대한영상의학회지 2004;51:393 - 399

심근 생존능: 횡격막 운동 동기화 자유호흡 3차원 역전회복 경사에코 자기공명영상과 호흡정지 2차원 역전회복 경사에코 자기공명영상의 비교[1]

김진희 · 서준범 · 도경현 · 양동현 · 이수현 · 고성민 · 허정남 · 임태환

목적: 만성 허혈성 심질환 환자에서 괴사 심근의 지연조영증강을 평가함에 있어서 횡격막 운동 동기화 자유 호흡 3차원 역전회복 경사에코 자기공명영상(3D - MRI)과 호흡정지 2차원 역전회복 경사에코 자기공명영상(2D - MRI)을 비교하여 3D - MRI의 유용성을 알아보고자 하였다.
대상과 방법: 10명의 만성 허혈성 심질환 환자를 대상으로 1.5 - T 장비로 MRI를 시행하였다. 3D - MRI는 Gd - DTPA (0.2 mmol/kg, 4 cc/sec) 투여 10분 후에 단축면 영상으로 얻었으며 횡격막 운동 동기화 기법을 이용하여 전향적 호흡동기를 적용하였다. 2D - MRI는 3D - MRI 직후에 시행하였다. 각 기법에서 전체 심근과 지연조영증강을 보이는 심근, 즉 괴사 심근의 면적을 구하여 paired Student t - test와 Bland - Altman 방법을 이용하여 비교하였다. 60분절 모델을 이용하여 지연조영증강 영역의 통벽성 정도 및 분절폭을 각각 세 단계로 나누어 두 기법 간의 일치도를 kappa 통계 기법으로 비교하였다. 또한 전체 심근 영역을 첨부, 중간부, 기저부로 나누어 지연조영증강 영역이 각 부위에서 어떠한 차이를 보이는지 알아보았다.
결과: 두 기법 간에 전체 심근(p=0.11)과 괴사 심근(p=0.34)의 면적은 차이가 없었으며 Bland - Altman 분석에서 계통적 치우침도 보이지 않았다. 60분절 모델 분석에서 통벽성 정도(κ =0.674)와 분절폭(κ =0.615)은 잘 일치하였으나 심첨부에서 통벽성 정도의 일치도가 낮은 경향을 보였다.
결론: 만성 허혈성 심질환 환자에서 괴사 심근의 지연조영증강을 평가함에 있어서 3D - MRI는 2D - MRI와 높은 일치도를 보여 심근 생존능의 빠르고 정확한 평가가 가능하였다. 따라서 3D - MRI는 호흡 곤란이 심한 환자나 소아 환자의 심근 생존능을 평가하는 데 유용할 것이다.

심근 생존능(myocardial viability)은 허혈성 심질환 환자에서 향후 치료 방침을 결정하고 예후를 평가하는 데 매우 중요한 인자이다. 가돌리늄(gadolinium)을 이용한 지연조영증강(delayed hyperenhancement) MRI는 심근 생존능을 평가함에 있어서 매우 유용한 것으로 알려져 있으며(1 - 5) FDG - PET (fluorodeoxyglucose - positron emission tomography)과 비교한 연구에서도 높은 진단적 정확도와 신뢰도가 보고되었다(6, 7). 특히, 심근 괴사의 통벽성 정도(transmural extent)는 재관류 후의 심근 기능 회복을 예측하는 데 있어서 매우 중요하며 조영제를 이용한 MRI는 통벽성 정도를 포함한 심근 괴사의 정량화에 있어서 핵의학 영상 또는 심초음파에 비해 탁월히 우수한 검사 방법이다(1, 2).

최근에는 지연조영증강을 빠르고 정확하게 평가하기 위해 다양한 기법에 대한 연구가 많이 있었다(4, 8 - 10). 그 중 역전회복펄스(inversion recovery pulse)는 T1 이완 시간이 다른 조직에서 180도의 역전펄스를 가해 원하는 조직의 종축자기화가 0이 되는 순간, 즉 무효화 시점(null point)에 다시 펄스를 가하여 조직 간의 대조도를 높이는 방법으로 허혈성 심질환 환자에서는 정상 심근과 괴사 심근의 대조도를 높여 병변의 정확한 범위를 파악할 수 있게 한다. 따라서, 생존능을 평가하기 위한 심장 MRI에는 필수적인 요소로 널리 쓰이고 있다(8, 9). 지연조영증강 MRI의 빠른 영상을 위해서는 trueFISP (fast imaging with steady precession) 또는 turboFLASH (fast low angle shot) 기법이 주로 쓰이는 데 그 중 후자의 기법이 대조도가 가장 높은 영상을 얻을 수 있어서 흔히 쓰인다(8).

최근 주로 이용되는 2차원 반복호흡정지 MRI는 지연조영증강을 평가하는 데 우수한 공간해상도를 보이지만 각 절편마다 10 - 15초 동안 호흡을 참아야 하기 때문에 좌심실 전체를 검사하는 데는 6 - 15분 정도의 시간이 소요되어 첫 절편과 마지막 절편 영상 간에 조영제의 wash - out으로 대조도의 차이가 생길 수 있다(4, 10). 또한 반복적으로 호흡을 참아야 하기 때

[1]울산대학교 의과대학 서울아산병원 방사선과
이 논문은 2004년 6월 21일 접수하여 2004년 9월 2일에 채택되었음.

문에 심질환 환자에게는 힘들 수가 있으며, 특히 호흡 곤란이 심한 환자나 소아 환자를 검사하는 데 장애가 있다. 횡격막 운동 동기화 기법(navigator-echo sequence)은 호흡에 의해 움직이는 횡격막을 계속적으로 감시하여 정해진 범위 내에 횡격막이 포함될 때에만 영상을 획득하는 방법으로 이를 이용한 3차원 자유호흡 MRI는 환자 선택의 제한이 적으면서 검사 시간을 단축시킬 수 있다는 큰 장점이 있다(10). 반면, 3D-MRI 기법은 2D-MRI 기법에 비해서 공간해상도가 낮은 단점이 있다. 본 연구의 목적은 만성 허혈성 심질환 환자의 지연조영증강 영역, 즉 괴사 심근을 평가함에 있어서 3D-MRI와 2D-MRI를 비교하여 3D-MRI의 유용성을 알아보는 것이다.

대상과 방법

대상 집단

2003년 6월부터 10월까지 만성 허혈성 심질환을 가진 환자 중에서 2D-MRI와 3D-MRI를 모두 시행한 10명의 환자를 대상으로 후향적 연구를 하였으며 남자가 9명, 여자가 1명이였다. 연령은 54-71세 범위였고 평균 63.2세였다. 모든 환자는 침습적 관상동맥조영술에서 다양한 정도의 협착이 확인되었다. 심전도에서 부정맥을 보인 환자는 없었으며 심초음파에서의 평균 좌심실 박출계수(ejection fraction)는 34.8±10.1%였다. 한 명의 환자는 MRI를 시행하기 16개월 전에 관상동맥우회수술(coronary artery bypass surgery)을 받은 상태로 흉통이 재발하였으며 나머지 9명의 환자는 관상동맥우회수술을 위해 수술 전 평가를 목적으로 MRI를 시행하였다.

영상 획득

MRI는 1.5-T 장비(Gyroscan intera; Philips Medical Systems, Best, the Netherlands)와 five elements receiver coil array(SENSE-cardiac coil)를 이용하였다. 영화 영상(cine MRI)은 세 개의 장축면 영상과 좌심실의 기저부에서 심첨부까지를 포함하는 6-7개의 단축면 영상을 얻었다. 이후 영상획득과 동시에 Gd-DTPA(0.2 mmol/kg, 4 cc/sec)(Magnevist; Schering, Berlin, Germany)를 정맥 내 투여하여 초기 순환관류영상(first-pass perfusion image)을 얻었고 조영제 주입 10분 후 영화 영상의 단축면 영상과 같은 방향으로 3D-MRI및 2D-MRI를 시행하였다. 두 기법에서 사용한 변수는 Table 1에 요약하였다. 3D-MRI는 inversion recovery prepared turbofield echo(IR-TFE) 기법을 사용하였으며 호흡 동기와 심전도 동기를 함께 적용하였다. 횡격막 운동 동기화 기법에서 기둥(column)은 우측 횡격막의 지붕(dome)에 위아래 방향으로 위치시켰으며 수용창(acceptance window)은 6 mm로 고정하였다. 호흡 동기에 의한 움직임 보정은 전향적 방법을 사용하였다. 영상획득은 모든 심박동마다 이완기 중반에 유발되었으며 영상획득창(acquisition window)은 심박동수에 따라 달랐으나 분당 심박동수가 70회인 경우 113 msec였다. 역전 시간(inversion time)은 조영제 주입 후 정상 심근의 무효화 시점에 맞추어 환자마다 다르게 적용되었으며 220-280 msec 사이였다. 영상영역(field of view)은 250 mm, 행렬수(matrix)는 192×192 이였다. 좌심실 전체를 포함하여 10절편의 영상을 얻는 데 걸린 전체 영상 시간은 모두 4분 내외였다. 2D-MRI에서도 IR-TFE 기법을 사용하였다. 영상 획득은 모든 심박동마다 이완기 중반에 유발되었으며 영상획득창은 대표적으로 178 msec 였다. 역전 시간은 220-350 msec 사이였다. 영상영역은 320 mm, 행렬수는 304×265였다. 한 절편을 얻는데 10-15초간 숨을 참았으며 전체 영상 시간은 10분 내외였다. 모든 환자에서 3D-MRI를 먼저 시행하였으며 2D-MRI와의 시간 간격은 9분 내외였다.

분석 방법

한 명의 방사선과 의사가 영상을 분석하였으며 치우침을 없애기 위해 환자에 대한 정보는 노출시키지 않았다. 또한 각 환자의 3D-MRI 및 2D-MRI는 시간 간격을 두고 따로 분석하였다. 두 기법 간에 전체 심근과 지연조영증강 영역이 양적으로 일치하는 지 알아보았다. 각 절편에서 심내막과 심외막의 경계를 수동으로 그려서 면적을 구한 후에 절편 두께를 곱하여 용적을 얻었고 모든 절편의 용적을 합산하여 전체 심근의 용적을 구하였다. 지연조영증강 영역 또한 같은 방법으로 경계를 수동으로 그려서 각 절편에서의 면적 및 용적을 구하였고 모든 절편에서의 값을 합산하였다. 지연조영증강 영역과 정상 영역의 구분은 육안으로 하였으며 심내막 하의 조영증강 영역과 혈액저류(blood pool)가 구분되지 않는 경우는 해당 영화 영상의 심내막 경계를 기준으로 분석하였다. 각 기법에서 지연조영증강(E) 심근과 정상(N) 심근의 대조도 대 잡음 비(contrast-to-noise ratio, CNR)를 다음의 공식으로 구하였다: CNR= (SIE-SIN)/noise, SI=signal intensity. 잡음은 10-30 cm^2 의 관심영역에서 구한 신호 강도의 표준 편차로 정하였으며 주로 전흉벽과 인접한 체외 부위에서 측정하였다.

두 기법 간에 지연조영증강 영역의 통벽성 정도(transmural extent)와 분절폭(segmental width)이 일치하는 지 알아보기 위하여 60분절(6분절×10절편) 모델을 사용하였다. 각 기법

Table 1. MR Imaging Parameters

Parameter	3D-MRI	2D-MRI
Echo time (msec)	2.0	1.6
Repetition time(msec)	4.2	5.2
Flip angle (°)	15	15
Inversion time(msec)	220-280	220-350
Electrocardiography trigger	Every heartbeat	Every heartbeat
Number of phase encoding	192	265
Acquisition window (msec)†	113	178
Trigger delay (msec)†	654	654
Field of view (mm)	250	320
Matrix	192×192	304×265
Number of sections	10*	10*
Slice thickness(mm)	10	10
Gap (mm)	0	0
Number of averaging	2	3

*10 in nine patients and 9 in one patient.
† If, the heart rate of a patient is 70 per minute.

의 모든 단축면 영상을 60도 간격으로 6분절(전측, 전외측, 하외측, 하측, 하중격측, 전중격측)로 나누었다(Fig. 1). 한 명의 환자는 두 기법에서 모두 9개의 절편을 얻어서 각 기법의 전체 절편 수는 99개였다. 전체 99개의 절편 중에서 영상 흐림(image blurring)이 너무 심하거나 좌심실이 포함되지 않아 분석이 불가능한 14개의 절편은 제외하여 3D - MRI 및 2D - MRI의 분석 분절 수는 각각 510개(6분절×85절편)였다. 각 분절에서 심근벽을 통한 지연조영증강의 분포, 즉 통벽성 정도(transmural extent of hyperenhancement)를 3단계로 나누어 표기하였다: 0, 지연조영증강이 없는 경우(no hyperenhancement); 1, 지연조영증강이 있으나 심근벽 전체를 관통하지 않은 경우(no full trasmural extent); 2, 지연조영증강이 심근벽 전체를 관통한 경우(full transmural extent). 각 분절의 너비를 통한 지연조영증강의 분포, 즉 분절폭(segmental width of hyperenhancement)도 3단계로 나누어 표기하였다: 0, 지연조영증강이 없는 경우(no hyperenhancement); 1, 지연조영증강이 있으나 분절의 너비 전체에 걸쳐 있지 않은 경우(partial segmental width of hyperenhancement); 2, 지연조영증강이 분절의 전체 너비에 걸쳐 있는 경우(full segmental width of hyperenhancement) (Fig. 1). 또한 각 기법에서 전체 심근을 첨부(apex), 중간부(middle), 기저부(base)의 세 부분으로 나누어 각 부분 간에 지연조영증강의 통벽성 정도와 분절폭이 차이를 보이는 지 알아보았다. 중간부는 3절편, 첨부와 기저부는 2 - 3절편으로 나누었다.

통계 분석

Paired Student t - test와 Bland - Altman 통계 기법을 이용하여 두 기법의 전체 심근 및 지연조영증강 영역이 양적으로 일치하는 지 분석하였으며 대조도 대 잡음 비를 paired Student

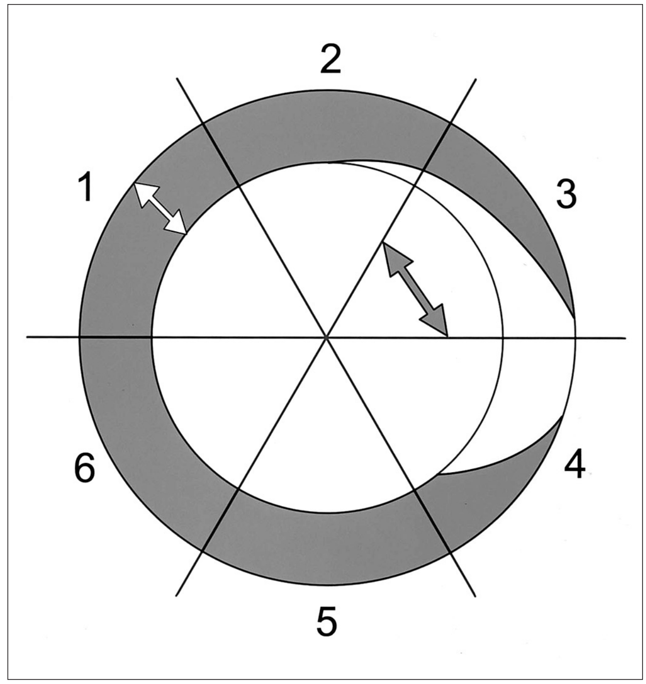
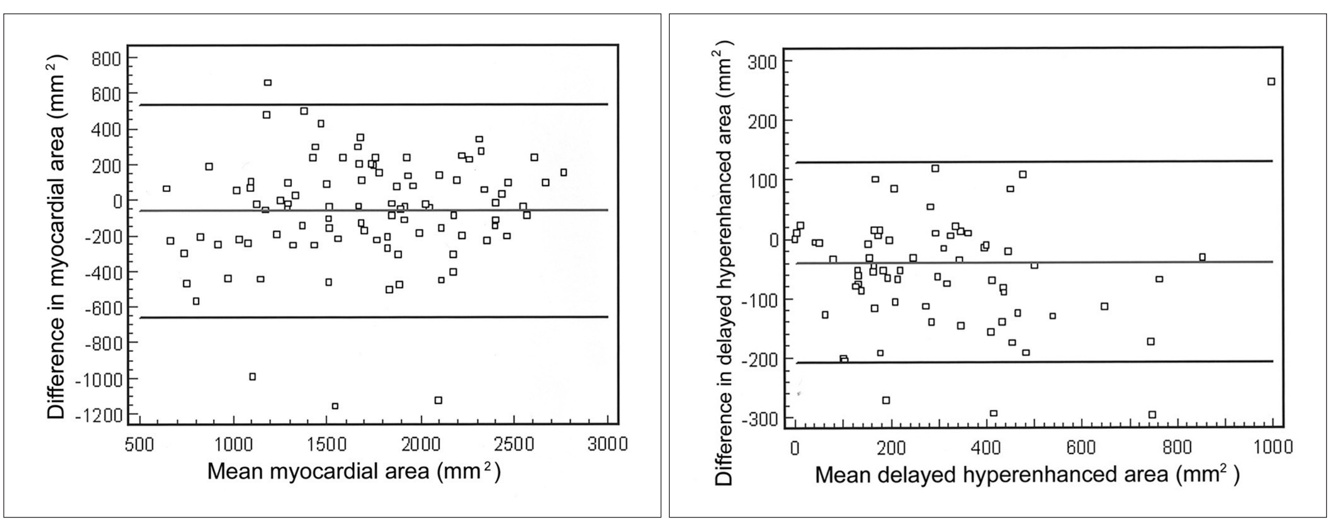


Fig. 1. Schematic shows 6-segment model and analysis of spatial extent of hyperenhancement. Gray zone: normal myocardium. White zone: hyperenhanced myocardium. Distribution of hyperenhancement throughout myocardial wall (transmural extent, white arrow) and width of segments (segmental width of hyperenhancement, gray arrow) were scored. Score for segment 2 is 1 (no full transmural extent and partial segmental width) in both transmural extent and segmental width. Score for segment 3 is 2 (full transmural extent and segmental width) in both transmural extent and segmental width. Score for segment 4 is 2 in transmural extent but is 1 in segmental width.



A

B

Fig. 2. Bland-Altman plots.
A. Individual differences for total myocardial area per MR image.
B. Delayed hyperenhanced areas on MR images obtained with 2 D and 3 D-MRI.
Findings reveal no relevant bias, with acceptable limits of agreement between the two sequences for the quantification of total myocardial areas and delayed hyperenhanced areas.

t-test를 이용하여 비교 분석하였다. 지연조영증강 영역의 통벽성 정도 및 분절폭의 일치도(agreement)를 kappa 통계 기법으로 분석하였다: κ < 0.21, poor agreement; κ=0.21-0.40, fair; κ=0.41-0.60, moderate; κ=0.61-0.80, good; and κ > 0.80, excellent. P value는 0.05 미만을 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

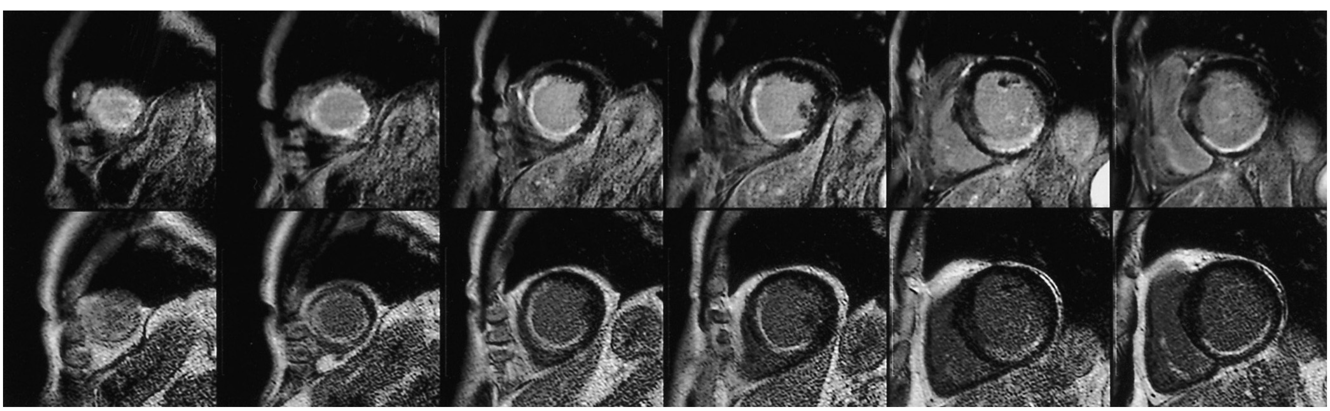
결 과

3D-MRI와 2D-MRI에서의 전체 심근(평균: 16.2 cm^2± 2.2 대 16.8 cm^2±2.2, p=0.1114) 및 지연조영증강 영역(평균: 1.9 cm^2±1.2대 2.3 cm^2±1.2, p=0.3434)은 유의한 차이를 보이지 않았다. Bland-Altman 분석에서 계통적 차이(systemic difference)는 없었으며 전체 심근(평균차이: 0.65 cm^2; 95% 신뢰구간: -6.61, +5.31 cm^2)과 지연조영증강 영역(평균차이: 0.41 cm^2; 95% 신뢰구간: -2.09, +1.28 cm^2)의 일치도 한계는 각각 ±5.97 cm^2, ±1.68 cm^2였다(Fig. 2). 지연조영증강 영역과 정상 심근의 대조도 대 잡음 비에서도 유의한 차이를 보이지 않았다(평균: 49.9±29.6대 49.1±27.8, p=0.9355).

두 기법 간에 지연조영증강의 통벽성 정도(κ=0.615) 및 분절폭(κ=0.674)은 좋은 일치도(good agreement)를 보였다 (Table 2). 첨부, 중간부, 기저부의 세 부분으로 나누어 비교한 분석에서 분절폭은 모든 부위에서 두 기법 간에 좋은 일치도를 보였으나(κ= 첨부: 0.672, 중간부: 0.648, 기저부: 0.647) 통벽성 정도는 첨부에 가까울수록 낮은 일치도를 보였다(κ= 첨부: 0.570, 중간부: 0.599, 기저부: 0.612) (Fig. 3). 특히 3 D-MRI에서 첨부의 통벽성 정도가 과장되어 보이는 경향이 있었는데 전체 150개의 분석 분절 중에서 3D-MRI의 단

Table 2. Agreement between 2D-MRI and 3D-MRI for Spatial Extent of Hyperenhancement

Finding	Agreement	
	Common κ	95% CI
Transmural extent	0.615	0.553 - 0.677
Apical	0.570	0.457 - 0.684
Middle	0.599	0.494 - 0.704
Basal	0.612	0.491 - 0.733
Segmental width	0.674	0.617 - 0.730
Apical	0.672	0.570 - 0.775
Middle	0.648	0.553 - 0.743
Basal	0.647	0.532 - 0.761


A

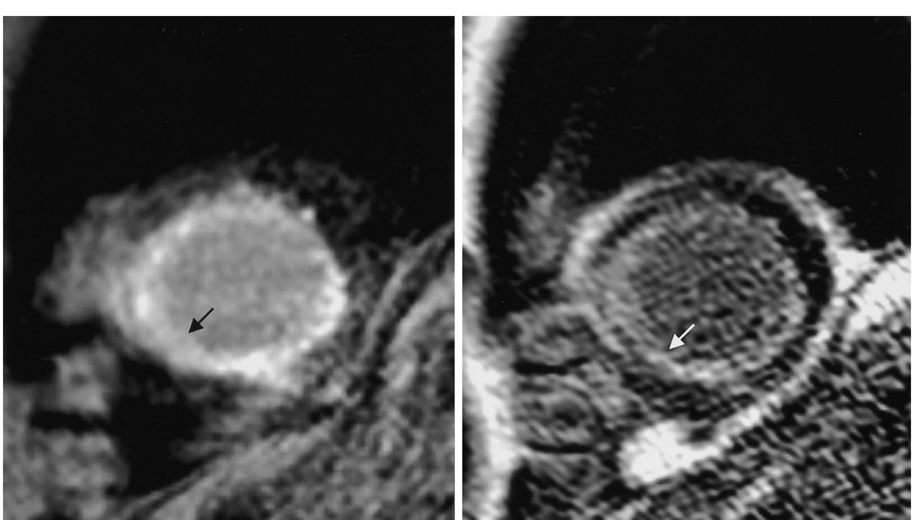

B

Fig. 3. Corresponding short-axis MR images in a 65-year-old male patient.
A. Upper row images are 3 D-MRI and lower row images are 2 D-MRI. Images of each row are arranged from apex to base. In middle and basal portions, spatial extent of hyperenhancement is similar with both sequences. In two images of apical portion (left two columns), however, transmural extent of hyperenhancement in 3 D-MRI is larger than that in 2 D-MRI.
B. Magnified images of the second images in 3 D-MRI (left) and 2 D-MRI (right) show full transmural extent (black arrow) at inferoseptal wall in 3D-MRI, but show partial transmural extent (white arrow) in 2D-MRI.

계를 높게 분석한 경우가 25분절, 같은 단계로 분석한 경우는 115분절, 2 D-MRI의 단계를 높게 분석한 경우는 10분절이였다.

고 찰

본 연구에서는 3 D-MRI와 2 D-MRI의 결과가 대부분 일치하였으며 특히, 조영증강 MRI에서 가장 중요한 지연조영증강 영역의 통벽성 정도와 분절폭이 높은 일치도를 보임으로써 3 D-MRI의 우수한 공간해상도 및 시간해상도를 증명하였다. 지금까지 주로 사용되었던 2 D-MRI는 반복적으로 호흡을 참아야 하는 큰 단점으로 인해 검사 시간이 길어지고 환자에게도 불편한 점이 많이 있었다. 특히 심한 질환에 의하여 호흡곤란이 심하거나, 호흡정지가 어려운 소아의 경우는 검사가 거의 불가능하였다. 하지만 2 D-MRI의 우수한 공간해상도를 극복할 만한 대안이 없었기 때문에 그대로 사용되어 오다가 1990년대 중반 이후 빠른 영상획득기법과 횡격막 운동 동기화를 이용한 자유호흡기법에 대한 연구가 활발해지면서 높은 공간해상도와 시간해상도를 모두 가진 영상획득이 가능해졌다. 하지만 지금까지의 2 D-MRI와 3 D-MRI에 대한 일부 비교 연구에서 낮은 공간해상도를 포함한 3 D-MRI의 문제점이 제기되었다.

2차원 반복호흡정지 MRI와 3차원 일회호흡정지 MRI를 비교한 Kuhl 등의 연구(4)에 의하면, 3차원 MRI에서 괴사 심근의 통벽성 정도가 과대 측정되어 낮은 일치도(κ=0.32)를 보여 본 연구와는(κ=0.615) 큰 차이가 있었다. Kuhl 등은 3차원 MRI에서의 낮은 공간해상도가 심장주기 내에서의 큰 획득창 및 중심성 K 공간 배열법(central k-space order)등의 여러가지 변수가 2차원 MRI와 달랐기 때문이라고 설명하였다. 하지만 본 연구에서는 두 기법에서 같은 K 공간 배열법(Cartesian 분절법)(11)을 사용하여 이로 인한 공간해상도의 차이를 없앴고, 3 D-MRI에서 더 작은 획득창(113 msec 대 178 msec)을 사용함으로써 심장운동에 의한 영상흐림을 극복할 수 있었던 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 3D-MRI에서 횡격막 운동 동기화 기법으로 호흡동기를 시행하였으나 Kuhl 등의 연구에서는 14-20초의 비교적 긴 시간 동안에 숨을 참음으로써 일부 환자에서 호흡에 의한 움직임이 어느 정도는 작용했으리라 추측된다. 횡격막 운동 동기화 기법을 이용한 3차원 MRI와 3차원 일회호흡정지 MRI를 비교한 다른 연구에서는(10) 신호 대 잡음비, 지연조영증강의 통벽성 정도 및 크기 등을 포함한 모든 결과가 두 기법 간에 유의한 차이가 없는 것으로 보고되어 본 연구의 결과를 뒷받침한다.

본 연구에서는 3D-MRI에서 심첨부의 통벽성 정도가 다소 과장되어 나타났다. 심근 괴사의 통벽성 정도는 재관류 후의 심근 기능 회복을 예측하는 데 매우 중요하며, 따라서 이의 과장은 재관류를 위한 중재적 시술 또는 수술을 결정하는 데 영향을 미칠 수 있다(1, 2). 이는 아마도 횡격막 운동 동기화 기법의 한계점에 의한 것으로 생각된다. 즉, 횡격막 운동 동기화 기법은 일정한 획득창을 미리 정하고 창 내에 횡격막이 위치한 경우에만 영상을 획득하고 이 후에 그 창 내에서의 변이를 평행하게 이동하여 움직임 보정을 한다. 하지만 실제로 심장은 호흡의 영향에 따라 단순하게 평행이동하는 것이 아니라 심장축의 변화를 동반하게 된다. 즉 흡기시에 약간 더 심장축이 수평해 지는 것이다. 이러한 심장축의 변화의 영향은 심첨부가 가장 많이 받게 되는데 이에 의하여 심첨부에서의 영상흐림이 발생하였을 가능성이 있다.

본 연구는 몇가지 한계점을 가지고 있다. 첫째, 3 D-MRI와 2 D-MRI 간의 시간 간격이 평균 9분 내외로 다소 길었다. 모든 환자에서 3 D-MRI를 먼저 시행하였기 때문에 2 D-MRI를 시행할 시점에는 조영제의 wash-out으로 인해 지연조영증강 영역이 영향을 받을 수 있었다고 생각할 수 있다. 실제로 한 연구에 따르면 Gd-DTPA 투여 후 시간에 따라 괴사 심근의 크기가 MRI에서 실제와 다를 수 있다고 보고되었다(12). 하지만 이는 급성심근경색의 경우에만 해당하는 내용으로 본 연구에서는 모든 환자가 만성 허혈성 심질환 환자이므로 지연조영증강 영역이 영향을 받았다고 볼 수 없다. 또한 치유된 괴사심근은 조영제 투여 후 10분에서 30분 사이에는 MRI에서 크기가 변하지 않는다는 한 연구결과가 이를 지지해 준다(13). 둘째, 지연조영증강을 육안으로만 평가하여 경도의 신호강도를 보이는 부위에서는 오차가 있었을 가능성이 있다. 하지만 심근 생존능을 평가함에 있어서 IR-TFE 기법의 탁월한 대조도는 이미 증명되었으므로(8) 육안 평가가 본 연구결과에 큰 영향을 미쳤을 가능성은 낮다. 셋째, 지연조영증강 영역의 통벽성 정도 및 분절폭을 평가하는 데 있어서 세 단계로만 대략 분류하였고, 한 절편을 6분절로만 나누어 더 세밀한 분류와 분절법을 적용한 다른 연구들(2, 4)과 비교 시 약점으로 들 수 있다. 넷째, 60분절법에서 영상흐림이 너무 심한 경우(3 D-MRI: 8절편, 2 D-MRI: 9절편)는 분석에서 제외하였는데 이로 인해 지연조영증강의 평가에서 두 기법 간의 일치도가 다소 높아졌을 가능성이 있다. 다섯째, 두 기법에서 모두 10 mm의 다소 두꺼운 절편 두께를 사용하여 부분 용적 효과를 초래하였을 가능성이 있다. 여섯째, 두 기법에서의 전체 영상 시간을 4분 내외, 10분 내외의 다소 모호한 수치로 제시하였다. 본 연구는 후향적 방법으로 하여 정확한 전체 영상 시간을 알 수 없었다. 컴퓨터에서는 실제 영상 획득에 사용된 시간만이 기록으로 남기 때문에 그 외의 시간, 즉, 2 D-MRI에서 각 절편 사이의 휴식기 또는 3 D-MRI에서 횡격막이 수용창을 벗어나 있는 동안의 시간은 알 수 없었다. 따라서 다른 환자들의 일반적인 소요 시간을 제시하였다. 마지막으로, 한 명의 방사선과 의사가 모든 영상을 분석하여 약간의 치우침이 있었을 가능성이 있다.

결론적으로, 3 D-MRI는 2 D-MRI와 비슷한 공간해상도와 보다 우수한 시간해상도를 보여 만성 허혈성 심질환 환자의 심근 생존능을 빠르고 정확하게 평가할 수 있으며 특히 호흡 곤란이 심한 환자나 소아 환자에서 유용하게 쓰일 수 있다. 하지만 심첨부에서는 지연조영증강 영역의 통벽성 정도가 부정확할 수 있으므로 이 부위의 재관류 후 기능 회복을 예측하는 데 있어서 유의하여야 한다.

참 고 문 헌

1. Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000;343:1445-1453
2. Choi KM, Kim RJ, Gubernikoff G, Vargas JD, Parker M, Judd RM. Transmural extent of acute myocardial infarction predicts long-term improvement in contractile function. *Circulation* 2001;104: 1101-1107
3. Sandstede JJ. Assessment of myocardial viability by MR imaging. *Eur Radiol* 2003;13:52-61
4. Kuhl HP, Papavasiliu TS, Beek AM, Hofman MB, Heusen NS, van Rossum AC. Myocardial viability: rapid assessment with delayed contrast-enhanced MR imaging with three-dimensional inversion-recovery prepared pulse sequence. *Radiology* 2004;230: 576-582
5. Kim RJ, Fieno DS, Parrish TB, Harris K, Chen EL, Simonetti O, et al. Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age and contractile function. *Circulation* 1999;100:1992-2002
6. Kuhl HP, Beek AM, van der Weerdt AP, Hofman MB, Visser CA, Lammertsma AA, et al. Myocardial viability in chronic ischemic heart disease: comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:1341-1348
7. Klein C, Nekolla SG, Bengel FM, Momose M, Sammer A, Haas F, et al. Assessment of myocardial viability with contrast-enhanced magnetic resonance imaging: comparison with positron emission tomography. *Circulation* 2002; 105:162-167
8. Simonetti OP, Kim RJ, Fieno DS, Hillenbrand HB, Wu E, Bundy JM, et al. An improved MR imaging technique for the visualization of myocardial infarction. *Radiology* 2001;218:215-223
9. Bogaert J, Tayler AM, Van Kerkhove FV, Dymarkowski S. Use of inversion recovery contrast-enhancement MRI for cardiac imaging: spectrum of applications. *AJR Am J Roentgenol* 2004;182:609-615
10. Saranathan M, Rochitte CE, Foo TKF. Fast, three-dimensional free-breathing MR imaging of myocardial infarction: a feasibility study. *Magn Reson Med* 2004;51:1055-1060
11. Bornert P, Stuber M, Botnar RM, Kissinger KV, Koken P, Spuentrup E, et al. Direct comparison of 3D spiral vs. Cartesian gradient-echo coronary magnetic resonance angiography. *Magn Reson Med* 2001;46:789-794
12. Oshinski JN, Yang Z, Jones JR, Mata JF, French BA. Imaging time after Gd-DTPA injection is critical in using delayed enhancement to determine infarct size accurately with magnetic resonance imaging. *Circulation* 2001;104:2838-2842
13. Mahrholdt H, Wagner A, Holly TA, Elliott MD, Bonow RO, Kim RJ, et al. Reproducibility of chronic infarct size measurement by contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002; 106:2322-2327

Myocardial Viability: Comparison of Free-Breathing Navigator-echo-gated Three-Dimensional Inversion-Recovery Gradient-Echo MR and Standard Multiple Breath-Hold Two-Dimensional Inversion-Recovery Gradient-Echo MR[1]

Jin Hee Kim, M.D., Joon Beom Seo, M.D., Kyung-Hyun Do, M.D., Dong Hyun Yang, M.D., Soo Hyun Lee, M.D., Sung Min Ko, M.D., Jeong-Nam Heo, M.D., Tae-Hwan Lim, M.D.

[1]Department of Radiology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine

Purpose: To compare a free-breathing, navigator-echo-gated, three-dimensional, inversion-recovery, gradient-echo, MR pulse sequence (3D-MRI) with standard, multiple breath-hold, two-dimensional, inversion-recovery, gradient-echo MR (2D-MRI) for the evaluation of delayed hyperenhancement of nonviable myocardium in patients with chronic ischemic heart disease.

Materials and Methods: Ten patients with chronic ischemic heart disease were enrolled in this study. MRI was performed on a 1.5-T system. 3D-MRI was obtained in the short axis plane at 10 minutes after the administration of Gd-DTPA (0.2 mmol/kg, 4 cc/sec). Prospective gating of the acquisition based on the navigator echo was applied. 2D-MRI was performed immediately after finishing 3D-MRI. The area of total and hyperenhanced myocardium measured on both image sets was compared with paired Student t-test and Bland-Altman method. By using a 60-segment model, the transmural extent and segmental width of the hyperenhanced area were recorded by 3-scale grading method. The agreement between the two sequences was evaluated with kappa statistics. We also evaluated the agreement of hyperenhancement among the three portions (apical, middle and basal portion) of the left ventricle with kappa statistics.

Results: The two sequences showed good agreement for the measured area of total and hyperenhanced myocardium on paired t-test ($p=0.11$ and $p=0.34$, respectively). No systematic bias was shown on Bland-Altman analysis. Good agreement was found for the segmental width ($\kappa=0.674$) and transmural extent ($\kappa=0.615$) of hyperenhancement on the segmented analysis. However, the agreement of the transmural extent of hyperenhancement in the apical segments was relatively poor compared with that in the middle or basal portions.

Conclusion: This study showed good agreement between 3D-MRI and 2D-MRI in evaluation of non-viable myocardium. Therefore, 3D-MRI may be useful in the assessment of myocardial viability in patients with dyspnea and children because it allows free-breathing during the examination.

Index words : Heart
Magnetic resonance (MR)
Heart, ischemia

Address reprint requests to : Joon Beom Seo, M.D., Department of Radiology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine, 388-1 Poongnap-2-dong, Songpa-gu, Seoul 138-736, Korea.
Tel. 82-2-3010-4400, Fax. 82-2-476-4719, E-mail: seojb@amc.seoul.kr