

Original Article

PET/CT 검사 환자의 피폭선량 경감을 위한 연구

인하대학교병원 핵의학과

김봉수 · 표성재 · 조용귀 · 신채호 · 조진우 · 김창호

Research on the Reduction of Exposure Dose of a Patient Having a PET/CT Exam

Bong Su Kim, Sung Jai Pyo, Yong Gyi Cho, Chai Ho Shin, Jin Woo Cho, Chang Ho Kim

Department of Nuclear Medicine, Inha University Hospital, Incheon, Korea

Purpose: As the number of patients has increased since the installation of a PET/CT, we are now examining about 2500-3000 annually. We have realized that if we properly adjust a pitch under the same condition of a CT during a PET/CT exam, radiation quantity that reaches the patient can change. In order to reduce the exposure dose of a patient, the research examines a method of reducing the exposure dose of a patient by controlling the pitch during a PET/CT exam, viewing whether the adjustment of the pitch influences CT image and PET SUV. **Methods:** The equipment used is a Biograph Positron Emission Tomography (PET) Scanner (CT type: TRCT-240-130 (WCT-240-130)) of Siemens company. For the evaluation of exposure dose of a patient, we measured radiation quantities using a PTW-DIADOS 11003/1383, which is a CT radiation measurement instrument used by Siemens. We measured and analyzed the space resolutions of CT images caused by the change of pitches using an AAPM Standard Phantom in order to see how the adjustment of pitches influenced the CT images. In addition, in order to obtain SUVs caused by each change of pitches using a PET source made with a solid radioactive cylinder phantom, we confirmed whether the SUVs changed in the PET/CT images by calculating the SUVs of the fusion images caused by the change of pitches after obtaining CT and PET images and finishing the test. **Results:** 2slice CT scanner showed that radiation quantities largely dropped when pitches ranged from 0.7 to 1.3 and that the reduction of radiation quantities were smaller when pitches ranged from 1.5 to 1.9. That is, we found that the bigger pitch values are the smaller the radiation quantities of a patient are. Moreover, we realized that there is no change of SUVs caused by the increase of pitches and that pitch values do not influence PET SUVs and the quality of CT images. It is judged that using 1.5 as a pitch value contributes to the reduction of exposure dose of a patient as long as there is no problem in the quality of an image. **Conclusions:** When seeing the result of the research, hospital using a PET/CT should make an effort to reduce the exposure dose of a patient seeking pitch values appropriate for their hospital within the range in which there is no image distortion and PET SUVs are not influenced from pitches. We think that the research can apply to all multi-detectors having a CT scanner and that such a research will be needed for other equipments in the future. (Korean J Nucl Med Technol 2009;13(3):10-16)

Key Words: PET/CT, Pitch, SUV, Multi slice CT, AAPM Standard Phantom

서론

최근 건강에 대한 관심이 증가하면서 매년 꾸준히 정기검

진을 받는 사람들이 늘고 있다. 특히, 서구식 식습관으로의 변화 등으로 인해 암 발생이 증가함에 따라 이를 조기에 발견 하기 위해 방사선을 이용한 검사 또는 건강 검진의 빈도는 더욱 증가하는 추세이다. 진단을 위한의료용 방사선의 이용은 지속적으로 늘고 있지만 검사 과정에서 방사선에 노출 될 수 밖에 없다. 그렇다면 인체에 아무런 영향이 없을까? 일반적으로 방사선 조사량은 기계의 종류, 촬영부위, 환자의 체지방률에 따라 다르다. 흉부나 복부 X-ray는 1회 촬영 시

- Received: September 10, 2009 Accepted: October 5, 2009
- Corresponding author: Bong Soo Kim
Department of Nuclear Medicine, Inha University Hospital, 7-206
3-ga, Sinheung-dong, Jung-gu, Incheon, 400-711, Korea
Tel: +82-32-890-3166, Fax: +82-32-890-3164
E-mail: nazarino1419@hanmail.net

0.01~0.15 mSv와 0.25 mSv, CT 촬영에서는 두경부 CT는 2 mSv, 흉부나 복부, 골반 부분은 약 10 mSv이다.⁹⁾ 그리고 진단 목적으로 전신을 촬영하면 20 mSv로 두경부에 약 10배, 흉부, 복부와는 약 2배 정도 피폭량이 많아진다. 저자가 근무하고 있는 병원의 PET/CT 검사의 경우에도 2004년부터 환자가 꾸준히 늘어 현재는 매년 약 2500~3000명 정도의 환자를 검사 하고 있다. 기존의 PET을 가지고 검사하는 경우 1회의 FDG 투여로 PET 검사의 피폭선량은 1.8 mSv~2 mSv 정도이지만 PET/CT를 가지고 검사를 하는 경우에는 일반 흉부나 복부 CT만 검사 할 때 보다 더 많은 양의 방사선에 노출된다. 그리고 현재에도 PET 장비만 가지고 검사를 하는 병원이 있지만 장시간의 검사시간과 CT 영상과의 Fusion으로 진단적 가치를 높이려는 노력으로 인해 점차 PET/CT로 바뀌고 있는 추세이다. PET/CT의 장점은 거의 같은 시간대에 PET과 CT를 검사하여 PET의 대사 정보와 CT의 해부학적 정보를 정확하게 합성하여 진단적 가치를 높이고 CT의 X-선 정보를 PET의 흡수 보정 데이터로 이용하여 PET/CT 검사시간을 단축할 수 있다는데 있겠다. 그러나 PET에서의 피폭선량은 장비의 발달과 동위원소 투여 용량의 정량화로 인해 ¹⁸F-FDG 투여량이 거의 일정하여 환자가 받는 피폭선량이 CT에 비해 많지 않은 반면 PET/CT에서의 피폭선량은 multi slice CT의 도입으로 더욱 많아지고 있다. 그래서 FDG 투여량이 일정할 때 환자의 피폭선량을 줄일 수 있는 방법에 대해 생각해 보게 되었다. 선행 연구 논문에서 싱글 슬라이스 나선형 CT는 모든 다른 조건이 동일할 때 Pitch를 증가하면 환자 에게 도달하는 방사선량이 감소한다는 내용이 있었다.⁴⁾ 이에 저자는 PET/CT에서도 Pitch의 변화에 따라 방사선량이 변하는 지와 Pitch의 변화로 인해 PET의 SUV값에도 영향이 있는 지도 연구하였다. 이를 통해 환자의 피폭 경감에 적용해 보고자 본 연구를 하였다.

용어의 이해

1. PET/CT: 전신 PET기기와 CT기기를 융합시킨 장비

2. Pitch: X-선관이 한번 회전하는 동안 테이블이 진행되는 거리

3. SUV(Standardized uptake value): 종양에서 FDG의 섭취 정도에 대하여 가장 흔히 사용되는 반정량 평가방법

4. 흡수보정: 체내에서 감마선 흡수의 불균일성을 보정하기 위한 처리로서 CT를 이용하여 분획법으로 소멸감마선의 흡수량을 구한다.

5. Multi slice CT: X-ray tube 1회전에 여러 개의 단면상을 얻을 수 있는 장비

실험재료 및 방법

본 연구를 위해 사용된 장비는 Siemens사의 Biograph Positron Emission Tomography (PET) Scanner (CT 형식: TRCT-240-130 (WCT-240-130))을 사용하였다(Fig. 1). 환자의 피폭선량은 Siemens사에서 사용하는 CT 조사선량 측정기인 PTW-DIADOS 11003/1383를 사용하여 선량을 측정하였다(Fig. 2). PET의 SUV값은 PET source consists of a solid radioactive cylinder phantom을 사용하여 얻었다(Fig. 4). 그리고, 각 Pitch변화에 따른 CT 영상의 변화를 얻기 위해 AAPM Phantom을 이용하여 CT 영상을 얻어 공간분해능을 비교하였다(Fig. 3).

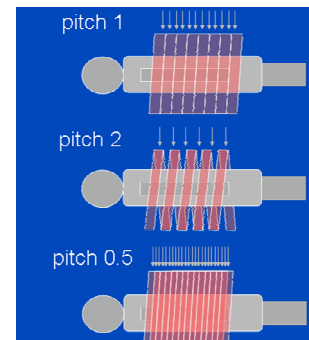
PET/CT의 CT장비는 Siemens사의 2slice CT scanner로서 Pitch를 X-ray tube가 360도 회전 할 때 테이블 움직임과 콜리메이션으로 정의하였다.

수식과 그림으로 표시하면 다음과 같다.

모든 실험은 130 kVp, 100 mAs의 동일한 조건으로 시행되었다.

Pitch는 slice thickness 6 mm-0.7, 1.0, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9로 변화시켰고 각각의 Pitch에 따른 선량을 PTW-DIADOS 11003/1383 조사선량 측정기로 Pitch별 각각 3회씩 측정하여 평균값을 mGy으로 환산하여 측정 장비의 교정계수를 곱하여 구

$$\text{Beam Pitch} = \frac{\text{X-ray tube 1회전당 테이블 이동거리(mm)}}{\text{Beam 콜리메이션}}$$



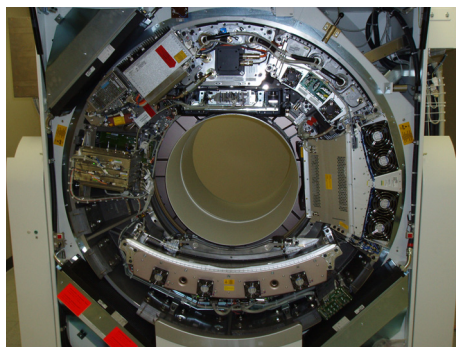
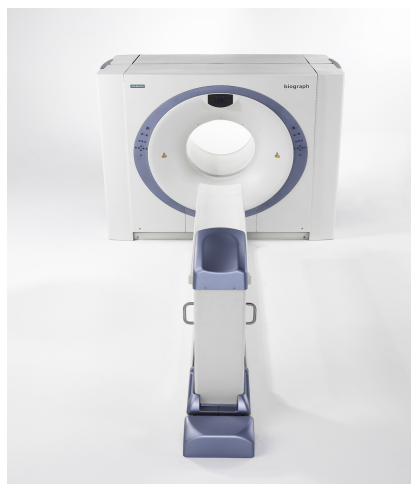


Fig. 1. Biograph Positron Emission Tomography (PET).
(CT 형식 TRCT-240-130 (WCT-240-130)).

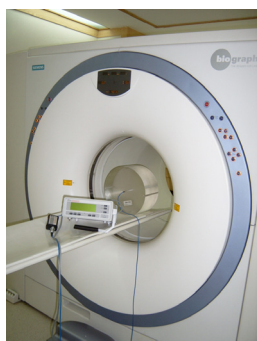


Fig. 2. Body phantom과 PTW-DIADOS 11003/1383 조사선량 측정기.

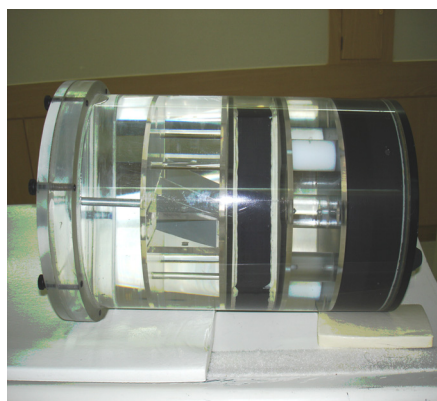


Fig. 3. AAPM Standard Phantom (model 76-410, Victoreen).

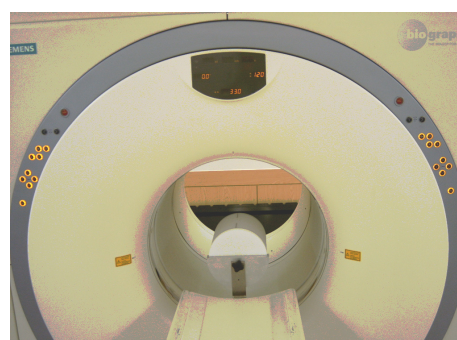


Fig. 4. PET source consists of a solid radioactive cylinder phantom.

Table 1. 2 slice CT에서 Pitch를 변화하여 측정한 방사선량과 SUV값

Pitch	기준 mAs	방사선량(mGy)	SUV값		
			Max	Min	Avg
0.7	100	54.5±0.2	1.23	0.92	1.07
1.0	100	53.8±0.24	1.25	0.89	1.06
1.3	100	53.5±0.03	1.22	0.91	1.07
1.5	100	51.2±0.1	1.23	0.92	1.06
1.7	100	50.7±0.08	1.25	0.89	1.07
1.9	100	50.5±0.03	1.25	0.89	1.07

선량 측정기의 교정계수는 0.928.

하였다.

그리고, PET source consists of a solid radioactive cylinder phantom을 사용하여 위의 내용과 동일한 조건으로 각 Pitch 별 CT 영상과 3분간의 PET 영상을 얻어 합성한 후 각각의 SUV값을 구하여 Max, Min, Avg. 값으로 표시하였다. CT 영상의 평가는 AAPM Standard Phantom을 이용하여 변화된 각각의 Pitch에 따른 CT 영상을 얻어 Phantom 평가조건 중 공간 분해능이 영상 평가 기준에 만족하는지 확인하였다

결과에 앞서 저자의 병원에서 사용하는 PET/CT의 제한성에 대하여 먼저 언급하고 시작하려 한다. 본원에서 사용하는 PET/CT는 2 slice CT 장비이며 매뉴얼에는 Pitch를 0.5~2.0 까지 조절할 수 있다고 하였으나, 이번 실험을 통해 slice thickness마다 조절 폭이 다르다는 것을 알았고 평상 시 검사에서는 slice thickness를 5 mm로 사용하지만 Pitch의 폭을 조절하느라 부득 이하게 6 mm로 하여 실험하게 되었다.

결 과

위의 결과는 PET/CT의 전신 검사 중 1bed만을 검사한 선량이며 위 표에서 보는 바와 같이 2slice CT scanner에서는

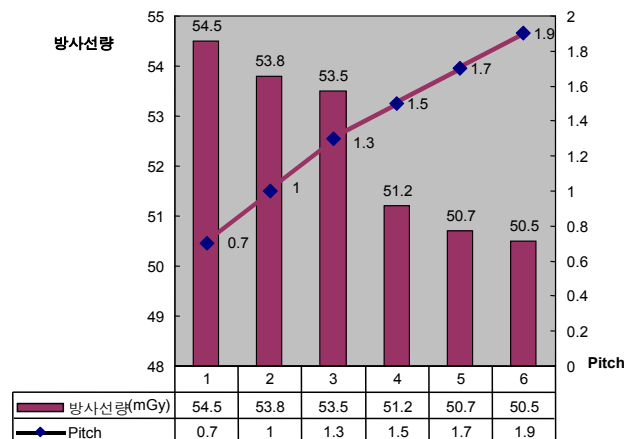


Fig. 5. Pitch에 따른 방사선량의 변화.

Pitch가 0.7~1.3까지는 방사선량이 크게 떨어지나 1.5~1.9까지는 방사선량의 감소가 작아졌다(Table 1). 이 결과로 PET/CT에서 전신 검사에 대한 피폭선량은 산술적으로 계산해보면 0.7 pitch의 전신조사선량은 381.5 mGy이고 1.9 pitch의 전신조사선량은 353.5 mGy로 pitch값이 클 때 28 mGy의 선량을 환자가 더 적게 받는다는 것을 알 수 있다. 이러한 내용으로 Pitch값이 커질수록 환자의 피폭선량이 작아지는 것을 알 수 있었다(Fig. 5).

PET source consists of a solid radioactive cylinder phantom을 사용하여 위의 각 Pitch별 CT 영상과 PET 영상을 얻어 합성한 후 각각의 Pitch별 SUV값을 구한 결과 PET/

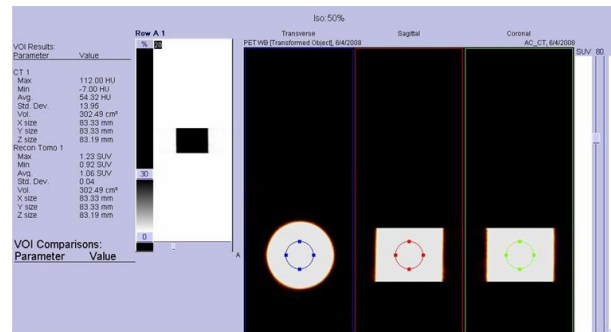


Fig. 6. Pitch 0.7에서의 SUV값과 ROI설정 방법.

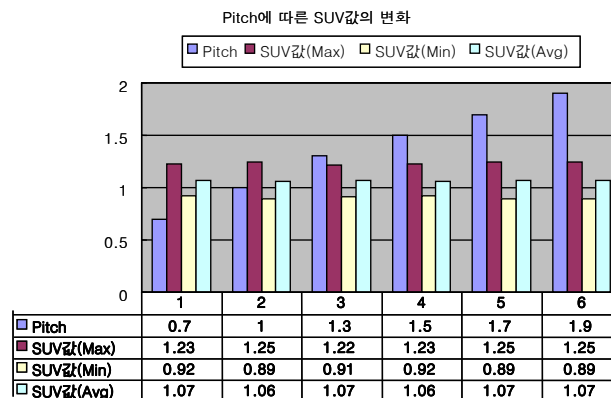


Fig. 7. Pitch에 따른 SUV값의 변화.

CT에서 Pitch값의 증가에 따른 SUV값의 변화는 거의 없었고(Fig. 6), CT의 Pitch값이 PET SUV값에 영향을 주지 않으며 영상의 질에 문제가 없는 한 Pitch값을 장비에 맞게 높여서 사용하는 것이 환자의 피폭선량 경감을 위해 기여할 것이라고 생각된다(Fig. 7).

현재 저자의 병원에서는 SUV_{max}값을 판독 시 환자의 지표로 사용하고 있으며 Max값의 변화를 보면 차이가 없었다(Fig. 8).

CT 영상에서의 공간분해능(Spatial Resolution)은 작은 크기의 대조도 차가 높은 물질이 인접하여 있을 때의 식별능력을 말하며 저자가 실험한 내용은 각각의 Pitch의 변화에 따른 Phantom 영상의 공간분해능이 영상 평가 기준에 만족하는지를 실험하였다.

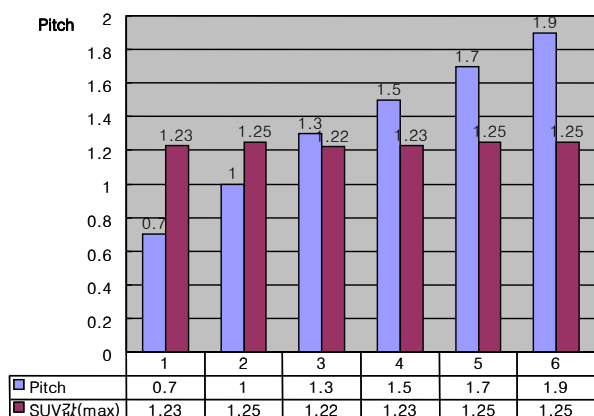


Fig. 8. Pitch에 따른 SUV Max값의 변화.

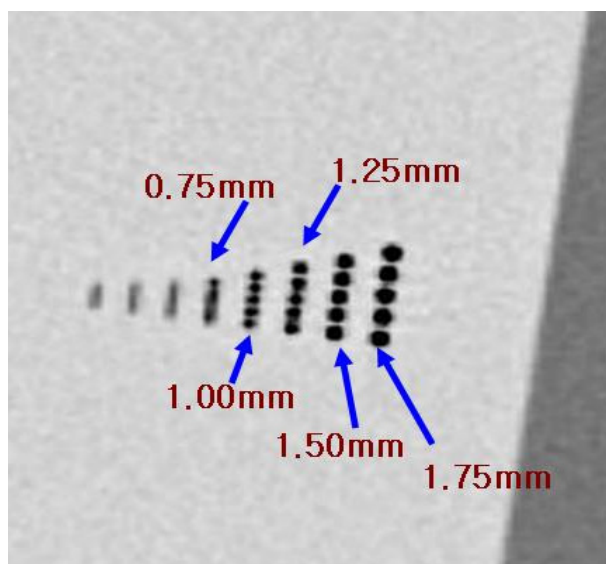


Fig. 9. 공간 분해능 평가 hole size.

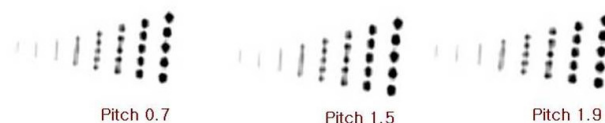


Fig. 10. Pitch 0.7, 1.5, 1.9의 공간 해상도 비교.

측정 대상은 영상의 중앙에 있는 hole의 크기(0.4, 0.5, 0.6, 0.75, 1.0, 1.25, 1.5, 1.75 mm)를 어디까지 식별이 가능한지를 평가하는 것이며 Acceptance limit는 1.0 mm이다(Fig. 9).

각각의 영상들의 Window setting은 평가 조건에 따라 Width: 300~400, Level: -200~-100으로 설정하여 평가하였다(본 연구에서는 Width: 350, Level: -150으로 설정).

AAPM Phantom을 이용한 실험에서 0.7~1.9까지 6단계로 Pitch를 변화 시키며 영상을 얻었으며 영상을 평가한 결과 모두 1.0 mm의 Hole을 모두 구분할 수 있었으며 Pitch 변화가 영상에 크게 영향을 미치지 않을 것으로 나타났다(Fig. 10).

고 찰

전통적 CT에서는 침상속도와 피치가 없으나, 나선형 CT에서는 집속 collimation을 포함한 세 가지 요인 모두를 같이 고려해야 한다. 이들은 상호 연계되어 있어서 분리된 하나의 논의로 환자선량과 스캔 움직임을 특성화하는 데 충분하지 않다.

예를 들면, 피치는 집속(슬라이스 두께)에 상대적으로 1회 회전 당 침상먹임(mm)이다.

만약 피치가 1로 주어지면, 그것은 10 mm 집속에 대해 10 mm/회전으로 달성될 수 있다. 360° 회전 시간이 1초라면, 침상속도(회전 당 침상먹임)는 10 mm/초가 된다. 침상속도를 바꾸지 않고 5 mm 집속으로 바꾼다면, 피치는 2가 된다. 피치 변화는 상황에 따라 영상품질에 다른 효과를 낸다. 가상 대장내시경 virtual CT coloscopy과 같은 일부 상황에서는, 영상품질과 재구성 인공물들은 빔 집속보다 피치 값에 더 적게 영향을 받는다. 따라서 영상품질 관점에서는 좁은 빔 집속과 함께 더 큰 피치를 선호할 수 있다. 그러나 얇은 부위 CT(작은 집속)를 필요로 하고 피치 증가가 검출성에 영향을 줄 수 있는 폐의 작은 소결절에 대해서는 상황이 다르다. 더 얇은 영역을 사용하면서 피치 1을 유지하는 것은 더 많은 방사선량을 초래한다.

일정한 X선관 회전에 대해 피치를 증가할 수 있는 방법으로는 1) 침상 이동속도의 증가 또는 2) 집속의 감소 두 가지가 있다. 두 방법은 다음과 같이 다른 효과를 낸다.

(a) 주어진 집속에서 침상속도를 증가시켜 피치를 높이면 일정한 mA에 대해 스캔된 부피에 더 낮은 방사선량(더 낮은 유효 노출시간에 기인한)과 폐의 작은 소결절과 같은 병소의 검출 감소로 연계된다.

(b) 집속을 감소시키는 것(주어진 침상속도에서)은 스캔 시간을 변화시키지 않으며, 일정한 mA에서 스캔된 부피의 방사선량을 낮추고 그리고 신호대잡음비를 감소시킨다. 그러나 폐의 작은 소결절의 검출은 mA와 신호대잡음비로 인해 잠재적으로 향상된다.

인접한 나선형 CT 스캔(피치 1)은 같은 기술인자로 획득하는 인접한 축 방향 스캔과 대략적으로 같은 방사선량을 준다. 주어진 집속에서 인접하지 않는 스캔(1<피치)에서는, 구체적으로 1/피치에 따라, 피치가 증가함으로써 방사선량은 감소한다. 주어진 침상속도 10 mm/s에서, 10 mm 집속 스캔(피치 1)으로부터 방사선량은 대략 5 mm 집속 스캔(피치 2)의 두 배이다. 주어진 집속에서, 침상속도의 증가(피치의 증가)는 1/피치에 따라 방사선량을 감소시킨다. 예를 들면 10 mm와 피치 1(10 mm/s)로부터 10 mm와 피치 2(20 mm/s)로 변경하는 것은 50%의 방사선량을 감소시킨다. 매우 작은 슬라이스 두께에서는, 방사선 단면폭 profile width(반치폭)은 명목 슬라이스 두께보다 클 것이고 이로써 인접한 슬라이스들 사이에 중첩을 증가시킬 것이다(더 두꺼운 슬라이스와 비교하여 방사선량의 순 변화가 없음). 얇은 집속이 정상적으로 더 작은 방사선량을 줄 것으로 기대되지만, 근접한 스캔 사이의 더 큰 중첩 정도가 이러한 예상된 감소를 상쇄하여 결국 집속으로 인해 흡수선량에는 별 변화가 없을 것이다. 따라서, 방사선사는 관전류(mA), 스캔 길이, 슬라이스 두께(집속), 360도 당 피치 그리고 인가전압(kVp)을 적절히 조절하고 장비의 특성에 맞는 설정치들은 각개 환자의 신체 부위와 체격에 따라 맞춤으로 해야 할 것이라고 사료되며 프로토콜을 만들 때 환자 변수를 포함하도록 하고 의학물리사와 의료진과 협동하여 수립되어야 할 것이다.

결 론

이 실험을 통해 우리가 얻을 수 있었던 결론은

1. PET/CT의 2slice CT장비에서도 Pitch의 변화에 따라 방사선량이 감소를 확인하였다.
2. Pitch 증가에 따른 PET의 SUV값이 변화가 거의 없었다.
3. Pitch 증가에 따른 CT 영상의 변화도 거의 없었다.
4. PET/CT를 사용하는 병원에서는 영상의 왜곡이 없고

PET SUV값에 영향을 주지 않는 범위 내에서 각 병원에 맞는 Pitch값을 찾아내서 검사를 하는 것이 환자의 피폭을 경감할 수 있는 것이라 사료된다.

Multi-detector를 가진 CT scanner인 경우에 모두 해당 될 것이라 생각되며 향후 다른 장비에서도 이와 같은 실험이 필요하다 하겠다.

이 연구를 하면서 Multi slice CT scanner의 월등한 이미지 품질, 검사시간 등을 제공하는 장비에 증가에 비해 그 기계적 특성은 잘 알지 못하는 것은 아닌지 생각해 보는 계기가 되었다. 또한 모든 검사를 시행함에 있어서 그 행위가 환자에게 신뢰를 주기 위해서는 담당자들은 그들이 선택한 장비의 기계적 특성을 철저히 이해하여야 하고 깨끗한 검사 환경과 검사에 대한 정확한 설명을 통해서 환자로 하여금 자신이 받은 검사가 얼마나 중요하고 환자에게 분명한 이득이 있다는 것을 느낄 수 있도록 해야 할 것이다.

요 약

목적 : 환자의 피폭선량 감소를 위해 PET/CT검사 시 Pitch를 조절하여 환자의 피폭선량을 줄일 수 있는 방법에 대해 고려해 보고 Pitch 조절이 CT 영상과 PET의 SUV값에 영향을 주어 변화가 있는지를 살펴 보고자 한다.

방법 : Siemens사의 Biograph Positron Emission Tomography (PET) Scanner (CT 형식: TRCT-240-130 (WCT-240-130)을 사용하였다. 환자의 피폭선량 평가로는 CT 조사선량 측정기인 PTW-DIADOS 11003/1383를 사용하여 선량을 측정하였고 Pitch 조절이 CT 영상에 미치는 영향을 알아보기 위해 AAPM Standard Phantom을 이용하여 pitch 변화에 따른 CT 영상의 공간 분해능을 측정하여 비교하였다. 그리고, PET source consists of a solid radioactive cylinder phantom을 사용하여 Pitch 변화에 따른 Fusion 영상의 SUV값을 산출하여 PET/CT 영상에서 SUV값이 변화하였는지 확인하였다.

결과 : 2slice CT scanner에서는 Pitch가 0.7~1.3까지는 방사선량이 크게 떨어지나 1.5~1.9까지는 방사선량의 감소가 작아졌으며 Pitch값이 커질수록 환자의 피폭선량이 작아지는 것을 알 수 있었다. 그리고 Pitch값의 증가에 따른 SUV값의 변화는 거의 없었으며, Pitch값이 PET SUV값에 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있었다. Pitch의 변화가 CT 영상에도 크게 영향을 주지 않는 것을 알 수 있었다.

결론 : 위의 결과로 PET/CT를 사용하는 병원은 영상의 왜곡이 없고 PET SUV값에 영향을 주지 않는 범위 내에서 각

병원에 맞는 Pitch값을 찾아서 환자의 피폭 경감을 위해 노력해야 할 것이다. 그리고 Multi-detector를 가진 CT scanner인 경우에 모두 해당 될 것이라 생각되며 향후 다른 장비에서도 이와 같은 실험이 필요하다 하겠다.

KNOWLEDGE

이 연구를 위해 선량 측정장비를 빌려주신 Siemens 이정환 부장님께 감사의 인사를 전합니다.

REFERENCES

1. Crawford CR, King KF. Computed tomography scanning with simultaneous patient translation. *Med Phys* 1990;17:967-982.
2. Hu H. Multi-slice helical CT: scan and reconstruction. *Med Phys* 1999;26:5-18.
3. Klingenberg-Regn K, Schaller S, Flohr T, Ohnesorge B, Kopp AF, Baum U. Subsecond multi-slice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol* 1999;31:110-124.
4. Clarke J, Cranley K, Robinson J, Smith PH, Workman A. Application of draft European Commission reference levels to a regional CT dose survey. *Br J Radiol* 2000;73:43-50.
5. Hidajat N, Wolf M, Nunnemann A, et al. Survey of conventional and spiral CT doses. *Radiology* 2001;218:395-401.
6. Silverman PM, Kalender WA, Hazle JD. Common terminology for single and multislice helical CT. (commentary) *AJR* 2001;176:1135-1136.
7. Kalender WA, Wolf H, Suess C, Gies M, Greess H, Bautz WA. Dose reduction in CT by on-line tube current control: principles and validation on phantoms and cadavers. *Eur Radiol* 1999;9:323-328.
8. Donnelly LF, Emery KH, Brody AS, et al. Minimizing radiation dose for pediatric body applications of single-detector helical CT: strategies at a large children's hospital. *AJR* 2001;176:303-306.
9. 김영설, 김덕윤. PET의 달인되기. 군자 출판사. 2007;8-39.
10. 고창순. 핵의학. 고려의학. 1997;167-192.