

다검출기 CT를 이용한 허혈성 심질환 환자의 심근수축능, 심근관류, 심근생존능 평가

Myocardial Contractility, Perfusion, and Viability Analysis Using Multidetector CT in Patients with Ischemic Heart Disease

고 성 민 | 계명대 진단방사선과 | Sung Min Ko, MD

Department of Radiology, Keimyung University College of Medicine

E-mail : ksm9723@yahoo.co.kr

J Korean Med Assoc 2007; 50(2): 143 - 150

Abstract

The imaging technique that can provide detailed information on the left ventricular function, myocardial perfusion and viability at the same time will not only be helpful for the prognostic assessment of patients with ischemic heart disease but also be valuable in choosing appropriate therapeutic strategies. In recent years, multidetector CT (MDCT) has been proposed as a useful non-invasive imaging method of evaluating both coronary artery stenoses and cardiac morphology at the same time. MDCT has proved to be in excellent agreement with echocardiography and magnetic resonance imaging in the assessment of the left ventricular function. In addition, MDCT can provide information on myocardial viability, which can be assessed from the left ventricular wall thickness, myocardial perfusion, and a delayed contrast enhancement pattern. Despite several shortcomings to be the first-line modality for the assessment of ischemic heart disease, MDCT can provide valuable additional dynamic information in patients undergoing MDCT coronary angiography.

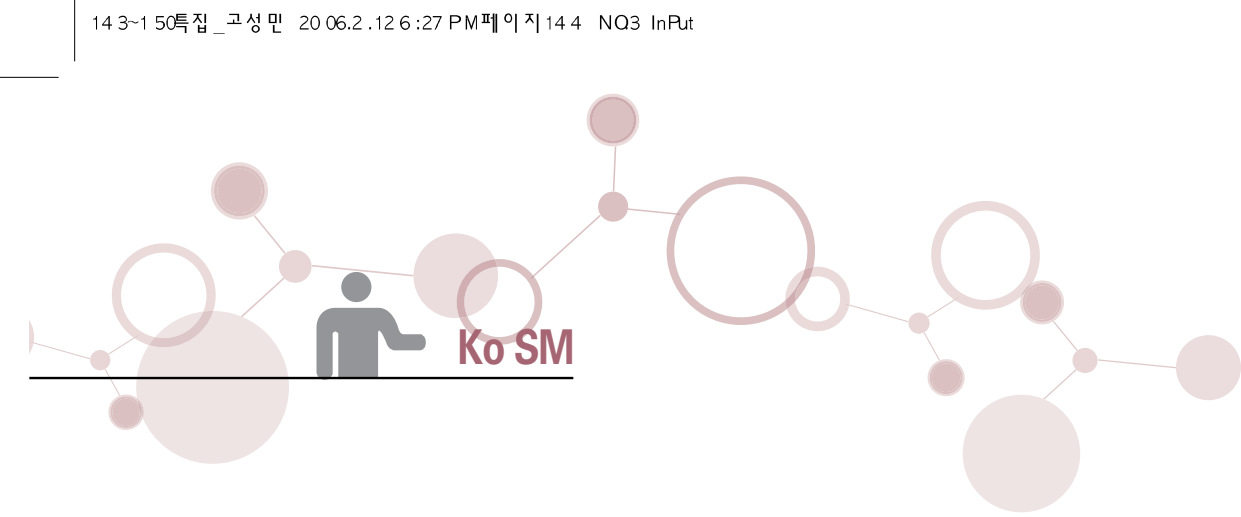
Keywords : Multidetector CT; Myocardial contractility; Myocardial perfusion;
Myocardial viability

핵심용어 : 다검출기 CT; 심근수축능; 심근관류; 심근생존능

서론

허혈성 심질환은 일반적으로 관상동맥의 죽상경화증(atherosclerosis)으로 인한 협착 때문에 심근의 혈류 공급에 장애가 생겨 임상적으로 협심증, 심근경색증, 급사의 세가지 중 하나의 양상으로 나타난다. 침습적 관상동맥 조영술(invasive coronary angiography), 심초음파(echo-

cardiography), 핵의학 검사(nuclear imaging), 그리고 자기공명영상(magnetic resonance imaging)이 허혈성 심질환의 진단에 널리 사용되어지고 있다. 최근 다검출기 CT(multidetector CT, MDCT) 기술의 급속한 발달과 함께 컴퓨터 하드웨어와 분석 소프트웨어의 발전으로 인하여 관상동맥을 포함한 심장의 비침습적 영상화가 임상 영역에서 활발하게 사용되고 있다. 현재까지 다검출기 CT의 연구들



은 관상동맥 협착을 평가하는 데 주 초점을 두었으나 최근 허혈성 심질환 환자에서 다검출기 CT의 적용은 관상동맥에 국한되지 않고 심근수축능 평가, 심근의 관류 상태, 그리고 지연 조영증강으로부터 판단할 수 있는 심근 생존능에까지 확대되어 허혈성 심질환에 있어 비침습적인 원스톱 검사로 발전하고 있다. 여기에서는 다검출기 CT를 이용한 허혈성 심질환 환자의 심근수축능, 심근관류, 그리고 심근생존능 평가에 대해 간략하게 소개하고자 한다.

다검출기 CT 기법

CT는 계속 발전하여 현재 64열 다검출기 CT가 널리 사용되고 있으며, 기계마다 차이는 있으나 0.5mm 절편 두께, 해상도 0.4mm, 갱트리 회전 속도가 0.33sec, 1회전에 64단면을 얻는 수준까지 도달하였다. 일반적인 관상동맥 CT혈관촬영술에선 우심실 내강이 조영제로 채워지지 않지만, 심기능과 심관류를 평가하기 위해서는 심실 중격이 우심실 내강과 구별되어야 하므로 조영제 주입 방법을 변형시켜야 한다. Dual injector 이용하여 조영제와 식염수를 주입하는 경우 먼저 고농도의 조영제를 주입하고 난 후 조영제가 약간 섞인 식염수를 주입하게 되면 쉽게 우심실 내강을 조영제로 약하게 채울 수 있다. 심장의 RR 주기를 따라 후향적으로 영상 합성하는 방법이 사용되는데 보통 RR 주기를 20분절로 나누어 영상을 합성한다. 심장의 단축 또는 장축을 따라 영상을 합성하여 심벽의 두께와 비후도, 심실의 용적 등을 계산하여 좌심실 구혈률(ejection fraction), 국소적 심근 운동 변화, 심근의 관류 상태 등을 파악할 수 있다. 지연 조영증강 정도를 파악하기 위하여 5분에서 10분 사이의 지연 영상을 얻는 데 조영제를 추가적으로 사용하지는 않는다. 아직까지 지연기 영상을 얻는 데 권고된 방법은 없으나 방사선 피폭을 줄이기 위하여 초기 영상과는 달리 관전류(kV)와 관전압(mAs)를 낮추고 두꺼운 검출기를 사용하여 촬영한다. 필자의 경우 80kV, 600mAs와 1.2mm 두께의 검출기를 이용하여 지연기 영상을 얻고 있다. Park 등의(1) 동물실험 결과에 의하면 5분과 10분 지연 영상에서 정상 심근과 경색 심근 사이의 CT number에 큰 차이가 없다고 하였

다. 연구들마다 차이는 있으나 필자의 경험에 의하면 64열 다검출기 CT를 사용하는 경우 약 60~70ml의 적은 양의 조영제를 사용하게 되어 7분 지연을 넘게 되면 심근의 조영증강이 감소하는 경향을 보이고 검사 시간이 길어지는 단점이 있어 7분 이내에 지연 영상을 얻는 것이 적절할 것으로 생각된다.

심근수축능 평가

좌심실 기능의 정확하고 재현성이 있는 측정은 허혈성 심질환을 진단하고, 치료를 계획하고, 치료 경과를 추적하고, 위험도를 계층화하며, 예후를 평가하는 데 기본이 된다. 좌심실 용적과 심근질량은 허혈성 심질환 환자의 이병률과 사망률의 독립 예측인자이며 전반적 좌심실 기능은 심근경색 후 펌프 실패와 사망의 가장 강력한 결정요인이다(2~4). 비록 좌심실 기능이 관상동맥 협착의 정도를 반영하는 데 민감하지 않지만 증상이 있는 환자들에서 관상동맥질환을 진단하는 데 정보를 제공할 수 있다. 현재 임상에서 가장 많이 사용되는 것은 심초음파 검사이다. 이는 이동 검사가 가능하고 비교적 간편하게 심장 기능을 평가할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있으나 시술자의 경험에 의존하고, 음향창이 좋지 않은 환자에서는 사용의 제한이 있다. 게이트 심근 단일광자단층촬영(single photon emission computed tomography, SPECT)은 심기능과 심근 관류를 평가하는 원스톱 영상의 대표로 쓰이고 있으며, 최근에는 자기공명영상이 심기능 평가에 있어 새로운 표준검사로 자리잡고 있다(5~6).

최근에 널리 사용되는 다검출기 CT는 심장 영상을 위해 도입되었고, 주로 관상동맥 협착과 심장 형태 진단에 주로 사용되고 있다. CT 기술의 빠른 발달로 인하여 시간해상도와 공간해상도의 빠른 향상을 이루었고 또한 빨리 심장을 촬영할 수 있게 되었다. 이로 인해 관상동맥 CT 조영술은 확고하며 인정되는 진단기법으로 자리잡고 있으며(7~9), 영상 제작(post-processing) 도구 역시 빨리 발전하여 더욱 빠르게 CT 자료로부터 좌심실 기능 인자들의 반자동화된 측정치를 얻을 수 있게 되었다. 또한 우심실 용적과 심근 질량을 비교적 쉽게 측정할 수 있고, 우심실 구혈률도 객관적으로 평가할 수 있다(10). 다검출기 CT 기능 분석의 총 평

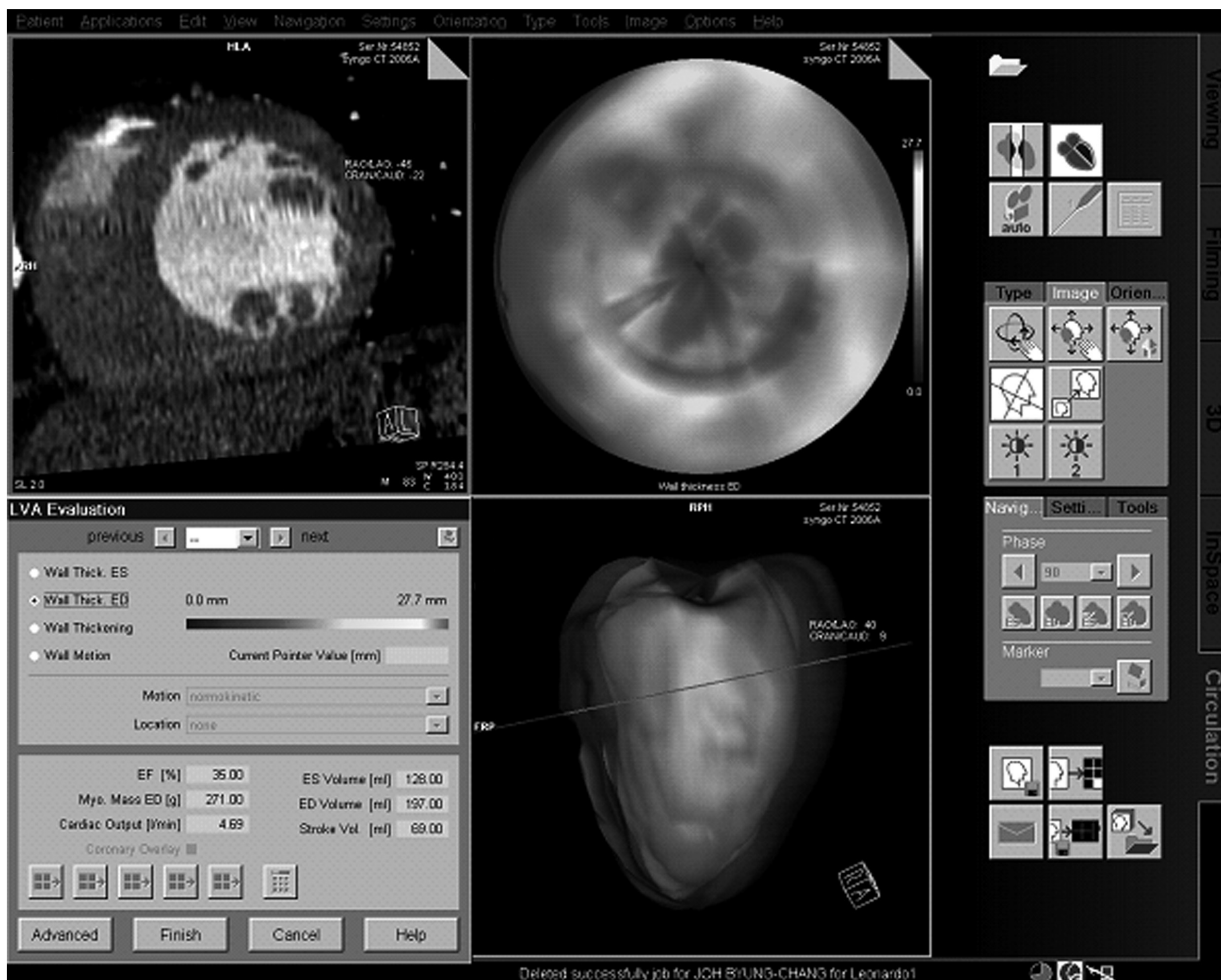


Figure 1. Screen-shot from Leonardo workstation(Siemens, Forchheim, Germany) displaying dedicated analysis software for MDCT left ventricular function.

가 시간은 4월 다검출기 CT인 경우 30~50분, 16월 다검출기 CT는 14~20분 정도 소요되었으나 컴퓨터 하드웨어와 분석 소프트웨어의 발달로 현재 64월 다검출기 CT는 10분 이내로 시간이 단축되어 비교적 쉽게 측정할 수 있다(Figure 1). 심장 다검출기 CT는 지속적이며 후향적 심전도 동기화를 이용하여 자료를 획득하므로 추가적인 검사 없이 다양한 심장 주기의 영상을 재구성할 수 있다. 이를 이용하여 좌심실의 이완기말과 수축기말 영상을 얻어 좌심실 용적을 구할 수 있다(Figure 2)(11). 이면성 심초음파와 달리 용적의 측정에 있어 이론상 기하학적 전제를 필요로 하지 않기 때문에 정확한 측정이 가능하며 재현성이 높다(12~14).

현재까지의 다검출기 CT를 이용한 심기능 평가의 연구들은 전반적 좌심실 기능을 나타내는 여러 인자들이 카테터 심실 조영술, 심초음파, 자기공명영상의 결과와 잘 일치하였다고 보고하였다(15~18). 최근의 연구들은 좌심실 기능부전이나 좌심실 확장을 가진 환자들에게서 16월 다검출기 CT를 이용해서 전반적 좌심실 수축능 인자들을 비교적 정확하게 측정하였고(19), 또한 심근경색으로 인해 얇아진 좌심실벽 분절과 감소되거나 소실된 수축기 심근이 두꺼워짐을 정확하게 보여주었다(12). 이제 전반적 좌심실 수축능 인자들의 재현성은 다른 진단방법에 비해 새로운 표준으로 자리잡을 것으로 기대된다.

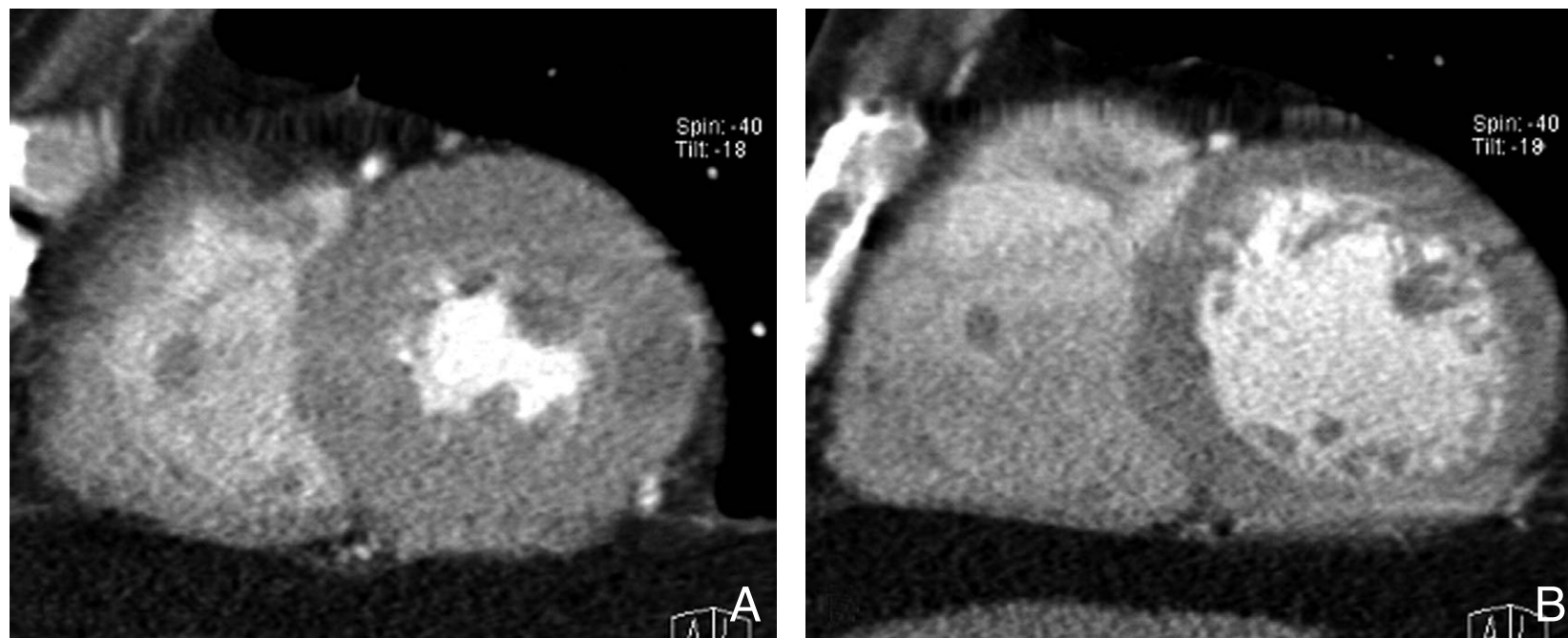


Figure 2. Short axis reformats from retrospectively ECG-gated MDCT allow circulation of end-systolic (A) and end-diastolic (B) images for assessment of ventricular function.

그러나 허혈성 심질환 환자의 관상동맥 CT 혈관조영술 자료를 이용하여 심근수축능을 평가하는 데는 여러 단점들과 숙제가 있다. 첫째, 심장 자기공명영상 비해 기존의 연구들은 다검출기 CT가 수축기말 용적이 실제보다 높게 측정되어 결과적으로 좌심실 구혈률이 1~7% 정도 낮게 계산되었다고 보고하였다(12, 14, 20). 좌심실의 최대 수축기 수축을 포착하기 위해서는 30~50ms의 시간해상도가 요구되나(21), 현재 사용되는 다검출기 CT는 기계적 한계로 인하여 갱트리 회전속도를 향상시키는 데는 한계가 있다. 64열 다검출기 CT 스캐너의 회전 속도가 330ms까지 빨라졌고 최근에 사용되기 시작한 다중 튜브 CT는 시간해상도를 83ms까지 단축시켰으므로, 기존의 4, 8, 16열 다검출기 CT에 비해 심근수축능 인자들의 좋은 결과가 기대된다(22). 또한 시간해상도를 높이기 위해 multisegment reconstruction algorithm을 이용하면 심근수축능을 측정하는 데 도움을 받을 수 있다(12, 14). 둘째, 운동 부하 혹은 약물부하 방법을 사용하여 좌심실 벽운동 장애에 근거한 폐쇄성 관상동맥 질환을 진단할 수 있는데, 다검출기 CT를 이용한 심근수축능 평가의 가장 큰 제한점은 오직 휴식기 자료만을 이용한다는 것이다. 스트레스 상태에서 심실 기능을 평가한 연구는 없고 또한 시행하기 위해서는 반복적인 방사선 조사와 조영제에 노출되어야 하는 문제도 있다. 게다가 증가된 심장 박동수는 인공물(artifact)을 발생시켜 검사 결과의 신뢰에 영향을 준다(23). 셋째, 심근수축능 평가를 위해서는 환자의 심박동수나 심근수축력에 영향을 줄 수 있는 약물을 투여하게 되면 심기능을 나타내는 여러 인자들의 변화를 초래하여 환

자의 심장수행(performance)을 정확하게 반영하지 않게 된다. 좌심실의 이완기말과 수축기말 영상을 얻어야 하므로 시간해상도와 심장 박동수가 심근수축능 결과에 영향을 미친다. 관상동맥 CT 혈관 촬영술에 사용되는 베타차단제는 심장 박동수와 심실 용적에 영향을 주므로 심근수축능 자료를 해석하는 데

고려되어야 한다(14, 23). 최근에 사용되는 다중 튜브 CT는 베타차단제를 사용하지 않고 촬영이 가능하므로 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

넷째, 현재까지 다검출기 CT를 이용한 심장 용적 측정과 기능, 그리고 심장의 형태학적 특성의 정상 참고값에 대한 논문은 없다. 또한 국소적 좌심실 벽운동에 대한 시각적 분석과 정량화에 대한 연구 역시 제한적이다(12).

종합하면 조영제 사용, 방사선 피폭, 제한적인 시간해상도, 그리고 심근수축능 평가만을 위한 심장 다검출기 CT 사용은 권장되지 않는다. 그러나 다검출기 CT를 이용한 비침습적 관상동맥 혈관조영술과 심기능 평가의 조합은 허혈성 심질환 환자들에게 좀 더 결정적인 심장 정밀검사를 제공할 수 있을 것이다. 더욱 향상된 시간해상도를 가지는 새로운 다검출기 CT의 개발은 국소적 좌심실 벽운동 장애의 분석을 가능하게 할 것으로 기대된다.

심근관류 및 생존능 평가

관상동맥의 최대 혈류는 내경이 30~45% 이상이면 감소하기 시작하나 안정시는 80% 협착까지 큰 변화가 없다는 운동이나 빈맥으로 심근 산소 요구량이 증가하면 증상이 생기게 된다. 관상동맥의 협착에 의해 심근 허혈이 일어나면 소위 “cascade of ischemia”의 순서에 의해 이상이 나타나게 된다. 즉 심근내막하층에 관류가 저하되고, 이 관류 저하가 전층으로 확산되며, 심근의 이완기 장애, 수축기 장애, 좌심실 이완기말 압력 증가, 심전도 변화, 그리고 협심증 증상

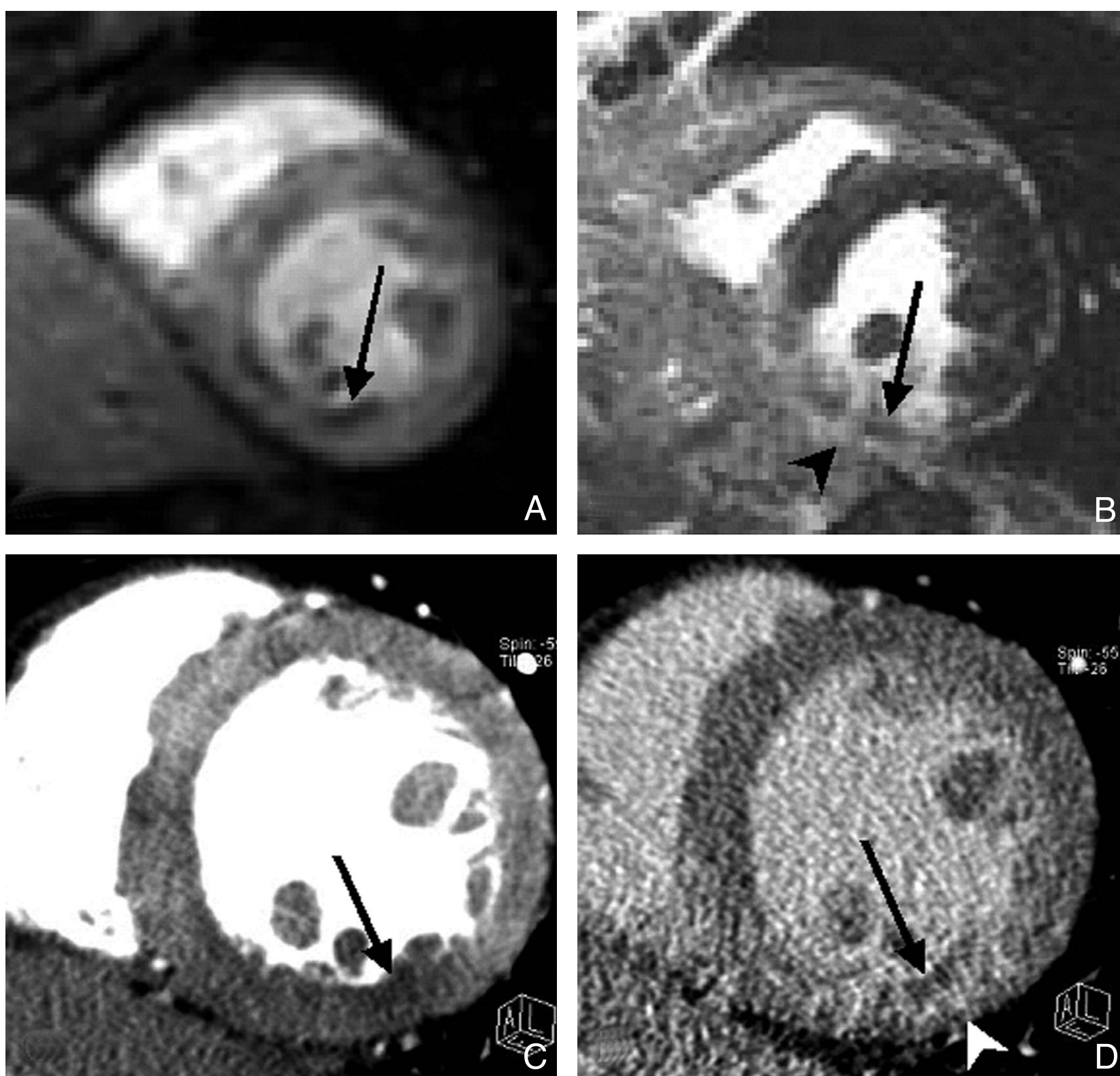


Figure 3. Images obtained in a 63-year-old man with acute myocardial infarction.

MR perfusion image (A) shows low signal area in the mid-inferior wall of left ventricle.

Delayed enhanced MR image (B) shows subendocardial dark zone (arrow) surrounded by hyperenhancement (arrowhead) in the same area.

Two-phase contrast enhanced MDCT shows early transmural perfusion defect (arrow) (C) and subendocardial residual perfusion defect (arrow) with subepicardial late enhancement (arrowhead) (D) in the mid inferior wall of left ventricle. This myocardial enhancement pattern correlates well with contrast-enhanced MR imaging

의 순서로 나타난다. 즉 심근 관류 이상은 심근 허혈의 첫 번째 단계이고 관상동맥질환의 위험도를 계층화하기 위하여 심근 허혈의 범위와 정도를 확인하는 데 중요하다(24). 임상적으로 심근 관류 평가는 단일광자단층촬영, 조영제 심초음파, 그리고 자기공명영상이 사용되고 있다. 비록 위의 검사들이 널리 쓰이기는 하나 비싸고(단일광자단층촬영, 자기공명영상), 공간해상도가 낮고(단일광자단층촬영), 시야가 제한적이고(심초음파), 그리고 시간이 오래 걸리는(자기공명영상) 단점이 있다.

중등도 이상의 관상동맥 협착에도 불구하고 안정시에는 보상성 혈관 확장에 의해 관류량이 유지되어 있다(25). 현재

휴식기에만 시행하는 현재의 관상동맥 CT 혈관조영술로는 관상동맥 협착부위 이하의 관류 감소를 평가할 수 없으므로 이를 통하여 역으로 의미있는 동맥 협착을 찾을 수 없다. 최근 Kurata 등은(24) 12명의 환자를 대상으로 휴식기와 아데노신 약물부하 조영증강 CT를 시행하여 심근 단일광전자단층촬영과 비교해서 관류 감소를 찾는데 민감도는 83%이었고, 침습적 관상동맥촬영술과 비교해서 관상동맥 협착 진단의 민감도는 76%이었다고 보고하였다. 약물부하 조영증강 CT는 조영제 재주입, 방사선 피폭, 그리고 다검출기 CT의 기계적 한계로 인해 사용의 제한이 있으나 하나의 검사법으로 심근 관류의 정확한 해부학적 정보, 관상동맥 협착, 그리고 심기능 평가를 제공할 수 있겠다.

심근 생존능은 좌심실벽 두께, 심근관류, 그리고 지연기 조

영증강 패턴으로부터 평가할 수 있다(23). 심근의 관류와 생존능에 관한 상세한 정보를 동시에 제공할 수 있는 영상 방법은 급성 심근경색증 환자의 예후를 평가하고 적합한 치료를 계획하는 데 필수적이다. 최근들어 자기공명영상은 심기능, 관류, 그리고 생존능 평가의 표준 검사법으로 인정되고 있다(26, 27). 자기공명영상에서의 초기 관류 감소는 심근 경색 부위의 심근 미세혈관 폐쇄와 부종을 반영한다. 지연기 조영증강은 경색심근의 간질의 용적을 반영하며 경색의 위치와 범위와 상관이 있어 경색심근과 생존심근을 구분하여 심근 기능의 회복을 예측하는 데 도움을 준다. 경색부위의 지연 조영증강은 급성 경색에서는 세포막 보전의 손실,

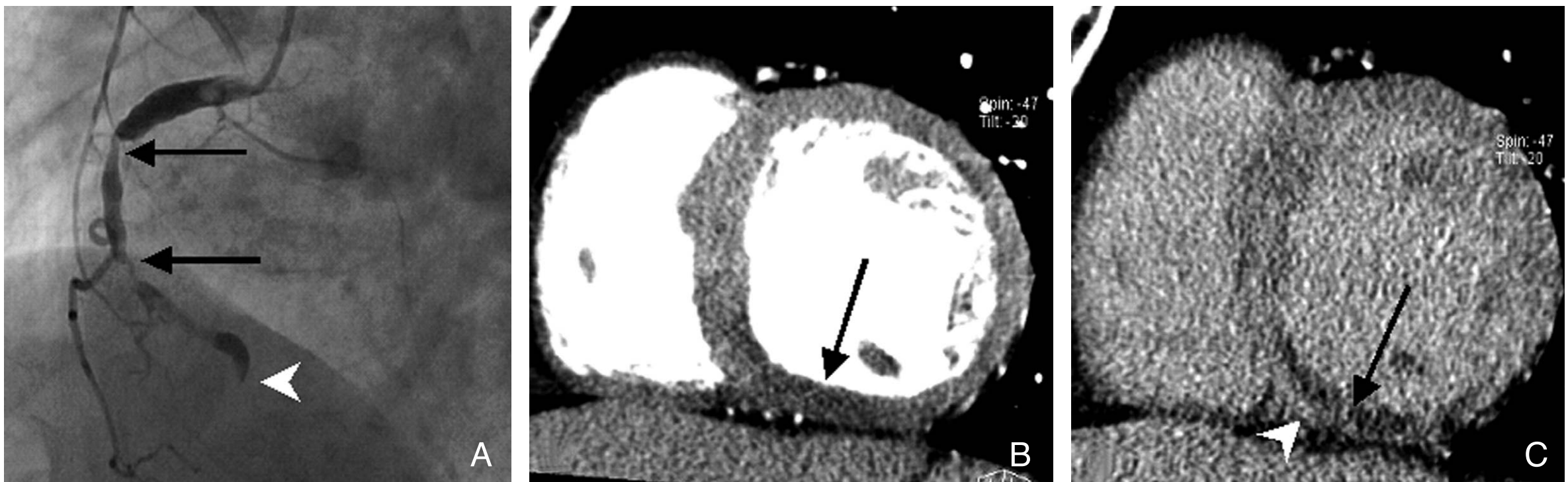


Figure 4. Images obtained in a 72-year-old man with reperfused acute myocardial infarction.

Catheter coronary angiogram (A) shows multiple significant stenoses in the proximal and middle (arrows) right coronary artery and total occlusion at the distal segment (arrowhead) of the right coronary artery. Two-phase contrast enhanced MDCT shows early transmural perfusion defect (B) and subendocardial residual perfusion defect (arrow) with subepicardial late enhancement (arrowhead) (C) in the mid-inferior wall of left ventricle.

조영제의 지연 유입과 유출, 그리고 급성기의 간질 부종과 만성기의 섬유화로 인한 증가된 세포외 공간 때문이다. 지속적인 지연 조영감소는 미세혈관의 폐쇄 때문으로 일반적으로 광범위한 경색심근에서 보인다(27).

CT의 특성 중 하나인 조직의 밀도를 측정하는 기능이 심근경색 환자의 심근 관류나 심근 생존능 평가에 이용될 수 있다(28). 초기 세대의 재래식 CT에서 경색심근이 조영제 주입 전 CT에서 저음영으로 보이고 조영제 주입 후 10분 이상의 지연기 영상에서 조영감소 또는 역설적인 조영증강을 보여 심근경색 진단의 가능성을 보여 주었으나(29, 30), CT의 시간해상도와 공간 해상도의 한계로 인해 심근경색의 진단에 널리 사용되지 못하였다. 최근 심근경색증 환자들을 대상으로 한 여러 연구들은(31, 32) 지연기 조영증강 다검출기 CT가 자기공명영상이나 단일광자단층촬영과 비교해서 심근경색의 크기와 심근생존능을 평가하는 데 신뢰할 만한 진단방법임을 증명하였다(Figure 3). 만성 심근경색의 경우 정상 심근에 비해 심근벽 두께가 감소하고 초기 관류 결손을 보이므로 쉽게 진단이 가능하다. 그러나 급성 경색이 있으나 벽 두께가 정상인 경우는 단지 허혈성 심근 관류 감소만을 보이는 심근과는 고식적인 관상동맥 다검출기 CT를 가지고는 구별이 불가능하므로 이를 확인하기 위해서는 추가적인 지연기 영상이 필요하다(33). Koyama 등은(34) 재관류 급성 심근경색증 환자들을 이중시기 조영증강 다검출

기 CT를 이용하여 세 그룹으로 나누어 분석하였는데 초기 관류 결손, 지연 관류 결손, 그리고 지연 조영증강을 보인 3그룹이 지연 관류 결손을 보이지 않은 2그룹에 비해 만성기에 벽 두께가 더욱 감소하였고 좌심실의 기능도 훨씬 악화되었다고 하였다. 즉 조영증강 패턴의 다양성은 미세혈관 손상의 범위의 다양성을 나타내며 심근 조영양상 평가는 재관류 급성 심근경색증 환자들에게서 심근 벽운동과 두께, 좌심실 기능, 그리고 심근 생존능을 예측하는 데 사용될 수 있다고 하였다. 필자의 23명의 심근경색증 환자를 대상으로 한 이중시기 조영증강 다검출기 CT 연구에서 경색심근은 초기영상에서 모두 조영감소를 보였고 지연기 영상에서는 경색심근의 위치 정보를 제공할 뿐만 아니라 다양한 조영증강 패턴을 보였는데, 특히 미세혈관 폐쇄를 시사하는 지연 관류 결손에 관한 정보를 제공해서 급성 심근 경색증 환자들의 치료계획 수립에 도움을 줄 수 있음을 보였다(Figure 4)(35).

그러나 이중시기 조영증강 다검출기 CT를 이용하여 심근의 생존능을 평가하기 위하여 추가적인 지연기 영상을 얻어야 하므로 이로 인해 방사선 피폭이 증가하고 검사시간이 증가하는 단점이 있다. 64열 다검출기 CT인 경우 ECG-pulsing 기법을 사용하고 관전압과 관전류를 각각 600mAs와 80kV로 낮추며 1.2mm 두께의 검출기를 사용하면 방사선 피폭을 대폭 감소시킬 수 있고, 조영제의 조영증강 효과

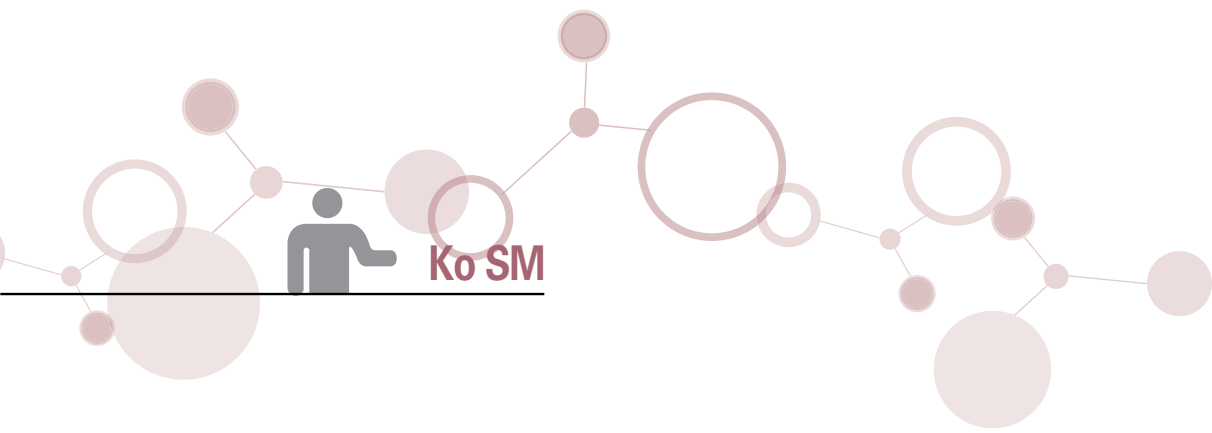
를 향상시킬 수 있다. 또한 관전압과 관전류를 낮추어 생기는 잡음(noise)은 8mm의 두꺼운 다면 구성영상(multi-planar reformation)을 이용하면 극복할 수 있다.

결론

최근의 다검출기 CT 기술의 눈부신 발달로 관상동맥의 비침습적 영상화와 더불어, 추가적인 검사 없이도 심근수축능 분석과 심근 관류를 동시에 평가할 수 있게 되었다. 또한 급성 심근경색증 환자에서 추가적인 지연기 영상을 얻어 생존능 평가도 가능하게 되었다. 여전히 다검출기 CT의 제한적인 시간해상도와 방사선 피폭의 단점이 있으나 허혈성 심질환에 있어 CT가 더욱 활발하게 이용될 것으로 전망한다.

참고문헌

1. Park JM, Choe YH, Chang S, Sung YM, Kang SS, Kim MJ, Han BK, Choi SH. Usefulness of multidetector-row CT in the evaluation of reperfused myocardial infarction in a rabbit model. *Korean J Radiol* 2004;5:19-24.
2. Shah PK, Maddahi J, Staniloff HM, Ellrodt AG, Pichler M, Swan HJ, Berman DS. Variable spectrum and prognostic implications of left and right ventricular ejection fraction in patients with and without clinical heart failure after acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1986;58:387-393.
3. White HD, Norris RM, Brown MA, Brandt PWT, Whitlock RML, Wild CJ. Left ventricular end-systolic volume as the major determination of survival after recovery from myocardial infarction. *Circulation* 1987;76:44-51.
4. Gerber TC, Behrenbeck T, Allison T, Mullan BP, Rumberger JA, Gibbons RJ. Comparison of measurement of left ventricular ejection fraction by Tc-99m sestamibi first-pass angiography with electron beam computed tomography in patients with anterior wall acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1999;83:1022-1026.
5. Seter RM, Fischer SE, Lorenz CH. Quantification of left ventricular function with magnetic resonance images acquired in real time. *J Magn Reson Imaging* 2000;12:430-438.
6. Spuentrup E, Schroeder J, Mahnken AH, Schaeffter T, Botnar RM, Kuhl HP, Hanrath P, Gunther RW, Buecker A. Quantitative assessment of left ventricular function with interactive real-time spiral and radial MR imaging. *Radiology* 2003;227:870-876.
7. Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, Raaijmakers R, Pattynama PM, de Feyter PJ. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2002;106:2051-2054.
8. Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B, Schlundt C, Bautz W, Daniel WG, Achenbach S. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multi-planar reconstruction. *Circulation* 2003;107:664-666.
9. Nikolaou K, Knez A, Rist C, Wintersperger BJ, Leber A, Johnson T, Reiser MF, Becker CR. Accuracy of 64-MDCT in the diagnosis of ischemic heart disease. *Am J Roentgenol* 2006;187:111-117.
10. Kim TH, Ryu YH, Hur J, Kim SJ, Kim HS, Choi BW, Kim Y, Kim HJ. Evaluation of right ventricular volume and mass using retrospective ECG-gated cardiac multi-detector computed tomography: comparison with first-pass radionuclide angiography. *Eur Radiol* 2005;15:1987-93.
11. Kim TH, Hur J, Kim SJ, Kim HS, Choi BW, Choe KO, Yoon YW, Kwon HM. Two-phase reconstruction for the assessment of left ventricular volume and function using retrospective ECG-gated MDCT: comparison with echocardiography. *Am J Roentgenol* 2005;185:319-325.
12. Juergens KU, Fischbach R. Left ventricular function studies with MDCT. *Eur Radiol* 2006;342-357.
13. Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, Niel J, Ebner C, Steringer-Mascherbauer R, Schmidt F, Galuschky C, Schummers G, Lang RM, Nesser HJ. Quantitative assessment of left ventricular size and function: side-by-side comparison of real-time three-dimensional echocardiography and computed tomography with magnetic resonance reference. *Circulation* 2006;114:654-661.
14. Orakzai SH, Orakzai RH, Nasir K, Budoff MJ. Assessment of cardiac function using multidetector row computed tomography. *J Comput Assist Tomogr* 226;30:555-563.
15. Lessick J, Mutlak D, Rispler S, Gherin E, Dragu R, Litmanovich D, Engel A, Reisner SA, Agmon Y. Comparison of multidetector computed tomography versus echocardiography for assessing regional left ventricular function. *Am J Cardiol* 2005;96:1011-1015.
16. Schlosser T, Pagonidis K, Herborn CU, Hunold P, Waltering KU, Lauenstein TC, Barkhausen J. Assessment of left ventricular parameters using 16-MDCT and new software for endocardial and epicardial border delineation. *Am J Roentgenol* 2005;184:765-773.
17. Heuschmid M, Rothfuss JK, Schroeder S, Fenchel M, Stauder N, Burgstahler C, Franow A, Kuzo RS, Kuettner A, Miller S, Claussen CD, Kopp AF. Assessment of left ventricular myocardial function using 16-slice multidetector-row computed tomography: comparison with magnetic resonance imaging and echocardiography. *Eur Radiol* 2006;16:551-559.



18. Salm LP, Schuijf JD, de Roos A, Lamb HJ, Vliegen HW, Jukema JW, Joemai R, van der Wall EE, Bax JJ. Global and regional left ventricular function assessment with 16-detector row CT: comparison with echocardiography and cardiovascular magnetic resonance. *Eur J Echocardiogr* 2006;7: 308-314.
19. Juergens KU, Seifarth H, Maintz D, Grude M, Ozgun M, Wichter T, Heindel W, Fischbach R. MDCT determination of volume and function of the left ventricle: are short-axis image reformations necessary? *Am J Roentgenol* 2006;186(S):371-378.
20. Grude M, Juergens KU, Wichter T, Paul M, Fallenberg EM, Muller JG, Heindel W, Breithardt G, Fischbach R. Evaluation of global left ventricular myocardial function with electrocardiogram-gated multidetector computed tomography: comparison with magnetic resonance imaging. *Invest Radiol* 2003;38:653-661.
21. Setser RM, Fischer SE, Lorenz CH. Quantification of left ventricular function with magnetic resonance images acquired in real time. *J Magn Reson Imaging* 2000;12:430-438.
22. Achenbach S, Ropers D, Kuettner A, Flohr T, Ohnesorge B, Bruder H, Theessen H, Karakaya M, Daniel WG, Bautz W, Kalender WA, Anders K. Contrast-enhanced coronary artery visualization by dual-source computed tomography—Initial experience. *Eur J Radiol* 2006;57:331-335.
23. Mahnken AH, Muhlenbruch G, Gunther RW, Wildberger JE. Cardiac CT: coronary arteries and beyond. *Eur Radiol* (in press)
24. Kurata A, Mochizuki T, Koyama Y, Haraikawa T, Suzuki J, Shigematsu Y, Higaki J. Myocardial perfusion imaging using adenosine triphosphate stress multi-slice spiral computed tomography: alternative to stress myocardial perfusion scintigraphy. *Cir J* 2005;69:550-557.
25. Gould KL, Lipscomb K. Effects of coronary stenoses on coronary flow reserve and resistance. *Am J Cardiol* 1974;34: 48-55.
26. Kim RJ, Chen EL, Lima JA, Judd RM. Myocardial Gd-DTPA kinetics determine MRI contrast enhancement and reflect the extent and severity of myocardial injury after acute reperfused infarction. *Circulation* 1996;94:3318-3326.
27. Sandstede JJW. Assessment of myocardial viability by MR imaging. *Eur Radiol* 2003;13:52-61.
28. Ko SM, Seo JB, Hong MK, Do KH, Lee SH, Lee JS, Song JW, Park SJ, Park SW, Lim TH. Myocardial enhancement pattern in patients with acute myocardial infarction on two-phase contrast-enhanced ECG-gated multidetector-row. *Computed tomography*. *Clin Radiol* 2006;61:417-422.
29. Lipton MJ, Higgins CB. Evaluation of ischemic heart disease by computerized transmission tomography. *Radiol Clin North Am* 1980;18:557-576.
30. Kramer PH, Goldstein JA, Herkenes RJ, Lipton MJ, Brundage BH. Imaging of acute myocardial infarction in man with contrast-enhanced computed transmission tomography. *Am Heart J* 1984;108:1514-1523.
31. Mahnken AH, Koos R, Katoh M, Wildberger JE, Spuentrup E, Buecker A, Gunther RW, Kuhl HP. Assessment of myocardial viability in reperfused acute myocardial infarction using 16-slice computed tomography in comparison to magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:2042-2047.
32. Paul JF, Wartski M, Caussin C, Sigal-Cinqualbre A, Lancelin B, Angel C, Dambrin G. Late defect on delayed contrast-enhanced multi-detector row CT scans in the prediction of SPECT infarct size after reperfused acute myocardial infarction: initial experience. *Radiology* 2005;236:485-489.
33. Nikolaou K, Sanz J, Poon M, Wintersperger BJ, Ohnesorge B, Rius T, Fayad ZA, Reiser MF, Becker CR. Assessment of myocardial perfusion and viability from routine contrast-enhanced 16-detector-row computed tomography of the heart: preliminary results. *Eur Radiol* 2005;15:864-871.
34. Koyama Y, Matsuoka H, Mochizuki T, Higashino H, Kawakami H, Nakata S, Aono J, Ito T, Naka M, Ohashi Y, Higaki J. Assessment of reperfused acute myocardial infarction with two-phase contrast-enhanced helical CT: prediction of left ventricular function and wall thickness. *Radiology* 2005;235: 804-811.
35. Ko SM, Kim YW, Han SW, Seo JB. Early and delayed myocardial enhancement in myocardial infarction using two-phase contrast-enhanced Multidetector-row CT. *Korean J Radiol* (in press)



Peer Reviewer Commentary

서준범 (울산의대 영상의학과)

본 논문은 최근 이용이 증대되는 다검출기 CT를 이용한 심기능, 관류능, 생존능 평가에 대한 논문이다. 이 논문은 비교적 체계적으로 각 영역에 대한 소개와 현재 기술적, 임상적인 수준을 잘 설명하고 있다.