

PET/CT 검사에서 호흡에 따른 인공산물을 줄이기 위한 Average CT의 유용성

서울아산병원 핵의학과

김정선 · 남기표 · 박승용 · 류재광 · 차민경

Evaluation of Average CT to Reduce the Artifact in PET/CT

Jung Sun Kim, Ki Pyo Nam, Seung Yong Park, Jae Kwang Ryu and Min Kyeong Cha

Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center

Purpose: The usefulness of Positron Emission Tomography (PET) images in diagnosis, staging, recurrent and treatment response evaluation has already been known. However, tumors which are small size, located in lower lobe of lung or upper lobe of liver are shown misalignment, distortion and different Standard Uptake Value (SUV) by respiration in PET images. Therefore, if radiotherapy based on normal respiration, it may cause low treatment response or more side effects because targets which had to treat, out of treat range or over dose to normal tissue. The purpose of this study is to evaluate attenuation-correction with Average CT (ACT) for more accuracy SUV measurement and minimize artifact by respiration. **Materials and Methods:** 13 patients, who had tumors which are around the diaphragm, underwent ACT scan after Helical CT (HCT) scan with PET/CT (Discovery DSTE 8; GE Healthcare). We quantified the differences between attenuation corrected image with HCT and attenuation corrected image with ACT in artifact size and maximum SUV (SUV_{max}). Artifacts were evaluated by measurement of the curved photogenic area in the lower thorax of the PET images for all patients. SUV_{max} was measured separately at the primary tumors. Analysis program was Advantage Workstation v4.3 (GE Healthcare). Patients were injected with 7.4 MBq (0.2 mCi) per kg of ^{18}F -FDG and scanned 1 hour after injection. The PET acquisition was 3 minute per bed. **Results:** Significantly lower artifact were observed in PET/ACT images than in PET/HCT images (below-thoracic artifacts caused by under corrected 1.5 ± 3.5 cm vs. 13.4 ± 4.2 cm). Significantly higher SUV_{max} were noted in PET/ACT images than in PET/HCT images in the primary tumor. Compared with PET/HCT images, SUV_{max} in PET/ACT images were higher by $5.3 \pm 3.9\%$ (mean value) tumor. The highest difference was observed in Lower lobe of lung (7.7 to 8.7; 13%). **Conclusion:** Due to its significantly reduced artifacts in lower thoracic, attenuation corrected image with ACT images provided more reliable SUV_{max} and may be helpful in monitoring treatment response. Moreover, ACT can separate upper lobe of liver and lower lobe of lung, it may be helpful in interpretation. ACT will be clinically useful, considering increased dose caused by ACT scan and adapt. (*Korean J Nucl Med Technol* 2010;14(1):3-7)

Key Words : Respiratory motion artifacts, Averaged CT, Attenuation correction

서 론

종양학에서 암의 진단, 병기 결정, 재발 판정, 그리고 치료 반응의 평가에 양전자 방출 단층 촬영(Positron Emission

Tomography/Computed Tomography; PET/CT)의 유용성이 여러 논문에서 보고되었다.¹⁾ 치료반응 평가의 정량적 분석을 위하여 PET 검사에서는 표준섭취계수(Standard Uptake Value; SUV)가 사용되어 왔다.^{2,3)} 하지만, 병소의 크기가 작거나 폐의 기저 부위, 혹은 간의 상부에 위치한 병변에서는 호흡으로 인한 위치 변위와 왜곡의 정도가 커서 PET/CT 검사 영상의 왜곡을 초래하거나 SUV의 측정에 영향을 미치게 된다.^{3,5)} 이것은 감쇠 보정(Attenuation Correction; AC)을 하기 위한 CT영상과 PET영상에서 횡격막 위치의 불일치 때

• Received: January 11, 2010. Accepted: March 10, 2010.
• Corresponding author: **Ki Pyo Nam**
Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center 388-1
Pung nap 2-dong, Song pa gu, Seoul 138-736, Korea
Tel: +82-2-3010-4608, Fax: +82-2-3010-5429
E-mail: Kpnm@amc.seoul.kr

문에 발생한다.³⁾ 횡격막 부근의 CT영상을 얻는 데 소요되는 시간은 수초에 불과하여 호흡 주기의 일부분만 획득하지만 PET영상을 얻는 데는 3분에서 5분의 시간이 소요되기 때문에 30~50회의 호흡 주기를 획득하여 호흡 주기의 평균 위치를 획득하기 때문이다.³⁾ 이러한 왜곡된 PET/CT 검사 정보에 대한 보정 없이 이를 활용하여 방사선 치료를 하게 되면 치료해야 할 표적이 치료 범위를 벗어나 치료의 효율이 낮아지거나 정상 조직에 불필요한 방사선이 조사되는 문제를 야기하거나 치료반응 평가 시 정량 분석의 정확성의 감소를 야기할 수 있다.^{4,5)}

호흡에 의한 인공산물의 발생을 줄이기 위해 많은 장치와 연구들이 발표되고 있다.⁶⁾ 흉부에 pressure sensor를 장착하여 호흡 주기를 측정하는 장치, 수검자의 코앞에 temperature sensor를 설치하여 온도의 변화로 호흡 주기를 측정하는 장치, 호흡 시 발생하는 공기의 흐름을 측정하는 spiro meter, RPM respiratory gating system 등 여러 장치가 있다.⁶⁾ 또한 깊은 호기 상태에서 숨을 멈추고 CT영상을 얻는 Deep-Inspiration breath hold 방법과 횡격막 부근의 Cine CT영상을 획득하여 감쇠 보정을 하는 Average CT (ACT)가 있다.

본 논문에서는 호흡에 의한 인공산물을 최소화하여 보다 정확한 정보를 제공하기 위해 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법의 유용성을 평가하고자 하였다.

실험재료 및 방법

1. 환자 정보

본 연구는 2008년 12월부터 2008년 3월까지 서울아산병원에 내원하여 whole body FDG PET/CT 검사를 시행한 13명의 환자 (평균나이: 61.6±11.5세)를 대상으로 시행하였으며, 대상 선정은 CT 판독 결과 횡격막 부근에 종양이 있는 환자를 선정하였다.

2. 영상 획득

영상 획득에 사용된 장비는 Discovery STE8 (GE healthcare, Wisconsin, USA) PET/CT이다. ¹⁸F-FDG 7.4 MBq (0.2 mCi)/kg을 정맥 주사 후 약 1시간 뒤에 PET영상을 획득하였다. Toposcan 후 120 kV auto mA의 조건으로 감쇠 보정을 위한 skull base부터 mid thigh까지의 Helical CT (HCT)영상을 촬영하였으며, HCT 획득 후 바로 ACT를 위한 횡격막

부근의 Cine CT영상을 2 cm/5.9 s duration, 120 kV, 10 mA의 조건으로 촬영하고, 3 min/bed로 PET영상을 촬영하였다.

3. 분석

영상 분석에는 Workstation v4.3 Volume viewer (GE healthcare, Wisconsin, USA)를 사용하였다. ACT를 이용하여 감쇠 보정한 영상에서 인공물 보정 능력을 확인하기 위하여, HCT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상과 ACT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상에서의 인공물의 발생 빈도와 크기를 측정 비교하였다. 인공물은 저보정으로 인한 횡격막 부근의 흰색 띠를 정의하였으며, 인공물의 크기는 coronal 영상으로 전면에서 후면방향으로 확인하여 인공물의 높이가 높은 부위를 측정하였다(Fig. 1).

ACT를 이용하여 감쇠 보정한 영상에서의 SUV 변화를 측정하기 위해 ACT와 HCT를 이용하여 감쇠 보정한 영상의 SUV의 차이를 비교하였다. 측정은 주요 종양의 SUV를 측정하였으며, coronal 영상과 axial 영상에서 3D box를 이용하여 종양을 충분히 포함하도록 관심 영역을 설정하여 측정하였다(Fig. 2).

통계 분석은 HCT와 ACT를 이용한 감쇠 보정 영상에서 SUV의 차이의 통계적 유의한 차이를 확인하기 위해 paired T-test를 이용하였고 차이 비교 시 개체 수가 적은 대조군의 통계 분석은 Wilcoxon rank sum test를 이용하였다. 이 때, *p*



Fig. 1. Measure the highest magnitude of artifact slice by slice with coronal images.

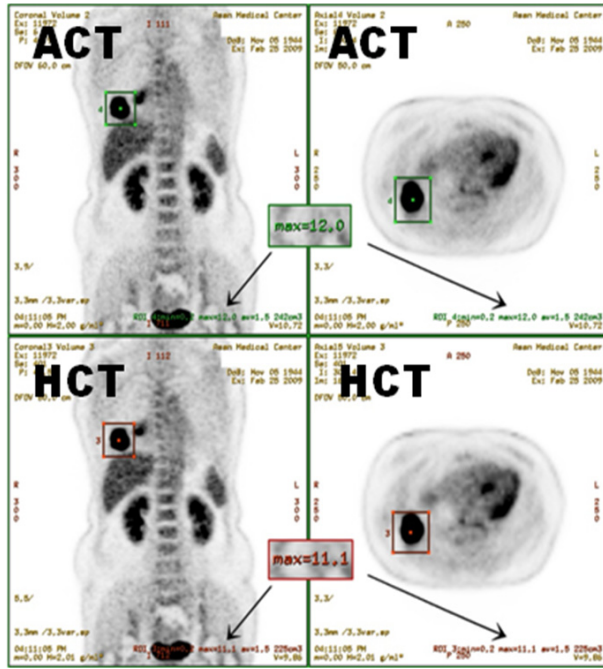


Fig. 2. Measure SUV_{max} of primary tumors. ROIs are set to include tumor using 3D box tool with coronal and axial image.

값이 0.05 미만일 때 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 간주하였다. 통계 프로그램은 SPSS ver. 12 (IBM company, USA)를 사용하였다.

결 과

HCT를 이용하여 감쇠 보정을 하였을 때의 영상들과 ACT를 이용하여 감쇠 보정을 하였을 때의 영상들을 비교하였다. 저 보정으로 인한 횡격막 부근의 인공물의 크기와 발생 횟수는 ACT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상들에서 크게 감소되었다(Fig. 3).

HCT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상들에서 13명의 환자 중 8명의 환자들의 영상에서 인공물의 관찰되었지만 ACT

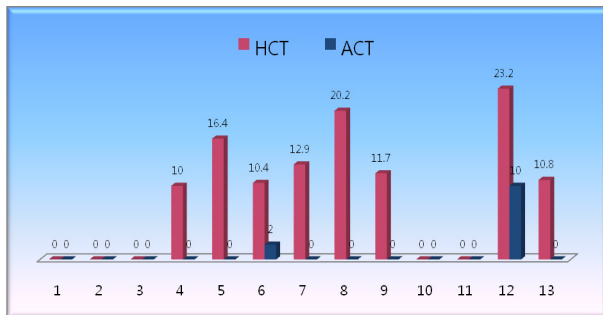


Fig. 3. Frequency and magnitude of artifact are decreased in attenuation correction with ACT images.

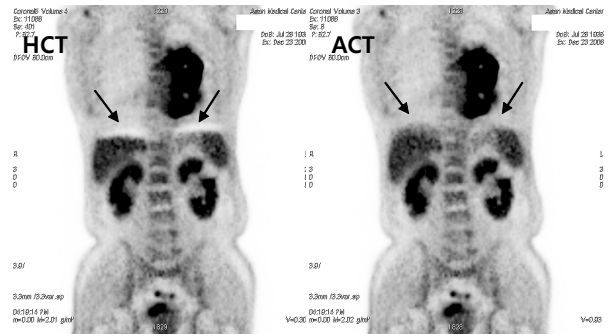


Fig. 4. Breathing artifact is removed in attenuation correction with ACT images.

를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상들에서는 2명의 환자들의 영상에서만 인공물이 관찰되었다. 이중 가장 큰 인공물의 크기는 23.2 mm이었지만 ACT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상에서 10 mm로 크게 감소되었다. 가장 큰 감소를 보인 환자는 HCT에서 20.2 mm이었지만 ACT영상에서는 인공물이 관찰되지 않은 환자였다(Fig. 4).

ACT를 이용한 감쇠 보정 방법이 영상에서 SUV에 어떠한 영향을 주는지를 확인하기 위해 HCT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상과 ACT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상들에서 주요 종양들(13명의 환자의 36개의 종양)의 최대 SUV (SUV_{max})를 측정하여 비교하였다. 전체적으로 ACT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상의 종양들의 SUV_{max}가 5.3±3.9% ($p<0.05$) 상승하는 것을 확인 할 수 있었다(Fig. 5).

ACT를 이용하여 감쇠 보정을 한 영상의 부위 별 SUV_{max}의 차이를 비교하였다. Middle lung에서는 평균 4.6±6.6%의 상승을 보였지만 통계적으로 유의한 변화는 아니었다($p>0.05$). Lower lung에서는 평균 6.4±4.0%의 상승하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$). Liver에서도 역시 3.9±3.1%의 상승하여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p<0.05$) (Table 1).

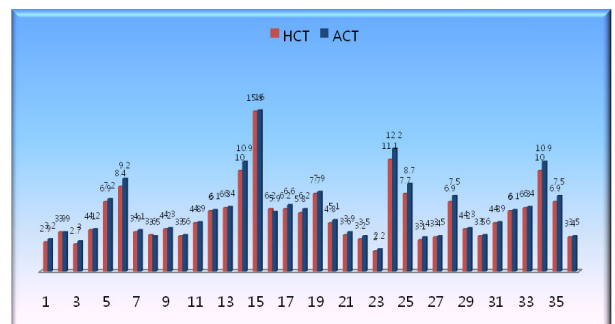


Fig. 5. Comparison of SUV_{max} of primary tumors between attenuation correction with HCT and attenuation correction with ACT.

Table 1. Comparison of SUV_{max} in primary tumors between attenuation correction with HCT and attenuation correction with ACT

		n	SUV _{max} Mean±SD	Difference Mean±SD	%Difference Mean±SD	z, (t)	p
Middle Lung	HCT	9	5.2±2.8	0.2±0.4	4.6±6.6 %	-1.005a	0.315
	ACT		5.4±3.0				
Lower Lung	HCT	11	6.1±3.8	0.3±0.3	6.4±4.0 %	(-3.472)	0.03
	ACT		6.5±3.8				
Liver	HCT	8	5.6±2.2	0.3±0.3	3.9±3.1 %	-2.636a	0.04
	ACT		5.9±2.5				

Table 2. Comparison of SUV_{mean} in the background between attenuation correction with HCT and attenuation correction with ACT

	n	SUV Mean±SD	Difference Mean±SD	%Difference Mean±SD	t	p
HCT	13	1.1±0.2	0.0±0.0	-0.4±4.7 %	0.562	0.584
ACT		1.1±0.2				

Background의 SUV_{mean}은 유의한 차이가 없었다($p>0.05$) (Table 2).

고찰

본 논문에서는 HCT를 이용한 감쇠 보정 방법과 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법을 이용하여 호흡에 의한 운동 인공물과 SUV의 영향을 평가하였다. 13명의 환자를 대상으로 한 실험을 통해 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법으로 호흡에 의한 운동 인공물이 대부분 제거되거나 그 크기가 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 63개의 주요 종양의 SUV_{max}가 평균 5.3±3.9% 증가하는 것을 확인 할 수 있었다. 가장 큰 상승을 보인 종양의 SUV_{max}는 7.7에서 8.7로 13%의 증가를 보이는 것도 있었다. 반면에 background의 SUV_{mean}은 유의한 변화를 보이지 않은 것($p=0.584$)을 확인 할 수 있었다. 이것은 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법이 인공물을 보정하여 보다 정확한 SUV_{max}를 나타낸 것이라고 사료된다. 또한 우리는 middle lung에서의 SUV_{max}의 변화가 유의하지 않다는 것 ($p=0.315$)을 확인하였는데, 이것은 middle lung에 heart가 가까이 보정에 제한이 있었다고 사료된다. 본 논문에서 사용된 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법은 추가적인 CT스캔을 포함하고 있기 때문에 환자의 피폭 선량의 증가가 발생한다. 일반적인 PET/CT 검사의 절차에 따르면 370 MBq (10 mCi)에서 555 MBq (15 mCi)를 주사하고 약 100 cm의 영역을 스캔 하였을 때 29.2~34.5 mSv의 피폭을 받는다고 한다. 이에 반해 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법은 추가적으로 2.5 mSv의 피폭(약 7.24~8.56%)이 증가한다.

결론

FDG PET/CT 검사는 비소세포성폐암환자(NSCLC)의 치료 효과를 관찰하는 데 그 효용성이 높아 점차 수요가 증가되고 있다. 하지만 정량 평가에 영향을 주는 호흡에 의한 인공물의 생성의 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법이 인공물을 제거하고 보다 정확한 정량 분석을 제공할 수 있다는 사실을 확인할 수 있었다. 추가적인 피폭을 고려하여 lung의 lower lobe와 liver의 dome 부위에 종양이 있는 환자들의 치료반응 평가를 위해 선택적으로 검사를 시행한다면 임상적으로 유용한 검사 방법으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

요약

종양학에서 암의 진단, 병기 결정, 재발 판정, 그리고 치료에 대한 반응의 평가에 PET/CT의 유용함은 이미 인정되고 있다. 그런데 크기가 작거나 폐의 기저 부위, 혹은 간의 상부에 위치한 종양일수록 호흡으로 인한 위치 변위와 왜곡의 정도가 크며 PET영상의 SUV에도 영향을 미치게 된다. 따라서 정상 호흡 상태에서 얻어지는 PET 또는 CT영상을 토대로 방사선 치료를 하게 되면 치료해야 할 표적이 치료 범위에서 벗어나거나 정상 조직에 과도한 방사선이 조사될 수 있으므로 치료율이 낮아지거나 방사선에 의한 부작용이 증가할 수 있다. 본 논문의 목적은 호흡에 의한 인공산물을 최소화하고 보다 정확한 SUV 측정을 위해 ACT를 이용한 감쇠 보정 방법을 적용하여 그 유용성을 평가하고자 함이다. 하 흉부에 종양이 있는 13명의 환자를 대상으로 Discovery

STE8 PET/CT스캐너를 사용하여 두 가지의 PET/CT영상을 얻었다. HCT를 사용한 감쇠 보정 영상과 ACT를 사용한 감쇠 보정 영상에서 측정된 인공물의 크기와 SUV_{max} 를 비교 분석하였다. 인공물은 모든 환자의 하 흉부의 백색 음영 영역을 측정하여 평가하였다. SUV_{max} 는 주요 종양의 SUV_{max} 를 측정하여 평가하였다. 분석 프로그램은 Advantage Workstation v4.3을 사용하였다. 환자에게 7.4 MBq (0.2 mCi)/kg의 ^{18}F -FDG를 투여한 1시간 뒤 스캔하였다. 방출 스캔은 3 min/bed로 스캔하였다. HCT 보정 영상과 비교하여 ACT 보정 영상에서 인공산물의 크기가 눈에 띄게 줄어든 것을 관찰할 수 있었다. 하 흉부의 저 보정으로 인한 인공산물 크기는 ACT 보정 영상과 HCT 보정 영상 각각 1.5 ± 3.5 cm과 13.4 ± 4.2 cm를 나타냈다. 주요 병소의 SUV_{max} 의 변화는 ACT 보정 영상이 HCT 보정 영상보다 눈에 띄게 상승하였다. ACT 보정 영상에서 HCT영상과 비교하여 tumor의 SUV_{max} 가 평균 $5.3\pm 3.9\%$ 상승하였다. 가장 큰 차이를 보인 종양은 lung의 lower lobe에 있는 종양으로 SUV_{max} 7.7에서 SUV_{max} 8.7로 13% 상승하였다. ACT를 이용한 감쇠 보정 영상은 하 흉부의 인공산물을 눈에 띄게 줄일 수 있어 보다 정확한 병소의 SUV를 측정 및 방사선 치료 범위 설정에 도움이 될 수 있을 것이다. 또한 ACT 기법은 병소가 횡격막 부근에 있는 환자의 경우 폐와 간의 경계를 보다 정확히 구분할 수 있어 판독 시 도움이 될 수 있을 것이라고 판단된다. 추가 ACT 촬영에 의한 피폭 선량이 증가하는 점을 고려하여 적용한다면 임상적으로 유용한 효과가 있다고 사료된다.

REFERENCES

1. Chi PC, Mawlawi O, Nehmeh SA. Design of respiration averaged CT for attenuation correction of the PET data from PET/CT. *Med Phys* 2007;34:2039-47.
2. Goerres GW, Kamel E, Heidelberg TN. PET/CT image coregistration in the thorax: influence of respiration. *Eur J Nucl Me Mol Imaging* 2002;29:351-60.
3. Pan T, Mawlawi O, Nehmeh SA. Attenuation correction of PET images with respiration-averaged CT images in PET/CT. *J Nucl Med* 2005;46:1481-7.
4. Nehmeh SA, Erdi YE, Pan T, Quantitation of respiratory motion during 4D-PET/CT acquisition. *Med Phys* 2004;31:1333-8.
5. 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;31:333-40.
6. Nehmeh SA, Erdi YE. Respiratory motion in positron emission tomography/computed tomography: a review. *Semin Nucl ed* 2008; 38:167-76.
7. Pan T, Mawlawi O, Luo D, Liu HH,. Attenuation correction of PET cardiac data with low-dose average CT in PET/CT. *Med Phys* 2006;33:3931-8.
8. Alessio AM, Kohlmyer S, Branch K, Chen G, Caldwell J, Kinahan P. Cine CT for attenuation correction in cardiac PET/CT. *J Nucl Med* 2007;48:794-801.
9. Cook RA, Carnes G, Lee TY, Wells RG. Respiration-averaged CT for attenuation correction in canine cardiac PET/CT. *J Nucl Med* 2007;48:811-8.
10. Byung Chul Cho, Sung Ho Park, Analysis of Respiratory Motion Artifacts in PET Imaging Using Respiratory Gated PET Combined with 4D-CT. *Col* 2005;393:174-81.