. 시간-농도 곡선은 천천히 증가한 CT 농도가 최고치를 이룬 뒤 보다 천천히 감소하는 양상을 보였다. 대개 상행 대동맥과 우회 혈관에 관심 영역을 그려 비교하였는데, 우회 혈관이 막히지 않은 경우는 상행 대동맥에 최고치가 나타난 후 1초 후 이식 혈관 내의 CT 농도가 최고치를 나타냈으며, 완전 폐쇄의 경우 농도 증가가 없이 평평한 직선을 보이게 된다.

환자 중 심부전이 있는 경우는 조영제를 주입할 수 없기 때문에, 부정맥이 있는 경우는 규칙적인 EKG gating이 되지 않기 때문에, 심부전이 있는 경우는 폐순환 시간 지연으로 조영 증강이 적정 수준 이상으로 되지 않아서, 전자선 단층촬영 검사 대상에서 제외하였으나, 그 외의 특별한 금기증은 없었다.

2. EBT를 이용한 관상동맥 우회로 개존 평가

기존의 전자선 단층촬영을 이용한 우회 혈관의 개존성에 대한 연구는 flow mode검사를 이용한 역동적 연구가 대부분으로써, Bateman 등²²⁾에 의하면 내유동맥 15개를 포함한 80개의 우회 혈관 개존 평가에서 96%의 민감도와 97%의 특이도를 보고하였고, 5곳의 결과를 종합, 연구 분석한 Stanford 등²³⁾에 의하면 11개의 내유동맥을 포함한 127개의 우회 혈관의 개존성은 93%의 민감도와 89%의 특이도를 보고하였다. 그러나 이러한 방법은 한 선택된 절편에서의 시간-농도 곡선을 사용한 것으로, 우회 동맥의 협착이나 연쇄적 이식 혈관의 경우, 원위부까지의 개존성을 평가하기는 제한 점이 있었다. 최근 Achenbach 등²⁴⁾은 전자선 단층촬영 3차원 영상 재구성으로 우회 혈관(1개의 내유동맥을 포함한 54개)의 개존성을 평가한 결과 100%의 민감도와 특이도를 보였다. 그

Table 1. The prospective accuracy of 3D EBT for LIMA and SVG patency

	LIMA	SVG			Total(%)
		LAD	LCx	RCA	
Sn	100	100	100	80	94
Sp	88	100	100	92	95
Acc	90	100	100	88	94
PPV	60	100	100	80	83
NPV	100	100	100	92	98

3D; three-dimensional, EBT; electron beam tomography, LIMA; left internal mammary artery, SVG; saphenous vein graft, LAD; left anterior descending coronary artery, LCx; left circumflex coronary artery, RCA; right coronary artery, Sn; sensitivity, Sp; specificity, Acc; accuracy, PPV; positive predictive value, NPV; negative predictive value.

러나 이 연구는 내유동맥 우회 혈관의 수가 단 1예여서, 이에 대한 결론을 내리기는 이른다.

저자는 24명의 환자에서 72개의 이식혈관(20개 내유동맥, 52개 복재 정맥)을 대상으로 EBT에 의한 우회로술 개존 평가의 정확도를 조사하였다. 모든 내유동맥은 좌전하행 관상동맥과 연결되었고, 복재 정맥은 17개가 좌전하행 관상동맥과 그 분지로, 18개가 좌회선 관상동맥과 그 분지로, 17개가 우관상동맥 그 분지로 연결되어 있었다. 이중 연쇄적 우회로 혈관 이식(sequential graft)의 경우는 없었다. 비교적 많은 수의 내유동맥을 포함하였으며, 내유동맥과 복재정맥 개존성을 각각 별도로, 3차원 재구성 영상 및 역동적 연구의 정확도를 평가하였다. 위음성과 위양성 예의 원인을 분석함으로써, 후향적 정확도를 조사하고, 전자선 단층촬영에 의한 관상동맥 촬영술의 제한점을 이해하고, 향후 정확도를 높이고자 하였다. 3차원 영상 재구성 결과 모관상동맥의 협착 평가가 작은 내경, 동맥벽 석회 침착, R-R interval variation에 따른 관동맥 위치의 변동 등에 예민하게 영향 받는데 비하여¹⁷⁻¹⁹⁾, 복재 정맥의 경우 혈관의 내강이 크고, 모 관상동맥에 비해 심장으로부터 약간 떨어져 있어 심박동의 영향을 적게 받으며, 상행대동맥으로부터 비교적 짧고 직선적인 경로를 취하고, 측지나 말초 분지가 없는 것, 석회 침착이 없는 것 등의 특징에 의하여 정확도가 월등히 높았다. 반면 내유 동맥은 내경이 작고, 쇄골하 동맥으로부터 길고 복잡한 경로를 취하고 있어 조영 증강 시간 지연이 있으며, 주변의 많은 수술 클립들에 의한 인공산물이 군데군데 있어 해석을 어렵게 하기 때문에, 복재 정맥에 비해서는 정확도가 떨어졌다(Table 1). 내유동맥 이식의 경우는 내유동맥 자체의 작은 직경과 주위의 수술 클립에 의한 인공산물로 일부 연속적으로 보이

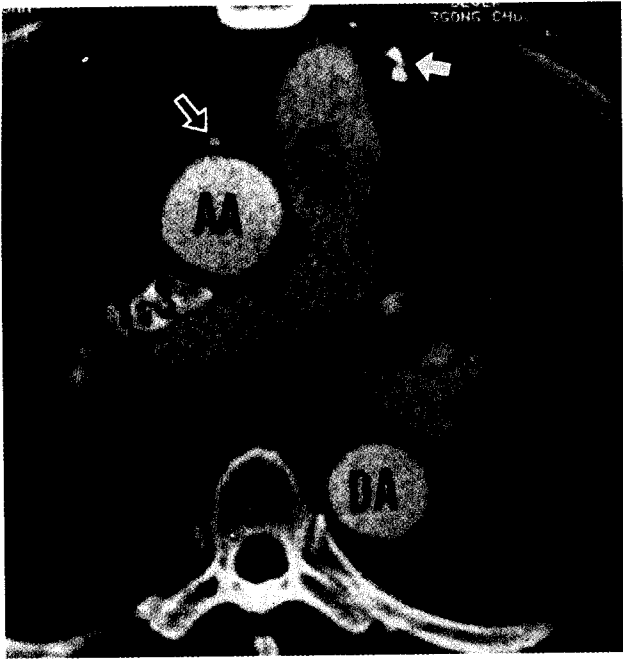
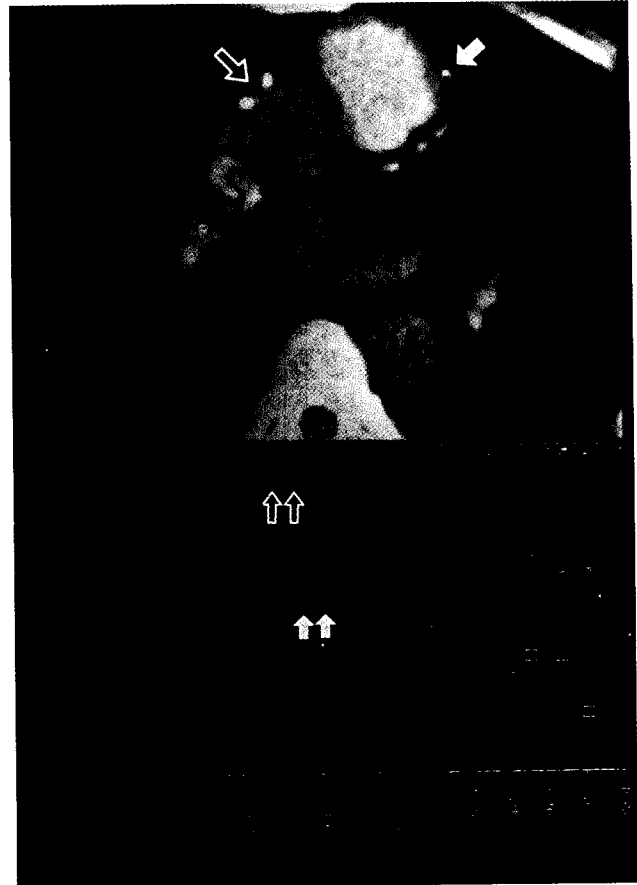


Fig. 1. An example of a patent LIMA graft and 2 saphenous vein grafts(SVGs).

A. Beam-hardening artifact according to surgical clips around LIMA(white arrow) obscures the detail of small LIMA. Therefore, the patency of LIMA cannot be determined in this slice. Patent SVG(open arrow) to LCx is seen.

AA; ascending aorta, DA; descending aorta, MPA; main pulmonary artery, LV; left ventricle, RV; right ventricle, S; superior Vena cava.



C. Time density curve of patent LIMA graft in other patient. The peak of graft (white double arrows) reaches a few seconds later than the peak of the aorta (open double arrows). LIMA (white arrow), SVG (open arrow) to LCx and calcified native LAD (arrowheads) on axial image.



B. Multiple surgical clips are seen around LIMA(white arrows) and SVG(black arrows) to LCx at 3D EBT. Especially numerous clips are placed along the course of LIMA. Native LCx(arrowheads) is seen below the SVG to LCx.

지 않는 부분이 있는 것이 보통이었으며, 따라서 3차원 혈관 촬영상 이식혈관의 개존성을 확인하기가 대체로 어려웠다. 이 경우 일부 연속적이지 않은 부위의 근위부와 원위부를 비교하여 직경의 변화 없이 관찰되면 협착이나 폐쇄가 아닌 것으로 간주하였다. 저자의 경험상 모관상 동맥이나 내유 동맥의 직경이 한국인에서 서구인 보다 작은 것은 모관상 동맥 폐쇄³²⁾나 내유 동맥 우회로 개존 평가 시 EBT의 정확도를 낮추는 주요 원인 중 하나이었다. 내유 동맥의 경우 작은 직경, 수술 클립 등으로 flow mode 결과 판정도 어려운 경우가 많았고, flow mode 검사 단독으로 개존성 판정의 예민도 72.2%, 특이도 100%, 정확도 75%이었으며, 이 정확도는 기존의 서구인에 대한 내유동맥 개존성의 flow mode 결과 예민도 87.5%, 특이도 100%, 정확도 90.9%²³⁾보다 나쁘다. 내유 동맥의 개존은 해석이 어렵기 때문에 3차원 영상과 flow mode

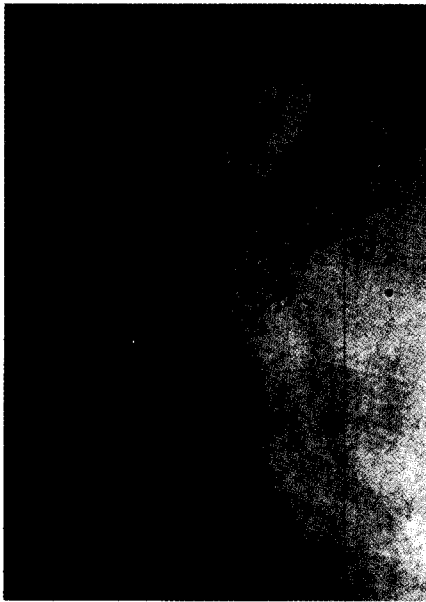
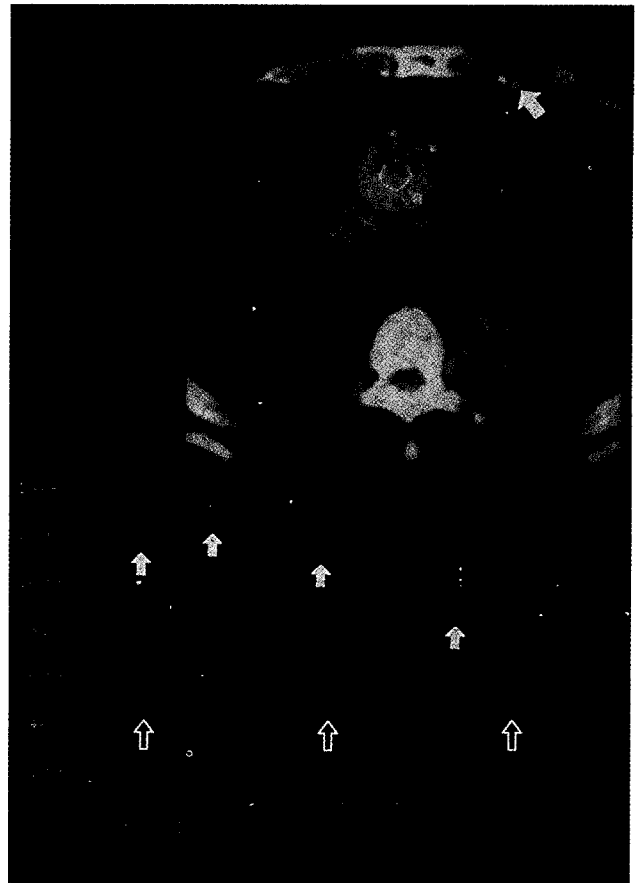
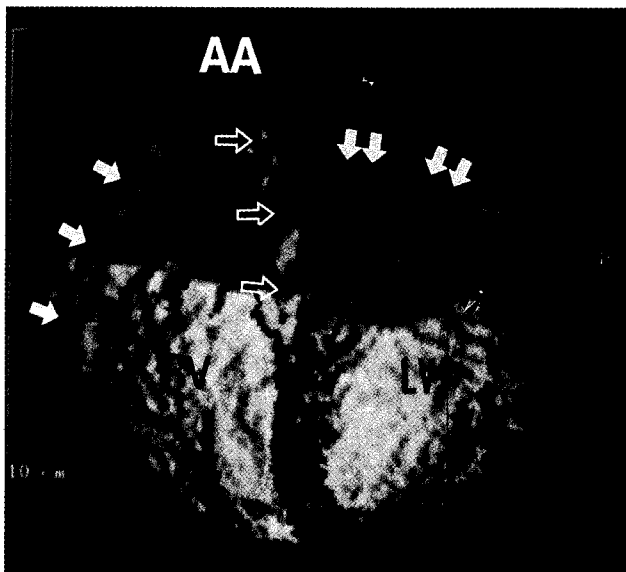


Fig. 2. False positive case of LIMA patency.
A. Selective angiogram of left subclavian artery. The LIMA (arrows) is particularly small in diameter and tortuous in course. Numerous surgical clips (arrow heads) are seen around the LIMA. Distal portion of LIMA is faintly opacified.



B. The time-density curve of LIMA (open arrows) after intra-venous contrast injection is relatively flat compared to aortic curve (white arrows), interpreting it totally occluded. The curve is flat due to partial volume effect by small lumen of LIMA (arrow).



C. LIMA (open arrows) shadow is not clearly recognized between numerous surgical clips. SVG (white arrows) to RCA and SVG (white double arrows) to LCx are easy to evaluate patency due to relatively wide lumen, short and straight course. Native LAD (arrowheads) and LCx (double arrowheads) with intermittent stenosis. Too short CT delay time is thought to be another reason of false positive, affecting the imaging of LIMA more badly than the imaging of venous grafts. The time to peak enhancement in LIMA is later than that of the venous grafts, while the 3D volumetric method takes the image of only the lower portion of LIMA (open arrows), which seems to be the reason why the inadequate CT delay time more severely affects the quality of LIMA imaging.

결과의 종합적인 분석을 요하였다. 이에 비하여 복재 정맥의 경우 flow mode의 역할은 필수적이 아니었다. 전향적으로 진단적 정확도를 조사한 바, 전체 관상동맥 우회로 이식술 후의 우회 혈관 개존성의 정확도는 94%이었다 (Table 1). 연결된 관상동맥별로 보면, 복재정맥의 경우, 기존의 보고^{22, 23)}와 마찬가지로 우관상동맥과 그 분지로 연결되는 우회 혈관이 다른 곳 보다 정확도가 떨어졌다. 하지만 후향적으로 봤을 때 우관상 동맥으로 연결된 우회 혈관이 정확도가 떨어지는 것은 연구 초기의 경험 부족에 의한 것으로, 후향적으로 보면 우관상 동맥의 민감도와 특이도도 각각 100%를 보였다.

후향적으로 위양성과 위음성 예를 분석해 보면, 내유동맥 위양성 1예는 내유동맥의 직경이 매우 작았으며, 주위 수술 클립에 의한 beam-hardening 인공산물 (Fig. 1)을 만들기 때문이었다. 위양성 1예는 적절치 못한 EBT 촬영 지연 시간 (Fig. 2) 때문이었다. 상행 대동맥에서 바로 연결되는 복재 정맥보다, 쇄골하동맥에서부터 나오는 내유동맥의 주행상 특징 때문에

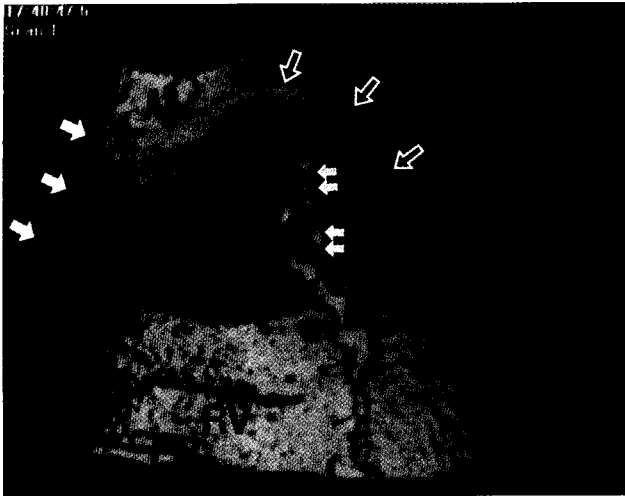


Fig. 3. False positive case of SVG. The SVG to RCA(white arrows) was misinterpreted as native RCA(black arrow). On retrospective review, SVG take-off site is much higher than that of native coronary artery, so mistake was obvious in this patient. Another SVG to LCx(open arrows, that taken off from the same level of the SVG to RCA) and LIMA to LAD(white double arrows) show good patency. Patent native LAD (arrowheads) after anastomosis is seen.



B. In coronary angiogram, total obstruction of SVG about 1cm distal to the proximal anastomotic site(black long arrow). The pace lead wire near AV groove(black arrows) is seen.



Fig. 4. False negative case of SVG. **A.** Pace lead wire(black short arrows) was misinterpreted as patent SVG on 3D EBT. The proximal stump portion(black long arrow) of SVG to RCA is seen. The SVG is totally obstructed distally. The pace lead wire close to right atrio-ventricular groove was mistakenly regarded as patent graft, because the CT number is close to contrast enhanced vessel lumen. Patent LIMA(white arrows) to LAD is seen. Native RCA(arrowheads) shows multi-focal short segmental narrowing; native LAD(black small double arrows) and LCx (double arrowheads) are also seen.

조영 증강이 다른 우회 혈관보다 늦게 되지만 EBT 지연 시간은 대동맥에서 나오는 복재 정맥에 맞추기 때문에 상대적으로 내유동맥은 최대 조영 증강 되기 전에 찍히게 되며, 따라서 이 경우 EBT 지연시간이 짧았던 예에서는 복재 정맥보다 내유동맥 이식 혈관에서 영상의 질을 더욱 나쁘게 하는 원인이 되었다. 즉 검사 방법의 사소한 부주의는 내유동맥의 경우 더 많은 영향을 미친다고 할 수 있다. 2에 모두 3차원 재구성 영상이나 flow mode 검사에서 후향적으로도 개존을 확인할 수 없었다.

복재정맥의 경우 위양성을 보인 1 예(Fig. 3)는 상행 대동맥에서 우관상동맥으로 연결된 경우로, 우회 혈관이 우관상동맥과 비슷하게 우측 방실간구 위로 주행하는 경로를 취하고 있으며, 우회로 아래쪽에 우관상동맥이 완전 폐쇄되어 있었으나, 3차원 재구성 영상에서 복재 정맥 우회 혈관을 우관상동맥으로 오인한 경우였다. 이 경우는 후향적으로 보았을 때 명확한 판독 오류였음을 알 수 있었다. 이러한 오류는 우관상동맥의 경우 우회로가 모관상동맥과 평행하게 주행하기 때문이며, 기타 관상동맥과 우회로의 경로가 판이하게 다름과 구별된다. 위음성을 보인 1 예(Fig. 4)는 역시 상행 대동맥에서 우관상동맥으로 연결되어 있었는데, 수술시 남겨둔 심 박동기의 전극이 방실 간구로 주행하고 있으며, iodine과 비슷한 전극 금속의 CT 농도와 모습이 전자선 단층촬영에서 우회 복재 정맥으로 오인되었고, 근위부에서 복재 정맥 우회 혈관이 중간에 보이지 않는 것은 우심방 이(appendage)와 들

러 붙어 분리되지 않는 것으로 해석하여, 개존 한 것으로 판독하였으나, 후향적으로 단순 촬영상에서 전극을 확인하였으며, flow mode 검사상 평평한 시간-농도 곡선을 간과하였음을 알 수 있었다. 이러한 두 예는 경험이 부족한 초기에 일어난 판독 오류로 사료된다. 따라서 후향적 진단의 정확도는 내유동맥의 경우는 변화가 없으나, 복재 정맥의 경우는 민감도와 특이도가 모두 100%였다.

3. 앞으로 연구 과제

완전 폐쇄 뿐 아니라 협착의 평가도 중요한데, Achenbach 등²⁴⁾은 EBT 3차원 영상 재구성을 이용하여 우회 혈관의 의미 있는 협착 발견의 정확도가 100%의 민감도와 97%의 특이도를 보인다고 보고하였다. 저자는 의미 있는 협착을 보인 예를 경험한 바 없으며, 연쇄적 이식 혈관의 경우도 없고, 이들은 시간-농도 곡선으로는 제한이 있음이 이미 밝혀진 바 있어, EBT 3차원 영상 재구성을 이용한 협착과 연쇄적 이식에 대한 향후 연구가 필요하다. 그러나 복재 정맥의 경우 협착이나 연쇄적 이식 혈관의 개존성에 대한 평가는 혈관 자체의 큰 직경으로 인해 모 관상동맥 협착에 대한 전자선 단층 촬영상의 정확도 보다 높을 것으로 추측된다.

내유 동맥의 경우 장기 혈관 개존율이 높은 것으로 알려져³³⁾ 중요성이 높는데, 일반적으로 3차원 영상 재구성을 위한 data 획득에 포함되는 범위가 내유동맥의 원위부 뿐이며 flow mode 검사를 이용한 시간-농도 곡선도 이 부위에서 얻었다. Achenbach 등²⁴⁾의 연구 대상은 단 1예의 내유동맥 우회로 예를 포함할 뿐이어서, 많은 예의 내유 동맥에 대한 평가는 저자의 연구가 처음이나, 이의 평가에는 상당한 제한점이 있다. 내유 동맥 근위부 자체는 협착이나 폐쇄가 극히 드물어 3차원 영상 방법으로 평가할 필요성은 없다는 주장이 있으나, 내경이 좀더 넓고 수술 클립이 적은 근위부에서 추가로 flow mode 검사를 시행하여 얻은 시간-농도 곡선으로 원위부의 혈류를 평가하는 것이 내유 동맥 개존의 정확도를 높일 수 있는 방법으로 추측되어 앞으로 연구해 볼 예정이다. 이는 내유동맥의 근위부에서 velocity encoding cine MRI를 이용하여 내유 동맥 혈류의 속도를 측정하는 방법³⁴⁾, 혹은 Doppler초음파를 이용하여 혈류를 측정하는 방법^{9, 10)}과 같은 원리에 해당한다.

또한 허혈성 심질환이 확진된 환자에서 관상동맥 석회 수치가 높으면, 폐쇄성 관상동맥 질환의 재발율도 높음이 보고되어³¹⁾, 우회로술을 시행받은 환자를 포함하여 허혈성 심질환이 확진된 환자에서 장기 예후 예측도 가능하다. EBT는 우회로술을 시행받은 후 기존의 동반된 모 관상동맥(native coronary artery) 질환의 진행에 대한 개관도 얻을 수 있고, 우

회로 기능을 측정기 위한 운동 혹은 약물 부하 전후의 좌심실 기능과 심근 관류량도 함께 측정할 수 있어서^{29, 30)}, 이를 이용한 한번의 통합 검사 등에도 이용할 수 있을 것으로 전망된다.

4. 향후 발달과 개선 전망

다른 전자 산업의 급속한 발달과 함께 EBT의 기계적 발전과 영상 재구성 software 프로그램의 발전도 빠른 속도로 진행되고 있다. EBT의 음극관은 4개로써 이는 cine mode 혹은 dynamic mode에만 모든 음극관을 이용할 뿐, 관동맥 조영술 촬영시는 한 개의 음극관 만을 이용하나, 한번에 2개 혹은 4개의 음극관을 동시에 사용하여 짧은 시간 안에 더 많은 용적을 포함시키도록 개선된 기기가 시장에 출현하였으며, 절편 두께를 기존의 3 mm(anisometric-voxel)에서 1 mm로 줄여 voxel을 1x1x1 mm³(isometric-voxel)로 만들어 3차원 영상 재구성시 공간적 해상도를 개선시키는 방법 등이 추진되고 있다³⁵⁾. 이와 함께 관상동맥 조영술 검사 방법의 보완에 의하여 앞으로 영상의 질이 향상될 여지가 많다³⁶⁾.

MRI가 신경 및 근,골격계 진단 방사선 분야의 주 기기가 된 후 수술 클립들이 안전한 비자기성 물질로 교체되고 있으며^{37, 38)}, 향후 EBT나 MRI가 심혈관계의 비침습적이고 중심적인 진단 기기로 발전될 전망이어서, 이들 기기 이용시 영상에서 인공 산물을 유발하지 않는 재료의 수술 클립들의 개발도 필요하다. 수술 후 추적 선택적 혈관 조영술을 용이하게 하기 위한 급속 표식자 부착도 진단 기기의 주종이 바뀌게 되면 재고해야 할 관습이다.

결 론

전자선 단층촬영 혈관 조영술은 관상동맥 우회로 이식술 후의 우회 혈관 개존성을 평가하는데 있어 매우 정확도가 높은 비침습적 검사이다. 특히 복재정맥을 이용한 우회 혈관의 경우 직경이 넓고, 측지가 없고, 심장에서 약간 떨어져 있어서 심장 박동의 영향을 덜 받는 점 등에 의하여 모 관상동맥 협착 평가보다 월등히 정확하며, 그 정확도가 거의 100%이다. 내유동맥의 경우 원천적으로 작은 혈관 내강과 주변의 수술 클립에 의한 인공산물 등의 제한점에도 불구하고 정확도가 상당히 높다. 따라서 전자선 단층 촬영 조영술은 우회로 개존 평가에 있어 비침습적인 방법으로 매우 효과적이며, 앞으로 임상 적용에 매우 희망적이다. 내유 동맥 개존에 관한 정확도를 높이기 위한 근위부 내유동맥 역동 검사, 향후 기기, 영상 재구성 software 혹은 검사 방법의 발달 등은 이 검사의 정확도를 더욱 높일 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. Califf RM, Harrell FE, Lee KL, et al. *The evaluation of medical and surgical therapy for coronary art disease: a 15-year perspective.* JAMA 1989;261:2077-86.
2. Campeau L, Enjalbert M, Lesperance J, et al. *Atherosclerosis and late closure of aortocoronary saphenous vein grafts: sequential angiographic studies at two weeks, 1 year, 5-7 years and 10-12 years after surgery.* Circulation 1983;68:1-7.
3. Eisenhauer MD, Collier HE, Eisenhauer TL, Cambier PA. *Beneficial impact of aorto-coronary graft markers on post-operativ angiography.* Cath Cardiovasc Diagn 1997;40:249-53.
4. Stanford W, Galvin JR, Skoton DJ, et al. *The evaluation of coronary graft patency: direct and indirect techniques other than coronary arteriography.* AJR 1991;156:15-22.
5. Khoury AF, Rivera JM, Mahmarian JJ, Verani MS. *Adenosine thallium-201 tomography in evaluation of graft patency late after coronary artery bypass grafts surgery.* J Am Coll Cardiol 1997;29:1290-5.
6. Lewis RL, Videll JS, Strong MD, et al. *Exercise radionuclide assessment of left ventricular function before and after coronary bypass surgery.* Angiology 1987;38:601-55.
7. Konishi Y, Ban T, Okamoto Y, et al. *Myocardial positron tomography with N-13 ammonia in assessment of aorto-coronary bypass surgery.* Japan Circ J 1988;49:1197-207.
8. Sheiban I, Trevi G, Casarotto D, et al. *Direct visualization of aortocoronary bypass grafts by two-dimensional echocardiography: a new clinical application.* Cardiovasc Intervent Radiol 1988;11:14-7.
9. Fusejima K, Takahara Y, Sudo Y, et al. *Comparison of coronary hemodynamics in patients with internal mammary and saphenous vein coronary bypass grafts: a non-invasive approach using combined two dimensional and Doppler echocardiography.* J Am Coll Cardiol 1990;15:131-9.
10. Rombaut E, Vantrimont P, Gurme O, et al. *Noninvasive functional assessment of left internal mammary artery grafts by transcutaneous doppler echocardiography.* J Am Soc Echocardiogr 1998;11:403-8.
11. Fishman EK. *High-resolution three-dimensional imaging form subsecond helical CT data sets: applications in vascular imaging.* Am J Roentgenol 1997;169:441-3.
12. Edelman RR. *MR angiography: presnet and future.* AJR 1993;161:1-11.
13. Moneta GL, Yeager RA, Antnovic R, et al. *Accuracy of lower extremety arterial duplex mapping.* J Vasc Surg 1992;15:275-84.
14. Jenkins JPR, Love HG, Foster CJ, Isherwood I, Rowlands DJ. *Detection of coronary artery bypass graft patency as assessed by magnetic resonance imaging.* Br J Radiol 1988;61:2-4.
15. White RD, Caputo GR, Mark AS, Modin GW, Higgins CB. *Coronary artery bypass graft patency: noninvasive evaluation with MR imaging.* Radiology 1987;164:681-6.
16. Vrachliotis TG, Bis KG, Aliabadi D, Shetty AN, Safian R, Simonetti O. *Contrast-enhanced breath-hold MR angiography for evaluating patency of coronary artery bypass graft.* Am J Roentgenol 1997;168:1073-80.
17. Nakanishi T, Ito K, Imazu M, et al. *Evaluation of coronary artery stenoses using electron-beam CT and multiplanar reformation.* J Comput Tomogr 1997;21:121-7.
18. Moshage WEL, Achenbachs, Seese B, et al. *Coronary Artery Stenosis: Three-dimensional imaging with electrocardiographically triggered, contrast agent-enhanced, electron-beam CT.* Radiology 1995;196:707-14.
19. Chernoff DM, Ritchie CJ, Higgins CBI. *Evaluation of electron beam CT coronary angiography in healthy subjects.* Am J Roentgenol 1997;169:93-9.
20. Higgins CB, Holt W, Pflugfelder P, Sechtem U. *Functional evaluation of the heart with magnetic resonance imaging.* Magn Reson Med 1988;6:121-39.
21. Schwickert HC, Roberts TP, Muhler A, et al. *Angiographic properties of Gd-DTPA-24-cascade-polymer-a new macromolecular MR contrast agent.* Eur J Radiol 1995;20:144-50.
22. Bateman TM, Gray RJ, Whiting JS, et al. *Prospective evaluation of ultrafast cardiac computed tomography for determination of coronary bypass graft patency.* Circulation 1987;75:1018-24.
23. Stanford W, Brundage BH, MacMillan R, et al. *Sensitivity and specificity of assessing coronary graft patency with ultrafast computed tomography: results of a multicenter study.* JACC 1988;12:1-7.
24. Achenbach S, Moshage W, Ropers D, Nossen J, Bachmann K. *Noninvasive, three-dimensional visualization of coronary artery bypass grafts by electron beam tomography.* J Cardiol 1997;79:856-61.
25. Chen SJ, Li YW, Wang JK, Wu MH, et al. *Usefulness of electron beam computed tomography in children with heterotaxy syndrome.* Am J Cardiol 1998;81:188-94.
26. 최규옥. 관동맥 석회치 검사의 역할: 폐쇄성 관동맥 질환의 예방 및 조기발견. 순환기 1997;27:566-77.
27. Secci A, Wong N, Tang W, Wang S, Doherty T, Detrano R. *Electron beam computed tomographic coronary calcium as a predictor of coronary events: comparison of two protocols.* Circulation 1997;96:1122-9.
28. Arad Y, Spadaro L, Goodman K, et al. *Predictive value of electron beam computed tomography of the coronary arteries. 19-month follow-up of 1173 asymptomatic subjects.* Circulation 1996;93:1951-3.
29. Budoff MJ, Gillespie R, Georgiou D, et al. *Comparison of exercise electron beam computed tomography and sestamibi in the evaluation of coronary artery disease.* Am J Cardiol 1998;81:683-7.
30. Rumberger JA, Bell MR. *Measurement of myocardial perfusion and cardiac output using intravenous injection methods by ultrafast computed tomography.* Invest Radiol 1992;27(suppl 2):40-6.
31. Takahashi M, Takamoto T, Aizawa T, Shimada H. Se-

verity of coronary artery calcification detected by electron beam computed tomography is related to the risk of restenosis after percutaneous transluminal coronary angioplasty. Intern Med 1997;36:255-62.

32. Lytle BW, Loop FD, Cosgrove DM, et al. Long term(5 ~ 12 years) serial studies of internal mammary artery and saphenous vein coronary bypass grafts. J Thorac Cardiovasc Surg 1985;89:248-58.

33. Sakuma H, Globits S., Margret O, et al. Breath-hold MR measurements of blood flow velocity in internal mammary arteries and coronary artery bypass grafts. JMRI 1996;1: 219-22.

34. Boyd DP. Technical advances in Electron Beam CT. *Advances in Electron Beam Computed Tomography: international symposium* 1988.

35. Achenbach S, Roper D, Nossen J, et al. Velocity of in-plane coronary artery motion: Measurement by cine-mode Electron beam CT and implications for ECG triggering of EBCT data sets. *Advances in electron beam computed tomography*: 1998 San Francisco CA. Abstracts No.26, 46page.

36. Ebraheim NA, Savolaine ER, Zeiss J, Jackson WT. Titanium hip implants for improved magnetic resonance and computed tomography examinations. Clin Orthop 1992; 275:194-8.

37. Augustiny N, von Schulthess GK, Meier D, Boesiger P. MR imaging of large nonferromagnetic metallic implants. J Comput Assist Tomogr 1987;11:678-83.

=국문초록=

최근 혈관 질환의 진단을 위한 비침습적 영상이 발달하면서, 기존의 도자술은 중재적 치료에 국한되는 실정이다. 그러나 관상동맥이나 우회로는 작은 직경, 심박동 움직임 등으로 도자술이 아직도 진단에 필수적이며, 비침습적 영상 진단의 마지막 도전 영역이다. 전자선 단층 촬영기는 높은 시간 해상능으로 심장 영상을 얻을 수 있다. 전자선 단층 촬영을 이용하여 모관상 동맥 협착이나 관상동맥 우회로 이식술 후 개존성의 평가가 시도되고 있으며, 이중 관상동맥 우회로술 평가의 정확도는 매우 높아서 임상 적용이 가능하다.

저자와 다른 연구자의 경험에 의하면 복재 정맥은 넓은 직경, 비교적 짧고 직선적인 경로, 심박동에 덜 영향 받음으로써 EBT조영술의 정확도가 높았다. 전향적 민감도와 특이도가 각각 92%, 97%를 보였다. 그러나 위양성과 위음성을 보인 두 예는 후향적으로 분석 할 때 경험 부족에 의한 초기의 판독 오류로 사료되어 복재 정맥의 경우 후향적으로는 100%의 정확도를 보였다. 반면 내유동맥 이식혈관은 작은 내경과 주변의 수술 클립에 의한 인공산물로 개존성을 확인하기가 대체로 어려웠고, 역동적 검사를 병행하여 우회로내 혈류를 확인하는 것이 필요하다. 내유동맥의 경우 상대적으로 정확도가 낮아 민감도, 특이도가 각각 100%, 80%를 보였으며, 위양성을 보인 2예는 후향적으로도 개존을 확인할 수 없었다.

전자선 단층 촬영 혈관 조영술은 관상 동맥 우회로 이식술 후의 우회 혈관 개존성의 평가, 특히 복재 정맥 우회로의 경우 매우 정확도가 높은 비침습적 검사로써, 임상 적용이 기대된다. 앞으로 촬영 기기와 영상 재구성 software의 발달로 정확도를 더욱 높일 수 있는 잠재성이 있다.

- 중심단어: 1. 관동맥 우회로술
2. 전자선 단층 촬영
3. Computer 단층 촬영, 3차원 영상재구성