

고관절의 자기공명관절조영검사 시 가돌리늄 함유량이 높은 조영제의 유용성

최관우^{1,2}, 김윤신¹, 손순룡², 이호범², 나사라², 민정환³, 유병규⁴, 이종석^{4*}
¹한양대학교 대학원 보건학과, ²서울아산병원 영상의학과, ³신구대학교 방사선과, ⁴원광보건대학교 방사선과

The usefulness of the contrast agent high in gadolinium for the contrast-enhanced magnetic resonance hip arthrography

Kwan-Woo Choi^{1,2}, Yoon-Shin Kim¹, Soon-Yong Son², Ho-Beom Lee², Sa-Ra Na²,
Jung-Wan Min³, Beong-Gyu Yoo⁴ and Jong-Seok Lee^{4*}

¹Department of Health Science, Graduate School Hanyang University,

²Department of Radiology, Asan Medical Center,

³Department of Radiology, Shin-Gu University,

⁴Department of Radiotechnology, Wonkwang Health Science University

요약 본 연구는 고관절의 자기공명관절조영검사 시 가돌리늄 함유량이 높은 1mmol/mL 조영제를 사용함으로써 현재 대다수의 의료기관에서 사용하고 있는 0.5mmol/ml 조영제 대비 신호대잡음비와 대조도대잡음비를 높여 진단적 가치를 극대화 시키는데 목적을 두었다. 연구방법은 2012년 1월부터 2013년 6월까지 가돌리늄 함유량에 따른 대조도 차이를 알아보기 위하여 0.5mmol/mL 함유량을 가진 기존의 조영제를 사용한 20명과 1mmol/mL 함유량을 가진 새로운 조영제를 사용한 27명 등 총 47명의 환자를 연구대상으로 하였으며, 고관절의 관절공간과 인접한 근육조직인 장요근, 그리고 대퇴골두의 신호강도를 각각 측정 후 신호대잡음비와 대조도대잡음비를 비교 평가하였다. 연구 결과, 가돌리늄 함유량이 높은 1mmol/mL 조영제 사용 시 SNR은 관절공간 27.00%($p<.01$), 대퇴골두 30.01%($p<.01$), 장요근 18.74%($p>.05$) 높았고, 대조도대잡음비 또한 신호대잡음비와 같이 관절공간과 장요근, 관절공간과 대퇴골두 모두 28.31%($p<.01$)와 26.74%($p<.01$)로 높았다. 결론적으로 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 높은 1mmol/mL 조영제를 사용하면 높은 T1 단축효과로 인해 신호강도가 커지고 대조도 차이가 큰 영상을 획득 할 수 있어, 진단적 가치가 높은 영상을 얻을 수 있다. 본 연구는 고관절의 자기공명관절조영검사에 대한 1mmol/mL 조영제의 유용성을 최초로 증명하여 진단적 가치를 높일 수 있는 방안을 제시하였다는 데에 학문적 가치가 크다고 하겠다.

Abstract The purpose of this study is to maximize diagnostic usefulness with increasing signal to noise ratio(SNR) and contrast to noise ratio(CNR) by using a 1mmol/mL gadolinium contrast agent. From January 2012 to June 2013 forty-seven patients were underwent the MRI scanning to investigate the contrast difference in gadolinium content. Twenty of the patients were injected the commercial contrast agent containing 0.5mmol/mL gadolinium and the rest of them were injected the new contrast agent containing 1mmol/mL gadolinium called gadobutrol. We measured and evaluated each SNR and CNR of the hip joint space, iliopsoas muscle and femoral head. As a result, using the 1mmol/mL gadolinium contrast agent had the higher SNR results than using the 0.5mmol/mL agent(27% in the hip joint, 30.01% in the femoral head). Also CNR using the 1mmol/mL gadolinium agent was proved to be higher than that of using 0.5mmol/mL agent(28.31% in the iliopsoas muscle and 26.74% in the femoral head). Therefore, the contrast agent containing more gadolinium like 1mmol/mL used in this study is more effective to shorten T1 relaxation time, so it increases the signal intensity and CNR and furthermore maximizes diagnostic value. This study reports the usefulness of the 1mmol/mL contrast agent in the contrast-enhanced magnetic resonance hip arthrography for the first. Therefore, it can be considered to have a meaningful academic value as showing the method for increasing the diagnostic usefulness by using the 1mmol/mL contrast agent.

Key Words : Gadolinium content, 1mmol/mL MR contrast agents, MR arthrography, Direct MR arthrography, Hip arthrography

이 연구는 2013년도 원광보건대학교 교내연구비 지원에 의해서 수행됨

*Corresponding Author : Jong-Seok Lee(Wonkwang Health Science Univ.)

Tel: +82-63-840-1234 email: jslee@wu.ac.kr

Received July 30, 2013

Revised September 2, 2013

Accepted November 7, 2013

1. 서론

자기공명관절조영술(magnetic resonance arthrography, 이하 MR arthrography)은 관절강 내 조영제를 주입하여 검사하는 방법으로, 1987년 처음 소개된 이후 현재까지 어깨관절, 팔꿈치관절, 손목관절, 무릎관절, 고관절 등 인체 내 관절의 진단과 평가에 널리 이용되고 있다[1].

관절 검사에 있어 MR arthrography가 널리 이용되는 이유로는 CT arthrography에 비해 방사선피폭에 대한 위험을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 조직 간 대조도분해능(tissue contrast resolution)이 높아 관절면의 찢김(tear)이나 패임(cleft) 등 여러 가지 관절 병변에 대해 시각적으로 높은 진단적 정보를 제공하기 때문이다[2]. 또한 조영제를 사용하지 않는 고식적인 자기공명영상 보다 관절 병변에 대해 더 높은 민감도(sensitivity)와 특이도(specificity)를 가지고 있어 관절의 정확한 진단과 평가에 있어 선호된다[3].

MR arthrography는 조영제를 주입하는 방법에 따라 조영제를 간접적으로 주입하는 indirect MR arthrography와 직접 주입하는 direct MR arthrography 로 구분된다.

indirect MR arthrography는 상완정맥으로 주입된 조영제가 혈관의 확산과 투과성에 의해 간접적으로 관절 안으로 유입되는 방법으로[4], 관절강 내 조영제 주입을 위한 방사선투시(fluoroscopy)를 하지 않아 비침습적으로 방사선 피폭이 없다는 장점이 있다[5]. 그러나 관절강 뿐만 아니라 주위의 정상조직에도 조영증강이 되어 오진의 가능성이 있으며, 조영제 직접 주입에 의한 관절강의 확장이 없기 때문에 정보가 손실된다는 단점이 있다. 이에 반해 direct MR arthrography는 방사선투시를 이용한 직접 천자를 통해 조영제를 관절강 내에 주입하여 검사하는 방법이다. 침습적이며 검사 전에 소량의 방사선 피폭이 발생한다는 단점이 있으나, 관절강 내에 주입된 조영제에 의해 관절강이 확장되면서 작고 복잡한 구조물들을 구분할 수 있어 매우 우수한 진단적 정보를 제공한다. 이로 인해 대부분의 관절검사는 direct MR arthrography로 검사를 시행하고 있으며, indirect MR arthrography는 direct MR arthrography가 불가능할 경우 차선택으로 시행하고 있다[4].

고관절(hip joint)은 골반을 통해 전달되는 체중을 지탱하는 볼-소켓(ball & socket) 형태의 관절로서, 접촉이 이루어지는 부분이 대부분 관절연골로 덮여 있어 마찰이 적고 안정적이면서 운동범위가 큰 특징이 있다. 그러나 상당한 외력에 의해 관절이 빠지거나 관절 주위에 골절이 빈번히 생길 수 있고, 퇴행성 관절염이나 골조직의 혈액순환 장애로 인한 무혈성 괴사가 생길 수 있다[6].

고관절은 수술 시 대퇴골두(femoral head)와 비구연골(acetabular cartilage) 등의 구조물에 대한 정확한 평가와 진단이 요구된다[7]. 또한 골관절염(osteoarthritis)의 조기 진단은 고관절의 치료 방향에 있어서 중요한 지표가 되며, 이는 비구연골, 인대 등과 같은 작은 구조물들의 평가를 통해 이루어지고 있다. 그러나 고관절의 고식적인 자기공명영상은 공간분해능(spatial resolution)의 한계에 의해 매우 작은 구조물들과 얇은 연골을 평가하는 데는 제한점이 있다[8]. 또한 direct MR arthrography 검사를 하더라도 방사선 투시에 필요한 요오드성 조영제가 가돌리늄 조영제의 T1 단축 효과(T1 relaxation)를 저하시켜 신호대잡음비(signal to noise ratio, 이하 SNR)가 떨어지는 부정적인 요소로 작용한다[2]. 그러므로, SNR을 높여 공간분해능을 향상시키는 것이 고관절의 검사 시 무엇보다도 중요하며, 이는 정상조직과 병변조직의 대조도 향상으로 이어져 미세한 병변까지 진단할 수 있게 된다[9].

조영제에 의한 고관절의 대조도는 조영제의 가돌리늄 함유량에 따른 T1 이완효과에 의해 좌우된다. 즉 단위부피당 가돌리늄 함유량이 많으면 T1 단축효과가 높아져 대조도 차이가 큰 영상을 획득할 수 있다. 그러나 대부분의 의료기관에서는 가돌리늄 함유량이 낮은 조영제(0.5mmol/mL, 이하 0.5M)를 사용하고 있다.

낮은 영상의 신호강도는 SNR과 대조도대잡음비(contrast to noise ratio, 이하 CNR)를 저하시키고 공간분해능을 높이는데 제한점이 있다. 이에 따라 병변감별이 모호한 영상을 획득하게 되고 진단 및 치료에 심각한 영향을 초래한다. 이러한 문제점에도 불구하고 개선에 관한 연구는 국내외적으로 조영제를 일시에 주입하는 심장관류검사나[10,11] 조영제를 간접적으로 주입하는 뇌혈관 등[12,13] 일부에 국한되어 이루어지고 있을 뿐, 관절의 MR arthrography에 관한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 고관절의 자기공명관절조영검사 시 가돌리늄 함유량이 높은 조영제(1mmol/mL, 이하 1M)를 사용하여 대다수 의료기관에서 사용하고 있는 0.5mmol/ml 조영제 대비 SNR과 CNR을 높이고, 진단적 가치를 극대화 시키는데 연구의 목적을 두었다.

2. 본론

2.1 연구대상 및 방법

2.1.1 연구대상

2012년 1월부터 2013년 6월까지 MR arthrography를 시행한 환자 91명 중 고관절의 direct MR arthrography를 검사한 환자 47명을 연구대상으로 하였다[Table 1].

[Table 1] Departments subjects

Department		Frequency	Percent(%)
Hip	direct	47	51.6
	indirect	2	2.2
Shoulder	direct	32	35.2
Wrist	direct	10	11.0

2.1.2 연구방법

연구방법은 단위부피당 0.5M의 함유량을 가진 기존의 조영제(gadoterate meglumine)를 사용하여 검사한 환자 20명(42.6%)과 단위부피당 1M의 함유량을 가진 새로운 조영제(gadobutrol)를 사용하여 검사한 환자 27명(57.4%)을 대상으로, 가돌리늄 함유량에 따른 대조도 차이를 알아보기 위하여 고관절의 관절공간(joint space)과 인접 조직과의 SNR과 CNR을 비교 평가하였다[14]. 조영제의 관절주입은 단위부피당 가돌리늄의 함유량을 동일하게 하기 위해 0.5M 조영제의 경우, 생리식염수(normal saline) 50mL에 조영제 0.3mL를, 1M 조영제의 경우, 0.15mL를 혼합(mix)한 후 환자의 통증에 따라 고관절에 10~20mL를 직접 주입하였다.

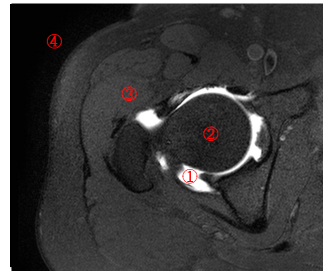
현재 대다수 의료기관에서 고관절 direct MR arthrography 검사 시 0.5M의 조영제를 사용하고 있으며, 1M의 조영제는 최근 개발되어 미적용되고 있다.

2.1.3 영상획득 및 기법

영상획득 장비로 Philips Achieva 3.0T MR system과 8channel SENSE cardiac coil을 사용하였다. 가돌리늄 함유량에 따른 고관절 영상은 관골구(acetabulum)의 조영제가 흐르는 것을 포함하여 고관절에 수평으로 관상면(axial plan) T1 SPIR(spectral presaturation with inversion recovery) 영상을 획득하였으며, 사용된 영상변수는 반복시간(TR) 518ms, 에코시간(TE) 20ms, 속임각(flip angle) 90°, FOV(field of view) 200mm×200mm, 화소배열수(matrix) 340×340, 절편두께(slice thickness) 3mm, 절편간격(slice gap) 1mm, 절편수(slices) 30, NEX(number of excitation) 3으로 하였으며, 총 검사시간(scan time)은 4분 29초였다.

2.1.4 측정 및 분석방법

측정방법은 영상 평가프로그램인 Image J(Ver. 1.47n, NIH, USA)를 이용하여, 10mm²의 ROI(region of interest)를 설정한 후 고관절의 관절공간(joint space)과 인접한 근육조직인 장요근(Iliopsoas muscle), 그리고 대퇴골두(head of femur)의 신호강도를 측정하였다[Fig. 1].



- ① joint space
- ② head of femur
- ③ Iliopsoas muscle
- ④ background

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

SNR은 각각의 측정된 신호강도를 백그라운드 신호강도의 표준편차로 나누어 계산하였고(식 1), CNR은 관절공간과 인접한 조직의 신호강도의 차를 구한 다음, 백그라운드 신호강도의 표준편차로 나누어 절대값으로 계산하였다(식 2).

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

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

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

분석방법은 독립표본 T검정(SPSS 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 11명, 여성이 36명이었고, 기술통계(descriptive statistics, SPSS 버전 18)를 이용한 평균연령 및 표준편차는 41.70±15.99세(17세-74세)였다.

[Table 2] Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percent(%)
Gender	Male	11	23.4
	Female	36	76.6
Age	20 under	2	4.3
	20-29	12	25.5
	30-39	7	14.9
	40-49	9	19.1
	50-59	10	21.3
	60-69	5	10.6
	70 up	2	4.3

가돌리늄 함유량에 따른 SNR은 관절공간의 경우 0.5M 조영제가 119.34±27.26, 1M 조영제가 151.56±33.21로 1M 조영제가 27.00%(32.22) 높았으며, 인접 근육조직인 장요근의 경우 0.5M 조영제가 16.38±4.16, 1M 조영제가 19.45±5.95로 1M 조영제가 18.74%(3.07) 높았고, 대퇴골두 역시 0.5M 조영제가 9.63±2.61, 1M 조영제가 12.52±2.81로 1M 조영제가 30.01%(2.89) 높았다(Table 3). 이는 1M 조영제가 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 0.5M 조영제에 비해 많아 높은 T1 단축효과를 내는 것으로 SNR이 큰 영상을 얻을 수 있음을 의미한다.

관절공간과 인접한 조직의 CNR은 SNR과 같이 1M 조영제가 장요근 132.11±30.33, 대퇴골두 139.05±32.63으로 0.5M 조영제의 102.96±25.15, 109.71±27.38에 비해 각각 28.31%(29.15), 26.74%(29.34) 높게 나타났다(Table 3). 이 또한 높은 T1 단축 효과를 내는 1M 조영제가 0.5M 조영제에 비해 CNR이 큰 영상을 얻을 수 있음을 의미한다.

[Table 3] SNR and CNR according to gadolinium content

Category	0.5mmol/mL CM (mean±SD)	1mmol/mL CM (mean±SD)	
joint space	119.34±27.26	151.56±33.21	
SNR	Iliopsoas muscle	16.38±4.16	19.45±5.95
	head of femur	9.63±2.61	12.52±2.81
CNR	Iliopsoas muscle	102.96±25.15	132.11±30.33
	head of femur	109.71±27.38	139.05±32.63

가돌리늄의 함유량에 따른 독립표본 T검정 결과, 관절공간의 SNR은 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 많은 1M 조영제가 0.5M 조영제에 비해 32.23의 차이로 높았으며, 통계적으로 매우 유의하였고(p<.01), 대퇴골두도 2.89의 차이를 보여 통계적으로 매우 유의하였다(p<.01). 장요근에서는 3.07의 평균차는 있었으나 통계적 유의성은 없었다(p>.05).

관절공간과 장요근의 CNR은 1M 조영제가 0.5M 조영제에 비해 29.16의 차이로 높았으며, 통계적으로 매우 유의하였고(p<.01), 관절공간과 대퇴골두의 경우, 29.34의 차이로 높게 나타나 통계적으로 매우 유의하였다(p<.01), [Table 4].

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

Category	Mean Difference	Std. Error Difference	t	Sig.	
joint space	-32.23	9.68	-3.331	.002	
SNR	Iliopsoas muscle	-3.07	1.66	-1.849	.072
	head of femur	-2.89	0.85	-3.390	.002
CNR	Iliopsoas muscle	-29.16	8.87	-3.289	.002
	head of femur	-29.34	9.57	-3.065	.004

3. 고찰 및 결론

관절강 내 조영제를 직접 주입하는 direct MR arthrography는 비정상적인 부분으로의 조영제 유입을 통해 관절 내 구조물의 경계를 명확히 나타내어 진단의 정확성과 민감도가 높다[15]. 그러나 임상적으로 유용한 자기공명관절조영상을 얻기 위해서는 영상획득 시 관절공간과 인접 구조물간의 SNR과 CNR이 높아야 한다.

Park 등[16]은 자기공명관절조영상 획득 시 3D 펄스대열을 사용하면 SNR과 CNR을 높일 수 있다고 하였으나, 이는 단순히 2D와 3D 시퀀스 비교 방법으로 근본적인 해결책이 될 수 없으며, Gustav 등[17]은 1.5T 보다 3T에서 SNR이 높은 영상을 획득할 수 있다고 하였으나, 이 또한 고가의 설비 자체를 교체해야 하는 어려움으로 인해 현실성이 없다.

Fenchel 등[18]은 Choi 등[14]은 가돌리늄 함유량이 높은 1M 조영제가 0.5M에 비해 대조도가 높아 관상동맥 협착증의 진단과 심근생존능 평가에 유용하다고 하였고, Haneder 등[12]과 Mathias Goyen 등[13]도 1M 조영제가 뇌혈관에서 높은 대조도 영상을 얻을 수 있다고 보고하였으나, 위 연구 모두 심장과 뇌혈관에 국한된 연구로서 본 연구와는 적용부위가 상이하다는 차이가 있다.

이에 반해, Jung 등[19]은 1M 조영제인 gadobutrol을 사용하여 자기공명관절조영상을 획득하였으나, 이는 단순히 indirect와 direct MR arthrography의 차이를 비교한 연구일 뿐, 본 연구의 가돌리늄 함유량 차이에 따른 신호강도 차이 분석과는 차이가 있다.

현재 임상에서는 MR arthrography 시 이온성조영제인 gadobenate dimeglumine을 사용하여 영상을 얻고 있다. gadobenate dimeglumine은 가돌리늄 함유량이 0.5M로 표준온도(37℃)에서 점도(2.00sm/kg)와 T1 이완효과가 낮아(1.5T: 3600mL/mmol·s⁻¹, 3.0T: 3500mL/mmol·s⁻¹) 영

상 획득 시 신호강도가 약하다는 단점이 있다[20]. 낮은 신호강도로 인한 SNR과 CNR은 관절강내 관절연골이나 주위조직의 병변을 쉽게 관찰할 수 없으므로 정확한 진단에 오류를 범할 수 있으며, 치료에 심각한 영향을 초래할 수 있다.

본 연구에 사용된 gadobutrol은 1M로 0.5M 조영제에 비해 단위 부피당 약 2배의 가돌리늄을 함유하고 있어 T1 이완효과가 높다(1.5T: 5200mL/mmol·s⁻¹, 3.0T: 5000mL/mmol·s⁻¹). 또한 점도(4.96Osm/kg)가 MR 조영제 중 가장 높으며 혈액반감기가 1.5시간으로 혈액 내 잔류시간이 길다는 장점 등으로[20] 저자들은 1M 조영제를 사용하여 T1 단축효과를 극대화시킴으로서 관절조영영상 획득 시 진단적 가치가 높은 영상을 얻고자 하였다.

연구 결과, 가돌리늄 함유량에 따른 SNR은 고관절의 관절공간에서 1M 조영제 사용 시 27.00%, 대퇴골두에서 30.01%, 장요근에서 18.74% 높았다. 관절공간과 인접한 조직의 CNR 또한 SNR과 같이 1M 조영제 사용 시 관절공간과 장요근, 관절공간과 대퇴골두 모두 28.31%와 26.74%로 높게 나타났는데, 단위 부피당 가돌리늄 함유량이 많은 1M 조영제가 0.5M에 비해 높은 T1 단축효과를 나타내 신호강도가 커지고, 이로 인해 대조도 차이가 큰 영상을 얻은 것이다.

이는 Choi 등[14]의 심근생존능 평가 연구(SNR: 심근 25.13%, 심실 30.74%, CNR: 31.29%)와 Mathias Goyen 등[13]의 뇌혈관 연구(SNR: 41.76%, CNR: 42.52%) 보다 낮은 수치지만 Haneder 등[12]의 연구(SNR: 13.03%, CNR: 13.68%) 보다 높은 수치로써, 몸무게에 따라 정량을 주입하여 획득하는 심장이나 뇌혈관 영상에 비해 300 배 이상 희석하여 관절에 주입한 후 영상을 획득한다는 점에서 획기적인 연구라고 할 수 있다. 또한 1.5T와 3T의 심근지연영상을 비교한 Bernhard 등[21]은 3T에서 SNR 29.55%, CNR 45.00% 높았고, direct MR arthrography 연구한 Gustav 등[17]은 3T에서 SNR이 57.38% 증가한 것으로 보고하였다. 그러나 고가 장비의 교체가 어려운 현실을 감안하였을 때, 저자들의 연구가 적절한 대안이라고 할 수 있겠다.

본 연구는 MR arthrography 중 고관절 질환이 의심되는 환자를 대상으로 하였다는 제한점이 있으나, 관절을 대상으로 한 1M 조영제에 대한 국내외 연구가 없고, 관절강 내 가돌리늄 함유량에 따른 신호강도의 차이를 정량적으로 분석하여 진단적 가치를 높일 수 있는 방안을 제시하였다는 데에 커다란 의의가 있다. 향후 다양한 부위의 관절 환자에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Joshua Yellin, Jeffrey J. Peterson, "MR arthrography", *Applied Radiology*, pp.8-16, 2010.
- [2] Aa Kassrjian, "Current concepts in MR and CT Arthrography", *Semin Musculoskelet Radiol*, 16, pp.1-2, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1055/s-0032-1304296>
- [3] Toby O. Smith, Gemma Hilton, Andoni P. Toms, Simon T. Donell, Caroline B. Hing, "The diagnostic accuracy of acetabular labral tears using magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography: a meta-analysis", *Eur j Radiol.*, 21, pp.863-874, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-010-1956-7>
- [4] Gulden Sahin, Mehmet Demirtas, "An overview of MR arthrography with emphasis of the current technique and applicational hints and tips", *Eur J Radiol*, 58, pp.416-430, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrad.2006.01.002>
- [5] Sharp and Children's MRI Center, Available From: <http://www.sharpandchildrensmrcenter.com/upload/documents/mr%20-%20arthrogram%20-%20final.pdf>
- [6] Naver Health, Available From: <http://health.naver.com/medical/bodyOrgan/detail.nhn?selectedTab=detail&bodyOrganCode=CA000228&isGroup=N>, (accessed Jul, 30, 2013)
- [7] Bernd B, Christoph Z, Y. J. Kim, Stefan W, Klaus A, Siebenrock, Tallal C, Mamisch, Harish S, Hosalkar, "Delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging of hip joint cartilage: pearls and pitfalls", *Orthopedic Reviews*, pp.45-50, 2011.
- [8] J. Hirvasniemi, K. A. M. Kulmala, E. Lanmmantausta, R. Ojala, P. Lehenkari, A. Kamel, J. S. Jurvelin, J. Toyras, M.. T. Nieminen, S. Saarakkala, "In vivo comparison of delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage and delayed quantitative CT arthrography in imaging of articular cartilage", *Osteoarthritis cartilage*, 21, pp.434-442, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.joca.2012.12.009>
- [9] Philip Robinson, "conventional 3T MRI and 1.5T MR arthrography of femoroacetabular impingement", *AJR Am J Roentgenol*, 199, 3, pp.509-515, 2012
DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.12.8672>
- [10] 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%3C806::AID-JMRI27%3E3.0.CO;2-0](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1522-2586(199911)10:5%3C806::AID-JMRI27%3E3.0.CO;2-0)
- [11] 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.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1161/01.CIR.0000080915.35024.A9>
- [12] S. Haneder, U. Attenberger, 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", *Eur Radiol*, C-1016, 2010.
- [13] 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", *J Magn Reson Imaging*, 14, pp.602-607, 2001.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.1225>
- [14] K. W. Choi, S. L. Son, H. J. LEE, T. H. Kim, M. S. Han, J. H. Min, "Usefulness of contrast agent involving high gadolinium content for myocardial viability assessment", *Journal of academia-industrial technology*, 14, 3, pp.1294-1300, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.3.1294>
- [15] O. S. Kwon, S. E. Park, E. S. Shin, "Comparative Study of MR-arthrography and Arthroscopy in Partial Thickness Rotator Cuff Tears", *J Shoulder Elbow Surg*, 12, 1, pp.38-43, 2009.
- [16] S. Y. Park, J. S. Park, W. Jin, K. h., Rhyu, K. N. Ryu, "Diagnosis of acetabular labral tears: comparison of three-dimensional intermediate-weighted fast spin-echo MR arthrography with two-dimensional MR arthrography at 3.0T", *Acta Radiol*, 54, 1, pp.75-82, 2013.
- [17] Gustav A, Johannes M, Juerg H, Dominik W, Verena B, Christian W, Chris B, Daniel N, "Direct MR Arthrography at 1.5 and 3.0T: Singal Dependence on Gadolinium and Iodine Concentrations-Phantom Study", *Radiology*, 247, 3, pp.706-716, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2473071013>
- [18] 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", *Br J Radiol*, 80, pp.884-892, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1259/bjr/34610669>
- [19] J. Y. Jung, Y. C. Yoon, S. K. Yi, J. C. Yoo, B. K. Choe, "Comparison study of indirect MR arthrography and direct MR arthrography of the shoulder", *Skeletal Radiol*, 38, pp.659-667, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00256-009-0660-7>
- [20] Wendland MF, Saeed M, Lund G, Higgins CB, "Contrast enhanced MRI for quantification of myocardial viability", *J Magn Reson Imaging*, 10, pp.694-702, 1999.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2586\(199911\)10:5<694::AID-JMRI12>3.0.CO;2-J](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1522-2586(199911)10:5<694::AID-JMRI12>3.0.CO;2-J)
- [21] Bernd B, Christoph Z, Y. J. Kim, Stefan W, Klaus A, Siebenrock, Tallal C, Mamisch, Harish S, Hosalkar, "Delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging of hip joint cartilage: pearls and pitfalls", *Orthopedic Reviews*, pp.45-50, 2011.

최 관 우(Kwan-Woo Choi)

[정회원]



- 2010년 7월 : 고려대학교 의용과 학대학원 의료영상공학과 (공학 석사)
- 2013년 3월 : 한양대학교 보건학과 박사과정
- 2001년 2월 ~ 현재 : 서울아산 병원 영상의학과

<관심분야>

자기공명영상학, 보건학, 방사선영상학, 의료영상공학

김 윤 신(Yoon-Shin Kim)

[정회원]



- 1978년 2월 : 일본 동경대학교 보건학과 (보건학박사)
- 1985년 : Univ.of Texas SPH at Houston (환경학박사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 보건학과 주임교수, 한양대학교 의과대학 작업환경과 교수
- 2012년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 고령사회연구원장

<관심분야>

환경학(실내공기), 산업의학, 보건학, 저출산 고령사회

손 순 룡(Soon-Yong Son)

[정회원]



- 1999년 2월 : 단국대학교 보건행정학과졸업 (보건행정학석사)
- 2013년 8월 : 한양대학교 보건학과졸업 (보건학박사)
- 1990년 6월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학, 보건행정학, 보건학

민 정 환(Jung-Whan Min)

[정회원]



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

<관심분야>

영상정보공학, 전기전자공학, 방사선기기학

이 호 범(Ho-Beom Lee)

[정회원]



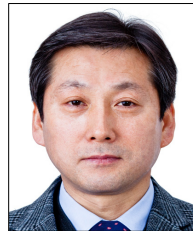
- 2008년 2월 : 고려대학교 보건대학 방사선과 졸업
- 2009년 6월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학

유 병 규(Beong-Gyu Yoo)

[정회원]



- 1996년 2월 : 한양대학교 환경방사선학 졸업 (공학석사)
- 2001년 8월 : 동국대학교 생명과학 졸업 (이학박사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 원광보건대학교 방사선과 교수

<관심분야>

방사선영상정보학, 디지털영상학, 방사선생물학

나 사 라(Sa-Ra Na)

[정회원]



- 2010년 2월 : 고려대학교 보건과학대학 방사선학과 졸업
- 2010년 2월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 보건학과 석사 과정

<관심분야>

자기공명영상학, 방사선영상학, 디지털영상학

이 종 석(Jong-Seok Lee)

[정회원]



- 1988년 2월 : 원광대학교 전기공학과 석사졸업 (공학석사)
- 2002년 2월 : 원광대학교 전기공학과 박사졸업 (공학박사)
- 1984년 2월 ~ 현재 : 원광보건대학교 방사선과 교수

<관심분야>

영상정보공학, 전기전자공학, 방사선기기학