

심장 자기공명영상

이 종 민

심장의 영상화에 장애가 되는 요인은 심장 운동, 호흡, 심장 내 혈류 등에 의한 인공물 (artifact) 과 심장 조직의 용적이 작용으로 인한 낮은 신호 대 잡음비 등이 있다. 심장 운동에 의한 화질 저하를 막기 위해 신속영상기법(fast imaging technique) 을 이용하여 심장 운동의 특정 위상(phase) 에서만 영상을 얻는 심장동기(cardiac gating) 방법을 이용하고 있다. MRI를 이용한 심장의 검사는 심장의 형태, 심실 기능, 심근 판류, 심근 대사, 관상동맥 영상 등을 대상으로 한다. 심장의 형태적 진단에 있어서 심근내 수분의 정도와 지방조직을 보기 위해 이중(double) 혹은 삼중역전회복기법(triple inversion recovery technique) 을 사용한다. 심근판류검사를 위해서는 조영증강신속경사에코법(contrast-enhanced fast gradient echo technique)을 사용하여 일차통과조영증강(first-pass enhancement) 을 검사한다. 또한 10-15분 지연영상을 얻어 심근내 조영체의 재분포를 검사하여 만성심근경색 등의 심근파괴부위를 확인한다. 심실기능 평가를 위해서는 신속경사에코법을 이용한 영화영상(cine image) 이 사용되며 심실의 국소적 운동이상 및 심실기능의 정량적 검사가 가능하다. MRI는 관상동맥영상을 제외한 포괄적 심장검사에 실용성이 있다. 특히 지연영상은 다른 검사장비에선 얻을수 없는 유용한 정보이다.

서 론

인체 내에서 물리적 운동을 하는 대표적인 장기인 심장은 빠른 속도로 지속적인 운동을 하는 극도의 기능성 장기로서 심장 질환의 증상 역시 물리적 기능의 이상으로 인한 경우가 대부분이다. 따라서 심장 질환의 진단에 있어서 심장의 기능적 이상을 파악하는데 중점을 두어 왔다. 심초음파도는 심장의 형태를 관찰하기는 하지만 이 역시 심장 운동의 이상을 파악하기 위한 것이고 심장을 관찰할 수 있는 창(window) 이 제한되어 있어 철저한 형태적 진단 (morphological diagnosis) 을 하기에는 문제가 있다 (1). 많은 수의 심장 질환 환자에서 심장의 형태적 이상을 초래하게 되므로 형태적 진단의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 지속적으로 운동을 하는 심장의 특

성상 심장을 영상화하기에는 많은 어려움이 있어왔다. 심장의 형태를 보기 위한 고전적인 방법인 흉부방사선 활영은 심장의 윤곽은 볼 수 있으나 심장내부의 모양을 관찰하기 어렵고, 심초음파도는 심장의 내부를 볼 수는 있으나 그 해상도가 낮고 창의 제한이 있다. 과거에는 흉부방사선상의 심장 윤곽으로 심장 내부 이상을 진단하려는 노력이 있었으나 대부분의 경우에서 정확도가 낮았다. 그러나 심장의 빠른 움직임 속에서도 심장 영상을 얻을 수 있는 MRI와 전자선단층촬영기 (EBT) 그리고 다평면단층촬영기 (MDCT)의 출현으로 심장의 형태적 진단이 가능하게 되었고 현재 임상적 유용성이 인정되고 있다 (2, 3). 심장의 검사에 MRI를 이용하는 경우 심초음파도에 비해서는 관심 영역 (Field of view, FOV) 을 크게 설정할 수 있고, 다평면투사 (Multiplanar projection) 가 가능하며, 방사선 피폭이 없고, 비 침습적이며, 검사자에 관계없는 객관적 영

대한자기공명의과학회지 11:1-9(2007)

¹경북대학교 의과대학 진단방사선과학교실

접수 : 2007년 3월 24일, 채택 : 2007년 5월 21일

통신저자 : 이종민, 경북대학교 의과대학 진단방사선과학교실, 대구광역시 중구 삼덕 2가 50번지

Tel. (053) 420-5472 Fax. (053) 422-2677 E-mail: jongilee@knu.ac.kr

상을 얻을 수 있다는 장점이 있다 (4, 5). 단점으로는 해상도가 MDCT 나 Angiography 보다 낮고 검사 시간이 길고 검사 비용이 고가라는 점이다 (6). 본 논문에서는 MRI를 이용한 심장검사의 기법에 대하여 고찰해 보기로 한다 (Table 1).

본 론

1. 심장 MRI 검사의 기본 조건 및 전 처치

심장의 영상화에 장애가 되는 요인은 심장 운동, 호흡, 심장 내 혈류 등에 의한 artifact와 심장 조직의 웅적이움으로 인한 낮은 신호 대 잡음비 등이 있다 (6). 심장 운동에 의한 화질 저하를 막기 위해 신속영상펄스열(fast imaging sequence) 을 이용하여 심장 운동의 특정 위상(phase) 에서만 영상을 얻는 심장동기(cardiac gating) 방법을 이용하고 있다 (7, 8). 이 방법으로 심장 운동에 의한 인공물(artifact) 은 대부분 제거되나 검사 시간이 길어지게 된다. 호흡에 의한 심장의 위치 변화를 방지하기 위한 방법으로는 활영 시간을 짧게 하여 호흡을 중지한 상태에서 활영한다. 그러나 충분한 신호를 획득하지 못하므로 화질이 높지 못하다는 단점이 있다 (9). 따라서 1회 활영 시 하나의 단면만을 검사하는 방법이 이용되고 있는데 이 경우 호흡 중지 상태에서도 각 단면에 수초간의 활영 시간을 할애할 수 있어 고화질의 영상을 얻을 수 있다. 그 외에도 흡광의 확장 정도를 측정하여 동일 확장 위상에서 활영하게 함으로써 호흡동기(respiratory gating) 를 하는 방법이 있으나 활영 시간이 길어진다는 단점이 있고 특히 심장동기와 같이 사용할 경우 활영 시간은 더욱 길어지게 된다 (10). 또한 호흡에 의한 횡경막의 이동을 포착하여 이동 범위만큼을 보정함으로써 호흡 중지나 호흡 연동 없이 고화질의 영상을 얻는 연구도 보고되고 있다 (11, 12). MRI의 신호 강도는 기본 단위인 화적소(voxel) 의 웅적과 관계가 있는데

심장의 경우 신호를 얻을 수 있는 심근의 웅적이 작고 심장이 체내 중심부에 위치하므로 신호 강도가 약하다. 이 경우 화적소의 웅적을 크게 하면 신호 강도를 증가시킬 수는 있으나 공간 해상도의 감소가 초래된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 표면검출기(surface coil) 를 이용하게 되며 신호를 포착하는 검출기(coil) 를 최대한 심장 가까이에 위치시킴으로써 신호 강도를 증가시키게 되고 높은 해상도의 영상을 얻을 수 있다 (13).

MRI를 이용한 심장의 검사는 심장의 형태(Morphology), 심실기능(Ventricular function), 심근관류(Myocardial perfusion), 심근대사(Myocardial metabolism), 판상동맥영상(Coronary artery imaging) 등을 대상으로 한다 (14). (심장 검사의 경우 MRI의 기종과 설치된 기관 및 운용하는 방사선과 의사에 따라서 약간씩 다른 프로토콜(protocol) 을 따르게 되나 본 논문에서는 저자가 소속된 기관을 기준으로 설명하겠다.) 이러한 심장 MRI 를 위한 전 치료는 18-20 게이지의 침(needle)을 이용하여 가급적 우전주정맥(right antecubital vein)에 경정맥도관(intravenous line)을 확보하는 것이 좋은데 이는 조영제의 일시주사(bolus injection)의 효과를 높여 심근 관류 영상의 품질을 좋게 하기 위함이다. 즉 우전주정맥은 우상완두정맥(right brachiocephalic vein)을 통하여 우심방(right atrium) 으로 바로 연결된다. 반면 좌상지정맥(left upper extremity vein)은 좌상완두정맥(left brachiocephalic vein)에 연결이 되는데 고령자 또는 고혈압을 가지는 환자에서 좌상완두정맥은 상완두동맥(brachiocephalic artery)과 헝골 사이에서 압착(squeezing) 되는 경우가 가끔 발생하며 이 경우 일시주사의 효과는 감소되게 된다. 또한 마스크를 이용해 산소(2~3 L/min) 를 공급해 주면 검사 중 호흡 정지 시 환자의 불편함이 감소된다. 특히 심장 질환이 있는 환자들은 호흡곤란(dyspnea)을 동반하는 경우가 많으므로 산소의 공

Table 1. Cardiac MRI Protocol

Evaluation target	Performances
Preparation	18-20G needling into right antecubital vein Oxygen supply via mask (2 - 3 L/min)
Morphology	Triple inversion recovery fast spin echo sequence at short axis and 4 chamber views Double inversion recovery fast spin echo sequence at short axis and 4 chamber views
Myocardial perfusion	Adenosine infusion (140 µg/kg/min) for 6 minutes Bolus injection of 0.1 mmol/kg gadolinium contrast medium at the rate of 4 - 5 ml/sec Repeated multislice short axis image by fast gradient echo sequence Break for 10 - 15 min or until normalized heart rate Bolus injection of 0.1 mmol/kg gadolinium contrast medium at the rate of 4 - 5 ml/sec Repeated multislice short axis image by fast gradient echo sequence
Ventricular function	Fast phase contrast sequence (2D FIESTA) cine imaging at short axis and 4 chamber views Dobutamine injection (5 µg/kg/min - 20 µg/kg/min) Fast phase contrast sequence (2D FIESTA) cine imaging at short axis and 4 chamber views
Delayed perfusion	fast inversion recovery sequence at short axis view

급이 영상의 질을 향상시킬 수 있다.

2. 심장의 형태적 분석(morphological evaluation)

심장의 형태적 진단은 상기한 바와 같은 심장 운동, 호흡, 신호 강도 등을 보정한 상태로 시행하게 된다. 이때 영상면(imaging plane)은 주로 4 chamber view, short axis view, 2 chamber view로 얻게 된다. 이러한 영상면을 얻기 위해 먼저 위치결정(localization)용 경사에코펄스열(gradient echo sequence)을 이용하여 축면(axial), 시상면(sagittal), 관상면(coronal) 영상을 얻는다. 축면영상에서 좌심실 첨부와 승모판(mitral valve)의 중심을 연결한 선 또는 심실중격에 평행한 선을 따라 2 chamber view를 얻는다. 이 경우 좌심실과 좌심방을 잇는 시상면이 관찰된다. 이 영상에서 좌심실 첨부와 승모판의 중심을 잇는 선을 따라 4 chamber view를 얻은 다음 4 chamber view에서 심실중격에 수직된 선을 따라 short axis view를 얻는다 (Figure 1).

형태적 진단에 있어서 먼저 심근내의 수분 증가, 즉 심근부종을 확인하기 위하여 T2강조스핀에코펄스열(T2-weighted spin echo sequence)과 유사한 효과를 보이며 호흡 정지 중

에 영상 획득이 가능한 삼중역전회복펄스열(triple inversion recovery fast spin echo sequence)을 이용한다. 이 경우 심근허혈(myocardial ischemia)이나 심근염(myocarditis)에 의한 국소적 심근부종을 확인할 수 있다. 심장내의 유동성 혈액은 신호소실(Signal loss)로 나타나며(black blood technique) 정적인 수분은 고신호강도를 보인다. 또한 지방의 신호는 억제되어 등강도(isointensity)를 보인다 (Figure 1d).

이어서 T1강조스핀에코펄스열(T1 weighted spin echo sequence)과 유사한 이중역전회복신속스핀에코펄스열(double inversion recovery fast spin echo sequence)을 이용하여 영상을 획득한다. 이 경우 역시 흑혈류기법(black blood technique)으로서 혈류는 신호소실을 보인다. 지방 신호는 강하게 나타나게 되어 심외막(epicardial)과 심낭막(pericardial) 지방이 저명하게 관찰된다. 특히 이 펄스열의 경우 심근내내섬유지방성침윤(fibrofatty infiltration)을 보이는 만성심근염(chronic myocarditis)이나 부정맥성우심실이형성증(arrhythmogenic right ventricular dysplasia, ARVD)의 진단에 유용하다. 심근병증(cardiomyopathy), 심근염, 심장종양 등의 경우는 조영증강검사를 할 수 있다. 이 경우 일회량

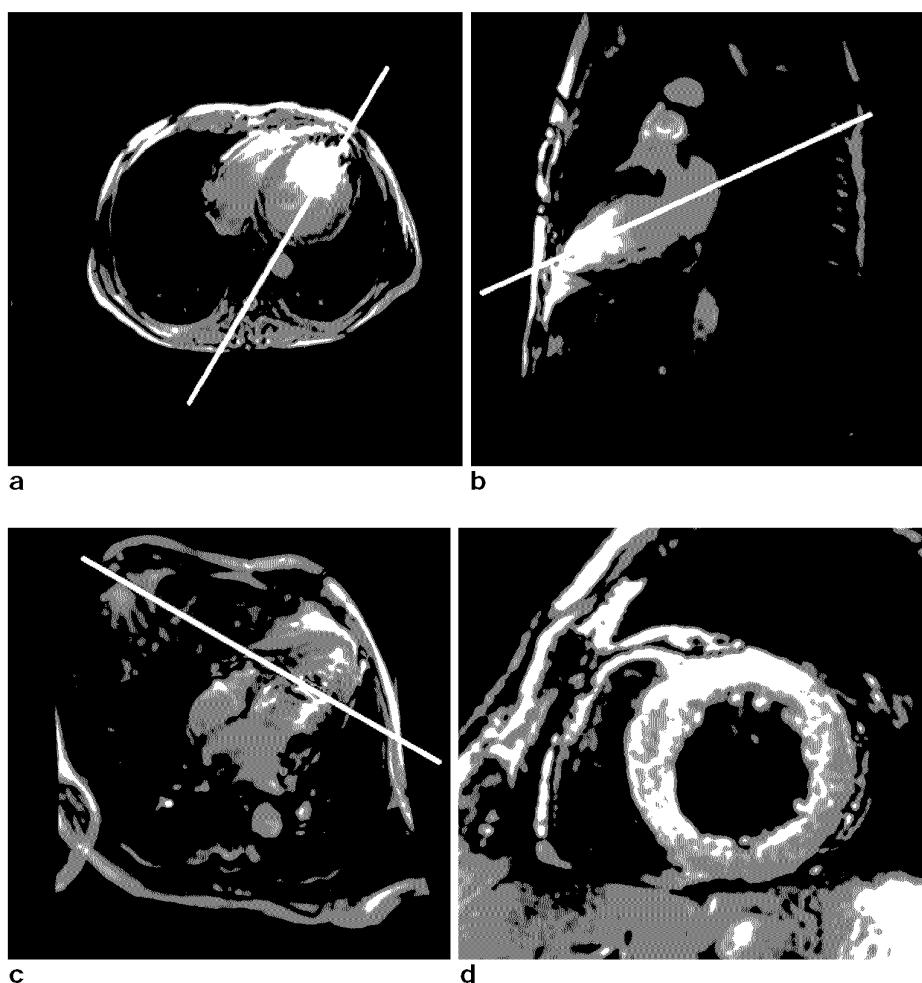


Fig. 1. Imaging plane set up. On an axial image (**a**), a scanning plane can be drawn between apicoanterior and inferobasal aspects of left ventricular wall parallel to interventricular septum. The scanning plane can generate 2 chamber view. On a 2 chamber view (**b**), pseudo 4 chamber view can be acquired along the plane between left ventricular apex and center of mitral valve. A perpendicular scanning plane to interventricular septum in a pseudo 4 chamber view (**c**), a short axis image (**d**) can be acquired.

(single dose) 의 조영제를 서서히 정맥 주사 후 동일한 펠스열을 이용하여 영상을 얻게 된다 (Figure 2).

3. 심근관류검사(myocardial perfusion scan)

허혈성 심장병이 의심되는 경우는 형태적 검사를 위한 조영증강영상으로서 심근관류검사를 시행한다. 이 경우 신속경사에 코펠스열(Fast gradient echo sequence)을 이용하여 좌심실

전체를 포함하는 다중절편단축면상(multislice short axis image)을 1초마다 반복적으로 얻게 되며 약 40초 정도 진행된다. 이때 조영제는 일시주사를 하게 되며 용량은 0.1 mmol/kg 즉 표준용량을 이용하게 된다. 조영제 주입 5초 후 영상의 획득을 시작하여 비조영증강기(non-enhanced phase)에서 동맥조영증강기(arterial enhancement phase)를 거쳐 정맥조영증강기(venous enhancement phase) 까지 영상을 얻

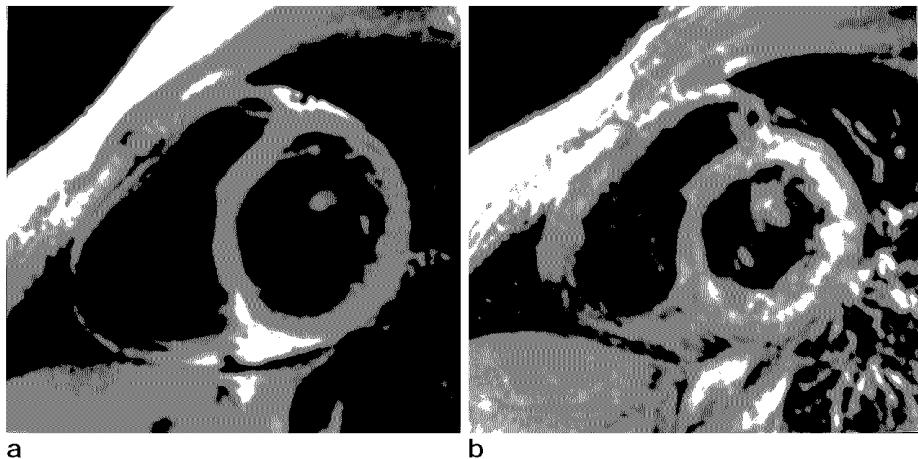


Fig. 2. A short axis double inversion recovery image along the mid ventricular level (**a**) shows signal void in cardiac chambers and hyperintense fatty structure indicating T1-weighted effect. A fat-suppressed short axis double inversion recovery image after gadolinium contrast media infusion (**b**) shows decreased fat signal and enhanced endocardium.

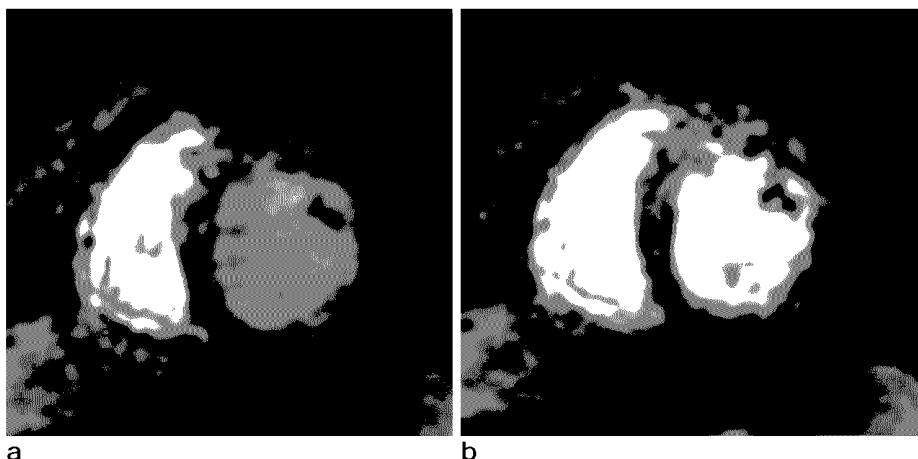
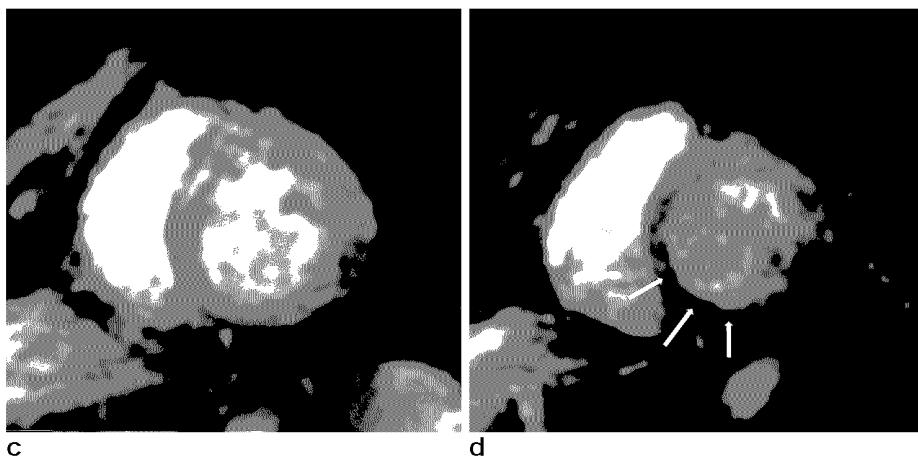


Fig. 3. Myocardial perfusion can be evaluated using repetitive fast gradient echo imaging during the first pass of contrast media. Initially right ventricle is enhanced (**a**), subsequently left ventricular (**b**) and myocardial (**c**) enhancement follows. In this phase, myocardial enhancement defect implies perfusion defect (arrows in **d**).



는다. 환자는 호흡을 중지한 상태로 검사를 시작하게 되나 호흡이 가쁜 경우 검사 도중이라도 잔잔한 호흡을 할 수 있게 한다. 허혈성 심질환이 의심되는 경우 환자의 생체 징후를 관찰하면서 부하관류검사(Stressed perfusion test)를 시행하기도 한다 (15). 관상동맥의 확장(vasodilatation)을 유도하여 심근관류의 차이를 극대화 시킴으로써 관류감소 부위를 더 정확히 파악할 수 있다. 이를 위해 단기작용혈관확장제(short acting vasodilator)인 Adenosine을 주로 사용한다. 140 μ g/kg/min의 용량을 6분 정도 정맥주사 하게 되며 이때 심박동수는 현저히 증가되게 된다. 과도한 부하를 방지하기 위하여 환자가 흉부불쾌감(chest discomfort)나 호흡곤란을 느끼면 신호를 보내도록 하고 이상 시 즉시 약물 투입을 중단한다. 이 경우 수초 내 증상은 완화된다. 부작용 없이 Adenosine의 정맥주사가 완료되면 즉시 심근관류검사를 시행하여 부하영상을 얻게 된다. 이후 약 10 ~ 15분 정도 휴식을 하면서

심박동수가 정상으로 회복되면 안정심근관류검사(resting myocardial perfusion scan)를 동일한 폴스열을 이용하여 얻게 된다 (Figure 3).

4. 심실기능검사(ventricular function test) 및 지연심근관류검사(delayed myocardial perfusion test)

심장의 기능적 평가를 위하여 영화영상을 얻을 수 있다. 이 경우 위상대조폴스열(phase contrast sequence)의 일종인 2D FIESTA sequence를 이용한다. Short axis와 4 chamber view를 따라 각 영상마다 호흡을 멈추면서 획득하는 단일절편획득(single slice acquisition)을 주로 사용하나 일회 호흡정지로 모든 영상을 얻는 다중절편획득(multislice acquisition)도 가능하다. 이렇게 얻어진 영화영상은 정성적으로 분석하여 국소벽운동이상(regional wall motion abnormality)을 확인할 수 있다. 또한 자료를 영상분석워크스테이션(image processing

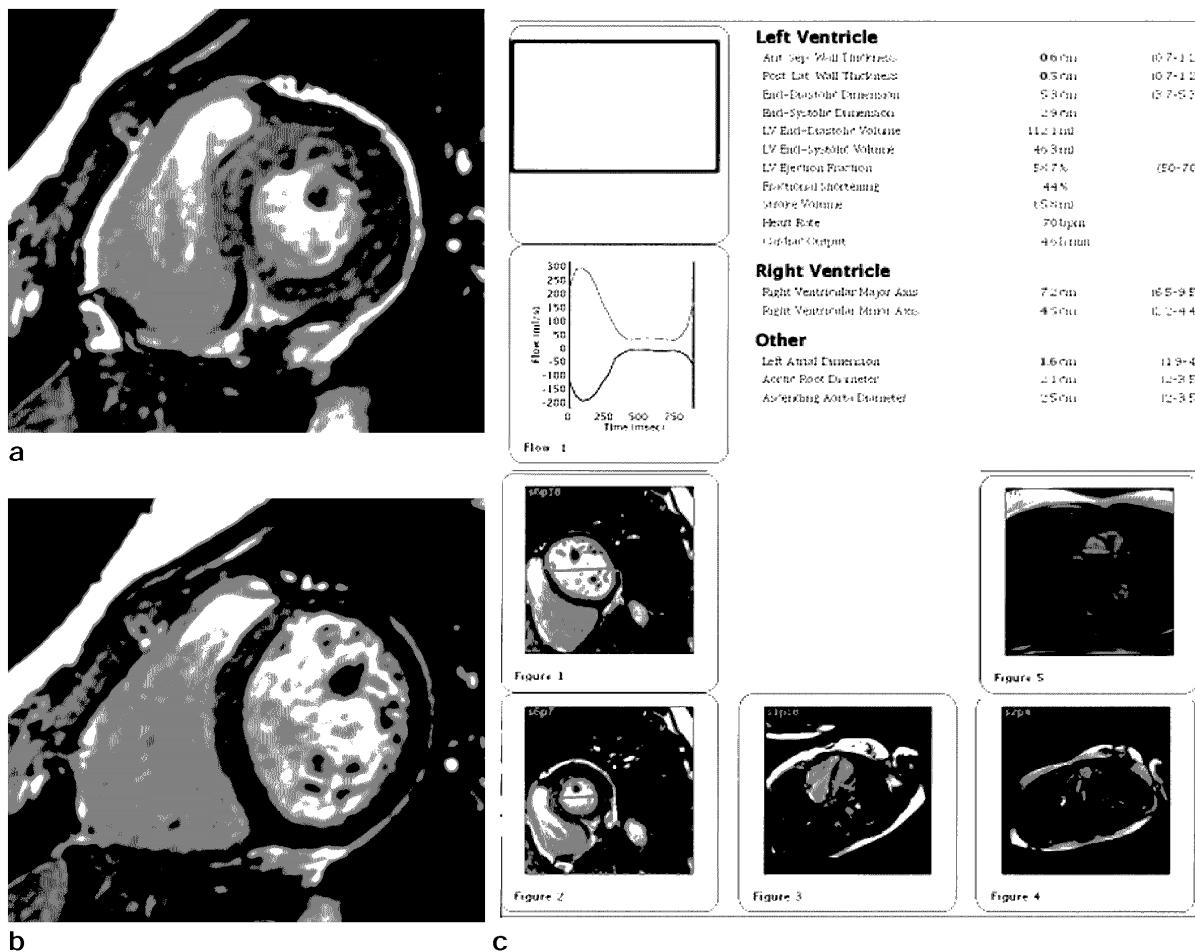


Fig. 4. Ventricular function can be evaluated using cine MRI. ECG-gated fast gradient echo sequence is acquired along the short axis. In cine loop display, global and regional ventricular wall motion can be checked qualitatively. After endocardial and epicardial segmentation at end-systolic (**a**) and end-diastolic (**b**) phases, quantification is possible by temporal phases. Based on this measurement, quantitative data of ventricular function such as end-diastolic volume, end-systolic volume, stroke volume, cardiac output, myocardial muscle mass, ventricular filling rate, and so on can be calculated (**c**).

workstation)으로 옮긴 후의 오프라인기법으로써 정량적 분석도 가능하다. 이 경우 심실의 심내막과 심외막 경계를 분획화(segmentation)하여 각 부분의 용적 변화를 측정함으로써 말기확장기용적(end-diastolic volume), 말기수축기용적(end-systolic volume), 일회박출량(stroke volume), 심박출량(cardiac output), 박출계수(ejection fraction), 심근질량(myocardial muscle mass) 등의 심실 기능 평가 지표들의 측정이 가능하다. 또한 국소적벽운동 및 벽비후(regional wall motion & thickening)를 측정하여 극지도(polar map) 형태로 표현도 가능하다. 이러한 정량적 분석을 통하여 심장 기능에 대한 포괄적 정보를 얻을 수 있다 (Figure 4).

영화영상을 얻기 전에 전자기펄스(RF pulse)를 이용하여 심근내 얇은 격자 모양의 면들을 전포화(presaturation) 시킨 후 영상을 얻는 경우가 있는데 이를 심근표지기법(myocardial tagging technique)이라고 한다. 이 경우 심근에 삼차원적 좌표가 설정되므로 심실 수축 및 확장에 따른 각 좌표의 이동 방향과 거리를 측정할 수 있고 심실 각 부분의 수축정도(contractility)와 긴장도(strain)을 정량적으로 검사할 수 있다 (16). 이러한 긴장도의 측정을 위해서는 각 좌표의 정확한 위치확인이 필수적이며 심근표지기법을 이용할 경우 그 공간해상도는 0.1 mm에 달한다고 보고되고 있다 (17). 그러나 분석에 시간과 노력이 많이 소모된다는 단점이 있어 심장 기능의 평가가 꼭 필요한 경우에만 시행하고 있다.

영화영상을 이용한 심장기능검사시 허혈성 심질환이 의심이 되나 안정기 영상에서 정상 소견을 보이는 경우 부하영화영상(stressed cine imaging)을 할 수 있다. 이때 사용되는 약물은 Dobutamine이며 5 µg/kg/min 부터 시작해 20 µg/kg/min 까지 5µg씩 증량하면서 영화영상을 얻는다. 약 3분 정도 정맥주사 후 영상을 얻고 다시 증량하여 3분 정도 주입 후 영상을 얻는다. 이렇게 반복적으로 부하를 높여가며 영상을 얻는 도중 심장벽운동이상이 관찰되거나 흉부불쾌감과 같은 부작용이 발생되면 투약을 중지하고 환자를 관찰한다. 이 부하검사를 위해서는 환자감시장치(patient monitor)는 반드시 연결되어 있어야 하며 심폐소생기트를 준비해 둔 상태에서 검사를 시작하여야 한다. 초기에는 심장 내과 의사의 도움을 받는 것도 중요하다 (18).

심장 기능의 검사가 종료된 이후 즉시 지연조영증강영상(delayed enhancement imaging)을 시행한다. 이 검사는 앞서 심근관류검사를 위해 주입한 조영제의 지연조영증강 양상을 검사하기 위한 것이며 심근관류검사 후 약 10 ~ 15분 후에 시행하게 된다. 즉 별도의 조영제 주입은 필요 없다. 이 경우 심근관류검사와 동일한 펠스열이나 신속역전회복기법(fast inversion recovery technique, f-GRIR prep)을 이용하게 된다. 심근 허혈 등의 원인으로 심근의 파괴가 진행되어 동맥 벽의 투과력이 증가되어 있는 경우 조영제인 가돌리늄화합물(Gadolinium compound)이 혈관외유출(extravasation) 된 후 정맥으로 배출되지 못하고 세포외액공간(extracellular fluid

space) 내에 축적(trapping) 되므로 자연영상에서 파괴된 심근 영역은 상대적으로 고신호강도를 유지하게 된다. 따라서 심근경색(myocardial infarction) 영역을 정확히 알 수 있게 될 뿐 아니라 심근염이나 비후성 심근병증(hypertrophic cardiomyopathy)의 경우에도 심근의 부분적 변성 또는 파괴를 확인할 수 있게 된다 (19) (Figure 5).

5. 기타 검사

심장의 형태적 기능적 평가가 끝나고 나면 심장 내 판막(valve)과 대혈관(great vessel) 내부의 혈류량을 측정함으로써 혈류 평가를 하기도 한다. 이 경우 이차원영화위상대조펠스열(2D cine phase contrast sequence)을 이용하여 자기강도영상(magnitude image)과 속도영상(velocity image)의 두 가지 영상을 얻을 수 있다. 속도영상의 신호강도는 각 화소 내의 평균속도를 반영한다. 화소간의 속도차이를 최대한 표현하기 위해서 최대속도범위에 특정 속도치를 부여해야 하는데 이것이 속도부호화(velocity encoding, Venc)이다. 임의로 입력한 Venc 치를 기준으로 신호강도의 회색조(gray scale)에 속도 절대치를 선형 대입하게 된다. 심장판막에서는 Venc 치를 약 150 m/sec로 설정하고 대동맥과 폐동맥간(pulmonary trunk)에서는 100 ~ 150 m/sec로 설정한다. 분획화된 혈류 단면의 영상에서 최대 정방향 및 역방향 혈류 속도를 측정할 수 있고 또한 평균 속도와 단면적의 곱으로 혈류량을 계산할 수 있으며 시간-혈류량 곡선(time-flow curve)를 그릴 수 있다. 이러한 계산을 통하여 Qp/Qs, 단락

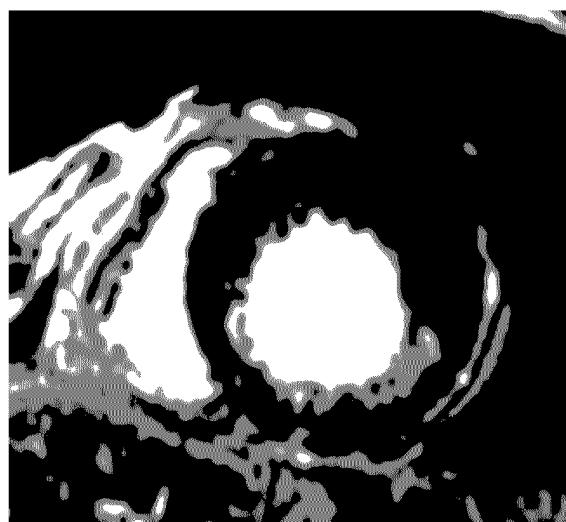


Fig. 5. Delayed enhancement imaging in 10 ~ 15 minutes can reflect the integrity of microvascular wall. In reperfused myocardial infarction or fibrotic scar, accumulated contrast media within extravascular space can show delayed enhancement due to decreased wash-out to venous system. Chronic subendocardial non-transmural infarction is noted in inferior wall of left ventricle.

분율(shunt fraction), 역류분율(regurgitation fraction), 심박 출량 등의 산출이 가능해 진다. 이 검사를 이용하면 단순한 심장의 운동성 검사뿐 아니라 도플러초음파도에서 관찰되는 혈류역학적 변화(hemodynamic change)도 검사할 수 있다(20, 21). 이 검사의 단점은 인공물과 영상단면에 따른 검사간변이도(inter-exam variability)가 높다는 것이나 MRI 장비의 개선으로 이 검사의 신뢰도는 높아지고 있는 추세이다 (Figure 6).

자기공명관상동맥혈관촬영술(Coronary MR angiography)은 최근 급격히 발전하고 있는 기능으로서 관상동맥질환의 비침습적 평가에 있어 실용적인 단계에 접어들고 있다. 최신 MRI 장비들의 경우 공간해상도 1 mm 정도의 고해상 관상동맥영상을 얻을 수 있다. 그러나 컴퓨터단층촬영관상동맥혈관조영술이나 고식적 관상동맥혈관조영술 등의 다른 검사 기법에 비해 검사 성공률이 낮으며 공간해상도도 낮아 관상동맥 분지의 검사에 아직은 제한점이 있다(6). 그러나 비침습적이며 조영제 주입 없이도 검사가 가능하고 동시에 수행되는 다른 심장 MRI 검사 기법들의 유용성 등을 고려한다면 그 실용성은 이미 크다고 할 수 있다.

자기공명분광법(MR spectroscopy)를 이용한 심근 대사의 검사는 현재 연구 단계에 있는데 심근내대사 산물들이 자장

내에서 보이는 상이한 반응을 이용해 각 대사물질의 상대적 농도를 측정함으로써 대사 이상을 진단하는 것이다. 주로 P-31의 분광을 얻음으로써 ATP, ADP, 무기인산염(inorganic phosphate), phosphocreatinine 등의 생성 정도를 검사하여 형태적 변화를 초래하기 이전의 혀혈성 병변을 진단하는데 이용한다.

결 론

심장 검사에 있어서 MRI의 형태적 진단법은 이미 임상 적용이 충분히 되어 유용하게 이용되고 있다. 그러나 심장 기능 및 심근 판류 검사는 타 검사 기법보다의 우수성에도 불구하고 검사 및 후처리 과정의 복잡성, 임상 의사와 방사선과 의사 간의 이견, 고성능 MRI 장비의 필요성 등으로 아직은 제한이 많다. 또한 관상동맥 영상을 지속적이고 실용성 있게 얻기가 쉽지 않아 아직도 자기공명관상동맥혈관촬영술은 보편적으로 사용되지 않는다. 그러나 심근판류 검사 후 얻는 지연 영상은 MRI에서만 (MDCT에서도 어느 정도 가능하지만) 관찰할 수 있는 정보이며 심근경색의 정확한 진단과 생존심근(viable myocardium)의 확인에 유용함이 인정되고 있으며 실용적 가치도 있어 널리 사용되고 있다. 현재 관상동맥영상

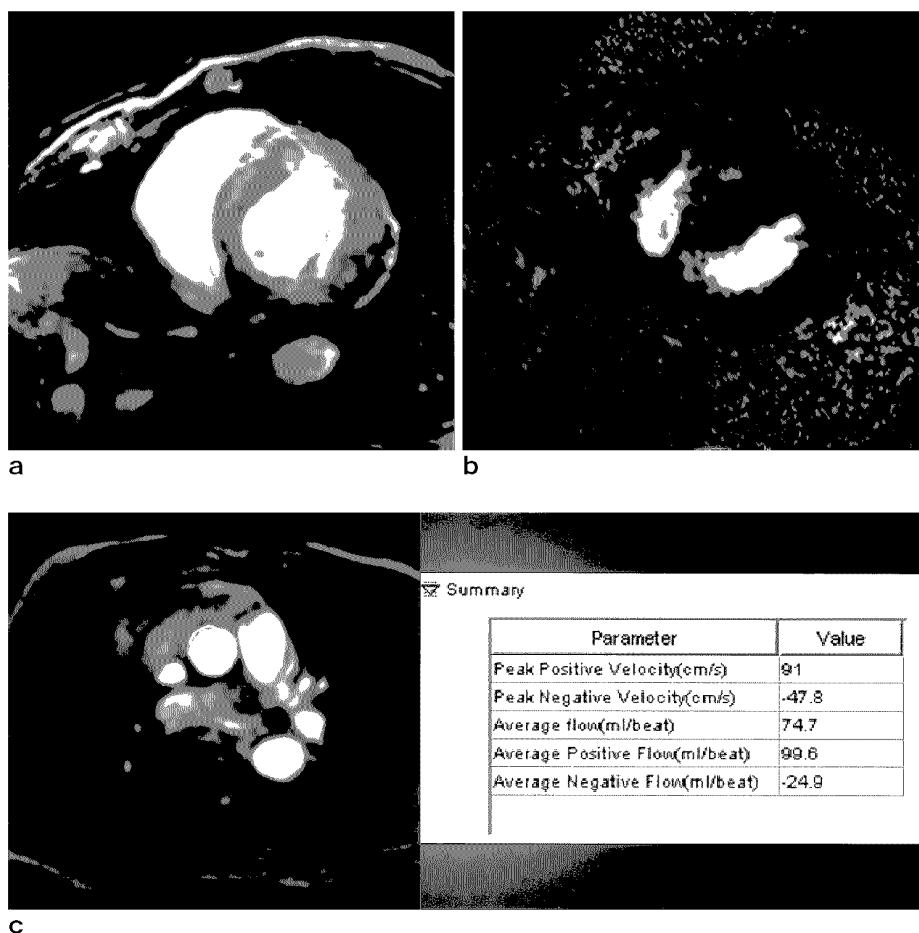


Fig. 6. Phase contrast flow imaging is feasible for blood flow quantification. Magnitude (**a**) and phase (**b**) images can be acquired simultaneously. By measuring velocity information after setting ROI in target vessel, flow volume can be calculated at ROI by ROI (**c**).

을 제외한 모든 심장 검사는 MRI로 실용적인 검사가 가능하다. 심실 기능 평가와 관상동맥영상을 좀더 용이하게 수행할 수 있게 장비의 개선이 이루어진다면 MRI는 명실공히 포괄적 심장 검사의 대표적 도구가 될 것이다.

참 고 문 헌

1. Husayni TS. Ultrafast computed tomographic imaging in congenital heart disease. In: Stanford W, Rumberger JA, editors. Ultrafast computed tomography in cardiac imaging: Principles and practice. Mount Kisco, NY: Futura publishing company, 1992;311-339.
2. Lee JJ, Kang DS. Feasibility of electron beam tomography in diagnosis of congenital heart disease: comparison with echocardiography. Eur J Radiol 2001; 38:185-190.
3. Yamamoto M, Tadamura E, Kubo S, et al. Cardiac functional analysis with multi-detector row CT and segmental reconstruction algorithm: Comparison with echocardiography, SPECT, and MR imaging. Radiology 2005; 234:381-390.
4. Higgins CB, Caputo GR. Acquired heart disease. In: Higgins CB, Hricak H, Helms CA, ed. Magnetic resonance imaging of the body. 2nd ed. New York: Raven Press, 1992;525-566
5. Naidich DP, Zerhouni EA, Siegelman SS. The heart and pericardium. In:Naidich DP, Zerhouni EA, Siegelman SS, ed. Computed tomography and magnetic resonance of the thorax. 2nd ed. New York: Raven Press, 1991;557-587
6. Reeder SB, Du YP, Lima FAC, Bluemke DA. Advanced cardiac MR imaging of ischemic heart disease. RadioGraphics 2001; 21:1047-1074.
7. Atkinson DJ, Edelman RR. Cineangiography of the heart in a single breath hold with a segmented turbo-FLASH sequence. Radiology 1991; 178:357-360.
8. McVeigh ER, Atalar E. Cardiac tagging with breath hold cine MRI. Magn Reson Med 1992; 28:318-327.
9. Wilke N, Kroll K, Merkle H, et al. Regional myocardial blood volume and flow: first-pass MR imaging with polylysine-Gd-DTPA. J Magn Reson Imaging 1995; 5:227-237.
10. Lewis CE, Prato FS, Drost DJ, Nicholson RL. Comparison of respiratory triggering and gating techniques for the removal of respiratory artifacts in MR imaging. Radiology 1986; 160:803-810.
11. Nehrke K, Boernert P, Manke D, Boeck J. Free-breathing cardiac MR imaging: Study of implications of respiratory motion - initial results.
12. Kaushikkar DLS, Haacke EM, Woodard PK, et al. Coronary arteries: three-dimensional MR imaging with retrospective respiratory gating. Radiology 1996; 201:857-863.
13. Weisskoff RW. Principles and instrumentation for cardiac magnetic resonance imaging. In:Skorton DJ, Schelbert HR, Wolf GL, Brundage BH, ed. Marcus cardiac imaging. 2nd ed. Pennsylvania: W.B.Saunders company, 1996;639-652
14. Zerhouni EA. Integrated cardiac magnetic resonance examination. In:Skorton DJ, Schelbert HR, Wolf GL, Brundage BH, ed. Marcus cardiac imaging. 2nd ed. Pennsylvania:W.B.Saunders company, 1996;667-671
15. Edelman RR. Contrast-enhanced MR imaging of the heart: Overview of the literature. Radiology 2004; 232:653-668
16. McVeigh ER. Regional myocardial function. Cardiol Clin 1999; 16:189-206.
17. Atalar E, McVeigh ER. Optimization of tag thickness for measuring of position with magnetic resonance imaging. IEEE Trans Med Imaging 1994; 13:152-160.
18. Kuijpers D, Janssen CH, Dijkman PR, Oudkerk M. Dobutamine stress MRI. Part I. Safety and feasibility of dobutamine cardiovascular magnetic resonance in patients suspected of myocardial ischemia. European radiology 2004; 14:1823-1828.
19. Saeed M, Wendland MF, Szolar D, Higgins CB. Contrast agent for cardiac MRI. In:Skorton DJ, Schelbert HR, Wolf GL, Brundage BH, ed. Marcus cardiac imaging. 2nd ed. Pennsylvania: W.B.Saunders company, 1996;652-666
20. Gatehouse PD, Keegan J, Crowe LA, et al. Applications of phase-contrast flow and velocity imaging in cardiovascular MRI. European Radiology 2005; 15:2172-2184.
21. Anderson CM. What is MRA? In:Anderson CM, Edelman RR, Turski PA, ed. Clinical magnetic resonance angiography. New York: Raven Press, 1993;1-10

Cardiac MRI

Jongmin Lee, M.D., Ph.D.

Kyungpook National University Hospital, Department of Diagnostic Radiology

The obstacles for cardiac imaging are motion artifacts due to cardiac motion, respiration, and blood flow, and low signal due to small tissue volume of heart. To overcome these obstacles, fast imaging technique with ECG gating is utilized. Cardiac exam using MRI comprises of morphology, ventricular function, myocardial perfusion, metabolism, and coronary artery morphology. During cardiac morphology evaluation, double and triple inversion recovery techniques are used to depict myocardial fluidity and soft tissue structure such as fat tissue, respectively. By checking the first-pass enhancement of myocardium using contrast-enhanced fast gradient echo technique, myocardial blood flow can be evaluated. In addition, delayed imaging in 10 - 15 minutes can inform myocardial destruction such as chronic myocardial infarction. Ventricular function including regional and global wall motion can be checked by fast gradient echo cine imaging in quantitative way. MRI is acknowledged to be practical for integrated cardiac evaluation technique except coronary angiography. Especially delay imaging is the greatest merit of MRI in myocardial viability evaluation.

Index words : Magnetic resonance imaging (MRI)

Heart

Myocardial infarction

Ventricular function

Myocardial perfusion

Address reprint requests to : Jongmin Lee, Department of Diagnostic Radiology, Kyungpook National University Hospital,
Samduk 2Ga, Jung-gu, Daegu 700-712, Korea.
Tel. 82-53-420-5472 Fax. 82-53-422-2677 E-mail: jonglee@knu.ac.kr