

PET/CT 검사에서 횡격막에 의한 인공물의 CTAC Shift 보정방법의 유용성

연세의료원 세브란스병원 핵의학과

함준철 · 강천구 · 조석원 · 반영각 · 이승재 · 임한상 · 김재삼 · 이창호

Usefulness of CTAC Shift Revision Method of Artifact by Diaphragm in PET/CT

Jun Cheol Ham, Chun Koo Kang, Seok Won Cho, Young Kag Bahn, Seung Jae Lee, Han Sang Lim, Jae Sam Kim and Chang Ho Lee

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

Purpose: Currently, decrement revision using LDCT is used in PET/CT. But cold artifacts are often found in decrement revision image by mismatch between LDCT image and Emission image near diaphragm due to patient's respiration. This research studied reduction of cold artifact by patient's respiration using CTAC Shift among revision methods. **Materials and Methods:** From March to September in 2012, 30 patients who had cold artifacts by respiration were targeted using PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA) equipment. Patients with cold artifacts were additionally scan in diaphragm area, and the image shown cold artifacts at whole body test were revised using CTAC Shift. Cold artifacts including image, additional scan image and CTAC Shift revision image were evaluated as 1~5 points with naked eye by one nuclear medicine expert, 4 radiotechnologists with over 5 year experience. Also, standard uptake value of 3 images was compared using paired t-test. **Results:** Additional scan image and CTAC Shift revision image received relatively higher score in naked eye evaluation than cold artifacts including image. The additional scan image and CTAC Shift revision image had high correlation as the results of ANOVA test of standard uptake value and did not show significant difference. **Conclusion:** When cold artifacts are appeared by patient's respiration at PET/CT, it causes not only patient inconvenience but troubles in test schedule due to extra radiation exposure and time consumption by additional scan. But if CTAC Shift revision image can be acquired with out additional scan, it is considered to be helped in exact diagnosis without unnecessary extra radiation exposure and additional scan. (Korean J Nucl Med Technol 2013;17(1):71-75)

Key Words : PET/CT, CTAC Shift, Respiration, Cold Artifact

서 론

PET은 각종 생화학적인 물질의 생체 내 분포를 영상화하여 인체 내의 생리적 지표들을 정량적으로 측정할 수 있어 생화학 또는 병리현상의 규명과 질병 진단, 치료 후 예후 판정, 치료계획 등에 유용하게 이용되고 있으며, 그 중요성

에 대한 인식은 최근 매우 높아지고 있다. 하지만 PET 영상만으로는 해상도가 상대적으로 낮고 해부학적 위치와 주변조직과의 관계를 평가하기 어려운 단점이 있어 이러한 단점을 보완하기 위하여 CT를 결합한 기기가 널리 상용화되어 있다. 이러한 PET/CT 기기는 촬영시간을 단축하고 더욱 선명한 영상을 얻을 뿐 아니라, PET과 CT와의 융합 영상을 얻어 생화학적인 영상과 해부학적 영상을 함께 분석하고 있다.¹⁾ PET/CT 기기는 매우 큰 장점이 있지만 최근에는 이러한 장점에 가려진 단점들을 보완하기 위하여 여러 연구가 진행되고 있다. 금속물의 삽입으로 인한 Artifact가 있으며, 조영제에 의한 영향도 있다. 특히 CT를 기초로

• Received: February 5, 2013. Accepted: April 9, 2013.
• Corresponding author : **Jun Cheol Ham**
Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital, Yonsei University Health System, 250 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul 120-752, Korea
Tel: +82-2-2228-6061, Fax: +82-2-312-0578
E-mail: hamjuncheol@yuhs.ac

한 감쇠 보정에서 PET 영상과 CT의 불일치 때문에 생기는 문제점은 민감하게 받아들여지고 있다. 호흡으로 인한 움직임이 심한 폐의 하부나 간의 상부, 움직이는 장기인 심장 영상 등에 이러한 왜곡이 일어날 수 있으므로 주의가 필요하다. 불일치에 의한 Artifact를 방지하기 위하여 많은 연구가 이루어지고 있다. 대표적으로 4D 촬영과 Cine CT를 들 수 있다. 4D 촬영의 경우 촬영 중 환자의 일정 호흡에서만 영상을 획득하기 때문에 이러한 불일치를 최소로 줄일 수 있다.²⁾ 하지만 촬영시간이 많이 걸린다는 점과 별도의 장비가 필요하다는 단점이 있어서 상용화되지는 않았다. Cine CT의 경우 동영상을 찍듯이 여러 호흡에 대한 영상을 획득하여 평균함으로써 불일치를 줄이는 방법이나 일반적인 저선량 CT에 비해 피폭이 많다는 단점을 갖고 있어서 환영받



Fig. 1. PET/CT Discovery 600 were used.

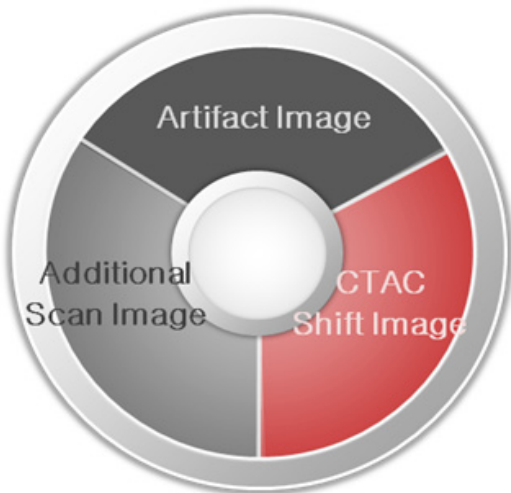


Fig. 2. The image shown cold artifacts are often found in attenuation correction image by mismatch between LDCT image and Emission image near diaphragm due to patient's respiration, patients with cold artifacts were additionally scan in diaphragm area and cold artifacts at torso scan were revised using CTAC Shift.

지는 못 했다.^{3,4)}

본 연구에서는 제한적이지만 불일치되는 부분을 일부 움직임으로서 영상 왜곡을 줄이고 Artifact를 감소시킴으로써 추가적인 비용 및 피폭의 부담 없이 진단능을 높일 수 있리라 사료 되어 그 유용성을 알아보려고 한다.

실험 재료 및 방법

2012년 3월부터 9월까지 본원에 내원한 환자 30명을 대상으로 했다. 장비는 PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA) 2대를 이용하여 진행하였으며, 환자의 평균 연령은 57.1±11.1세, 몸무게는 66.4±10.4 kg, 평균 키는 165.6±6.1 cm 였다. 촬영은 다음과 같이 진행했다. 검사 시작 전 500 cc 이상의 충분한 수분을 섭취하게 한 후 혈당을 확인했다. 그 후 환자에게 ¹⁸F-FDG를 kg 당 5.18 MBq (0.14 mCi)를 정맥 주사했다. 검사 전까지 안정을 취하도록 하였으며 주사 60분 후 소변을 보게 한 후 검사를 시행했다. 저선량 CT 영상 획득 후 PET 영상을 Bed 당 2분 획득했다.

Torso 검사 시 Artifact가 발생한 환자를 대상으로 했다. 추가 검사를 시행하여 Artifact가 발생하지 않은 영상을 획득했다. 그 후 Torso 검사 시 얻은 영상을 CT Shift를 통해 움직임으로서 Artifact를 최소화시킨 영상까지 획득했다. 이렇게 얻은 세 가지 영상을 비교 분석했다.

CTAC Shift시 Artifact가 발생한 영상에서 Shift 정도를 mm 단위로 측정했다. 그 후 reconstruction 옵션 중 CTAC Shift를 통해 Inferior 방향으로 측정한 mm만큼 Shift시켜 영상을 획득했다. 그 외 reconstruction 옵션은 동일하게 진행하였으며, Shift시 최대 거리는 30 mm였다.

SUV의 측정은 Artifact가 발생한 영상에서 측정된 Shift 거리의 1/2에 해당되는 지점에서 측정했다. 관심영역의 크기는 모두 동일하게 측정 하였으며, 오차를 줄이기 위해 속

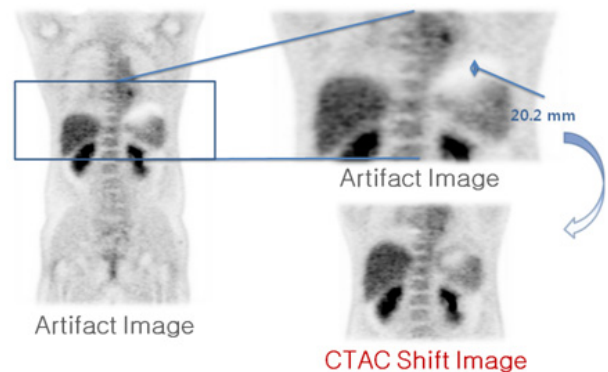


Fig. 3. CTAC Shift following figure shows how.

Table. 1. Three images of the SUV and score represents the naked eye

Number	Shift (mm)	Artifact Image SUV	Additional Scan Image SUV	CTAC Shift Image SUV	CTAC Shift Image Point	Artifact Image Point	Additional Scan Image Point
1	13.7	0.1	0.6	0.5	1.8	3.2	3.8
2	15.8	0.1	0.3	0.4	1.6	3.4	3.6
3	13.3	0.2	0.7	0.6	2	4.2	4.4
4	4.8	0.3	0.5	0.5	2.4	4.4	4.4
5	9.6	0.3	0.6	0.6	2.8	4.2	4.2
6	8.9	0.1	0.5	0.5	3	3.4	3.2
7	14.3	0.2	0.4	0.5	2.2	3.6	3.6
8	21	0.1	0.5	0.4	1.2	4.4	4.6
9	17	0.3	0.6	0.6	1.8	4.6	4.4
10	16.4	0.1	0.6	0.6	2	4.4	4.4
11	7.7	0.2	0.4	0.4	2	4	3.8
12	9.2	0.2	0.6	0.5	2	3.8	3.6
13	18.1	0.1	0.6	0.5	1.6	4.2	4.2
14	12.2	0.2	0.4	0.5	2	3.4	3.6
15	14.1	0.3	0.7	0.6	2	3.2	3.4
16	20.2	0.2	0.6	0.6	1.2	4	3.6
17	16	0.3	0.6	0.5	2	4	3.6
18	9.6	0.2	0.6	0.5	2.2	3.4	3.4
19	15.8	0.1	0.3	0.4	2.4	3.8	3.6
20	17	0.1	0.6	0.5	1.8	4	4.4
21	7.8	0.3	0.5	0.5	2.6	4.4	4.4
22	13.7	0.2	0.6	0.6	1.8	2.8	3.2
23	9.2	0.1	0.5	0.5	2.2	2.8	2.6
24	14.3	0.1	0.4	0.4	2.8	4.2	4
25	21	0.1	0.5	0.5	2	4.8	4.6
26	13.3	0.3	0.6	0.6	1.6	4.4	4.4
27	18.1	0.1	0.6	0.6	2	4.4	4.2
28	4.8	0.2	0.4	0.4	1.4	3.4	3.2
29	8.9	0.3	0.7	0.6	1.8	3.6	3.4
30	16.4	0.2	0.6	0.5	2.4	3.8	3.6

Table. 2. Three images of multiple comparisons

Multiple Comparisons

Tukey HSD	(I) Group	(J) Group	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
SUV	1	2	-0.35	0.02	0.00	-0.40	-0.29
		3	-0.32	0.02	0.00	-0.38	-0.27
	2	1	0.35	0.02	0.00	0.29	0.40
		3	0.02	0.02	0.57	-0.03	0.07
	3	1	0.32	0.02	0.00	0.027	0.38
		2	-0.02	0.02	0.57	-0.07	0.03
Point	1	2	-1.85	0.12	0.00	-2.15	-1.54
		3	-1.82	0.12	0.00	-2.13	-1.52
	2	1	1.85	0.12	0.00	1.54	2.15
		3	0.02	0.12	0.97	-0.27	0.33
	3	1	1.82	0.12	0.00	1.52	2.13
		2	-0.02	0.12	0.97	-0.33	0.27

Means for groups in homogeneous subsets are displayed

SUV Tukey HSD ^a			
Group	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1	30	0.18	
2	30		0.51
3	30		0.53
Sig.		1.00	0.57

Means for groups in homogeneous subsets are displayed

Point Tukey HSD ^a			
Group	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
1	30		
2	30	2.02	3.84
3	30		3.87
Sig.		1.00	0.97

Group 1 : Artifact Image, Group 2 : Additional Scan Image, Group 3 : CTAC Shift Recon Image

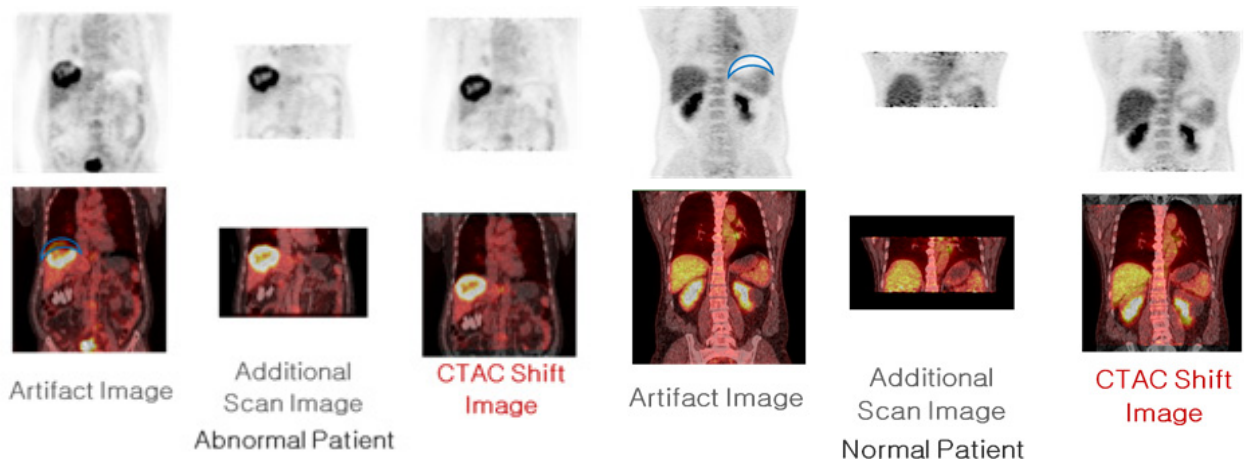


Fig. 4. The image shown three images of normal patient and abnormal patient.

련된 방사선사 3명의 측정 결과의 평균값을 채택했다.

Artifact 발생 영상, 추가 검사 영상, CTAC Shift 보정 영상은 다음과 같이 평가했다. 첫 번째로 육안적 평가는 핵의학과의 전문의 1명과 5년 이상 근무한 방사선사 4명에 의해 1점에서 5점으로 나누어 평가했다. 육안적 평가 점수와 SUV는 서로 차이가 있는지 확인하기 위하여 통계방법 중 ANOVA 검증을 통해 확인했다.

결 과

Artifact 발생 영상, 추가 검사 영상, CTAC Shift 보정 영상의 비교 결과, 육안적 평가 점수와 SUV에서 Artifact 발생 영상만이 차이를 보이고 있다. 육안적 평가 점수는 Artifact 발생 영상이 평균 2.02점으로 다른 두 가지 영상에 비해 낮게 나왔다(추가 검사 영상: 3.84점, CTAC Shift 보정 영상: 3.87점). SUV 측정 역시 다른 두 영상은 정상 값으로 나왔으나 Artifact 발생 영상에서는 정상보다 낮은 평균 0.18점으로 측정됐다.

결과의 등분산 검증에서 육안적 평가 점수는 p 값이 0.156으로 등분산성이 만족하므로 ANOVA 검증을 시행했다. SUV는 p 값이 0.025로 등분산성을 만족하지 못하여 순위 변수를 생성한 후 정규성을 검증했다. 검증 결과 등분산성을 만족하여 마찬가지로 ANOVA 검증을 시행했다. ANOVA 검증결과, p 값이 0.05보다 작게 나와 각각의 영상 간에 차이가 존재한다는 것을 알았다. 또한 어느 영상에서 차이를 보이고 있는지 알기 위해 사후 분석을 시행했다. 시행 결과 Artifact 발생 영상에서 다른 영상과는 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 즉 추가 검사 영상과

CTAC Shift 보정 영상은 비슷한 수준의 결과를 나타낸다는 것을 알았다. 아래의 그림은 육안적으로 횡격막 부위에 큰 차이를 보이고 있는 영상이다.

고 찰

PET/CT 검사에서 CT는 해부학적인 정보 뿐 아니라 감쇠 보정에도 유용하여 널리 사용되고 있다. 검사 시간을 단축시켜줄 뿐 아니라 영상의 질 향상에도 큰 역할을 담당하고 있다. 하지만 X-ray CT를 이용하여 감쇠 보정을 할 때에는 X-ray CT의 평균 에너지가 40 keV 정도로 511 keV 에너지의 PET 광자보다 낮아서 에너지에 따라 달라지는 감쇠 계수의 변환이 필요하다.^{5,6)} 또한 CT 영상의 해상도를 PET 해상도에 맞추는 과정이 필요하다. 그 외에도 금속에 의한 영향과 다른 조영제에 의한 영향도 무시할 수 없다. 그 중 호흡에 의한 두 가지 영상의 불일치는 영상을 정량 분석하는데 있어 필수적인 해결 과제이다. 많은 연구가 이 문제를 해결하기 위하여 진행되고 있다. 그 중 Cine CT의 단점을 보완한 방법으로 피폭 선량을 낮추는데 초점을 맞춘 연구도 있다.⁷⁾ 본 연구에서는 환자의 추가적인 피폭 없이 소프트웨어적인 방법만을 통하여 Artifact가 발생하지 않은 영상과 비슷한 진단능을 갖추는데 목적을 두고 있다. 또한 소프트웨어적으로 인위적인 Shift를 함으로써 Artifact 발생 부위를 제외한 다른 위치는 오히려 왜곡되는 단점을 가지고 있다. 물론 왜곡되지 않은 영상과 같이 볼 수는 있겠지만 한계점으로 작용하는 것은 분명하다. 하지만 Artifact 발생 부위에서는 추가 검사를 한 영상과 비슷한 결과를 보이고 있다.

결 론

많은 환자들이 PET/CT 검사를 시행하며, 수술 전, 후의 상태를 추적 관찰하고 앞으로의 치료계획을 세우고 있다. 이러한 환자 중 호흡의 기복이 심하거나 통증으로 인한 움직임으로 영상의 불일치를 보이는 경우가 종종 있다. 이러한 경우 CTAC Shift법은 환자의 추가적인 방사선 피폭도 없으며, 불필요한 시간 및 장비에 투자할 필요 없이 Artifact 부위의 보정이 가능하다. 다른 방법과 마찬가지로 단점을 가지고 있지만 CTAC Shift 보정을 통해 진단능을 높일 수 있는 영상 정보를 제공하는데 있어 유용하리라 사료된다.

요 약

현재 PET/CT 검사에서 저선량 CT를 이용한 감쇠 보정을 사용하고 있다. 하지만 환자 호흡으로 인한 횡격막 부근의 저선량 CT 영상과 Emission 영상의 불일치로 감쇠 보정 영상에서 Artifact가 발생하는 경우가 있다. 본 연구는 보정 방법 중 CTAC Shift를 이용하여 환자의 호흡에 의한 Artifact의 감소를 연구했다. 2012년 3월부터 9월까지 PET/CT Discovery 600 (GE Healthcare, MI, USA) 장비를 이용하여 호흡에 의한 Artifact가 발생한 환자 30명을 대상으로 했다. Artifact가 발생한 환자는 횡격막 부분을 추가 검사하였고, 전신 검사 시 Artifact가 발생한 영상을 CTAC Shift를 이용하여 보정했다. Artifact 발생 영상, 추가 검사 영상, CTAC Shift 보정 영상의 육안적 평가는 핵의학 전문의 1명과 5년 이상 근무한 방사선사 4명에 의해 1-5점으로 나누어 평가했다. 또한 각 영상의 표준섭취화 계수를 ANOVA를 이용하여 비교했다. Artifact 발생 영상에 비해 추가 검사 영상과 CTAC Shift 보정 영상은 육안적 평가에서 상대적으로 높은 점수를 받았다. 추가 검사 영상과

CTAC Shift 보정 영상은 표준섭취화 계수의 ANOVA 결과, 높은 상관관계를 갖고 있으며, 유의한 차이를 보이지 않았다. PET/CT 검사 시 환자의 호흡에 의한 Artifact가 발생할 경우 추가 검사로 인한 검사 시간이 증가하여 환자의 불편 뿐 아니라 피폭도 증가한다. 하지만 추가 검사 없이 CTAC Shift를 이용하여 보정된 영상을 획득한다면 불필요한 피폭 및 추가 검사도 감소하며, 정확한 진단에 도움을 줄 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. 고창순. 핵의학, 제 3판. 고려의학 2008;103-104.
2. Yusuf E, Erdi, Sadek A Nehmeh, Tinsu Pan, Alexander Pevsner, Kenneth E Rosenzweig, Gikas Mageras, et al. The CT Motion Quantitation of Lung Lesions and Its Impact on PET-Measured SUVs. *J Nucl Med* 2004;45:1287-1292.
3. 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.
4. Adam M. Alessio, Steve Kohlmyer, Kelley Branch, Grace Chen, James Caldwell, Paul Kinahan. Cine CT for Attenuation Correction in Cardiac PET/CT. *J Nucl Med* 2007;48.
5. Kamel E, Hany TF, Burger C, Treyer V, Lonn AH, von Schulthess GK, et al. CT vs 68Ge attenuation correction in a combined PET/CT system: evaluation of the effect of lowering the CT tube current. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2002;29: 346-350.
6. Nakamoto Y, Osman M, Cohade C, Marshall LT, Links JM, Kohlmyer S, et al. PET/CT: comparison of quantitative tracer uptake between germanium and CT transmission attenuation-corrected images. *J Nucl Med* 2002;43:1137-1143.
7. Visvikis D, Costa DC, Croasdale I, Lonn AH, Bomanji J, Gacinovic S, et al. CT-based attenuation correction in the calculation of semiquantitative indices of ¹⁸F-FDG uptake in PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2003;30:344-353.