

비 자성 금속 screw를 이용한 고정술에서 주파수 부호화 경사 방향 변환에 따른 영상의 유용성

조재환*, 이해각**, 박철수***

요 약

비 자성 금속 screw를 이용한 고정술을 시행한 환자를 대상으로 검사하는 자기공명영상에서는 자장의 기하학적 변형을 일으켜 영상에 자화율 인공물을 유발시킨다. 이에 본 연구에서는 자화율 인공물 발생 시 주파수 경사 방향 변환에 따른 영상의 왜곡 정도를 비교, 확인하고자 하였다. 우선 티타늄 성분의 비 자성 금속 screw를 삽입한 자체 팬텀을 제작하여 관심영역을 설정하고 주파수 경사 방향을 축상면에서는 전측-후측을 우측-좌측 방향으로 변환하였고 관상면에서는 우측-좌측을 위측-아래측으로 변환하였고 시상면에서는 상측-하측을 전측-후측으로 변환하여 관심영역의 왜곡 정도를 비교, 관찰 하였다. 결과적으로 주파수 경사 방향을 변환 하였을 때 관심 영역의 왜곡차이를 확인 할 수 있으며 향후 경사 방향을 적절하게 변경함으로써 진단적 효율을 높일 수 있을 것으로 사료된다.

The usability of the image according to the frequency encoding gradient direction conversion in fixation using the non magnetic metal screw

Jae-Hwan Cho*, Hae-Kag Lee**, Cheol-So, Park****

ABSTRACT

Because of causing the geometrical transformation of the magnetic field, the patient implementing the fixation using the nonmagnetic metal screw causes the magnetic susceptibility artifact at an image. Thus, in this research, the distortion measure of the image according to the frequency oblique direction conversion tried to be compared in the magnetic susceptibility artifact occurrence. First, the itself phantom inserting the nonmagnetic metal screw of the titanium component was made and the region of interest was set up and the frequency oblique direction the anterior - back side was converted to the right-to-left direction in the axial image and a right-to-left was converted to the upper side - bottom side in the coronal plane and the upper - bottom side was converted to the anterior - back side in the sagittal plane and the distortion measure of the region of interest was compared, it observed. In a result, when converting the frequency oblique direction, the distortion difference of the region of interest could be confirmed and it is considered to enhance the diagnostics efficiency changing the oblique direction appropriately.

Key Words : nonmagnetic metal screw, frequency gradient direction, distortion

※ 제일저자(First Author) : 조재환
접수일:2010년 11월 21일, 수정일:2011년 3월 14일,
완료일:2011년 3월 30일
* 경산1대학 방사선과
8452404@hanmail.net
** 교신저자 : 이해각, 순천향대학교 컴퓨터공학과
*** 한림성심대학 방사선과

1. 서론

다양한 영상의료 장비 중 진단분야에 가장 높은 기여를 하고 있으며 여러 검사 장비의 우수성을 모두 갖춘 장비로는 단연 MRI 장비를 꼽

을 수 있다. 그 이유는 MRI가 해부학적 정보뿐 아니라 기능적 정보를 제공하고 나아가서는 분자 생물학적 정보를 영상화 할 수 있는 가능성도 내포하고 있기 때문이다. 또한 MRI는 이미지 형성 과정 중에서 단면 선택 경사, 위상 부호화 경사, 주파수 부호화 경사 등 3방향으로 경사를 주기 때문에 환자의 체위 변화 없이 시상면, 관상면, 횡단면, 사위 등의 영상 획득이 가능하다.⁽¹⁾ 한편 이 경사 자계는 이미지 형성과정 중 대조도와 해상도에 영향을 주고 있다. 하지만 MRI는 이런 장점이외에도 많이 단점이 있다. 그 중에 하나인 susceptibility artifact를 들 수 있다. 이는 철 성분을 함유한 금속 물질이 존재하면 자기 감수성에 따른 자화율 차이로 인하여 영상의 왜곡을 초래하는 인공 산물이다.⁽²⁾ 임상에서는 여러 가지 척추의 불안정성 질환에 대하여 금속을 이용한 내고정술이 보편화되었고, 이에 사용되는 금속으로는 stainless steel이 주를 이루어 왔으나, 최근 약 6년간 stainless steel 대신에 티타늄 합금의 이용이 증가하고 있다. 이는 티타늄 합금이 stainless steel에 비해 MRI나 CT에서 인공 산물을 적게 유발하여 수술 후 추적 검사가 용이하다는 점이 주된 이유이다. 이에 관한 많은 실험실적 논문들이 보고되고 있지만^(3,4,5) 임상에서 티타늄 기구를 이용한 척추 고정 후 촬영된 MRI나 CT에서 원하는 만큼 만족스런 영상 정보를 얻지 못하는 것이 사실이다. 티타늄 성분의 비 자성 금속 screw를 이용한 고정술을 시행한 환자를 대상으로 검사하는 MRI 검사에서는 자기장의 기하학적 변형이 일어나 영상에 자화율 인공물을 유발시켜 영상의 변형을 가져오고 다른 병리학적인 상태로도 보여 병변의 오진을 초래 할 수도 있다. 앞에서 설명 하듯이 MR 이미지 형성 과정 중에 필요한 세 방향의 경사 자계는 영상의 질에 많은 영향을 미치고 있다. 이에 저자는 세 방향의 경사 자계중 주파수 부호화 경사자계의 방향을 변환시켜 인공 산물을 최소화 할 수 있는 방법에 대해서 조사를 하였으며 이를 바탕으로 영상 효과의 임상적용 유용성에 관하여 주안점을 두고 연구 하였다.

2. 대상 및 방법

2.1 대상

본 연구에서는 susceptibility artifact를 유발시키기 위한 phantom을 제작하여 주파수 경사 방향을 변환시켜 영상을 획득한 뒤 영상의 왜곡 정도를 비교, 확인하고 또한 실제 비 자성 금속 screw를 삽입한 환자에게도 주파수 경사 방향을 변환하여 영상을 획득 한 뒤 관심영역 영상의 왜곡 정도를 비교 관찰 하였다.

팬텀에서는 주파수 경사 방향의 변환에 따른 관심 영역의 왜곡 정도를 확인하기 위하여 티타늄 성분의 비 자성 금속 screw를 삽입한 자체 팬텀을 이용하여 실험하였다.

실험을 위하여 가로, 세로, 높이 9×13×6cm 아크릴 용기 내에 티타늄 성분의 screw를 파라핀 성분의 고형물에 고정하여 넣은 뒤 물을 채운 phantom을 제작하였다.

환자 대상은 2009년 1월부터 2009년 12월까지 MRI 검사를 시행하는 환자 중 요추와 발목에 비 자성 금속 screw를 삽입한 환자 20명을 대상으로 하였다. 요추 환자의 경우 12명이고 연령은 30에서 62세이다.

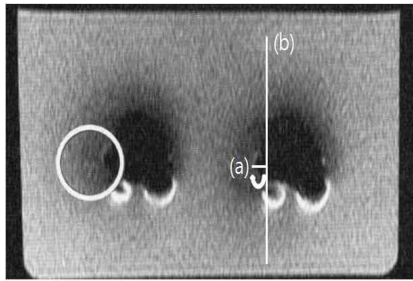
2.2 검사 방법

팬텀에서 MR영상의 획득은 1.5T MR scanner(Signa 1.5T HDx, GE Healthcare, Milwaukee, WI)와 HD T/R 8ch spine array coil(In vivo Corp, Gainesville, FL)을 이용하였고 위상배열다중코일(phased array multi-coil)을 사용하였다. 영상 획득은 주파수 경사 방향을 축상면에서는 전측-후측을 우측-좌측 방향으로 변환하였고 관상면에서는 우측에-좌측을 위측-아래측으로 변환하였고 시상면에서는 상측-하측을 전측-후측으로 변환하여 T2강조 영상을 획득하였으며 영상 변수는 다음과 같다.

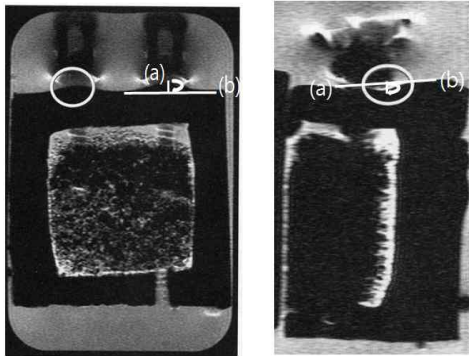
TR: 6000ms, TE: 90ms, Matrix: 288×224, NEX: 4, Slice thickness: 3.5mm, FOV(field of view): 140mm

획득한 T2강조 영상은 왜곡도를 평가하기 위하여 Advantage Workstation(Ver 4.3, Revision 4, GE healthcare, Milwaukee, WI)으로 보내져 실제 기준치에서 벗어난 길이를 측정하였다. 측정 부위는 축상면에서는 screw의 측면, 관상면에서는 screw와 접해 있는 상측의 고형물, 시상

면에서는 crew와 접해 있는 상측의 고형물을 측정 하였다. (그림 1)



A. 측상면에서의 길이 측정



B. 관상면에서의 길이 측정 C. 시상면에서의 길이 측정

(그림 1) phantom을 이용한 왜곡도 측정 방법

측정된 길이는 평균화 하였으며 평균값 차이는 대응 표본 검정(paired student t-test, SPSS win 12.0)을 이용하였고, P값이 0.05 이하일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

환자에서 MR영상의 획득은 1.5T MRI scanner(Signa 1.5T HDx. GE Healthcare. Milwaukee. WI)와 HD T/R 8ch spine array coil(In vivo Corp. Gainesville. FL)을 이용하였고 위상배열다중코일(phased array multi-coil)을 사용하였다. 영상 획득은 주파수 경사 방향을 시상면에서 전측-후측을 상측-하측으로 변환하여 T2강조 영상을 획득하였으며 영상 변수는 다음과 같다.

TR: 6000 ms, TE: 60 ms, Matrix: 128×192, NEX: 4, Slice thickness: 4.5 mm, FOV: 280 mm

획득한 T2강조 영상은 왜곡도를 평가하기 위

해서 방사선사 3명이 육안적으로 T2강조 시상면 영상에서 screw와 접해 있는 가로돌기 부위의 왜곡도 차이를 분석하였고 왜곡이 높음(3점), 중간(2점), 낮음(1점)의 구분을 3점 척도로 실시하여 평균값을 측정 하였으며 kruskal-walls test를 이용하여 평균값을 비교하였다.

3. 결과

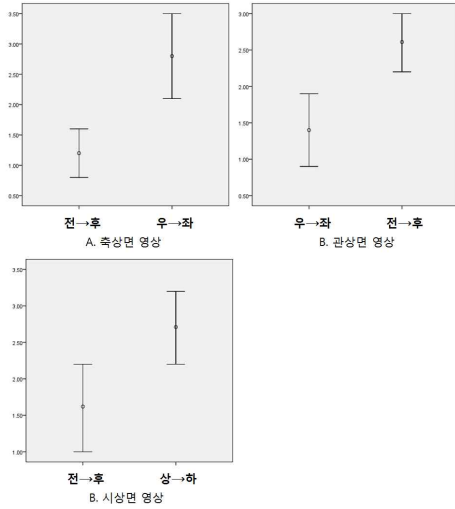
phantom을 이용하여 획득한 영상의 정량적 분석 결과 관심영역의 왜곡도 정도는 susceptibility artifact의 발생으로 주파수 경사 방향에 따라 차이가 있었다. 측상면에서는 주파수 경사 방향을 전측-후측으로 변환 하였을 때 벗어난 길이는 평균 $1.2 \pm 0.14 \text{mm}$ 이고 우측-좌측으로 변환 하였을 때 평균 $2.8 \pm 0.18 \text{mm}$ 이다. 관상면에서는 우측-좌측으로 변환 하였을 때 벗어난 길이는 평균 $1.4 \pm 0.21 \text{mm}$ 이고 전측-후측으로 변환하였을 때 벗어난 길이는 평균 $2.61 \pm 0.27 \text{mm}$ 이다. 시상면에서는 전측-후측으로 변환 하였을 때 벗어난 길이는 $1.62 \pm 0.22 \text{mm}$ 이고 상측-하측으로 변환 하였을 때 벗어난 길이는 $2.71 \pm 0.35 \text{mm}$ 이다. <표 1>

<표 1> phantom을 이용한 왜곡도 측정 길이

획득 영상	주파수 경사 방향			
	전측 → 후측	우측 → 좌측	전측 → 후측	상측 → 하측
측상면 영상	1.2 ± 0.14	2.8 ± 0.18	•	•
관상면 영상	•	1.4 ± 0.21	2.61 ± 0.27	•
시상면 영상	1.62 ± 0.22	•	•	2.71 ± 0.35

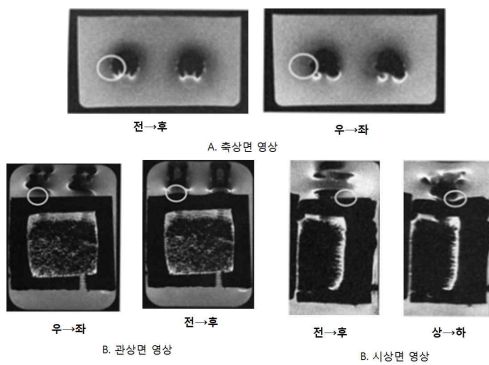
측상면 영상에서 주파수 경사 방향을 전측-후측으로 변환 하였을 때와 우측-좌측으로 변환 하였을 때의 길이 차이는 $p=0.215$, 관상면 영상에서 주파수 경사 방향을 우측-좌측으로 변환 하였을 때와 전측-후측으로 변환 하였을 때의 길

이 차이는 $p=0.032$, 시상면 영상에서 주파수 경사 방향을 전측-후측으로 변환 하였을 때와 상측-하측으로 변환 하였을 때의 길이 차이는 $p=0.029$ 로 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. ($p<0.05$) (그림 2)



(그림 2) phantom을 이용한 왜곡도 측정 그래프

즉 축상면 영상에서 주파수 경사 방향을 전측-후측으로 변환 하였을 때 보다 우측-좌측으로 변환 하였을 때 왜곡도가 심하게 나타났으며 관상면 영상에서는 우측-좌측으로 변환 하였을 때 보다 전측-후측으로 변환 하였을 때 왜곡도가 심하게 나타났으며 시상면 영상에서는 전측-후측으로 변환 하였을 때 보다 상측-하측으로 변환 하였을 때 왜곡도가 심하게 나타났다. (그림 3)



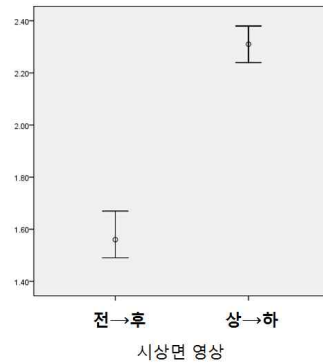
(그림 3) 주파수 경사 방향에 따른 MR phantom

영상

환자를 대상으로 획득한 영상의 정성적 분석 결과 T2강조 시상면 영상에서 주파수 경사 방향을 전측-후측으로 변환 하였을 경우 1.56 ± 0.40 , 상측-하측으로 변환 하였을 경우 2.31 ± 0.56 로 유의확률은 $0.043(p < 0.05)$ 으로써 통계학적으로 유의한 차이를 보였다. <표 2>, (그림4)

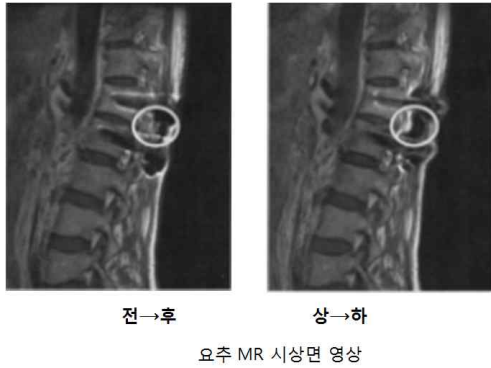
<표 2> 요추 환자 MR 시상면 영상의 왜곡도 평가

주파수 방향	관찰자			평균
	RT	RT	RT	
전측 → 후측	1.53 ± 0.34	1.67 ± 0.42	1.49 ± 0.39	1.56 ± 0.40
상측 → 하측	2.31 ± 0.51	2.24 ± 0.64	2.38 ± 0.53	2.31 ± 0.56



(그림 4) 요추 MR 영상의 왜곡도 측정 그래프

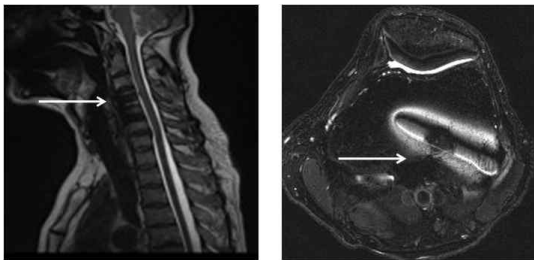
즉 주파수 경사 방향을 상측에서 하측으로 변환 하였을 경우 왜곡도가 심하게 나타났다. (그림 5)



(그림 5) 주파수 경사 방향에 따른 MR 요추 영상

4. 고찰 및 결론

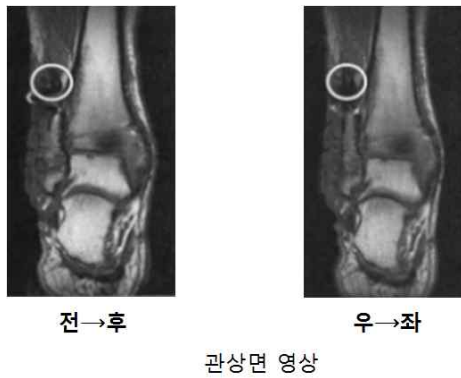
MRI검사는 축상면, 관상면, 시상면등 모든 방향에서 양질의 영상을 얻을 수 있고 뼈에 의한 장애 음영이 적어 수술 이후 발생하는 증상의 원인을 알기 위하여 그 이용 빈도가 증가 하고 있다. 하지만 금속 고정 물을 삽입한 환자의 경우 금속이 자성에 따라 주위의 자장을 혼란시켜 급에 의한 자기 감수성 차이에 의한 인공 산물이 발생 되어 인공 산물에 의한 관심 부위의 영상 파괴가 문제시 되고 있다.^(6,7) susceptibility artifact는 어떤 물질이 주어진 자장에 노출될 때 자기화의 정도를 나타내는 것으로서 이 감수성의 차이가 클수록 인공 산물은 커진다. 자기 감수성 차이에 의한 인공 산물은 자기 감수성 차이가 큰물질 인접부에서 일어나며, 두 물질의 경계부에 영상의 소실이나 뒤틀림이 일어난다. (그림 6)



(그림 6) susceptibility artifact가 발생한 MR 영상

또한, MRI에서 영상파괴는 여러 가지의 내외적 인자에 의해서 일어난다. 즉, 자기 감수성 효과는 자기장 세기(magnetic field strength), 물질의 화학적 구조, echo spacing 등에 의해 변화된다.⁽⁶⁾ 주어진 금속 기구에 대하여 자장의 세기(magnetic field strength)가 클수록 자기 감수성 효과(magnetic susceptibility effect)는 커지고, 인공 산물이 현저해 진다.⁽⁴⁾ 결과적으로 자화율 인공물에 의한 영상의 왜곡은 금속물체와 같이 자기 감수성 차이가 큰 부위 근처에서 심하게 나타나기 때문에 장애 음영의 범위도 넓어져 병변의 정확한 진단에 어려움을 주는 원인이 되고 있다. 따라서 이러한 금속 물질로 인해 나타나는 자화율 인공물을 감소시키기 위한 방법이 많이 연구 되어 왔다. Farahan⁽⁴⁾ 등은 fast spin echo 기법을 사용하면 echo spacing을 줄이기 때문에 자기 감수성 효과가 적고, 수술 후 MRI상에서 금속과 관련된 인공 산물을 줄인다고 하였다. Shellock⁽⁸⁾ 등은 주파수의 대역폭을 넓게 하면 인공 산물을 줄일 수 있다고 보고하고 있다. 하지만 fast spin echo 기법을 사용하면 검사 시간과 자화율 인공물을 줄일 수는 있지만 data를 모으는 TE 시간이 서로 다르기 때문에 흔들림이 발생 된다.⁽⁹⁾ 또한 주파수의 대역폭을 넓히면 잡음이 증가하여 영상에서 신호대 잡음비가 감소되면서 영상의 진단적 효율이 떨어진다.^(10,11)

본 연구에서는 자화율 인공물을 감소하기 위해서 phantom 이외에 요추 환자를 대상으로 주파수 경사 방향을 변환 하였으며 연구 결과 축상면 영상에서 주파수 경사 방향을 전측-후측으로 변환 하였을 때 보다 우측-좌측으로 변환 하였을 때 왜곡도가 심하게 나타났으며 관상면 영상에서는 우측-좌측으로 변환 하였을 때 보다 전측-후측으로 변환 하였을 때 왜곡도가 심하게 나타났으며 시상면 영상에서는 전측-후측으로 변환 하였을 때 보다 상측-하측으로 변환 하였을 때 왜곡도가 심하게 나타났다. 연구는 요추 환자로 제한하였지만 객관적인 결과를 얻기 위해 다른 해부학적 부위인 발목을 대상으로 검사를 실시하였으며 결과적으로 주파수 경사 방향을 변환함으로써 왜곡도가 감소하였다. (그림 7)



(그림 7) 주과수 경사 방향에 따른 MR 발목 영상

위 연구 이외에도 다른 해부학적 부위를 대상으로 하여도 같은 결과가 나올 것으로 사료된다. 본 연구에서는 T2 강조영상만을 획득하였다. 이는 T2 강조 기법은 T1 강조 기법에 비해 긴 echo time을 갖고 있기 때문에 자기 감수성 효과를 더 받기 쉽고, 주위 조직에 더욱 심한 자기 신호의 파괴를 초래한다⁽⁴⁾고 보고하고 있어 자화율 인공물에 의한 왜곡도를 증가시키기 위해 T2 강조영상을 획득하였다. 자화율 인공물을 줄이기 위해 발표된 다른 연구에서는 영상의 흔들림과 잡음에 영향을 미치지만 본 연구에서는 두가지의 영향에 상관없이 자화율 인공물에 의한 왜곡도를 줄일 수 있다. 결론적으로 MRI 검사 시 티타늄 성분의 비 자성 금속 screw를 삽입한 경우 주과수 경사 방향에 따라 susceptibility artifact의 발생으로 인한 영상의 왜곡이 상이한데 검사 시 보고자하는 관심영역에 따라 비 자성 금속물질의 위치 및 방향을 확인한 후 주과수 방향을 유효적절하게 변경하여 사용함으로써 영상 왜곡을 관심영역에서 감소시켜 병변의 진단과 치료에 있어 임상적 적용이 유용할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] Shunk KA, Lima JAC, Heldman AW, Atalar E, "MAGNETIC RESONANCE IMAGING," Magn Reson Med, Vol. 40, No. 4, pp. 722-726, 1999.
 [2] Kazuyuki Minowa, Satoru ABE, Tsuyoshi

Sawamura, et al, "A method of reducing susceptibility artifacts in MRI of the head and neck region," Oral Radiology, Vol. 13, No. 1, pp. 45-49 1997.
 [3] Czervionke LF, Daniels DL, Wehrli FW, et al "Magnetic susceptibility artifacts in gradient-recalled echo MR imaging," AJNR Am J Neuroradiol, Vol. 9, No. 1, pp. 1149-1155, 1988.
 [4] Farahani K, Sinha U, Sinha S, et al, "Effect of field strength on susceptibility artifacts in magnetic resonance imaging." Comput Med Imaging Graph, Vol. 14, No. 2, pp. 409-413, 1990.
 [5] Tartaglino LM, Flanders AE, Vinitzki S, et al, "Metallic artifacts on MR images of the postoperative spine : Reduction with fast spin-echo techniques." Radiology, Vol. 190, No. 2, pp. 565-569, 1994.
 [6] Davis PL, Crooks LE, Arakawa M, et al, "Potential hazards in NMR imaging : heating effects of changing magnetic fields and RF fields on small metallic implants." AJR, Vol. 137, No. 2, pp. 857-860, 1981.
 [7] New PFJ, Rosen BR, Brady RJ, et al, "Potential hazards and artifacts of ferromagnetic and nonferromagnetic surgical and dental materials and devices in nuclear magnetic resonance." Radiology, Vol. 147, No. 1, pp. 139-148, 1983.
 [8] Shellock FG, "MR Imaging of metallic implant and materials, a complication of the literature." AJR, Vol. 151, No. 2, pp. 811-814, 1998.
 [9] I-Hua Huang, Kathleen H. Emery, TL, et al, "Fast-recovery fast spin-echo T2-weighted MR imaging: a free-breathing alternative to fast spin-echo in the pediatric abdomen." Pediatric Radiology, Vol. 38, No 6, pp. 675-679, 1997.
 [10] Ahn C.B. "Analysis of Quantization Noise in Magnetic Resonance Imaging Systems." Korean Soc. Magn. Reson. Med, Vol. 8, No. 3, pp. 42-49, 2004.
 [11] Meyer CH, Hu BS, Nishimura DG, et al, "Fast Spiral coronary artery imaging." Magn Reson Med, Vol. 28, No. 3, pp. 202-213, 1992.



조 재 환

2010년 : 순천향대학교 대학원
(의료정보학석사)

2010년 : 순천향대학교 대학원
(컴퓨터공학과 의료영상처리 박사 과정중)

2002년~2010년 : 순천향대학교 부친병원 영상의학과

2010년~현재 : 경산1대학 방사선과 교수

관심분야 : 정보보호(Personal Information), 의료정보



이 해 각

1987년 : KAIST 산업공학과 석사

1992년 : KAIST 산업공학과 박사

1992년~현재 : 순천향대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : DB시스템설계 및 구축, 데이터마이닝, 시스템 시뮬레이션



박 철 수

2009년 : 영남대학교 대학원 물리학과 박사 수료

2010년~현재 : 한림성심대학 방사선과 교수

관심분야 : 정보보호(Personal Information), 의료정보