

고해상도 MRA 시 방사형 비직각좌표계 k-space 주사방식의 유용성 분석

이호범¹, 최관우¹, 손순룡^{1*}
¹서울아산병원 영상의학과

Usefulness analysis of radial non-cartesian trajectory in the high-resolution MRA

Ho-Beom Lee¹, Kwan-Woo Choi¹ and Soon-Yong Son^{1*}

¹Department of Radiology, Asan Medical Center

요 약 본 연구는 k-space 주사방식을 새롭게 적용하여 noise의 영향과 방향성을 분석함으로써 영상의 신호강도가 낮은 뇌혈관 질환의 고해상도 MRI 검사 시 noise의 영향을 최소화 하여 진단적 가치가 높은 영상을 획득하고자 하였다. 연구방법은 2013년 6월부터 동년7월까지 뇌혈관 질환의 조기 진단을 위해 고해상도 MRI 검사를 받은 38명을 대상으로 k-space 주사방식에 따른 noise의 영향을 평가하기 위해 기존의 선형 직각좌표계 주사방식과 새로운 방사형 직각좌표계 주사방식을 각각 적용한 후, 획득한 영상에서 내경동맥 내강의 신호강도와 noise를 비교 평가하였다. 연구 결과, k-space 주사방식에 따른 내경동맥 내강의 신호강도는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 기존의 선형 직각좌표계 주사방식 보다 43.32% 낮았고, noise 역시 50.19% 가량 낮게 나타났다. 이는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 선형 직각좌표계 주사방식보다 noise가 적게 발생하며, 영상의 신호강도가 낮은 고해상도 MRI에서는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 더 유용하다는 것을 의미한다. 그러므로 영상의 신호강도가 낮은 고해상도 뇌혈관 MRI 검사 시 방사형 비직각좌표계 k-space 주사방식을 이용한다면 noise의 영향을 최소화하여 양질의 영상을 획득할 수 있으리라 사료된다.

Abstract With the application of k-space trajectory in a different manner and analyzing the influence of noise and its direction, this study was conducted to obtain high-quality images with minimal influence of noise during an MRI examination for cerebrovascular disease, which has a low signal for imaging. To evaluate influence of the noise of different k-space trajectories, a linear Cartesian coordination trajectory and non-Cartesian coordination trajectory were applied to 38 people who had received a high-resolution MRI examination for the early detection of cerebrovascular disease. As a result, the non-Cartesian coordination trajectory showed a 43.32% lower signal of lumens in the internal carotid artery than a linear Cartesian coordination trajectory, and the noise level was also 50.19% lower in a non-Cartesian coordination trajectory. This result shows that noise occurs less in a non-Cartesian coordination trajectory than a linear Cartesian coordination trajectory, and a non-Cartesian coordination trajectory is more effective in low-signal and low-resolution MRI examination. Therefore, when performing high-resolution MRI examination with a low-signal cerebrovascular system, the use of non-Cartesian coordination k-space trajectory will minimize the influence of noise and provide good images.

Key Words : k-space trajectory, Noise map, Flow artifact, Internal carotid artery, High-resolution MRI

*Corresponding Author : Soon-Yong Son(Asan Medical Center)

Tel: +82-2-3010-4314 email: son6392@hanmail.net

Received August 29, 2013

Revised September 30, 2013

Accepted December 5, 2013

1. 서론

2011년 사망원인 통계청에 의하면, 뇌혈관 질환은 암에 이어 사망원인 2위로(인구 10만명당 사망률 : 남자 48.6명, 여자 52.8명) 사망률이 높은 질환이다[1]. 또한 다른 질환에 비해 신경학적 장애나 합병증에 의한 사회적 혹은 경제적으로 큰 손실을 초래하는 질환으로서 조기 검진에 의한 예방이 무엇보다 매우 중요하다[2].

뇌혈관 질환을 조기 진단할 수 있는 방법에는 전리방사선을 이용하는 방법과 비전리방사선을 이용하는 방법이 있다[3]. 전리방사선 진단법은 환자에게 방사선 피폭이라는 직접적인 위해가 가해질 수 있는 반면[4], 비전리방사선 진단법은 인체에 무해한 비전리방사선을 이용하여 비침습적으로 시행하는 방법으로 최근에 뇌혈관 질환의 조기진단 검사로 널리 이용되고 있다[5].

비전리방사선을 이용하여 뇌혈관 질환을 검사하는 대표적인 방법에는 고해상도 자기공명영상(magnetic resonance imaging, 이하 MRI) 이 있다. 고해상도 MRI는 인체에 무해한 자기장과 라디오 고주파를 이용하여 비침습적으로 영상화하는 방법으로[5], 공간분해능(spatial resolution)과 대조도분해능(contrast resolution)이 뛰어나 뇌혈관 질환에 문제가 되는 혈관의 좁아진 정도나 동맥류 내 혈전 감별에 매우 유용하다[6]. 그러나 고해상도 MRI는 얇은 절편두께(slice thickness)와 높은 화소배열수(matrix)로 인하여 검사시간이 길다. 또한 영상화하고자 하는 체적소(voxel)가 작아지고 얇아지다 보니 신호강도(signal intensity)가 낮다. 낮은 신호강도의 영상은 noise에 민감하다. 그로인해 평소에는 큰 영향을 주지 않는 호흡과 혈류, 심장박동 등 불수의적인 noise도 영상에 큰 영향을 미친다. 이는 대조도와 위치정보를 함께 가지고 있는 raw data의 집합인 k-space 주사방식과 밀접한 연관이 있다. 현재 임상적으로 뇌혈관 질환에 사용되는 고해상도 MRI의 k-space 주사방식은 선형 직각좌표계를 사용한다. 선형 직각좌표계 주사방식은 k-space의 대조도에 해당하는 배열에 effective TE를 통하여 영상의 대조도를 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있다[7]. 그러나 위상부호화 배열의 수만큼 각각의 열을 선형으로 획득하여 환자의 불수의적인 움직임과 혈류의 영향으로 인한 noise들이 위상부호화(phase encoding) 방향으로 다양한 인공물(artifact)을 발생시키며[8], 이로 인해 영상 전체에 선형으로 인공물이 발생하기 때문에 보고자 하는 목적부위가 인공물에 뒤덮여 정확한 영상을 획득할 수 없고, 이는 영상의 신호강도가 낮은 고해상도 MRI에서는 더욱 심각하다.

고해상도 영상에서 낮은 신호강도와 높은 noise는 신호대잡음비(signal to noise ratio)와 대조도대잡음비

(contrast to noise ratio)를 감소시켜 병변의 감별에 어려운 영상을 발생시키고, 이로 인해 얻을 수 있는 정보가 줄어 환자의 진단 및 치료에 심각한 영향을 초래한다[9]. 그러나 위와 같은 문제에도 불구하고 대부분의 의료기관에서는 선형 직각좌표계 주사방식을 기반으로 영상을 획득하고 있으며, 개선에 관한 연구는 전무한 실정이다.

이에 본 연구에서는 k-space 주사방식을 기존의 선형 직각좌표계에서 서로 다른 각도로 수집하는 새로운 방사형 비직각좌표계를 이용하여 영상을 획득함으로써, 영상의 신호강도가 낮은 뇌혈관 질환의 고해상도 MRI 검사 시 noise의 영향을 최소화 하여 진단적 가치가 높은 영상을 획득함으로써 임상적용의 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

2013년 6월부터 동년 7월까지 뇌혈관 질환의 조기 진단을 위해 고해상도 MRI 검사를 받은 38명을 대상으로 하였다. 이중 측정의 정확도를 높이기 위해 혈관 및 심장의 질환자 8명을 제외한 30명을 분석의 대상으로 하였다 (Table 1).

[Table 1] Departments subjects

Department	Frequency	Percentage(%)
Neurology	20	66.67
Neurosurgery	6	20.00
The others	4	13.33
Total	30	100.00

2.2 연구방법

연구방법은 선형 직각좌표계 주사방식을 사용한 영상은 불수의적인 움직임으로 인한 noise가 선형으로 발생되고, 방사형 비직각좌표계 주사방식을 이용한 영상은 noise가 방사형으로 발생한다는 원리에 기초하였다. 이에 근거하여 동일환자를 대상으로 뇌혈관의 고해상도 MRI 영상 획득 시 기존의 선형 직각좌표계 주사방식과 새로운 방사형 직각좌표계 주사방식을 각각 적용한 후, 획득한 영상에서 noise의 영향이 없다면 신호소실이 발생한 내경동맥(internal carotid artery)은 신호가 감소하고 noise의 영향이 있다면 신호가 증가 할 것으로 가정하였다. 이를 위해 k-space 주사방식에 따른 영상을 각각 획득한 후 관심부위인 내경동맥 내강의 신호강도와 noise를 비교 평가하였다.

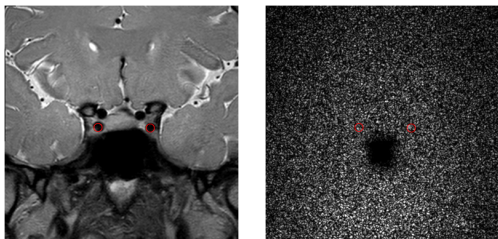
2.3 영상획득 및 기법

영상획득 장비로 3.0T 초전도 자기공명영상장치 (Archiva, Philips medical system)와 8 channel SENSE head 코일을 사용하였다. 고해상도 MRI 영상은 고속스핀 에코기법을 사용하여 3D 양자밀도(proton density) 영상과 noise map을 획득하였으며, k-space 주사방식에 따른 noise의 영향을 파악하기 위해 영상변수는 모두 동일하게 설정하였다.

사용된 영상변수는 반복시간(TR) 2000 msec, 에코시간(TE) 35 msec, 숙임각(flip angle) 90°, FOV(field of view) 100 × 100 mm, 화소배열수(matrix) 200 × 200, 절편두께 1 mm, 절편간격(slice gap) 0 mm, 절편수 12 slice, NEX(number of excitation) 2로 하였으며, 총 검사 시간은 3분 50초이었다.

2.4 측정 및 분석방법

측정방법은 k-space 주사방식에 따라 획득한 3D 양자밀도 영상에서 죽상동맥경화증(atherosclerosis)과 뇌동맥류(cerebral aneurysm)의 호발부위로 알려져 있는 내경동맥을[10] 대상으로 내경동맥의 직경보다 작은 관심영역(resion of interest, ROI)을 설정하여 내강의 신호강도를 측정하였다. 영상의 noise는 동일 부위에서 획득한 noise map에 내경동맥 내강의 신호강도 측정위치와 동일하게 관심영역을 설정하여 noise를 측정하였다(Fig 1).



O: Internal carotid artery ROI

[Fig. 1] Signal intensity of setting to ROI

통계적 분석방법은 대응표본 T검정(paired sample T-test, SPSS 버전 18)을 이용하였으며, p값이 .05보다 작은 경우 유의한 차이가 있는 것으로 판단하였다.

3. 연구결과

연구대상자의 일반적인 특성은 Table 2와 같이 남성 10명, 여성 20명이었고, 평균연령 및 표준편차는 61.33 ± 10.51세(45세~85세)이었다.

[Table 2] Socio-demographical variables

Category	Division	Frequency	Percentage(%)
Gender	Male	10	33.33
	Female	20	66.67
Age	50 under	4	13.33
	50~59	12	40.00
	60~69	10	33.33
	70 up	4	13.33

k-space 주사방식에 따른 내경동맥 내강의 신호강도는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 38.23 ± 13.26으로 기존의 선형 직각좌표계 주사방식의 67.45 ± 20.65 보다 43.32%(29.22) 낮았으며, noise 역시 내경동맥의 신호강도와 마찬가지로 방사형 비직각좌표계 주사방식이 3.85 ± 0.17로 기존의 선형 직각좌표계 주사방식의 7.73 ± 0.50 보다 50.19%(3.88) 낮았다(Table 3).

[Table 3] SI and noise of ICA lumen according to method

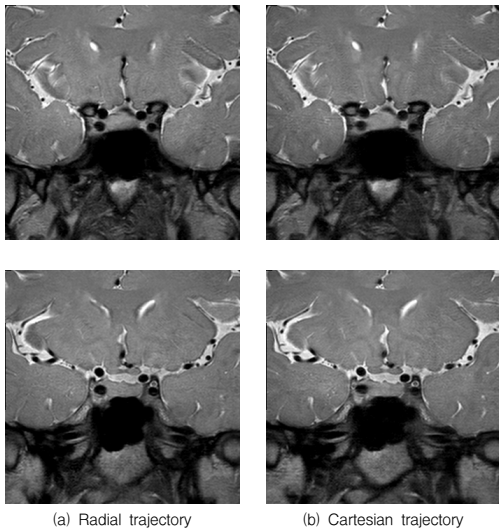
Category	Radial trajectory	Cartesian trajectory
SI	38.23 ± 13.26	67.45 ± 20.65
Noise	3.85 ± 0.17	7.73 ± 0.50

기법에 따른 대응표본 T검정 결과, 내경동맥 내강의 신호강도는 대응차의 평균이 -29.22 ± 16.62, t값이 -9.633으로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05). noise 또한 내경동맥의 신호강도와 마찬가지로 대응차의 평균이 -3.88 ± 0.58, t값이 -36.810으로 나타나, 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<.05)(Table 4).

[Table 4] Paired t-test results according to method

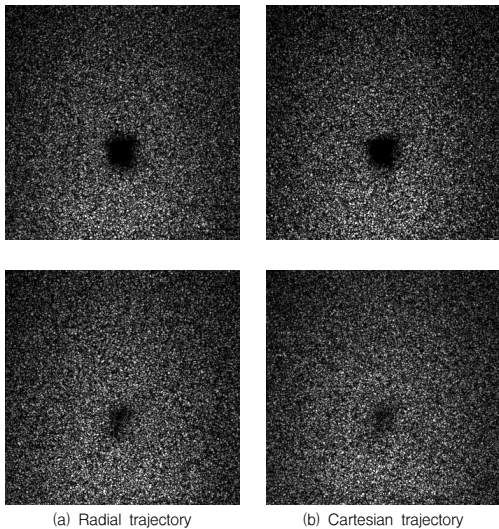
Category	Paired differences Mean±SD	t	Sig.
Signal intensity	-29.22 ± 16.62	-9.633	.000
Noise	-3.88 ± 0.58	-36.810	.000

이 결과는 Fig. 2를 통하여 새로운 방사형 비직각좌표계 주사방식이 선형 직각좌표계 주사방식 보다 noise가 적게 발생함을 알 수 있다. 즉 새로운 방사형 비직각좌표계 주사방식의 경우 내경동맥 내강에 혈액의 신호가 잘 소거되어 나타난 반면, 기존의 선형 직각좌표계 주사방식의 경우 혈액의 신호가 소거된 내경동맥 내강이 noise로 인해 혈관벽이 불분명하게 나타나기 때문이다.



[Fig. 2] 3D proton density image by k-space trajectory

Fig. 3의 noise map을 보면, 기존의 선형 직각 좌표계 주사방식을 이용한 noise map이 새로운 방사형 비직각좌표계 주사방식의 noise map보다 noise가 강함을 확인할 수 있다. 따라서 영상의 신호강도가 낮은 고해상도 MRI에서는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 더 유용함을 알 수 있으며, 통계적으로도 매우 유의하였다.



[Fig. 3] noise map by k-space trajectory

4. 고찰 및 결론

MRI의 대조도는 k-space 주사방식에 따라 각각 다른

방법으로 형성되며, 대표적인 주사방식에는 선형 직각좌표계 주사방식과, 방사형 비직각좌표계 주사방식이 있다.

선형 직각좌표계 주사방식은 k-space 대조도에 해당하는 effective TE값이 결정되어 영상의 대조도를 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있지만, 영상 전반에 걸쳐 선형으로 noise가 발생하는 단점이 있다[7]. 이에 반해 방사형 비직각좌표계 주사방식은 모든 데이터가 k-space의 중심을 지나가기 때문에 영상의 대조도는 모든 신호의 T2 감쇄 효과의 합으로 결정되어 조직마다 서로 다른 effective TE를 가지므로 대조도 조절이 용이하지 않는 점과 noise가 중심을 제외한 방사형으로 외곽에 발생한다는 문제점이 있다[8]. 이에 따라 일반적인 MRI에서는 방사형 비직각좌표계 주사방식 보다는 선형 직각좌표계 주사방식을 사용하는 경향이 있다.

그러나 뇌혈관 질환의 조기진단에 사용되는 고해상도 MRI는 영상 전체를 보고자 하는 것이 아닌 영상의 중심(보고자하는 뇌혈관 부위)만의 해상력을 높여 정밀하게 보는 영상이므로 조직간의 서로 다른 effective TE를 고려하지 않아도 무방하다. 따라서 영상 전반에 걸쳐 선형으로 noise가 발생하는 선형 직각좌표계 주사방식에 비해 중심을 기점으로 방사형으로 noise가 발생하는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 유리하다[11].

고해상도 MRI는 noise에 매우 민감하다. 왜냐하면 혈류의 신호가 소거된 상태에서 혈관의 내부가 잘 보여야 하는데 고해상도 MRI의 특성상 불수의적인 움직임에 의한 noise에 민감하기 때문에 noise가 증가 한다면, 혈관벽과 혈전의 구별이 모호해지기 때문이다. 위와 같은 noise의 문제점을 개선하기 위하여 Heid[12]는 navigator echo 신호를 부수적으로 획득하여 위상배열을 보정함으로써 noise를 줄일 수 있다고 하였고, Okuchi 등[13]은 이중역전회복기법을 이용한 black blood technique를 이용하여 혈류의 신호를 소거시켜 noise를 줄일 수 있다고 하였다.

그러나 위 연구들은 고해상도 MRI 영상획득 외에 navigator echo 신호 획득 및 이중역전회복 펄스의 적용으로 인해 검사시간이 길어지는 문제점이 있어(2~5배 이상), 이미 고 해상도를 위해 긴 검사시간을 할애한 고해상도 MRI에서의 적용은 적절하지 않다.

또 다른 관점에서 Ahn 등[14]은 고속알고리즘인 다중코일기술을 이용하면 불수의적인 움직임에 의한 noise를 최소화 할 수 있다고 하였으나, 여러 개의 receiver를 통해 신호를 수집 후 재구성하는 방법은 검사시간 감소로 움직임의 확률을 줄일 수 있지만 위상부호화 방향으로 artifact가 동반되어 SNR이 떨어지므로 근본적인 해결방법으로는 한계가 있다고 하였다.

또한 Rasche 등[11]과 Maria 등[15]은 방사형의 비직

각좌표계 주사 방식이 영상의 noise를 줄일 수 있다고 하였으나, 본 연구와는 해상도 및 적용부위가 다르며 주사 방식에 따른 영상의 대조도가 고려되지 않았다는 상이함이 있다.

이에 저자들은 k-space의 주사방식에 따라서 영상 획득 시 나타나는 불수의적인 움직임에 의한 noise의 방향성에 차이가 존재한다는 점에 착안하여 본 연구를 진행하였다.

결과에서 나타났듯이 k-space 주사방식에 따른 내경동맥 내강의 신호강도는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 기존의 선형 직각좌표계 주사방식 보다 43.32%(29.22) 낮았고, noise 역시 50.19%(3.88) 낮았다. 이는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 선형 직각좌표계 주사방식보다 noise가 덜 발생함을 의미하며, 영상의 신호강도가 낮은 고해상도 MRI에서는 방사형 비직각좌표계 주사방식이 더 유용하다는 것을 의미한다.

본 연구는 Maria 등[15]의 복부검사 시 방사형 비직각좌표계 주사방식이 선형 직각좌표계 주사방식보다 신호대잡음비가 최소 15%에서 최대 20%까지 증가한다는 보고와 맥을 같이하며, 매개변수의 조건을 고려하지 않은 Paul 등[16]의 관상동맥에 관한 혈류평가연구의 정성적 평가보다 진입보한 방법으로 불수의적인 움직임을 보정하고 진단적 가치가 높은 영상을 획득할 수 있는 새로운 방법이라고 할 수 있다.

연구의 제한점으로는 연구 특성상 혈관 및 심장질환자를 제외한 조기검진 환자를 대상으로 하였다는 점과 뇌를 구성하는 다양한 혈관 중 일부만 추출하여 측정하였다는 점이 있다.

그럼에도 불구하고 k-space 주사방식을 새롭게 적용하여 noise의 영향과 방향성을 분석함으로써 신호강도가 낮은 고해상도 뇌혈관 영상에서 양질의 영상을 획득할 수 있음을 증명하였다는 데에 학술적 의의가 가질 수 있다. 이를 토대로 향후 다양한 혈관질환 및 부위에 적용한다면 유용한 영상을 획득 수 있으리라 사료된다.

References

[1] Statistics Korea, Available From: http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/2/6/2/index.board?bmode=read&bSeq=&aSeq=260046&pageNo=1&rowNum=10&navCount=10&currPg=&sTarget=title&sTxt=, (accessed Jul., 12, 2013)

[2] D. K. Lee, Y. J. Kwon, S. M. Lee, J. Y. Yang, C. S. Choi, M. B. Ju, "MR Angiographic Findings in

Ischemic Stroke patients with Extracranial Carotid Artery Stenosis", *J Korean Neurosurg Soc*, 33, pp.353-357, 2003.

[3] Y. S. Ji, B. J. Lee, "Usefulness of 3-Dimensional Gadolinium-enhanced MR Angiography for the Evaluation of Pedal Artery: Comparison with digital subtraction angiography", *J Korean Radiol Soc*, 47, pp. 21-26, 2002.

[4] Y. H. Kim, "Usefulness of Magnetic Resonance Angiography in Intracranial Arteriovenous Malformation", *J Korean Radiol Soc*, 30, pp. 7-14, 1994.

[5] B. J. Park, M. G. Kim, S. I. Suh, S. J. Hong, K. R. Cho, B. K. Seo, K. Y. Lee, N. J. Lee, J. H. Kim, "The Usefulness of Test Bolus Examination in Three Dimensional Contrast Enhanced MR Angiography of the Carotid Artery", *J Korean Soc Magn Reson Med*, 44, pp. 317-323, 2001.

[6] Tobias S, Jose G, Clemens C, Katja B, Georgios M, Olaf D, Dirk A, Ute F, Chun Y, Thomas S, Abd W, Maximilian F, Konstantin N, "High resolution carotid black-blood 3T MR with parallel imaging and dedicated 4-channel surface coils", *J Cardiovasc Magn Reson*, pp.1-12, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1532-429X-11-41>

[7] Tan H, Mever CH, "Estimation of k-space trajectories in spiral MRI", *Magn Reson Med*, 61, pp.396-404, 2009
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.21813>

[8] S. K. Park, C. B. Ahn, D. G. Sim, H. C. Park, "Study of Motion Effects in Cartesian and Spiral Parallel MRI Using Computer Simulation", *J Korean Soc Magn Reson Med*, v.12, no.2, pp.123-130, 2008.

[9] 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*
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.3.1294>

[10] Morita A, Kirino T, Hashi K, Aoki N, Fukuhara S, Hashimoto N, Nakayama T, Sakai M, Teramoto A, Tominari S, Yoshimoto T, "The natural course of unruptured cerebral aneurysms in a Japanese cohort", *N Engl J Med*. pp.2474-82, 2012

[11] Rasche V, Holz D, "radial turbo spin echo imaging", *Magn Reson Med*, v.32, no.5, pp.629, 1994.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.1910320512>

[12] Heid O, "Robust EPI Phase Correction", *Magn Reson Med*, p.2014, 1997.

[13] Okuchi S, Okada T, Ihara M, "Visualization of Lenticulostriate Arteries by Flow-Sensitive Black-Blood

MR Angiography on a 1.5T MRI System: A Comparative Study between Subjects with and without Stroke", *AJNR Am J Neuroradiol*, v.34, no.4, pp.780-784, 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3174/ajnr.A3310>

[14] S. K. Park, C. B. Ahn, D. G. Sim, H. C. Park, "Study of motion effects in cartesian and spiral parallel mri using computer simulation", *J Korean Soc Magn Reson Med*, v.12, no.2, pp.123-130, 2

[15] Altbach MI, Outwater EK, Trouard TP, Krupinski EA, Theilmann RJ, Stopeck AT, Kono M, Gmitro AF, "Radial fast spin-echo method for T2-weighted imaging and T2 mapping of the liver", *J Magn Reson Imaging*, v.16, no.2, pp.179-189, 2002.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.10142>

[16] B. Paul, P. Andrew, M. Kai, "MRI of the coronary vessel wall at 3T: comparison of radial and cartesian k-space sampling", *AJR Am J Roentgenol*, v.188, no.1, pp.70-74, 2007.

DOI: <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.06.0266>

이 호 범(Ho-Beom Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학

최 관 우(Kwan-Woo Choi)

[정회원]



- 2010년 7월 : 고려대학교 의용과학대학원 의료영상공학과 (공학 석사)
- 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)
- 2013년 8월 : 한양대학교 보건학과졸업 (보건학박사)
- 1990년 6월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학, 연구조사방법론, 보건학