

<원저>

Breast PET CT 영상 재구성 변화에 따른 대조도 대 잡음비와
신호 대 잡음비의 비교평가- Evaluation and Comparison of Contrast to Noise Ratio and Signal to Noise Ratio
According to Change of Reconstruction on Breast PET/CT -

¹⁾서울대학교병원 핵의학과 · ²⁾인제대학교서울백병원 영상의학과 · ³⁾강동경희대병원 영상의학과
⁴⁾백석문화대학교 방사선과 · ⁵⁾신구대학교 방사선과

이재영¹⁾ · 이을규²⁾ · 김기원³⁾ · 정희원⁴⁾ · 유광열⁵⁾ · 박훈희⁵⁾ · 손진현⁵⁾ · 민정환⁵⁾

— 국문초록 —

본 연구는 양전자 컴퓨터단층촬영(Positron Emission Computed Tomography; PET-CT) 유방암 영상에서 질환관심영역(Region of Interest; ROI)의 대조도 대 잡음비(Contrast to Noise Ratio; CNR)와 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 재구성 기법별로 측정 평가하여 통계적 분석을 하고자 하였다. 연구대상은 서울소재 대학병원에서 유방 양전자 컴퓨터단층촬영(Breast PET-CT)을 검사한 환자 100명이다. 측정방법은 ImageJ 프로그램을 사용하여 표본의 인공사회학적 특성, 영상 재구성 기법별 유방암의 SNR과 CNR의 평균값, 95% 신뢰구간 값, SNR과 CNR의 평균차이 값 등을 분석하였다. SPSS Statistics21 통계프로그램으로 ANOVA 분석을 하였으며 $p < 0.05$ 에서 유의한 것으로 판단하였다. 영상 재구성 기법별 분석결과는 CNR과 SNR 모두 TrueX_TOF, Iterative, Iterative-TOF, FBP-TOF 순으로 높은 값을 나타냈다($p < 0.05$). CNR과 SNR수치로 영상 재구성 기법의 특징을 조합하여 PET/CT 검사의 정확성과 편의성을 제공할 것이라 사료된다.

중심 단어: 유방, 양전자 컴퓨터단층촬영, 대조도 대 잡음비, 신호 대 잡음비

I. 서 론

최근 진단분야에서 양전자 컴퓨터단층촬영(Positron Emission Computed Tomography: PET-CT)은 종양학 분야는 물론 심장외과, 신경외과 등 여러 가지 분야에서 널리 활용되고 있다¹⁾. 특히 외과에서 주로 유방암을 진단하는데 있어서 단순유방 X-선 촬영과 유방초음파 검사가 대부분 함께 이루어지고 있지만 이러한 검사들은 높은 예민도를 나타내거나 양성 예측율의 저하, 유방의 조직밀도가 증가되어 있는 경우 병변의 구별이 어려울 때가 많이 있다. 그러나

PET-CT는 유방검사 진단에 도움을 주며, 새로운 진단 방법으로 추적하는 다양한 방법으로 사용되고 있다²⁾.

PET-CT의 중요성이 높아짐에 따라 보급이 활발해지고 있고 영상의 질을 향상시키기 위해 지난 40년 동안 영상의 재구성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다³⁾. 그 결과 필터역투영 재구성알고리즘(Filtered Back Projection Algorithms; FBP)으로부터 영상과 정량적 분석의 향상을 가져온 fully 3D 중첩(Iterative) 기법으로의 전환이 있어 왔으며 time of flight (TOF)와 TrueX는 더욱더 향상된 PET 영상에 크게 기여하였다⁴⁻⁵⁾. TOF 기법은 스캐너가 측정하는 감마선

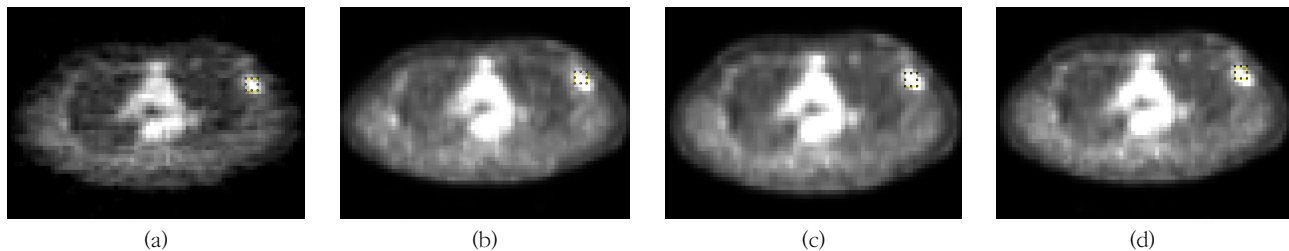
This study was supported by a grant (2017) from the department of Radiological Technology, The Shingu University.

Corresponding author: Jung-Whan Min, Dept. of Radiological Technology, The Shingu University, 377 Gwangmyeong-ro, Seongnam, 13174, Republic of Korea / Tel: +82-31-740-1361 / E-mail: pmpmpm@daum.net

Received 20 February ; Revised 12 March 2017; Accepted 14 March 2017

Table 1 Socio-demographical variables

		<i>N</i> (%)	<i>M</i> ± <i>SD</i>
Age	20s	3(3)	46.1 ± 11.0
	30s	10(10)	
	40s	34(34)	
	50s	34(34)	
	60s	15(15)	
	70s	3(3)	
	80s	1(1)	
Total		100(100)	

**Figure 1** Lesion images of set ROI

(a) FBP_TOF images set ROI (b) Iterative images set ROI (c) Iterative-TOF images set ROI (d) TrueX-TOF enhanced images set ROI

검출 시간을 이용해 소멸 원점의 위치를 보다 정확히 파악할 수 있고 동시에 발생하는 두 감마선의 검출기 도달 시간의 실제 차이를 측정할 수 있다. 궁극적으로 영상 데이터 잡음이 줄어들고, 노이즈 대비하여 높은 대조도 회복 계수를 보이는 장점이 있다⁶⁾. 또 다른 기법인 TrueX는 원형으로 생긴 검출기의 특성상 생기는 잘못된 line of response (LOR)의 위치를 point spread function (PSF)을 이용하여 영상의 왜곡을 보정해주는 특징이 있으며, PSF이라고 표현하기도 한다⁶⁾. 이와 같은 재구성 기법의 발전에 따라 사전설정법과 재구성 프로토콜의 변화, filter값의 적용에 따른 영상 품질 평가 및 유지보수에 대한 연구도 진행되고 있는 실정이다⁷⁻⁹⁾. 따라서 이들 4가지 기법의 영상들을 가지고 정량적 평가를 하기 위해서 본 연구에서는 PET/CT Breast cancer 영상에서 질환관심영역(Region of Interest; ROI)의 대조도 대 잡음비(Contrast to Noise Ratio; CNR)와 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)를 재구성 기법별로 측정 비교 평가하였고, 비교평가의 신뢰성을 위해 통계적 분석을 통하여 검증하였다¹⁰⁻¹²⁾.

II. 실험방법

1. 연구대상자의 특성

연구대상자의 연령별 분포는 Table 1과 같다. 전체적으로

유방암 환자 100명이고 연령대는 40대와 50대가 34%로 가장 많고, 평균 연령은 46.1±11.0세였다.

2. 연구 영상

본 연구의 영상 수집을 위해 사용된 영상획득 장비로 SIEMENS Biograph mCT 64 (Siemens Healthineers, USA)를 사용하였다. 영상 재구성 기법은 Iterative, FBP-TOF, Iterative-TOF, TrueX-TOF를 사용하였다(Figure 1).

3. 영상 분석방법

측정방법은 수집된 DICOM File을 ImageJ(National Industries of Health, USA) 프로그램을 사용하여 164.896 mm² 크기의 ROI를 설정하여 질환의 중심부 신호강도(Lesion SI)를 측정하였고(Figure 2), 질환의 반대쪽 정상부위의 신호강도(Surrounding Tissues SI)를 측정하였으며(Figure 3), 영상에 근접한 대각선 방향 4곳의 백그라운드 신호강도의 표준편차(Background Noise SD)를 측정하여(Figure 4) 평균값을 구하였다. 그 이유는 디지털 영상 왜곡에 대한 편차를 줄이기 위해서 평균값을 사용하였다.

SNR은 측정된 Lesion SI를 Backgrounding Noise SD로 나누어 계산하였고¹⁰⁻¹¹⁾(Eqs.1), CNR은 질환의 Lesion SI와 Surrounding Tissues SI의 차를 Backgrounding Noise SD로 나누어 계산하였다¹⁰⁻¹¹⁾ (Eqs.2).

$$SNR = \frac{Lesion\ SI}{Backgrounding\ Noise\ SD} \quad \cdot Eqs.1$$

$$CNR = \frac{Lesion\ SI - Surrounding\ Tissue\ SI}{Backgrounding\ Noise\ SD} \quad \cdot Eqs.2$$

또한, 측정의 정확도는 영상의 평가의 중요한 요소이기 때문에 상대적으로 잡음(Noise)이 많고 왜곡이 적어야 한다. 따라서 대각선 방향으로의 왜곡이 많은 부분을 포함하기 때문에 4방향을 정하여 측정 평균값을 구하여 사용하였다.

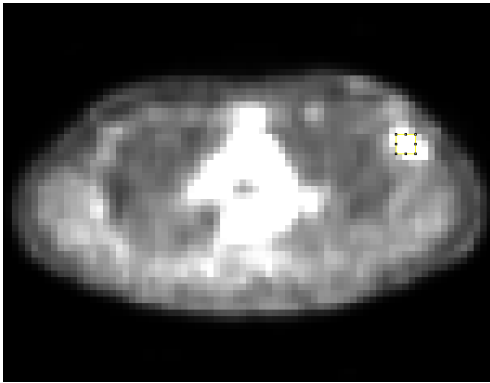


Figure 2 Lesion SI of ROI of breast image

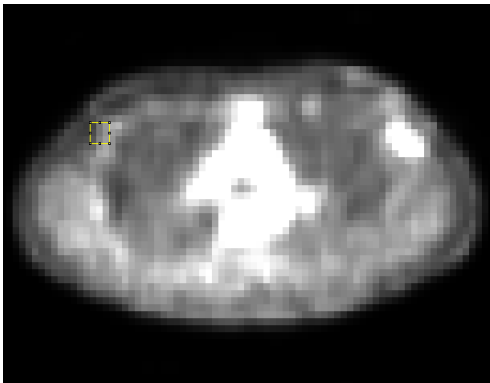


Figure 3 Surrounding Tissues SI of ROI of breast image

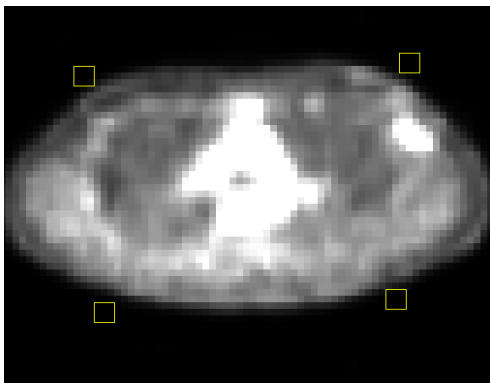


Figure 4 Backgrounding NoiseSD of ROI of breast image

4. 통계적 분석방법

자료처리 방법은 통계프로그램 SPSS Statistics21을 사용하였다. 재구성 기법에 따른 CNR과 SNR의 평균과 95% 신뢰구간을 비교하기 위하여 ANOVA분석을 하였고, 재구성 방법별로 통계적으로 유의한 차이를 분석하기 위해 사후 분석을 실시하였으며, 사후 분석은 등분산을 가정하지 않아 Dunnett T3 Test 사후 분석을 이용하였다.

III. 결 과

1. 영상 재구성 기법별 CNR, SNR의 평균비교

ANOVA 분석결과 영상 재구성 기법별 CNR과 SNR의 평균 비교는 Table 2와 같다. 영상 재구성 기법별 CNR과 SNR의 평균을 비교하면, CNR과 SNR모두 TrueX-TOF, Iterative, Iterative-TOF, FBP-TOF 순으로 높게 나타났다.

2. 영상 재구성 기법별 CNR과 SNR의 95% 신뢰 구간비교

CNR과 SNR의 평균값으로 재구성 기법간의 차이를 분석하는 것은 분산에 따라 영향을 받을 수 있다. 따라서 보다 정확한 비교를 위해 범위를 넓혀 95% 신뢰구간을 비교하였다(Table 3), (Figure 5). 95% 신뢰구간에서 상한값과 하한값이 겹쳐서 나타나며, 일정 부분 겹치게 신뢰구간을 표현한다는 것은 평균값의 차이가 정확하게 뚜렷하지 않다는 의미이고, 겹친 부분이 조금이라도 존재하지 않는다는 것은 비교적 평균차이가 뚜렷하며, 이는 신뢰 할 수 있는 의미를 뜻한다. 따라서 CNR과 SNR의 95% 신뢰구간을 살펴보면, CNR과 SNR 모두 Iterative, Iterative-TOF가 겹친 부분이 존재함을 볼 수 있다.

3. 영상 재구성 기법별 사후분석 CNR과 SNR평균차이

영상재구성 기법별로 차이 있는 그룹을 알아보기 위해 재구성 기법별로 사후분석 결과값의 평균차이를 보면 Table 4와 같고, 통계적으로 유의한($p < .05$) 영상 재구성 기법을 높은 수치의 CNR과 SNR을 가진 순으로 정리해 보면, CNR과 SNR 모두 TrueX-TOF는 Iterative, Iterative-TOF, FBP-TOF보다 높고, Iterative와 Iterative-TOF는 FBP-TOF보다 높다.

Table 2 CNR & SNR according to reconstruction methods

(N=100)

	Sequence(Mean±SD)				F	P
	FBP-TOF	ITERATIVE	ITERATIVE-TOF	TrueX-TOF		
CNR	68.42±18.23	2360.45±1068.70	2073.79±698.38	3241.18±1908.22	136.342	.000
SNR	88.42±22.53	2914.83±1238.46	2540.08±842.67	3813.21±2068.49	155.559	.000

p<.001

Table 3 95% confidence according to CNR & SNR of reconstruction methods

(N=100)

	N	Sequence	95% Confidence Interval	
			Min.	Max
CNR	100	FBP-TOF	64.81	72.04
		Iterative	2148.40	2572.51
		Iterative-TOF	1935.22	2212.37
		TrueX-TOF	2862.55	3619.81
SNR	100	FBP-TOF	83.96	92.90
		Iterative	2669.09	3160.57
		Iterative-TOF	2372.87	2707.29
		TrueX-TOF	3402.78	4223.65

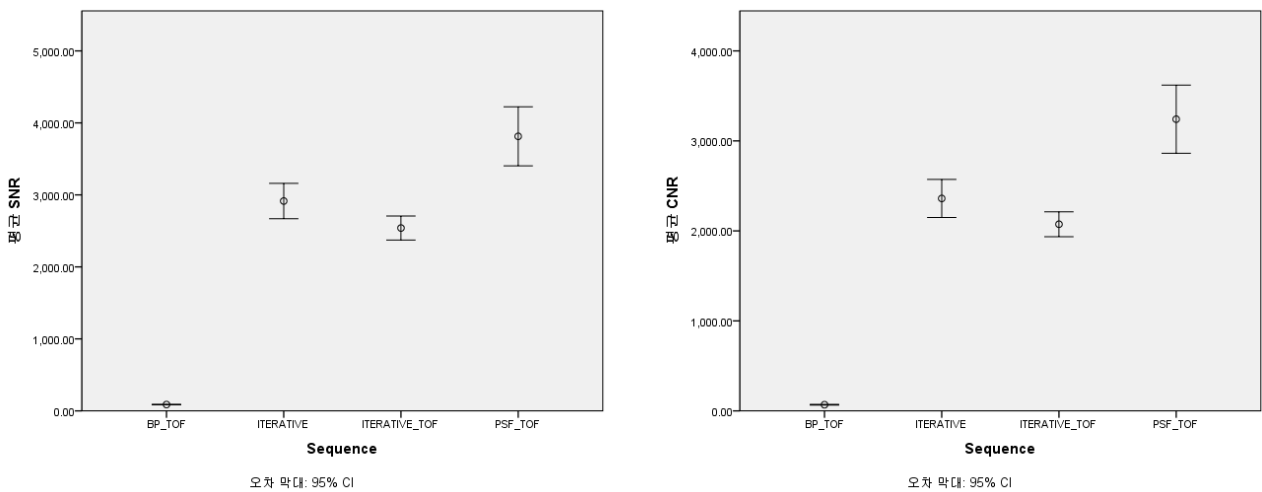


Figure 5 Comparison of 95% confidence according to SNR and CNR of reconstruction methods

IV. 고찰 및 결론

본 연구는 PET-CT 유방암 검사에서 영상 재구성 기법별 특성을 정량적으로 파악하고자 하였다. 정량적인 평가에 관련된 기존의 논문들과 달리영상의 왜곡에 대한 방법론에 있어서 왜곡된 부분을 평균화해서 평가하였다. 또한 측정된 ROI에 대한 방법은 기존의 핵의학분야에서 김하균 등⁸⁾은 반치폭(Full Width Half Maximum; FWHM)이라는 정량적인 평가지표를 가지고 측정하였다. 반치폭은 핵의학에서, 픽셀 사이즈가 커서 픽셀 사이즈의 50%구간의 표준편차 값

으로만 표시를 한다. 이 때 정량적인 평가할시 픽셀들의 피크치만 가지고 평가하기에는 무리가 있다. 평가의 신뢰성을 확보하기 위해서는 일정영역의 ROI를 설정해서 분석하는 것이 좋을 것으로 생각을 한다. 이 때 픽셀사이즈가 크다는 점을 착안해서 ROI설정에 신중해야 하며, 왜곡에 대한 생각을 하는 것이 좋을 것으로 생각을 한다. 따라서 픽셀을 설정 하였으며, 측정의 신뢰도를 더 높이기 위해서 유방암 환자 100명을 대상으로 하였으며, PET-CT서 나온 영상을 핵의학에서 주로 사용하는 기능별로 6가지 재구성 기법중에서 4가지의 재구성 기법을 이용하였다는데 있다⁷⁾. 또한, 이슬규

Table 4 Difference in a mean of CNR & SNR according to reconstruction methods

(N=100)

	Standard Sequence(I)	Target Sequence(J)	Mean difference(I-J)	Standard error	P	95% Confidence Interval	
						Min.	Max.
CNR	FBP-TOF	Iterative	-2292.03*	106.89	.000	-2578.70	-2005.35
		Iterative-TOF	-2005.37*	69.87	.000	-2192.75	-1817.99
		TrueX-TOF	-3172.76*	190.83	.000	-3684.59	-2660.92
	Iterative	FBP-TOF	2292.03*	106.89	.000	2005.35	2578.71
		Iterative-TOF	286.66	127.67	.145	-53.00	626.32
		TrueX-TOF	-880.73*	218.71	.001	-1463.25	-298.21
	Iterative-TOF	FBP-TOF	2005.37*	69.86	.000	1817.99	2192.75
		Iterative	-286.66	127.67	.145	-626.31	53.01
		TrueX-TOF	-1167.39*	203.20	.000	-1710.21	-624.56
	TrueX-TOF	FBP-TOF	3172.76*	190.83	.000	2660.92	3684.59
		Iterative	880.73*	218.71	.001	298.21	1463.25
		Iterative-TOF	1167.39*	203.20	.000	624.56	1710.21
SNR	FBP_TOF	Iterative	-2826.40*	123.87	.000	-3158.63	-2494.18
		Iterative-TOF	-2451.65*	84.30	.000	-2677.75	-2225.56
		TrueX-TOF	-3724.79*	206.86	.000	-4279.61	-3169.96
	Iterative	FBP-TOF	2826.40*	123.87	.000	2494.18	3158.63
		Iterative-TOF	374.75	149.80	.077	-23.69	773.19
		TrueX-TOF	-898.38*	241.09	.002	-1540.19	-256.57
	Iterative-TOF	FBP-TOF	2451.65*	84.30	.000	2225.56	2677.75
		Iterative	-374.75	149.80	.077	-773.19	23.69
		TrueX-TOF	-1273.13*	223.36	.000	-1869.39	-676.88
	TrueX-TOF	FBP-TOF	3724.79*	206.86	.000	3169.96	4279.61
		Iterative	898.38*	241.09	.002	256.57	1540.19
		Iterative-TOF	1273.13*	223.36	.000	676.88	1869.39

* $p < .05$, Dunnett T3

등¹²⁾은 MRI영상에서의 질환별 환자를 대상으로 시퀀스별 SNR을 측정하는 정량적인 방법에 있어서 측정이 용이한 방법이라고 보고하였으나, PET-CT영상의 핵의학 영상의 재구성 기법별로 CNR을 추가적으로 평가하였다는데 차이점을 볼 수 있다. 그리고 민정환 등¹¹⁾은 정량적인 평가방법에 의한 방법론만 제시하였고, 통계적인 유의성에 대해서 언급하지 못한 점을 차이점으로 들 수 있다.

본 연구에서 연령은 평균 40대였고, 연구의 결과는 다음과 같은 측정값으로 요약할 수 있다. 영상재구성 기법별 CNR과 SNR은 TrueX_TOF, Iterative, Iterative-TOF, FBP-TOF 순으로 높은 값을 나타냈다($p < 0.05$). 재구성 기법별로 차이가 있다는 것을 볼 수 있었으며, 본 연구에서 질환의 재구성 기법별 CNR과 SNR값에서 사후분석 결과 평균 차이가 유의한 재구성 방법들은 95% 신뢰구간에서도 겹치는 부분이 존재하였다. 따라서 FBP-TOF는 전체적으로 가

장 낮은 값으로 비교대상이 될 수 없으며, Iterative, Iterative-TOF 시퀀스에서는 다소 통계적으로 평균값은 유의하지만, 95%신뢰구간에서는 정량적인 지표로 평가하기에는 조심스럽게 접근을 해야 한다고 사료된다. 하지만 현재 임상에서 사용되는 PET-CT 영상 재구성 기법의 CNR과 SNR의 정량적인 평가에 있어서 기존의 핵의학에서 사용하는 방법과는 다른 방식으로 접근하였고 관심 영역의 초점을 환자 병변에 맞추어 재구성 기법별로 비교 평가를 하였는데 학술적 의의를 둘 수 있다.

본 연구의 제한점으로, 연구를 위한 적정 대상 수는 충족하였으나 대상자들의 영상에 대한 평가의 한계로 인하여 충분한 표본 수에는 미치지 못하였고, 연구에서 측정된 CNR과 SNR의 수치가 질환을 완벽하게 감별할 수 있다고 말할 수는 없다.

이와 같은 제한점을 보완하여 유방 영상뿐만 아니라 다른

부위 영상의 후속 연구진행으로 보다 정확하고 객관적인 정량적 수치를 확보한다면 향후 PET-CT 검사와 판독의 정확성 및 편의성 향상에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

REFERENCES

1. Ortuno JE, Kontaxakis G, Rubio JL et al: Efficient Methodologies for System Matrix Modeling in Iterative Image Reconstruction for Rotating High-resolution PET. *Physics in Medicine and Biology*, 55(7), 1833-1861, 2010
2. Eun-Joo Lee: Comparison between Mammography, Ultrasonography and ^{99m}Tc -MIBI Scintimammography in the Diagnosis of Breast Cancer. *Journal of the Korean Society of Radiology*, 42(1), 191-197, 2000
3. Alessio A, Kinahan P: PET Image Reconstruction. *Nuclear Medicine 2nd Edition*, 1-22
4. Il-Sang Moon, Hong Jae Lee, Jin Eui Kim et al: Quantitative Evaluation on Optimal Scan Time of PET/CT Studies Using TOF PET. *The Korean Journal of Nuclear Medicine Technology*, 16(1), 34-37, 2012
5. Karp JS, Surti S, Daube witherspoon ME et al: Benefit of Time of Flight in PET: Experimental and Clinical Results. *Journal of Nuclear Medicine*, 49(3), 462-532, 2008
6. Se-Moon Oh, Kye-Hwan Kim, Seung-Jeong Kim et al: The Evaluation of True X Reconstruction Method In Low Dose. *The Korean Journal of Nuclear Medicine Technology*, 15(2), 83-87, 2011
7. Dong-Seok Kim, Hee-Jae Yoo, Dong-Oh Sim et al: The Evaluation of Reconstructed Images in 3D OSEM According to Iteration and Subset Number. *Journal of Nuclear Medicine*, 15(1), 17-24, 2011
8. Ha-Gyun Kim, Soo-Mee Kim, Jae-Ryong Woo et al: The Evaluation of Images with Various Filters in I-131 SPECT/CT. *Journal of Nuclear Medicine*, 18(1), 62-68, 2014
9. Sun-Myung Park, Hyuk Lee, Gun-Chul Hong et al: Evaluation of the Image Quality According to the Pre-set Method in PET/CT Image. *Journal of Nuclear Medicine*, 15(2), 41-46, 2011
10. Jung-Whan Min, Ki-Won Kim, Kwang-Yuel Ryu et al: Comparison Study on CNR and SNR of Thoracic Spine Lateral Radiography. *Journal of Radiological Science and Technology*, 36(4), 280-273, 2013
11. Jung-Whan Min, Hoi-Woun Jeong, Ki-Won Kim et al: Evaluation of quantitative on T- spine exhalation technique and T-spine breathing technique of natural breathing. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 14(9), 4429-4436, 2013
12. Eul-Kyu Lee, Kwan-Woo Choi, Jung-Whan Min: et al: Statistical Approach of Measurement of Signal to Noise Ratio in According to Change Pulse Sequence on Brain MRI Meningioma and Cyst Images. *Journal of Radiological Science and Technology*, 39(3), 345-352, 2016

•Abstract

Evaluation and Comparison of Contrast to Noise Ratio and Signal to Noise Ratio According to Change of Reconstruction on Breast PET/CT

Jea-Young Lee¹⁾·Eul-Kyu Lee²⁾·Ki-Won Kim³⁾·Hoi-Woun Jeong⁴⁾·Kwang-Yeul Lyu⁵⁾
Hoon-Hee Park⁵⁾·Jin-Hyun Son⁵⁾·Jung-Whan Min⁵⁾

¹⁾*Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital*

²⁾*Department of Radiology, Inje Paik University Hospital Jeo-dong*

³⁾*Department of Radiology, Kyung Hee University Hospital at Gang-dong*

⁴⁾*Department of Radiological Technology, The Baekseok Culture University*

⁵⁾*Department of Radiological Technology, The Shingu University*

The purpose of this study was to measure contrast to noise ratio (CNR) and signal to noise ratio (SNR) according to change of reconstruction from region of interest (ROI) in breast positron emission tomography-computed tomography (PET-CT), and to analyze the CNR and SNR statically. We examined images of breast PET-CT of 100 patients in a University-affiliated hospital, Seoul, Korea. Each patient's image of breast PET-CT were calculated by using ImageJ. Differences of CNR and SNR among four reconstruction algorithms were tested by SPSS Statistics21 ANOVA test for there was statistical significance ($p < 0.05$). We have analysis socio-demographical variables, CNR and SNR according to reconstruction images, 95% confidence according to CNR and SNR of reconstruction and difference in a mean of CNR and SNR. SNR results, with the quality of distributions in the order of PSF_TOF, Iterative and Iterative-TOF, FBP-TOF. CNR, with the quality of distributions in the order of PSF_TOF, Iterative and Iterative-TOF, FBP-TOF. CNR and SNR of PET-CT reconstruction methods of the breast would be useful to evaluate breast diseases.

Key Words : Breast, Positron emission tomography-computed tomography, Contrast to noise ratio, Signal to noise ratio