

PET/CT 시스템에서 CT 영상을 이용한 감쇠 보정 시 조영제가 PET 영상에 미치는 영향

*연세대학교 BK21 의과학사업단, †방사선의과학연구소, ‡진단방사선과, §Duke 대학교 진단방사선과

손혜경* · Timothy G. Turkington§ · 권윤영* · 봉정균† · 정해조‡ · 김희중‡

본 연구에서는 PET/CT 시스템에서 CT 영상을 이용한 감쇠 보정 시 조영제가 PET 영상에 미치는 영향을 관찰하기 위해 팬텀실험과 모의실험을 수행하였다. 다양한 농도로 희석한 조영제를 채운 플라스틱 병을 스티로폼을 이용하여 전신 팬텀 내에 고정시킨 후 투과 영상을 획득하였다. 모의실험을 위해 인체 기관 중 간을 가진 수학적 방출 스캔 맵과 투과 스캔 맵을 각각 만들었다. 간에서 조영제가 비 균일하게 증강된 투과 스캔 맵, 간에 조영제의 증강이 있는 투과 스캔 맵과 없는 투과 스캔 맵, 간에 있는 종양에 조영제의 hypo-attenuating이 있는 투과 스캔 맵, 그리고 각각의 다른 조영제의 감쇠 정도를 가지는 간을 구현한 투과 스캔 맵을 각각 만들고 이를 이용하여 방출 영상을 감쇠 보정하였다. 팬텀실험을 통해 조영제의 농도에 따라 감쇠 정도가 달라짐을 확인하였다. 모의실험을 통해 감쇠 보정된 방출 영상이 조영제에 의해 영향을 받고, 또한 인공산물이 발생할 수 있음을 확인하였다. 따라서 조영제와 같은 물리적 인자가 감쇠 보정에 미치는 영향을 충분히 이해하고 정량적 분석 또는 진단 등에 고려하여야 할 것으로 생각한다.

중심단어: PET/CT, 감쇠 보정, 조영제

서 론

CT 영상 촬영 시 인체의 해부학적 구조를 두드러지게 하기 위해 조영제를 사용한다. 최근 들어 급속도로 국내외에 보급되고 있는 PET/CT 시스템의 경우 CT 영상을 PET 영상의 감쇠 보정을 위해 사용할 수 있다. 그런데 CT 영상에서 사용하는 조영제는 비교적 밀도가 높은 물질에 해당하고 인체 내에서 불균일하게 분포하는 경우가 있다. 따라서 조영제를 사용한 CT 영상을 감쇠 보정을 위해 사용할 경우 재구성한 PET 영상의 질에 영향을 미칠 수 있다¹⁻⁴⁾. 본 연구에서는 이러한 조영제로 인해 발생할 수 있는 인공산물의 영향을 관찰하기 위해 실험과 모의실험을 각각 수행하였다.

재료 및 방법

1. 팬텀실험

36 cm × 21 cm의 타원형 단면적을 가지는 전신팬텀에 요오드 성분을 함유한 조영제를 이용하여 그 농도를 0% (물), 1%, 3% (임상에서 구강 투입 시 사용하는 조영제의 농도), 5%, 10%, 20%, 100% (임상에서 정맥 주사 시 사용하는 조영제의 농도)가 되게 각각 희석시켜 부피가 65 ml가 되는 플라스틱 병에 채운 후 스티로폼을 이용하여 전신 팬텀 내에 고정시켰다. 팬텀의 배후가 각각 공기와 물인 경우에 대해 PET/CT 시스템의 CT를 이용하여 투과 영상을 획득하였다. CT 투과 영상 획득 시 전압 값의 영향을 관찰하기 위해 120 kVp와 140 kVp에 대해 각각 영상을 획득하였다. 데이터 분석은 각각의 농도가 다른 조영제에 대한 CT 투과 영상의 Hounsfield 값을 측정하여 물을 채운 병에서 얻은 값과 비교하였다.

2. 모의실험

전신 FDG 영상을 모의실험 하기 위해 팬텀실험에서 사용한 동일한 크기의 타원형 단면적을 가지는 수학적 방출 스캔과 투과 스캔 맵을 제작하였다. 방출 스캔 맵에 인체 기관 중 간을 생성하고 배후 영역과의 방사능 분포가 3:1의 비를 가지도

록 값을 각각 할당하여 주었다. 이 비율은 정상적인 간을 가진 환자 데이터를 이용하여 획득하였다. 물에 해당하는 0.093/cm의 균일한 감쇠계수를 갖는 투과 스캔 맵을 만들고 이를 이용하여 감쇠된 방출 스캔 맵을 만들었다. 조영제의 영향을 관찰하기 위해 투과 스캔 맵에 방출 스캔 맵에서와 동일한 간을 생성하였고, 이 자체를 조영제로 간주하였다. 조영제의 감쇠 계수는 요오드에 대한 감쇠 계수인 0.164/cm 값을, 배후 영역은 물과 동일한 감쇠 계수 값을 할당하였다.

비 균일한 조영제의 증강이 미치는 영향을 연구하기 위해 투과 스캔 맵의 간에 감쇠 계수가 간의 감쇠 계수에 비해 20%, 40%, 그리고 60%만큼 높은 3개의 원형모양 비 균일 증강을 가지는 조영제를 생성하였고, 이를 이용하여 감쇠 보정 한 후 그 결과를 시각적으로 분석하였다.

CT 영상에 조영제의 증강이 있을 경우, 이를 이용한 FDG PET 영상의 감쇠 보정 시 증양 검출에 미치는 영향을 관찰하기 위해 방출 스캔 맵의 간에 각각 다른 섭취 정도와 크기를 가지는 3개의 증양을 만들었다. 이렇게 생성한 방출 스캔 맵을 균일한 간 조영증강이 있는 투과 스캔 맵과 조영증강이 없는 투과 스캔 맵을 이용하여 각각 감쇠 보정을 수행하였다. 결과분석은 표준편차와 증양에 대한 신호대잡음비를 구하여 수행하였다.

CT 영상에서 조영제를 사용할 경우 증양의 증강은 각각의 증양의 유형에 따라 hypo- 또는 hyper-attenuating 된다고 알려져 있다. 한편 일반적으로 FDG PET 영상의 경우 증양은 배후 영역에 비해 높은 FDG 섭취를 나타낸다. 따라서 투과 스캔 상의 간에 조영제의 hypo-attenuating을 나타내는 증양이 있는 영상을 이용하여 FDG hyper-uptake을 보이는 증양을 가진 PET 영상을 감쇠 보정 했을 때 증양의 검출에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 영향을 관찰하기 위해 방출 스캔 맵의 간에 크기가 각각 다른 3개의 hyper-uptake을 보이는 증양을 만들어 주고, 투과 스캔 맵 상에 조영증강을 보이는 간의 동일한 위치에 hypo-attenuating된 3개의 증양을 구현한 후 이를 이용하여 감쇠 보정을 수행하여 그 결과를 분석하였다. 이 때 방출 스캔 맵 상의 증양의 FDG 섭취 정도를 간의 섭취에 비해 각각 10%, 20%, 50%, 100%, 그리고 200% 만큼 증가시키면서 그 영향을 관찰하고, 더불어 증양이 투과 스캔 맵의 증양의 hypo-attenuating의 영향으로 인해 상쇄되어 보이지 않게 되는 섭취 값을 찾고자 하였다.

한편 일반적으로 조영제를 사용할 경우 시간 상(time phase)에 따라 조영제의 증강 정도가 달라진다고 알려져 있다. 이러한 증강 정도의 차이가 조영제의 hypo-attenuating으로 인해 상쇄되어 보이지 않게 되는 증양 섭취 값에 영향을 주는 지 관찰하기 위해 투과 스캔 맵 상에서의 간의 감쇠 계수 값을 기존의 요오드의 감쇠 계수 값인 0.164/cm 값에서 $\pm 20\%$, $\pm 40\%$ 만큼 각각 변화시켜 그 영향을 분석하였다.

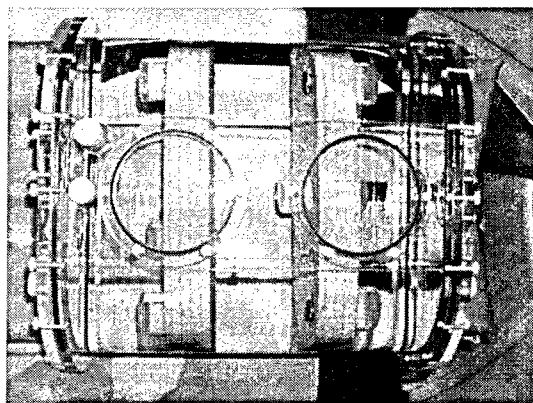


Fig. 1. Whole body phantom with contrast agent

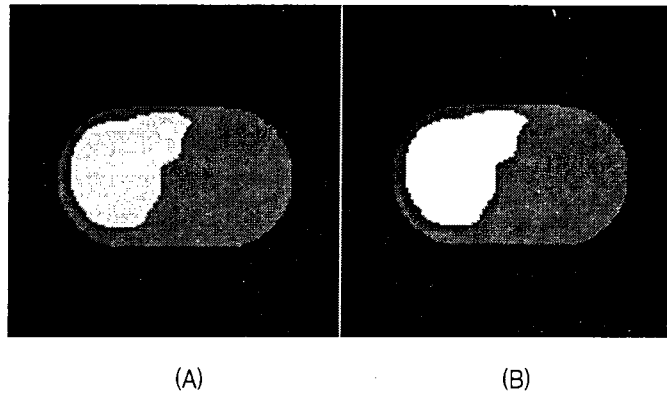


Fig. 2. Mathematical emission (A) and transmission density map (B) with liver

결 과

1. 팬텀실험

각각의 다른 농도를 가진 조영제에 대해 CT를 이용하여 데이터를 획득하였을 때 각 농도에 따라 감쇠되는 정도가 다를 것을 Hounsfield unit으로 확인할 수 있었다.

2. 모의실험

투과 스캔 맵의 간에 조영제의 비 균일한 증강이 있을 경우 그 투과 스캔 맵을 사용하여 감쇠 보정된 방출 영상의 간에 종양 섭취와 유사한 높은 섭취 영역이 나타남을 알 수 있었다. 투과 스캔 맵 상의 간에 조영제의 증강이 있는 경우와 없는 경우를 이용하여 방출 영상을 각각 감쇠 보정 하였을 때 조영제의 증강이 있는 경우 표준편차 값이 증가하였으며, 종양의 식별에 영향을 미침을 관찰 하였다. 투과 스캔 맵에서 증양에 대한 조영제의 hypo-attenuating로 인해 방출 스캔 맵에서 증양의 섭취 정도가 영향을 받음을 확인할 수 있었고, 이로 인해 증양이 거의 드러나지 않는 경우가 있음을 관찰하였다. 시간 변화에 따른 조영제의 증강 정도가 감쇠 보정된 방출 영상에서 증양이 거의 나타나지 않게 되는 섭취 값에 영향을 미침을 알 수 있었다.

결 론

팬텀실험과 모의실험 연구를 통하여 PET/CT 시스템에서 조영제의 분포가 CT 영상에 잔존할 경우 이를 이용한 PET 영상의 감쇠 보정이 방출 영상의 질에 영향을 미치며, 또한 인공산물을 생성할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 조영제와 같은 물리적 인자가 감쇠 보정에 미치는 영향을 충분히 이해하고 정량적 분석 또는 진단 등에 고려하여야 할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

1. Nehmeh SA, Erdi YE, et al: Correction for oral contrast artifacts in CT attenuation-corrected PET images obtained by combined PET/CT. J Nucl Med 44:1940-1944 (2003)
2. Antoch G, Freudenberg LS, Stattaus J, et al: Whole-body positron emission tomography-CT: Optimized using oral and IV contrast materials. AJR 179:1555-1560 (2002)
3. Nakamoto Y, Chin BB, Kraitchman DL: Effects of nonionic intravenous contrast agents at PET/CT imaging: phantom and canine studies. Radiology 227:817-824 (2003)

Impact of Contrast agent for Attenuation Correction Using CT Scan in PET/CT System

Hye-Kyung Son*, Timothy G. Turkington[§], Yun-Young Kwon*, Jung-Kyun Bong[†],
Hai-Jo Jung[†], Hee-Joung Kim[†]

**BK21 Project for Medical Science, [†]Research Institute of Radiological Science,*

[†]Department of Radiology, Yonsei University, Seoul, Korea,

[§]Department of Radiology, Duke University, Durham, USA

Experiments and simulation were done to study the impact of contrast agent when CT scan was used to attenuation correction for PET images in PET/CT system. Whole body phantom was imaged with various concentration of iodine-based contrast agent using CT. Mathematical emission and transmission density map with liver were made to simulate for whole body FDG imaging. Various transmission density maps was generated with non-uniform enhancement of contrast agent, hypo-attenuating of contrast agent for tumor, different concentration of contrast agent, and so on. Attenuation correction was done with all transmission maps. In the experiments, we confirmed that attenuation coefficient was changed by concentration of contrast agent. From the simulation data, image quality of attenuation corrected images was affected by contrast agent and artifact was produced by contrast agent. These results indicated that the contrast agent should be used with a full understanding of its potential problem in PET/CT system.

Key Words: PET/CT, Attenuation correction, Contrast agent