

PET/CT 시스템에서 감쇠지도를 만들기 위한 저선량 CT 평가

*연세대학교 보건과학대학 방사선학과, 보건과학연구소, †연세의료원 세브란스병원 핵의학과

남소리* · 김희중* · 조효민* · 정지영* · 이창래* · 임한상† · 박훈희†

현재의 PET/CT 시스템은 양질의 CT 영상을 추가함으로써 기존의 PET 만의 시스템에 비하여 정확한 병소 위치의 지정으로 인한 진단적 가치를 높인 뛰어난 장비로 알려져 있다. 대부분의 PET/CT 시스템은 기존의 PET시스템에서 감쇠 지도를 만들기 위하여 사용하던 ⁶⁸Ge 또는 ¹³⁷Cs 등의 투과선원이 아닌 CT data를 감쇠 지도로 사용함으로써 감쇠 보정을 위한 획득시간을 획기적으로 줄여주었다. 그러나 이 감쇠 보정용 CT의 사용은 환자의 피폭선량을 증가시키는 결과를 초래하였다. 본 연구의 목적은 PET/CT 시스템에서 PET 영상의 감쇠지도를 쓰이는 CT를 수행할 경우 원하는 화질을 유지할 수 있는 상태에서의 최저의 관전류값을 평가하는 것이었다. 영상 획득을 위한 기기로는 GE DStE PET/CT 시스템을 사용하였다. 본 연구를 위하여 3D 호프만 팬텀과 원통형 팬텀에 1.190 mCi의 ¹⁸F-FDG를 주입하여 PET 영상 및 CT 영상을 획득하였으며 관전류를 140 kVp, 조사시간을 8초로 고정한 상태에서 CT의 관전류 값을 95 mA, 45 mA, 40 mA, 35 mA, 30 mA, 25 mA, 20 mA, 15 mA, 10 mA로 바꾸어가면서 영상을 획득하여 감쇠지도를 만든 후 그 data를 이용하여 재구성한 각각의 PET 영상의 질을 평가하였다. 영상평가를 위한 지표로는 CT 영상의 표준편차와 PET 영상에서의 회백질과 백질과의 비의 값을 이용하였다. 연구 결과 호프만 팬텀을 이용한 PET 영상에서의 회백질과 백질의 비율은 감쇠지도용 CT의 사용 관전류 95 mA, 45 mA, 40 mA, 35 mA, 30 mA, 25 mA, 20 mA, 15 mA, 10 mA에서 각각 3.79 : 1, 3.79 : 1, 3.78 : 1, 3.78 : 1, 3.77 : 1, 3.72 : 1, 3.72 : 1, 3.76 : 1, 3.76 : 1로 측정되었다. 이를 통하여 GE DStE PET/CT 시스템의 경우 기기가 수행할 수 있는 최저의 관전류로 영상을 재구성하여도 PET 영상의 질에는 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 본 연구는 GE DStE PET/CT 시스템에 한정되어 수행된 연구로서 본 연구에서 사용된 시스템뿐만 아니라 다른 시스템에서도 지속적인 연구를 하여 환자에 대한 피폭을 최소화하기 위한 영상 획득방식의 최적화가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

중심단어: PET/CT, 초저선량 CT, 유효선량

서 론

PET (Positron Emission Tomography)는 체내의 관심기관들에 대한 기능을 정량적으로 표현할 수 있는 영상기로서 암의 조기발견과 진단 및 조직의 기능적인 역할의 평가에 있어서 가장 뛰어난 장비로 알려져 있다. 그러나 상대적으로 해상도가 떨어져 진단과 치료를 위한 정확한 해부학적 위치정보에 한계가 있는 것도 사실이다. 이러한 한계를 극복하고자 PET/CT (Positron Emission Tomography/Com-

puted Tomography)가 개발되었다. PET/CT는 PET 고유의 기능 영상과 CT의 장점인 해부학적 영상을 결합하여 융합 영상을 만들어내어 시너지효과를 가져오으로써 질환의 진단과 치료과정을 관찰하는데 매우 중요한 역할을 하고 있으며 이로 인하여 단일 PET이 가지고 있는 해상도 측면의 물리적인 문제점을 개선하였다.

PET영상은 정확한 진단과 연구를 위하여 정량화 하는 것이 매우 중요하며 이의 기반이 되는 것이 감쇠 보정이다. 감쇠 보정으로 인해 획득되는 장점은 첫 번째로는 병변의 크기나 모양, 병변의 위치 등을 더욱 실제와 흡사하게 묘사할 수 있고, 두 번째로는 체내 심부에서의 병변의 방사능 세기를 복원하여 인체와 종양에서의 정확한 방사능 농도 측정을 가능하게 할 수 있다.¹⁾ 기존 PET의 감쇠지도는 ⁶⁸Ge 또는 ¹³⁷Cs 등의 투과선원을 이용하여 만들어 졌으나 PET/CT 시스템은 CT (Computed Tomography)를 이용하여 감쇠지도를 만들어 냄으로써 검사 시간의 효율적인 단축과

이 연구는 2007년도 과학기술부 원자력연구개발 사업의 방사선기술 개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임.
이 논문은 2007년 6월 6일 접수하여 2007년 9월 9일 채택되었음.
책임저자 : 김희중, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234번지 연세대학교 보건과학대학 방사선학과
Tel: 033)760-2475, Fax: 033)760-2815
E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

함께 잡음 제거 측면에서도 그 우수함을 나타내었다. 일반적으로 PET/CT의 영상을 획득하기까지는 CT 토포그램을 찍음으로써 환자의 위치를 결정하고, 감쇠보정을 위한 CT를 수행한 후 PET영상을 획득하는 3단계의 과정을 거치게 된다.²⁾ 이 과정 중에서 감쇠보정을 위한 CT의 수행으로 인한 PET/CT 수행과정에서의 피폭선량 증가는 현재 PET/CT의 임상 이용에 있어서 큰 문제점으로 대두되고 있다. 일반적으로 CT는 그 사용 관전류 및 관전압이 증가함에 따라 피폭선량 또한 관전류에 비례하여 또는 관전압의 자승에 비례하여 증가하는 것으로 알려져 있다.³⁾ 본 연구는 PET/CT 시스템에서 원하는 화질을 유지할 수 있는 범위 내에서 PET 영상의 재구성을 위한 감쇠지도용 CT의 획득 시 사용될 수 있는 최저의 관전류를 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

1. PET 시스템

본 연구에서 PET/CT 영상의 획득을 위해 사용된 시스템은 GE DSTe PET/CT 시스템(DETe, General Electric Medical System, USA)으로서 이 시스템은 35개의 모듈들로 구성되어 있다. 각 모듈들은 38×38 mm²의 BGO 결정들의 배열로 이루어져 있고, 결정들의 높이는 30 mm이다. PET 검출기 링의 수는 24개이며 420개의 크리스탈로 구성되어 있다. 투과스캔의 데이터는 반복적 재구성 알고리즘을 이용하여 재구성하였다.

2. 데이터의 획득

본 시스템에서 수행할 수 있는 최저의 관전류값은 10

mA이며 영상의 획득을 위한 피사체로 3D 호프만 팬텀과 원통형 팬텀을 사용하였다. PET 방출 영상을 위한 데이터의 획득 실험 조건은 Turkington 등의 연구를 바탕으로 수행하였다.⁴⁾ 팬텀에 44.03 MBq의 ¹⁸F-FDG를 주입한 후 약 40분간 팬텀안의 ¹⁸F-FDG의 분포를 균일하게 하였다. 이후 총 10분 동안 방출 영상을 획득하였다. 감쇠지도를 만들기 위한 CT 검사에서 각 CT검사는 조사시간 8.0 sec, 관전압 140 kVp로 고정된 후 관전류 값을 95 mA, 45 mA, 40 mA, 35 mA, 30 mA, 25 mA, 20 mA, 15 mA, 10 mA로 변경하면서 CT 검사를 수행하였다. 각각의 관전류를 이용한 감쇠지도를 PET영상의 재구성을 위해 사용하였다.

3. 데이터의 분석

관전류의 변화에 따른 CT 영상의 질을 평가하기 위하여 원통형 팬텀의 영상에 대한 표준편차(Standard Deviation, SD)를 평가하였다. 각각의 영상에 대하여 동일한 위치에 관심영역(Region Of Interest, ROI)을 설정하기 위하여 'Image J' 프로그램을 이용하여 영상의 동일한 좌표에 ROI를 복사하여 영역을 선택하여 주었다(Fig. 1).

CT 관전류 값을 95 mA, 45 mA, 40 mA, 35 mA, 30 mA, 25 mA, 20 mA, 15 mA, 10 mA로 변경하면서 얻은 감쇠지도를 이용하여 획득한 각각의 PET영상의 질을 평가하기 위하여 호프만 팬텀의 영상에 대한 회백질과 백질의 비를 평가하였다. Fig. 2와 같이 'Image J' 프로그램을 이용하여 문턱치 이상의 값을 가지는 화소는 회백질로 설정되고, 문턱치 이하의 값을 가지는 화소는 백질로 설정되는 이분화된 영상, 즉 binary 영상을 획득함으로써 회백질과 백질에 대한 방사능의 비를 구할 수 있었다. 또한 호프만 팬텀의

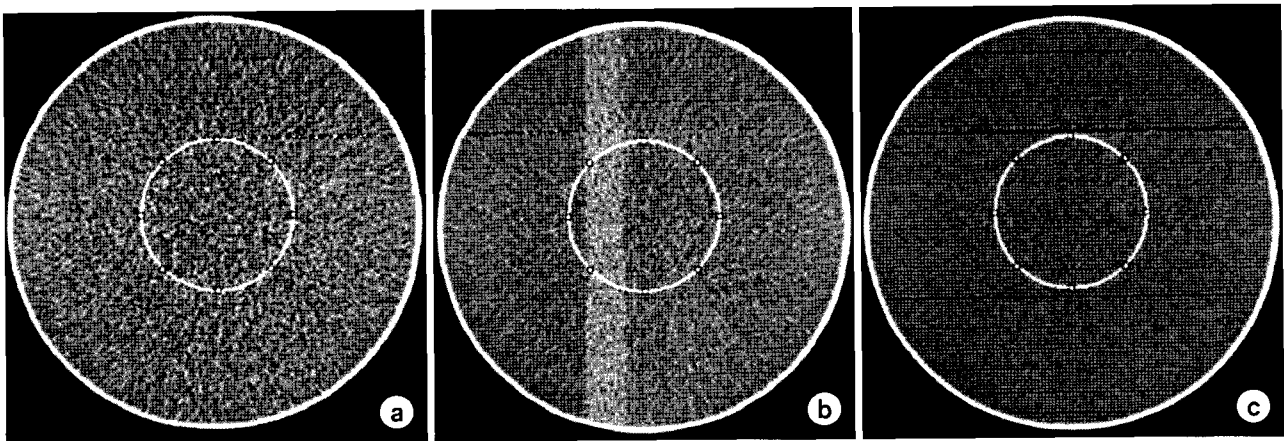


Fig. 1. CT images of cylindrical phantom using 10 mA (a), 30 mA (b) and 95 mA (c).

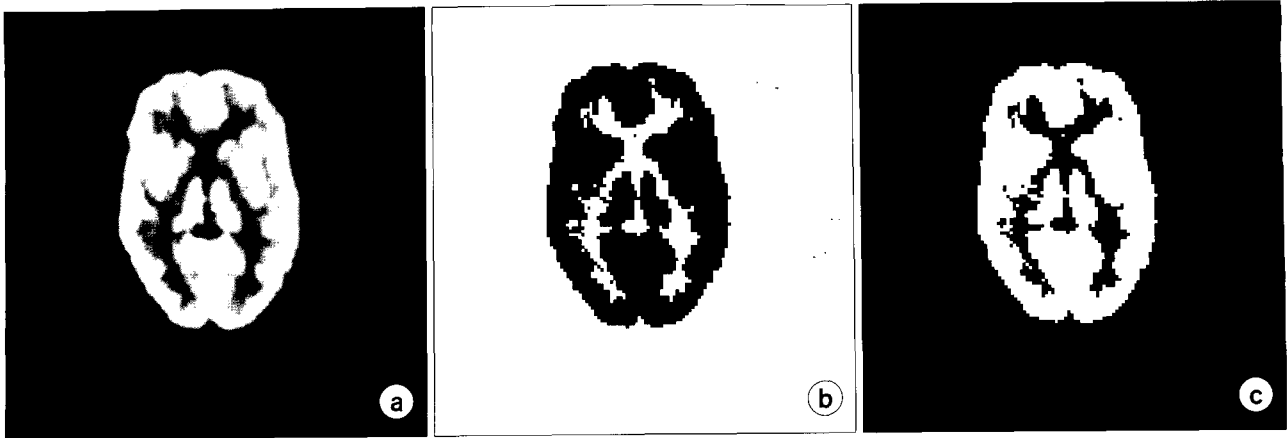


Fig. 2. Original PET images reconstructed by 95 mA CT attenuation correction data (a), the gray (b) and white (c) matter in binary PET image.

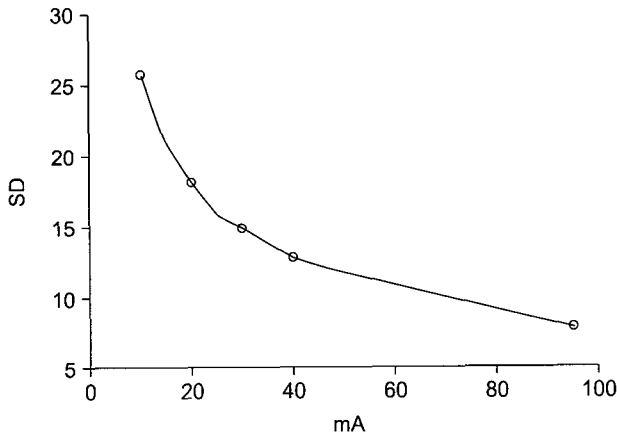


Fig. 3. SDs of CT images at various tube currents.

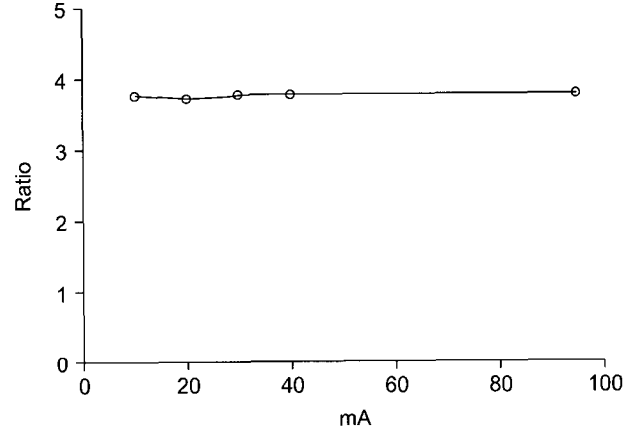


Fig. 4. The activity ratios of gray and white matter for PET images at various currents.

동일한 선상에서의 선 profile을 다양한 관전류로 획득한 CT data를 이용하여 재구성한 PET영상과 다양한 관전류로 획득한 CT영상에 대해서 구해봄으로써 관전류의 변화가 영상에 미치는 영향을 평가할 수 있었다.

결 과

95 mA에서부터 10 mA까지 5 mA간격으로 관전류를 변경해가며 원통형 팬텀의 CT영상을 획득한 후 각각의 영상에 대한 표준편차는 관전류가 증가할수록 감소하였다 (Fig. 3).

호프만 팬텀을 이용한 PET 영상에서의 회백질과 백질의 비율은 감쇠지도용 CT의 사용 관전류 95 mA, 45 mA, 40

mA, 35 mA, 30 mA, 25 mA, 20 mA, 15 mA, 10 mA에서 각각 3.79 : 1, 3.79 : 1, 3.78 : 1, 3.78 : 1, 3.77 : 1, 3.72 : 1, 3.72 : 1, 3.76 : 1, 3.76 : 1로 측정되었다(Fig. 4). 또한 호프만 팬텀 CT 영상에서 동일한 선상에서의 선 profile들은 Fig. 5와 같이 관전류의 변화에 따라 동일한 선상에서의 정보도 많은 변화가 생기는 것으로 CT영상에서는 관전류가 영상의 질에 중요한 영향을 미치는 인자로 나타났다(Fig. 5). 그러나 호프만 팬텀을 이용한 PET영상에서 동일한 선상에서의 선 profile을 구해본 결과는 감쇠지도용 CT의 관전류의 변화에도 불구하고 동일한 선상에서의 정보의 변동이 거의 없는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6). 이와 같은 결과를 통하여 GE DSTe PET/CT 시스템의 경우 기기가 수행할 수 있는 최저의 관전류로 영상을 재구성하여도 PET 영상의

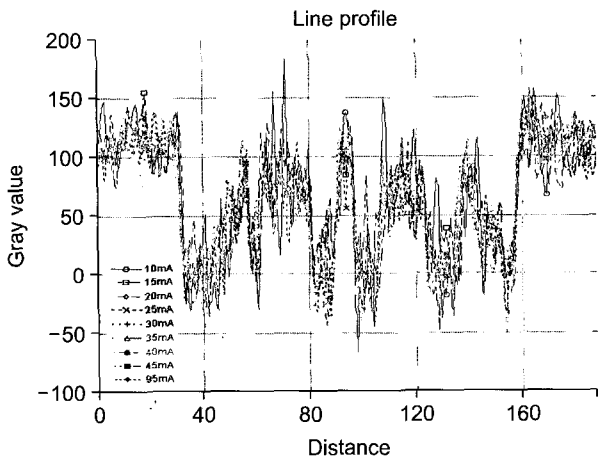


Fig. 5. The line profile of CT images in various tube current.

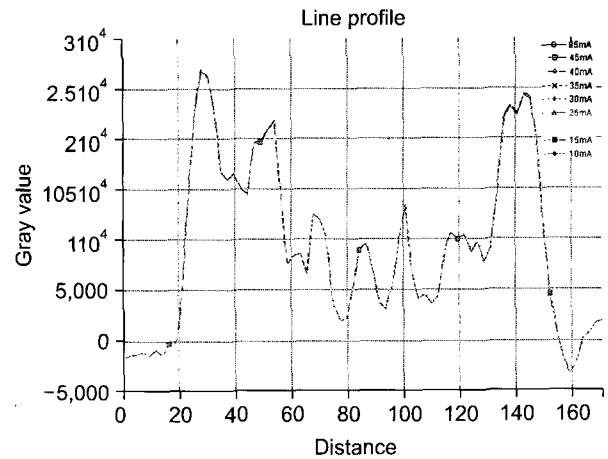


Fig. 6. The line profile of PET images at various currents.

질에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 측정되었다.

고찰 및 결론

최근 PET/CT의 공급이 가속화되면서 많은 의료기관이 CT영상을 감쇠 보정에 사용하고 있다. 감쇠보정을 함으로써 우리는 병변의 크기나 모양, 병변의 위치 등을 더욱 실제와 흡사하게 표현할 수 있으며 체내 심부에서의 병변의 방사능 세기를 복원하여 인체와 종양에서의 정확한 방사능 측정을 가능하게 하였다.¹⁾ 일반적으로 CT에 의한 선량은 CTDI로 표현이 된다. Son 등의 논문에 의하면 표준 CTDI 머리팬텀을 이용하여 CT투과 스캔에 대한 선량 측정을 수행하였을 경우, 관전류값이 증가할수록 증가 선량값이 증가한다는 연구 결과가 보고된 바 있다.³⁾ 본 연구에서도 CT영상을 획득할 때 기기가 수행할 수 있는 최저의 관전류값인 10 mA로 감쇠지도를 획득하고 PET영상을 재구성한 결과 PET영상의 표준편차, 백질과 회백질의 비율 등의 평가 지표는 일반적인 PET영상과 상대적으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 결과적으로 PET의 영상 재구성을 위한 감쇠지도를 CT를 수행할 경우, CT의 관전류를 10 mA까지 낮춤으로써 환자의 피폭선량을 감소시키더라도 PET의 표준편차나 백질과 회백질의 비율 등에는 큰 영향을 미치지 않는 범위 내에서 PET 영상을 재구성할 수 있을 것이라 생각된다. 기존의 PET은 감쇠보정을 위하여 ⁶⁸Ge이나 ¹³⁷Cs 등의 방사성 동위원소 선원을 이용하고 PET/CT는 CT를 이용한

다. Son 등은 감쇠 지도를 만들기 위하여 CT를 이용하였을 경우 투과 선원을 이용하였을 경우보다 약 200배의 선량의 차이가 나타난다고 보고하였다.³⁾ 또한 Hahn 등은 감쇠 보정을 위하여 낮은 선량 CT를 사용하였을 경우 (80 kVp, 10 mA, 0.5 sec per rotation), 일반 진단용 화질의 CT에서 전달되는 선량보다 100배 이상의 선량 감소 효과를 나타낸다고 보고한 바 있다.⁵⁾ 이에 진단용 고화질 CT를 필요로 하지 않는 검사에서는 저 선량 CT의 사용이 권장되어야 할 것이라고 사료된다. 본 연구는 GE DSTe 기기에 한정하여 수행한 검사로서 추후 다른 기기 시스템에서도 추가적인 연구가 이루어진다면 저선량 CT의 사용이 더욱 촉진될 수 있을 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

1. Wahl RL: To AC or not to AC: that is the question. J Nucl Med 40:2025-2028 (1999)
2. 남소라, 손혜경, 이상훈 등: 전신 PET/CT 영상 획득 프로토콜을 이용한 유효선량 평가. 의학물리 17:173-178 (2006)
3. 손혜경, Turkington Timothy G, 권운영, 정해조, 김희중: CT영상을 이용한 감쇠 보정시 조영제가 PET영상에 미치는 영향. 의학물리 16:192-201 (2005)
4. Turkington TG, Williams JJ, Wilson JW, et al: Performance of a BGO PET/CT with higher resolution PET detectors. IEEE NSS Conference Record 1891-1894 (2005)
5. Hahn K, Pfluger T: Is PET/CT necessary in paediatric oncology? Against. Eur J Nucl Med Mol Imaging 33:966-968 (2006)

The Evaluation for Attenuation Map using Low Dose in PET/CT System

Sora Nam*, Hee-Joung Kim*, Hyo-Min Cho*, Ji young Jung*,
Chang-Lae Lee*, Han Sang Lim[†], Hoon-Hee Park[†]

*Department of Radiological Science in College of Health Science and
Research Institute of Health Science, Yonsei University,

[†]Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Medical Center

The current PET/CT system with high quality CT images not only increases diagnostic value by providing anatomic localization, but also shortens the acquisition time for attenuation correction than primary PET system. All commercially available PET/CT system uses the CT scan for attenuation correction instead of the transmission scan using radioactive source such as ^{137}Cs , ^{68}Ge . However the CT scan may substantially increase the patient dose. The purpose of this study was to evaluate quality of PET images reconstructed by CT attenuation map using various tube currents. In this study, images were acquired for 3D Hoffman brain phantom and cylindrical phantom using GE DSTe PET/CT system. The emission data were acquired for 10 min using phantoms after injecting 44.03 MBq of ^{18}F -FDG. The CT images for attenuation map were acquired by changing tube current from 10 mA to 95 mA with fixed exposure time of 8 sec and fixed tube voltage of 140 kVp. The PET images were reconstructed using these CT attenuation maps. Image quality of CT images was evaluated by measuring SD (standard deviation) of cylindrical phantom which was filled with water and ^{18}F -FDG solution. The PET images were evaluated by measuring the activity ratio between gray matter and white matter in Hoffman phantom images. SDs of CT images decrease by increasing tube current. When PET images were reconstructed using CT attenuation maps with various tube currents, the activity ratios between gray matter and white matter of PET images were almost same. These results indicated that the quality of the PET images using low dose CT data were comparable to the PET images using general dose CT data. Therefore, the use of low dose CT is recommended than the use of general dose CT, when the diagnostic high quality CT is not required. Further studies may need to be performed for other system, since this study is limited to the GE DSTe system used in this study.

Key Words: PET/CT, Ultra low dose CT, Effective dose