

Original Article

PET/CT에서 Pitch와 Rotation Time의 변화를 이용한 능동적인 프로토콜 사용에 대한 연구

삼성서울병원 핵의학과

장익순 · 객인석 · 박선명 · 최춘기 · 이 혁 · 김수영 · 최성욱

A Study on the Use of Active Protocol Using the Change of Pitch and Rotation Time in PET/CT

Eui Sun Jang, In Suk Kwak, Sun Myung Park, Choon Ki Choi, Hyuk Lee, Soo Young Kim and Sung Wook Choi

Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, Seoul, Korea

Purpose: The Change of CT exposure condition have a effect on image quality and patient exposure dose. In this study, we evaluated effect CT image quality and SUV when CT parameters (Pitch, Rotation time) were changed. **Materials and Methods:** Discovery Ste (GE, USA) was used as a PET/CT scanner. Using GE QA Phantom and AAPM CT Performance Phantom for evaluate Noise of CT image. Images are acquired by using 24 combinations that four stages pitch (0.562, 0.938, 1.375, 1.75:1) and six stages X-ray tube rotation time (0.5s-1.0s). PET images are acquired using 1994 NEMA PET Phantom (^{18}F -FDG 5.3 kBq/mL, 2.5 min/frame). For noise test, noise are evaluated by standard deviation of each image's CT numbers. And then we used expectation noise according to change of DLP (Dose Length Product) to experimental noise ratio for index of effectiveness. For spatial resolution test, we confirmed that it is possible to identify to 1.0 mm size of the holes at the AAPM CT Performance Phantom. Finally we evaluated each 24 image's SUV. **Results:** Noise efficiency were 1.00, 1.03, 1.01, 0.96 and 1.00, 1.04, 1.02, 0.97 when pitch changes at the QA Phantom and AAPM Phantom. In case of X-ray tube rotation time changes, 0.99, 1.02, 1.00, 1.00, 0.99 and 1.01, 1.01, 0.99, 1.01, 1.01, 1.01 at the QA Phantom and AAPM Phantom. We could identify 1.0 mm size of the holes all 24 images. Also, there were no significant change of SUV and all image's average SUV were 1.1. **Conclusion:** 1.75:1 pitch is the most effective value at the CT image evaluation according to pitch change and It doesn't affect to the spatial resolution and SUV. However, the change of rotation time doesn't affect anything. So, we recommend to use the effective pitch like 1.75:1 and adequate X-ray tube rotation time according to patient size. (Korean J Nucl Med Technol 2013;17(2):67-71)

Key Words : Pitch, X-ray tube rotation time, SUV, Noise, Resolution

서 론

PET/CT는 CT (computed tomography)를 이용한 감쇠 보정(attenuation correction, AC)을 통해 보다 정확한 양전자방

출단층촬영(positron emission tomography, PET)영상을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 Fusion영상에서 해부학적 영상을 제공함에 따라 암의 조기 발견 및 전이 여부의 판별, 정확한 위치의 판별에 효과적인 검사로 많이 사용되고 있다.¹⁾ 하지만 CT를 이용함에 따라 방사성동위원소에 의한 피폭뿐만 아니라 CT에 의한 피폭까지 더해져 환자피폭에 대한 우려와 관심이 높아지고 있으며 환자 피폭선량을 줄이기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다.²⁾ 이에 본 연구는 X-선의 노출시간을 변화시켜 CT영상의 질에 영향을 미치는 매개변수인 Pitch와 X-선관 회전시간(X-ray tube rotation time)변화에 따른 선량

• Received: October 8, 2013. Accepted: November 2, 2013.
• Corresponding author : Eui Sun Jang
Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center, 50 Ilwon-dong, Gangnam-gu, Seoul 135-701, Korea
Tel: +82-2-3410-2637, Fax: +82-2-3410-2639
E-mail: rio1222@naver.com

대비 CT영상의 질과 이로 인해 PET상에서 표준섭취계수 (standardized uptake value, SUV)에 미치는 영향을 비교 평가하여 가능한 한 적은 선량으로 최적의 영상을 얻을 수 있는 효율적인 프로토콜을 사용하는데 유용한 조건을 알아보고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 실험장비 및 재료

이 실험에 사용한 장비는 Discovery STe 16 slice PET/CT (GE Healthcare, USA)이고(Fig. 1), 사용된 Phantom은 CT 영상 평가를 위하여 QA Phantom (GE Healthcare, USA) (Fig. 2)과 AAPM (The American Association of Physicists in Medicine) CT Performance Phantom (Fig. 3)을 사용하였고, PET영상 평가를 위하여 NEMA 1994 PET Phantom (Fig. 4)

을 사용하였다.

2. 실험 방법

CT영상을 획득하기 위하여 각각의 Phantom으로 140 kVp, 30 mA의 고정조건에 Pitch는 0.562:1, 0.938:1, 1.375:1, 1.75:1로 4단계, X-선관 회전시간(X-ray tube rotation time)은 0.5s에서 1.0s까지 0.1초씩 증가시켜 6단계로 나누어 총 24개 조합으로 노출시간을 변경하여 획득한 영상을 Standard kernel, DFOV 50 cm으로 재구성한 영상으로 영상잡음(Noise), 해상력 (Resolution), 표준섭취계수(Standardized Uptake Value, SUV)를 측정하였다.

1) 영상잡음(Noise)

증류수를 가득채운 QA Phantom과 AAPM Phantom을 이용하여 24개의 조합으로 획득한 영상의 6시방향 1/4 지점에



Fig. 1. The experiments were performed by Discovery STe 16 slice PET/CT scanner.

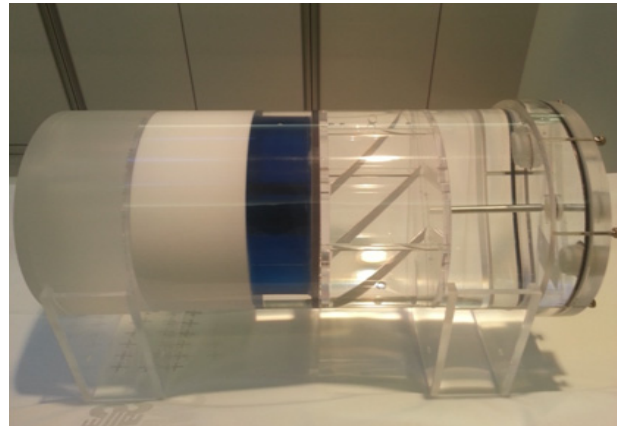


Fig. 3. AAPM CT Performance Phantom was used for this study.

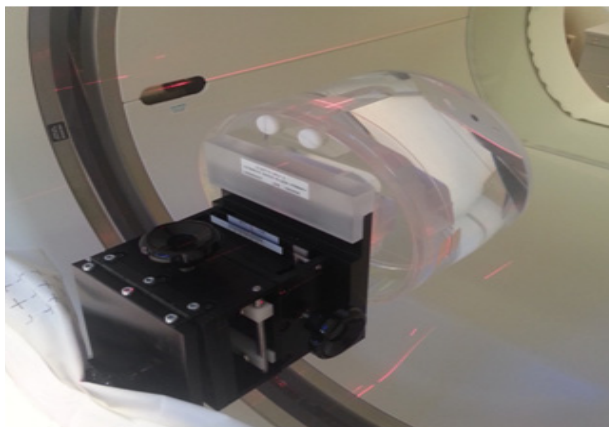


Fig. 2. QA Phantom was used for this study.

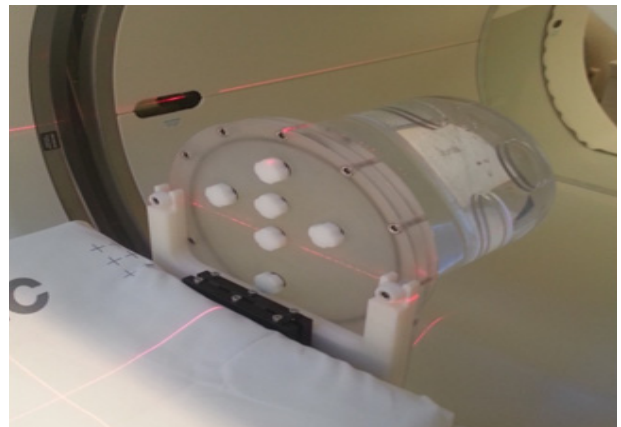


Fig. 4. NEMA1994 PET Phantom was used for SUV evaluation.

가로, 세로 4 cm의 사각형 ROI (region of interest)를 그려 CT Number의 표준편차(standard deviation, SD)로 영상잡음을 측정하였다(Fig. 5). 선량은 DLP (dose length product)를 이용하였으며 선량대비 영상의 질의 비교평가를 위하여 다음과 같은 식으로 선량에 따른 영상잡음의 예측값을 구하고 실험을 통하여 측정된 영상잡음의 실측값에 대한 비를 계산하여 24개의 조합에 대한 선량대비 영상잡음 비를 구하였다.

$$SD \propto \sqrt{\frac{1}{W^3 DT}}$$

영상잡음으로 이용된 표준편차는 픽셀크기(W)의 3/2승에 반비례하고 선량(D)과 슬라이스 두께(T)의 1/2승에 반비례

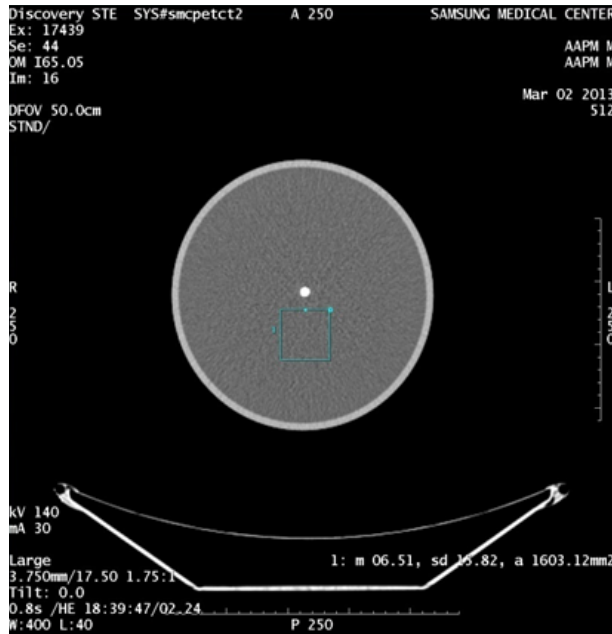


Fig. 5. We made square ROI for Noise test.

함을 알 수 있다. 즉 선량(mAs)을 4배로 증가시키면 영상잡음은 절반으로 줄어들며, 슬라이스 두께를 1/2로 얇게 하면 영상잡음 레벨은 1.4배 증가된다.³⁾

2) 해상력(Resolution)

증류수를 가득 채운 AAPM CT performance phantom을 이용하여 영상잡음 측정시와 동일한 조건으로 영상을 획득하였고, Standard kernel을 이용하여 재구성 후 window width 400, level-100으로 설정하여 공간분해능 측정용 블록의 중앙부에서 작은 구멍들이 1.0 mm까지 식별이 가능한지 육안으로 확인하였다.

3) 표준섭취계수(SUV)

¹⁸F-FDG 5.3 kBq/mL가 채워진 1994 NEMA PET Phantom을 이용하여 24개의 조합으로 CT투과촬영을 통한 감쇠보정 영상을 획득한 후 프레임당 2분 30초의 방출영상을 획득하였다. 획득된 방출영상은 반복재구성법 반복횟수 2회, 부분집합수 20, 매트릭스 크기 128×128, Z축 표준필터, DFOV 50 cm, 후 필터는 4.29 반치폭(mm)의 조건을 적용하여 영상을 재구성하여 장비 자체 프로그램인 Dynamic VUE를 이용하여 SUV를 측정하였다.

결 과

1. 영상잡음 평가

QA Phantom에서 Pitch가 0.562:1, 0.938:1, 1.375:1, 1.75:1로 변화할 때 10회의 실험에 대한 평균을 계산한 선량대비 영상잡음 효과는 1.00, 1.03, 1.01, 0.96로 나타났으며, X-선관 회전시간 증가에 따른 경우 0.99, 1.02, 1.00, 0.99, 0.99로 나타났다(Table. 1). AAPM Phantom에서는 Pitch변화에 따라

Table 1. Noise effectiveness in QA Phantom test

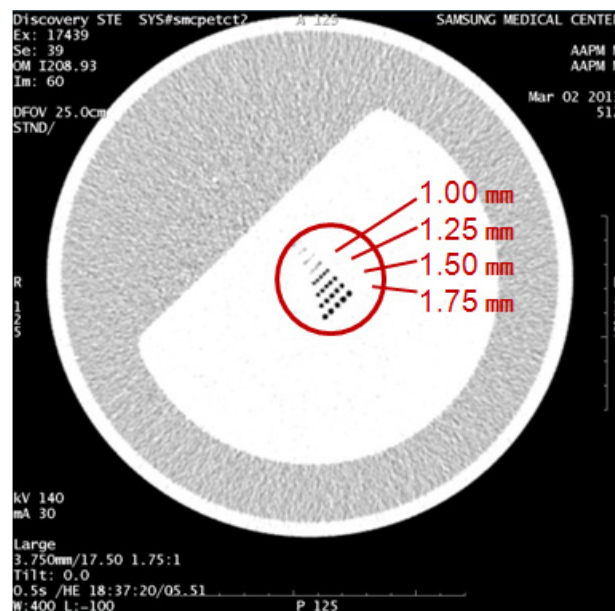
Pitch	0.562:1	0.938:1	1.375:1	1.75:1	Average
Rotation time (sec)					
0.5	1.00	1.03	1.01	0.96	1.00
0.6	0.98	1.04	1.02	0.96	1.00
0.7	1.00	1.04	0.99	0.94	0.99
0.8	1.00	1.01	1.02	0.96	1.00
0.9	0.96	1.03	1.02	0.96	0.99
1.0	0.96	1.01	0.98	0.95	0.89
Avrage	0.98	1.03	1.01	0.96	

Noise effectiveness = NoiseEXPERIMENTAL to NoiseEXPECTATION ratio.

Table 2. Noise effectiveness in AAPM CT Performance Phantom test

Pitch	0.562:1	0.938:1	1.375:1	1.75:1	Average
Rotation time (sec)					
0.5	1.01	1.05	1.02	0.98	1.01
0.6	1.03	1.04	1.02	0.97	1.01
0.7	0.98	1.02	1.02	0.96	0.99
0.8	0.99	1.05	1.00	0.99	1.01
0.9	1.01	1.03	1.03	0.96	1.01
1.0	0.97	1.06	1.04	0.98	1.01
Average	1.0	1.04	1.02	0.97	

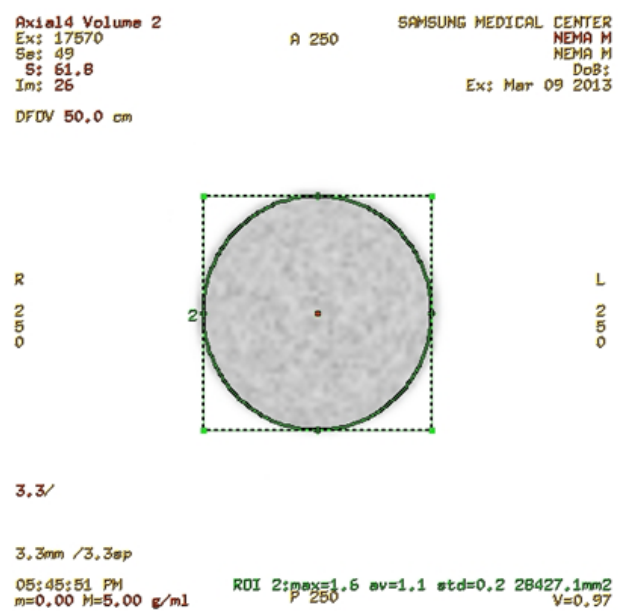
Noise effectiveness = Noise_{EXPERIMENTAL} to Noise_{EXPECTATION} ratio.

**Fig. 6.** The reconstruction CT images were estimated for spatial resolution.

1.00, 1.04, 1.02, 0.97로 나타났으며, X-선관 회전시간 증가에 따라서는 1.01, 1.01, 0.99, 1.01, 1.01, 1.01 (Table. 2)로 SPSS Ver. 18을 이용하여 상관관계를 분석한 결과 X-선관 회전시간 변화에 따른 선량대비 영상잡음 비는 피어슨 상관계수 -0.059, 유의확률 0.863으로 상관관계가 매우 낮은 것으로 나타났다.

2. 해상력 평가

24개의 각 조합으로 획득한 영상을 모니터로부터 50 cm 이상 떨어져서 경력 5년 이상의 숙련된 방사선사가 육안으로 평가한 결과 모든 조합에서 1.0 mm까지 식별 가능하였다 (Fig. 6).

**Fig. 7.** The reconstruction PET images were estimated for SUV.

3. SUV평가

1994 NEMA PET Phantom을 통하여 재구성된 영상으로 모든 조합에서 평균 SUV를 Dynamic VUE를 이용하여 측정한 결과, 모든 조합에서 1.1로 동일한 값을 나타내었다(Fig. 7).

결론

선량이 증가하게 되면 영상의 질은 좋아지지만 환자가 받는 피폭선량은 증가하게 된다. 따라서 정확한 진단을 위한 최소한의 화질을 유지하면서 가능한 적은 선량으로 검사를 하는 것이 무엇보다 중요해지고 있다. CT선량을 줄이기 위하여 X-선관이 한번 회전하는 동안에 테이블이 진행되는 거

리를 의미하는 Pitch와 X-선관회전시간을 변화시킬 때 영상의 질과 선량의 관계에 관한 실험을 진행하였다. 본 실험에서 Pitch 변화에 따른 CT 영상 평가에서 1.75:1을 적용 시 선량대비 가장 적은 영상잡음 효과를 보이며 공간분해능과 SUV에는 영향을 미치지 않았다. 그러나 회전시간 변화가 영상에 미치는 영향에는 유의한 차이가 없음을 알 수 있다. 과거의 SDCT (single detector computed tomography)에서는 Pitch의 증가에 따라 슬라이스 두께가 현저히 증가하고 helical artifact가 증가되며 Z-축 분해능이 감소하였지만 현재의 MDCT의 경우 non-linear spiral weighting 기법과 kernel 등을 사용하여 Pitch가 증가하여도 기하학적 왜곡현상이 없으며 Z-축 분해능의 감소가 없게 되었다. 따라서 결과에서와 같이 선량대비 영상잡음이 적은 Pitch를 사용하고 환자의 체격에 따른 적절한 X-선관 회전시간을 이용한다면 환자의 피폭선량을 줄이면서 최적의 화질을 얻을 수 있는 프로토콜을 구성하는데 도움이 될 것이라 생각되며 이번 실험이 다양한 제조사의 장비를 통한 실험이 아닌 한 제조사의 장비에만 국한되어 실험이 이루어진 한계점이 있어 각 제조사에 따른 실험이 추가적으로 필요할 것으로 생각된다.

요 약

PET/CT검사에서 CT촬영조건의 변화는 영상의 화질 및 환자가 받는 피폭선량에 영향을 미친다. 본 연구는 CT 매개 변수 중 Pitch와 X-선관 회전시간 변화에 따른 선량대비 CT 영상의 질과 이로 인해 PET상에서 SUV에 미치는 영향을 비교 평가하고자 하였다.

Discovery STe PET/CT 장비를 이용하여 영상을 획득하였다. QA Phantom과 AAPM Phantom을 이용한 CT 영상 획득 시 Pitch는 0.562, 0.938, 1.375, 1.75:1로 4단계, X-선관 회전시간은 0.5에서 1.0까지 0.1초씩 증가시켜 6단계로 나누어 총 24개 조합을 적용한 영상을 각각 획득하였다. PET 영상은 ^{18}F -FDG 5.3 kBq/mL가 채워진 1994 NEMA PET Phantom을 이용하여 프레임당 2분 30초의 방출영상을 획득하였다.

각 조합의 CT 영상에 관심영역을 설정하고 CT number의 표준편차를 측정하였다. 동일한 영상에서 DLP변화에 따른 영상잡음의 예측값을 계산하여 예측값 대비 실측값의 비율을 구해 선량대비 영상잡음 효과를 비교하는 척도로 사용하였다. AAPM Phantom 영상에서 1.0 mm까지 식별이 가능하지 확인하였다. NEMA PET Phantom의 방출영상에 관심영역을 설정하고 SUV를 비교 평가하였다.

Pitch가 0.562, 0.938, 1.375, 1.75:1로 변화할 때 영상잡음 효과는 QA Phantom에서 1.00, 1.03, 1.01, 0.96, AAPM Phantom에서 1.00, 1.04, 1.02, 0.97로 측정되었다. 회전시간의 증가에 따른 경우 QA Phantom에서 0.99, 1.02, 1.00, 1.00, 0.99, 0.99 이었고, AAPM Phantom에서 1.01, 1.01, 0.99, 1.01, 1.01, 1.01로 SPSS Ver. 18을 이용하여 상관관계를 분석한 결과 피어슨 상관관계수는 -0.059로 나타났다. 공간분해능에 대한 평가는 24개의 조합 모두에서 1.0 mm까지 육안으로 구별이 가능하였다. SUV의 경우 평균 SUV는 모든 조합에서 1.1로 모두 동일한 값을 나타내었다.

Pitch 변화에 따른 CT 영상 평가에서 1.75:1을 적용 시 선량대비 가장 적은 영상잡음 효과를 보이며 공간분해능과 SUV에는 영향을 미치지 않는다. 그러나 회전시간 변화가 영상에 미치는 영향에는 유의한 차이가 없음을 알 수 있다. 결과에서와 같이 각 장비에 따른 선량대비 영상잡음이 적은 Pitch를 사용하고 환자의 체격에 따른 적절한 X-선관 회전시간을 이용한다면 환자의 피폭선량을 줄이면서 최적의 화질을 얻을 수 있는 프로토콜을 구성하는데 도움이 될 것이라 사료된다.

REFERENCES

1. Adam M Alessio, Paul E Kinahan, Vivek Manchanda. Weight-based, low-dose pediatric whole-body pet/ct protocols. J Nucl Med 2009;50:1570-1578.
2. Mannudeep K, Robert A. Reducing radiation dose in emergency computed tomography with automatic exposure control techniques. Emergency Radiology 2005;11:265-279.
3. 김문찬. 최신 CT영상기술학. 청구문화사. 2007:340-345.