

심근생존능검사 시 가돌리늄 함유량이 높은 조영제의 유용성

최관우¹, 손순룡¹, 김태형^{2*}, 한만석², 이희주¹, 민정환³
¹서울아산병원 영상의학과, ²강원대학교 방사선학과, ³신구대학교 방사선과

Usefulness of contrast agent involving high gadolinium content for myocardial viability assessment

Kwan-Woo Choi¹, Soon-Yong Son¹, Tae-Hyung Kim^{2*}, Man-Seok Han²,
Ju-Hee Lee¹ and Jung-Whan Min³

¹Department of Radiology, Asan Medical Center,

²Department of Radiological Science, Kangwon National University,

³Department of Radiology, Shin-Gu University

요 약 본 연구는 심근생존능검사 시 가돌리늄 함유량이 높은 조영제(1mmol/mL)를 사용함으로써 대조도대잡음비(CNR)를 높이고, 이로 인한 진단적 가치를 극대화 시키는데 연구의 목적을 두었다. 조사방법은 단위부피당 0.5mmol/mL의 함유량을 가진 기존의 조영제(gadoterate meglumine)를 사용한 284명과 1mmol/mL의 함유량을 가진 새로운 조영제(gadobutrol)를 사용한 120명 등 총 404명의 환자를 연구대상으로, 가돌리늄 함유량에 따른 대조도 차이를 알아보기 위하여 좌심실과 정상심근의 신호강도를 각각 측정 후 신호대잡음비(SNR)와 CNR을 비교 평가하였다. 연구 결과, 가돌리늄 함유량이 1mmol/mL 조영제 사용 시 SNR은 심근이 25.13%, 심실이 30.74% 높았고, CNR 또한 SNR과 같이 31.29% 높았으며, 통계적으로도 매우 유의하였다. 결론적으로 가돌리늄 함유량이 높은 1mmol/mL 조영제의 사용으로 높은 T1 단축효과를 나타내어 신호강도가 커지고, 이로 인해 대조도 차이가 큰 영상을 얻어 진단적 가치가 높았다. 본 연구는 심장질환이 의심되는 환자에 대한 1mmol/mL 조영제의 유용성을 최초로 증명하여 진단적 가치를 높일 수 있다는 데에 학문적 의의가 있다.

Abstract The purpose of this study is to increase contrast to noise ratio(CNR) in myocardial viability test by using contrast agent which highly content gadolinium(1mmol/mL) maximizing diagnostic value. This research method that four hundred four patients were underwent the MRI scanning two hundred eighty four of them were injected commercial contrast media which have 0.5mmol/L and the rest of them were injected new contrast media(gadobutrol) which have 1mmol/mL of molarity to study the contrast difference depending on the molarity of the contrast agent signal intensities of normal ventricle and left ventricle were measured to compare and evaluate signal to noise ratio(SNR) and CNR of the images. As result, 1mmol/mL contrast agent showed higher SNR by 25.13% in myocardium and 30.74% in left ventricle. CNR was proved to be better in 1mmol/mL contrast agent by 31.29%. The results above were all statistically meaningful. Therefore, contrast agent containing more gadolinium which was 1mmol/mL in this study, could more effectively shorten T1 relaxation time, increase the signal intensity and at the same time maximize CNR and diagnostic value. This study firstly report the usefulness of 1mmol/mL contrast agent in patients allegedly suffering cardiac diseases and it is considered to increase diagnostic value.

Key Words : Gadolinium content, 1mmol/mL MR contrast agents, Myocardial viability, Delayed hyperenhancement imaging, Cardiac MRI

이 연구는 2013년도 학사경비보조금 재원으로 강원대학교의 연구비를 지원받아 수행됨

*Corresponding Author : Tae-Hyung Kim(Kangwon National Univ.)

Tel: +82-33-540-3380 email: thkim@kangwon.ac.kr

Received January 14, 2013

Revised (1st February 7, 2013, 2nd February 14, 2013)

Accepted March 7, 2013

1. 서론

2012년 통계청 발표에 따르면 심장질환은 암과 뇌혈관질환에 이어 사망원인 3위로, 최근에는 중, 장년층 뿐만 아니라 20, 30대 청년층 에서도 급속히 증가하고 있는 추세이다[1]. 이로 인해 심장질환을 조기 진단하여 예방하거나 치료하기 위해 심장 기능에 대한 정기적인 검사가 매우 중요하게 대두되고 있다.

심장 기능을 검사하는 방법에는 방사선을 이용한 전산화단층촬영과 X선 촬영, 그리고 방사선을 이용하지 않는 심장초음파검사와 심장자기공명검사(cardiac magnetic resonance imaging)가 있다[2]. X선 촬영은 심장의 크기에 국한되며, 심장조음과검사는 해상도 낮아 대부분 해상도가 높고 검사시간이 짧은 다중채널 전산화단층촬영(multi-detector computed tomography)을 이용하여 검사하고 있다. 그러나 과도한 방사선 피폭의 위험성과 신기능이 저하된 환자에게 제약이 있기 때문에, 정기적인 심장 검사에는 인체에 무해한 자기장과 라디오 주파수를 이용하는 심장자기공명검사가 적합하다[3].

심장자기공명검사는 심장영상을 얻는데 있어서 비침습적일 뿐만 아니라, 해상도가 높고 3차원적 입체상이 뛰어나며 심근과 심실의 두께, 부피, 박출량 등, 심장 수축기와 이완기의 여러 가지 정보를 정량화 할 수 있어 허혈성 심장 질환에 있어 매우 중요한 평가도구로 이용되고 있다[4]. 또한 연부조직의 대조도가 높아 심장의 정상조직과 경색부위를 구분해 낼 수 있으며, 조영제를 사용함으로써 심근생존능(myocardial viability)의 평가를 더욱 용이하게 할 수 있다[5].

심근생존능란 심근경색 후의 기능적 회복과 이식수술에 의한 혈관의 재생 가능성을 알 수 있는 방법으로 심근경색으로 대표되는 허혈성 심장질환과 심근염으로 대표되는 비허혈성 심장질환을 구별 짓는 중요한 평가도구이다[6]. 현재 심근생존능을 검사하는 데 있어 가장 주목받고 있는 방법은 심근의 지연조영영상(delayed hyperenhancement imaging) 기법이다[7]. 이는 가돌리늄(gadolinium) 성분의 조영제가 정상적인 심근세포 내로 침투하지 않는다는 특성과 심근의 간질 조직이 많아질수록 조영제의 분포용적(volume of distribution)이 증가한다는 특성을 이용하는 기법이다. 검사방법은 정상 심근이 검게 나타나게 하는 역전회복펄스(inversion recovery pulse)를 이용하여 조영제 주입 후 일정시간이 경과한 다음 심장의 단층 영상을 얻는다. 즉, 조영제가 집적되지 않는 정상 심근은 MRI 신호가 소실되어 검게 나타나도록 하고, 괴사가 일어나거나 섬유질로 변화되어 생존능(viability)이 없어진 비정상 심근은 조영제가 집적되어 신

호가 높게 나타나도록 하는 것이다[8].

심근생존능검사 시 조영제는 정상조직과 병변조직을 구별하여 영상진단에 도움을 주는 매우 중요한 요소이다. 이는 조영제에 의한 대조도대잡음비(contrast to noise ratio, 이하 CNR)가 극대화 될수록 정상조직과 병변조직의 좋은 대조도 영상을 획득할 수 있어 초기에 미세한 병변까지 진단할 수 있기 때문이다.

조영제에 의한 심근의 대조도는 T1 이완효과(T1 relaxation)에 의해 좌우되며, T1 이완효과는 조영제의 가돌리늄 함유량에 따라 좌우되므로 가돌리늄의 함유량이 단위부피당 많으면 높은 T1 단축효과를 나타내어 대조도 차이가 큰 영상을 얻을 수 있다.

가돌리늄 함유량이 낮은 조영제의 사용은 낮은 T1 단축효과와 짧은 혈액 내 잔류시간, 그리고 낮은 영상의 신호강도로 인해 신호대잡음비(signal to noise ratio, 이하 SNR)와 CNR이 낮다. 낮은 CNR은 병변의 감지에 어려운 영상을 얻게 되며, 이로 인해 얻을 수 있는 정보가 줄어 환자의 진단 및 치료에 심각한 영향을 초래한다. 그러나 위와 같은 문제에도 불구하고 대부분의 의료기관에서는 가돌리늄 함유량이 낮은(0.5mmol/mL) 조영제를 관행적으로 사용하여 검사하고 있으며, 국내외적으로 신속경사코펠스염을 사용하여 조영제를 일시에 주사하는 심장관류검사(perfusion)에 국한하여 이루어지고 있을 뿐, 개선에 관한 연구는 전무한 실정이다[9-11].

이에 저자들은 심근생존능검사 시 가돌리늄 함유량이 높은 조영제(1mmol/mL)를 사용함으로써 CNR을 높이고, 이로 인한 진단적 가치를 극대화 시키는데 연구의 목적을 두었다.

2. 본론

2.1 연구대상 및 방법

2.1.1 연구대상

2011년 5월부터 2012년 9월 까지 심장자기공명검사를 시행한 환자 497명 중 심근의 지연조영영상기법을 이용하여 심근생존능을 검사한 환자 404명을 연구대상으로 하였다[Table 1].

[Table 1] Departments subjects

Department	Frequency	Percent(%)
Cardiology	335	82.92
Cardiovascular surgery	52	12.87
Acute care unit	3	0.74
Oncology	2	0.50
Neurology	2	0.50
Nephrology	2	0.50
The others	8	1.98

2.1.2 연구방법

연구방법은 단위부피당 0.5mmol/mL의 함유량을 가진 기존의 조영제인 가도테레이트메글루민(gadoterate meglumine)을 사용하여 검사한 환자(284명)와 단위부피당 1mmol/mL의 함유량을 가진 새로운 조영제인 가도부트롤(gadobutrol)을 사용하여 검사한 환자(120명)를 대상으로, 가돌리늄 함유량에 따른 대조도 차이를 알아보기 위하여 좌심실과 정상심근의 신호강도(signal intensity)를 각각 측정 후 SNR과 CNR을 비교 평가하였다[3].

* 현재 대다수 의료기관에서 심근생존능검사 시 0.5mmol/mL의 조영제를 사용하고 있으며, 1mmol/mL의 조영제는 최근 개발되어 미적용되고 있음

2.1.3 영상획득 및 기법

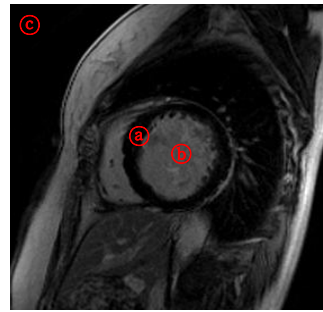
영상획득 장비로 1.5T 초전도 자기공명영상장치(Siemens Magnetom Avanto)와 32channel 심장 코일(cardiac coil)을 사용 하였다. 심장의 지연조영영상은 심전도 동기화(electrocardiogram gating) 후 호흡에 의한 인공물(motion artifact)을 줄이기 위해 호흡정지(breath hold) 기법을 이용하여 조영제 주입 후 정상심근의 무효화시점(null point)에 맞춘 역전시간(inversion time)을 설정하여 심장 전체를 포함한 short axis 영상을 획득하였다. 조영제 주입은 총 주입량을 동일하게 하기 위해 0.5mmol/mL 조영제의 경우 kg당 0.2cc를 주입하였으며, 1mmol/mL 조영제는 kg당 0.1cc를 주입하였다.

영상획득기법은 심근생존능을 검사 시 주로 사용하는 반전회복 항정상태고속영상기법(IR-ture FISP)을 사용하였고, 사용된 영상변수는 반복시간(TR) 800ms, 에코시간(TE) 3.42ms, 숙입각(flip angle) 25°, FOV(field of view) 150mm×100mm, 화소배열수(matrix) 256×192, 절편두께(slice thickness) 8mm, 절편수(slices) 10, 획득창(acquisition window) 800ms, 획득부분(acquisition segment) 35, NEX(number of excitation) 1로 하였으며, 절편 당 검사시간(scan time)은 9.7초였다.

2.1.4 측정 및 분석방법

측정방법은 30mm²의 ROI(region of interest)를 설정하여 좌심실이 가장 크게 보이는 영상에서 심실과 정상심근의 신호강도를 각각 측정하였다[Fig. 1].

SNR은 측정된 심실과 심근의 신호강도를 백그라운드 신호강도의 표준편차로 나누어 계산하였고(식 1), CNR은 측정된 두 신호강도의 차를 구한 다음, 백그라운드 신호강도의 표준편차로 나누어 절대값으로 계산하였다(식 2).



㉑ 정상심근의 ROI
㉒ 심실의 ROI
㉓ 백그라운드의 ROI

[Fig. 1] The SNR and CNR of setting to ROI

$$SNR = \frac{resion\ SI}{background\ noise\ SD} \times 100 \quad (1)$$

$$CNR = \left| \frac{lesions\ SI - surrounding\ tissues\ SI}{background\ noise\ SD} \right| \times 100 \quad (2)$$

평가의 정확성을 위하여 좌심실과 정상심근의 관심영역 선정 시 주변조직과 차이를 크게 두는 부위를 선정하였고, 백그라운드 표준편차는 신호를 내지 않는 공기 부분에 관심영역을 설정하여 측정하였다.

분석방법은 독립표본 T검정(independent sample T-test, SPSS 버전 18)을 이용하여 가돌리늄 함유량에 따른 SNR과 CNR을 비교하였으며, p값이 .05보다 작은 경우 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

2.2 연구결과

연구대상자의 인구사회학적 특성은 Table 2와 같이 남성이 248명, 여성이 156명이었고, 기술통계(descriptive statistics, SPSS 버전 18)를 이용한 평균연령 및 표준편차는 57.55±14.06세(18세-86세)였다.

[Table 2] Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	248	61.39
	Female	156	38.61
Age	20 under	7	1.73
	20-29	13	3.22
	30-39	23	5.69
	40-49	60	14.85
	50-59	104	25.74
	60-69	113	27.97
	70-79	75	18.56
	80 up	9	2.23

가돌리늄 함유량에 따른 심실과 심근의 SNR은 심근의 경우 0.5mmol/mL 조영제가 6.42±6.05, 1mmol/mL 조영제가 8.04±6.06으로 1mmol/mL 조영제가 25.13%(1.61) 높았으며, 심실의 경우 0.5mmol/mL 조영제가 72.41±45.89, 1mmol/mL 조영제가 94.67±41.50으로 1mmol/mL 조영제가 30.74%(22.26) 높았다(Table 3). 이는 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 많은 1mmol/mL 조영제가 0.5mmol/mL 조영제에 비해 높은 T1 단축효과를 내는 것으로 신호강도가 큰 영상을 얻을 수 있음을 의미한다.

심근과 심실의 CNR 또한 SNR과 같이 1mmol/mL 조영제가 86.63±37.61로 0.5mmol/mL 조영제의 65.99±41.74에 비해 31.29%(20.64) 높게 나타났는데 Table 3, 이는 높은 T1 단축 효과를 내는 1mmol/mL 조영제가 0.5mmol/mL 조영제에 비해 대조도 차이가 큰 영상을 얻을 수 있음을 의미한다.

[Table 3] SNR and CNR according to gadolinium content

Category		0.5mmol/mL	1mmol/mL
		CM (mean±SD)	CM (mean±SD)
SNR	Myocardium	6.42±6.05	8.04±6.06
	Ventricle	72.41±45.89	94.67±41.50
CNR		65.99±41.74	86.63±37.61

가돌리늄의 함유량에 따른 독립표본 T검정 결과, 심근의 SNR은 평균차 -1.61, 차이의 표준오차 0.66, T값이 -2.449로 나타나 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 많은 1mmol/mL 조영제가 0.5mmol/mL 조영제에 비해 유의하게 높았고(p<.05), 심실의 SNR도 평균차 -22.26, 차이의 표준오차 4.86, T값이 -4.580으로 1mmol/mL 조영제가 매우 유의하게 높았다(p<.01).

심실과 심근의 CNR의 경우 평균차 -20.65, 차이의 표준오차 4.42, T값이 -4.675로 나타나 이 역시 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 많은 1mmol/mL 조영제가 0.5mmol/mL 조영제에 비해 매우 유의하게 높았다(p<.01), [Table 4].

[Table 4] Independent Sample T-test according to gadolinium content

Category		Mean Difference	Std. Error Difference	t	Sig.
SNR	Myocardium	-1.61	0.66	-2.449	.015
	Ventricle	-22.26	4.86	-4.580	.000
CNR		-20.65	4.42	-4.675	.000

3. 고찰 및 결론

심근생존능 평가를 위한 지연조영영상은 심근경색의 정확한 진단과 생존심근(viable myocardium) 확인의 유용함이 인정되어 널리 사용되고 있다[12]. 그러나 임상적으로 유용한 심근의 지연조영영상을 얻기 위해선 영상 획득 시 우수한 SNR과 CNR 영상을 구현해야 한다.

Kim 등[13]은 지연조영영상 획득 시 숨을 참고 검사하면 좋은 대조도 영상을 구현할 수 있다고 하였으나, 검사 시 간단한 기술적인 부분으로 효과가 미미하며, Bernhard 등[7]은 1.5T 보다 3T에서 대조도가 좋은 영상을 얻을 수 있다고 하였으나, 이 또한 고가인 기계 설비 자체를 교체해야 하는 현실적인 어려움이 따른다.

Gabriele 등[14]은 가도펜테이트(gadopentate)가 가도베네이트디메글루민(gadobenate dimeglumine)보다 손상된 심근과 좌심실의 CNR 차이를 크게 한다고 하였고, Gabriele 등[14]은 T1 이완효과가 좋은 가도베네이트디메글루민이 가도펜테이트 보다 좋은 대조도 영상을 구현한다고 하였으며, Kim 등[4]은 망간계제 조영제를 사용함으로써 조직 간의 대조도를 크게 할 수 있다고 하였다. 그러나 이 연구들은 0.5mmol/mL 조영제에 표지화합물만 바꾼 것으로 가돌리늄 함유량의 비교가 아닌 표지화합물의 특성을 비교한 연구라는 한계점이 있다.

Mathias Goyen 등[15]과 Haneder 등[16]은 가돌리늄 함유량이 높은 1mmol/mL 조영제인 가도부트롤이 0.5mmol/mL 조영제인 가도펜테틱산(gadopentetic acid)과 가도테레이트메글루민 보다 높은 대조도 영상을 얻을 수 있다고 보고 하였다. 두 연구는 특정 부위인 뇌혈관에 국한된 연구로서 본 연구와 차이가 있다. 또한 Fenchel 등[17]은 1mmol/mL 조영제와 0.5mmol/mL를 비교한 결과, 1mmol/mL 조영제에서 관상동맥 협착증의 검출이 유용하다고 하였으나, 이는 심장관류검사에 대한 조영제 비교 논문으로 본 연구의 검사목적과는 상이하다.

현재 임상에서는 심근생존능 평가 시 비특이성 세포외 MR 조영제 중 이온성조영제인 가도테레이트메글루민을 사용하여 심근의 지연조영영상을 얻고 있다. 가도테레이트메글루민은 가돌리늄 함유량이 0.5mmol/mL로 T1 이완효과가 초(second)당 4800mL/mmol로 낮으며 혈액반감기 또한 7.2분으로 짧은 혈액 내 짧은 잔류 시간으로 인해 신호강도가 약하다는 단점이 있다[18].

낮은 신호강도로 인한 SNR과 CNR은 병변의 감지에 어려운 영상을 얻게 되며, 이로 인해 얻을 수 있는 정보가 줄어들어 환자의 진단 및 치료에 심각한 영향을 초래한다.

본 연구에 사용된 가도부트롤은 1mmol/mL 조영제로

기존의 MR 조영제에 비해 단위 부피당 약 2배의 가돌리늄을 함유하고 있어 T1 이완효과가 초당 5600mL/mm로 높고 혈액반감기가 1.5시간으로 길어 혈액 내 잔류시간이 길다는 장점이 있으므로 저자들은 가돌리늄 함유량이 높은 1mmol/mL 조영제를 사용하여 T1 단축효과를 극대화시킴으로서 진단적 가치가 높은 영상을 얻고자 하였다.

연구 결과, 가돌리늄 함유량에 SNR은 심근의 경우 6.42 ± 6.05 에서 8.04 ± 6.06 로 1mmol/mL 조영제 사용 시 25.13% 높았으며, 심실의 경우 72.41 ± 45.89 에서 94.67 ± 41.50 로 30.74% 높았다. CNR 또한 SNR과 같이 1mmol/mL 조영제 사용 시 65.99 ± 41.74 에서 86.63 ± 37.61 로 31.29% 높게 나타났는데, 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 많은 1mmol/mL 조영제가 0.5mmol/mL 조영제에 비해 높은 T1 단축효과를 나타내 신호강도가 커지고, 이로 인해 대조도 차이가 큰 영상을 얻은 것이다. 이는 Mathias Goyen 등[15]의 뇌혈관 연구에서 1mmol/mL 조영제인 가도부트를 사용 시 SNR은 41.76%(gadopentetic acid : 47.72, gadobutrol : 81.93), CNR은 42.52%(gadopentetic acid : 41.17, gadobutrol : 71.62)보다 낮은 수치지만, Haneder 등[16]의 SNR 13.03%(gadoterate meglumine : 22.7, gadobutrol : 26.1), CNR 13.68%(gadoterate meglumine : 20.2, gadobutrol : 23.4)보다 높은 수치로 움직임이 없는 뇌혈관에 비해 불수의적으로 계속 움직이는 심장영상인 점을 감안한다면, 획기적인 연구라고 할 수 있다. 또한 Bernhard 등[7]의 1.5T와 3T의 심근지연영상의 SNR 29.55%(1.5T : 6.2, 3T : 8.8)와 CNR 45.00%(1.5T : 14.3, 3T : 26.0) 증가와 비교해도 현실적으로 어려운 고가의 장비교체를 감안하였을 때 적절한 방안이라고 할 수 있겠다.

본 연구는 심장질환이 의심되는 환자를 대상으로 하였다는 제한점이 있으나, 1mmol/mL 조영제에 대한 국내외적인 연구가 없고, 최초로 유용성을 증명함으로써 영상의 진단적 가치를 높일 수 있는 방안을 제시하였다는 데에 커다란 의의가 둘 수 있다. 향후 다양한 질환의 환자에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

[1] I. T. Hwang, Heart disease in the three death cause is increasing every year [Internet]. Medipana news, c2012[cited 2012 Dec 4], Available From: http://medipana.com/news/news_viewer.asp?NewsNum=93754&MainKind=A&NewsKind=5&vCount=12&vKind

=1. (accessed Jan., 2, 2013)

[2] J. H. Park, P. K. Kim, C. B. Ahn, "Single Breath-held Right Coronary Artery Imaging by Cardiac Magnetic Resonance", *The Korean institute of electrical Engineers*, pp.2031-2032, 2011.

[3] C. B. Moon, H. Y. Lee, B. M. Kim, Y. S. Shin, "Left ventricle segmentation algorithm through radial threshold determination on cardiac MRI", *Journal of KIISE*, 36, 10, pp.825-834, 2009.

[4] H. S. Kim, C. K. Park, D. W. Park, Y. S. Kim, S. C. Joen, Y. W. Choi, H. S. Seo, C. K. Hahm, S. K. Kim, Y. H. Ahn, Y. Y. Choi, "Diagnostic Accuracy and Evaluation of Myocardial Viability by Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Acute Myocardial Infarction:A Comparison with Thallium-201 Myocardial SPECT", *J Korean Radiol Soc. Magn. Reson. Med*, 7, pp.100-107, 2003.

[5] T. H. Kim, "Characteristics of MnDPDP-Enhanced MR Imaging in a Cat Model with Reperfused Myocardial Infarction", *ulsan university graduate school*, pp.1-28, 2003.

[6] Javier S, Teresa R, Paola K, Rafael Salguero B, Michael P, "Assessment of myocardial ischemia and viability using cardiac magnetic resonance", *Current cardiology reports*, 6, 1, pp.62-69, 2004.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11886-004-0066-z>

[7] Bernhard D, Klumpp, Sandstede, Klaus P, Lodmann, Achim S, Tobias H, Michael F, Ulrich K, Claus D, Claussen, Stephan M, "Intraindividual comparison of myocardial delayed enhancement MR imacion using gadobenate dimeglumine at 1.5T and 3T", *European Radiology*, 19, 5, pp.1124-1131, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-008-1248-7>

[8] Y. Y. Choe, S. C. Lee, "Cardiac MRI assessment of cardiac disease", *CURRENT PRACTICE IN CARDIOLOGY*, 3, 7, pp.37-51, 2009.

[9] Tombach B, Reimer P, Prümer B, Allkemper T, Bremer C, Mühler A, Heindel W, "Does a higher concentration of gadolinium chelates improve first-pass cardiac signal changes?", *J Magn Reson Imaging*, 10, pp.806-812, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2586\(199911\)10:5<806::AID-JMRI27>3.0.CO;2-0](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1522-2586(199911)10:5<806::AID-JMRI27>3.0.CO;2-0)

[10] Nagel E, Klein C, Paetsch I, Hettwer S, Schnackenburg B, Wegscheider K, Fleck E, "Magnetic resonance perfusion measurements for the noninvasive detection of coronary artery disease", *Circulation*, 108, pp.432-437, 2003.

- [11] Manning WJ, Atkinson DJ, Grossman W, Paulin S, Edelman RR, "First-pass nuclear magnetic resonance imaging studies using gadolinium-DTPA in patients with coronary artery disease", *J Am Coll Cardiol*, 18, pp.956-965, 1991.
- [12] J. M. Lee, "Cardiac MRI", *Korean Soc, Magn, Reson. Med*, 11, pp.1-9, 2007.
- [13] J. H. Kim, J. B. Seo, K. H. Do, S. H. Lee, S. M. Ko, J. N. Heo, T. H. Im, "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", *J Korean Radiol Soc*, 51, 4, pp.393-399, 2004.
- [14] Gabriele A. Krombach, Christa Hahnen, Klaus-Peter Lodemann, Nils Krämer, Felix Schoth, Mirja Neizel, Jan Boeringer, Rolf W, Günther, Malte Kelm, Harald Kühl, "Gd-BOPTA for assessment of myocardial viability on MRI: changes of T1value and their impact on delayed enhancement", *Eur Radiol*, 19, pp.2136-2146, 2009.
- [15] Mathias Goyen, Tomas C. Lauenstein, Christoph U. Herborn, Jorg F, Debatin, MBA, Silke Bosk, Stefan G, Ruehm, "0.5M Gd chelate(Magnevist) Versus 1.0M Gd Chelate(Gadovist): Dose-Independent Effect on Image Quality of Pelvic Three-Dimensional MR-Angiography", *journal of magnetic resonance imaging*, 14, pp.602-607, 2001.
- [16] S. Haneder, U. Attenberger1, S. O. Schönberg, C. Loewe, J. Arnaiz Garcia, H. J. Michaely, Mannheim/DE, Vienna/AT, Santander/ES, "Intra-individual efficacy evaluation of Dotarem®-enhanced MRA compared to Gadovist®-enhanced MRA in the diagnosis of clinically significant abdominal or lower limb arterial diseases", *European Congress of Radiology*, C-1016, 2010.
- [17] M Fenchel, A Franow, P Martirosian, M Engels, U Kramer, N I Stauder, U Helber, H Vogler, C D Claussen. S Miller, "1 M Gd-chelate (gadobutrol) for multislice first-pass magnetic resonance myocardial perfusion imaging", *British Journal of Radiology*, 80, pp.884-892, 2007.
- [18] Wendland MF, Saeed M, Lund G, Higgins CB, "Contrastenhanced MRI for quantification of myocardial viability", *J Magn Reson Imaging*, 10, pp.694-702, 1999.

최 관 우(Kwan-Woo Choi)

[정회원]



- 2010년 7월 : 고려대학교 의용과학대학원 의료영상공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 : 한양대학교 보건학과 박사과정
- 2001년 2월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

자기공명영상학, 보건학, 방사선영상학, 의료영상공학

손 순 룡(Soon-Yong Son)

[정회원]



- 1999년 2월 : 단국대학교 보건행정학과졸업 (보건행정학석사)
- 2012년 9월 : 한양대학교 보건학과 박사과정 수료
- 1990년 6월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학, 보건행정학, 보건학

김 태 형(Tae-Hyung Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 국립서울산업대학교 재료공학과 (공학사)
- 2002년 2월 : 연세대학교 공학대학원 산업공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 동국대학교 일반대학원 생물학과 (이학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 방사선학과 조교수

<관심분야>

방사선생물학, 인터벤션영상학, 의료용 생체재료

한 만 석(Man-Seok Han)

[정회원]



- 2000년 2월 : 한밭대학교 산업공학과(공학사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 의공학대학원 의공학과 (의공학석사)
- 2012년 2월 : 충남대학교 의공학대학원 의공학과 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 강원대학교 방사선학과 조교수

<관심분야>

자가공명영상, 초음파, 방사선 영상학, 골밀도

이 희 주(Hee-Ju Lee)

[정회원]



- 2012년 2월 : 건양대학교 방사선학과 졸업
- 2012년 2월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

자가공명영상학, 방사선영상학, 보건학

민 정 환(Jung-Whan Min)

[정회원]



- 2005년 2월 : 고려대학교 의용과학대학원 (의공학석사)
- 2012년 2월 : 가톨릭대학교 의학 물리공학 (의학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 신구대학교 방사선과 조교수

<관심분야>

디지털영상처리, 의학물리