Original Article

PET-CT 검사 시 호흡동조 시스템을 이용한 인공물 감소에 대한 비교 평가

연세의료원 세브란스병원 핵의학과[1], 충북대학교병원 핵의학과[2]
김진영[1,2] · 이승재[1] · 정석[1] · 박민수[1] · 강천구[1] · 임한상[1] · 김재삼[1]

The Research of Comparison Evaluation on the Decline in Artifact Using Respiratory Gating System in PET-CT

Jin-Young Kim[1,2], Seung Jae Lee[1], Suk jung[1], Min-Soo Park[1], Chun-Goo Kang[1], Han-Sang Im[1] and Jae-Sam Kim[1]

[1]*Department of Nuclear Medicine, Severance Hospital Yonsei University Health System, Seoul, Korea*
[2]*Department of Nuclear Medicine, Chung-Buk National University Hospital, cheong-ju, Korea*

Purpose Among various causes that influence image quality degradation, various methods for decrease in Artifact occurred by respiration of patients are being used. Among them, this study intended to evaluate CTAC Shift correction method and additional scan compare to the Scan(Q static scan) using respiratory gated system.

Materials and Methods This study was conducted on 10 patients, and used PET-CT Discovery 710 (GE Healthcare, MI, USA) and Varian's RPM system. 5.18 Mbq per kg of ^{18}F-FDG was injected on patients, asked them to take a rest for 1 hour in the bed, and conducted test after urination. Images were visualized through Q static scan, CTAC Shift correction method, Additional scan based on the Whole body scan(WBS) with Artifact. Decrease in Artifact was compared in each image, conducted Gross Evalution, and measured changes of SUVmax.

Results For image obtained through the CTAC Shift correction method through WBS with Artifact, 12~56%, Q static scan image showed 17~54% of change rate and Additional Scan showed -27~46% of change rate. In Blind Test, the CTAC Shift correction image showed the highest point with 4 points, Q static scan image showed 3.5 points, and Additional scan image showed 3.4 points. The standardized WBS scan through Oneway ANOVA and three types of Scan method showed significant difference(p<0.05), and did not show significant difference between the three Scan methods(p>0.05). However, the three Scan methods showed significant difference in Blind test.

Conclusion Additional scan and Q static scan require more time than the CTAC Shift correction method, there is concern about excessive exposure to patients by CT rescan and Q static scan is difficult to apply on patients with inconsistent respiration or irregular respiration cycle due to pain. For CTAC Shift correction method, limited correction is possible and the range is limited as well. It is considered as a useful method of improving diagnostic value when hospitals use the system appropriately and develop various advantageous factors of each method.

Key Words RPM, Artifact, Respiratory, SUVmax

서 론

^{18}F-FDG PET/CT는 포도당대사로 인한 암세포의 비정상적인 섭취를 통해 암을 진단하는 유용한 검사이다. 이러한 질환의 상태와 종양의 섭취 및 치료반응을 평가하기 위해 표준섭취계수(Standardized Uptake Value, SUV)를 평가하는데, SUV는 환자의 체형, 혈중 포도당 농도, 종양의 크기, 정

• Received: October 02, 2015 Accepted: October 13, 2015
• Corresponding author: **Jin Young Kim**
• Department of Nuclear Medicine, Chung-Buk National University Hospital, 776, 1Sunhwan-ga, Seowon-gu, cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea
Tel: +82-43-269-6280, Fax: +82-43-269-6287
E-mail: ufo6534@naver.com

상조직의 섭취 증가, 방사성의약품 투여량과 검사시간간격, 관심영역(Region of interest, ROI) 등의 영향을 받고 이를 이용하여 조직에 집적된 방사능 농도를 반 정량적으로 수치화 한것이며 현재 임상에서 폭 넓게 적용하고 있다. [1-2] 그러나 PET/CT 검사중에는 여러 가지 인공물(Artifact)이 발생할 수 있고 그 중 호흡운동에 의한 인공물의 경우 횡경막의 움직임으로 인해 SUV의 감소와 부피의 증가와 같은 문제와 더불어 PET과 CT의 Fusion시 움직임의 오차를 발생시킬 수 있다. Boucher등의 팬텀 연구 결과 호흡 운동에 의한 SUV가 21~45%범위내에 과소평가 되는 결과 또한 보고되어 있다.[3]

따라서 본 논문에서는 이러한 움직임을 보정하기 위해 호흡동조 시스템을 이용한 Scan(이하 Q Static scan)과 추가촬영 Scan(이하 Additional scan), 소프트웨어를 이용한 CTAC Shift 보정방법을 이용하여 영상을 획득하고 비교 분석함으로써 임상적인 실용성과 효과를 비교 평가하고자 한다.

실험재료 및 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2015년 2월에서 5월까지 본원을 내원한 환자들 중 영상에서 호흡에 의해 인공물이 발생한 환자 10명을 대상으로 진행하였다. (남성 8명, 여성 2명, 연령 55~74세, 평균연령 63.8±6.35세)

2. 실험 장비

장비는 PET/CT Discovery 710(GE healthcare, USA)(Fig. 1)을 사용하였고 장비의 Crystal은 lutetium based scintillator (LBS)로 구성되어있다. 호흡동조 시스템은 Varian사의 Rpm Respiratory gating system을 이용하였다(Fig. 2).

Fig. 1. PET/CT Discovery 710(GE healthcare, USA)

Fig. 2. Varian – Rpm Respiratory gating system

3. 검사 방법

1) 전처치 및 영상 획득 방법

환자는 전저치로 24시간동안의 운동금지, 12시간동안 커피와 담배 금지, 8시간동안 금식을 한 후 충분한 수분을 섭취하도록 하였다. 검사 전에는 혈관확보를 한 후 혈당 체크를 진행하며 ^{18}F-FDG를 kg 당 5.18 Mbq을 주사하였다. 그 후 1시간동안 안정을 취하고, 배뇨 후 검사를 진행하였다.

CT조건은 관전압 120 kVp와 관전류 60 mAs, DFOV는 70 cm, Matrix size는 192 × 192 으로 모두 동일하게 진행하였다.

Additional scan은 Bed 당 2분씩, 총 4분동안 영상을 획득하였고 Q Static scan의 경우 Bed 당 4분씩, 8분동안 영상을 획득하였다. Q static scan의 경우 환자의 호흡주기를 체크하여 나타난 그래프에 의해 범위를 설정하고 카운트를 얻게 되는데 프로토콜상에서 Phase offset(카운트를 획득하지 않을 부분)과 Phase width(카운트를 획득할 부분의 범위)를 설정하여야 한다(Fig. 3). 환자의 호흡주기 그래프를 보고 offset은 30%, width는 50%로 범위를 설정하였기 때문에 동일한 카운트를 얻기 위해 Additional scan보다 2배 더 긴 시간의 영상을 획득하였다.

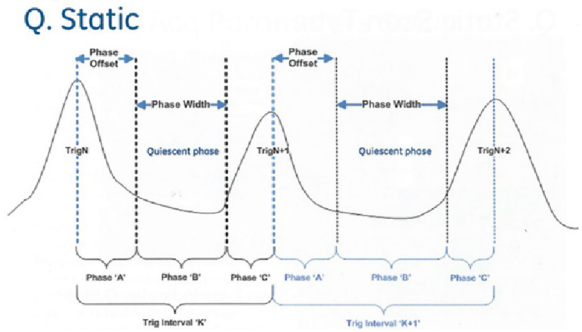

Fig 3. A Graph of Patients's respiratory cycle

CTAC Shift 보정방법의 경우 인공물이 발생한 부분의 길이를 잰 후 영상에 따라 그 길이만큼 위로 혹은 아래로 Shift 시켜 재구성하였다.

2) 평가방법

(1) SUVmax 변화 측정

SUVmax측정 범위는 인공물이 발생한 부분의 길이를 재어 그 중간인 ½지점에 일정한 구 형태의 ROI를 그려 SUVmax를 측정하였다(Fig. 4).

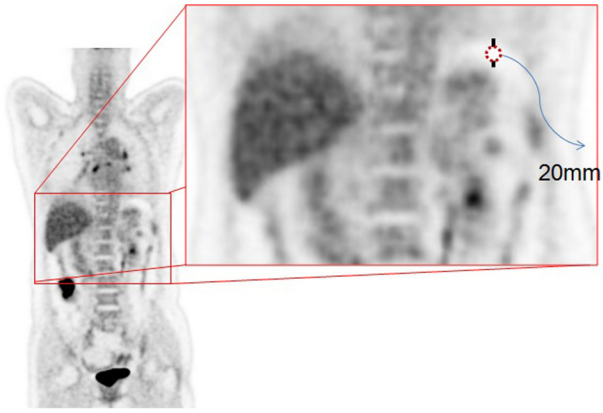

Fig 4. ROI setting where artifact occurred

(2) 육안적 평가(Blind Test)

네가지 방법으로 획득한 영상을 스캔 종류를 밝히지 않은 상태로 핵의학과 전문의 1명과 5년이상 근무한 방사선사 3명에 의해 평가되었으며, 점수는 최소 1점에서 최대 5점으로 분류하였고 인공물이 적을수록 높은 점수를 책정하였다(Fig. 5).

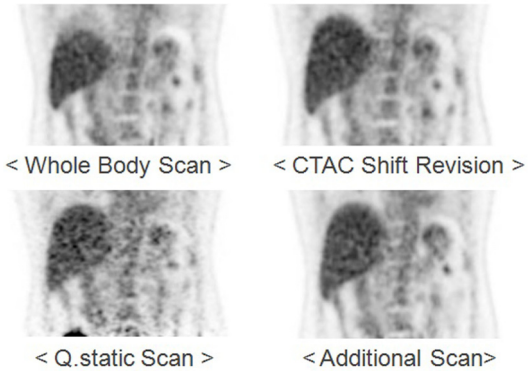

Fig 5. 4 images for the blind test

결 과

1. SUVmax 변화

Table 1은 임상 환자의 SUVmax 이고 Table 2는 Table 1의 SUVmax와 인공물이 발생한 WBS을 통해 얻은 영상을 기준으로 CTAC Shift 보정방법, Q static scan, Additional scan을 통해 얻은 영상에서의 SUVmax변화를 나타낸 것이다.

인공물이 발생한 WBS을 통해 얻은 영상을 기준으로 CTAC Shift 보정방법을 통해 얻은 영상의 경우 최소 12%에서 최대 56%의 변화율을 보였고, Q static scan 영상은 최소 17%에서 최대 54%의 변화율을 보였다. Additional scan 영상은 최소 -27%에서 최대 46%의 변화율을 보였다.

Table 1. SUVmax of Clinical patients

Patient	Group1 SUVmax	Group2 SUVmax	Group3 SUVmax	Group4 SUVmax
1	0.27	0.55	0.59	0.5
2	0.56	0.73	0.72	0.73
3	0.58	0.66	1.13	0.84
4	0.67	1.35	1.11	0.7
5	0.42	0.83	0.51	0.33
6	0.52	0.75	0.67	0.59
7	0.5	0.81	0.73	0.6
8	0.44	0.88	0.7	0.54
9	0.53	1.2	0.97	0.98
10	0.73	1.01	0.88	0.79
Average	0.522	0.877	0.801	0.66

*Group 1 : Artifact image *Group 2 : CTAC shift image
*Group 3 : Q static scan image *Group 4 : Additional scan image

Table 2. The rate of change of SUVmax based on images obtained through whole body scan with SUVmax and Artifact of clinical patients

Patient	Group2 SUVmax Variation	Group3 SUVmax Variation	Group4 SUVmax Variation
1	51%	54%	46%
2	23%	22%	23%
3	12%	49%	31%
4	50%	40%	4%
5	49%	18%	-27%
6	31%	22%	12%
7	38%	32%	17%
8	50%	37%	19%
9	56%	45%	46%
10	28%	17%	8%
Average	39%	34%	18%

*Group 2 : CTAC shift image *Group 3 : Q static scan image
*Group 4 : Additional scan image

Table 1, 2의 수치를 이용하여 Oneway ANOVA 통계프로그램을 통해 분석한 결과로써, $p < 0.05$로 나타났으며 이는 네 가지 방법간의 통계적으로 유의한 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다.

더불어 어떤 방법간의 차이인지 알아보기 위하여 사후분석을 진행하여(Table 4) 인공물이 발생한 WBS을 통해 얻은 영상과 나머지 세가지 방법간의 통계적으로 유의한 차이가 있음을 알수 있으며 이 세가지 방법(CTAC Shift 보정방법, Q static scan, Additional scan)간의 유의한 차이는 없음을 알 수 있었다.

Table 3. Oneway ANOVA

SUVmax					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.808	3	.269	8.981	.000
Within Groups	1.079	36	.030		
Total	1.887	39			

Table 4. Multiple Comparisons among Groups

Group		Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-.39900*	.07743	.000	-.6152	-.1828
	3	-.22200*	.07743	.041	-.4382	-.0058
	4	-.24000*	.07743	.022	-.4562	-.0238
2	1	.39900*	.07743	.000	.1828	.6152
	3	.17700	.07743	.169	-.0392	.3932
	4	.15900	.07743	.284	-.0572	.3752
3	1	.22200*	.07743	.041	.0058	.4382
	2	-.17700	.07743	.169	-.3932	.0392
	4	-.01800	.07743	1.000	-.2342	.1982
4	1	.24000*	.07743	.022	.0238	.4562
	2	-.15900	.07743	.284	-.3752	.0572
	3	.01800	.07743	1.000	-.1982	.2342

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

2) 육안적 평가(Blind Test)

Table 5는 각각의 영상을 핵의학과 전문의 1명과 5년이상 근무한 방사선사 3명에 의해 육안적으로 평가한 점수이다. 평균적으로 CTAC Shift 보정영상이 4점으로 가장 높은 점수를 얻었고 Q static scan 영상이 3.5점, Additional scan 영상이 3.4점으로 비슷한 수준의 점수를 얻었다.

Table 5. Blind test score

Patient	Group1 Point	Group2 Point	Group3 Point	Group4 Point
1	2	4	3	3
2	2	3	3	4
3	1	3	2	2
4	2	5	4	4
5	1	3	4	3
6	2	4	4	4
7	3	4	4	3
8	2	5	4	4
9	2	4	3	3
10	3	5	4	4
Average	2	4	3.5	3.4

*Group 1 : Artifact image *Group 2 : CTAC shift image
*Group 3 : Q static scan image *Group 4 : Additional scan image

결론 및 고찰

Additional scan이나 Q static scan의 경우 CTAC Shift 보정방법을 사용하는 것보다 더 많은 시간이 소요되며 다시 CT를 촬영함으로써 환자에게 더 많은 피폭을 줄 수 있다. Q static scan의 경우 호흡의 주기를 파악해야함으로써 불규칙한 호흡을 가진 환자나 얕은 호흡을 하는 환자, 너무 마른 환자등 기술적 부분으로 보완할 수 없는 환자에게 적용하기 어렵다는 단점이 있다. CTAC Shift 보정방법의 경우 위의 두 검사와는 다르게 추가적인 피폭과 검사 시간이 소요되지 않으나 모든 경우의 인공물에 적용할 수 없기 때문에 제한적일 수 있다. 더불어 검사를 진행한 환자의 수가 많지 않았기 때문에 정확성을 향상시키기 위해 더 많은 환자를 대상으로 진행하여야 하고 이에 따른 동의 또한 고려해야 하는 부분이다. 위의 결과를 통해, 기준이 된 인공물이 발생한 WBS을 제외한 나머지 세가지의 방법에는 통계적으로 유의한 차이는 발견되지 않았지만($p>0.05$) 육안적 평가에서는 유의한 차이가 발견되었다는 것을 알 수 있다. 이 중 Q Static scan의 경우, 모든 환자에게 임상적으로 적용하는 데 어려움과 한계점을 가지고 있으나 호흡을 보정하여 인공물을 감소시킨다는 것에 있어 큰 의미가 있다. 진단영역에서는 이러한 호흡보정 시스템을 적용하는 것이 생소한 부분이므로 차후 어떠한 환자에게도 적용할 수 있도록 개선이 된다면 인공물을 감소시키는 데 많은 도움을 줄 것이며 각각의 Scan방법의 장점들을 이용하여 각 병원의 시스템에 접목시켜 환자를 검사한다면 영상의 질을 향상시키고 진단 가치를 높일 수 있을 것이라 사료된다.

요 약

환자의 호흡에 의해 발생되는 인공물의 감소를 위한 다양한 방법들 중 호흡동조 시스템(이하 Q static scan)과 비교하여 CTAC Shift 보정방법, Additional scan(추가 검사방법)을 평가해보고자 한다. 본 연구는 2015년 2월에서 5월까지 본원을 내원한 환자들 중 영상에서 호흡에 의해 인공물이 발생한 환자 10명을 대상으로 진행하였으며 장비는 PET-CT Discovery 710 (GE Healthcare, MI, USA)과 호흡동조 시스템인 Varian사의 RPM system을 사용하였다. 환자는 24시간동안의 운동금지, 12시간동안 커피와 담배 금지, 8시간동안 금식을 한 후 충분한 수분을 섭취하고 도착시 혈관확보를 한 후 혈당 체크를 진행하며 ^{18}F-FDG를 kg당 5.18 Mbq을 주사하였다. 그 후 1시간동안 안정을 취하고, 배뇨 후 검사를 진행하였다. CT조건은 관전압 120 kVp와 관전류 60 mAs, DFOV는 70 cm, Matrix size는 192 × 192 으로 모두 동일하게 진행하였다. 인공물이 발생한 영상을 기준으로 Additional scan, 호흡동조 시스템을 연동한 Q static scan, CTAC Shift 보정방법을 통해 영상화하였다. 각각의 영상에서 인공물의 감소를 비교하였으며, 육안적 평가와 SUVmax의 변화를 측정하였다.

인공물이 발생한 Whole body scan(WBS)을 통해 얻은 영상 대비 CTAC Shift 보정방법을 통해 얻은 영상의 경우 12~56%, Q static scan 영상은 17~54%, Additional scan 영상은 -27~46%의 변화율을 보였다. Blind Test에서는 CTAC Shift 보정영상이 4점으로 가장 높은 점수를 얻었고 Q static scan 영상이 3.5점, Additional scan 영상이 3.4점의 점수를 얻었다. Oneway ANOVA 검정을 통해 기준이 된 WBS scan 영상과 세 가지 Scan방법간에 유의한 차이를 보였으며 (p<0.05) 세 가지 Scan방법간에는 유의한 차이를 보이지 않았다(p>0.05). 그러나 Blind test에서는 세 가지 Scan방법간의 유의한 차이를 보였다.

Additional scan과 Q static scan은 CTAC Shift 보정 방법보다 시간이 소요되며 환자에게 CT 재촬영에 의한 과피폭이 우려되며 Q static scan은 호흡의 기복이 심하거나 통증으로 인해 호흡 주기가 불규칙한 환자의 경우 적용하기에 어려움이 있다. CTAC Shift 보정 방법의 경우 제한적으로 보정이 가능하며 그 범위 또한 제한적이다. 이를 보완하기 위해 각 병원의 시스템을 적절히 이용하고 각 방법의 장점의 여러 요소들을 발전시킨다면 진단적 가치를 높이기 위한 방법의 하나로써 유용할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Czernin J, Allen-Auerbach M, Schelbert HR. Improvements in cancer staging with PET/CT: literature-based evidence as of September 2006. J Nucl Med 2007;48:78S-88S
2. Weber WA. Positron emission tomography as an imaging biomarker. J Clin Oncol 2006;24:3282-3292.
3. Boucher L, Rodrigue S, Lecomte R, Benard F. Respiratory gating for 3dimensional PET of thorax: Feasibility and initial results, J Nucl Med, 45, pp. 214-219, 2004.