

# Evaluation of Tendency for Characteristics of MRI Brain T2 Weighted Images according to Changing NEX: MRiLab Simulation Study

Nam Young Kim, Ju Hui Kim, Jun Lim, Seong-Hyeon Kang, Youngjin Lee\*

Department of Radiological Science, College of Health Science, Gachon University

Received: January 04, 2021. Revised: February 25, 2021. Accepted: February 28, 2021.

## ABSTRACT

Recently, magnetic resonance imaging (MRI), which can acquire images with good contrast without exposure to radiation, has been widely used for diagnosis. However, noise that reduces the accuracy of diagnosis is essentially generated when acquiring the MR images, and by adjusting the parameters, the noise problem can be solved to obtain an image with excellent characteristics. Among the parameters, the number of excitation (NEX) can acquire images with excellent characteristics without additional degradation of image characteristics. In contrast, appropriate NEX setting is required since the scan time increases and motion artifacts may occur. Therefore, in this study, after fixing all MRI parameters through the MRiLab simulation program, we tried to evaluate the tendency of image characteristics according to changing NEX through quantitative evaluation of brain T2 weighted images acquired by adjusting only NEX. To evaluate the noise level and similarity of the acquired image, signal to noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR), root mean square error (RMSE) and peak signal to noise ratio (PSNR) were calculated. As a result, both noise level and similarity evaluation factors showed improved values as NEX increased, while the increasing width gradually decreased. In conclusion, we demonstrated that an appropriate NEX setting is important because an excessively large NEX does not affect image characteristics improvement and cause motion artifacts due to a long scan.

Keywords: MRI, brain T2 weighted image, MRiLab simulation program, NEX, quantitative evaluation

## I. INTRODUCTION

자기공명영상장치 (MRI; Magnetic resonance imaging)는 체내 수소 원자핵의 핵자기 공명 현상을 통해 획득한 신호를 영상화하는 장치이다. MRI는 생체 각 조직들에 따른 물리, 화학적인 특성에 대한 정보를 3차원적으로 표현함으로써 조직 간 구분을 가능하게 해주며, 이러한 특징을 바탕으로 획득된 정보는 실질 병변의 발견에 있어 효과적이다.<sup>[1]</sup> 또한, MRI는 고자장과 고주파를 사용하기 때문에 일반 X-ray 촬영장치, 전산화단층촬영장치 (CT), 양전자단층촬영장치 (PET) 그리고 단일광자촬영장치 (SPECT)와 비교하여 방사선에 의한 피폭이나 조영제와 같은 약물의 투여 없이 근육이나 인

대와 같은 연부 조직의 대조도가 뛰어난 영상 및 고해상도의 혈관 영상을 비침습적으로 획득할 수 있다는 장점이 있다.<sup>[2-5]</sup>

하지만 MRI 영상을 획득할 때 자기 신호를 전기 신호로 처리하는 과정에서 전기적 간섭과 외부 자기장에 의해 노이즈가 발생한다. 영상 특성을 저하시키는 노이즈는 모든 주파수에서 무작위로 발생하므로 완벽하게 제거하는 것은 불가능하지만, 여기횟수 (NEX; Number of excitation) 및 대역폭 (BW; Bandwidth) 그리고 반복 시간 (TR; Time to repetition) 등의 변수들의 변화를 통해 노이즈의 제거 및 신호 대 잡음비 (SNR; Signal to noise ratio)를 향상시킬 수 있다.<sup>[6]</sup> SNR과 MRI 변수들의 관계를 표시하기 위해 Eq. (1)과 Eq. (2)를 사용하였다.<sup>[7]</sup>

\* Corresponding Author: Youngjin Lee

E-mail: yj20@gachon.ac.kr

Tel: +82-32-820-4362

Address: 191 Hwangnam-ro, Yeonsu-gu, Incheon, Korea

$$SNR \propto (\text{voxel volume}) \quad (1)$$

$$SNR \propto \sqrt{\frac{(N_y)(N_x)(NEX)}{BW}} \quad (2)$$

여기서 Voxel volume은 Voxel의 체적,  $N_y$ 는 위상 부호화 단계의 수 그리고  $N_x$ 는 주파수 부호화 단계의 수를 의미한다. BW를 감소시키면 적은 양의 노이즈가 영상에 포함되어 SNR은 향상되지만, 최소 에코시간 (TE; Time to echo)의 증가를 가져와 절편의 개수를 감소시키며, 화학적 이동 인공물의 증가를 가져올 수 있다. 반대로, NEX는 K-space 공간에서 채워진 신호 data의 반복횟수를 의미하는데, NEX의 증가는 다른 변수들에서 발생하는 영상 특성의 저하 없이 우수한 특성의 영상을 획득할 수 있다. 그러나 NEX가 증가함에 따라 Scan time도 함께 증가하기 때문에 Motion artifact를 발생시킬 수 있으며 Scan time의 증가에 비례하여 영상의 특성이 향상되지 않는다는 단점이 있다.<sup>[8-10]</sup> 이와 같은 이유로, 효율적으로 높은 특성을 가진 영상을 획득하기 위해서는 상황에 따른 적절한 설정이 요구된다.

따라서, 본 연구에서는 MRiLab simulation program을 통해 MRI 영상의 획득을 위한 모든 변수들을 고정시키고 NEX만을 변화시킨 brain T2 weighted 영상을 획득한 후, 정량적 평가를 통해 이에 대한 경향성을 분석하고자 한다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. MRiLab simulation program을 통한 MRI brain T2 weighted 영상 획득

MRiLab simulation program (USA, 1.3v)은 MRI 영상을 획득하는 프로그램으로 간단한 조작을 통해 여러 변수들을 조정하여 영상의 획득이 가능하고, 영상 획득에 소요되는 시간이 짧다는 장점이 있다.<sup>[11]</sup> 또한, Fast spin echo 기법을 포함하여 Gradient echo 및 Inversion recovery 등 여러 종류의 기법이 내장

되어 있으며, 추가적인 Sequence, Coil, 및 Magnet 등을 사용자가 직접 모델링 및 적용할 수 있는 기능이 내장되어 있어 다양한 종류의 영상 획득이 가능하다. 이러한 MRiLab simulation program을 사용하여 NEX를 제외한 나머지 MRI 변수들은 고정시킨 후, NEX를 1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50 순서로 증가시킨 Brain T2 weighted 영상과 유사도 평가를 위한 Reference image를 획득하였다. 영상 획득에 사용한 대표적인 변수들은 Table 1과 같다.

Table 1. Simulation parameters for acquisition of brain T2 weighted images

Parameters	Slice thickness	Noise level	NEX
Reference image	4 mm	0	50
Acquired image	4 mm	60	1, 2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50

### 2. 정량적 평가

각각의 NEX를 적용하여 획득한 Brain T2 weighted 영상들의 특성 변화에 대한 경향성을 분석하고자 획득한 영상들로부터 동일한 위치에 관심영역 (ROI; Region of interest)을 설정한 후 정량적 평가를 진행하였다. Fig. 1은 획득한 Reference image와 ROI를 설정한 영상이다.

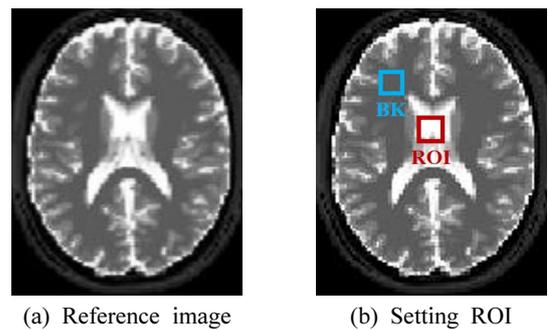


Fig. 1. Acquiring of the reference image (a) and ROI setting image (b) using MRiLab simulation program.

SNR은 ROI 영역의 신호강도의 평균값을 신호강도의 표준편차로 나눈 인자이며, 계산을 위해 Eq. (3)을 사용하였다. SNR의 값이 높을수록 노이즈의 비율이 낮음을 의미한다. 여기서  $S_A$ 는 ROI영역의

신호강도의 평균값을,  $\sigma_A$ 는 신호강도의 표준편차를 의미한다.

$$SNR = \frac{S_A}{\sigma_A} \quad (3)$$

대조도 대 잡음비 (CNR; Contrast to noise ratio)는 영상 노이즈의 비율로 영상의 특성을 평가하는 인자이다. 주변 노이즈에 대한 ROI의 대조도를 비교할 수 있고, CNR의 값이 클수록 영상의 특성이 우수함을 의미한다. 적용되는 공식은 Eq. (4)와 같다.  $S_A$ 와  $S_B$ 는 ROI와 Background 영역에서의 신호강도의 평균값을,  $\sigma_A$ 와  $\sigma_B$ 는 ROI와 Background 영역에서의 신호강도의 표준편차를 의미한다.

$$CNR = \frac{|S_A - S_B|}{\sqrt{\sigma_A^2 - \sigma_B^2}} \quad (4)$$

평균 제곱근 오차 (RMSE; Root mean square error)는 두 영상 간 오차가 발생하는 정도를 나타내는 인자로, RMSE 값이 작을수록 재구성 영상이 reference image와 유사하며, 값이 클수록 reference image와의 유사도가 낮아진다. 적용되는 공식은 Eq. (5)와 같다.  $f_i$ 와  $g_i$ 는 각각 reference image와 재구성 영상을, N은 영상의 픽셀 개수를 의미한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (f_i - g_i)^2}{N}} \quad (5)$$

최대 신호 대 잡음비 (PSNR; Peak signal to noise ratio)는 두 영상 간의 최대 신호 대 노이즈 비율을 데시벨 단위로 나타내는데, 즉, 신호가 가질 수 있는 최대 전력에 대한 노이즈의 전력을 나타낸 것을 의미한다. 또한 영상을 재구성하는 과정에서 화질 손실 정보를 평가할 때 사용되며, PSNR 값이 클수록 영상 신호의 손실이 적다는 의미를 가진다. 적용되는 공식은 Eq. (6)과 같다.  $f_{peak}$ 은 최대의 진폭을 가지는 신호의 값을 의미한다.

$$PNSR = 10 \log \frac{(f_{peak})^2}{RMSE^2} \quad (6)$$

### III. RESULTS AND DISCUSSION

본 연구에서는 MRI 영상 획득의 모든 변수들을 고정시키고 NEX만을 변화시켜 획득한 Brain T2 weighted 영상의 정량적 평가를 진행한 후, 결과를 분석하여 NEX의 변화에 따른 영상 특성의 경향성을 확인하고자 하였다. Fig. 2는 NEX만을 변화시켜 획득한 Brain T2 weighted 영상들이다.

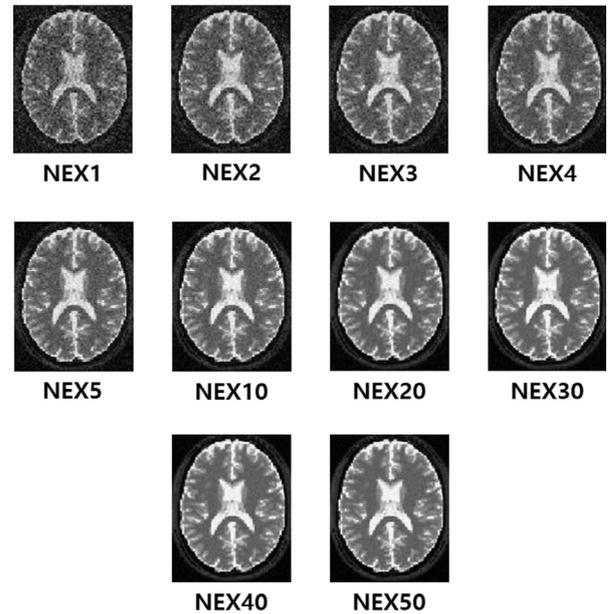


Fig. 2. Acquired brain T2 weighted images with changing the NEX from 1 to 5 at 1 intervals and from 10 to 50 at 10 intervals.

Fig. 3과 Fig. 4는 획득한 영상의 노이즈 레벨 평가를 위해 측정된 SNR과 CNR의 결과를 나타낸 그래프이다. NEX가 증가함에 따라 SNR과 CNR은 증가하는 경향을 보여주었다.

Fig. 5와 Fig. 6은 획득한 영상들과 Reference image와의 유사도를 평가하기 위해 측정된 RMSE와 PSNR의 결과를 나타낸 그래프이다. NEX가 증가함에 따라 RMSE는 감소, PSNR은 증가하는 경향을 보여주었다.

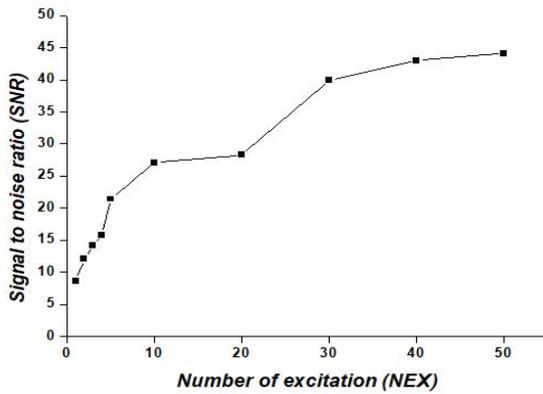


Fig. 3. Results for SNR of acquired images changing the NEX.

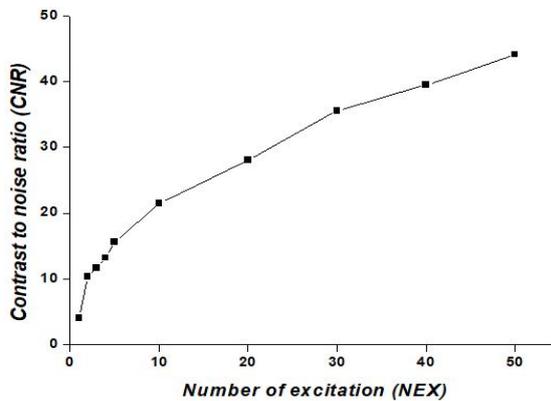


Fig. 4. Results for CNR of acquired images changing the NEX.

우수한 특성의 영상 획득이 가능한 MRI는 시간이 지날수록 병변 진단에 있어 중요한 역할을 담당하고 있으며, 이러한 MRI 영상에 영향을 줄 수 있는 변수들의 조정에 대한 연구가 필요하다.<sup>[12]</sup> 본 연구에서는 NEX의 설정에 따른 영상 특성의 경향성을 분석하기 위해 노이즈 레벨 및 유사도 평가를 진행하였다. 결과적으로 NEX의 증가는 노이즈 레벨 및 영상의 전반적인 복원율의 문제점들을 개선시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 그러나, NEX는 Scan time에 밀접한 관계를 가지고 있다. NEX와 Scan time의 관계를 나타내기 위해 Eq. (7)을 사용하였다.<sup>[13]</sup>

$$Scan\ time = TR \times N_y \times NEX \quad (7)$$

TR은 반복 시간,  $N_y$ 는 위상 부호화 단계의 수를 뜻한다. NEX의 증가는 영상 특성의 향상에 있어

효과적이지만, 과도하게 큰 NEX의 사용은 장시간의 Scan을 요구하게 되고, 이는 환자의 움직임 발생시켜 영상의 노이즈 및 Motion artifact를 가져올 수 있다.<sup>[14,15]</sup> 또한, 정량적 평가 결과, NEX의 증가는 영상 특성의 향상을 가져오지만, 일정 수치 이상부터는 특성의 증가 정도가 줄어들기 때문에 적절한 NEX의 설정이 필요하다.

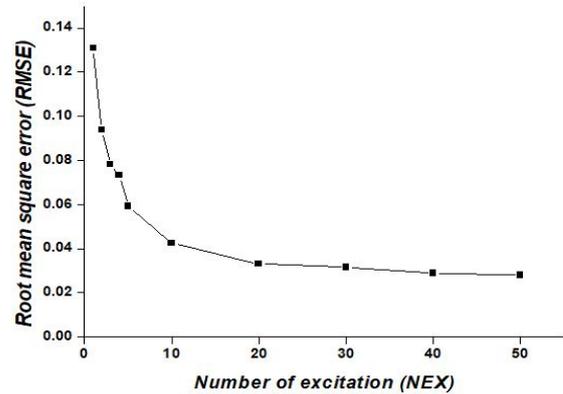


Fig. 5. Results for RMSE of acquired images changing the NEX.

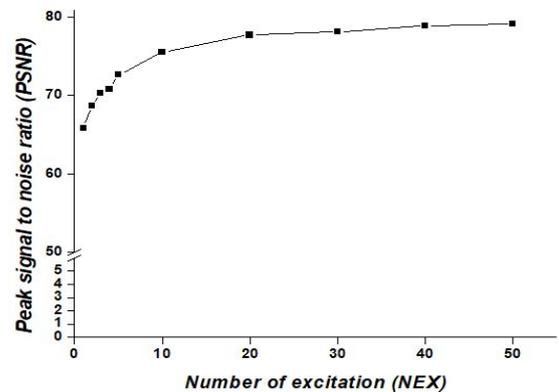


Fig. 6. Results for PSNR of acquired images changing the NEX.

#### IV. CONCLUSION

본 연구에서 MRI의 다른 변수들은 고정시킨 후, NEX에만 변화를 주어 획득한 Brain T2 weighted 영상들의 정량적 평가를 통해 경향성을 분석하였다. NEX가 증가함에 따라 노이즈 레벨과 유사도 평가 모두 개선된 영상 특성을 보였다. 결론적으로, NEX가 증가함에 따라 Brain T2 weighted 영상의 특성이 향상되지만, 과도한 NEX의 증가는 Scan time

의 증가를 가져오고, 이는 환자의 움직임을 발생시켜 영상 특성의 저하를 유발할 수 있기 때문에 적절한 NEX의 설정이 중요함을 확인하였다.

## Reference

- [1] C. L. Degen, M. Poggio, H. J. Mamin, C. T. Rettner, D. Rugar, "Nanoscale magnetic resonance imaging", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106, No. 5, pp. 1313-1317, 2009.
- [2] S. C. Lee, "Basic Cardiac Magnetic Resonance Physics for Clinicians - a Clinician's Point of View", *International Journal of Arrhythmia*, Vol. 17, No. 3, pp. 135-143, 2016.  
<https://doi.org/10.18501/arrhythmia.2016.023>
- [3] T. Ai, J. N. Morelli, X. Hu, D. Hao, F. L. Goerner, B. Ager, V. M. Runge, "A Historical Overview of Magnetic Resonance Imaging, Focusing on Technological Innovations", *Investigative Radiology*, Vol. 47, No. 12, pp. 725-741, 2012.  
<http://dx.doi.org/10.1097/RLI.0b013e318272d29f>
- [4] R. C. Semelka, D. M. Armao, J. Elias, W. Huda, "Imaging Strategies to Reduce the Risk of Radiation in CT studies, Including Selective Substitution With MRI", *Journal of Magnetic Resonance Imaging: an Official Journal of the International Society for Magnetic Resonance in Medicine*, Vol. 25, No. 5, pp. 900-909, 2007. <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.20895>
- [5] M. A. Balafar, A. R. Ramli, M. I. Saripan, S. Mashohor, "Review of brain MRI image segmentation methods", *Artificial Intelligence Review*, Vol. 33, No. 3, pp. 261-274, 2010.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s10462-010-9155-0>
- [6] T. Y. Lim, R. J. Kudchadker, J. Wang, R. J. Stafford, C. MacLellan, R. Arvind, G. S. Ibbott, S. J. Frank, "Effect of pulse sequence parameter selection on signal strength in positive-contrast MRI markers for MRI-based prostate postimplant assessment", *Medical Physics*, Vol. 43, No. 7, pp. 4312-4322, 2016. <http://dx.doi.org/10.1118/1.4953635>
- [7] G. J. B. Barker, "3D fast FLAIR: a CSF-nulled 3D fast spin-echo pulse sequence", *Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 16, No. 7, pp. 715-720, 1998.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0730-725X\(98\)00084-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0730-725X(98)00084-8)
- [8] D. G. Mitchell, S. Vinitiski, M. D. Rifkin, D. L. Burk, "Sampling bandwidth and fat suppression: effects on long TR/TE MR imaging of the abdomen and pelvis at 1.5 T", Vol. 153, No. 2, pp. 419-425, 1989. <http://doi.org/10.2214/ajr.153.2.419>
- [9] Y. J. Yang, J. Park, H. J. hong, C. B. Ahn, "Multi-biological Signal-based Smart Trigger System for Cardiac MRI", *Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 63, No. 7, pp. 945-949, 2014.  
<http://dx.doi.org/10.5370/KIEE.2014.63.7.945>
- [10] Y. H. Seong, J. D. Rhim, S. B. Cho, D. C. Woo, B. Y. Choe, "Alteration Analysis of Normal Human Brain Metabolites with Variation of SENSE and NEX in 3T Multi Voxel Spectroscopy", *Progress in Medical Physics*, Vol. 19, No. 4, pp. 256-262, 2008.
- [11] F. Liu, J. V. Velikina, W. F. Block, R. Kijowski, A. A. Samsonov, "Fast realistic MRI simulations based on generalized multi-pool exchange tissue model", *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Vol. 36, No. 2, pp. 527-537, 2016.  
<http://dx.doi.org/c10.1109/TMI.2016.2620961>
- [12] G. Andria, F. Attivissimo, G. Cavone, A. M. L. Lanzolla, "Acquisition times in magnetic resonance imaging: optimization in clinical use", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 58, No. 9, pp. 3140-3148, 2009.  
<http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2009.2016888>
- [13] R. H. Hashemi, W. G. Bradley, C. J. Lisanti, *MRI: the basics: The Basics*, 3rd Ed., Lippincott Williams & Wilkins., pp. 233-234, 2012.
- [14] S. Z. Dong, M. Zhu, D. Bulas, "Techniques for minimizing sedation in pediatric MRI", *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, Vol. 50, No. 4, pp. 1047-1054, 2019. <https://doi.org/10.1002/jmri.26703>
- [15] C. Wang, E. Subashi, F. F. Yin, Z. Chang, J. Cai, "A spatiotemporal-constrained sorting method for motion-robust 4D-MRI: a feasibility study", *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, Vol. 103, No. 3, pp. 758-766, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2018.10.004>

# 자기공명영상장치의 뇌 T2 강조 영상에서 여기횟수 변화에 따른 영상 특성의 경향성 평가: MRiLab Simulation 연구

김남영, 김주희, 임준, 강성현, 이영진\*

가천대학교 보건과학대학 방사선학과

## 요 약

방사선에 의한 피폭 없이 대조도가 우수한 영상의 획득이 가능한 자기공명영상은 진단에 필수적이지만 영상에서의 노이즈 발생은 불가피한 요소이기 때문에 이를 보완하기 위해 자기공명영상장치의 변수들을 조절하여 우수한 특성을 가진 영상을 획득할 수 있다. 이 중, 여기횟수 (NEX; number of excitation)는 추가적인 영상 특성의 저하 없이 우수한 특성의 영상을 획득할 수 있지만 scan time이 증가하여 motion artifact를 발생시킬 수 있고, scan time의 증가에 비례하여 영상의 특성이 향상되지 않기 때문에 적절한 NEX의 설정이 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 MRiLab simulation program을 통해 자기공명영상의 모든 변수들을 고정시킨 후, NEX만을 조절하여 획득한 뇌 T2 강조 영상의 정량적 평가를 통해 NEX 변화에 따른 영상 특성의 경향성을 평가하고자 하였다. 획득한 영상의 노이즈 레벨 및 유사도 평가를 하기 위해 신호 대 잡음비 (SNR; signal to noise ratio), 대조도 대 잡음비 (CNR; contrast to noise ratio), 평균 제곱근 오차 (RMSE; root mean square error) 그리고 최대 신호 대 잡음비 (PSNR; peak signal to noise ratio)를 계산하였다. 결과적으로, 노이즈 레벨 및 유사도 평가 인자 모두 NEX가 증가함에 따라 개선된 값을 보였으나, 점차 증가폭이 감소함을 보였다. 따라서, 과도하게 큰 NEX는 장시간의 scan에 따른 motion artifact를 발생시켜 영상 특성을 저하시킬 수 있으므로, 적절한 NEX의 설정이 중요함을 확인하였다.

중심단어: 자기공명영상장치, 뇌 T2 강조 영상, MRiLab simulation program, 여기횟수, 정량적 평가

## 연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김남영	가천대학교 방사선학과	학부생
(공동저자)	김주희	가천대학교 방사선학과	학부생
	임준	가천대학교 방사선학과	학부생
	강성현	가천대학교 방사선학과	대학원생
(교신저자)	이영진	가천대학교 방사선학과	부교수