

Reduction of Metal Artifact by Using VAT-SEMAC in MRI

Hyung-Tae Kim,¹ Jong-Nam Lim,¹ Kwon Su Chon^{1,2,*}

¹Department of Radiological Science, The Graduate School of Daegu Catholic University

²Department of Radiological Science, Daegu Catholic University

Received: February 07, 2019. Revised: April 26, 2019. Accepted: April 30, 2019

ABSTRACT

MRI examination for patients with metal objects has in poor image quality. Metallic implants can result in poor image because magnetic susceptibility causes signal loss and distortion and makes poor imaging, which is called magnetic susceptibility artifact or metal artifact. There are several approaches to reduce metal artifacts. In this study, we study the reduction of metal artifact by VAT and SEMAC techniques. A metal implant used for orthopedic surgery was attached to the phantom and the distortion caused by the artifact was measured under T1WI and T2WI protocols. Several techniques of VAT only and VAT and SEMAC for the reduction of metal artifact were compared. The metal artifact showed a reduction of at least 8% to a maximum of 26% in the VAT-SEMAC. The VAT-SEMAC technique can be applied to patients with orthopedic implants to improve image quality. If scan time and image quality are simultaneously considered in VAT-SEMAC technique, metal artifact will be reduced in clinical practice.

Keywords: MRI, Metal Implant, Artifact

I. INTRODUCTION

자기공명영상(MRI)은 방사선 피폭이 없고 우수한 공간 분해능으로 임상의학의 진단과 치료과정에 주도적인 역할을 하고 있다.^[1,2] 이러한 장점에도 불구하고 자기공명영상에 허상(Artifact)이 나타나 영상의 품질이 떨어져 진단 가치가 줄어드는 경우가 발생한다.

허상은 인체의 자연적인 특성, 인공물 삽입, 장치의 결합에 의해 발생된다. 금속자화율(Magnetic Susceptibility) 허상은 주파수 부호화 방향으로 나타나는 특징을 가지고 있다.^[3] 자화율이 다른 두 조직의 경계면에서 국소 자기장이 왜곡되어 세차 주파수와 위상 차이가 발생하여 자기장의 세기가 다르게 되고, 신호의 중심이 TE에서 벗어나는 신호 변화를 초래한다.^[4] 금속과 혈종의 철성분이 주요 원인이고 자화율이 인체의 주변 조직보다 높은 강도를 갖는다.^[5]

금속 자화율의 차이를 유발하는 인체 내에 삽입

된 금속 인공물에 의해 영상의 허상 또는 왜곡(Distortion)이 발생하기도 한다. 인체 내 인공물의 삽입이 증가하고 금속 인공물 주변 부분을 진단해야 하는 경우가 빈번하기 때문에 MRI 영상에서 금속 인공물에 의한 허상 제거가 중요한 문제로 부각되고 있다.

T2*의 단축으로 인한 신호 소실은 스핀에코(SE)를 사용하여 왜곡을 보정할 수 있고, 공간 왜곡은 고 대역폭을 사용하여 감소시킬 수 있으나 충분한 허상 억제가 어렵다. 하지만 위의 두 방법과 호환되는 기술을 사용하여 허상을 줄일 수 있다.^[6] 여기된 슬라이스 판독 시 인코딩 방향에서 평면 내 신호를 판독하는 동안 슬라이스 인코딩 방향에서 추가적인 그라디언트를 적용하는 방법이 그 중 하나이다. 추가된 그라디언트로 인해 발생하는 주파수 이동을 마치 다른 각도에서 수신된 신호처럼 이미지 매트릭스에 보정한다. 이를 VAT (View Angle Tilting)라 한다. 그러나 VAT 의해 증가되는 흐려짐을 줄이기 위해서는 얇은 슬라이스와 높은 대역폭 검사가

* Corresponding Author: Kwon Su Chon

E-mail: kschon@cu.ac.kr

Tel: +82-53-850-2521

필요하다.^[7,8] Z 방향에 수직인 추가 위상 인코딩의 그래디언트를 적용하는 SEMAC(Slice Encoding for Metal Correction) 기법으로 평면 왜곡을 보정할 수 있다. SEMAC SES로 표현되는데 여기에서 SES는 슬라이딩 인코딩 단계수를 표현한다.^[9]

신호 대역폭과 매트릭스를 변화시켜 허상을 줄이기 위한 연구가 있었으며, 허상에 대한 시퀀스별 적정 VAT 값에 대한 연구 및 치과교정에서 사용하는 와이어에 의한 허상의 감소·주파수 대역폭 변화를 통한 허상의 감소에 관한 연구가 보고되고 있다.^[10,11]

정형외과 분야에서도 인공물에 의한 왜곡이 문제가 되고 있다. 최근 티타늄 정형보철이 자기공명 영상의 허상에 크게 영향을 미치는 것으로 보고되어 관련 연구가 진행 중이다.^[12] 하지만 상대적으로 크기가 작은 티타늄 임플란트(Implant)에 의한 허상 감소 연구는 미진하다. 본 연구는 크기가 작은 정형외과 금속물에 대해 VAT 및 SEMAC를 적용하여 허상 감소를 평가하였다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험 기기

자기공명영상기기로 Fig. 1(a)과 같이 3T 자기장의 장치(SIMENSE, Magnetom Skyra)를 사용하였다. 코일은 Ankle Chanel (SIEMENSE)를 사용하였다. 자기 감수성에 의한 금속자화율 허상을 구현하기 위해 Fig. 1(b)와 같이 정형외과 수술에서 볼 수 있는 길이 290 mm 직경 10 mm인 임플란트를 사용하였다.

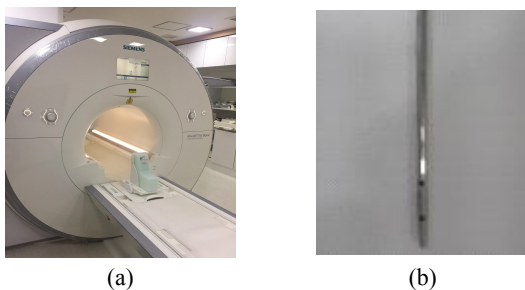


Fig. 1. 3T MRI Equipment used in this study and Metal implant of 290 mm length and 10 mm diameter.

2. 실험 방법

금속 임플란트를 Fig. 1(a)의 테이블에 위치한 Ankle Phantom의 바깥쪽 부분에 부착하여 Table 1에 서와 같이 Foot에 사용되는 MRI 프로토콜(Protocol) 중에 T1강조영상(T1WI; T1 Weighted Image)을 반복 시간(TR; Repetition Time)과 에코시간(TE; Time Echo)을 짧게 하여 해부학적 정보를 확인하였다. 반대로 TR, TE를 길게 하여 병리학적 정보를 나타내는 T2WI의 시상면과 관상면을 스캔하여 감소율을 확인하였다.

허상 감소 기법을 사용하지 않은 영상을 Standard로 하고, VAT 기법만을 적용한 경우, VAT 및 SEMAC SES 6과 SES 9를 적용한 경우에 대해 각각 시상면과 관상면을 T1WI와 T2WI를 스캔하여 영상을 획득 후 비교 분석하였다. 스캔시 영상의 확대 또는 축소 방지를 위해 관심영역은 169 mm × 300 mm로 고정하였다. 임상에서는 스캔 시간을 고려하여 적절한 시간을 선택한다. 하지만 본 연구에서는 동일한 영상의 해상력과 신호를 유지하기 위하여 스캔시간은 고려하지 않고 진행하였다. 따라서 여기 신호(NEX; Number of Excitations)를 1로 고정하였다.

영상의 왜곡의 측정은 Fig. 2(a) 시상면에서는 Marosis m-view(Infinit Healthcare)의 Tool Bar를 이용하여 Foot의 3곳의 직경을 측정하였다. Fig. 2(b)의 관상면에서 왜곡의 가로와 세로의 직경을 각각 10회씩 측정한 후 각 시퀀스 별 측정값을 비교하였다.

Table 1. MRI Scan Protocol for Foot Phantom.

Protocol	T1WI	T2WI
TR (ms)	650 ~ 670	4,500 ~ 4,520
TE (ms)	15	100
Thickness (mm)	2	2
Slices	15	15
NEX	1	1
FOV (mm ²)	169 × 300	169 × 300

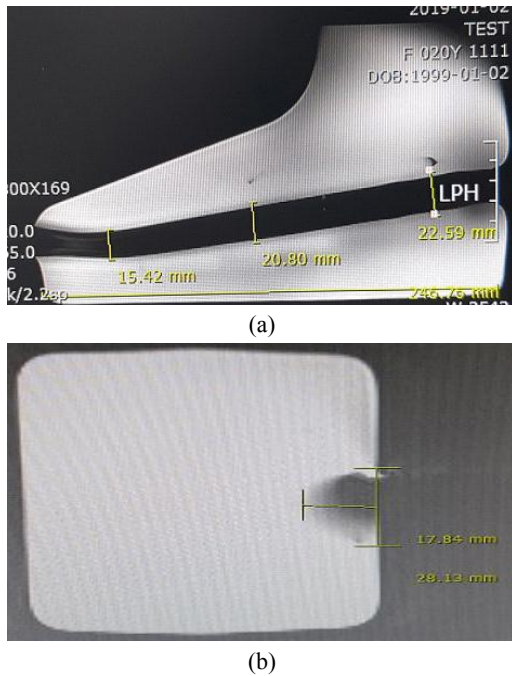


Fig. 2. Measurement of distortion on sagittal image (a) and coronal image (b).

III. RESULT

1. 측정 값 비교

Table 2는 T1WI의 프로토콜에서의 시상면과 관상면의 왜곡의 직경을 측정 한 값으로 시상면은 Phantom의 원 위부분부터 (a), (b), (c)의 값을 기입하였고 관상면은 왜곡의 가로(W) 직경, 세로(H) 직경의 순으로 기입하였다. Standard의 경우에는 임플란트의 실제 직경인 10 mm 보다 2배에 가까운 직경이 측정되었다. 허상으로 인한 왜곡도가 2배에 가까웠다. 시상면의 경우 VAT를 적용 하였을 경우는 Standard 보다 평균 8% 감소하였다. VAT와 SEMAC을 적용하였을 때 VAT 단독 보다 크게 향상되었다. 즉, VAT-SEMAC 6과 9는 각각 23%와 26%의 감소를 보였다. 왜곡은 VAT 단독보다 VAT-SEMAC이 더 감소하였다.

SEMAC을 적용하지 않은 Standard와 VAT를 적용한 경우 그리고 VAT-SEMAC을 사용하였을 때 허상의 직경을 측정하였다. Table 3은 프로토콜만 T2WI로 바꾸어 측정 한 것으로 각각의 값이 약간 증가하였지만 전반적으로 Table 2와 비슷한 결과를 보였

다. T1W1과 T2W1에서 모두 왜곡도가 감소하였다.

Table 2. Distorted image area for protocol T1WI.

Protocol	Standard	VAT	VAT-SEMAC6	VAT-SEMAC9	
Sagittal (mm)	a	15.42±1.02	13.45±0.58	11.29±0.96	10.31±0.35
	b	20.80±0.84	19.60±1.21	15.12±0.56	14.19±0.44
	c	22.59±1.31	20.60±0.98	19.12±0.86	18.95±0.26
Coronal (mm)	W	17.84±1.07	10.31±0.34	7.12±0.55	6.56±0.21
	H	28.13±2.01	21.58±1.51	20.90±0.81	20.65±0.31

Table 3. Distorted image area for protocol T2WI.

Protocol	Standard	VAT	VAT-SEMAC6	VAT-SEMAC9	
Sagittal (mm)	a	16.53±0.11	14.55±0.54	12.23±0.42	11.21±0.39
	b	21.88±0.21	20.55±1.05	16.13±1.02	14.87±0.31
	c	23.11±0.44	21.31±0.57	20.54±0.22	19.12±0.86
Coronal (mm)	W	18.11±0.85	10.88±0.75	8.12±0.33	7.01±0.18
	H	29.11±0.45	22.23±0.51	21.13±0.71	20.12±0.08

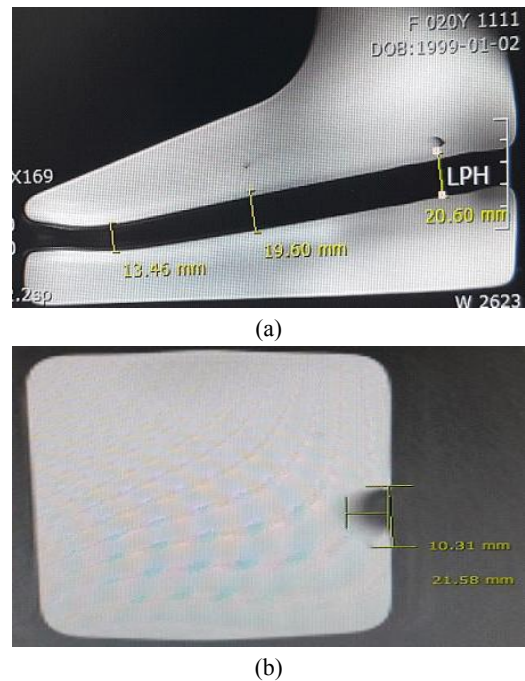


Fig. 3. Measurement of distortion on sagittal image (a) with VAT and coronal image (b) with VAT.

Fig. 3(a)과 (b)의 영상은 VAT만을 적용하여 허상을 감소시킨 것으로 Fig. 2과 비교하여 왜곡으로 인한 허상의 직경이 감소하는 것을 육안으로도 확인

할 수 있고 Table. 2와 같이 수치적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 4는 VAT만 사용하던 Fig 3와 달리 SEMAC 기법을 동시에 호환하여 적용 하였다. 자성에 의한 허상이 상당부분 사라졌으며 이로 인한 영상의 왜곡도 최소화되는 것을 알 수 있다.

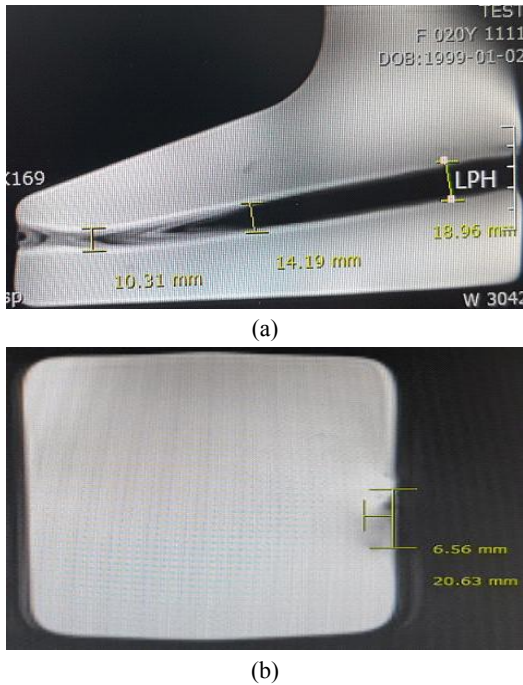


Fig. 4. Measurement of distortion on sagittal image (a) with VAT-SEMACE and coronal image (b) with VAT-SEMACE.

IV. DISCUSSION

MRI 검사에서 인체 내 금속 물질에 의해 허상이 발생하고 자기장의 세기가 증가할수록 허상 영역도 확대 되고, 보철 성분에 따라 허상의 정도가 다르다. 치과용 임플란트 사용 시 VAT-SEMACE를 사용하여 허상을 감소하였다.^[10,11] 치과용 임플란트에서 최적의 SES를 사용하여 허상을 줄이나 SES 10 이상으로 증가해도 감소율은 변화가 없었다.

본 연구에서는 VAT-SEMACE 6과 9는 각각 23%와 26%의 허상 감소를 보였다. 스캔 시간을 고려하지 않았을 경우 VAT-SEMACE SES가 9에서 허상이 최소가 되기 때문에 가장 감소율이 높은 시퀀스로 판단할 수 있다. 하지만 실제 임상에서는 스캔 시

간을 고려해야하기 때문에 허상은 SES 9보다 상대적으로 허상이 적게 감소하더라도 SES 6 또는 그 이하가 적절할 것이다.

동일한 성분의 티타늄과 기법을 적용하였지만 정형외과에서 사용하는 임플란트를 이용하였기 때문에 크기에서 기존 연구와 차이가 있다. 같은 VAT-SEMACE 기법을 적용하더라도 금속의 크기에 따라 허상의 감소 정도가 달랐고, 검사 부위가 머리와 다리임을 감안하면 검사 프로토콜에 따라 허상의 감소에 영향을 미칠 수 있을 것이다. 향후 금속 임플란트의 크기, 자장의 세기, 프로토콜을 다양하게 적용하여 연구를 진행할 필요가 있다.

V. CONCLUSIONS

크기가 작은 티타늄 임플란트에 대한 허상을 VAT와 SEMACE 기법을 적용하여 조사하였다. 왜곡은 VAT 단독보다 VAT-SEMACE이 우수한 허상 감소 효과를 보였다. VAT와 SEMACE 기법을 동시에 적용하여 최소 8%, 최대 26%의 허상 감소 효과를 달성하였다. VAT-SEMACE 6과 9는 각각 23%와 26%의 감소율을 보였다.

크기가 작은 티타늄 임플란트에 대해 VAT-SEMACE 기법을 호환 적용하되 스캔 시간을 조절하여 신호 및 해상력의 저하를 최소화 시키면 정형외과 금속물 삽입 환자에게도 질 높은 MRI 영상을 획득할 수 있을 것이다.

Reference

- [1] C. Zhu, H. Haraldsson, F. Faraji, C. Owen, W. Gasper, S. Ahn, J. Liu, G. Laub, M. D. Hope, D. Saloner, "Isotropic 3D black blood MRI of abdominal aortic aneurysm wall and intraluminal thrombus," *Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 34, No. 1, pp. 18-25, 2016.
- [2] H. A. No, "A Study of image Magnetic Resonance Susceptibility artifact using the Metallic implant materials," *Journal of The Korean Society of MR Technology*, Vol. 15, pp. 219-237, 2005.
- [3] B. S. Travis, "MRI artifacts and correction strategies," *Imaging in Medicine*, Vol. 2, No. 4, pp. 445, 2010.

-
- [4] B. A. Hargreaves, P. W. Woters, K. B. Pauly, "Metal-induced artifacts in MRI," *American Journal of Roentgenology*, Vol. 197, No. 3, pp. 547-555, 2011.
- [5] C. Netto, L Foneseca, B. Fritz, S. Stern, E. Raithel, M. Nittka, L.C. Schon, J. Fritz, "Metal artifact reduction MRI of total ankle arthroplasty implants," *European Radiology*, Vol. 7, No. pp. 330-420, 2017.
- [6] L. Filli, L. Luechinger, G. Andreisek, V. M. Range, "Material-dependent implant artifact reduction using SEMAC-VAT and MAVRIC: a prospective MRI phantom study," *Investigative radiology*, Vol. 52, No. 61, pp. 381-387, 2010.
- [7] R. Sutter, R. Hodek, S. F. Nittika, "Total knee arthroplasty MRI featuring slice-encoding for metal artifact correction: reduction of artifacts for STIR and proton density-weighted sequences," *American Journal of Roentgenology*, Vol. 201, No. 6, pp. 1315-1324, 2013.
- [8] P. M. Jungmann, C. A. Agten, C. W. Pfirrmann, "Advances in MRI around metal," *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 46, No. 4, pp. 972-991, 2015.
- [9] T. Ai, A. Padua, Z. Jadhav, "SEMAC-VAT and MSVAT-SPACE sequence strategies for metal artifact reduction in 1.5 magnetic resonance imaging" *Investigative radiology*, Vol. 47, No 5, pp. 267-276, 2012.
- [10] K. S. Park, H. G. Kim, J. H. Cho, "Development of New Materials for Reduction of the Magnetic Resonance Imaging Metal Artifacts and the Improvement of the Image Quality," *Journal of the Korean Society of MR Technology*, Vol. 22, No. 3, pp. 508-513, 2017.
- [11] G. H. Kim, H. T. Kim, Y. D. Park, H. Y. Jung, "Consideration of metallic susceptibility artifact based on the change in bandwidth and matrix of MRI," *Journal of the Korea Society of MR Technology*, Vol. 22, No. 1, pp. 62-72, 2012.
- [12] H. G. Kim, S. D. Choi, "Effect of Metals used in Orthopedic on Magnetic Resonance Imaging," *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 11, No. 4, pp. 46~50, 2012.

VAT-SEMAC을 이용한 보철물에 의한 허상 감소

김형태,¹ 임종남,¹ 천권수^{1,2,*}

¹대구가톨릭대학교 일반대학원 방사선학과

²대구가톨릭대학교 방사선학과

요 약

자기공명영상에서 금속 물질이 삽입된 환자에서 자기감수성에 의한 허상이 발생하여 영상의 진단적 가치가 저하되는 문제가 발생하고 있다. 여러 가지 인공물 감소기법 중 VAT-SEMAC 기법을 적용하여 영상의 왜곡에 대해 연구 하였다. 정형외과 수술시 사용되는 금속 임플란트를 팬텀에 부착하여 T1WI, T2WI를 스캔 시 허상으로 인한 왜곡을 측정하였다. 감소기법의 미적용, VAT 적용, VAT-SEMAC을 호환 적용하여 검사를 실시한 후 허상을 비교 분석 하였다. 허상은 VAT-SEMAC에서 최소 8%에서 최대 26%의 감소를 보였다. VAT-SEMAC 기법을 적용하면 정형 보철물이 삽입된 환자에게도 영상의 질을 향상시켜 진단적 가치가 향상된 영상을 획득할 수 있다. 적절한 스캔시간과 영상의 질을 동시에 고려한다면 실제 임상에서 VAT-SEMAC의 적용하여 허상 감소효과를 얻을 수 있을 것이다.

중심단어: 자기공명영상, 금속, 허상

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김형태	대구가톨릭대학교 일반대학원 방사선학과	대학원생
(공동저자)	임종남	대구가톨릭대학교 일반대학원 방사선학과	대학원생
(교신저자)	천권수	대구가톨릭대학교 방사선학과	교수