

Original Article

PET/CT 검사 시 호흡에 따른 영상 왜곡 감소를 위한 엎드린 자세의 유용성 평가

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

이한울 · 김정열 · 최용훈 · 임한상 · 김재삼

Evaluation of the usefulness of prone position for reducing the image distortion due to respiration in PET/CT

Han Wool Lee, Jung Yul Kim, Yong Hoon Choi, Han Sang Lim and Jae Sam Kim

Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, Seoul, Korea

Purpose The motion due to respiration of patients undergoing PET/CT is a cause of artifacts in image and registration error between PET and CT images. The degree of displacement and distortion for tumor, which affects the measurement of Standard Uptake Value (SUV) and lesion volume, is especially higher for tumors that is small or located at the base of lungs. The purpose of this study was to evaluate the usefulness of prone position in the correction of image distortion due to respiration of patients in PET/CT.

Materials and Methods The imaging equipment used in this study was PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA). 20 patients whose lesions were identified in the middle and lower lungs from May to August 2018 were enrolled in this study. After acquiring whole body image in the supine position, additional images of the lesion area were obtained in the prone position with the same conditions. SUVmax, SUVmean, and volume of the lesion were measured for each image, and the displacement of the lesion on PET and CT images were measured, compared, and analyzed.

Results The SUVmax, SUVmean, and volume, and displacement of the lesion were 4.72 ± 2.04 , 3.10 ± 1.38 , 4.68 ± 3.20 , and 4.64 ± 1.88 , respectively for image acquired in the supine position and 5.89 ± 2.42 , 3.97 ± 1.65 , 2.13 ± 1.09 , and 2.24 ± 0.84 , respectively for image acquired in the prone position, indicating that, for all the lesions imaged, SUVmax and SUVmean were higher and volume and displacement were smaller in the images acquired in prone position compared to those acquired in supine one ($p < 0.05$).

Conclusion These results showed that the prone position PET/CT imaging improves the quality of the image by increasing the SUV of the lesion and reducing the respiratory artifacts caused by registration error between PET and CT images. It is considered that the PET/CT imaging in the prone position is helpful in the diagnosis of the disease as an economical and efficient methods that correct registration error for the lesions in basal lung and reduce artifacts.

Key Words PET/CT, Respiration, Prone Position

서 론

폐암 환자의 PET/CT 검사에서 표준 섭취 계수(Standard

Uptake Value; SUV)를 이용하여 수술 후 예측 및 항암 화학요법의 효과를 평가하고 있으며, 방사선 치료의 예후 예측 및 평가를 위해 SUV와 종양 부피 측정이 중요한 지표로 사용되고 그 유용성이 입증되었다.¹⁾ 하지만 폐암 환자의 PET/CT 검사 시 호흡 운동으로 인한 PET과 CT 영상의 불일치와 영상 왜곡이 발생할 수 있으므로 주의가 필요하다. 특히 크기가 작거나 폐의 기저부위, 간의 상부에 위치한 병변일수록 위치 변위와 왜곡의 정도가 크며 PET 영상의 SUV 측정에도 영향을 미치

• Received: February 28, 2019 Accepted: March 2, 2019
• Corresponding author: Han Wool Lee
• 50-1, Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749, Korea
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System
Tel: +82-2-2228-6064, Fax: +82-2-2227-7062
E-mail: LHW3515@yuhs.ac

게 된다.²⁻³⁾ 이전의 연구에 따르면 호흡 운동으로 인한 폐 병변의 SUV의 감소와 종양 부피의 증가와 같은 문제가 발생할 수 있다고 보고되었다.⁴⁾ 이러한 문제점을 극복하고 정량 분석의 정확성을 향상시키기 위해 많은 연구가 진행되어 임상에 활용되고 있다. 대표적으로 4D PET/CT와 Cine CT를 들 수 있다. 4D 촬영의 경우 촬영 중 환자의 일정 호흡에서만 영상을 획득하기 때문에 이러한 불일치를 최소화 줄일 수 있다.⁴⁾ 하지만 영상 획득에 긴 시간이 소요되며 별도의 장비가 필요하다는 단점이 있다. Cine CT의 경우 동영상을 찍듯이 여러 호흡에 대한 영상을 획득하여 평균함으로써 불일치를 줄이는 방법이나 일반적인 저 선량 CT에 비해 높은 방사선량의 조사가 필요하다.⁵⁻⁶⁾ 본 연구에서는 추가적인 장비와 기술 없이 엎드린 자세에서의 PET/CT 촬영이 호흡에 의한 움직임을 보정하고 영상 왜곡의 감소에 유용성이 있는지 알아보려고 한다.

실험재료 및 방법

1. 환자 정보

2018년 3월부터 8월까지 본원에 내원하여 PET/CT 검사를 시행한 환자 중 폐 병변이 발견된 20명(평균 연령 66.5 ± 11.1세, 평균 몸무게 66.4 ± 10.4kg, 평균 키 165.6 ± 6.1cm, 여성 11명, 남성 9명)을 대상으로 하였으며, CT 판독 결과 병변이 폐 중엽과 하엽에 위치해 있고, 병변의 크기가 2cm 미만인 환자를 대상으로 선정하였다(Fig. 1).

2. 영상 획득

영상 획득에 사용된 장비는 PET/CT Discovery 600 (GE healthcare, MI, USA)이다(Fig. 2). ¹⁸F-FDG 3.7 MBq/kg을 정맥 주사 후 약 60분 뒤에 PET/CT 영상을 획득하였다. 먼저 바로 누운 자세에서 120 kV, 60-80 mA, 1.375:1 pitch, 0.5초 gantry rotation의 조건으로 감쇠 보정을 위한 Helical CT (HCT)영상을 촬영하였으며, 2 min/bed로 PET 영상을 촬영하여 전신 영상을 획득하였다. 전신 영상의 획득 후 환자 자세를 엎드린 자세로 변경하였고, 자세의 안정성과 횡격막의 움직임을 효과적으로 제한하기 위해 복부 아래쪽에 쿠션을 위치시켜 동일한 조건으로 병변 부위의 추가 영상을 획득하였다.

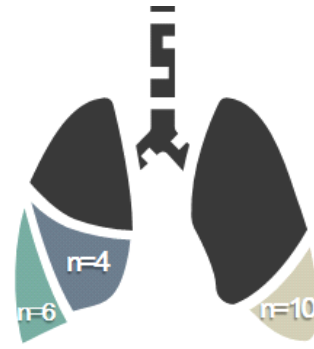


Fig. 1. Lobe distribution of the lesions was measured in the study.



Fig. 2. PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA) was used for data acquisition.

3. 영상 분석

영상 분석에는 Workstation Volume viewer (GE healthcare, MI, USA)를 사용하였다. PET 영상의 각각의 병변에 대해 3D Volume of interest (VOI)를 설정하였고, SUVmax에 대해 50% threshold를 적용하여 결과 값을 획득하였다. 설정된 VOI에서 SUVmax, SUVmax, 병변의 부피를 측정하였고, PET과 CT의 sagittal 영상에서 병변에 각각 관심영역(Region of interest; ROI)을 설정하고 그 중심 간 거리를 측정하여 병소의 위치 변위를 분석하였다(Fig. 3).

통계 분석은 SPSS Version 20.0을 사용하여 정규성 검정 후, SUVmax, SUVmax, 병변의 부피는 비모수적 방법인 Wilcoxon signed rank test를, 병변의 위치 변위는 paired t test를 이용하여 분석하였다. 이 때 p값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다.

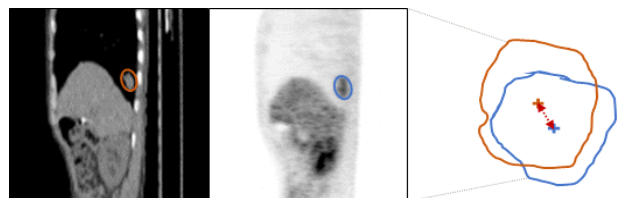


Fig. 3. Misalignment distances between the lesion center in the PET and CT image were then measured.

Table 1. Summary of the quantitative results obtained using the supine and prone position

Patient	SUVmax			SUVmean			Tumor volume (cm ³)			Misalignment distances (mm)		
	Supine	Prone	%diff	Supine	Prone	%diff	Supine	Prone	%diff	Supine	Prone	%diff
1	3.10	3.40	9.7	1.96	2.25	14.8	5.19	2.35	54.7	3.70	1.50	59.5
2	8.52	10.49	23.1	5.73	7.40	29.1	3.80	1.70	55.3	5.50	3.40	38.2
3	4.03	5.00	24.1	2.50	3.25	30.0	13.22	4.74	64.1	2.50	1.70	32.0
4	4.14	5.20	25.6	2.58	3.26	26.4	6.14	3.24	47.2	3.40	3.20	5.9
5	2.88	3.38	17.4	1.91	2.34	22.5	1.50	0.90	40.0	5.60	3.20	42.9
6	6.00	7.02	17.0	4.41	4.46	1.1	0.65	0.50	23.1	2.60	1.50	42.3
7	5.40	6.89	27.6	3.28	4.58	39.6	4.89	2.35	51.9	4.60	3.30	28.3
8	3.95	4.46	12.9	2.50	2.90	16.0	5.84	1.70	70.9	4.80	2.10	56.3
9	3.07	3.43	11.7	1.91	2.39	25.1	1.95	0.90	53.9	4.50	2.50	44.4
10	11.59	13.32	14.9	7.55	8.88	17.6	2.60	1.50	42.3	3.60	1.20	66.7
11	4.53	6.65	46.8	3.21	4.75	48.0	2.99	0.95	68.2	1.20	0.70	41.7
12	4.21	6.29	49.4	2.30	3.47	50.9	12.27	3.24	73.6	9.20	2.10	77.2
13	3.68	4.15	12.8	2.27	2.76	21.6	2.64	1.70	35.6	7.10	1.70	76.1
14	4.98	5.85	17.5	3.15	3.88	23.2	5.54	4.04	27.1	3.50	2.40	31.4
15	3.75	4.75	26.7	2.65	3.74	41.1	1.75	1.35	22.9	3.90	2.20	43.6
16	4.36	4.95	13.5	3.18	3.44	8.2	3.09	2.00	35.3	4.80	3.10	35.4
17	3.77	5.27	39.8	2.65	3.85	45.3	4.56	2.20	51.8	3.60	1.40	61.1
18	4.56	6.34	39.0	2.95	4.24	43.7	5.83	1.89	67.6	4.50	2.60	42.2
19	3.37	4.12	22.3	2.20	2.75	25.0	4.00	3.08	23.0	7.30	3.50	52.1
20	4.52	6.78	50.0	3.04	4.71	54.9	5.19	2.20	57.6	6.80	1.40	79.4
p-value	p<0.001			p<0.001			p<0.001			p<0.001		

결 과

20명의 환자에서 바로 누운 자세에서 보다 엎드린 자세 영상에서 SUVmax, SUVmean이 증가되었고, 병소의 부피와 위치 변위는 감소되어 측정되었다(Table 1)(Fig. 4). 바로 누운 자세 영상에서 병변의 평균값은 SUVmax는 4.72±2.04, SUVmean은 3.10±1.38, 병변 부피는 4.68±3.20 cm³, 위치 변위는 4.64±1.88 mm로 측정되었고, 엎드린 자세 영상에서의 평균값은 SUVmax는 5.89±2.42, SUVmean은 3.97±1.65, 부피는 2.13±1.09 cm³, 위치 변위는 2.24±0.84 mm로 측정되었다(p<0.05). 엎드린 자세 영상에서 SUVmax, SUVmean은 각각 평균 25.1±13.1%, 29.2±14.7%의 증가하였고, 병변 부피와 위치 변위는 각각 평균 48.3±16.6%, 47.8±18.5% 감소하였다. 엎드린 자세 영상에서 병변의 번짐 현상이 줄어들고, PET과 CT 영상의 불일치가 크게 개선되는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 5).

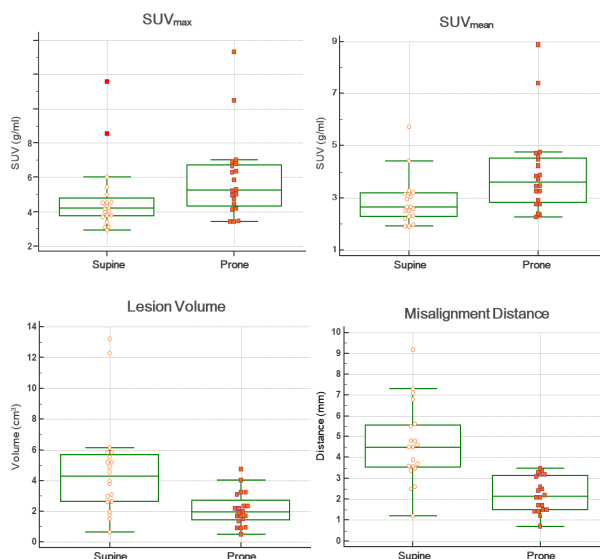


Fig. 4. It is a box plot showing the results of comparing the supine and prone position.

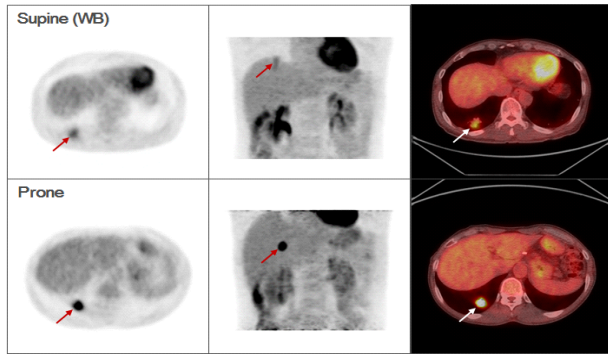


Fig. 5. PET/CT image of the 12th patient showing a reduction in image blurring and a decrease in the misalignment distances between PET and CT.

고찰

PET/CT 검사에서 호흡에 의한 영상의 왜곡과 PET과 CT영상의 불일치는 영상의 정량적 분석에 있어 필수적인 해결 과제이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 연구가 진행되어 임상에 활용되고 있다. 그러나 비교적 높은 방사선량, 추가적인 장치 및 소프트웨어의 도입, 영상 획득 및 후 처리 시간 증가 등의 단점이 있다. 본 연구에서는 호흡을 보정하기 위한 방법으로 엎드린 자세에서의 영상 획득을 진행하였다. 연구 결과 엎드린 자세 영상에서 바로 누운 자세 영상과 비교하여 SUVmax는 최소 9.7%에서 최대 50%, SUVmean은 최소 1.1%에서 최대 54.9%의 증가율을 보였고, 종양 부피는 최소 22.9%에서 최대 73.6%, 위치 변위는 최소 5.9%에서 최대 79.4% 감소되었다. 엎드린 자세의 PET/CT 영상은 바로 누운 자세의 재구성 영상보다 영상의 질 향상, 병변 SUV의 증가, 호흡 인공물의 감소에 효과를 입증할 수 있었다. 또한 2명의 환자에서 바로 누운 자세 PET영상에서 관찰되지 않았던 병변이 엎드린 자세 PET영상에서 관찰된 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 6). 하지만 바로 누운 자세 영상과의 정량적 비교가 불가하여 분석에서는 제외하였다.

환자에게 엎드린 자세를 적용하는 것은 복부 압박 효과를 향상시켜 호흡 운동에 직접적으로 관여하는 횡격막의 상하 움직임을 효과적으로 제한하는 방법이라 생각된다. 하지만 고령의 환자, 중증 환자에게 엎드린 자세를 적용하는 것은 다소 어려움이 따른다. 추후 다양한 보정 기구의 개발이 진행되어 이를 적용한다면 검사의 효율성을 더욱 높일 수 있을 것으로 사료된다.

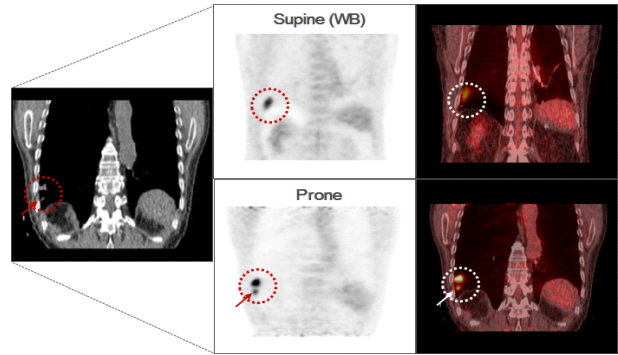


Fig. 6. In 2 patient, lesions that were not detected due to respiratory artifacts in the supine PET images were detected in prone PET images.

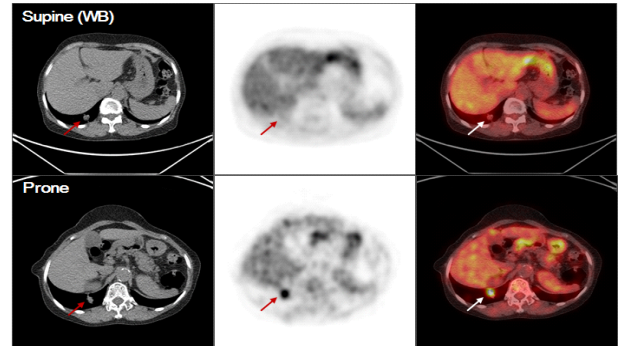


Fig. 6. In 2 patient, lesions that were not detected due to respiratory artifacts in the supine PET images were detected in prone PET images.

결론

폐 기저부에 병변이 위치한 환자에게서 엎드린 자세에서의 추가 영상 획득은 호흡에 따른 병변의 움직임을 효과적으로 제한하여 영상의 불일치를 줄일 수 있었고, SUV가 증가하고 병변 부피는 감소하여 영상의 질이 향상된 것을 확인 할 수 있었다. 기타 호흡 보정 방법에 비해 추가적인 장비의 도입과 기술 없이도 활용이 가능하므로 보다 경제적이고 효율적인 방법으로 진단에 도움을 줄 것이라 사료된다. 또한 추가적인 피폭을 고려하여 병변의 크기가 작거나 병변의 위치가 횡격막과 인접해 있는 경우에 선택적으로 검사를 시행한다면 임상적으로 유용하게 활용될 것으로 생각된다.

요약

PET/CT 검사 시 호흡에 따른 움직임은 영상의 인공물과 PET과 CT영상의 정합 오차를 발생시키는 요인으로 작용된다. 크기가 작거나 폐의 기저 부위에 위치한 종양일수록 호흡으로 인한 위치 변위와 왜곡의 정도가 크며 SUV(Standard Uptake Value)와 병소의 부피 측정에 영향을 미치게 된다. 본

연구는 PET/CT 검사 시 엷드린 자세가 호흡에 따른 영상 왜곡의 보정에 유용성이 있는지 알아보려고 한다. 장비는 PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA)를 사용하였고, 2018년 5월부터 8월까지 폐 증엽과 하엽에 병소가 확인된 20명을 대상으로 하였다. 바로 누운 자세에서 전신 영상을 획득한 후 동일한 조건으로 엷드린 자세에서 병소 부위의 추가 영상을 획득하였다. 각 영상에서 병소의 SUVmax, SUVmean, 부피를 측정하고 PET과 CT영상에서 병소의 위치 변위를 측정하여 비교 분석하였다. 바로 누운 자세 영상에서 병소의 SUVmax는 4.72 ± 2.04 , SUVmean은 3.10 ± 1.38 , 부피는 4.68 ± 3.20 , 위치 변위는 4.64 ± 1.88 로 측정되었고, 엷드린 자세 영상에서 SUVmax는 5.89 ± 2.42 , SUVmean은 3.97 ± 1.65 , 부피는 2.13 ± 1.09 , 위치 변위는 2.24 ± 0.84 로 측정되었다. 엷드린 자세 영상의 모든 병소에서 SUVmax, SUVmean이 높게 나타났고, 병소의 부피와 위치 변위는 낮게 측정되었다($p < 0.05$). 본 연구에서 엷드린 자세의 PET/CT 촬영이 병소의 SUV를 증가시키고 PET과 CT영상의 불일치로 인한 호흡 인공물을 감소 시켜 영상의 질을 향상시킨다는 것을 알 수 있었다. 임상에서 폐 기저부 병소의 불일치를 보정하고 인공물을 줄이기 위한 여러 가지 방법 중 경제적이고 효율적인 방법으로 진단에 도움을 줄 것이라 사료된다.

REFERENCE

1. Nehmeh SA, Erdi YE, Ling CC, Rosenzweig KE, Schoder H, Larson SM, et al. Effect of respiratory gating on quantifying PET images of lung cancer. *J Nucl Med.* 2002;43:876-881.
2. Pan T, Mawiawi O, Nehmeh SA. Attenuation correction of PET images with respiration-averaged CT images in PET/CT. *J Nucl Med.* 2005;46:1481-1487.
3. Pan T, Lee TY, Rietzel E, Chen GTY. 4D-CT imaging of a volume influenced by respiratory motion on multi-slice CT. *Med Phys.* 2004;31:333-340.
4. Yusuf E, Erdi, Sadek A, Nehmeh, Tinsu Pan, Alexander Pevsner, Kenneth E. Rosenzweig, Gikas Mageras, Ellen D. Yorke, Heiko Schoder, Wendy Hsiao, Olivia D. Squire, Phil Vernon, Jonathan B. Ashman, Hassan Mostafavi, Steven M. Larson, and John L. Humm. The CT Motion Quantitation of Lung Lesions and Its Impact on PET-Measured SUVs. *J Nucl Med.* 2004; 45:1287-1292.
5. Nai-Ming Cheng, Chih-Teng Yu, Kung-Chu Ho, Yi-Cheng Wu, Yuan-Chang Liu, Chih-Wei Wang, Tzu-Chen Yen. Respiration-averaged CT for attenuation correction in non-small-cell lung cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2009;36:607-615.
6. Adam M. Alessio, Steve Kohlmyer, Kelley Branch, Grace Chen, James Caldwell, and Paul Kinahan. Cine CT for Attenuation Correction in Cardiac PET/CT. *J Nucl Med.* 2007;48:794-801.