

Original Article

# PET/CT 검사에 있어서 MR Torso Coil의 CT 감쇄보정에 대한 영향 평가

연세의료원 세브란스병원 핵의학과<sup>1</sup>, 연세대학교 방사선안전관리센터<sup>2</sup>, 강동경희대학교병원<sup>3</sup>  
이승재<sup>1</sup> · 반영각<sup>1</sup> · 오신현<sup>1</sup> · 강천구<sup>1</sup> · 임한상<sup>1</sup> · 김재삼<sup>1</sup> · 이창호<sup>1</sup> · 서수현<sup>2</sup> · 박용성<sup>3</sup>

## The Effects of a MR Torso Coil on CT Attenuation Correction for PET

Seung Jae Lee<sup>1</sup>, Young Kag Bahn<sup>1</sup>, Shin Hyun Oh<sup>1</sup>, Han Sang Lim<sup>1</sup>, Jae Sam Kim<sup>1</sup>, Chang Ho Lee<sup>1</sup>, Soo-Hyun Seo<sup>2</sup> and Yong Sung Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine in Yonsei University Health System, <sup>2</sup>Yonsei University Radiation Safety Center, <sup>3</sup>Kyung Hee University Hospital at Gangdong, Korea

**Purpose :** Combined MR/PET scanners that use the MRI for PET AC face the challenge of absent surface coils in MR images and thus cannot directly account for attenuation in the coils. To make up for the weak point of MR attenuation correction, Three Modality System (PET/CT +MR) were used in Severance hospital. The goal of this work was to investigate the effects of MR Torso Coil on CT attenuation correction for PET. **Materials and Methods :** PET artifacts were evaluated when the MR Torso Coil was present of CTAC data with changing various kV and mA in uniformity water phantom and 1994 NEMA cylindrical phantom. They evaluated and compared the following two scenarios: (1) The uniform cylinder phantom and the MR Torso Coil scanned and reconstructed using CT-AC; (2) 1994 NEMA cylindrical phantom and the MR Torso Coil scanned and reconstructed using CT-AC. **Results :** Streak artifacts were present in CT images containing the MR Torso Coil due to metal components. These artifacts persisted after the CT images were converted for PET-AC. CT scans tended to over-estimate the linear attenuation coefficient when the kV and mA is increasing of the metal components when using conventional methods for converting from CT number. **Conclusion :** The presence of MR coils during PET/CT scanning can cause subtle artifacts and potentially important quantification errors. Alternative CT techniques that mitigate artifacts should be used to improve AC accuracy. When possible, removing segments of an MR coil prior to the PET/CT exam is recommended. Further, MR coils could be redesigned to reduce artifacts by rearranging placement of the most attenuating materials. (**Korean J Nucl Med Technol 2012;16(2):81-86**)

**Key Words :** Combined PET/CT/MRI attenuation correction, CTAC with MR coil

## 서 론

PET/CT 영상기법은 움직이는 장기들, 예를 들면 복부장기와 심장을 영상화하는데 장점을 가지고 있다. PET/MRI 영상기법은 비교적 단단하지 않은 기관들, 예를 들면 뇌, 유방,

간, 소장, 전립선 등을 영상화하는데 장점을 가지고 있다.<sup>1)</sup>

PET/CT의 역사만큼이나 PET/MRI 또한 긴 역사를 가지고 있다. 그렇지만 현재까지 PET/MRI가 상용화되기 어려웠던 점은, 첫째로 PET과 MRI 장비를 일체화 시켰을 경우에 MRI가 PET장비의 광전자 증배관에 자기적 간섭을 일으킴으로 인해 정확하고 충분한 양의 광전자가 증폭되기 어렵게 되고, 그로 인하여 영상의 질이 떨어지기 때문이다.<sup>4,7)</sup> 하지만 현재에 들어서 이와 같은 문제를 보완한 장비들이 속속 출시되고 있어서 앞으로의 일체형 장비에 대한 전망을 밝게 해주고 있다. 둘째로 MRI로 감쇄보정을 진행하기가 쉽지 않

• Received: June 29, 2012. Accepted: October 2, 2012.  
• Corresponding author : Han Sang Lim  
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, 134 Shinchondong, Seoul, Korea  
Tel: +82-2-2227-6064, Fax: +82-2-312-0578  
E-mail: heechul@yuhs.ac

은 점을 들 수 있다. 셋째로 MRI 코일이 PET영상에서 인공물을 만들 수 있다.<sup>1-3)</sup>

이와 같은 사항들의 대안으로 PET과 CT와 MRI를 한꺼번에 진행할 수 있는 Three Modality System(General Electric Health Care co.)이 소개되었으며, 위 장비가 근래에 본원에 설치 되었다. 위 장비의 장점으로는, CT를 이용한 감쇄보정이 여전히 가능하기 때문에 PET영상의 여러 가지 영상화 parameter들을 보전할 수 있게 되었으며, PET/CT 검사 후, 환자의 움직임 없이 MRI를 진행할 수 있게 되었다. 하지만 MRI는 대부분의 영상획득에 있어서 영상의 화질개선 및 여러 이유로 Coil을 필요로 하며, Head coil의 경우 기존의 장착조립형에서 덮개형으로 변경되어서 PET/CT 검사 후 덮개형 Coil을 환자 두개부에 장착이 가능하게 되어서 MRI를 진행하는데 아무 문제가 없지만, Torso coil의 경우 환자에게 먼저 장착한 후에 두 가지 검사가 이루어지기 때문에 CT 영상에 있어서 인공물이 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 CT를 이용한 감쇄보정영상으로 PET 영상을 재구성 하였을 때, MR Torso Coil의 금속성 물질로 인한 인공물로부터 기인한 CT의 감쇄보정의 정도를 평가하기 위한 기초적 실험을 진행하여 평가하였다.

## 대상 및 방법

### 1. 장비 및 실험재료

장비는 Discovery 600 (GE Healthcare, Milwaukee, USA)(PET - 크리스탈: BGO, 영상획득: 삼차원, 해상도: 5.6 mm FWHM, 종축시야: 157 mm, CT - 16 slice, 최소절편두께 1.25 mm) PET/CT 장비를 이용하여 실험을 진행하였다. PET 영상의 재구성은 VUE Point HD 재구성법을 사용하며, Subset 16, Iteration 2를 사용하였다.

실험 방법은 NEMA PET Phantom (NU2-1994) [Dimensions: 8" dia x 8.98"(20.3 x 22.8 cm), I.D.: 7.76" dia (19.7 cm), Wall thickness: 0.12" (3 mm), Volume without Insert: 6047 ml Volume with Three Insert: 4180 ml, Volume of Fillable Insert: 289 ml 와 F-18 FDG를 이용하여 실험하였다.

### 2. 영상획득방법

첫째로, 금속성 선 인공물이 나타난 CT 영상으로 재구성을 한 PET 영상에서의 열소와 배후방사능의 비 및 표준화섭취계수의 변화를 알아보기 위한 실험을 진행하였다. NEMA PET Phantom<sup>TM</sup> (NU2-1994)에 테프론, 공기, 열소로 구성된



Fig. 1. Phantom was surrounded by MR Torso Coil.

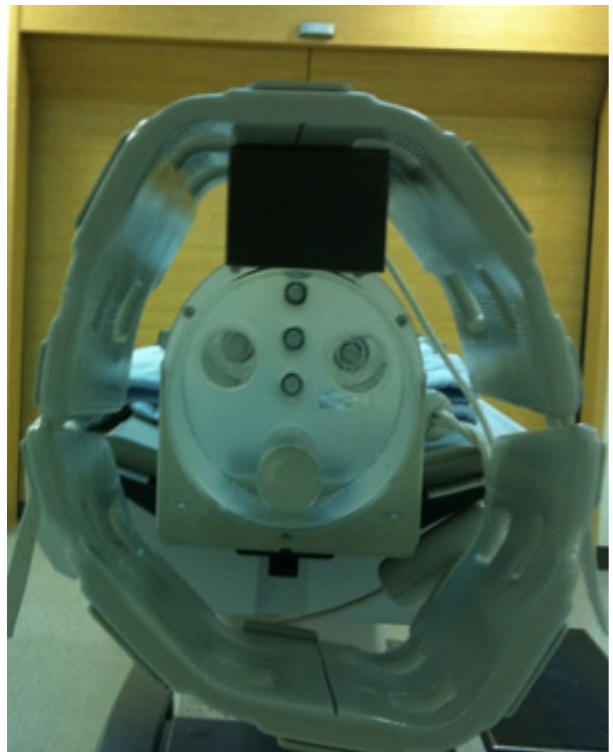


Fig. 2. 8-channel MR Torso Coil was used.

어 있는 3개의 삽입물을 모두 삽입하였다. 배후방사능에 물 4180 ml와 19.98 MBq, 열소에 물 289 ml와 6.29 MBq의 F-18 FDG를 주입하였다. 배후방사능과 열소 사이의 방사능비는 1 대 4가 되도록 하였다. 팬텀에 F-18 FDG를 주입 후에 충분히 흔들어 준 다음, 60분 후에 영상을 획득하였다. 팬텀 주위를 약 20센티미터의 간격으로 MR Torso Coil을 두르고 나서 관전압은 120 kvp, 관전류는 각각, 40, 50, 60, 70 mA를 주고 4번씩 스캔을 시행한 후 PET 영상을 3분간 1 bed 획득하였다(Fig. 1). 또한 MR Torso Coil의 영향이 없을 때와 비교하기 위하여, 위와 같은 방법으로 실험을 실시하되 MR Torso Coil을 제거하고 스캔하였다.

둘째로, NEMA PET Phantom™ (NU2-1994)내의 3개의 삽입물을 모두 제거 한 후 영상을 획득 하였다. 물 6047 ml에 29.97 MBq의 F-18 FDG를 주입하였다. 팬텀에 F-18 FDG를 주입 후에 충분히 흔들어 준 다음, 60분 후에 영상을 획득하였다. 팬텀 주위를 약 20 cm 간격으로 MR Torso Coil을 두르고 나서 120 kvp에 40, 50, 60, 70 mA를 주고 4번씩 스캔을 시행한 후 PET 영상을 3분간 1 bed 획득하였다(Fig. 2). 또한 MR Torso Coil의 영향이 없을 때와 비교하기 위하여, 위와 같은 방법으로 실험을 실시하되 MR Torso Coil을 제거하고 스캔하였다(Fig. 3~4).

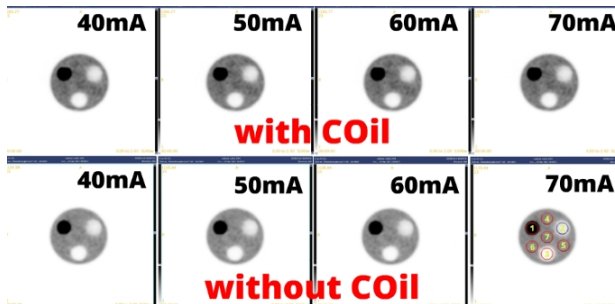


Fig. 3. (upper row) Using MR Torso Coil, SUV of cylindrical phantoms were compared. (lower row) MR Torso Coil was moved, the same protocol was applied.

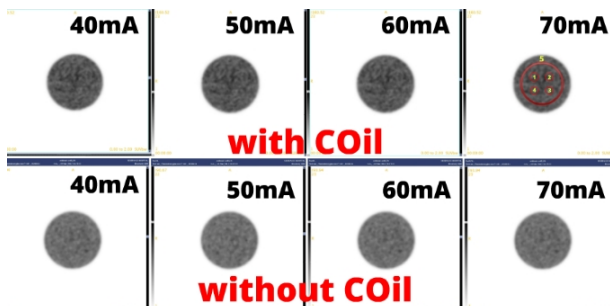


Fig. 4. (upper row) Using MR Torso Coil, uniformity was compared. (lower row) MR Torso Coil was moved, the same protocol was applied.

### 3. 영상평가방법

첫번째 실험에서는 7개의 관심영역을 그렸다. 테프론(열소), 공기, 물의 영역을 각각 1, 2, 3번으로 지정하고 나머지 배후방사능 영역에서 상위부를 4, 오른쪽 아래 방향의 5시 영역을 5, 왼쪽 아래 방향의 7시 영역을 6, 팬텀의 중앙부분을 7로 설정하였다(Fig. 5). 두번째 실험에서는 5개의 관심영역을 그렸다. 총 4구역으로 나누어 각각 왼쪽 상단 부분을 1, 오른쪽 상단 부분을 2, 오른쪽 하단 부분을 3, 왼쪽 하단 부분을 4로 설정하였고, 팬텀 전체의 표준화섭취계수를 확인하기 위한 관심영역은 영상에서의 팬텀의 70% 영역의 크기로 하여서 관심영역 5번으로 설정하였다.

### 결 과

MR Torso Coil안에 있는 금속 물질로 인한 인공물이 관찰되었다. CT 검사에 있어서 관전압과 관전류를 변화시키면 선 감쇄계수도 일정하게 변화하였다. 관전압과 관전류의 수치가 높아짐에 따라 PET 영상에서의 표준화섭취계수가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 첫번째 팬텀실험의 결과입니다.

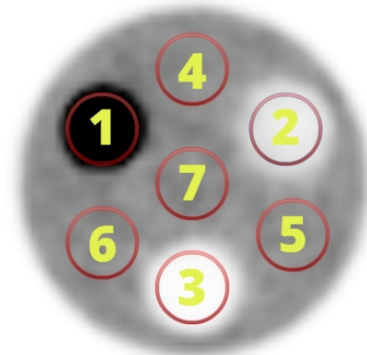


Fig. 5. SUV of 7-ROI were measured, and compared.

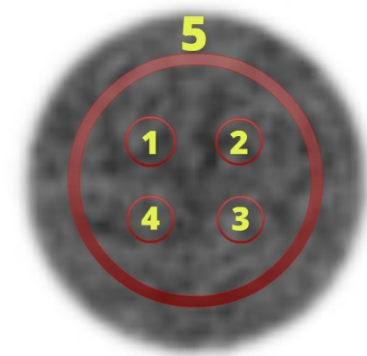


Fig. 6. SUV of 5-ROI were measured, and compared.

테프론의 표준화섭취계수를 비교하였다. 표준화섭취계수의 수치가 코일을 사용하지 않았을 때와 비교하였을 때, 평균 0.9정도 증가하였으며, 최대 최소값 및 수치들의 편차가 컸다.

공기의 표준화섭취계수와 물의 결과 또한 비슷한 결과를 보였다. 최대 최소값, 극단값이 더 많이 존재했으므로 표준화섭취계수가 안정적인 패턴을 보이지 않았다. 나머지 4,5,6,7

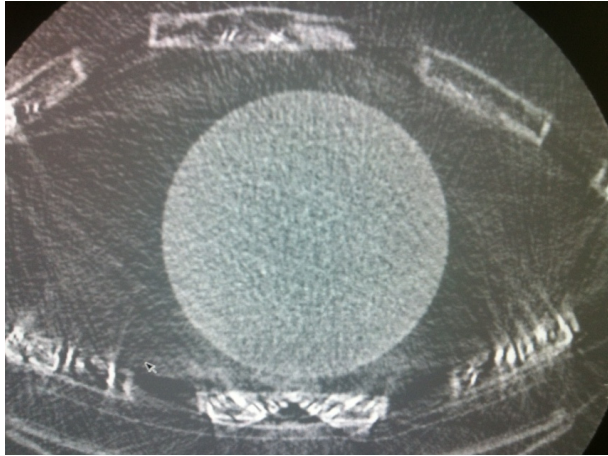


Fig. 7. The artifacts from metals were observed in MR Torso Coil.

Table 1. SUV of teflon were compared

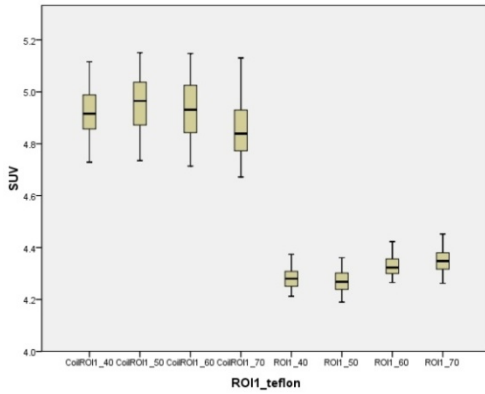
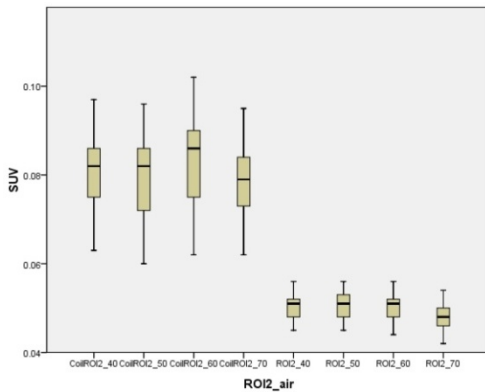


Table 2. SUV of air were compared



의 ROI 분석값도 위와 같은 패턴을 보였다.

두 번째 팬텀실험의 결과는 첫번째 실험의 배후방사능의 표준화섭취계수를 나타낸, 4, 5, 6, 7의 관심영역에서 확인하지 못한 팬텀 전체의 표준화섭취계수를 알아보기 위해 적용되었다.

앞서 예상한 바와 같이, 코일을 사용하지했을 경우 표준화섭취계수의 변동이 많았으며 전체적으로 약 0.2 정도 높은 수치를 나타내었다.

Table 3. SUV of water were compared

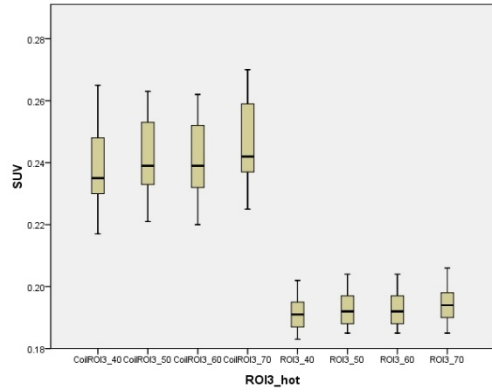


Table 4. SUV of background 4 were compared

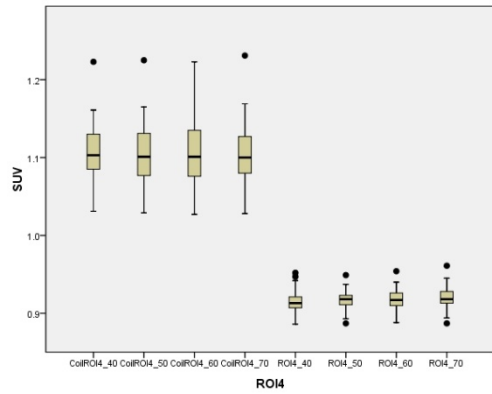
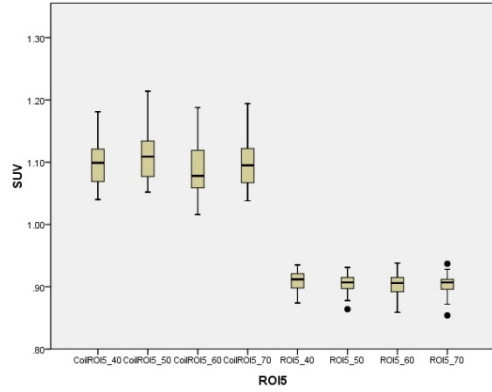


Table 5. SUV of background 5 were compared



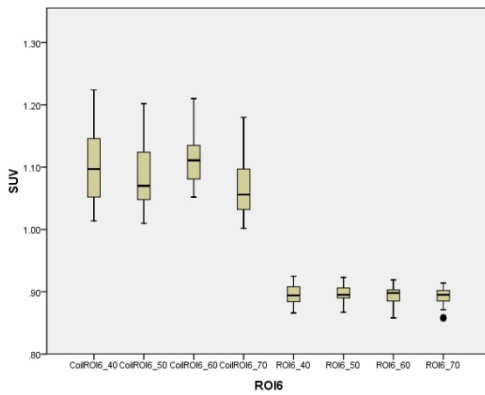
## 고찰

위의 결론에 부합하여 앞으로의 PET 시티 엠알 코일의 개선점을 생각해 보았다. 파악된 MR Torso Coil의 정확한 CT Number를 기반으로 최적화된 감쇄계수를 대입하여서 가능한 영상의 질을 높이는 방법, CT 인공물을 가능한 줄일 수 있도록 MR Coil을 새롭게 구성하는 방법, 발전된 소프트웨어

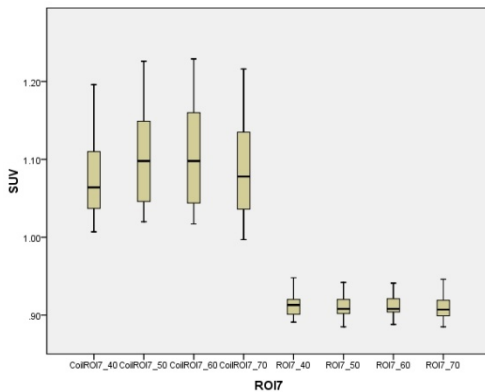
기법을 개발하여서 적용, -공극적인 방법이고 현재 진행되고 있는 MRI로 PET을 재구성하는 방법이 더 발전적으로 고안되어서 적용되는 것이다.

## 결론

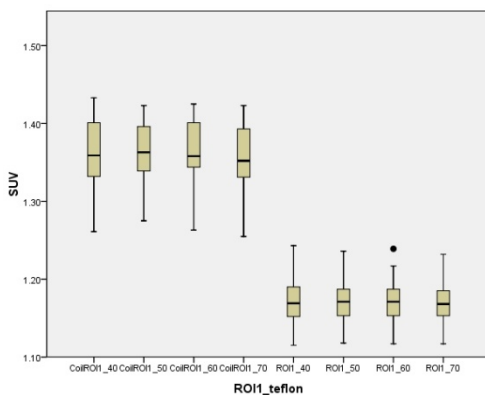
**Table 6.** SUV of background 6 were compared



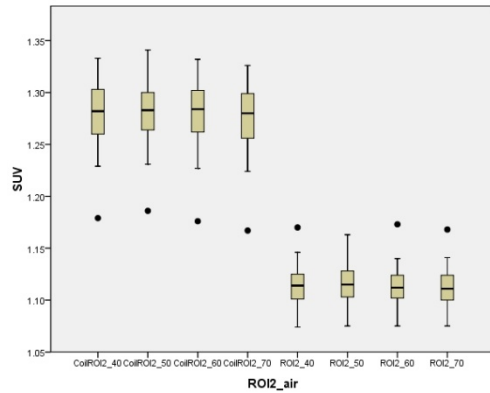
**Table 7.** SUV of background 7 were compared



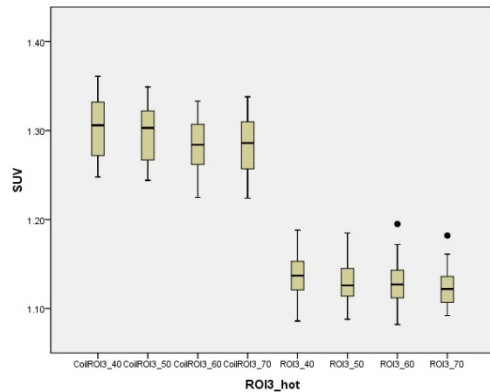
**Table 8.** SUV of background 1 of second experiment were compared



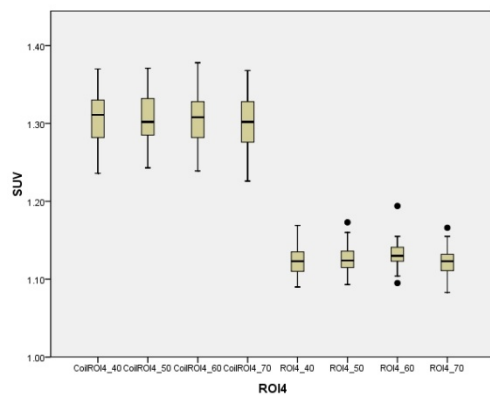
**Table 9.** SUV of background 2 of second experiment were compared



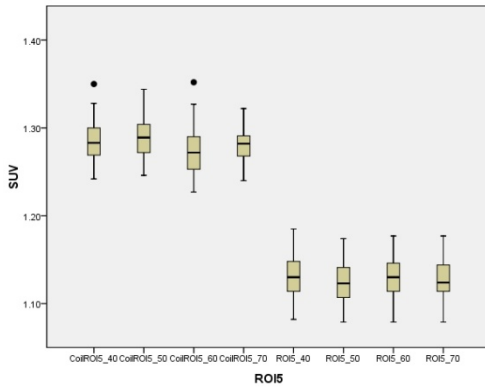
**Table 10.** SUV of background 3 of second experiment were compared



**Table 11.** SUV of background 4 of second experiment were compared



**Table 12.** SUV of background 5 of second experiment were compared



PET/CT 검사 시, MR Torso Coil은 금속으로 인한 줄무늬 인공물을 생성하며, 감쇄보정에 있어서 잠재적인 오류를 불러올 수 있다. 이와 같은 오류를 감소시키기 위해서는 첫째, 감쇄보정 알고리즘의 보완, 둘째, MR coil을 사용하지 않은 검사방법의 연구, 셋째, PET/CT 감쇄보정에 영향을 주지 않는 MR Coil소재의 개발 등이 요구 된다. PET/CT 검사에 있어서 MRI의 코일은 세밀한 인공물을 만들어냈으며 이것으로 인해서 잠재적이며 결정적인 에러를 유발할 수 있을 것이라 사료된다. 감쇄보정을 계속 진행하려면 대안적인 CT 기술이 필요하며 인공물을 줄일 수 있는 MR Coil의 개발이 필요하다.

## 요 약

PET과 융합된 MR 영상에서 MR coil은 PET 영상용 감쇄보정에 있어서 위치 정보 수집에 관한 오류를 극복하기 위한 노력이 시도 되어 왔다. 본원에서는 이런 문제점을 보완한 Three modality system (PET/CT +MR)을 이용하고 있다. 이 논문에서는 MR torso coil이 CT 감쇄보정에 미치는 영향을 평가하였다. MR torso coil을 장착하고 CT로 감쇄보정한

PET 영상에서 인공물에 대한 평가를 하였다. 균일도 평가용 팬텀과 1994 NEMA 실린더 팬텀을 사용하여, CT의 관전압과 관전류를 변경해가며 표준화섭취계수에 대한 변화를 추적하였다. MR torso coil안에 있는 금속 물질로 인한 줄무늬 인공물이 관찰되었다. CT 검사에 있어서 관전압과 관전류를 변화 시키면 선 감쇄계수도 일정하게 변화하였다. 관전압과 관전류의 수치가 높아짐에 따라 PET 영상에서의 표준화섭취계수가 증가하는 것을 볼 수 있었다. PET/CT 검사 시, MR torso coil은 금속으로 인한 줄무늬 인공물을 생성하며, 감쇄보정에 있어서 잠재적인 오류를 불러올 수 있다. 이와 같은 오류를 감소시키기 위해서는 첫째, 감쇄보정 알고리즘의 보완, 둘째, MR coil을 사용하지 않은 검사방법의 연구, 셋째, PET/CT 감쇄보정에 영향을 주지 않는 MR coil소재의 개발 등이 요구된다.

## REFERENCES

1. W. Weber, A. Grosu, and J. Czernin, "Technology Insight: Advances in molecular imaging and an appraisal of PET/CT scanning," *Nat. Clin. Pract. Oncol.* 2008;5:160-170 .
2. Y. Shao, S. R. Cherry, K. Farahani, K. Meadors, S. Siegel, R. W. Silverman, and P. K. Marsden. "Simultaneous PET and MR imaging," *Phys. Med. Biol.* 1997;42:1965-1970 .
3. 고창순. 핵의학 제3판. 고려의학 2008;81.
4. G. Delso, A. Martinez-Moller, R. Bundschuh, R. Ladebeck, Y. Candidus, D. Faul, and S. Ziegler, "Evaluation of the attenuation properties of MR equipment for its use in a whole-body PET/MR scanner," *Phys. Med. Biol.* 2010;55:4361-4374.
5. F. P. DiFilippo and R. C. Brunken, "Do implanted pacemaker leads and ICD leads cause metal-related artifact in cardiac PET/CT?," *J. Nucl. Med.* 2005;46:436-43.
6. C. Lemmens, et al., "Impact of metal artefacts due to EEG electrodes in brain PET/CT imaging," *Phys. Med. Biol.* 2008;53: 4417-4429.
7. N. Lynnerup, J. Astrup, and B. Sejrsen, "Thickness of the human cranial diploe in relation to age, sex, and general body build," *Head Face Med.* 2005;1:13.