

실리콘을 이용한 자화율 인공물의 감소에 관한 연구

최관우¹, 이호범^{1*}

¹서울아산병원 영상의학과

A study on the reduction on magnetic susceptible artifacts through the usage of silicon

Kwan-Woo Choi¹ and Ho-Beom Lee^{1*}

¹Department of Radiology, Asan Medical Center

요약 본 연구에서는 인체 조직밀도와 유사한 실리콘을 이용하여 공기와 맞닿은 굴곡진 부분을 보상함으로써 자화율 인공물을 줄이고자 하였다. 연구대상은 정상인 16명을 대상으로 하였으며, 인체 중 굴곡이 많고 구조가 복잡하며 공기와 접촉하는 표면적이 넓어 자화율 인공물이 많이 발생하는 발을 검사부위로 하였다. 실험장비는 3.0T 초전도 자기공명영상장치를 이용하였으며, 자화율 차이에 민감한 SPIR 영상을 종족궁의 가운데부터 5개의 말절골을 모두 포함하여 종족궁 및 족지골을 연장한 선에 평행하게 시상면으로 얻었다. 분석방법은 조직과 공기간 자화율 차이를 줄임으로서 자화율 인공물의 감소를 알아보기 위하여 실리콘 적용 전·후의 SNR과 CNR을 비교하였으며, 대응표본 T검정을 이용하여 통계분석 하였다. 연구결과 굴곡진 부분을 보상한 실리콘 적용 후 영상이 적용 전 영상에 비해 자화율 인공물이 감소하였으며, SNR은 적용 전 3.91 ± 1.33 에서 적용 후 21.69 ± 4.52 로 유의한 양의 상관관계로 증가하였고, CNR은 적용 전 28.97 ± 8.20 에서 적용 후 4.88 ± 2.14 로 유의한 음의 상관관계로 감소하였다. 결론적으로 본 연구는 체적소에 영향을 주지 않으면서 본질적인 문제인 공기와 인체의 자화율차이를 보상한 획기적인 개선방법으로, 적용이 용이하며 저비용 고효율로 자화율 인공물을 줄일 수 있는 방안을 제시하였다는 데에 커다란 의의가 있다.

Abstract This study used silicon that is similar to the density of the tissue of the human body to compensate for the uneven areas that are in contact with air in order to reduce susceptible artifacts. The subjects of the study were 16 normal people and the areas of the human body in which there are a lot of uneven areas with complicated structure and a lot of susceptible artifacts were formed since the surface area that comes into contact with the air is large were the areas that were chosen to be examined. A 3.0T superconducting magnetic resonance device was used as the test equipment and SPIR images that are sensitive to magnetic differences were obtained as sagittal planes on a line that extended the metatarsal and the phalanges, including the middle of the longitudinal arc and the 5 distal phalanxes. The method of analysis was to reduce the susceptibility between the tissue and the air to discover the reduction of susceptible artifacts by comparing the SNR and CNR before and after applying silicon. A statistical analysis was utilized for the sample matching T examination. The results of the study revealed that the susceptible artifacts were reduced in the images of the uneven areas that were compensated and applied with silicon. The SNR increased in significant amount in correlation from 3.91 ± 1.33 before application to 21.69 ± 4.52 after application and the CNR decreased in significant amount in correlation from 28.97 ± 8.20 before application to 4.88 ± 2.14 . In conclusion, this study did not affect the voxel but it was an innovative method of improvement that compensated for the fundamental issue of the difference in susceptibility between the air and the body. The application is simple and the study has great significance in that it proposed a method to reduce susceptible artifacts in a low cost and highly efficient manner.

Key Words : Susceptibility, Magnetic susceptibility artifact, Silicone, SNR, CNR

*Corresponding Author : Ho-Beom Lee (Asan Medical Center)

Tel: +82-10-8585-1411 email: hobeom35@naver.com

Received August 27, 2012 Revised (1st September 28, 2012, 2nd October 10, 2012) Accepted November 6, 2012

1. 서론

자기공명영상의 신호 크기는 체적소(voxel)에 있는 핵 스핀 수와 체적소에 대한 자장의 균일성에 의해 좌우된다[1]. 자장의 균일성은 각 조직의 자화율(susceptibility)에 의해 영향을 받는데, 인체는 근육, 혈관, 뼈, 지방, 공기와 같이 서로 다른 조직 간에 각각 다른 주파수 정보를 가지고 있어 인접한 조직들의 경계면에서 자화율 차이에 의한 자장의 불균일(field in homogeneity)이 항상 발생한다[2].

자화율 차이에 의해 자장의 불균일이 발생하면 신호가 감소한다. 왜냐하면 자화율 차이가 없는 균일한 물질의 경우, 즉 근육과 같이 균일한 부위로부터 발생하는 영상 신호는 체적소 내의 스핀들의 위상이 같으므로 강한 신호를 발생하게 되지만, 체적소 내에 자화율 차이가 있는 물질로 채워져 있는 경우, 균일한 자장속에서도 체적소 내는 불균일 자장이 형성되어 자화율 차이에 의한 위상차(spin dephasing)가 증가하여 감쇄된 신호를 발생하게 된다[3]. 즉, 서로 성분이 다른 물질은 다른 자화율을 가져 경사(gradient)를 발생시키고 발생한 경사는 스핀을 빨리 탈위상 시켜 이완시간에 영향을 주어 신호를 감소시키는 것이다[4]. 이러한 신호감소는 공기와 지방 또는 공기와 근육과 같이 자화율 차이가 클수록 신호의 세기는 급격히 감소한다.

자화율 차이에 의해 발생하는 자장 불균일은 다른 원인인 화학적 천이나, 전자 위상에러로 인한 자장 불균일성에 비해서 상대적으로 강하기 때문에 작은 체적소 내에서도 스핀들을 서로 다른 위상을 갖게 하여 자기공명영상에서 자화율 인공물(magnetic susceptibility artifact)을 일으킨다[3]. 자화율 인공물의 형태는 신호감소로 인한 영상의 소실이나 왜곡, 뒤틀림 형태로 나타나는데 이는 병변의 정확한 진단에 어려움을 주는 원인이 되어 진단과 치료에 커다란 문제점이 된다[5].

현재 사용되고 있는 자화율 인공물을 줄일 수 있는 방법으로는 저자장 이용, 경사에코(gradient echo) 대신 반복시간과 에코시간(echo time)이 긴 스핀에코(spin echo) 선택[6, 7], 주파수부호화 경사 자장의 세기의 증가, 3차원 경사에코기법 시 절편 단면 방향으로 충분한 위상부호화 경사자장을 가해 얇은 단면의 영상을 얻는 방법이 있다[8, 9].

위 방법 모두 비균일한 자장을 어느 정도 보상해 자화율 인공물은 줄일 수 있으나 조직의 자화율 차이에 의한 인공물을 줄일 수 있는 근본적인 대안이 될 수 없다. 특히 인체 중 굴곡이 많아 공기와 접촉하는 표면적이 넓은 손 검사나 발 검사의 경우 체적소의 부피 감소와 공기를

포함한 복잡한 구조로 인한 자화율의 차이로 신호가 감소하고 자화율 인공물이 많이 발생하는 구조적인 문제점을 내포하고 있다.

그러나 이러한 문제점에도 불구하고 국내외 의료기관에서는 영상의 매개변수(parameter) 활용에 국한된 방법을 이용할 뿐 마땅한 개선안이 없어 신호가 감소하고 자화율 인공물이 발생한 상태로 검사하고 있는 실정이며 개선에 관한 모델 제시나 그에 관한 연구는 전무한 실정이다.

실리콘은 자기공명영상에서 체적소에 영향을 주지 않는 범위에서 미약한 신호를 내는 물질 중 인체의 조직밀도와 유사하다. 이에 저자들은 영상의 매개변수 활용에 국한된 방법이 아닌, 조직의 자화율 차이에 의한 인공물을 줄일 수 있는 근본적인 대안으로 실리콘을 공기와 맞닿은 굴곡진 부분에 보상하여 조직과 공간간 자화율 차이를 줄임으로서 자화율 인공물을 감소시키고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상 및 방법

연구대상은 2012년 6월부터 동년 8월까지 정상인 16명을 대상으로 하였다. 연구방법은 인체 중 굴곡이 많고 구조가 복잡하며, 공기와 접촉하는 표면적이 넓어 자화율 인공물이 많이 발생하는 발을 대상으로, 조직과 공간간 자화율 차이를 줄임으로서 자화율 인공물의 감소를 알아보기 위하여 실리콘 적용 전·후의 신호대잡음비(signal to noise ratio, 이하 SNR)와 대조도대 잡음비(contrast to noise ration, 이하 CNR)를 비교하였다.

SNR은 10 mm²의 ROI(resion of interest)를 이용하여 자화율 인공물이 발생한 부위의 신호강도(signal intensity)를 측정 한 후, 측정된 신호강도를 백그라운드 신호강도의 표준편차로 나누어 계산하였고(식 1), CNR은 자화율 인공물이 발생한 부위의 신호강도와 주변조직의 신호강도를 측정한 후, 자화율 인공물이 발생한 부위와 주변조직의 신호강도 차를 구한 다음 백그라운드 신호강도의 표준편차로 나누어 절대값으로 계산하였다(식 2)[1].

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

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

평가의 정확성을 위하여 자화율 인공물의 관심영역 선정 시 주변조직과 차이를 크게 두는 부위를 선정하였고, 백그라운드 표준편차는 SNR과 CNR의 효과를 정확하게 하기 위하여 신호를 얻은 위상부호화 방향으로 상, 하 두 부분의 관심영역을 선정하여 측정된 평균값을 백그라운드 표준편차로 정하였다[1].

본 연구에 사용된 실리콘은 구소 원료를 합성한 구소 수지로서 실리콘 베이스에 상온 경화방지제를 첨가하여 상온에서는 경화되지 않아 여러 번 재사용이 가능한 제품을 사용하였다. 실리콘 베이스는 주성분인 실리콘 중합체에 폴리디메틸실록산과 실리카 및 실리콘 오일이 혼합되어 있고, 경화방지제는 메틸비닐 실리콘 겜과 실리콘 오일이 혼합된 제품으로 총 사용량은 200g, 밀도는 2.336g/cm³ 이었다.

2.2 영상획득 및 기법

영상획득 장비로 3.0T 초전도 자기공명영상장치 (Archiva, Philips medical system)와 8 channel SENSE Foot/Ankle 코일을 사용하였다.

영상기법은 주파수 선택여기방법과 반전시간 회복기법의 장점을 접목시켜 자화율 차이에 민감한 공간반전회복기법(Spectral Presaturation with Inversion Recovery, SPIR)을 이용하였으며[14], 사용된 영상변수로는 TR 3000 msec, TE 80 msec, 숙임각(flip angle) 90°, FOV(field of view) 150 mm×100 mm, matrix 512×512, 절편두께(slice thickness) 2 mm, 절편간격(slice gap) 0.5 mm, NEX(number of excitation) 2로 하였다.

영상의 포함범위는 종족궁(arcus pedis longitudinalis)의 가운데부터 다섯개의 말절골(distal phalanges)을 모두 포함하였으며 종족골(metatarsal bone) 및 족지골(phalanges)을 연장한 선에 평행하게 시상면(sagittal plan) 영상을 30절편(slices)씩 얻었다. 검사시간은 1분 48초였다.

2.3 분석방법

분석방법은 조직과 공기간 자화율 차이를 줄임으로서 자화율 인공물의 감소를 알아보기 위하여 실리콘 적용 전·후의 SNR과 CNR을 비교하였다.

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

3. 연구결과

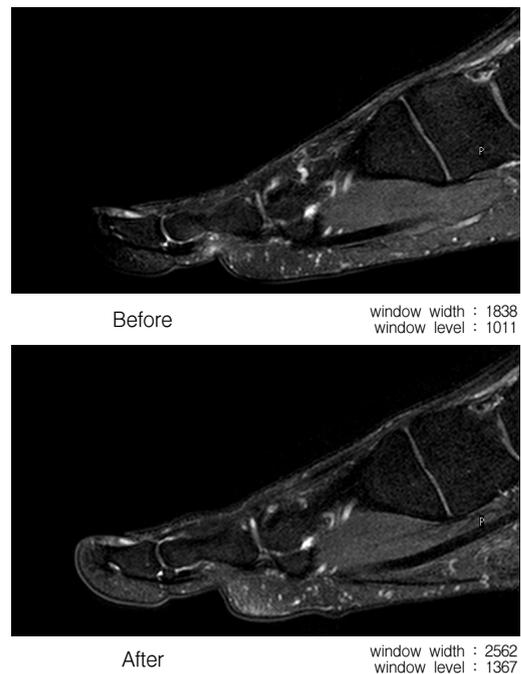
연구대상자의 인구사회학적 특성은 표 1과 같이 남성

이 11명, 여성이 5명이었고, 평균연령은 29.5±3.98세(38세-24세)였다.

[Table 1] Socio-demographical variables

구분	항목	빈도(명)	비율(%)
성별	남성	11	68.8
	여성	5	31.3
연령	25세 이하	2	12.5
	26세~30세	9	56.3
	31세 이상	5	31.3

조직과 공기간 자화율 차이를 줄임으로서 자화율 인공물의 감소는 그림 1과 같이 공기와 맞닿은 굴곡진 부분을 보사한 실리콘 적용 후 영상이 적용 전 영상에 비해 말절골에 발생한 자화율 인공물이 감소하였다.



[Fig. 1] The SPIR images before and after the application of silicon

자화율 인공물의 감소를 위해 실리콘 적용 전·후에 따른 자화율 인공물 발생부위와 주변조직간의 SNR의 차이는 적용 전 3.91±1.33에서 적용 후 21.69±4.52로 17.78(454.7%) 증가하였고, CNR은 적용 전 28.97±8.20에서 적용 후 4.88±2.14로 24.09(83.2%) 감소하였다(표 2). SNR의 증가 의미는 조직과 공기간 자화율 차이에 의

한 자화율 인공물이 실리콘 적용 후 효과적으로 감소한 것을 의미하며, CNR의 감소 의미는 실리콘 적용 후 동일한 주변조직과의 대조도의 차이가 감소한 것으로 이 또한 실리콘 적용 후 자화율 인공물이 효과적으로 감소한 것을 의미한다.

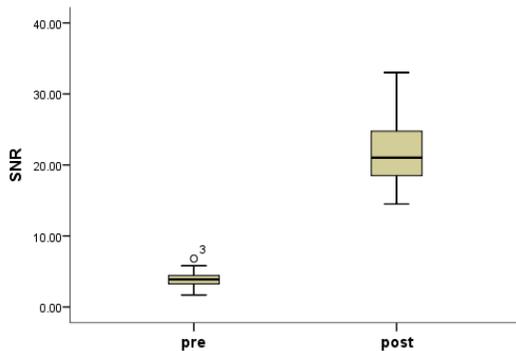
[Table 2] Both SNR and CNR where the magnetic susceptible artifacts occurred and the surrounding tissues before and after the application of silicon

구분	Before (mean±SD)	After (mean±SD)
SNR	3.91±1.33	21.69±4.52
CNR	28.97±8.20	4.88±2.14

SNR t-value : -16.70(sig=0.000)

CNR t-value : 11.97(sig=0.000)

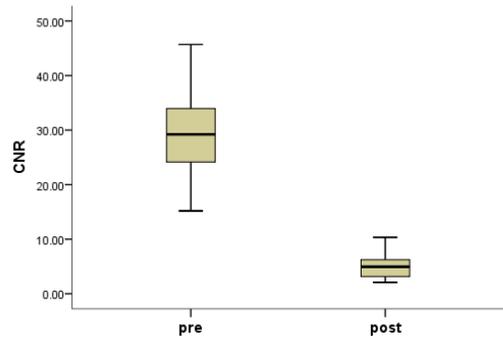
적용 전·후에 따른 대응표본 T검정 결과, SNR은 대응차의 평균과 표준편차 -17.78±4.26, 표준오차 1.07, T값이 -16.70(sig=0.000)로 나타나 실리콘 적용 후가 적용 전보다 유의하게 증가하였다(그림 2).



t-value : -16.70(sig=0.000)

[Fig. 2] A box chart of the areas where the magnetic susceptible artifacts occurred and the SNR of the surrounding tissues before and after the application of silicon

CNR의 경우는 대응차의 평균과 표준편차 24.09±8.05, 표준오차 2.01, T값이 11.97(sig=0.000)로 나타나 실리콘 적용 후가 적용 전보다 유의하게 감소하였다(그림 3).



t-value : 11.97(sig=0.000)

[Fig. 3] A box chart of the areas where the magnetic susceptible artifacts occurred and the CNR of the surrounding tissues before and after the application of silicon

4. 고찰 및 결론

자화율 인공물은 인체 내 서로 다른 자화율을 갖는 인접한 두 조직의 경계면에서 자장의 국소적인 변형이 발생되어 형성되는 인공물이다[10]. 자화 감수성이 서로 다른 두 조직의 경계면은 각 물질의 자화율차이에 의해 자장이 불균일해지고, 불균일한 자장으로 인해 자화율 인공물이 발생하며 이러한 자화율 인공물은 영상의 소실이나 왜곡을 일으킨다[11]. 이러한 현상은 자화 감수성 차이가 큰 물질 즉, 물과 공기, 공기와 지방, 물과 지방 등 경계면에서 더욱 현저하게 나타나 다른 병리학적인 상태로 보이게 하여 병변의 오진을 초래 한다[5]. 이로 인해 자화율 인공물을 감소시키고자 많은 연구가 있었다.

Bellon EM 등[6]과 Dujovny M 등[7]은 자화율 인공물을 감소시키는 방법으로 자장 강도가 높은 장비보다는 저자장 장비의 이용과 경사예코 기법보다 스핀예코 기법을 사용해야 한다고 하였다. 그러나 이 연구들은 고자장과 경사예코 기법의 특징인 SNR의 증가와 검사시간 단축, 얇은 절편의 선택 등 여러 가지 장점을 간과한 연구라는 한계점이 있다.

Kanal E 등[8] 과 Hartnell GG 등[9]은 주파수 부호화 경사자장의 세기를 높여 주고, 짧은 에코시간을 이용하여 얇은 단면을 얻음으로써 자기 감수성 인공물을 최소화 할 수 있다고 보고 하였다. 그러나 주파수부호화 경사자장 세기의 증가나 짧은 에코시간으로 인한 얇은 단면은 장비의 성능 및 자장의 강도와 관련된 문제로 기존 장비의 교체 또는 고자장인 최신 장비의 도입이 선행되어야 한다.

이에 반해 Kim[12]과 Smith AS 등[13]은 flip angle의 증가와 수신신호대역이 좁을수록 자화율에 의한 인공물이 증가하므로 flip angle을 감소시키고 수신대역폭을 넓혀야 한다고 하였다.

그러나 flip angle을 감소하고 수신신호대역이 넓어지면 자화율인공물은 감소하지만, SNR이 감소하여 전반적인 신호가 약해지고 공간분해능이 저하되어 영상의 진단적 효용이 떨어진다.

또한 Cho 등[5]은 자화율 인공물 발생 시 주파수 경사 방향을 적절히 변경함으로써 자화율 인공물의 발생을 줄일 수 있다고 보고하였고 Lee 등[1]은 중심주파수(center frequency) 정렬과 송 신호강도 값(transmission gain)의 변화로 자화율 인공물을 줄일 수 있다고 보고하였다. 그러나 이 연구들은 영상의 매개변수(parameter) 활용에 국한되었다는 한계점이 있다.

본 연구에서는 자기공명영상에서 체적소에 영향을 주지 않는 범위에서 미약한 신호를 내면서, 인체의 조직밀도와 유사한 실리콘을 사용하여 공기와 인체의 자화율차이를 보상함으로써, 자화율 인공물을 감소시켰다는 데에 커다란 의의가 있다.

연구결과 자화율 인공물 발생부위와 주변조직간의 SNR의 차이는 적용 전 3.91 ± 1.33 에서 적용 후 21.69 ± 4.52 로 17.78(454.7%) 증가하였고, CNR은 적용 전 28.97 ± 8.20 에서 적용 후 4.88 ± 2.14 로 24.09(83.2%) 감소하였다. 이는 Kim[12]의 flip angle 및 수신대역폭의 변화나 Cho 등[5]의 주파수 경사 방향의 변경의 정성적 평가보다도 진일보한 방법으로 구체적인 수치로서 증명하였다. 또한 Lee 등[1]의 송 신호강도 값 110에서 자화율영역과 주변조직의 SNR(pre: 1.44 ± 0.31 , 4.33 ± 0.04 , post: 1.86 ± 0.2 , 7.1 ± 0.21)이 높아지고 CNR(pre: -2.89 ± 0.43 , post: -5.23 ± 0.02)이 낮아진다는 연구 결과와 비교해도 본 연구 결과가 획기적인 개선 방법이라고 할 수 있다.

본 연구는 연구 특성상 실험 대상자가 적다는 점과 실리콘의 두께차이에 따른 자화율 인공물의 변화를 측정하지 못했다는 제한점이 있다. 그럼에도 불구하고 국내외적으로 선행 연구가 없고, 적용이 용이하며 저비용 고효율로 자화율 인공물을 줄일 수 있는 방안을 제시하였다는 데에 커다란 의의가 있다고 하겠다.

References

[1] JS Lee, et al. "A Study on Compensation for Imaging Qualities Having Artifact with the Change of the Center Frequency Adjustment and Transmission Gain Values at

1.5 Tesla MRI". Korean Journal of Medical Physics, 20, pp. 244-252, 2009.

[2] ZH Cho, et al. "Reduction of Susceptibility Artifact in Gradient-Echo Imaging". Magn Reson Med, 23, pp. 193, 1992, [Article\(CrossRefLink\)](#)

[3] YM Ro, et al. "A Study of Susceptibility Decomposition in MRI". Journal of Biomedical Engineering Reserch, 16, pp. 395-402, 1995.

[4] S. Ogawa, et al. "Magnetic resonance imaging of blood vessel at high field". Magn Reson Med, 16, pp. 68, 1990, [Article\(CrossRefLink\)](#)

[5] JH Cho, et al. "The usability of the image according to the frequency encoding gradient direction conversion in fixation using the non magnetic metal screw". Journal of Digital Content Society, 12, pp. 49-55, 2011.

[6] Bellon EM, et al. "MR artifacts a review". AJR, 147, pp. 1271-1281, 1986.

[7] Dujovny M, et al. "Aneurysm clip testing for ferromagnetic properties". Radiology, 202, pp. 637, 1997.

[8] Kanal E, et al. "Aneurysm clip testing for ferromagnetic properties". Radiology, 202, pp. 641, 1997.

[9] Hartnell, et al. "Safety of MR imaging in patients who have retained metallic materials after cardiac surgery". ARJ, 168, pp. 1157, 1997.

[10] KK Kim, et al. "The Analysis of Static Magnetic Field Artifact in Using Magnetic Resonance Imaging", The Suseong College journal, 14, pp. 223-228, 2000.

[11] Romner B, et al. "Magnetic resonance imaging and aneurysm clips". J Neurosurg, 70, pp. 426-431, 1990, [Article\(CrossRefLink\)](#)

[12] YS Kim. "Interfaces on MRI : A phantom study". The Kyungpook University medical journal, 90, pp. 615-627, 1995.

[13] Smith AS, et al. "Intracranial chemical-shift artifacts on MR images of the brain: observations and relation to sampling bandwidth". Am J Roentgenol, 154, pp. 1275-1283, 1990.

[14] HM Lee, et al. "Selection of TI for Suppression Fat Tissue of SPAIR and Comparative Study of SPAIR and STIR of Brain Fast SE T2 Weighted Imaging". The Radiologic Technology Research, 32, pp. 95-99, 2009.

최 관 우(Kwan-Woo Choi)

[정회원]



- 2010년 7월 : 고려대학교 의용과학대학원 의료영상공학과 (공학 석사)
- 2001년 2월 ~ 현재 : 서울아산병원 영상의학과

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학, 의용영상공학

이 호 범(Ho-Beom Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

방사선영상학, 디지털영상학