

PET/CT 검사에서 환자체형에 따른 적정검사 프로토콜에 관한 고찰

연세의료원 세브란스병원 핵의학과¹ · 신구대학교 방사선과²

조석원¹ · 함준철¹ · 강천구¹ · 반영각¹ · 이승재¹ · 임한상¹ · 이창호¹ · 박훈희²

Study to Protocol of PET Acquisition Time for Patient Body Type in PET/CT

Seok Won Cho¹, Joon-Chul Ham¹, Chun Goo Kang¹, Young Kag Bahn¹, Seung Jae Lee¹, Han Sang Lim¹, Chang-Ho Lee¹ and Hoon-Hee Park²

¹Department of Nuclear Medicine in Yonsei University Health System, Seoul, Korea

²Department of Radiological Technology, Shingu College, Seongnam, Korea

Purpose: Whole-body PET using radiopharmaceutical is one of the imaging study methods for physiological changes of body. High specificity of the PET-CT examination is used to detect an early stages of cancer and metastatic cancer by imaging a physiological changes. During the imaging process, PET image has been characterized by a relatively low image quality due to its low sensitivity and the acquisition of random and scatter coincidences as well as patients figure. Therefore, the image quality as the changes of the acquisition times of patient weight was evaluated in this study. **Materials and Methods:** Thirty patients who presented to our hospital were enrolled. They were divided to normal, overweight, and obese group using BMI index, respectively. The patients with a liver disease and diabetes were excluded. ¹⁸F-FDG was administered to the patients as 5.2 MBq per kg. After an hour from an injection, image acquisition was obtained as List mode in a part of liver in 1 bed. SNR (signal-to-noise ratio) of each groups acquisition times were confirmed from the calculated radiation counts and random fractions. The statistical significance of three groups was confirmed through one-way ANOVA test. On the basis of the counts of 2 minutes on normal group, the SNR of overweight group and obese group were compared. **Results:** The SNR were increased with longer acquisition time in 3 groups. In the condition of same acquisition time, the SNR had a statistical significance ($P<0.05$). The SNR were decreased to the normal, overweight, and obese, respectively. Liver activity had no significance difference on each group and RF had the significance differences ($P<0.05$). On the basis of the counts of 2 minutes on normal group, there were no statistical significance in a three minute acquisitions of overweight group and two minute acquisitions of obese group ($P=0.150$). **Conclusion:** In this study, the administrated amount of radiation dose did not adjust as the change of the patients weight. Increasing the acquisition time when the administration of the same amount of dose was able to get a good result of SNR. When the Based 2 minute on normal group, if overweight and obese case the increased acquisition time of 3 minute was able to obtain a similar SNR. On the basis of the normal group, the acquisition times of overweight and obese group were increased to 3 minutes per bed and the SNR were similar to the normal group. (*Korean J Nucl Med Technol* 2013;17(2):72-77)

Key Words : SNR, BMI

서 론

- Received: August 31, 2013. Accepted: November 2, 2013.
- Corresponding author : **Seok Won Cho**
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, 250 Seongsan-ro, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea
Tel: +82-2-2228-6061, Fax: +82-2-2227-7062
E-mail: sw1224@yuhs.ac

양전자방출단층촬영(Positron Emission Tomography: PET) 검사는 인체의 생리적인 변화를 방사성동위원소를 이용하여 영상화하는 기법의 검사 방법 중 하나이다. 생리적인 변화를 영상화하기 때문에 조기 암 예방과 전이성 암을 예측하는데

특이성이 높다.¹⁾ PET 영상은 영상 획득을 하는 동안 우발동시계수와 산란동시계수의 획득으로 낮은 영상의 질이 특징되어 있으며 환자의 체형에 따라서 영상의 저하가 종종 나타난다. 이러한 현상은 저 체형과 정상체형보다 과 체형이나 비만체형과 고도비만체형에서 PET영상 잡음의 증가로 인해 더욱 심화되어 나타난다.²⁻⁴⁾ 환자의 몸무게 당 적절한 방사성 동위원소 투여와 최적의 영상획득 시간은 높은 PET 영상의 질을 획득하는데 중요하다. 다른 나라에서 투여하는 방사성 동위원소 투여량은 유럽과 미국의 경우 환자 몸무게 당 보통 5-8 MBq을 투여하며 일본은 Japanese Society of Nuclear Medicine 가이드라인에 따라 몸무게 당 2-5 MBq을 투여하고 있다.^{5,6)} PET의 영상 평가는 크게 두 가지 분석방법으로 이루어지고 있다. 첫 번째는 영상에서 직접 영상 잡음의 측정과 관심영역(Region of interest: ROI)에서의 계수의 표준편차로 계산되는 방법이다. 두 번째는 Noise Equivalent Count Rate (NECR)을 이용한 방법이 있다. 참 동시계수와, 우발 동시계수는 PET 영상의 질에 영향을 준다. 총 이벤트에서 참 이벤트의 비율의 비율을 반영 하는 것으로 NECR은 영상 품질의 지표로 사용되고 있다. NECR 측정에 영향을 주는 변수는 주입 선량, 주사 후 스캔 시간, 환자의 무게와 검출기의 종류가 있다. 몇몇 논문에서 주입 선량과 NECR 사이의 관계를 연구하였다.⁷⁻⁹⁾ 이 연구의 대부분은 팬텀 연구에 기초로 하고 있으며 제한점으로 환자의 체형을 반영하지 못한다는 점이다. 최근의 몇몇 논문은 실제 환자 데이터에서 단위 몸무게 당 투여선량과 영상 품질의 상관관계를 연구하였다.^{10,11)} 이전의 발표된 여러 논문에서는 과 체형과 비만체형 환자에게 영상의 질이 저하되어 나타나며 몸무게의 증가에 따라서 증가된 선량이 더 높은 계수보다는 적절한 획득 시간을 통한 정확한 동시계수가 더 중요한 요소가 된다고 언급하고 있다.^{12,13)} 하지만 적정할 획득시간에 대한 기준이 없으며 몸무게 증가에 따른 영상 획득시간 증가에 대한 명확하게 제시하지는 못하고 있다. 본 논문은 동일한 검출기(Bismuth Germanate: BGO)와 3D mode, 영상획득 조건, 단위 몸무게 당 투여 선량을 일정하게 하여 체형에 따른 신호 대 잡음비 변화를 확인하고 영상 획득 시간에 따른 영상의 질을 평가하여 최적의 획득 시간을 알아보려고 하였습니다.

대상 및 방법

1. 환자 정보

본원에 내원한 30명의 환자를 대상으로 하였으며 체질량

지수(Body Mass Index: BMI)를 사용하여 정상 체형, 과 체형, 비만 체형으로 총 3그룹을 나누었다. 정상 체형은 18.5-24.99 이고 과 체형은 25-29.99 그리고 비만체형은 30 이상으로 나누었다. 체질량 지수는 체중(kg) × 신장(m²)으로 계산하였다. 체질량 지수 분류는 세계보건기구(World Health Organization: WHO)에서 정하는 기준으로 설정하였다. 성별은 남성 13명 여성 17명으로 정상 체형은 남성 4명, 여성 6명이고 체중은 58.4±5.5 kg이고 과 체형은 남성 6명, 여성 4명이며 체중은 78.0±7.5 kg이다. 그리고 비만은 남성 3명, 여성 7명으로 체중은 88.0±10 kg이다.

2. 사용 장비

사용 장비는 PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, Milwaukee, USA) 장비를 이용하여 실험을 진행하였다. BGO 크리스탈을 사용하였고, 3D 방법으로 영상을 획득하였다. 해상도는 5.6 mm FWHM을 가지고 있으며, 종축시야는 157 mm이다. CT는 16슬라이스에 최소 절편두께는 1.25 mm이다. PET 영상의 재구성은 VUE Point HD 재구성법을 사용하였으며, Subset 16, Iteration 2를 사용하였다.

3. 영상획득 방법

위장과 간에 질환이 있는 환자와 당뇨가 있는 환자는 대상에서 제외하였다. 검사 전 8시간 금식을 하였으며 혈당이 120 mg/dL 범위 내에 있는지 확인하였다. 환자 몸무게 당 5.2±0.5 MBq을 투여하고 65±5분이 지난 후에 간 부분을 List Mode로 5분 동안 획득하였다. 대기하는 동안 안정실에서 편안한 자세로 누워서 대기를 하였다. 영상 촬영은 간 부분의 신속 경화 현상을 피하기 위해 바로 누운 자세로 손을 머리 위쪽으로 올리도록 하였으며 편안한 호흡을 유도하였다. 간 부분을 List Mode로 1 bed/5 min 을 촬영하였다. 획득한 영상을 1분, 2분, 3분, 4분 그리고 5분으로 나누어 영상을 구성하였으며 각 환자는 CT를 촬영 후 PET 방출 영상을 촬영하였고 CT데이터는 흡수보정으로 사용되었다. 흡수보정에 사용한 CT는 120 kV에 50 mAs를 사용하였다.

4. 분석방법

간의 방사선량을 측정하기 위하여 간 실질에서 가장 큰 우엽에 12.2 cm³-volume의 관심영역을 각 그룹에서 재구성한 1분 영상부터 5분 영상까지 동일한 위치에 설정하였다. 신호

대 잡음비(Signal to noise rate: SNR)를 측정하기 위하여 간 부분을 20회 측정하여 표준편차를 구하였으며 평균 표준화 섭취 계수(Standardized Uptake value: SUV)를 표준편차로 나누어 신호 대 잡음비를 구하였다. 참 동시계수율(True coincident rate)은 $T=P-S-R$ 이며 T는 참 동시계수율, S는 산란 동시계수율(Scatter coincident rate) 그리고 R은 우발 동시계수율(Random coincident rate)이다. 그리고 P는 즉발 동시계수율(Prompt coincident rate)이다. 그리고 우발 동시계수율의 비율을 알아보기 위하여 RF (Random Fraction)를 구하였으며 $RF = R/P \times 100$ 으로 계산되었다. 그룹간의 신호 대 잡음비, RF 값을 측정하였으며 간의 방사선량 변화를 확인하였다. 측정된 값의 정규성과 등분산을 확인하였으며 각 그룹에서 시간에 따른 신호 대 잡음비와 각 획득 시간을 그룹 간 일원배치 분산분석으로 유의성을 확인하였으며 RF의 값은 크루스칼 - 윌리스 검정을 통하여 유의성을 확인하였다.

결 과

1. 간의 방사선량

정상 체형에서 간의 방사선량은 1분, 2분, 3분, 4분, 5분에서 8.78 ± 0.94 , 8.69 ± 0.96 , 8.64 ± 0.98 , 8.57 ± 0.97 그리고 8.55 ± 0.98 이다($P > 0.05$). 과 체형에서 1분, 2분, 3분, 4분, 5분의 간의 방사선량은 8.01 ± 1.37 , 7.91 ± 1.33 , 8.16 ± 1.33 , 8.04 ± 1.40 그리고

7.90 ± 1.36 이다($P > 0.05$). 비만체형에서 1분, 2분, 3분, 4분, 5분의 간의 방사선량은 8.78 ± 1.07 , 8.61 ± 1.01 , 8.63 ± 0.95 , 8.53 ± 0.90 그리고 8.56 ± 0.84 이다($P > 0.05$). 세 그룹 모두 시간이 증가하여도 간의 방사선량은 변화가 없었으며 비슷한 간의 방사선량을 확인할 수 있었다(Fig. 1).

2. 신호 대 잡음비

정상 체형에서 1분, 2분, 3분, 4분, 5분의 신호 대 잡음비는 9.44 ± 0.68 , 14.13 ± 0.52 , 17.03 ± 0.89 , 19.56 ± 1.03 그리고 21.37 ± 1.19 이다. 과 체형에서 1분, 2분, 3분, 4분 그리고 5분의 신호 대 잡음비는 8.51 ± 0.77 , 11.64 ± 0.87 , 14.50 ± 0.94 , 16.84 ± 0.80 그리고 18.97 ± 0.88 이다. 비만 체형에서 1분, 2분, 3분, 4분 그리고

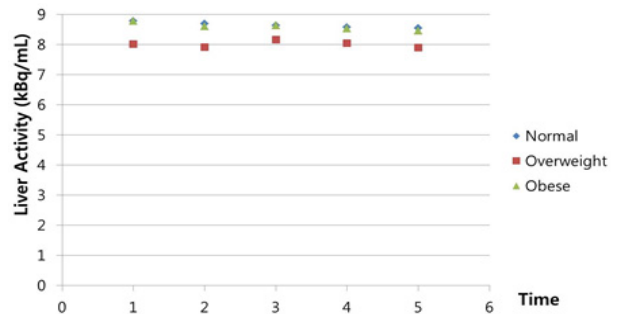


Fig. 1. There was liver activity of three group. Three group were showed similarly liver activity.

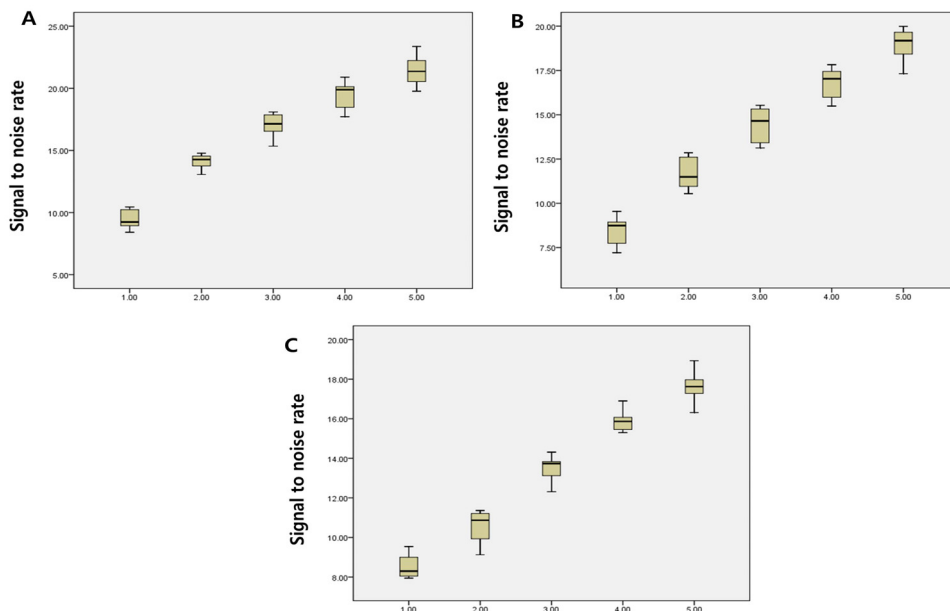


Fig. 2. This is showed Signal to noise rate. Signal to noise rate of Nomal group (A). Signal to noise rate of overweight group (B). Signal to noise rate of obese group (C).

5분의 신호 대 잡음비는 7.74 ± 0.35 , 10.58 ± 0.74 , 13.46 ± 0.67 , 15.67 ± 0.75 그리고 17.61 ± 0.67 이다(Fig. 2).

정상 체형에서 획득시간이 1분보다 5분이 신호 대 잡음비가 높으며 과 체형과 비만 체형에서도 획득시간이 길어질수록 신호 대 잡음비가 증가하고 있다. 또한 정상 체형과 과 체형, 비만체형을 획득시간으로 비교하면 정상 체형이 과 체형과 비만 체형보다 전체적으로 신호 대 잡음비가 높았으며 과 체형이 비만 체형보다 같은 획득 시간에 신호 대 잡음비가 높았다. 정상 체형에서 과 체형, 비만 체형으로 갈수록 신호 대 잡음비가 감소하였으며 획득 시간이 길어질수록 신호 대 잡음비는 증가하였다($P < 0.05$).

3. Random Fraction과 True coincidence rate

RF 값은 체형이 증가하였으며 각 그룹에서 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$). 체형이 증가할수록 참 동시계수율은 감소하였으며 각 그룹에서 유의한 차이를 보였다($P < 0.05$).

정상 체형의 영상 획득시간 2분을 기준으로 과 체형과 비만 체형의 3분의 영상에서 비슷한 신호 대 잡음비를 확인할 수 있었다. 또한 정상 체형의 영상획득 시간 3분을 기준으로 과 체형은 영상획득 시간 4분, 비만 체형은 5분에서 비슷한 신호 대 잡음비를 확인할 수 있었다.

고찰

PET 영상은 환자 체형의 증가에 따라 랜덤과 산란동시계수의 증가로 잡음이 증가하여 영상의 질에 영향을 미치게 된다.^{2,4)} 적절한 환자의 몸무게 당 방사성동위원소의 투여와 최적의 영상 획득시간은 높은 PET 영상의 질을 획득하는데 중요하다. 다른 나라에서 투여하는 FDG 투여량은 유럽과 미국의 경우 환자 몸무게 당 보통 5-8 MBq을 투여하며 일본은 Japanese Society of Nuclear Medicine 가이드라인에 따라 몸무게 당 2-5 MBq을 투여하고 있다.^{5,6)} 하지만 정확한 투여기준과 획득시간에 대한 기준이 없는 것이 사실이다.

본 연구는 몸무게 당 동일한 방사성 동위원소를 투여하여 정상 체형, 과 체형 그리고 비만 체형을 비교하였다. 그리고 시간이 증가하면 신호 대 잡음비가 변화하는 양상을 확인하

였으며 또한 과 체형과 비만 체형에서 정상 체형과 비슷한 영상의 질을 획득하는 스캔시간을 확인하였다. 체중 당 5.2 MBq의 방사성 동위원소를 투여 후에 List mode로 1분부터 5분 동안 영상을 획득하였고 1분, 2분, 3분, 4분 그리고 5분으로 영상을 재구성하였다. 그리고 간에 대해 간의 방사선량과 신호 대 잡음비를 측정하였다. 간은 상대적으로 균일하고 일정한 방사성의약품의 집적이 이루어지는 가장 큰 장기이기 때문에 간을 선택하였다. 또한 간 섭취의 편견을 최소화하기 위하여 간에 질환이 있는 환자는 제외하였다. 참 동시계수율과 우발 동시계수율의 측정 오차를 줄이기 위하여 위장에 질환이 있는 환자도 제외하였다. 또한 간에 대한 영상획득 시야각(Field of view: FOV)은 1 bed로 촬영하였다. 2 bed로 촬영을 진행하였을 경우 중첩으로 인한 신호 대 잡음비의 변화를 최소화하기 위하여 1 bed로 촬영을 진행하였다.¹²⁾ 간의 방사선량은 획득 시간을 증가하여도 특별한 섭취율의 증가가 없었으며 정상 체형, 과 체형 그리고 비만 체형의 세 그룹에서도 유의한 차이가 나타나지 않았다. 획득 시간이 증가하여도 간의 방사선량에는 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있었다. 신호 대 잡음비는 정상 체형에서 획득시간이 1분에서 5분으로 증가하였을 때 약 44.17%의 증가를 보였으며 과 체형에서는 약 44.86%, 비만 체형에서는 약 44.06% 증가하였다. 정상 체형의 영상 획득시간 2분의 신호 대 잡음비는 14.13 ± 0.52 이고 과 체형에서 영상 획득시간이 3분일 경우 14.50 ± 0.94 , 비만 체형에서 영상 획득시간이 3분에서 13.40 ± 0.67 으로 비슷한 신호 대 잡음비를 알 수 있었다. 또한 정상 체형의 영상 획득시간 3분의 신호 대 잡음비는 17.03 ± 0.83 이고 과 체형에서 영상획득 시간이 4분일 경우 16.84 ± 0.80 , 비만 체형에서 영상 획득시간이 5분에서 17.61 ± 0.67 으로 비슷한 신호 대 잡음비를 알 수 있었다. 정상 체형에서 영상 획득시간 2분을 기준으로 하였을 경우 과 체형과 비만 체형에서 영상 획득시간 3분으로 증가하면 비슷한 신호 대 잡음비를 획득할 수 있었다. 또한 정상 체형에서 영상 획득시간을 3분으로 하였을 경우 과 체형은 영상 획득시간을 4분, 비만 체형은 영상 획득시간을 5분으로 증가하면 비슷한 신호 대 잡음비를 획득할 수 있었다. 하지만 정상 체형을 기준으로 과 체형과 비만 체형에 대한 비슷한 획득 시간은 확인할 수 있었지만 정확한 획득시간은 구할 수가 없었다. 체형이 증

Table 1. Random fraction and true coincidence rate of three group

	정상체형	과체형	비만체형	
Random Fraction (RF)	62.54 ± 3.32	67.40 ± 1.43	68.52 ± 1.74	$P < 0.05$
True coincidence rate (kcpc)	243.7 ± 33.4	224.9 ± 17.0	199.5 ± 17.7	$P < 0.05$

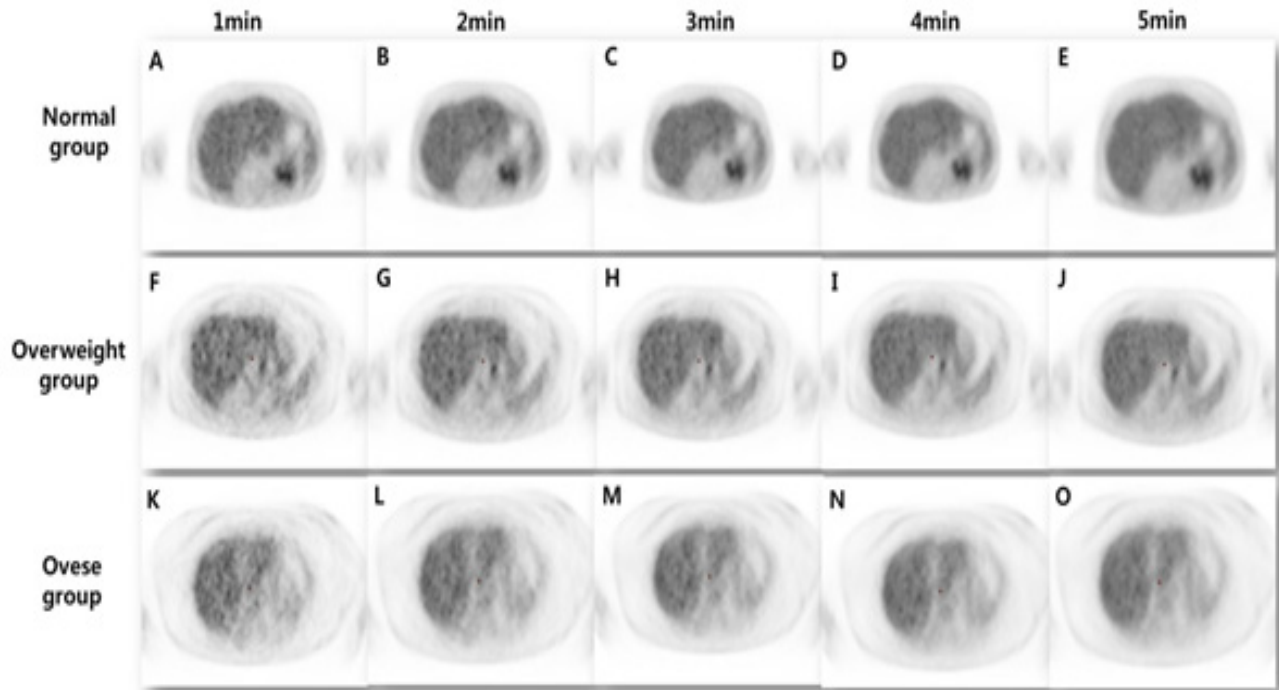


Fig. 3. PET/CT images are each acquisition time of three groups. 1 min acquisition time of each groups (A, F, K). 2 min acquisition time of each groups (B, G, L). 3 min acquisition time of each groups (C, H, M). 4 min acquisition time of each groups (D, I, N). 5 min acquisition time of each groups (E, J, O).

가하면서 산란과 우발 동시계수가 증가하기 때문에 영상의 질에 영향을 미치게 된다. 본 연구에서 체형이 증가하면서 RF의 비율이 증가하는 것을 알 수 있었으며 이로 인해 신호 대 잡음비가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 체형이 증가할수록 우발 동시계수율의 비율은 증가하고 참 동시계수율은 감소하였다. 영상의 질에 영향을 주는 요인으로 검출기의 종류, 획득방식, 재구성 방법, 참 동시계수율, 우발과 산란 동시계수율의 비율 등이 있다. 참 동시계수율이 감소하고 산란과 우발 동시계수율이 증가하면 영상의 질 저하와 신호 대 잡음비에 영향을 준다. 또한 1분부터 5분까지 획득된 영상을 숙련된 방사선사 2명이 비교 분석한 결과 1분에서 3분까지 획득한 영상은 차이가 나타났지만 3분에서 5분까지 획득한 영상은 큰 차이가 나타나지 않았다(Fig. 3).

제한점으로 다른 연부조직(soft tissue)에의 변화를 확인하지 못하고 간에 대한 간의 방사선량과 신호 대 잡음비를 측정하였다. 두 번째로는 호흡으로 생기는 간에 대한 영상 저하이다. 횡격막에 근접한 간 부분은 호흡에 의하여 작은 움직임이 생기며 이로 인해 인공물(Artifact)이 발생할 수 있다. 이러한 움직임에 의한 인공물은 영상에 영향을 미치며 신호 대 잡음비에도 영향을 미칠 수 있다. 또한 2D와 3D 모드를 비교하지 못하였다는 점이다. 2D와 3D 모드에서 참 동시계

수율, 우발 동시계수율 그리고 산란 동시계수율의 비율이 차이가 발생하기 때문에 이에 대한 연구가 부족하였다.

결 론

환자의 체형이 증가하면 우발과 산란 동시계수율의 증가로 영상의 신호 대 잡음비는 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한 영상의 획득시간을 증가하면 영상의 신호 대 잡음비가 증가하고 참 동시계수는 체질량 지수가 증가하면 감소하였다. 정상 그룹 2분의 영상획득 시간을 기준으로 과 체형과 비만 체형에서 3분의 영상획득 시간이 비슷한 신호 대 잡음비를 얻을 수 있었다. 하지만 비슷한 신호 대 잡음비를 확인할 수 있을 뿐 정확한 영상 획득시간은 확인할 수 없었다. 정확한 획득시간은 확인할 수 없었지만 과 체형 경우 정상 체형보다 1.4-1.6배, 비만 체형 경우 정상 체형보다 1.6-1.8배 영상 획득 시간을 증가시켜 준다면 비슷한 영상을 획득할 수 있을 것이라 사료된다. 또한 하나의 장비에 국한되어 적용이 되었으며 연부조직을 배제하고 간의 국소 부위 방사선량과 신호 대 잡음비를 측정하였다. 추후 여러 장비에서의 연구가 필요하며 간 뿐 아니라 다른 장기에서의 연구가 진행되면 더 좋은 연구가 되리라 사료된다.

REFERENCES

1. Fletcher JW, Djulbegovic B, Soares HP, et al. Recommendations on the use of 18F-FDG PET in oncology. *J Nucl Med* 2008; 49:480-508.
2. Halpern BS, Dahlbom M, Quon A, et al. Impact of patient weight and emission scan duration on PET/CT image quality and lesion detectability. *J Nucl Med* 2004;45:797-801.
3. Halpern BS, Dahlbom M, Auerbach MA, et al. Optimizing imaging protocols for overweight and obese patients: a lutetium orthosilicate PET/CT study. *J Nucl Med* 2005;46:603-607.
4. Everaert H, Vanhove C, Lahoutte T, et al. Optimal dose of 18F-FDG required for whole-body PET using an LSO PET camera. *Eur J Nucl Med Imaging* 2003;30:1615-1619.
5. Shankar LK, Hoffman JM, Bacharach S, et al. Consensus recommendations for the use of 18F-FDG PET as an indicator of therapeutic response in patient in National Cancer Institute Trials. *J Nucl Med* 2006;47:1059-1006.
6. The Japanese Society Nuclear Medicine. Guideline for PET imaging by using 18F-FDG manufactured at hospital cyclotron. *Kaku Igaku* 2001;38:131-137.
7. Badawi RD, Adam LE, Zimmerman RE. A simulation-based assessment of the revised NEMA NU-270-cm long test phantom for PET. *IEEE Nuclear Science Symp Conf Record* 2001;3:1466-1470.
8. Daube-Witherspoon ME, et al. 2002 PET performance measurements using the NEMA NU 2-2001 standard. *J Nucl Med* 2002;43:1398-1409.
9. NEMA Standards Publication 2001 Performance Measurements of Positron Emission Tomographs (Rosslyn, VA: National Electrical Manufacturers Association)
10. Danna M, Lecchi M, Bettinardi V, Gilardi M, Stearns C, Lucignani G, Fazio F. Generation of the acquisition-specific NEC (AS-NEC) curves to optimize the injected dose in 3D 18F-FDG whole body PET studies. *IEEE Trans Nucl Sci* 2006;53:86-92.
11. Watson CC, Casey ME, Bendriem B, Carney JP, Townsend DW, Eberl S, Meikle S, DiFilippo FP. Optimizing injected dose in clinical PET by accurately modeling the counting-rate response functions specific to individual patient scans. *J Nucl Med* 2005;46:1825-1834.
12. Tingting Chang, Guoping Chang, Steve Kohlmyer, John W Clark Jr, Eric Rohren, Osama R Mawlawi. Effect of injection dose, BMI and scanner type on NECR and image noise in PET imaging. *Phys MED Biol* 2011;56: 5275-5285.
13. Akio Nagaki, Masahisa Onoguchi, Norikazu Matsutomo. Patient weight-Based acquisition protocols to optimize 18F-FDG PET/CT image quality. *J Nucl Med Technol* 2011;39:72-76.