

전신 PET/CT 영상 획득 프로토콜을 이용한 유효선량 평가

*연세대학교 방사선학과, †연세대학교 방사선의과학연구소, ‡국민건강보험공단 일산병원 치료방사선과

남소라* · 손혜경† · 이상훈† · 이창래* · 조효민* · 김희중*†

본 연구는 임상 환경에서의 전신 PET/CT 영상 획득방식 조건에서 환자가 받는 피폭선량을 Alderson 팬텀과 TLD를 이용하여 측정하는 것이었다. Philips GEMINI PET/CT에서는 ¹³⁷Cs 투과 스캔과 이와의 비교를 위한 고화질 CT 투과 스캔 및 토포그램을 각각 수행하여 각 인체 장기별 선량을 측정하였다. GE DSTe PET/CT에서는 감쇄 보정용 CT투과 스캔과 진단용 전신 CT스캔 및 토포그램을 각각 수행하여 인체 내 장기별 선량을 측정하였다. 여기서 각 인체 장기는 ICRP 60에서 추천하는 장기를 참고로 선택하였다. 또한 실험에 사용한 TLD는 10 MV X선을 사용하여 교정한 후 5% 이내의 정확도를 가지는 것만 사용하였다. 그 결과 Philips GEMINI PET/CT에서의 ¹³⁷Cs선원을 이용한 투과 스캔의 유효선량은 0.14 ± 0.950 mSv, 고화질 CT투과 스캔에서의 유효선량은 29.49 ± 1.508 mSv, 토포그램에서의 유효선량은 0.72 ± 0.032 mSv로 나타났다. 또한 GE DSTe PET/CT에서 감쇄보정용 CT투과 스캔의 유효선량은 20.06 ± 1.003 mSv, 진단용 전신 CT 스캔의 유효선량은 24.83 ± 0.805 mSv, 토포그램의 유효선량은 0.27 ± 0.008 mSv로 나타났다. 임상 환경에서의 PET/CT 영상을 획득했을 시 종합 피폭은 PET영상을 획득했을 때의 유효선량을 더함으로써 평가할 수 있었다. 그 결과 Philips GEMINI PET/CT (Topogram+¹³⁷Cs transmission scan+PET, Topogram+high Quality CT+PET)와 GE DSTe PET/CT (Topogram+CT attenuation map+PET, Topogram+CT for diagnosis+PET)에서 환자가 받는 총 유효선량들은 각각(7.65 ± 0.951 mSv와 37.00 ± 1.508 mSv), (27.12 ± 1.003 mSv, 31.89 ± 0.805 mSv)로 나타났다. PET/CT 영상 획득 시에 가능한 한 피폭은 적게 하면서도 진단이 가능한 화질을 유지할 수 있는 최적의 프로토콜 마련이 시급한 것으로 생각된다.

중심단어: 전신 PET/CT, TLD, 방사선 유효선량

서 론

최근 들어 사회, 경제 및 의학의 발달에 따라 고령화가 진행되면서 암 등의 난치성 질환이 현저히 증가하고 있다. 이에 이를 효율적으로 진단하고 치료하기 위한 의료기술의 개발 역시 그 중요성을 더해가고 있다. 이러한 필요성에 의해 PET/CT (Positron Emission Tomography/Computed Tomography)가 개발됨으로써 의료계는 큰 변화를 맞이하고 있다. PET는 체내의 관심기관들을 기능적으로 정량화할 수 있는 대표적인 영상기기로서 암의 조기발견과 진단에 있어서 가장 뛰어난 장비로 알려져 있다. 그러나 진단과 치료를 위한 정확한 위치과약의 어려움 및 암의 진행

정도를 위한 진단의 어려움 등의 문제를 갖고 있는 것도 사실이다. PET/CT 시스템은 이를 해결하기 위하여 해부학적 정보를 가장 잘 표현할 수 있는 CT를 PET과 연동하여 기능영상과 해부학적 정보를 담고 있는 진단영상을 융합한 영상을 만들어냄으로써 단일 PET이 가지고 있는 문제점을 개선하였으며 세계적으로 그 사용이 더욱 늘고 있다.

기존의 PET의 감쇄지도는 ⁶⁸Ge 또는 ¹³⁷Cs 등의 투과선원을 이용하여 만들어 졌으나 PET/CT 시스템은 CT를 이용하여 감쇄지도를 만들어냄으로써 검사 시간의 단축과 함께 잡음 제거 측면에서도 그 우수함을 나타냈다. 일반적으로 PET/CT의 영상을 획득하기까지는 CT 토포그램을 찍음으로써 환자의 위치를 결정하고, 감쇄보정을 위한 CT를 수행한 후 PET영상을 획득하는 3단계의 과정을 거치게 된다. 이 과정에서 획득한 CT 영상은 초기에는 감쇄지도를 만들기 위한 목적이었으나 최근에는 이를 통해 진단의 목적으로 사용하고자 하는 기관도 늘어나고 있는 추세이다. 이는 즉 감쇄보정을 위한 CT 스캔과 더불어 진단용 고화질 CT영상을 추가적으로 획득하기 시작한다는 의미이며 이로 인한 환자의 방사선피폭의 증가는 고려해 보아야 할

이 연구는 2006년도 과학기술부 원자력연구개발사업(M20513000023-06A1300-02310) 지원에 의하여 이루어진 것임.

이 논문은 2006년 9월 14일 접수하여 2006년 9월 25일 채택되었음.

책임저자: 김희중, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234번지

연세대학교 방사선학과

Tel: 033)760-2475, Fax: 033)760-2815

E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

문제로 다가오고 있다. PET/CT 영상 획득 시 거쳐야 할 여러 단계의 촬영들은 모두 환자의 방사선 피폭에 기여되며, 특히 진단용 고화질 CT촬영은 기타 다른 단계의 촬영들에 비해 상대적으로 높은 방사선 피폭을 일으킬 수 있기 때문이다.

본 연구의 목적은 의료 기관에서 사용하는 임상 전신 PET/CT 환자들의 영상 획득 과정 중 환자가 받는 피폭선량을 연구하여 이를 평가하는 것이었다.

재료 및 방법

1. 열형광 선량계(thermoluminescent dosimeters, TLD)

열형광 선량계는 방사선이 조사된 뒤 가열하면 방사선 조사과정에서 소자가 흡수한 에너지의 일부를 빛으로 방출하는 열형광 현상을 이용한 선량계로서 크기와 형태를 임의로 제작할 수 있으므로 인체의 조직 속이나 공동 내에서 체내 측정에 이용할 수 있다. 본 실험에서는 인체 내의 특정 기관에 각기 피폭되는 방사선 선량을 측정하기 위하여 불화리튬 열형광 선량계(TLD; TLD-100, Bicon-Harshaw, Cleveland, Ohio)를 사용하였다(Fig. 1). 본 실험에 사용된 TLD는 3×3×0.8 mm의 크기를 가지는 정사각형의 칩 형태이다. 이것을 10 MV X선으로 교정한 뒤 이 중에서 5%이내의 정확도를 가지는 것들만을 실험에 사용하였다. 퇴행현상을 고려하여 측정 후 24시간 이내에 판독을 하였으며 TLD 판독기는 상용 TLD 판독기(model 5500; Bicon-Harshaw)를¹⁾(Fig. 2) 이용하였다. 판독기를 통하여 획득한 측정값들은 식(1)을 이용하여 흡수선량으로 환산하였다.

$$\text{흡수선량}(D) = (M/M_{100}) \times 100(\text{cGy}) \quad (1)$$

식 (1)에서 M은 실험에서 획득한 측정값을 의미하며 M₁₀₀은 교정을 위한 100 cGy를 조사했을 때의 측정값을 의미한다. 각기 계산된 흡수선량 값을 유효선량 값(effective dose, ED)으로 환산하기 위하여 ICRP60²⁾에서 제시한 식(2)를 이용하였다.

$$\text{ED}(\text{mSv}) = \sum D_{T,R} \times W_R \times W_T \quad (2)$$

식 (2)에서 D는 흡수선량을 의미하고, 아래첨자 T와 R은 각각 측정된 인체의 각 장기와 사용한 방사선 종류를 의미한다. 즉 D_{T,R}은 방사선 R을 사용하였을 때 인체 내 장기 T가 받은 흡수선량이 됨을 의미한다. 또한 W는 가중인자로서 W_R은 사용한 방사선 종류에 의한 가중인자, W_T는 각 인체 내 장기에 대한 가중인자를 나타낸다.

2. 인체형 팬텀

본 실험은 인체 내 특정 장기에 각기 피폭되는 흡수선량을 평가하기 위한 것으로 최대한 인체와 동일한 상태의 실험을 하기 위하여 인체형 팬텀(Alderson Radiation Therapy Phantom (ART), Radiology Support Devices Inc, Long Beach, CA)을 사용하였다. 이 팬텀은 ICRU Report 44²⁾의 표준을 준수하여 제작되었다. 이 팬텀은 키 155 cm, 몸무게 50 kg의 여성형 팬텀(female ART 팬텀)이며 하나의 슬라이스당 2.5 cm의 두께를 가지며 총 32개의 슬라이스 상, 하지를 제외한 인체의 구조를 갖추고 있다. 각 슬라이스들 내부는 뼈 등가물질, 연부조직 등가물질, 폐 등가물질로 만든 핀들이 해부학적 구조를 준수하여 위치하고 있다. TLD를 부착하여야 할 위치에는 위의 핀과 동일한 형태의 TLD가 부착 가능한 핀으로 대체하여 사용한다. 선량



Fig. 1. Alderson phantom mounted TLDs marked with arrows.



Fig. 2. Commercial TLD reader (model 5500; Bicon-Harshaw).

측정을 위한 장기들은 ICRP60²⁾을 참고로 하여 선정된 생식선, 골수, 대장, 소장, 폐, 위, 방광, 간, 식도, 피부, 심장, 신장, 비장, 자궁이며 이 14개의 장기 중 심장, 신장, 소장, 비장, 자궁은 결과에서 '잔여기관'(remainder)으로 표시하였다. 총 43개의 TLD를 팬텀에 부착하였으며 정확한 결과 값을 위하여 각 장기당 3~4개의 TLD를 부착하였다.

3. 데이터의 획득

방사선 선량은 Philips GEMINI 16슬라이스 PET/CT 시스템과 GE DStE 16 슬라이스 PET/CT시스템에 대하여 평가하였다. 실제 임상에서 사용하는 전신 임상PET/CT 영상 획득 방식을 이용하여 Philips GEMINI 16 슬라이스 PET/CT 시스템에서는 ¹³⁷Cs 투과 스캔과 고화질 CT투과 스캔을 수행하였고 추가적인 비교를 위하여 GE DStE 16 슬라이스 PET/CT시스템에서 진단용 전신 CT스캔과 감쇄 지도용 CT스캔을 수행하였다(Fig. 3). 또한 PET/CT 영상 획득 과정 중 하나인 토포그램에 대한 선량 평가를 위하여 위의 두 PET/CT시스템을 사용하여 실험을 수행하였다. Philips GEMINI PET/CT시스템에서 ¹³⁷Cs 투과 스캔의 경우 총 8 bed (9.2분)동안 영상을 획득하였으며 고화질 CT투과 스캔의 경우 촬영 조건을 120 kVp/250 mAs로 설정해주었다. GE DStE PET/CT시스템에서 진단용 전신 CT스캔의 촬영 조건은 Philips GEMINI PET/CT 시스템의 고화질 CT투과스캔과 동일한 조건인 120 kVp/250 mAs로 설정하였다. 또한 일반 감쇄 지도를 만드는데 필요한 선량을 평가하기 위한 GE DStE PET/CT시스템의 감쇄지도용 CT스캔의 조건으로는 120 kVp/Auto mAs를 사용하였다. 또한 토포그램의 경우 Philips GEMINI PET/CT시스템에서는 120 kVp/30 mAs, GE DStE PET/CT시스템에서는 120 kVp/10

mAs로 실험을 수행하였다. 위의 촬영 조건들은 본 연구기관에서 실제로 환자에게 적용되는 촬영 조건들이었다.

결 과

의료 기관에서의 임상 전신 PET/CT 영상 획득 방식을 위한 ¹³⁷Cs 투과 스캔과 고화질 CT투과 스캔에 대한 방사선 선량 측정 결과를 Table 1에 나타내었다. 또한 감쇄 지도용 CT스캔과 진단용 전신 CT스캔의 방사선 선량 측정 결과를 Table 2에 나타내었다. ¹³⁷Cs 투과 스캔의 유효선량은 0.14±0.950 mSv로 나타났으며 고화질 CT 투과 스캔의 유효선량은 29.49±1.508 mSv로 나타났다. 위 Table 1을 통해 예상할 수 있듯이, ¹³⁷Cs 투과 스캔을 통해 환자에게 전달되는 유효선량은 환자의 진단을 위해 사용하는 고화질 CT 투과 스캔의 유효선량에 비해 상대적으로 매우 낮은 선량 값을 나타내는 결과를 획득하였다(Table 1).

감쇄 지도용 CT 스캔과 진단용 전신 CT 스캔의 유효선량을 비교해 보았을 때 감쇄지도용 CT 스캔의 유효선량은 20.06±1.003 mSv로 나타났으며 진단용 전신 CT 스캔의 유효선량은 24.83±0.805 mSv로 익히 예상할 수 있듯이 감쇄지도용 CT스캔의 유효선량이 진단용으로 쓰이는 CT 스캔의 유효선량보다 낮은 값을 가지는 것을 직접 확인할 수 있었다(Table 2).

마지막으로 PET/CT 영상을 획득하기 위한 단계 중 하나인 토포그램의 방사선 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 토포그램에서의 유효선량은 Philips GEMINI PET/CT시스템에서 0.72±0.032 mSv, GE DStE PET/CT 시스템에서

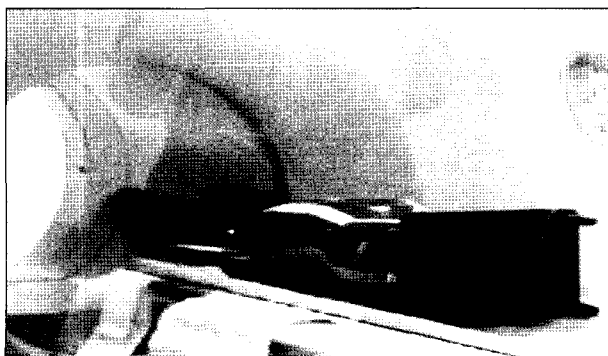


Fig. 3. Alderson phantom in GE DStE PET/CT.

Table 1. Organ and effective dose for clinical whole body transmission scan with ¹³⁷Cs and high quality CT scan in Philips GEMINI PET/CT scanner (Dose unit: mSv).

Organ	Dose (¹³⁷ Cs)	Dose (CT)
Gonads	0.13±0.030	31.23±0.045
Bone marrow	0.14±0.066	23.89±0.112
Colon	0.17±0.120	39.51±0.365
Lungs	0.17±0.079	34.19±0.200
Stomach	0.16±0.073	36.79±0.013
Bladder	0.14±0.048	30.60±0.276
Liver	0.16±0.056	37.64±0.171
Esophagus	0.16±0.035	29.11±0.207
Skin	0.17±0.009	42.26±0.453
Remainder	0.16±0.620	35.26±0.658
Effective dose	0.14±0.950	29.49±1.508

Table 2. Organ and effective dose for clinical whole body CT scan for attenuation map (ACmap) and whole body CT scan for diagnosis in GE DSTe PET/CT scanner (Dose Unit: mSv).

Organ	Dose (ACmap)	Dose (CT)
Gonads	16.56 ± 0.163	20.05 ± 0.039
Bone marrow	13.89 ± 0.146	17.33 ± 0.056
Colon	22.56 ± 0.154	23.36 ± 0.460
Lungs	18.06 ± 0.228	23.74 ± 0.150
Stomach	20.72 ± 0.319	27.71 ± 0.312
Bladder	17.59 ± 0.118	20.78 ± 0.233
Liver	20.83 ± 0.234	24.55 ± 0.074
Esophagus	14.88 ± 0.243	21.79 ± 0.150
Skin	25.91 ± 0.763	31.81 ± 0.275
Remainder	19.20 ± 0.265	24.36 ± 0.393
Effective dose	20.06 ± 1.003	24.83 ± 0.805

Table 3. Organ and effective dose for clinical topogram with GE DSTe and Philips GEMINI PET/CT scanner (Dose unit: mSv).

Organ	Dose (Philips)	Dose (GE)
Gonads	0.54 ± 0.002	0.29 ± 0.002
Bone marrow	0.95 ± 0.003	0.17 ± 0.001
Colon	0.46 ± 0.003	0.24 ± 0.004
Lungs	0.97 ± 0.005	0.22 ± 0.002
Stomach	0.58 ± 0.008	0.23 ± 0.002
Bladder	0.56 ± 0.004	0.37 ± 0.001
Liver	0.58 ± 0.006	0.25 ± 0.002
Esophagus	1.01 ± 0.002	0.16 ± 0.0003
Skin	0.27 ± 0.001	0.43 ± 0.002
Remainder	0.74 ± 0.030	0.25 ± 0.005
Effective dose	0.72 ± 0.032	0.27 ± 0.008

0.27 ± 0.008 mSv로 측정되었다(Table 3).

고찰 및 결론

최근 의료계에서 각광 받고 있는 PET/CT는 높은 진단 정확도만큼이나 방사선량의 피폭도 상당한 양이므로 이를 연구하고 평가하는 것은 매우 중요한 일이라고 할 수 있다.

현재 우리 의료기관에서는 전신 PET/CT 환자 영상을 획득할 때는 CT 토포그램을 찍음으로써 환자의 위치를 결정하고 감쇄 보정을 위한 CT 또는 ¹³⁷Cs을 이용한 투과 스캔을 수행한 후 PET 영상을 획득하는 3단계 과정을 거치고 있다. 또한 필요 시 추가적으로 진단을 위한 진단용 CT영상을 수행하고 있다. 본 연구에서는 이 3단계 과정과 추가적 과정 중 PET 영상을 획득하는 것에 의한 선량 측정을 제외한 모든 과정에 대한 선량을 평가하였다.

본 연구에서 CT 토포그램의 경우 유효선량은 Philips GEMINI PET/CT시스템에서 0.72 ± 0.032 mSv, GE DSTe PET/CT 시스템에서 0.27 ± 0.008 mSv로 측정되었다. 이때의 촬영 조건은 Philips GEMINI PET/CT시스템에서 120 kVp/30 mAs, GE DSTe PET/CT 시스템에서는 120 kVp/10 mAs로 설정되었다. Brix 등⁴⁾은 독일의 4곳의 병원에서 PET/CT의 CT 토포그램 선량 측정의 결과 평균적으로 약 0.23 mSv의 유효선량이 측정되었다고 보고하였다. 이는 본 연구에서의 측정값보다는 상대적으로 낮은 결과이나 동일하지 않은 기계와 동일하지 않은 실험 조건을 사용한 결과이기 때문에 직접적인 비교는 힘들다고 할 수 있다. 또한 본 연구에서의 기계에 따른 유효선량의 차이는 관전

류량의 차이에서 기인한다고 볼 수 있겠다. 관전류량을 증가시킴으로써 비록 피폭은 상대적으로 늘어나지만 그만큼 고 화질의 영상을 획득할 수 있다는 장점이 있다.

다음으로 본 연구에서 ¹³⁷Cs 투과 스캔의 경우 유효선량은 0.14 ± 0.950 mSv로 측정되었다. 여기서 ¹³⁷Cs선원은 662 keV의 에너지를 가지고 있고 방사능은 740 MBq이다. Wu 등⁵⁾은 GE Discovery LS PET/CT 시스템에서 ⁶⁸Ge선원을 사용하여 전신 투과 스캔을 수행하였을 때 유효선량으로 0.26 ± 0.017 mSv를 가지고 있다고 밝혔다. 이는 본 연구기관의 0.14 ± 0.950 mSv보다는 상대적으로 높은 값이지만 총 투과시간이 본 연구기관이 9.2분인데 반해 Wu 등⁵⁾의 논문에서는 35분인 것과 선원의 차이 등을 감안하여야 할 것이다. 본 연구기관의 Philips GEMINI PET/CT시스템에서는 감쇄 보정용 CT 투과 스캔을 하지 않는다. 이에 고화질 CT 투과 스캔의 방사선 선량 측정 결과인 29.49 ± 1.508 mSv를 ¹³⁷Cs 투과 스캔과 비교해 본 결과 약 210배의 큰 차이를 나타내었다. 또한 본 연구에서 비록 같은 기계는 아니지만 GE DSTe PET/CT 시스템의 감쇄 보정용 CT의 유효선량은 20.06 ± 1.003 mSv로 나타났는데 이는 ¹³⁷Cs 투과 스캔의 유효선량인 0.14 ± 0.950 mSv와 비교해보았을 때 약 143배의 큰 차이를 나타내었다. 추가적인 연구에서 같은 기계로 ¹³⁷Cs 투과 스캔과 감쇄보정용 CT의 유효선량의 비교를 연구해보는 것도 매우 유용할 것이라고 생각된다. 또한 본 연구에서는 GE DSTe PET/CT 시스템을 이용하여 감쇄 보정용 CT투과 스캔의 유효선량과 진단용 전신 CT 스캔의 유효선량을 비교하며 평가하였는데 그 결과 감쇄 보정용 CT 투과 스캔은 20.06 ± 1.003 mSv를, 진단용 전신 CT스캔은 24.83 ± 0.805 mSv의 결과를 나타내었다. 이

러한 결과는 Auto mAs로 방사선 양이 조절되는 감쇄 보정용 CT투과 스캔에 비해 진단용 CT스캔은 고정된 250 mAs라는 고 전류량이 원인이 된 것으로 예상할 수 있겠다. 또한 이 높은 전류량은 그만큼 양질의 CT영상을 얻는데 기여한 것이라고 생각한다.

본 연구에서는 전신 PET/CT 투과 스캔 시 ICRP60²⁾서 권고하는 인체 장기들 중 유방, 갑상선, 뼈 표면에 대한 방사선량 측정은 하지 않았다. 따라서 이들을 추가한다면 본 연구의 측정값과는 약간의 차이가 있을 수 있는 제한점이 있다. 또한 본 연구에서는 PET영상에 의한 방사선 선량 평가는 수행하지 않았다. 비록 본 연구에서 PET 영상에 의한 방사선 선량 평가는 수행하지 않았지만 Deloar 등⁶⁾이 보고한 바를 토대로 대략적인 PET영상에 의한 방사선 선량 평가를 수행해 볼 수 있겠다. 만약 PET영상을 얻기 위해 ¹⁸F-FDG선원을 이용한다면, 우리 기관에서는 환자의 몸무게 1 kg당 5.365 MBq의 ¹⁸F-FDG를 주사하므로 본 실험에서 사용한 몸무게 55 kg의 팬텀을 이에 적용한다면, 총 295 MBq의 ¹⁸F-FDG를 주사하게 되는 것이다. 이를 이용하여 Deloar 등⁶⁾의 보고서로부터 유효선량을 계산하면 약 6.79 mSv가 된다. 따라서 우리 기관에서 PET/CT 영상 획득 시 받게 되는 피폭은 GE DSTe PET/CT시스템에서는 토포그램 스캔시 받는 선량 0.27±0.008 mSv, 감쇄 보정을 위한 CT투과 스캔 시 받게 되는 선량 20.06±1.003 mSv, Deloar 등⁶⁾의 보고서를 토대로 계산한 PET영상의 획득 시 받게 되는 선량 6.79mSv를 다 더하게 되면 총 27.12±1.003 mSv를 받는 것으로 예상할 수 있겠다. Philips GEMINI PET/CT시스템의 경우는 감쇄보정용 CT투과 스캔을 사용하지 않고 ¹³⁷Cs선원을 사용하여 감쇄 보정을 하기 때문에 이를 고려하여 총 받게 되는 선량을 계산하게 되면 7.65±0.951 mSv로 계산된다. 또한 감쇄보정용 CT대신 진단을 목적으로 하는 CT를 얻을 경우에는 그 선량이 Philips GEMINI PET/CT시스템의 경우 그 구성이 토포그램 + 고화질 CT 투과 스캔+PET가 되며 선량은 37.00±1.508 mSv, GE DSTe PET/CT시스템의 경우 그 구성은 토포그램

+진단용 전신 CT스캔+PET이 되며 그 선량은 31.89±0.805 mSv로 계산된다.

위에서 확인할 수 있듯이 환자의 피폭에 가장 큰 기여를 하는 것이 CT 영상의 획득이라고 할 수 있겠다. 따라서 가능한 한 환자의 피폭을 최소로 하되 진단 목적에 부합하는 영상의 화질을 유지하기 위한 최적의 CT 획득 방식이 빠른 시일 내에 개발되어야 할 것이며 이를 위한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이라고 생각된다.

감사의 글

본 연구에 도움을 주신 강천구, 임한상, 김태성, 박훈희, 오신현 선생님께 진심으로 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 손혜경, 이상훈, 남소라, 김희중: 전신 PET/CT영상 획득 시 투과스캔에서의 방사선 선량. 의학물리 17:89-95 (2006)
2. ICRP Publication 60: *Recommendations of the International Commission on Radiation Protection*. International Commission on Radiation Protection, New York, NY (1990)
3. ICRU Report 44: *Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement*. International commission on radiation units and measurements. Recommendations of the International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda, MD (1989)
4. Brix G, Lechel U, Glatting G, et al: Radiation exposure of patients undergoing whole-body dual modality 18F-FDG PET/CT examinations. J Nucl Med 46:608-613 (2005)
5. Wu TH, Chu TC, Huang YH, et al: A positron emission tomography/computed tomography (PET/CT) acquisition protocol for CT radiation dose optimization. Nucl Med Comm 26:323-330 (2005)
6. Deloar HM, Fujiwara T, Shindahara M, et al: Estimation of absorbed dose for 2-[F-18]fluoro-2-deoxy-D-glucose using whole body positron emission tomography and magnetic resonance imaging. Eur J Nucl Med 25:565-574 (1998)

Effective Dose Evaluation using Clinical PET/CT Acquisition Protocols

Sora Nam*, Hye-Kyung Son[†], Sang Hoon Lee[†], Chang-Lae Lee*, Hyo-Min Cho*, Hee-Joung Kim*[†]

*Department of Radiological Science, [†]Research Institute of Radiological Science, Yonsei University,

[†]Department of Radiation Oncology, NHIC Ilsan Hospital

The purpose of this study was to evaluate the radiation dose for clinical PET/CT protocols in clinical environments using Alderson phantom and TLDs. Radiation doses were evaluated for both Philips GEMINI 16 slice PET/CT system and GE DSTe 16 slice PET/CT system. Specific organ doses with ¹³⁷Cs transmission scan, high quality CT scan and topogram in Philips GEMINI PET/CT system were measured. Specific organ doses with CT scan for attenuation map, CT scan for diagnosis and topogram in GE DSTe PET/CT system were also measured. The organs were selected based on ICRP60 recommendation. The TLDs used for measurements were selected for within an accuracy of $\pm 5\%$ and calibrated in 10 MV X-ray radiation field. The effective doses for ¹³⁷Cs transmission scan, high quality scan, and topogram in Philips GEMINI PET/CT system were 0.14 ± 0.950 , 29.49 ± 1.508 and 0.72 ± 0.032 mSv respectively. The effective doses for CT scan to make attenuation map, CT scan to diagnose and topogram in GE DSTe PET/CT system were 20.06 ± 1.003 , 24.83 ± 0.805 and 0.27 ± 0.008 mSv respectively. We evaluated the total effective dose by adding effective dose for PET image. The total PET/CT doses for Philips GEMINI PET/CT (Topogram + ¹³⁷Cs transmission scan + PET, Topogram + high quality CT + PET) and GE DSTe PET/CT (Topogram + CT for attenuation map + PET, Topogram + diagnostic CT + PET) are 7.65 ± 0.951 , 37.00 ± 1.508 , 27.12 ± 1.003 and 31.89 ± 0.805 mSv respectively. Further study may be needed to be performed to find optimal PET/CT acquisition protocols for reducing the patient exposure with good image quality.

Key Words: Whole body PET/CT, TLD, Radiation effective dose dosimetry