

# Evaluation of Standardized Uptake Value applying Prompt Gamma Correction on $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT Image

Seok Hwan Yoon\*

Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital

Received: November 21, 2017. Revised: February 20, 2018. Accepted: February 28, 2018

## ABSTRACT

$^{68}\text{Ga}$  was eluted from a  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  radionuclide generator.  $^{68}\text{Ga}$  decays into  $^{68}\text{Zn}$ , with a half life=67.8min. The decay is 88.9 % by  $\beta^+$  and 11.1 % by EC. The main  $\beta^+$  decay (87.7 %) is to the ground level of  $^{68}\text{Zn}$  and it is a pure positron emission branch. A small fraction decays  $\beta^+$  (1.2 %) into an excited level of  $^{68}\text{Zn}$ , which promptly decays into the ground level with a  $\gamma$  (1.077 Mev). This can constitute prompt gamma contamination in the PET data, if the 1.077 Mev  $\gamma$  has a scatter interaction in the patient, and generates a lower energy  $\gamma$  in coincidence with the positron annihilation pair. The purpose of this study was to evaluate standardized uptake value(SUV) before and after applying prompt gamma rays correction on  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT image. Fifty patient underwent PET/CT 1 hour after injection of the  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC. The SUVmax and SUVmean of lesions and normal tissues (Pituitary, Lung, Liver, Spleen, Kidney, Intestine) were evaluated before and after applying prompt gamma correction on  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT image. Additionally, the SUVmax of each lesions and SUVmean of the soft tissues were measured on images. and target to background ratios (TBR) were calculated as quantitative indices. Among 15 patients, 25 of lesions (Pancreas, Liver, Thoracic Spine, Brain) with increased uptake on  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT image. SUVmax and SUVmean were increased in lesion site and normal tissue after prompt gamma rays correction. TBR was  $51.51 \pm 49.28$  and  $55.50 \pm 53.12$  before and after prompt gamma rays correction, respectively. ( $p < 0.0001$ )

Keywords:  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT, Prompt Gamma rays, SUV

## I. INTRODUCTION

PET/CT(PET/CT; Positron Emission Tomography/Computed Tomography)검사에서 신경계와 내분비계 조직이 멩쳐 발병하는 종양을 진단하기 위해 양전자를 방출하는  $^{68}\text{Ga}$  방사성핵종에 신경내분비 종양에 특이적으로 결합하는 소마토스타틴 계열 펩타이드를 표지한 방사성 의약품을 이용하고 있다.<sup>[1]</sup>

$^{68}\text{Ga}$  방사성핵종은 사이클로트론에서 생산되는  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  등과 같은 PET에 이용하는 양전자 방출핵종과는 달리  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  제너레이터에서 생산되는 방사성 핵종이다.<sup>[2]</sup>  $^{68}\text{Ga}$ 은 67.8분의 반감기를 가지고 88.9 %의  $\beta^+$  붕괴와 11.1 %의 전자포획으

로  $^{68}\text{Zn}$ 으로 붕괴된다.  $\beta^+$  붕괴 과정( $E_{\text{max}}=1.899$  Mev,  $E_{\text{mean}}=0.836$  Mev,  $R_{\text{max}}=9.2$  mm,  $R_{\text{mean}}=3.5$  mm)에서 87.7 %는 기저상태의  $^{68}\text{Zn}$ 로 붕괴되며, 1.2 %는 여기상태의  $^{68}\text{Zn}$ 로 붕괴된다.

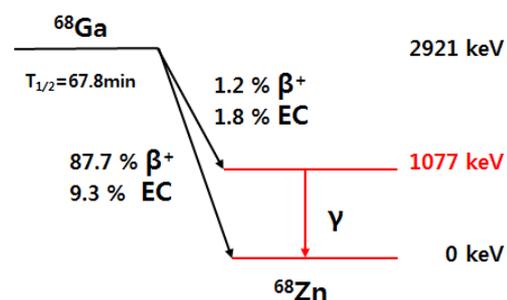


Fig. 1.  $^{68}\text{Ga}$  decay scheme.

\* Corresponding Author: Seok Hwan Yoon E-mail: skysharp2@naver.com Tel: +82-10-9695-7399

Address: Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Hospital, DaeHak-Ro 101, Jongo-Gu, SEOUL, Rep.of Korea

여기상태의  $^{68}\text{Zn}$ 은 1.6 ps 반감기를 가지며 1.077 Mev의  $\gamma$ 선을 방출하여 기저상태의  $^{68}\text{Zn}$ 가 된다.

$^{68}\text{Ga}$ 의 붕괴 과정은 Fig. 1과 같다.

이때 방출되는 1.077 Mev의  $\gamma$ 선을 Prompt Gamma라 하며, Prompt Gamma-ray가 환자와 상호작용하게 되면 Fig. 2와 같이 저에너지  $\gamma$ 선의 산란선이 발생하게 되는데 이 산란선이 PET의 동시계수 회로에 검출되어 PET영상에 영향을 미칠 수 있다.<sup>[3]</sup>

$^{68}\text{Ga}$  방사성 핵종 이외에도  $^{76}\text{Br}$ ,  $^{82}\text{Rb}$ ,  $^{86}\text{Y}$ ,  $^{124}\text{I}$  방사성 핵종에서도 Prompt Gamma-ray가 발생되어 진다. Prompt Gamma-ray의 보정방법은 Fig. 3에서 보듯이 Prompt Gamma-ray의 영향으로 Scatter 분포의 꼬리 영역에서 높게 관찰되므로 PET Data를 수집한 후 Scatter 보정에서 Prompt Gamma-ray의 영역이 포함되도록 Fitting하여 보정을 한다.<sup>[3]</sup>

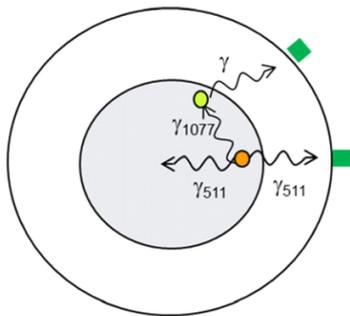


Fig. 2.  $^{68}\text{Ga}$  has a prompt gamma of energy that can enter the PET energy window if it undergoes compton scatter(1077 keV).<sup>[3]</sup>

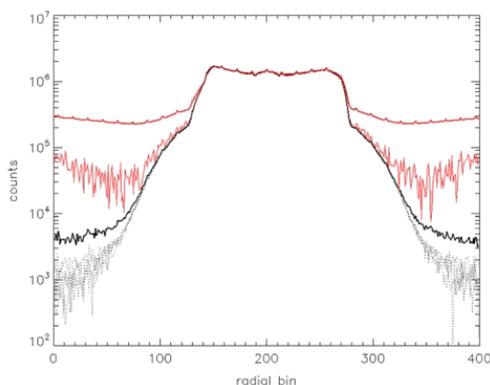


Fig. 3. Radial net true sinogram profiles of NEMA image quality phantom filled with water solutions of  $^{68}\text{Ga}$ (thick black line). scatter tails were overestimated than conventional scatter by prompt gamma.<sup>[3]</sup>

이 연구의 목적은 Prompt Gamma-ray가 발생하는  $^{68}\text{Ga}$  방사성 핵종에 소마토스타틴 계열 펩타이드를 표지한  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT 영상에서 Prompt Gamma-ray 영향으로 인한 Prompt Gamma Correction 전 후의 표준섭취계수(SUV)를 평가해 보고자 하였다.

## II. MATERIAL AND METHODS

### 1. Data acquisition

$^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  제너레이터에서 용출된  $^{68}\text{GaCl}_3$ 에 DOTATOC을 표지 후 15명의 환자(남성 7명, 여성 8명)에게 투여(1.60 MBq/kg) 하였다. 투여 1시간 후 Biograph 40 True point(True V) PET/CT(Siemens medical system, Germany)장비를 이용하여 환자의 대뇌기저부에서 대퇴근위부가 포함되도록 1 bed(216 mm)당 2분씩 6~7 bed(중첩 89 mm) PET 영상을 획득하였다. PET 재구성영상은 반복재구성기법을 기반으로 한 OSEM3D+PSF (iteration 2, subset 21) 방법으로 영상을 재구성 하였으며, 영상을 재구성 후 Gaussian Filter (FWHM 5 mm)을 적용하였다. CT영상은 PET영상의 감쇠보정과 융합영상을 위해 관전압 120 Kvp, 50 mAs을 이용하여 영상을 획득하였다.

### 2. Data analysis

$^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT 검사를 시행한 15명의 환자에 대해서 병변부위(Pancreas=20, Liver=2, Thoracic Spine=2, Brain=1)와 정상으로 섭취되는 부위(Pituitary, Lung, Liver, Spleen, Intestine, Kidney)에 SIEMENS사의 관독용 Syngo.via 프로그램(Siemens Medical System, Germany)을 이용하여 관심영역을 설정하여 Prompt Gamma-ray 보정 전 후의 SUVmax, SUVmean을 구하였다.

SUVmax는 관심영역의 Pixel 또는 Voxel의 최대 방사능의 농도를 나타내는 값이며, SUVmean은 관심영역의 Pixel 또는 Voxel당 전체방사능인 평균방사능의 농도를 나타내는 값이다. SUVmean 측정을 위해 지름이 2 cm인 VOI(Volume of Interest)를 그려 측정하였다. 임상영상의 정량적 평가를 위해 병변부

위에 SUVmax와 섭취가 적은 연부조직에 SUVmean을 구하여 Target to Background Ratio를 산출하였다.

### 3. Statistical analysis

병변부위와 정상조직에 SUVmax와 SUVmean의 측정값을 평균±편차로 나타내었으며, 통계프로그램 MedcalC(MedcalC Software, Ostend, Belgium)를 이용하여 두 표본의 비모수 검정 대응표본 Wilcoxon t-test 검정을 하였다.  $p < 0.05$ 는 통계적으로 유의한 차이를 나타낸다.

## III. RESULT

$^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT 영상에서 Prompt Gamma-ray 보정 전 병변부위에서의 SUVmax는  $26.61 \pm 24.52$ , 연부조직에서의 SUVmean은  $0.51 \pm 0.05$ , Prompt Gamma-ray 보정 후 병변부위에서의 SUVmax는  $27.79 \pm 25.88$ , 연부조직에서의 SUVmean은  $0.49 \pm 0.05$ , Target to Background Ratio는 Prompt Gamma-ray 보정 전 후 각각 Table 1과 같이  $51.51 \pm 49.28$ ,  $55.50 \pm 53.12$ 로 보정 후 높은 값을 나타냈다. ( $p < 0.0001$ )

Thoracic Spine을 제외한 병변부위에서 Prompt Gamma-ray 보정을 시행한 PET영상에서 높은 SUVmax 값을 보였다. ( $p = 0.0005$ )

Table 1. \*TBR values before and after applying prompt gamma rays correction on  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT image.

Organ	W/O *PGC	*PGC
Pancreas (n=20)	$22.77 \pm 21.59$	$23.70 \pm 22.60$
Liver (n=2)	$75.53 \pm 8.35$	$80.13 \pm 8.54$
Thoracic spine (n=2)	$13.83 \pm 8.40$	$13.76 \pm 7.78$
Brain (n=1)	31.22	33.14
Overall Target (n=25)	$26.61 \pm 24.52$	$27.79 \pm 25.88$
Background	$0.51 \pm 0.05$	$0.49 \pm 0.05$
Target to Background ratio	$51.51 \pm 49.28$	$55.50 \pm 53.12$

\* TBR: Target to Background Ratio, \* PGC: Prompt Gamma Correction

정상조직에서 Prompt Gamma-ray 보정 전 후 SUVmax 비교 평가는 Fig. 4와 Table. 2와 같이 Pituitary( $p = 0.5016$ ), Lung( $p = 0.0009$ ), Liver( $p = 0.0001$ ),

Spleen( $p = 0.0002$ ), Intestine( $p = 0.0040$ ), Kidney( $p = 0.0001$ )으로 Pituitary를 제외한 정상조직에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

SUVmean 비교평가에서는 Fig. 4와 Table. 2와 같이 Pituitary( $p = 0.0977$ ), Lung( $p = 0.0023$ ), Liver( $p = 0.0001$ ), Spleen( $p = 0.0002$ ), Intestine( $p = 0.0181$ ), Kidney( $p = 0.0084$ )으로 Pituitary를 제외한 정상조직에서 보정 전 후의 통계적으로 유의한 차이가 나타났다.

## IV. DISCUSSION

이 연구의 목적은  $^{68}\text{Ga}$  방사성핵종에서 방출되는 Prompt Gamma-ray가 PET영상의 표준섭취계수에 영향을 미치는지 평가 하였다.

$^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT 영상에서 Prompt Gamma-ray를 보정 하면서 Thoracic Spine을 제외한 병변부위의 SUVmax와 Pituitary를 제외한 정상조직에서 SUVmax, SUVmean은 높은 값을 나타내었으며, 섭취가 적은 연부조직에서는 낮은 SUVmean을 보였다.

Thoracic Spine의 병변부위는 다른 장기와는 달리 CT를 기반으로 한 Bone의 감쇠보정의 영향으로 SUVmax가 낮게 측정되었다고 판단된다.<sup>[4]</sup>

정상조직의 평가에서 흉부와 복부에 위치한 장기는  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC이 섭취된 주변의 장기에 영향을 받아 Prompt Gamma-ray의 발생확률이 높은 반면 Pituitary는 구조적으로 주변 장기의 영향이 적어 Prompt Gamma-ray 보정 전 후의 SUVmax, SUVmean 값에 통계적으로 차이가 없었다고 생각된다.

이번 연구에서 Prompt Gamma-ray는 PET영상의 정량적 평가 분석에 영향을 미치는 사실을 알 수가 있었다. 다른 연구에서도  $^{82}\text{Rb}$ 을 이용한 심근 영상에서 Prompt Gamma-ray가 정량적 분석에 영향을 미친다는 연구 보고가 있다. 그리고 전립선암을 진단하기 위한  $^{68}\text{Ga}$ -PMSA PET/MRI 영상에서는 방광에 높은 집적을 나타내는 경우 Prompt Gamma-ray의 영향을 받아 halo 인공음영이 관찰된다는 연구도 보고되고 있다.<sup>[5-8]</sup>

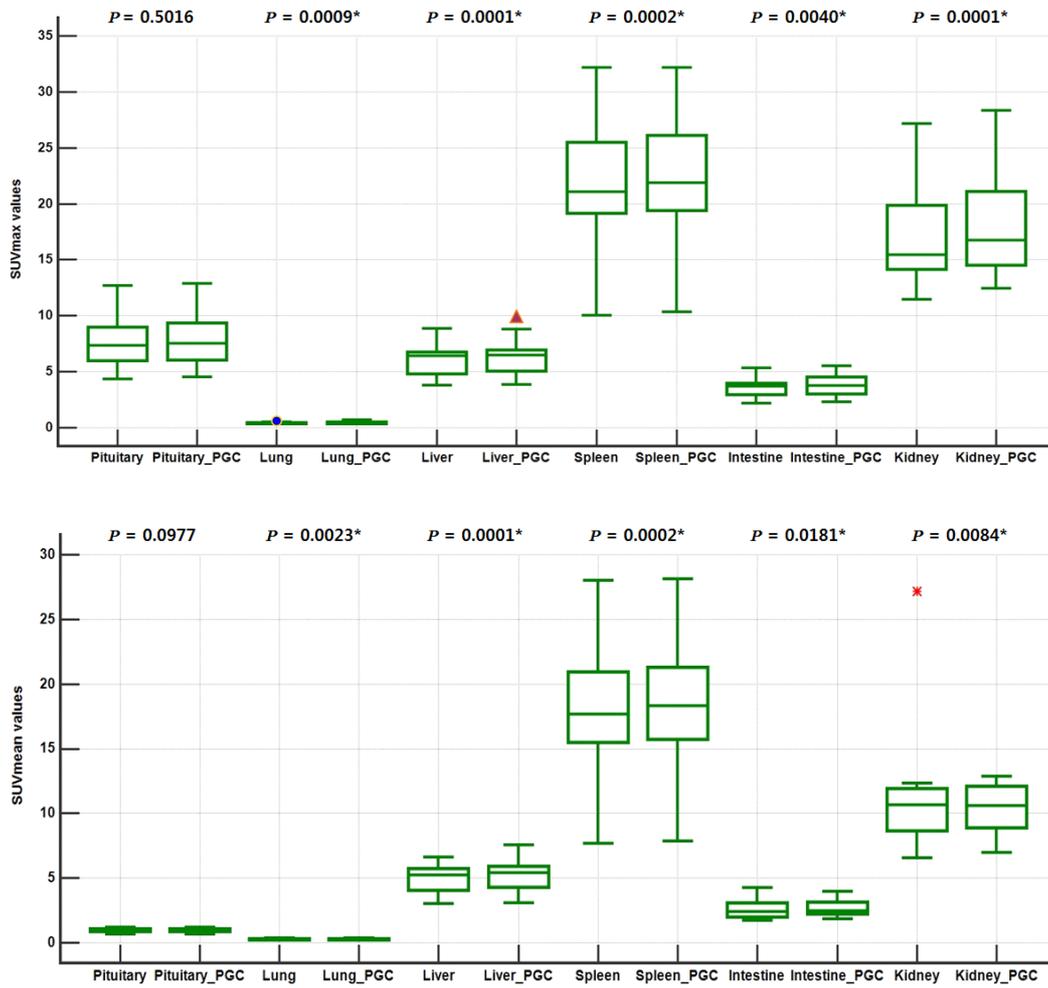


Fig. 4. Comparison of SUVmax(top) and SUVmean(bottom). The box plots on the left show before applying prompt gamma rays correction and right show after applying prompt gamma correction on the normal tissues. (\* $p < 0.05$ ).

Table. 2. Comparison of SUVmax and SUVmean before and after applying prompt gamma rays correction on <sup>68</sup>Ga-DOTATOC PET/CT image.

	Pituitary		Lung		Liver		Spleen		Intestine		Kidney	
	W/O *PGC	*PGC										
SUVmax												
Median	7.36	7.53	0.40	0.42	6.41	6.49	21.1	21.9	3.65	3.78	14.5	15.3
IQR	6.01-8.96	6.07-9.35	0.35-0.42	0.36-0.48	4.84-6.71	5.10-6.92	19.1-25.4	19.4-26.1	2.97-3.96	3.05-4.51	13.7-19.8	14.1-20.9
Range	4.33-12.6	4.54-12.8	0.28-0.62	0.31-0.65	3.78-8.86	3.84-9.96	10.0-32.1	10.3-32.1	2.19-5.29	2.31-5.50	11.4-27.1	12.4-28.3
SD	2.42	2.40	0.08	0.09	1.52	1.71	5.61	5.81	0.87	0.94	4.54	4.67
SUVmean												
Median	0.94	0.96	0.28	0.28	5.22	5.41	17.6	18.3	2.44	2.49	10.6	10.7
IQR	0.88-1.04	0.88-1.04	0.21-0.29	0.23-0.32	4.04-5.71	4.28-5.88	15.5-23.0	15.7-21.2	2.09-3.02	2.24-3.06	8.72-11.8	8.96-12.0
Range	0.66-1.17	0.67-1.18	0.17-0.35	0.18-0.36	3.02-6.60	3.04-7.56	7.67-33.9	7.82-28.1	1.68-4.22	1.80-3.92	6.57-27.1	6.95-12.8
SD	0.14	0.14	0.05	0.06	1.14	1.30	6.30	5.07	0.68	0.60	4.74	1.86

Median values of SUVmax and SUVmean displayed for normal tissues with their respective IQR and range. \*PGC: Prompt Gamma Correction

$^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT 영상에서도 halo 인공영상이 관찰된다는 연구보고가 있지만 이번 연구에서 halo artifact는 관찰되지 않았다.<sup>[9]</sup>

최근 PET에서  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  이외에 임상에서 펩타이드나 단백질을 표지 할 수 있는  $^{68}\text{Ga}$  핵종의 사용이 늘어남에 따라  $^{68}\text{Ga}$  핵종을 이용한 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>[10]</sup>

더불어 PET검사서 다양한 방사성핵종을 이용함에 따라 핵종의 특성을 고려한 영상의 보정 기술도 발전하고 있다. 이 연구에서 기존의 PET/CT 장비에서는 Prompt Gamma-ray를 발생하는 핵종에 대해서  $^{68}\text{Ga}$  핵종의 Prompt Gamma-ray 보정이 반영되지 않았으나 최근  $^{68}\text{Ga}$  핵종의 사용이 증가함에 따라  $^{68}\text{Ga}$  핵종에 대해서도 Prompt Gamma-ray 보정을 적용 할 수 있게 되어 환자의 표본수가 적은 것이 연구의 한계점이다.

이번 연구를 통해  $^{68}\text{Ga}$  핵종에서 방출되는 Prompt Gamma-ray에 대한 이해와  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT 영상에서 Prompt Gamma-ray로 인한 SUV의 변화를 비교 평가하여 Prompt Gamma-ray 보정의 필요성을 인식하는 것이 중요하다고 사료된다.

## V. CONCLUSION

$^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT영상에서  $^{68}\text{Ga}$ 에서 발생하는 Prompt Gamma-ray를 보정 하면서 Thoracic Spine을 제외한 병변부위의 SUVmax와 Pituitary를 제외한 정상조직에서 SUVmax, SUVmean은 높은 값을 나타내었으며, 섭취가 적은 연부조직에서는 낮은 SUVmean을 보였다. TBR 평가에서는 Prompt Gamma-ray의 보정 후 높은 TBR을 보였다.

## Reference

- [1] Putzer D., Kroiss A., Waitz D., Gabriel M., Traub-Weidinger T, Uprimny C, von Guggenberg E, Decristoforo C, Warwitz B, Widmann G, Virgolini JJ, "Somatostatin receptor PET in neuroendocrine tumours:  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA0,Tyr3-octreotide versus  $^{68}\text{Ga}$ -DOTA 0-lanreotide," *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, Vol. 40, No. 3, pp. 364-372, 2013.
- [2] Ali Afshar-Oromieh, Maya B. Wolf, Clemens Kratochwil, Frederik L. Giesel, Stephanie E. Combs, Antonia Dimitrakopoulou-Strauss, Regula Gnirs, Matthias C. Roethke, Heinz P. Schlemmer, Uwe Haberkorn, "Comparison of  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC-PET/CT and PET/MRI hybrid systems in patients with cranial meningioma: Initial results," *Neuro oncology*, Vol. 17, No. 2, pp. 312-319, 2015.
- [3] Maurizio Conti, Lars Eriksson, "Physic of pure and non-pure positron emitters for PET: a review and a discussion," *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Physics*, Vol. 3, No. 1, pp. 1-17, 2016.
- [4] Abella M1, Alessio AM, Mankoff DA, MacDonald L R, Vaquero JJ, Desco M, Kinahan PE, "Accuracy of CT-based attenuation correction in PET/CT bone imaging," *Physics in Medicine & Biology*, Vol. 57, No. 9, pp. 2477-2490, 2012.
- [5] Buchmann I, Henze M, Engelbrecht S, Eisenhut M, Runz A, Schäfer M, Schilling T, Haufe S, Herrmann T, Haberkorn U, "Comparison of  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET and  $^{111}\text{In}$ -DTPAOC (Octreoscan) SPECT in patients with neuroendocrine tumors," *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, Vol. 34, No. 10, pp. 1617-1626, 2007.
- [6] Benjamin Noto, Florian Büther, Katharina Auf der Spinge, Nemanja Avramovic, Walter Heindel, Michael Schäfers, Thomas Allkemper, Lars Stegger, "Impact of PET acquisition durations on image quality and lesion detectability in whole-body  $^{68}\text{Ga}$ -PSMA PET-MRI," *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging Research*, Vol. 7 No.1, pp. 1-12, 2017.
- [7] Jing Tang, Arman Rahmim, Riikka Lautamäki, Martin A Lodge, Frank M Bengel, Benjamin M, W Tsui, "Optimization of Rb-82 PET acquisition and reconstruction protocols for myocardial perfusion defect detection," *Physics in Medicine & Biology*, Vol. 54, No. 10, pp. 3161-3171, 2009.
- [8] Hong I, Rothfuss H, Fürst S, "Prompt Gamma Correction for Ga-68 PSMA PET studies," San Diego: presented at IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2015.
- [9] Gaertner FC, Beer AJ, Souvatzoglou M, Eiber M, Fürst S, Ziegler SI, "Evaluation of feasibility and image quality of  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC positron emission tomography," *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, Vol. 40, No. 3, pp. 364-372, 2013.

ography/magnetic resonance in comparison with positron emission tomography/computed tomography in patients with neuroendocrine tumors," *Investigative Radiology*, Vol. 48, No. 5, pp. 263-272, 2013.

- [10] JM Jeong, YJ Kim, YS Lee, DS Lee, JK Chung, MC Lee, "Radio labeling of NOTA and DOTA with Positron Emitting  $^{68}\text{Ga}$  and Investigation of In Vitro Properties," *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, Vol. 43, No. 4, pp. 330-336, 2009.

# $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT에서 Prompt Gamma Correction을 적용한 SUV의 평가

윤석환\*

서울대학교병원 핵의학과

## 요 약

$^{68}\text{Ga}$  방사성 핵종은  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  제너레이터에서 생산되는 양전자 방출핵종으로서 PET 검사에 이용되는 방사성 핵종이다.  $^{68}\text{Ga}$ 은 67.8분의 반감기를 가지고 88.9 %의  $\beta^+$  붕괴와 11.1 %의 전자포획으로  $^{68}\text{Zn}$ 으로 붕괴된다.

$\beta^+$  붕괴 과정에서 87.7 %는 기저상태의  $^{68}\text{Zn}$ 로 붕괴되며, 1.2 %는 여기상태의  $^{68}\text{Zn}$ 로 붕괴된다. 여기상태의  $^{68}\text{Zn}$ 은 1.077 Mev의  $\gamma$ 선을 방출하며 기저상태의  $^{68}\text{Zn}$ 가 된다.

이때 방출되는 1.077 Mev의  $\gamma$ 선을 Prompt Gamma라 하며, Prompt Gamma-ray가 환자와 상호작용하게 되면 저에너지  $\gamma$ 선의 산란선이 발생되게 되는데 이 산란선이 PET의 동시계수 회로에 검출되어 질 수 있다. 이 연구의 목적은  $^{68}\text{Ga}$ 을 이용하는 PET검사 중 신경내분비 종양진단에 사용되는  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT영상에 Prompt Gamma-ray 보정 전 후의 표준섭취계수(SUV)를 평가해 보고자 하였다.

$^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT를 시행한 15명의 환자에 대해서 병변부위(Pancreas, Liver, Thoracic Spine, Brain)와 정상으로 섭취되는 조직(Pituitary, Lung, Liver, Spleen, Kidney, Intestine)의 SUVmax와 SUVmean을 비교하였으며, 임상영상의 정량적 평가를 위해 Target to Background Ratio(TBR)을 산출하여 비교하였다.

Prompt Gamma-ray 보정 후 Thoracic Spine을 제외한 병변부위와 Pituitary를 제외한 정상조직에서 SUVmax, SUVmean은 높은 값을 나타내었으며, TBR은 Prompt Gamma-ray 보정 전 후 각각  $51.51 \pm 49.28$ ,  $55.50 \pm 53.12$ 로 보정 후 높은 값을 나타냈다. ( $p < 0.0001$ )

중심단어:  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC PET/CT, Prompt Gamma-ray, 표준섭취계수