

Original article

SiPM PET/CT에서 3D 프린팅 기반 자체제작한 팬텀을 이용한 iMAR 알고리즘 유용성 평가에 관한 연구

이민규¹, 박찬록²

¹의정부유지대학교병원 핵의학과, ²을지대학교 방사선학과

The feasibility of algorithm for iterative metal artifact reduction (iMAR) using customized 3D printing phantom based on the SiPM PET/CT scanner

Min-Gyu Lee¹, Chanrok Park²

¹Dept. of nuclear medicine, Uijeongbu Eulji Medical Center, Gyonggi, South Korea

²Dept. of Radiological Science, Eulji University, Gyonggi, South Korea

*Corresponding Author : Chanrok Park, DDepartment of Radiological Science, Eulji University, 553, Sanseong-daero, Sujeong-gu, Seongnamsi, Gyeonggi, 13135, Republic of Korea, Tel: +82-31-740-7185, E-mail: tigeaglepcr@eulji.ac.kr

ABSTRACT

Purpose: To improve the image quality in positron emission tomography (PET), the attenuation correction technique based on the computed tomography (CT) data is important process. However, the artifact is caused by metal material during PET/CT scan, and the image quality is degraded. Therefore, the purpose of this study was to evaluate image quality according to with and without iterative metal artifact reduction (iMAR) algorithm using customized 3D printing phantom. **Materials and Methods:** The Hoffman and Derenzo phantoms were designed. To protect the gamma ray transmission and express the metal portion, lead substance was located to the surface. The SiPM based PET/CT was used for acquisition of PET images according to application with and without iMAR algorithm. The quantitative methods were used by signal to noise ratio (SNR), coefficient of variation (COV), and contrast to noise ratio (CNR). **Results and Discussion:** The results shows that the image quality applying iMAR algorithm was higher 1.15, 1.19, and 1.11 times than image quality without iMAR algorithm for SNR, COV, and CNR. **Conclusion:** In conclusion, the iMAR algorithm was useful for improvement of image quality by reducing the metal artifact lesion.

Key words: Iterative metal artifact reduction (iMAR) algorithm, Positron emission tomography, Nuclear medicine, Quantitative analysis, 3D printing technique

서론

핵의학 영상은 암을 검출하는데 있어 매우 중요한 역할을 하고 있다 [1]. 특히, 양전자 방출 촬영 장치 (positron emission tomography; PET) 와 컴퓨터 단층촬영 장치 (computed tomography; CT) 가 결합된 하이브리드 영상 장치인 PET/CT는 다양한 타겟 장기에 집적되는 방사성의약품을 사용하여 수술 없이 인체 내부의 해부학적 정보와 기능학적 정보를 제공한다 [2].

Received November 21, 2023

Revised November 28, 2023

Accepted December 14, 2023

Copyright © 2024 The Korean Society of Nuclear Medicine Technology.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons CC BY 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

CT 데이터는 해부학적 정보를 획득할 수 있을 뿐만 아니라, 환자 내부에서 방출된 감마선 감쇠 정도를 HU(Hounsfield Unit)값을 이용하여 보정함으로써 PET 영상의 질을 향상할 수 있는 대표적인 방법 중 한가지다. 하지만, 인체 내부의 금속 물질은 CT 촬영에 있어 아티팩트를 유발하며 영상의 질적 저하를 가져오며 부적절한 감쇠보정 효과의 결과를 나타낼 수 있다 [3]. 이런 금속 아티팩트로 발생한 영상의 질 저하를 개선하기 위하여, iMAR (iterative metal artifact reduction) 알고리즘이 최신 개발되어 핵의학 영상에서 적용되고 있다 [4,5]. van der Vos 등에 의한 연구 결과에 따르면, iMAR 알고리즘은 진단의 정확도 측면에서 유용성이 입증되었다고 보고하였다 [4]. 반복적 방법의 영상 재구성 알고리즘을 기반으로 우수한 영상의 질을 유지하는 iMAR 알고리즘은 CT 데이터를 이용하여 감쇠된 부분을 보정하는 PET/CT와 같은 융합 장치에서 주로 적용하고 있다. 금속물질로 발생하는 줄무늬 아티팩트를 감소시킴으로써 상대적으로 높게 평가된 높은 신호의 HU값을 감소시키고, 낮게 평가된 영역의 HU 값의 신호를 증가시키고 이과정을 반복함으로써 정확한 감쇠보정과 결과값을 획득할 수 있는 장점이 있다 [6]. 또한, 최적의 영상의 질을 유지하기 위하여 우수한 재구성 알고리즘 적용 뿐만 아니라 핵의학 전용 팬텀을 이용하여 다양한 환경에서의 영상을 획득하여 평가한다. 대표적으로는 Derenzo 팬텀과 Hoffman 뇌 팬텀으로 방사성의약품을 주입함 후 영상을 획득함으로써 영상의 질을 정량적으로 분석할 수 있다 [7]. 또한, 3D 프린팅 기술이 의료 분야에도 적용되어 폭넓게 이용되고 있다. 대표적인 필라멘트 물질은 PLA (밀도: 1.25 g/cm^3) 와 ABS (밀도: 1.04 g/cm^3)이다. 하지만, 주로 140 keV 이상의 감마선 에너지를 사용하는 핵의학 영상에서는 낮은 밀도로 감마선이 투과하기 때문에 영상 획득에 제한점이 발생한다. 조 등에 연구에 따르면 PLA와 ABS 필라멘트의 감마선 투과도적인 측면에서 보완하기 위하여 납물질을 추가함으로써 핵의학 영상 획득 후 영상 평가를 수행하였다 [8].

본 연구의 목적은 PET/CT를 이용한 3D 프린팅 기반의 제작된 핵의학 전용 팬텀에서의 iMAR 알고리즘의 유용성을 확인하고자 한다. 획득된 영상은 coefficient of variation (COV), signal to noise ratio (SNR), contrast to noise ratio (CNR)의 정량적 분석 방법을 이용하여 평가하였다.

대상 및 방법

Fig. 1은 자체제작한 팬텀과 PET/CT 검사를 나타냈다. 자체제작한 핵의학 전용 팬텀은 PLA 필라멘트 물질 기반의 납(밀도: 11.34 g/cm^3)을 도포하였다. 납의 도포는 금속물질로 모사하였고, 출력된 Hoffman 팬텀과 Derenzo 팬텀을 이용하였다. 각 팬텀의 지름은 15 cm를 유지하였고, Derenzo 팬텀의 각 구의 반지름은 1.1, 1.0, 0.9, 0.8, 0.7 cm으로 설정하였다. ^{18}F -FDG 방사성 동위원소 1 mCi 주입과 10분의 획득시간, OSEM (ordered subset expectation maximization) 영상 재구성 방법과 iMAR 적용 유무에 따라 영상을 획득하였다.

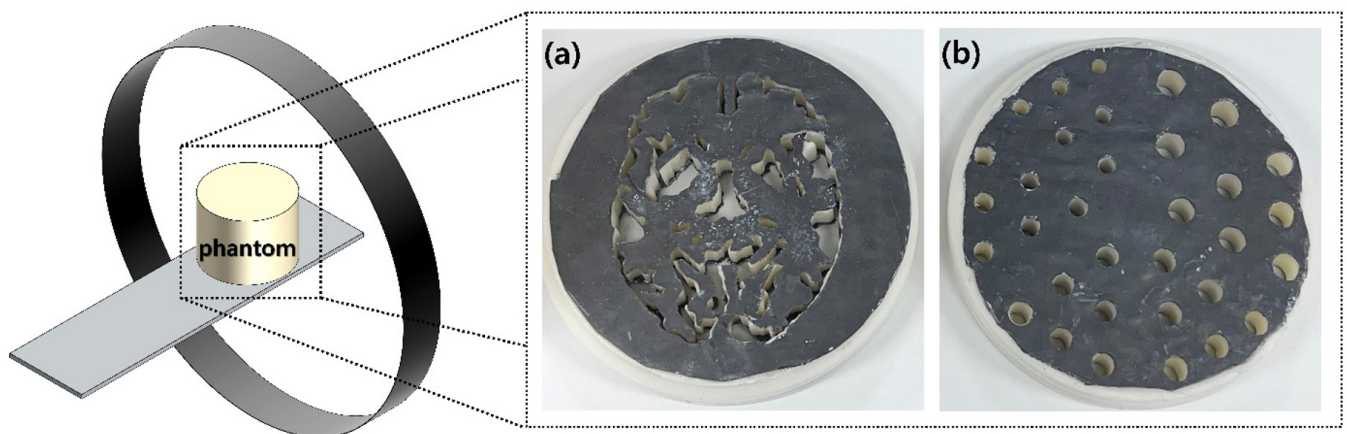


Fig. 1. The This photo is PET scanner and dedicated PET phantom images using the 3D printing technology by adding lead material with (a) Hoffman and (b) Derenzo phantom.

Fig. 2는 각각 설정한 관심영역을 나타냈다. 영상의 질을 정량적으로 평가하기 위하여 관심영역을 각 획득 영상에 설정하여 Hoffman 팬텀은 식(1)의 COV, Derenzo 팬텀은 가장 큰 구와 주변부의 관심영역을 설정함으로써 식(2)의 SNR, 식(3)의 COV를 계산하였다.

$$COV = \frac{\sigma_A}{S_A} \quad (1)$$

$$SNR = \frac{S_B}{\sigma_B} \quad (2)$$

$$CNR = \frac{|S_B - S_C|}{\sqrt{\sigma_B + \sigma_C}} \quad (3)$$

σ_A 와 S_A 는 Hoffman PET 팬텀에서 설정한 관심영역 내에 표준편차 값과 평균 픽셀 값을 의미한다. σ_B 와 S_B 는 Derenzo PET 팬텀 내의 가장 큰 구 영상의 표준편차 값과 평균 픽셀 값을 의미하고, σ_C 와 S_C 는 주변부의 표준편차 값과 평균 픽셀 값을 의미한다.

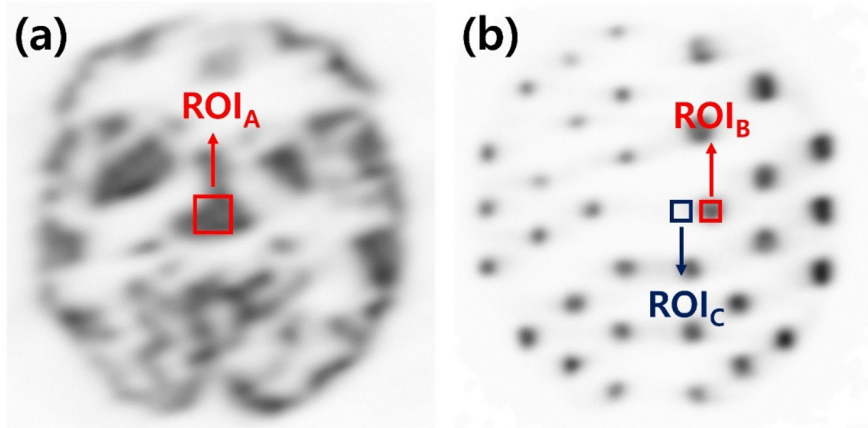


Fig. 2. The images are region of interests (ROIs) for calculation with (a) COV using ROI_A and (b) CNR using ROI_B and ROI_C, respectively.

결과 및 고찰

Fig. 3(a)는 iMAR 적용 전 Hoffman 팬텀 영상과 Fig. 3(b)는 iMAR 적용 후의 Hoffman 팬텀 영상이다.

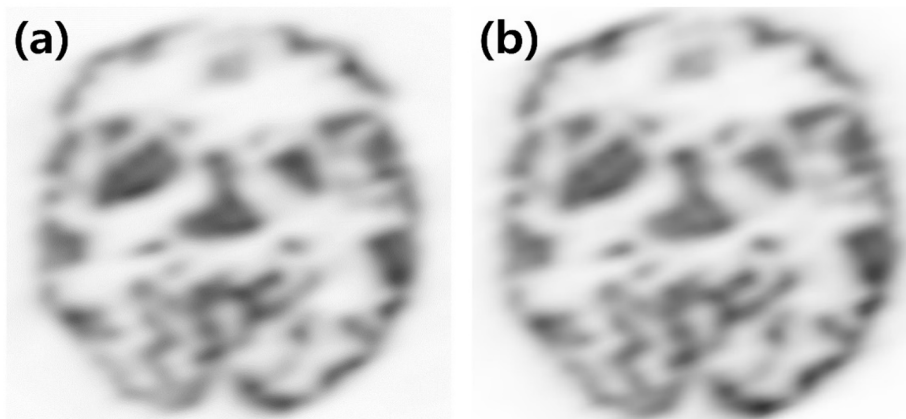


Fig. 3. There are acquired Hoffman phantom images (a) without and (b) iMAR algorithms, respectively.

Fig. 4는 획득된 Hoffman 팬텀 영상의 관심영역 설정 후 iMAR 알고리즘 적용 전과 후에 따른 COV 결과값을 나타냈다. COV 결과 값은 iMAR 알고리즘 적용 전은 0.28, 적용 후는 0.17로 39.2% 감소를 나타냈다. COV 결과 분석 값은 영상 내 픽셀값에 있어 표준편차 값을 나타내는 방법으로 영상내에 포함된 노이즈의 분포를 간접적으로 나타낼 수 있다. 그러므로, iMAR 적용 유무에 따른 COV 결과값의 감소로 평가했을 때 영상의 질적 향상이 있음을 확인할 수 있다.

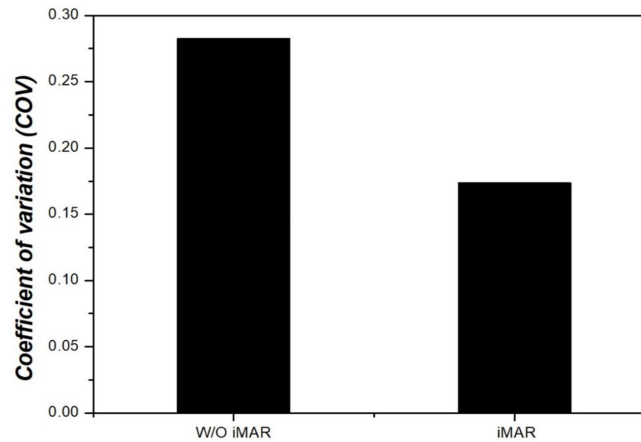


Fig. 4. TheThe COV of result graph was indicated according to with and without iMAR algorithm, respectively.

Fig. 5는 Derezo PET 팬텀 영상을 나타냈고, Fig. 5(a)는 iMAR 적용 전 획득 영상이고, Fig. 5(b)는 iMAR 적용 후 획득 영상이다.

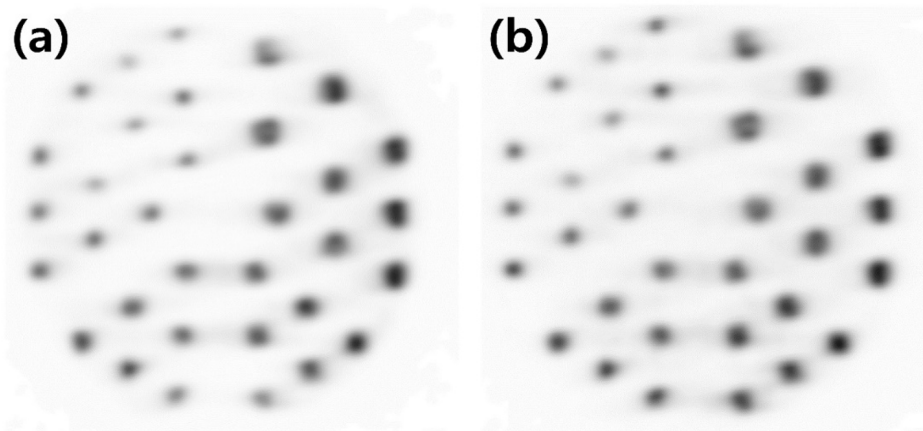


Fig. 5. There are acquired Derezo phantom images (a) without and (b) iMAR algorithms, respectively.

Fig. 6는 가장 큰 구의 관심영역을 설정함으로써 계산한 SNR 결과 그래프다. iMAR 알고리즘 적용 전 SNR 결과 값은 7.71, iMAR 알고리즘 적용 후 SNR 결과값은 8.87로써 약 13.1%의 SNR 결과가 향상되었다. 영상의 신호, 즉 획득한 계수의 분포를 표준편차 값의 비율로 정의하는 SNR 평가 방법은 본 연구에서 iMAR 알고리즘 적용 전과 후를 비교했을 때 향상 됨을 확인하였고, 이 결과를 기반으로 iMAR 알고리즘 적용은 영상의 신호를 향상시킬 수 있음을 입증하였다.

Fig. 7은 iMAR 알고리즘 적용 유무에 따른 Derenzo PET 팬텀 영상의 CNR 결과값이다.

CNR 값은 타킷 관심영역대비 배후 관심영역과의 대조도값을 의미하는 것으로써 값이 클수록 대조도 값이 크다고 볼 수 있다. iMAR 알고리즘 적용 전의 CNR값은 7.18이고, iMAR 알고리즘 적용 후 CNR 결과값은 7.93이다. iMAR 알고리즘 적용 전 후의 CNR 값은 약 9.5% 향상하는 결과를 도출했다.

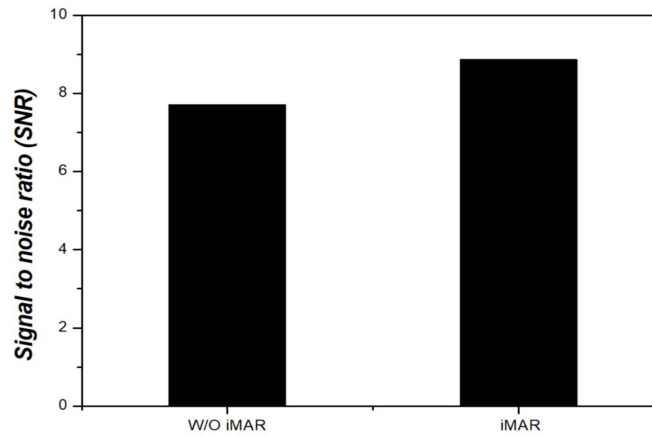


Fig. 6. The SNR of result graph was indicated according to with and without iMAR algorithm, respectively.

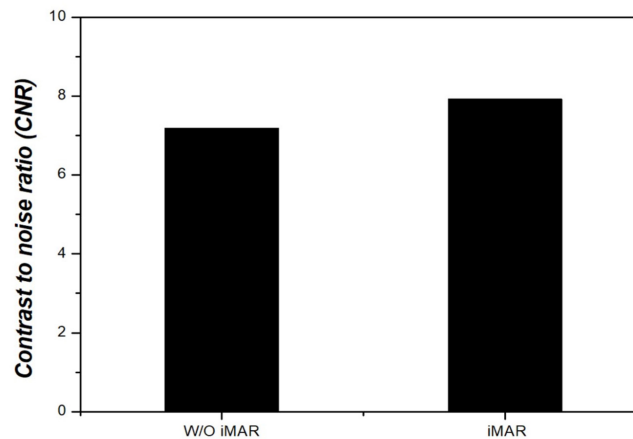


Fig. 7. The CNR of result graph was indicated according to with and without iMAR algorithm, respectively.

결론

본 연구는 자체 제작한 3D 프린팅 기술을 이용한 출력한 Hoffman 팬텀과 Derenzo 팬텀의 핵의학 전용 팬텀을 이용하여 금속 물질의 노이즈를 감소함으로써 영상의 질을 향상하는 iMAR 알고리즘 적용 유무에 따른 PET 영상의 질을 정량적 분석 방법을 적용하여 평가함으로써 유용성을 입증하였다.

REFERENCES

1. Endo K, Oriuchi N, Higuchi T, Iida Y, Hanaoka H, Miyakubo M, et al. PET and PET/CT using 18F-FDG in the diagnosis and management of cancer patients. *Int J Clin Oncol*. 2006;11(4):286-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10147-006-0595-0>
2. Zaharchuk G. Next generation research applications for hybrid PET/MR and PET/CT imaging using deep learning. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46(13):2700-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00259-019-04374-9>
3. Sureshbabu W, Mawlawi O. PET/CT imaging artifacts. *J Nucl Med Technol*. 2005;33:156-61. Retrieved from <https://tech.snmjournals.org/content/33/3/156.long>

4. van der Vos CS, Arens AIJ, Hamill JJ, Hofmann C, Panin VY, Meeuwis APW, et al. Metal artifact reduction of CT scans to improve PET/CT. *J Nucl Med.* 2017;58(11):1867-72. DOI: <http://dx.doi.org/10.2967/jnumed.117.191171>
5. Bebbington N, Holdgaard P. iMAR dramatically reduces CT artefacts for hip prostheses and increases accuracy of SUVs when used for PET attenuation correction with low-dose CT. *J Nucl Med.* 2017;58(Suppl 1):1345. Retrieved from https://jnm.snmjournals.org/content/58/supplement_1/1345
6. Schabel C, Gatidis S, Bongers M, Hüttig F, Bier G, Kupferschlaeger J, et al. Improving CT-based PET attenuation correction in the vicinity of metal implants by an iterative metal artifact reduction algorithm of CT data and its comparison to dual-energy-based strategies: A phantom study. *Invest Radiol.* 2017;52(1):61-5. DOI: <http://dx.doi.org/10.1097/RLI.0000000000000306>
7. Kang SH, Lee SW, Lee YJ. Experimental study of optimization of noise level in brain SPECT images using non-local means approach with various reconstruction methods. *Nucl Eng Technol.* 2023;55:1527-32. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.net.2023.01.013>
8. Jo JH, Kim JS, Choi J, Yoon MS, Park C. Design and analysis of a dedicated quality control phantom in nuclear medicine imaging based on the 3D printing technique using various printing materials. *Optik.* 2022;270:169909. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169909>